



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

João Miguel Ribeiro Sousa

**RADIAÇÃO GAMA E INTERPRETAÇÃO  
ESTRATIGRÁFICA E SEDIMENTOLÓGICA EM  
SONDAGENS: EXEMPLO DA FORMAÇÃO DE  
COIMBRA (BACIA LUSITÂNICA)**

VOLUME 1

Dissertação no âmbito do Mestrado em Geociências, Área de especialização em Recursos Geológicos, orientada pelo Professor Doutor Luís Vítor da Fonseca Pinto Duarte e Doutor Sérgio Luis Rodrigues Sêco apresentada ao Departamento de Ciências da Terra.

Setembro de 2022



Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

# **RADIAÇÃO GAMA E INTERPRETAÇÃO ESTRATIGRÁFICA E SEDIMENTOLÓGICA EM SONDAGENS: EXEMPLO DA FORMAÇÃO DE COIMBRA (BACIA LUSITÂNICA)**

**João Miguel Ribeiro Sousa**

**Dissertação no âmbito do Mestrado em Geociências, Área de especialização  
em Recursos Geológicos, orientada pelo Professor Doutor Luís Vítor da  
Fonseca Pinto Duarte e Doutor Sérgio Luis Rodrigues Sêco apresentada ao  
Departamento de Ciências da Terra.**

**Setembro, 2022**



**UNIVERSIDADE D  
COIMBRA**







# Índice Geral

---

Agradecimentos.....	iv
Resumo.....	vi
Abstract.....	viii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tabelas.....	xv
Lista de Abreviaturas.....	xvii
Capítulo I. Introdução.....	1
1. Motivação.....	1
2. Objectivos e estrutura da dissertação.....	2
Capítulo II. Enquadramento do Estudo.....	4
1. A Bacia Lusitânica.....	4
1.1. Estrutura da bacia.....	4
1.2. Evolução da Bacia Lusitânica.....	7
1.2.1. Ciclo I - Triásico ao Caloviano.....	7
1.2.2. Ciclo II - Oxfordiano superior ao Berriasiano.....	11
1.2.3. Ciclo III e Ciclo IV - (Valanginiano ao Aptiano inferior; Aptiano superior ao Turoniano) .....	13
2. A Formação de Coimbra.....	15
2.1. Antecedentes.....	15
2.2 A importância no contexto do petróleo.....	17
3. Espectrometria de raios gama.....	18
Capítulo III. Metodologia.....	20
1. Selecção de sondagens e afloramentos.....	20
2. Análise e interpretação dos dados de radiação gamma.....	23
2.1. Análise da informação de cada sondagem.....	23
2.2. Análise e interpretação dos dados de GR.....	25
2.3. Colunas litoestratigráficas e diagrfias de GR.....	26
2.4. Análise de variação espacial por técnicas de geoestatística.....	27
3. Trabalhos de Campo.....	27
3.1. Assinatura radiométrica.....	28
4. Difraccção de raios-X.....	29

Capítulo IV. Resultados.....	30
1. Diagrafias e sondagens.....	30
1.1. Zona Setentrional.....	31
1.1.1. Sondagem 14A - 1.....	31
1.1.2. Sondagem Carapau - 1.....	32
1.1.3. Sondagem Dourada - 1C.....	33
1.1.4. Sondagem 13E - 1.....	34
1.1.5. Sondagem 14C - 1A.....	34
1.1.6. Sondagem Moreia - 1.....	35
1.1.7. Sondagem Faneca - 1.....	37
1.1.8. Sondagem Monte Real Oeste - 9.....	38
1.1.9. Sondagem S. Pedro de Moel - 2.....	39
1.2. Zona Central.....	41
1.2.1. Sondagem 17C - 1.....	41
1.2.2. Sondagem Aljubarrota - 2.....	41
1.2.3. Sondagem São Mamede - 1.....	42
1.2.4. Sondagem Gaiteiros - 1.....	43
1.2.5. Sondagem Benfeito - 1.....	44
1.2.6. Sondagem 20B - 1.....	45
1.2.7. Sondagem Sobral - 1.....	46
1.3. Zona Meridional.....	46
1.3.1. Sondagem Montijo - 1.....	46
1.3.2. Sondagem Golfinho - 1.....	47
1.3.3. Sondagem Pescada - 1.....	49
2. Afloramentos, aquisição radiométrica e difracção de raios-X.....	49
2.1. Perfil do Bairro de S. Miguel.....	49
2.2. Perfil de Lamas.....	54
2.3. Perfil Praia da Concha.....	57
2.4. Perfil da Ponta da Papôa.....	60
Capítulo V. Discussão.....	62
1. Variação do RGT e análise sequencial.....	62
2. Variedade faciológica da Formação de Coimbra.....	67
2.1. Diferenciação litológica.....	67
2.2. Espessura da Formação de Coimbra.....	72

3. Importância petrolífera da Formação de Coimbra.....	76
3.1. Identificação dos intervalos ricos em matéria orgânica.....	77
3.2. Natureza da matéria orgânica.....	78
3.3. A Formação de Coimbra nos sistemas petrolíferos.....	81
3.3.1. Possíveis sistemas petrolíferos na Formação de Coimbra.....	83
Capítulo VI. Considerações finais.....	88
Referências bibliográficas.....	91
Relatórios de Sondagem.....	100
Anexos .....	102
Anexo I.....	103
Anexo II.....	104
Anexo III.....	108

## Agradecimentos

Quero começar por agradecer aos meus pais e à minha irmã por todo o apoio dado nesta longa jornada, sempre acreditaram em mim, e sem vocês nada teria conseguido nesta grande aventura.

Aos meus orientadores, Professor Luís Vitor Duarte e Sérgio Sêco por todo o apoio prestado. Pelo acompanhamento e interesse, pela excelente orientação, e aprendizagem ao nível científico. Ao Professor Luís Vitor pelo convite e ideia de dissertação, e ao Sérgio pela paciência de tanto me ter ensinado em uma área à qual pouco compreendia. Quero ainda dar o meu agradecimento pelo apoio e disponibilização do acesso aos dados das sondagens à Direção-Geral de Energia e Geologia, da Entidade para o Setor Energético, E.P.E. (anteriormente denominada de ENMC/UPEP).

Aos meus amigos da “terrinha”. E por me perdoarem pelos muitos cafés e eventos que não pude ir. Alguns ajudaram-me de forma mais directa e outros de forma indirecta, mas sempre tiveram os meus interesses e necessidades em conta. Obrigado pelo vosso apoio!

Aos meus amigos da faculdade. Jony Pereira, sempre confiaste e acreditaste em mim desde o primeiro dia. Um grande obrigado por tudo! À Katia sem acento e com K. Ao Xico e ao Ranger. Ao Cartaxo e ao Tomás. Vocês foram importantes. À Mónica e ao Carlitos. Ao meu amigo Arruda pelo acompanhamento nos trabalhos de Campo.

Por último, a todos os que me tenha esquecido de referir, mas que fazem parte da minha memória!



# Resumo

---

**Palavras-chave:** Formação de Coimbra, radiação gama total, intervalos ricos em matéria orgânica, sistemas petrolífero, Bacia Lusitânica.

A baixa resolução estratigráfica das unidades sedimentares do enchimento mesozóico subsuperficial da Bacia Lusitânica (Portugal) tem sido um entrave à investigação científica e a diversas áreas de aplicação da geologia, incluindo a geologia do petróleo. Este trabalho suporta-se na análise estratigráfica e sedimentar da Formação (Fm) de Coimbra (datada do Sinemuriano), registada em várias sondagens existentes na Bacia Lusitânica, e com base em perfis de radiação gama total (RGT). Entre os objectivos principais, ressaltam a delimitação estratigráfica e distribuição espacial da respectiva unidade, as características faciológicas e a sua interpretação sequencial, bem como uma análise do potencial interesse petrolífero da Fm de Coimbra.

Neste trabalho são reinterpretadas 19 sondagens *offshore* e *onshore*, tendo como primeiro objectivo a redefinição dos limites estratigráficos da Fm de Coimbra, a primeira unidade de natureza verdadeiramente carbonatada do enchimento da Bacia Lusitânica. Acresce a identificação e correlação dos principais intervalos mais argilosos/margosos, coincidentes com as fases de máxima inundação de 3ª ordem, assim como a definição dos limites sequenciais. Os intervalos de maior contagem de RGT (que variam entre os 50 e os 100 API), estão associados a intervalos ricos em matéria orgânica com potencial de geração de hidrocarbonetos. Através da variação das curvas de RGT, do reconhecimento litoestratigráfico das sondagens e do conhecimento bibliográfico é discutido o papel da Fm de Coimbra nos sistemas petrolíferos da Bacia Lusitânica, tendo-se verificado a importância desta unidade enquanto geradora e reservatório. Realça-se a zona NW da bacia, onde se verifica a geração de óleo na Fm de Coimbra registada nas sondagens 14A-1, MRW-9 e SPM-2, através de acumulação em calcários fracturados. Verifica-se ainda a existência de intervalos ricos em matéria orgânica nas sondagens Do-1C, Alj-2, Ga-1, 20B-1 e Bf-1.





## **Abstract**

The low stratigraphic resolution of the Mesozoic sedimentary units of the Lusitanian Basin (Portugal), has been an obstacle to scientific research and to a variety of fields related to geological applications, including petroleum geology. This work is based on stratigraphic and sedimentary analysis of the Coimbra Formation (Fm) (dated from the Sinemurian), recorded in several existing wells in the Lusitanian Basin, and relies on total gamma ray (TGR) profiles. The objectives include the stratigraphic delineation and spatial distribution of Coimbra Fm, the faciological features and sequence analysis, and lastly, the analysis of the potential petroleum interest of the Coimbra Fm.

In this work, 19 offshore and onshore well logs are reinterpreted, with the first goal being the stratigraphic redefinition of the Coimbra Fm, the first unit with true carbonate character of the Lusitanian Basin. In addition, the identification and correlation of the main marly intervals with the 3rd order maximum flooding intervals, as well as the definition of sequence boundaries. The highest TGR count intervals (between 50 to 100 API) are associated with organic matter rich intervals and hydrocarbon generation potential. Based on the variation of the TGR curves, the lithostratigraphic recognition of the wells and bibliographic knowledge, the role of the Coimbra Fm in the petroleum systems of the Lusitanian Basin is discussed, whose importance as a source rock and reservoir is clearly demonstrated. In the NW part of the basin, oil was recovered in the Coimbra Fm by accumulation in fractured limestones in wells 14A-1, MRW-9 and SPM-2. Possible source rocks are identified in wells Do-1C, Alj-2, Ga-1, 20B-1 and Bf-1.

**Keywords:** Coimbra Formation, total gamma radiation, organic-rich intervals, petroleum systems, Lusitanian Basin.



## Índice de Figuras

Figura II 1. Enquadramento geográfico e tectónico, e definição de sectores da Bacia Lusitânica e localização em relação a outras bacias Ibéricas da Margem Atlântica. (1- Rocha & Soares 1984; 2-Ribeiro <i>et al.</i> , 1996). Retirado e adaptado de Kullberg <i>et al.</i> (2013).....	5
Figura II 2. Modelo tridimensional do soco Varisco, demonstrando a interligação das falhas extensionais N-S (Falha de Porto-Tomar) e NE-SW/NNE-SSW (Falha da Nazaré, Falha do Arrife, Falha da Arrábida). Este modelo representa a fase final da evolução da bacia (adaptado de Ribeiro <i>et al.</i> , 1996, <i>in</i> Kullberg <i>et al.</i> , 2013).....	6
Figura II 3. Quadro litoestratigráfico representando o sector setentrional e central da BL do Triásico ao Jurássico Médio. A Figura apresenta a organização da bacia durante as fases primárias de <i>rifting</i> e respetiva hierarquização sequencial, bem como todo o primeiro ciclo sedimentar de primeira ordem (Kullberg <i>et al.</i> , 2013).....	9
Figura II 4. Paleogeografia da BL, durante o Jurássico Inferior (modificado de Baudin <i>et al.</i> , 1990, <i>in</i> Bruneau <i>et al.</i> , 2018).....	10
Figura II 5. Enquadramento crono e biostratigráfico regional actualizado das unidades litoestratigráficas da base do Jurássico Inferior dos sectores norte e central da Bacia Lusitânica. A escala geocronológica é a de Cohen <i>et al.</i> , (2013) D3b, D3c, D4 e D5a indicam as descontinuidades sedimentares regionais definidas por Soares <i>et al.</i> , (1993), Duarte <i>et al.</i> , (2010, 2014), Kullberg <i>et al.</i> , (2013) e Dimuccio (2014). As áreas em tracejado indicam lacunas de carácter local ( <i>in</i> Dimuccio <i>et al.</i> , 2016).....	10
Figura II 6. Quadro litoestratigráfico do Jurássico Superior ao Berriasiano, exibindo o segundo ciclo de primeira ordem ( <i>in</i> Fursich <i>et al.</i> , 2021).....	12
Figura II 7. Quadro litoestratigráfico do Cretácico Inferior e Superior (Dinis <i>et al.</i> , 2008).....	14
Figura III 1. Localização geográfica das sondagens (branco) e dos afloramentos estudados (amarelo). De acordo com o texto, estes estão organizados em três sectores (ver Figura II 1): Setentrional (Carapau-1, Dourada-1C, 13E-1, Moreia-1, 14C-1A, Faneca-1, 14A-1, Monte Real Oeste-9, S. Pedro de Moel-2; Bairro S. Miguel, Lamas, Praia da Concha), Central (Aljubarrota-2, 17C-1, Gaiteiros-1, 17C-1, 20B-1, São Mamede-1, Benfeito-1, Sobral-1; Papôa) e Meridional (Montijo-1, Golfinho-1, Pescada-1).....	21
Figura III 2. Exemplos de erros ou imprecisões em Relatórios de Sondagens e <i>Composite Logs</i> . Entre as linhas vermelhas encontra-se a Fm de Coimbra.....	24
Figura III 3. Problemas de elegibilidade, decifração das abreviaturas utilizadas nos dados ou sobreposição de linhas de diagrfias.....	25
Figura III 4. Perfis estudados. A - Bairro de S. Miguel, Coimbra; B - Lamas, Coimbra; C - Praia da Concha em S. Pedro de Moel; e D - Papôa, Peniche.....	27

Figura III 5. Espectrómetro portátil RS-230 super-Spec ( <i>in</i> Sêco, 2019).....	28
Figura III 6. Influência da geometria da superfície nas medições de radiação gama em afloramento. A área a sombreado demonstra o espaço de influência do detector, sendo a disposição A a ideal para a aquisição de dados, e as restantes situações a serem evitadas pela integração de fluxos de RGT de camadas envolvente ( <i>in</i> Sêco, 2019).....	29
Figura IV 1. Legenda geral apresentada para cada <i>log</i> de sondagem.....	30
Figura IV 2. Linhas de reflexão sísmica S84-24 que capta o anticlinal onde se insere a sondagem 14A-1 ( <i>in</i> Rasmussen <i>et al.</i> , 1998).....	31
Figura IV 3. A - <i>Log</i> litoestratigráfico e diagrafia de RGT da sondagem 14A-1, e correlação das principais sub-unidades margosas da Fm de Coimbra; B- <i>Log</i> litoestratigráfico e diagrafia de RGT da sondagem Moreia-1, e correlação das principais sub-unidades margosas da Fm de Coimbra.....	36
Figura IV 4. Mapa estrutural da zona onde foi realizada a sondagem Moreia-1, tendo por base a Fm de Coimbra. Imagem do relatório de sondagem.....	37
Figura IV 5. Mapa estrutural da zona onde foi efectuada a sondagem Monte Real Oeste-9, com a superfície nas unidades da base Cretácico. Imagem do relatório de sondagem.....	39
Figura IV 6. Mapa estrutural da base do Cretácico da localização onde se insere o poço SPM-2 no flanco nordeste do diapíro de S. Pedro de Moel (Relatório de Sondagem).....	40
Figura IV 7. Mapa estrutural do topo do Oxfordiano e localização do poço Bf-1 no flanco SE do anticlinal de Torres Vedras (Relatório de Sondagem).....	45
Figura IV 8. A- <i>Log</i> litoestratigráfico e diagrafia de GR da sondagem Benfeito-1, e correlação das principais sub-unidades margosas da Fm de Coimbra; B - <i>Log</i> litoestratigráfico e diagrafia de GR da sondagem Montijo-1, e correlação das principais sub-unidades margosas da Fm de Coimbra.....	48
Figura IV 9. Aquisição radiométrica no perfil de S. Miguel. A- Parte superior do perfil, com alternância de bancadas calco-margosas da Fm de S. Miguel, acima, uma sucessão margosa da Fm de Vale das Fontes; B e C- aquisição radiométrica perpendicular aos planos de estratificação; D- parte inferior da Fm de S. Miguel.....	50
Figura IV 10. Coluna litoestratigráfica do perfil do Bairro de S. Miguel. A sucessão da Fm de S. Miguel (Dimuccio <i>et al.</i> , 2016) é apresentada em função dos resultados obtidos da difracção de raios-X. Na Fm de Vale das Fontes (Duarte & Soares, 2002) assumiu-se que as rochas de carácter carbonatado são calcários. Os pontos de aquisição radiométrica são também assinalados.....	51

Figura IV 11. Variação das assinaturas radiométricas (Radiação Gama Total (RGT) e quantificação de K (%), U e Th (ppm)) registadas no perfil do Bairro de S. Miguel. A escala vertical é em metros Diagrafia da assinatura radiométrica registada no Bairro de S. Miguel. A escala vertical é em metros.....	52
Figura IV 12. Tipologia dos difractogramas obtidos no perfil de S. Miguel. A- Difractograma da amostra SM7, onde se mostra uma associação mineralógica predominantemente dolomítica, pouco argilosa com algum quartzo e hematite; B- Difractograma da amostra SM1, onde se mostra uma mudança para uma associação predominantemente calcítica. Em relação à amostra anterior, há um incremento de pirite.....	53
Figura IV 13. Contacto entre as formações de Pereiros e de Coimbra no perfil de Lamas.....	54
Figura IV 14. Coluna litoestratigráfica do perfil estudado em Lamas. A sucessão da Fm de Pereiros e da Fm de Coimbra (Dimuccio <i>et al.</i> , 2016) são apresentadas em função dos resultados obtidos da difracção de raios-X.....	55
Figura IV 15. Tipologia dos difractogramas obtidos no perfil de Lamas; A- Difractograma da amostra L2 recolhida no topo da Fm de Dagorda, onde se observa uma associação mineralógica predominantemente argilosa e quartzosa; B- Difractograma da amostra L8 representativo da base da Fm de Coimbra, onde se observa uma clara distinção da amostra anterior no conteúdo mineralógico. A amostra é composta maioritariamente por dolomite.....	56
Figura IV 16. Alguns aspectos relevantes da sucessão basal da Fm de Coimbra aflorante na Praia da Concha (S. Pedro de Moel); A- vista para as arribas do norte da Praia da Concha; B- secção sul da praia onde se observa a base dolomítica da Fm de Coimbra; C- unidades de <i>black shale</i> localizadas na base da unidade; D- unidades de <i>black shales</i> , unidade F.....	57
Figura IV 17. Coluna estratigráfica demonstrando a variação litológica com a interpretação sequencial (3ª ordem) da Fm de Coimbra na Praia da Concha em S. Pedro de Moel. É acrescentado os locais onde se realizou a amostragem (parcialmente baseado em Azerêdo <i>et al.</i> , 2010, <i>in</i> Duarte <i>et al.</i> , 2014b).....	58
Figura IV 18. Tipologia dos difractogramas obtidos no perfil da Praia da Concha (S. Pedro de Moel) A- Difractograma da amostra PCS3 da base da Fm de Coimbra, demonstrando uma associação mineralógica dominada por dolomite, e pouco conteúdo em quartzo e argilas; B – Difractograma da amostra PCS8 da base da Fm de Coimbra, onde já se observa uma associação mineralógica dominada por calcite, e alguma dolomite vestigial. Há também um aumento do conteúdo de argilas e quartzo; C – Difractograma da amostra PCSUF recolhida nas unidades de <i>black shales</i> (UF) da Fm de Coimbra, com uma associação mineralógica enriquecida em argilas e quartzo, mas predominantemente calcítica.....	59
Figura IV. 19. Aspectos das unidades sinemurianas aflorantes na Papôa. A- Contacto da Fm de Coimbra com a Fm Água de Madeiros; B- bioturbações do tipo <i>Thalassinoides</i> encontradas no topo da Fm de Coimbra.....	61

Figura IV 20. Difractograma da amostra PAP3, evidenciando uma litologia predominantemente calcária.....	61
Figura V 1. Correlação entre os poços <i>offshore</i> estudados e as superfícies de máxima inundação e limites de seqüencia com os ciclos T-R de 2 <sup>a</sup> e 3 <sup>a</sup> ordem do Sinemuriano-Pliensbaquiano de Duarte <i>et al.</i> , (2010, 2014b).....	65
Figura V 2. Correla�o entre os poços <i>onshore</i> estudados e as superfícies de máxima inunda�o e limites de seqüencia com os ciclos T-R de 2 <sup>a</sup> e 3 <sup>a</sup> ordem do Sinemuriano-Pliensbaquiano de Duarte <i>et al.</i> , (2010, 2014b).....	66
Figura V 3. Distribu�o genérica estratigráfica e de fácies do Hetangiano ao Pliensbaquiano, onde se demonstra a variabilidade lateral da Fm de Coimbra de E-W (Duarte <i>et al.</i> , 2014b)...	68
Figura V 4. A- Rela�o calcário/dolomia (em percentagem de rochas calcárias) na Fm de Coimbra; B- rela�o da sedimenta�o antes e após a maior transgressão máxima de 3 <sup>a</sup> ordem (unidade F ou seu equivalente lateral, em percentagem de registo sedimentar após a transgressão). Imagens retiradas do Google Earth, e sobreposi�o com dados analisados e georreferenciados no software Surfer 12, por sistema de coordenadas WGS84, 29N.....	70
Figura V 5. Mapa de contorno estrutural demonstrando o limite do topo da Fm de Dagorda, e a localiza�o das sondagens analisadas neste estudo (adaptado de Rasmussen <i>et al.</i> , 1998).....	71
Figura V 6. Interpreta�o de perfil de reflexão sísmica que demonstra a associa�o de <i>horsts</i> conjugados e localiza�o de quatro sondagens do sector setentrional do extremo NW da BL. (adaptado de Lomholt <i>et al.</i> , 1996, in Kullberg <i>et al.</i> , 2013).....	75
Figura V 7. Sec�o N-S do extremo do sector meridional da BL, onde se inserem as sondagens Golfinho-1 e Pescada-1. A sondagem Pescada-1 não perfura o Jurássico Superior e Médio como indicado neste esquema. Atinge uma pequena porão do Sinemuriano-Hetangiano, em descontinuidade com o Cretácico Inferior (Rasmussen <i>et al.</i> , 1998).....	76
Figura V 8. Coluna estratigráfica da sec�o da Fm de Coimbra em S. Pedro de Moel localizando os locais de amostragem (coluna litoestratigráfica de Duarte & Soares, 2002; <i>in</i> Poças Ribeiro <i>et al.</i> , 2013).....	80
Figura V 9. Interpreta�o litoestratigráfica das sondagens 14A-1, Moreia-1 e Benfeito-1, indicando a ocorrência de indícios de óleo ou gás, realizada pela Divisão para a Pesquisa e Explora�o de Petróleo. A correla�o das unidades litoestratigráficas encontra-se mal assinalada em rela�o aos resultados deste trabalho (DPEP, 2015).....	82
Figura V 10. Sistemas petrolíferos certos e prováveis abrangentes da Fm de Coimbra, pela análise e interpreta�o das sondagens deste estudo.....	87



## Índice de Tabelas

Tabela III 1. Localização geográfica das sondagens <i>Offshore</i> .....	22
Tabela III 2. Localização geográfica das sondagens <i>Onshore</i> .....	22
Tabela III 3. Localização geográfica dos afloramentos estudados.....	22
Tabela IV 1. Semiquantificação mineralógica das amostras recolhidas no perfil do Bairro de S. Miguel.....	53
Tabela IV 2. Semiquantificação mineralógica das amostras recolhidas no perfil de Lamas...56	
Tabela IV 3. Semiquantificação mineralógica das amostras recolhidas na base da Fm de Coimbra na Praia da Concha em S. Pedro de Moel.....	60
Tabela IV 4. Semiquantificação mineralógica das amostras, recolhidas do topo da Fm de Coimbra em S. Pedro de Moel.....	60
Tabela IV 5. Semiquantificação mineralógica das amostras recolhidas no topo da Fm de Coimbra na Ponta da Papôa em Peniche, evidenciando um claro domínio da calcite e uma presença acessória da dolomite.....	61
Tabela V 1. Valores máximos e mínimos da radiação gama nos cinco intervalos de GR estabelecidos para a Fm de Coimbra.....	64
Tabela V 2 Lista da espessura total da Fm de Coimbra das sondagens estudadas e relação da espessura total por intervalos (como definido no Anexo II). Relação da quantidade de sedimentação anterior ou posterior ao máximo de inundação definido pela unidade F.....	74
Tabela V 3 Média de espessura da Fm de Coimbra nos três sectores da BL, pelas sondagens deste estudo que foram consideradas representativas.....	74
Tabela V 4 Geoquímica orgânica e palinofácies das amostras da Fm de Coimbra em Poças Ribeiro <i>et al.</i> , (2013) e Brito <i>et al.</i> , (2017).....	79





## **Lista de Abreviaturas**

**BL** – Bacia Lusitânica

**RGT** – Radiação Gama Total

**T-R** – Transgressivo-regressivos

**Cp-1** – Sondagem Carapau-1

**Do-1C** – Sondagem Dourada-1C

**Mo-1** – Sondagem Moreia-1

**Fa-1** – Sondagem Faneca-1

**MRW-9** – Sondagem Monte Real Oeste - 9

**SPM-2** – Sondagem São Pedro de Moel - 2

**SM-1** – Sondagem São Mamede - 1

**Alj-2** – Sondagem Aljubarrota-2

**Ga-1** – Sondagem Gaiteiros-1

**Bf-1** – Sondagem Benfeito-1

**Sb-1** – Sondagem Sobral-1

**Mtj-1** – Sondagem Montijo-1

**Go-1** – Sondagem Golfinho-1

**Pe-1** – Sondagem Pescada-1

# I. Introdução

## 1. Motivação

Este estudo foi efectuado no âmbito da dissertação final do mestrado em Geociências, da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. O tema surgiu na necessidade de aprofundar o conhecimento sobre a Formação (Fm) de Coimbra registada no Sinemuriano da Bacia Lusitânica (BL), nomeadamente a sua redefinição litoestratigráfica e o reconhecimento de intervalos ricos em matéria orgânica.

Este trabalho é baseado na variação de padrões radiométricos de **Radiação Gama Total** (RGT) em dezanove sondagens *offshore* e *onshore* da BL. O *gamma ray* é uma ferramenta da geofísica útil na análise de afloramentos e testemunhos de subsuperfície, medindo a radiação *gamma total* (RGT), resultante do decaimento radioactivo de núcleos atómicos K-40, Th-232 e U-238. Através do RGT é possível determinar os intervalos mais argilosos e fácies ricas em matéria orgânica, e ainda a correlação litoestratigráfica e reconhecimento de sequências deposicionais (Hesselbo, 1996; Ehrenberg & Svana, 2001; Svendsen & Hartley, 2001; Pawellek & Aigner, 2003; Catuneanu, 2006; Rider & Kennedy, 2011; Šimiček & Babek, 2015).

A Fm de Coimbra, apesar se estar caracterizada pormenorizadamente em afloramento (Azerêdo *et al.*, 2010; Duarte *et al.*, 2014b; Dimuccio *et al.*, 2016), e em subsuperfície em algumas sondagens da zona norte da BL (Correia *et al.*, 2012, 2013; Sêco *et al.*, 2018), carece de um reconhecimento pormenorizado sobre a sua variação vertical e lateral numa abordagem bacinal, já que o estado da arte está muito condicionado à zona norte da BL. Neste sentido, é necessária a redefinição dos limites estratigráficos da Fm de Coimbra nos dados de sondagem em toda a BL. Para este fim, são utilizadas as sondagens já conhecidas do norte da BL como referência (Sêco *et al.*, 2018). Acessoriamente, e através das características de análise da espectrometria de raios gama, pretende-se fazer também uma análise sequencial dos registos da Fm de Coimbra, relacionando-a com os dados litoestratigráficos.

Na Fm de Coimbra ocorrem intervalos ricos em matéria orgânica com potencial de geração de hidrocarbonetos (Duarte *et al.*, 2013, 2014b; Poças Ribeiro *et al.*, 2013; Brito *et al.*, 2017), constituindo uma das unidades importantes para a geologia do petróleo do Jurássico Inferior da BL (ver também Duarte *et al.*, 2012). A baixa qualidade na interpretação das sondagens, conecta-se com o pouco conhecimento dos sistemas petrolíferos do Jurássico Inferior na BL. Através da utilização de diversos parâmetros petrofísicos, incluindo a espectrometria de raios gama, têm sido melhoradas as

interpretações dos dados de sondagens e, como consequência directa, a prospecção de hidrocarbonetos.

## 2. Objectivos e estrutura da dissertação

A investigação presente nesta dissertação, que tem como base a leitura e interpretação dos perfis de RGT observados nas dezanove sondagens estudadas, teve como objectivos principais:

- i) a redefinição litoestratigráfica da Fm de Coimbra, tendo por base a definição de Duarte *et al.* (2014b) para o sector mais ocidental da bacia;
- ii) análise sequencial do Sinemuriano na BL;
- iii) identificação dos principais intervalos ricos em matéria orgânica presentes em cada sondagem, estando normalmente associados a intervalos de máxima inundação;
- iv) mesmo sem argumentos de natureza geoquímica, enfatizar e discutir a variabilidade lateral e vertical e a contribuição da Fm de Coimbra nos sistemas petrolíferos da BL.

A estrutura da dissertação é suportada em seis capítulos principais. O primeiro capítulo (I) corresponde à introdução das questões de foco da dissertação, a problemática a que se pretende responder e os objectivos propostos. O segundo capítulo (II) faz a introdução à estrutura e evolução da BL, e dos princípios teóricos da espectrometria de raios gama e suas aplicações. Por último são introduzidos os estudos anteriores centrados na Fm de Coimbra. O terceiro capítulo (III) descreve todas as metodologias utilizadas neste trabalho, que inclui algumas metodologias secundárias além da análise das sondagens e diagrfias, como trabalhos de campo, difracção de raios-X, espectrometria de raios gama em afloramento e alguma aplicação de geoestatística. O quarto capítulo (IV) apresenta os resultados obtidos da aplicação das metodologias, começando primeiro pelos resultados resultantes da análise das sondagens e diagrfias, e em segundo pelos resultados da análise de campo. O quinto capítulo (V) trata da discussão e interpretação de todos os resultados obtidos com enfoque na variação dos dados de RGT e na análise sequencial, a variabilidade faciológica da Fm de Coimbra e, por último, a Fm de Coimbra como unidade potencialmente geradora de hidrocarbonetos e reservatório, com importância nos

sistemas petrolíferos da BL. O sexto e último capítulo materializa-se nas considerações finais, onde se faz uma retrospectiva do cumprimento dos objectivos, se descreve as dificuldades encontradas na realização desta investigação, assim como a perspectiva de possíveis trabalhos futuros.

## II. Enquadramento do Estudo

Este capítulo pretende apresentar a dinâmica e evolução da BL na qual se insere a Fm de Coimbra, a unidade em estudo no presente trabalho. Posteriormente serão apresentados os antecedentes de trabalhos dedicados a esta unidade, e os princípios teóricos da espectrometria de radiação gama (GR) enquanto técnica aplicada à geologia sedimentar.

### 1. A Bacia Lusitânica

#### 1.1. Estrutura da Bacia

A fragmentação da Pangeia durante o Triásico Superior é um evento que levou à formação de várias bacias sedimentares na qual se insere a BL. Estas bacias têm denominação de bacias marginais atlânticas. Durante a sua formação e evolução, a BL passou por fases distensivas, soerguimentos e inversões tectónicas em resultado da evolução tectónica do Soco Ibérico e abertura e fecho, respetivamente dos oceanos Atlântico e Tétis (ver, por exemplo Wilson *et al.*, 1988; Pinheiro *et al.*, 1996).

A BL situa-se entre a Bacia de Peniche a ocidente, a Bacia do Alentejo a sul, e a Bacia do Porto e Bacia Interior da Galiza a norte (Fig. II 1). Estruturalmente é delimitada a S pela Falha da Arrábida (FAr) (Fig. II 2), marcando o limite com a Bacia do Alentejo. A norte e a oriente, é separada pela falha de cisalhamento Porto-Tomar (FPT). Por último, a ocidente ocorre o *horst* das Berlengas marcando o limite com a Bacia de Peniche (Kullberg *et al.*, 2013).

Quanto às delimitações internas da BL, ao longo das últimas décadas tem sido sugerida a sua repartição em sectores. A primeira proposta desta divisão foi sugerida por Rocha & Soares (1984), baseada no registo sedimentar/estratigráfico. Esta divisão foi mais tarde actualizada por Ribeiro *et al.*, (1996) e sistematizada em Kullberg *et al.* (2013) (Fig. II 1):

- Sector Setentrional, limitado a sul pelo alinhamento (falha) Lousã-Pombal-Nazaré, com grande espessura de sedimentos depositados durante o Jurássico Inferior e Médio, e o Cretácico Superior ao Paleogénico.

- Sector Central, situado entre o alinhamento Lousã-Pombal-Nazaré, e o alinhamento Torres Vedras-Montejunto-Arrife a sul, onde há grande espessura do Jurássico Médio. Corresponde à área aflorante do Maciço Calcário Estremenho.

- Sector Meridional, limitado a norte pelo alinhamento Torres Vedras-Montejuento-Arife e a sul pela falha da Arrábida, com grande importância da sedimentação do Jurássico Superior ao Cretácico Inferior.

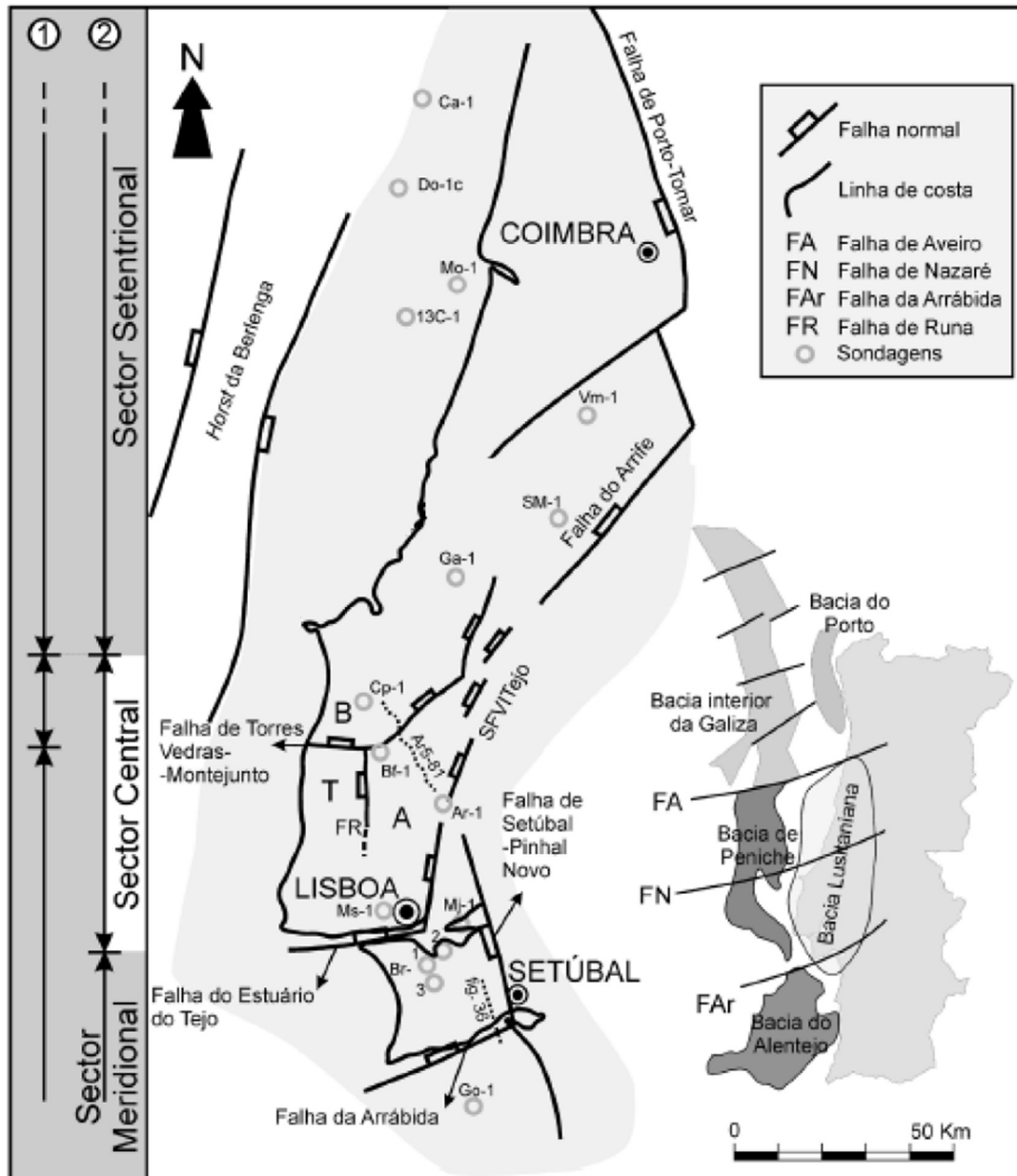


Figura II 1. Enquadramento geográfico e tectónico, e definição de sectores da Bacia Lusitânica e localização em relação a outras bacias Ibéricas da Margem Atlântica. (1- Rocha & Soares 1984; 2-Ribeiro *et al.*, 1996). Retirado e adaptado de Kullberg *et al.*, (2013).

O horst das Berlengas que faz a delimitação do bordo ocidental da BL tem uma orientação NNE-SSW e constituiu um bordo levantado do soco Paleozóico, que é activo ao longo da maior parte do tempo da evolução da BL (Kullberg *et al.*, 2013). A sul, a falha da Arrábida considera-se como uma falha delimitadora da bacia devido à grande

diferença de espessura entre as unidades jurássicas, e devido à área a sul desta falha apresentar geometrias distintas das observadas na BL (ver Kullberg *et al.*, 2013). A norte são consideradas duas hipóteses ainda em discussão: **i)** Ribeiro *et al.* (1996) considera uma zona de transição *en échelon* entre a BL e a Bacia do Porto; **ii)** Alves *et al.* (2003) considera a existência de uma sub-bacia intermédia, denominada de sub-bacia de Aveiro que se situa num relevo estrutural, e que confina com o extremo setentrional da BL através da falha de Aveiro.

A BL é ainda estruturalmente condicionada por uma zona aprofundada, materializada pelo *graben* de Monte Real, na zona setentrional e pelo *graben* de S. Mamede na zona central (Kullberg *et al.*, 2013) estando estas duas estruturas separadas pelo alinhamento Lousã-Pombal-Nazaré (Fig. II 2). No Anexo I é apresentado o mapa de contorno estrutural actual do soco, no qual os locais onde o soco se encontra a maior profundidade corresponde também aos locais onde a BL terá maior espessura de sedimentos.

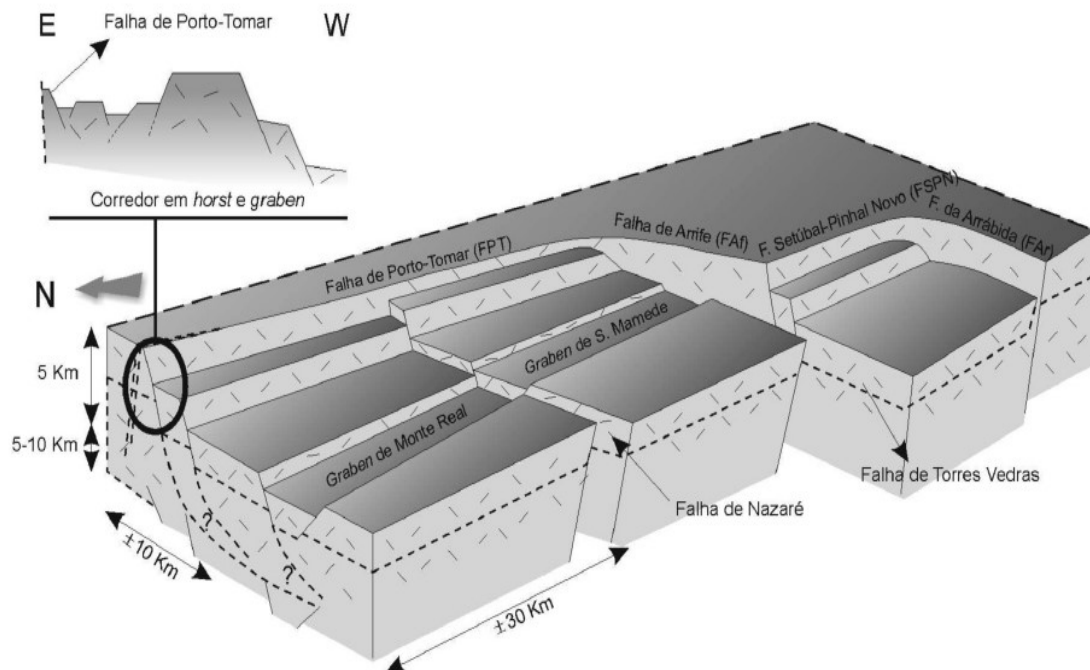


Figura II 2. Modelo tridimensional do soco Varisco, demonstrando a interligação das falhas extensionais N-S (Falha de Porto-Tomar) e NE-SW/NNE-SSW (Falha da Nazaré, Falha do Arrife, Falha da Arrábida). Este modelo representa a fase final da evolução da bacia (adaptado de Ribeiro *et al.*, 1996, in Kullberg *et al.*, 2013).



## 1.2. Evolução da Bacia Lusitânica

A BL tem a sua formação e conseqüente evolução a partir de uma fase distensiva ocorrida durante o Triásico, observando-se uma sedimentação que se prolonga até ao final do Cretácico (ver, por exemplo, Azerêdo *et al.*, 2003; Rey *et al.*, 2006; Kullberg *et al.*, 2013). Neste enchimento, que pode totalizar cerca de 5km de espessura (Ribeiro *et al.*, 1979; Wilson, 1988; Azerêdo *et al.*, 2002), evidenciam-se quatro ciclos sedimentares de primeira ordem delimitadas por descontinuidades (Ellis *et al.*, 1990; Wilson *et al.*, 1990): **Ciclo I** – Triásico Médio (?) ao Caloviano; **Ciclo II** – Oxfordiano médio ao Berriasiano; **Ciclo III** – Berriasiano ao Aptiano inferior; e por último, o **Ciclo IV** – Aptiano superior ao Turoniano (Wilson, 1988; Ellis *et al.*, 1990). Tendo em conta os objectivos do trabalho, faz-se aqui uma caracterização destes ciclos para um melhor entendimento das unidades que possam ter alguma conexão com a Fm de Coimbra nos eventuais sistemas petrolíferos.

### 1.2.1. Ciclo I - Triásico ao Caloviano

No primeiro ciclo sedimentar ocorre a transição de uma bacia endorreica com fluxo de sedimentos siliciclásticos para uma bacia exorreica de domínio carbonatado. O quadro litoestratigráfico que compreende o período de tempo deste primeiro ciclo, bem como a unidade em estudo é apresentado na Fig. II 3.

O enchimento sedimentar inicial tem a sua origem faciológica típica de qualquer bacia intracontinental do tipo rifte. Este período inicial foi amplamente estudado por Palain (1976), que analisou os afloramentos na região marginal oriental da bacia e caracterizou as suas observações em vários termos estratigráficos e sequenciais. A organização litoestratigráfica é composta por séries siliciclásticas, por vezes muito grosseiras, que vão evoluindo gradualmente para séries siliciclásticas mais finas e carbonatadas (Grupo Grés de Silves; Palain, 1976; Soares *et al.*, 2012). Este enchimento corresponde a uma fase inicial do preenchimento da bacia, em que foi gerado grande espaço de acomodação rapidamente preenchido por sedimentação aluvio-fluvial, com uma invasão gradual do mar em regime margino marinho restrito. O meio de drenagem endorreica ao início seria de alta energia, com acumulações associadas a ambiente de leque aluvial, evoluindo para uma planície aluvial com esporádicos episódios de inundação num clima árido (Palain, 1976). Eventualmente ter-se-á instalado um sistema lagunar juntamente com a diminuição da energia de

drenagem, que se terá tornado durante o Hetangiano num lago salino comparável aos actuais ambientes do tipo *sabkha*, com a deposição de espessas camadas de lutitos e evaporítos, devido à influência marinha de ocidente. Representando a Fm de Pereiros e a Fm Dagorda, respectivamente fácies proximais e distais deste paleoambiente, foram os antecedentes da influência marinha permanente. Nos ambientes proximais depositaram-se arenitos e dolomitos, e nos ambientes mais distais argilitos e evaporítos. Na zona meridional da bacia entre estas fácies ocorrem episódios vulcânicos associados ao rifte, correspondendo ao designado Complexo Vulcano Sedimentar (Manuppella, 1983; Martins, 1991; Manuppella & Azerêdo, 1996).

A partir do Sinemuriano instala-se uma rampa carbonatada de baixa energia, marcada pelo término de fácies evaporíticas. A bacia passa a entrar em contacto com o meio marinho, registando as primeiras amonites (Mouterde *et al.*, 1981; Dommergues *et al.*, 2010) (Fig. II 4). Esta rampa tinha um aprofundamento para NW (Duarte *et al.*, 2010, 2013) e as primeiras unidades carbonatadas que se depositaram correspondem à Fm de Coimbra e à Fm de São Miguel. A Fm de Coimbra, primeira unidade da sequência carbonatada, é composta por dolomitos e calcários; a Fm de São Miguel, depositada sobre a Fm de Coimbra, é composta por calcários. Entre estas duas existe uma descontinuidade (D3c *in* Soares *et al.*, 1993; Kullberg *et al.*, 2013; Dimuccio, 2014) (Figura II 3 e Fig. II 5). Paralelamente à Fm de São Miguel, que representa o Sinemuriano final no bordo oriental da bacia, no bordo ocidental ocorre a Fm Água de Madeiros (Duarte & Soares, 2002; Duarte *et al.*, 2010) composta por intervalos margo-calcários ricos em matéria orgânica. Sobre estas, ocorre uma importante descontinuidade bacinal (D4 *in* Soares *et al.*, 1993) causada pela abertura acentuada e drástica da rampa carbonatada ao meio marinho aberto. Instala-se uma rampa carbonatada homoclinal inclinada para W/NW (Duarte *et al.*, 2010) definindo-se um conjunto de unidades litoestratigráficas margo-calcárias formalizadas em Duarte & Soares (2002): as formações de Vale das Fontes, Lemede e S. Gião, que abrangem a parte restante do Jurássico Inferior, ou seja, o Pliensbaquiano e o Toarciano. No Pliensbaquiano a sedimentação é essencialmente margo-calcária, materializada pela Fm de Vale das Fontes, evidenciando-se no seu topo uma sedimentação rica em matéria orgânica resultante de uma fase de aprofundamento deposicional da bacia (Duarte *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2011, 2015). No final do Pliensbaquiano ocorre uma fase regressiva marcada pela deposição de sucessões de calcários margosos e micríticos que alternam com margas calcárias cinzentas, a Fm de Lemede, culminando numa descontinuidade regional (D5 *in* Soares *et al.*, 1993; Duarte, 2007; Duarte *et al.*, 2010). A Figura II 5 demonstra o quadro litoestratigráfico mais recente da base do Jurássico Inferior nos sectores norte e central da BL.

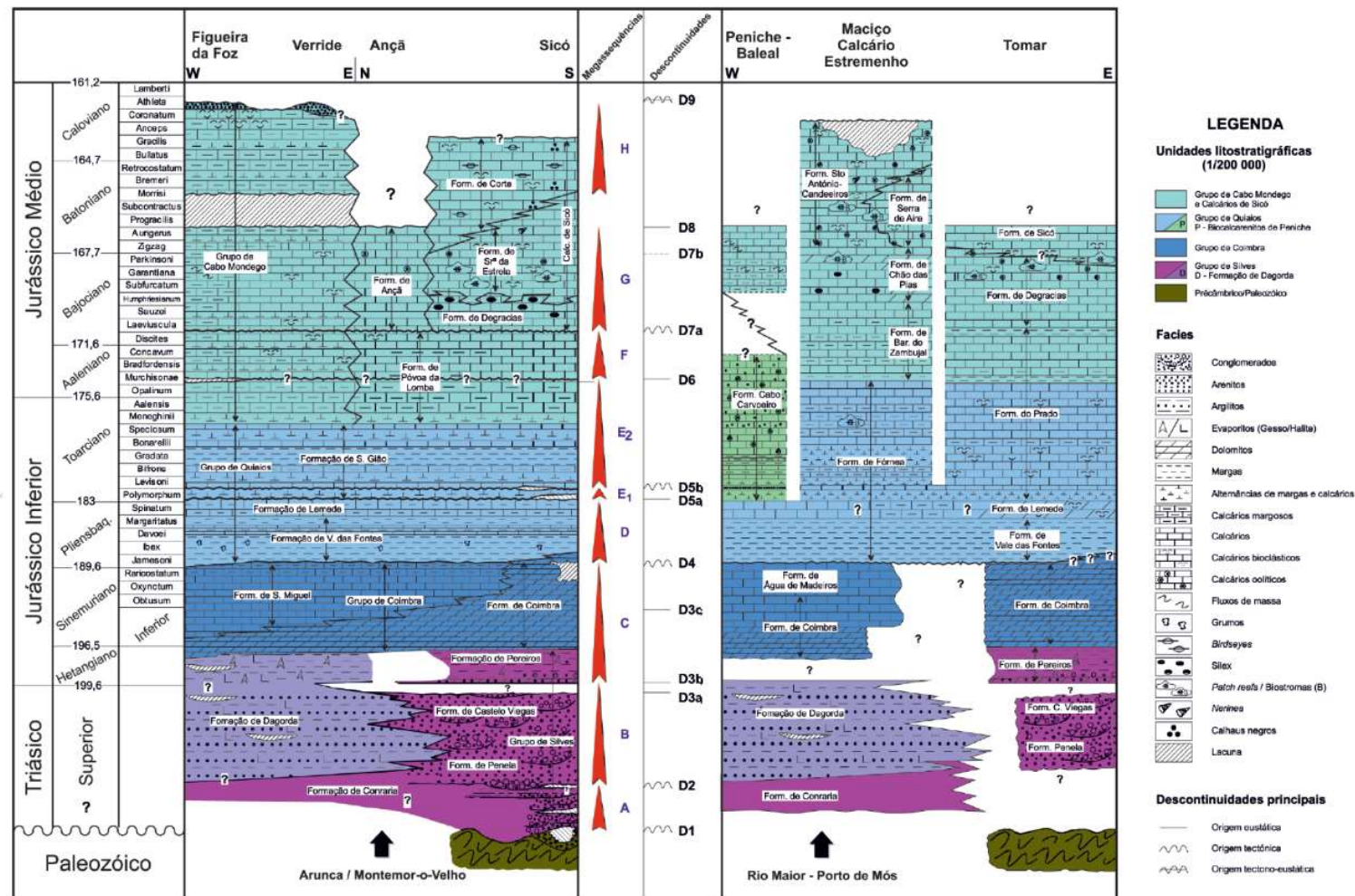


Figura II 3. Quadro litoestratigráfico representando o sector setentrional e central da BL do Triásico ao Jurássico Médio. A Figura apresenta a organização da bacia durante as fases primárias de *rifting* e respetiva hierarquização sequencial, bem como todo o primeiro ciclo sedimentar de primeira ordem (Kullberg *et al.*, 2013).

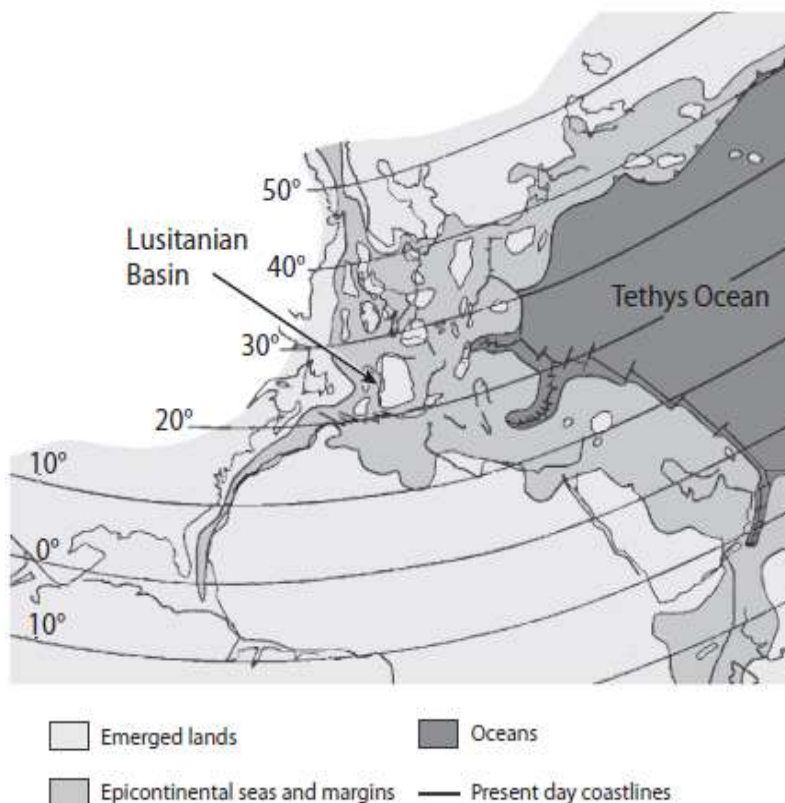


Figura II 4. Paleogeografia da BL, durante o Jurássico Inferior (modificado de Baudin *et al.*, 1990, in Bruneau *et al.*, 2018).

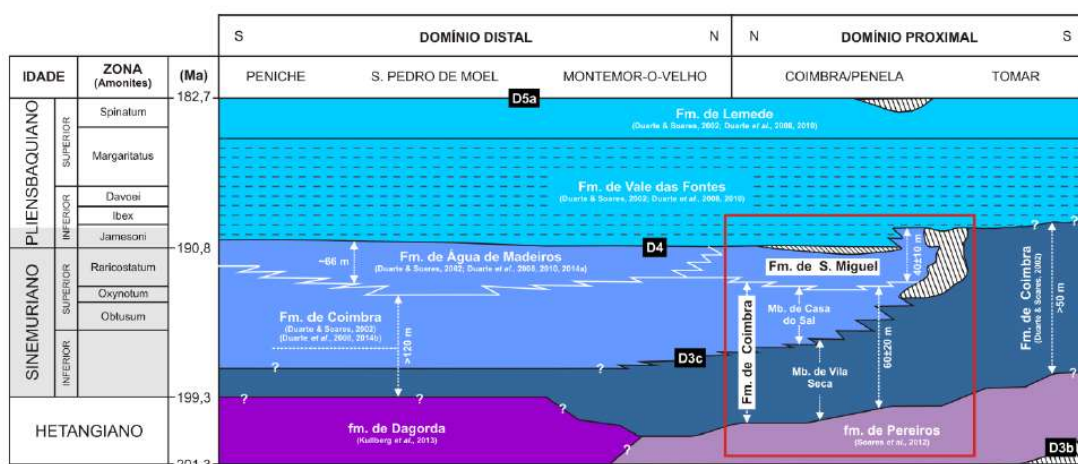


Figura II 5. Enquadramento crono e biostratigráfico regional atualizado das unidades litoestratigráficas da base do Jurássico Inferior dos sectores norte e central da Bacia Lusitânica. A escala geocronológica é a de Cohen *et al.* (2013) D3b, D3c, D4 e D5a indicam as discontinuidades sedimentares regionais definidas por Soares *et al.* (1993), Duarte *et al.* (2010, 2014), Kullberg *et al.* (2013) e Dimuccio (2014). As áreas em tracejado indicam lacunas de carácter local. (in Dimuccio *et al.*, 2016).



No Toarciano desenvolvem-se esquemas paleogeográficos de vasto domínio da rampa distal (Duarte, 1997). Episódios de fluxos gravíticos são expressivos nas porções ocidentais devido ao levantamento tectónico do *horst* das Berlengas (Fm do Cabo Carvoeiro), incluindo a ocorrência de paleossismos na região de Sesimbra, bem como de fácies bioconstruídas a oriente (Wright & Wilson, 1984; Duarte, 1997; Duarte *et al.*, 2001; Kullberg *et al.*, 2001). O Toarciano é demarcado por uma forte variabilidade de fácies em todos os domínios da bacia (Duarte & Soares, 1993; Duarte, 1997). Individualiza-se a Fm S. Gião dominada por séries margo-calcárias em grande parte da sua extensão (Duarte & Soares, 2002).

A transição Jurássico Inferior-Médio, materializada pela Fm Povia da Lomba é demarcada pelo incremento da diferenciação rampa proximal e distal, acompanhado pelo decréscimo gradual do espaço de acomodação disponível e hiatos localizados. O sistema de rampa carbonatada vai evoluir para um sistema de alta energia e adquirir a sua expressão máxima (Azerêdo, 1998). A sedimentação margosa do Toarciano foi gradualmente substituída por sedimentação carbonatada a norte e a sul (*e.g.* Grupo do Cabo Mondego, Fm de Ançã, Fm de Degracias; Fm de Santo António e Candeeiros, Fm de Serra de Aires. Ver Fig. II.3) (Witt, 1977; Azerêdo *et al.*, 2003). Durante o Bajociano e a base do Batoniano a rampa carbonatada encontra-se assim em fase progradante (Azerêdo *et al.*, 2003). Seguidamente, acentua-se de forma gradual a tendência regressiva na generalidade da bacia com ocorrência de fácies de pequena a média profundidade a E/SE e retração de fácies mais externas para W/NW (Mouterde *et al.*, 1971, 1979; Mouterde & Ruget, 1975; Rocha *et al.*, 1987; Azerêdo, 1993). Esta regressão marinha levou a condições de águas rasas e eventualmente a exposição subaérea criando um hiato deposicional por toda a BL no Caloviano superior (embora a oriente possa abranger o Batoniano superior) ao Oxfordiano Inferior (Wilson, 1988; Azerêdo *et al.*, 2002).

### **1.2.2. Ciclo II - Oxfordiano superior ao Berriasiano**

O segundo ciclo tem o seu início no Oxfordiano (Wilson, 1988; Wilson *et al.*, 1989; Azerêdo *et al.*, 2003; Kullberg *et al.*, 2013) com uma completa reorganização estrutural da bacia. Esta foi causada numa fase de rifting (Wilson *et al.*, 1989; Reis *et al.*, 2000), que terá provocado a desintegração em várias sub-bacias (Leinfelder & Wilson, 1998; Reis *et al.*, 2000). O pendor da bacia orientado para NW durante o Jurássico Inferior e Médio, vai transitar durante o Jurássico Superior para SSW

(Pimentel & Pena dos Reis, 2016). É ainda durante este ciclo que começam a ocorrer movimentos localizados de falhas e movimentos halocinéticos, que terão influenciado a acomodação e distribuição de fácies (Wilson, 1988; Wilson *et al.*, 1989). Ocorrem durante o Jurássico Superior complexos padrões faciológicos tanto continentais como marinhos e mistos (Alves *et al.*, 2003).

O primeiro registo sedimentar corresponde à Fm de Cabaços, constituída por calcários margosos laminados, localmente ricos em matéria orgânica, correspondendo a ambientes deposicionais do tipo lacustre, e marinho raso (Ramalho, 1971; Azerêdo *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2014). Sobre esta unidade deposita-se a Fm Montejunto composta por carbonatos marinhos (Mouterde *et al.*, 1979; Wilson *et al.*, 1989; Alves *et al.*, 2003) após uma rápida transgressão (Atrops & Marques, 1988) (Fig. II 6).

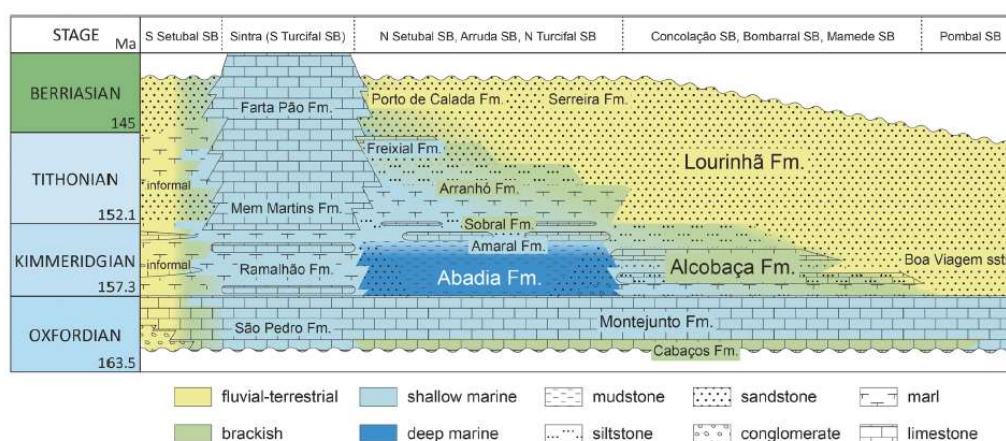


Figura II 6. Quadro litoestratigráfico do Jurássico Superior ao Berriasiano, exibindo o segundo ciclo de primeira ordem (*in Fursich et al.*, 2021).

Do Oxfordiano ao Berriasiano ocorre um incremento de *input* de sedimentos siliciclásticos (Leinfelder & Wilson, 1989), representados por fácies marinhas de pouca profundidade a fácies fluviais. Ocorre a Fm de Abadia, composta por fácies arenosas turbídicas e margas, que se define na parte sudoeste e central da bacia; a Fm de Alcobaca, composta por calcários transicionais e arenitos representa uma unidade intermédia, e por último a norte ocorrem apenas fácies siliciclásticas fluviais (Fm da Boa Viagem) (Wilson *et al.*, 1989; Alves *et al.*, 2002, 2003; Pimentel & Pena dos Reis, 2016) (Fig. II 6). Estas unidades de idade kimmeridgiana são substituídas pela Fm da Lourinhã à medida que ocorre a progradação das fácies fluviais durante o Tithoniano e o Berriasiano, dominando a sucessão sedimentar no norte e oriente da bacia e com características predominantemente fluviais. No entanto a sul e a ocidente persiste sedimentação carbonatada (Wilson *et al.*, 1989; Alves *et al.*, 2003, 2006). Este ciclo

termina com uma descontinuidade (D12 *in* Kullberg *et al.*, 2013) à escala bacinal, excepto nas regiões de Cascais e do Cabo Espichel. Uma proposta de quadro litoestratigráfico deste segundo ciclo é apresentado na Fig. II 6.

### **1.2.3. Ciclo III e Ciclo IV (Valangiano ao Aptiano inferior; Aptiano superior ao Turoniano)**

Durante o Kimmerigiano a BL atingiu o chamado estado de *post-rifte*, resultando a instalação de uma margem passiva (Dinis *et al.*, 2008). No terceiro ciclo de 1ª ordem dá-se assim num período de subsidência térmica *post-rifte* durante o Valanginiano ao Aptiano inferior (Driscoll *et al.*, 1995; Wilson *et al.*, 2001), com sedimentos carbonatados e siliciclásticos de ambientes marinhos pouco profundos, lagunares, litorais e fluviais (Rey *et al.*, 2006). Ainda durante o Aptiano, a distensão continental que havia progredido em episódios discretos nas sub-bacias da BL (Pinheiro *et al.*, 1996) vai progredir para nordeste e pelo golfo da Biscaia, causando a rotação anti-horária do Maciço Iberico (Dinis *et al.*, 2008).

Wilson (1988) e Wilson *et al.* (1989) consideram estes dois ciclos em conjunto, apesar de separados por uma importante descontinuidade porque exibem distribuição e fácies similares. Os hiatos deposicionais aumentam de dimensão nas porções orientais da bacia (Rey, 1972), o que levou Wilson *et al.* (1989) a sugerir um movimento contínuo das falhas delimitadoras da Bacia. Rasmussen *et al.* (1998) demonstram que ocorre *uplift* na zona setentrional da BL, interpretando como uma fase de movimentos halocinéticos em conjunto com a inversão tectónica do Jurássico Superior-Cretácico Inferior. No entanto, as alterações eustáticas terão sido a principal variável na distribuição de fácies (Wilson *et al.*, 1989).

Os depósitos iniciais do Cretácico são, como acima evidenciados, incluídos no segundo ciclo, com a progradação dos sistemas aluviais e a redução da área de sedimentação marinha. O registo do Valanginiano ao Barremiano inferior é apenas preservado na zona meridional da Bacia (Dinis *et al.*, 2008). Depois da expansão de fácies fluviais (Fm Vale dos Lobos) a Fm Serradão indica uma instalação de uma rampa carbonatada (Dinis *et al.*, 2008) (Fig. II 7). Uma transgressão (Valanginiano-Hauteriviano) vem mais tarde substituir a sedimentação carbonatada por sedimentação margosa, ocorrendo as formações da Guia e de Macieira (Fig. II 7). Esta transgressão faz ainda a linha de costa avançar para norte e oriente constituindo-se fácies de planícies de maré (formações de S. Lourenço e de Santa Susana) a chegarem até

Torres Vedras e Alenquer (Dinis *et al.*, 2008). O máximo de inundação é atingido com a ocorrência de calcários recifais da Fm de Cabo Raso durante o Hauteriviano inicial, persistindo até ao Barremiano inferior ultimamente materializado pela Fm do Guincho (Dinis *et al.*, 2008) (Fig. II 7). Ainda no Barremiano inferior, na zona de Torres Vedras volta a instalar-se fácies siliciclásticas fluviais ou deltaicas, e um novo ciclo regressivo leva a uma descontinuidade no Barremiano que cria uma emersão bacinal. O agente causador terá sido um *uplift* regional pela oceanização a ocidente da Ibéria (Whitmarsch & Wallace, 2001; Shillington *et al.*, 2004). Após esta emersão, o depocentro da bacia é composto por sedimentos siliciclásticos e dolomíticos finos (Fm de Regatão), tendo sido depositados em planícies costeiras inter a supra mareais e estuários (Dinis *et al.*, 2008). Uma subida eustática permitiu a instalação de uma nova plataforma carbonatada na zona da Ericeira e Arrábida, constituindo a Fm de Crismina (Fig. II 7), e no último membro desta unidade, anterior à descontinuidade que fecha o terceiro ciclo de primeira ordem, ocorrem margas ricas em ostracodos, indicando que a regressão anterior à descontinuidade terá formado um ambiente restrito lagunar (Heimhofer *et al.*, 2005).

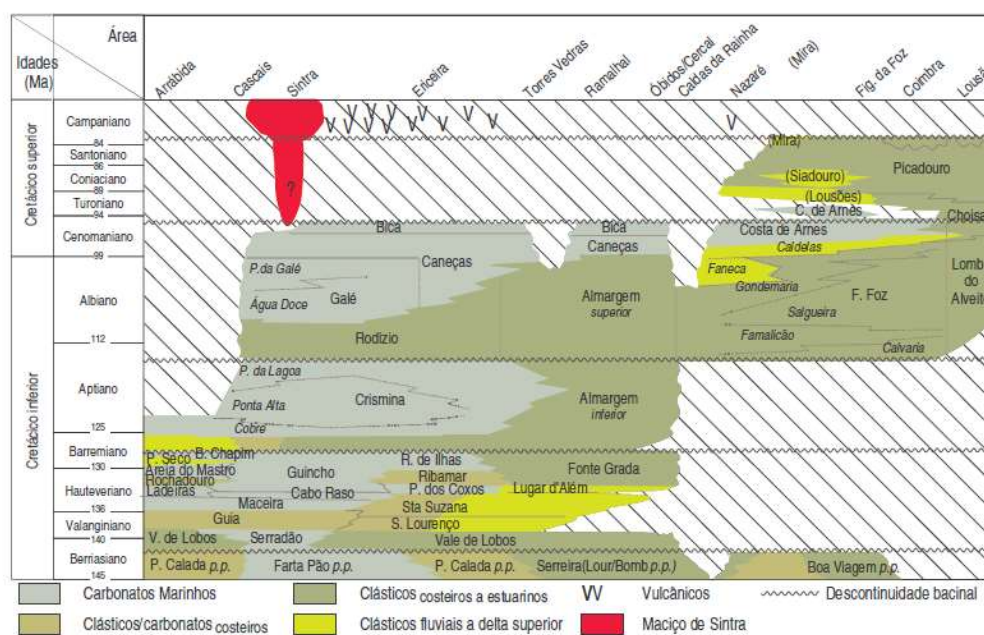


Figura II 7. Quadro litoestratigráfico do Cretácico Inferior e Superior (Dinis *et al.*, 2008).

Na transição Aptiano-Albiano, um evento tectónico criou um hiato deposicional por toda a bacia, provavelmente causado pelo *break-up* e oceanização o sector da Galiza (Scharer *et al.*, 2000). Após este, a Fm do Rodízio e a Fm da Figueira da Foz são testemunhas da rápida progradação de sistemas fluviais entrançados cobrindo a maior parte da BL (Dinis *et al.*, 2008). No Albiano a subida eustática do quarto ciclo de primeira



ordem fez a instalação de uma plataforma carbonatada no sector sul, definindo-se neste sector da bacia a Fm da Galé (Fig. II 7) (Coimbra *et al.*, 2017). O período de transgressão máxima do Cretácico dá-se no Cenomaniano, (Berthou, 1984; Callapez, 2003). Ocorrem a Fm de Caneças, a Fm da Bica (Rey *et al.*, 2006) e a Fm de Costa de Arnes na zona norte da bacia enquanto unidades de domínio carbonatado (Soares *et al.*, 1980; Dinis *et al.*, 2008). Marcando o final do último ciclo, a descontinuidade Cenomaniano-Turoniano exhibe um hiato deposicional sobre uma superfície carsificada (Callapez, 2003, 2004; Dinis *et al.*, 2008) de origem tectónica (Dinis *et al.*, 2008). O registo sedimentar do Cretácico a partir daqui fica restrito à zona norte com progradação de sistemas aluviais e fluviais (Fig. II 7). Ocorre *uplift* do sector sul, alterando a direcção de drenagem para NW (Pena dos Reis, 1983), com o início do Cenozóico.

## 2. A Formação de Coimbra

### 2.1. Antecedentes

Os primeiros dados desta unidade são de Choffat (1880), nomeando-a de “Camadas de Coimbra e Camadas com *Gryphaea obliqua*. Mais tarde em 1903, numa análise a dois perfis na região de Lamas em Coimbra, definiu esta unidade como sendo composta na base por dolomitos e argilitos com espessura entre 70 a 80 metros, e no topo calcários dolomíticos e calcários com espessura superior a 110 metros tendo denominado a unidade de “Fácies de Coimbra”. Mouterde *et al.* (1971, 1981) denominaria esta unidade de Complexo Carbonatado (dolomitos e calcários dolomíticos) incluindo calcários e calcários margosos com *Asteroceras*, *Terebratula ribeiroi* e *Echioceras*, e calcários em bancos espessos com Deroceratídeos.

Soares *et al.* (1985) definiriam também para a região de Coimbra duas unidades fundamentais. Na base situar-se-ia as Camadas de Coimbra (“dolomitos e calcários dolomíticos” em Mouterde *et al.* 1981; “membro dolomítico” em Azerêdo *et al.* 2003) composta por dolomitos interestratificados com margas pseudobrechóides, sendo uma unidade com um máximo 80 metros de espessura na região de Lamas e Rabaçal; e no topo, as Camadas de São Miguel, composta por calcários dolomíticos e calcários interestratificados, com margas cinzentas. O termo informal de Fm de Coimbra foi utilizado por Rocha *et al.* (1990) englobando as “Camadas de Coimbra” e “Camadas de S. Miguel”.

Duarte & Soares (2002) ao identificarem em Peniche, S. Pedro de Moel e Montemor-o-Velho fácies de séries margo calcárias ricas em matéria orgânica e fósseis de amonóides nas porções superiores e laterais das unidades que compõem a base do Jurássico Inferior, diferentes das encontradas na parte oriental da BL, formalizaram a Fm Água de Madeiros, como uma unidade equivalente lateral das Camadas de S. Miguel. Desta forma consideraram a Fm de Coimbra como sendo composta por duas fácies distintas: Camadas de Coimbra e as Camadas de São Miguel na generalidade da bacia, e camadas de Coimbra e Fm de Água de Madeiros em S. Pedro de Moel e Peniche.

Azerêdo *et al.* (2003) subdividiram a Fm de Coimbra em dois membros, um dolomítico, na base, e um membro calcário no topo. Fácies do sector meridional que não foram englobadas nesta nomenclatura, mas que representam o mesmo tipo de características sedimentológicas, inserem-se na Formação de Sesimbra (Azerêdo *et al.*, 2003; também “Dolomitos de Sesimbra” em Manuppella & Azerêdo, 1996) e a Formação Fateota-Santa Cruz (Manuppella, 1983; Manuppella *in* Inverno *et al.*, 1993).

Mais recentemente, para além dos vários trabalhos de síntese (por exemplo, Soares *et al.*, 2007; Kullberg *et al.*, 2013), destacam-se os trabalhos de Dimuccio *et al.* (2014, 2016) na caracterização litológica detalhada e definição litoestratigráfica da Fm de Coimbra na região de Coimbra, e Duarte *et al.* (2014b) na caracterização litológica e definição litoestratigráfica e interpretação sequencial da Fm de Coimbra na região de S. Pedro de Moel.

Para os estudos de datação relativa, são importantes os dados de paleontologia. Relativamente à macropaleontologia, os primeiros trabalhos foram realizados por Sharpe (1850) e Choffat (1880, 1903/1904, 1905, 1908) e mais tarde revistos para melhor zonamento bioestratigráfico por Mouterde (1955, 1967) Mouterde *et al.* (1965, 1971, 1978, 1980, 1981) Antunes *et al.* (1981) e Dommergues & Mouterde (1987). Azerêdo *et al.* (2003) integrou os resultados obtidos pelos autores anteriores num quadro e síntese litoestratigráfica e paleogeográfica do Jurássico Inferior-Médio. O estudo detalhado de amonóides do Jurássico descritos por Dommergues *et al.* (2004, 2010) Comas-Rengifo *et al.* (2013) e Duarte *et al.* (2014a), e o estudo da análise bioestratigráfica, taxonómica e paleoecológica da fauna de ostracodos por Loureiro *et al.* (2011, 2013) e Cabral *et al.* (2013, 2015) pós-tumos ao trabalho de Azerêdo *et al.* (2003) definem o melhoramento dos resultados dos autores do século passado. Aos novos trabalhos na área da paleontologia juntam-se ainda a caracterização bioestratigráfica dos nanofósseis calcários do Sinemuriano por Mattioli *et al.* (2013) e ainda a caracterização e interpretação do ponto de vista paleoambiental relativo às cúpulas estromatolíticas que ocorrem em S. Pedro de Moel por Azerêdo *et al.* (2010).

## 2.2. A importância no contexto da geologia do petróleo

Dos trabalhos mais recentes, e essencialmente ligados ao tema da geologia do petróleo, destacam-se os seguintes autores: **i)** Duarte *et al.* (2008, 2014b) em características sedimentares litoestratigráficas e bioestratigráficas em S. Pedro de Moel e Peniche para a Fm de Coimbra, Água de Madeiros e Vale das Fontes; **ii)** Duarte *et al.* (2010, 2012, 2013, 2014b), Correia *et al.* (2012, 2013), Silva *et al.* (2013, 2015), Poças Ribeiro *et al.* (2013) e Mendonça Filho *et al.* (2013) na caracterização geoquímica e petrográfica do conteúdo em matéria orgânica; **iii)** Duarte *et al.* (2014b) Sêco *et al.* (2018) na identificação de unidades potencialmente geradoras do Jurássico Inferior na BL; **iv)** Brito *et al.* (2017) nos índices de carbono orgânico total (COT) em óleos e correlação com rochas geradoras na Bacia Lusitânica; **v)** Bruneau *et al.* (2018) na modelação da distribuição de matéria orgânica marinha nas sequências do Jurássico Inferior.

No sector norte da bacia, foi demonstrado o potencial gerador dos intervalos ricos em matéria orgânica do Sinemuriano por Poças Ribeiro *et al.* (2013), Duarte *et al.* (2014b) e Brito *et al.* (2017) na Fm de Coimbra, tendo sido estudadas as três subunidades de natureza mais margosa: a UA, a UF e a UH (previamente definidas em Azerêdo *et al.*, 2010 e Duarte *et al.*, 2014b), revelando teores de COT entre 2 a 11.5% (destacando-se a unidade F) (segundo Duarte *et al.*, 2013, 2014b; e Poças Ribeiro *et al.*, 2013; Brito *et al.*, 2017). Em Brito *et al.* (2017) foi demonstrado que a unidade F tem um potencial excelente para a geração de petróleo, e que a unidade A e H têm um bom a muito bom potencial de geração de petróleo. Foi ainda demonstrado que foi gerado petróleo na Fm de Coimbra e que ele terá sido acumulado em alguns casos na própria unidade, e unidade sobrejacente, que terá migrado (será discutido mais à frente no Cap. V).

Para finalizar, e sendo a base para a presente dissertação, utilizando dados de radiação gama para a correlação litoestratigráfica, e ainda a identificação de intervalos de alto nível de COT através de dados de GR destacam-se os trabalhos de Correia *et al.* (2012, 2013) Sêco *et al.* (2018, 2019).

### 3. Espectrometria de Raios Gamma

Os espectros de contagens das emissões gama em rochas são determinados a partir dos radioisótopos de K-40, e os das séries de decaimento do Th-232 e U-238, e que permitem, através da variabilidade das suas concentrações, a definição de fácies, identificação de intervalos mais argilosos e análise de séries ricas em matéria orgânica (e.g. Zelt, 1984; Myers & Wignall, 1987; Hansley & Spirakis, 1992; Aigner *et al.*, 1995; Bessa & Hesselbo, 1996; Luning *et al.*, 2000; Cranganu & Bautu, 2010; Gómez *et al.*, 2016; Sêco *et al.*, 2018).

O K, Th e o U são os radioelementos mais abundantes na natureza e são os que suportam os estudos da espectrometria de raios gama. O K, sendo o mais abundante, encontra-se presente em minerais silicilásticos, argilosos e sais. O Th é um elemento bastante estável e insolúvel (Langmuir & Herman, 1980), que por este motivo ocorre em maiores concentrações nos depósitos terrígenos, e sedimentos finos associados a ambientes hemipelágicos, ou está presente na estrutura de minerais pesados (Hesselbo, 1996). Conjuntamente, estes dois elementos podem ser utilizados como indicadores de conteúdo argiloso em rochas carbonatadas (Sêco, 2020). O U é destes três elementos o menos abundante, e muito associado às rochas graníticas (Guthrie & Kleeman, 1986; Pereira *et al.*, 2010). A meteorização e erosão de rochas enriquecidas em U, e dado a sua grande solubilidade e mobilidade, pode precipitar a grandes distâncias da fonte e provocam um enriquecimento deste elemento nas águas e sedimentos marinhos (Wignall & Myers, 1988). Em ambientes marinhos, o U tende a precipitar mais em condições anóxicas, associando-se às maiores concentrações de matéria orgânica (e.g. Schmoker, 1981; Meyer & Nederlof, 1984; Zelt, 1985; Wignall & Myers, 1988). Adicionalmente, é bem conhecido que a matéria orgânica tem baixa densidade, alta resistividade, baixa velocidade sónica e alta contagem de Radiação Gama Total (RGT) associado ao U autigénico (e.g. Myers & Wignall, 1987; Correia *et al.*, 2012; Sêco *et al.*, 2019). Apesar do *logging* de RGT não fornecer informação direta sobre a geoquímica orgânica, permite a identificação dos intervalos ricos em matéria orgânica (e.g. Correia *et al.*, 2012; Rouse & Houseknecht, 2016; Sêco *et al.*, 2018)

Em sucessões margo-calcárias, a variação decrescente e os valores mais baixos de RGT podem estar associados a sedimentos bem calcários, associados a intervalos regressivos, e os seus valores mínimos a corresponderem aos limites de sequência (Sêco *et al.*, 2018). No caso do Jurássico Inferior e Médio da BL, já foi demonstrada uma boa correlação entre a aplicação da radiação gama com a estratigrafia sequencial. Por exemplo, a proposta de estratigrafia sequencial de Duarte *et al.* (2010, 2014b) e de

Azerêdo *et al.* (2014) correlacionam-se com os casos de estudo de Correia *et al.* (2012, 2013), Sêco *et al.* (2018, 2019) e Sêco (2019). Em contraste, os valores crescentes e os maiores de RGT estão associados a intervalos argilosos ricos em matéria orgânica, interpretados como transgressivos, com os valores máximos a corresponderem aos intervalos de máxima inundação (ver referências anteriores).

As unidades do Jurássico Inferior da BL correspondem, maioritariamente, a sucessões margo-calcárias com intervalos de domínio calcário e níveis ricos em matéria orgânica (Oliveira *et al.*, 2006; Duarte *et al.*, 2010,2012; Silva *et al.*, 2011), o que permite que haja uma variabilidade espectrométrica intrinsecamente ligada com as suas variações paleoambientais. Pelos trabalhos de Correia *et al.* (2012, 2013) e Sêco *et al.* (2018, 2019) já foi demonstrado o sucesso na aplicação desta metodologia no reconhecimento das fases regressivas, limites de sequência e intervalos de máxima inundação.

Em Portugal, o estudo pioneiro de RGT na BL apresentado em Correia *et al.* (2012) concentra-se essencialmente nas unidades do Sinemuriano terminal e do Pliensbaquiano (formações de Água de Madeiros e de Vale das Fontes). Os resultados obtidos exibem: **i)** uma boa semelhança entre as características sedimentares observadas em afloramento e as variações das concentrações de Th e K; **ii)** uma boa correlação com os ciclos transgressivos e regressivos do Sinemuriano-Pliensbaquiano; **iii)** identificação dos intervalos de máxima inundação; **iv)** uma boa correlação entre as unidades com elevado potencial de geração de hidrocarbonetos e o conteúdo em U autigénico. Sêco *et al.* (2018), por sua vez, demonstra a utilidade do RGT na correlação estratigráfica entre sondagens e afloramentos de praticamente todo o Sinemuriano e Pliensbaquiano, bem como o reconhecimento de intervalos ricos em matéria orgânica, abrangendo também toda a Fm de Coimbra. Este estudo demonstrou para o mesmo intervalo de tempo, uma boa correlação entre os ciclos de 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> ordem, bem como a variabilidade lateral das unidades em diferentes setores da BL (*onshore* e *offshore*).

### III. Metodologia

O desenvolvimento deste trabalho fundamentou-se em três vertentes metodológicas: 1. **Seleção de sondagens e afloramentos** relevantes que mostrem o registo da Fm de Coimbra, bem como o seu reconhecimento litoestratigráfico; 2. **Análise e interpretação dos dados de radiação gama** de cada sondagem; 3. **Estudos de campo** com vista ao reconhecimento e análise dos limites basal e superior da Fm de Coimbra em locais de referência, bem como aquisição de dados radiométricos e recolha de amostras para análise de **difracção de raios-x**.

#### 1. Seleção de sondagens e afloramentos

Do vasto conjunto de dados de sondagem disponibilizados pela Entidade Nacional para o Mercado de Combustíveis (ENMC) foram seleccionadas dezanove sondagens, localizadas no *onshore* e *offshore* da BL. Onze destas sondagens estão localizadas no *offshore*, sobre uma direcção N-S, que abrangem a área entre Aveiro e Sines, e as restantes oito sondagens entre a Figueira da Foz e Sesimbra, em *onshore*, também numa direcção N-S.

Em termos do trabalho de campo foram seleccionados quatro locais: **i)** perfil do bairro de S. Miguel em Coimbra, onde ocorre o contacto das formações de S. Miguel (Dimuccio *et al.*, 2016) e de Vale das Fontes (Duarte & Soares, 2002); **ii)** perfil de Lamas na N342, junto à A13, onde se dá o contacto da Fm de Pereiros com a Fm de Coimbra; **iii)** perfil da Praia da Concha (S. Pedro de Moel), onde está presente a sucessão mais completa da Fm de Coimbra no bordo ocidental da BL; **iv)** perfil da ponta da Papôa (Peniche) onde se encontra o contacto do topo da Fm de Coimbra com a Fm de Água de Madeiros.

A Fig. III 1 demonstra a localização das sondagens e afloramentos estudados na presente dissertação. As Tabelas III 1 e III.2 indicam as coordenadas geográficas das sondagens *offshore* e *onshore*, respectivamente; e a Tabela III 3 mostra as coordenadas geográficas dos afloramentos estudados.





Figura III 1. Localização geográfica das sondagens (branco) e dos afloramentos estudados (amarelo). De acordo com o texto, estes estão organizados em três sectores (ver Figura II 1): Setentrional (Carapau-1, Dourada-1C, 13E-1, Moreia-1, 14C-1A, Faneca-1, 14A-1, Monte Real Oeste-9, S. Pedro de Moel-2; Bairro S. Miguel, Lamas, Praia da Concha), Central (Aljubarrota-2, 17C-1, Gaiteiros-1, 17C-1, 20B-1, São Mamede-1, Benfeito-1, Sobral-1; Papôa) e Meridional (Montijo-1, Golfinho-1, Pescada-1).

Tabela III 3. Localização geográfica das sondagens *Offshore*.

Sondagens <i>offshore</i>	Latitude	Longitude
Carapau-1	40°30'52.95"N	9° 2'29.94"W
Dourada-1C	40°19'43.74"N	9° 6'23.36"W
13E – 1	40° 6'57.94"N	9°12'20.95"W
Moreia-1	40° 6'14.49"N	8°59'29.63"W
14C-1A	39°58'7.50"N	9°24'3.00"W
Faneca-1	39°54'9.93"N	9°15'51.98"W
14A-1	39°56'8.88"N	9° 1'51.32"W
17C-1	39°29'18.28"N	9°22'0.20"W
20B-1	39° 4'48.30"N	9°36'2.40"W
Golfinho-1	38°20'35.24"N	8°57'12.44"W
Pescada-1	38° 8'7.10"N	9° 2'8.60"W

Tabela III 4. Localização geográfica das sondagens *Onshore*.

Sondagens <i>onshore</i>	Latitude	Longitude
Monte Real Oeste-9	39°51'52.79"N	8°52'21.72"W
S. Pedro de Moel-2	39°45'25.69"N	8°58'11.17"W
Aljubarrota-2	39°33'49.21"N	8°54'41.98"W
Gaiteiros-1	39°28'14.65"N	9° 0'2.00"W
Benfeito-1	39° 7'57.40"N	9° 7'10.40"W
Sobral-1	38°57'28.29"N	9°11'39.00"W
Montijo-1	38°42'14.45"N	8°56'20.76"W
São Mamede-1	38°35'37.94"N	8°43'27.71"W

Tabela III 3. Localização geográfica dos afloramentos estudados.

Afloramentos	Latitude	Longitude
Bairro de S. Miguel	40°14'16.24"N	8°25'52.19"W
Praia da Concha	39°46'3.98"N	9° 1'46.00"W
Lamas	40° 5'10.52"N	8°23'22.21"W
Papôa	39°22'29.47"N	9°22'41.87"W



## 2. Análise e interpretação dos dados de radiação gama

Esta fase consistiu na análise exaustiva dos relatórios de cada sondagem, bem como os dados de radiação gama contidos em cada sondagem, e na montagem da informação interpretada em imagens com a respectiva litoestratigrafia diagrafia de RGT de cada sondagem e informação de indícios de hidrocarbonetos (HC). Este capítulo é dividido em quatro partes:

- Análise da informação de cada sondagem;
- análise e interpretação dos dados de RGT;
- colunas litoestratigráficas e diagrfias de RGT; e
- análise de variação espacial por técnicas de geoestatística.

### 2.1. Análise da informação de cada sondagem

Os dados das sondagens *offshore* incluíam para além do relatório de sondagem, o *composite log*. Os dados das sondagens *onshore* por sua vez, para além do relatório de sondagem só incluíam os dados de diagrfias, incluindo o perfil vertical de RGT. Os relatórios de sondagem encontravam-se, geralmente, com escassez de informação e por vezes ilegível, com nomenclaturas cronológicas em desuso, sem as unidades estratigráficas identificadas ou mal identificadas e delimitadas, e erros associados à interpretação, incluindo falhas e descontinuidades não assinaladas (ver exemplos apresentados nas Fig. III 2 e Fig. III 3). Contudo, e relativamente aos *composite logs*, estes também tinham alguns erros semelhantes aos dos relatórios de sondagem (Fig. III 2). No geral, e de acordo com os relatórios, a interpretação estratigráfica seguiu vários critérios, mas baseou-se principalmente na cronoestratigrafia e comparação com o quadro litoestratigráfico geral de Witt, (1977).

Por outro lado, a escala dos relatórios de sondagem foi definida de 10 em 10 metros, o que não permite uma análise litoestratigráfica diferenciada, ao passo que no *composite log* a escala é menor, e incluía informação bastante mais detalhada, para além de outras informações petrofísicas relevantes. No entanto, a informação do relatório de sondagem e do *composite log* disponibilizada para o presente estudo, foi utilizada de forma a retirar o melhor proveito da informação. Contudo, deu-se prioridade à análise do *composite log* em relação à informação litoestratigráfica do relatório de

sondagem, principalmente nas sondagens *offshore*. Um último aspecto deve-se à uniformização das escalas, nomeadamente na conversão de pés para metros nas sondagens 20B-1, Dourada-1C, Faneca-1, Golfinho-1 e Pescada-1.

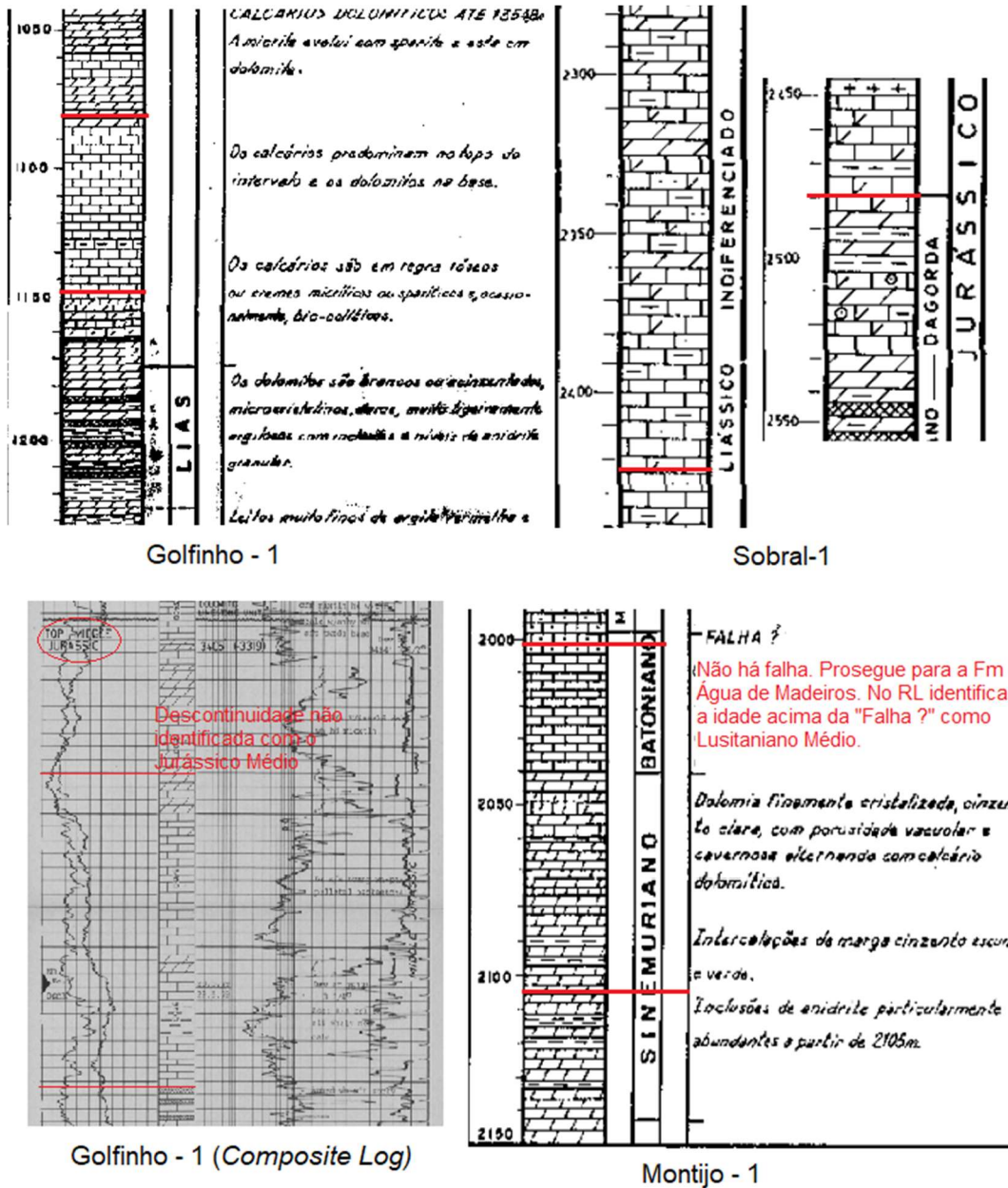


Figura III 2. Exemplos de erros ou imprecisões em Relatórios de Sondagens e *Composite Logs*. Entre as linhas vermelhas encontra-se a Fm de Coimbra.

De acordo com o objetivo principal e através dos dados disponíveis, a análise incidiu sobre a identificação e delimitação do intervalo correspondente à Fm de Coimbra em cada sondagem. O limite inferior da Fm de Coimbra é definido pelo término das fácies evaporíticas (excepto no caso da sondagem 13E-1, ver Capítulo IV). Em termos

práticos coincide com a última ocorrência de anidrite do topo da Fm de Dagorda. O limite superior, por sua vez, relaciona-se com a ocorrência de margas e calcários margosos da Fm de Água de Madeiros, ou quando o topo da Fm de Coimbra contacta por descontinuidade com outras unidades sobrejacentes. Tendo em conta estes factos, seleccionou-se uma parcela de cada sondagem em que a totalidade da Fm de Coimbra estaria presente, incluindo o topo da Fm de Dagorda e geralmente base da Fm de Água de Madeiros, de forma a demonstrar a variabilidade litológica e de RGT que existe entre estas unidades.

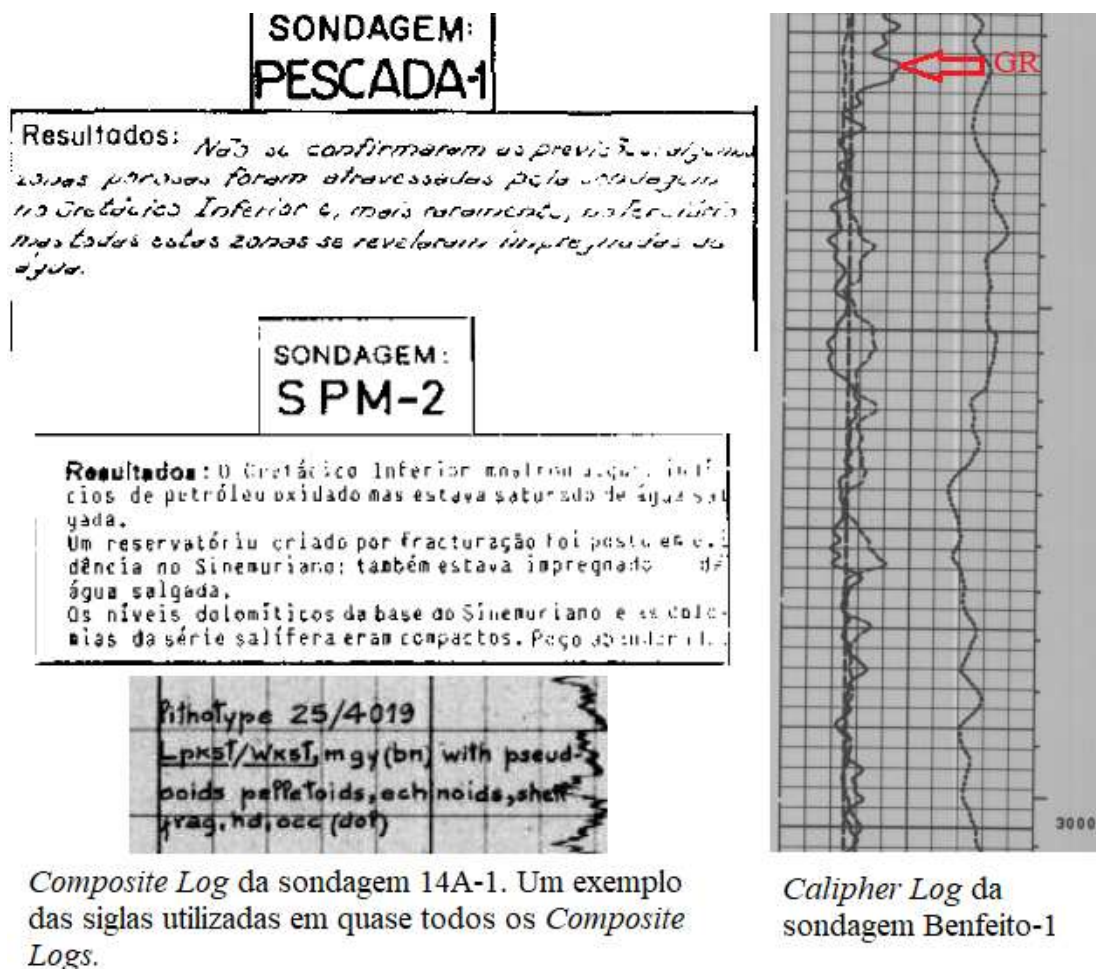


Figura III 3. Problemas de elegibilidade, decifração das abreviaturas utilizadas nos dados ou sobreposição de linhas de diagramas.

## 2.2. Análise e interpretação dos dados de RGT

A análise e interpretação dos dados de RGT caracterizam-se pela identificação dos padrões e variações do RGT da Fm de Coimbra e unidades subjacente e sobrejacente. Foi importante o estudo em Sêco *et al.* (2018) para o conhecimento dos

padrões típicos do RGT, que ocorrem na Fm de Coimbra entre as várias unidades que a compõem. As características litológicas de cada sondagem foram analisadas em conjunto com os dados de RGT. A variabilidade e complementação destes dados foi um ponto importante da análise, permitindo estabelecer os limites estratigráficos pormenorizadamente. O RGT, no limite entre as formações de Dagorda e de Coimbra não exibiu um modelo fixo, portanto utilizou-se sempre a última ocorrência de anidrite, e quando não havia informação da última ocorrência destas litologias, utilizou-se o limite definido no Relatório de Sondagem. O limite superior por sua vez foi definido quando ocorre um incremento de RGT característico das sucessões margo-calciárias da Fm Água de Madeiros, tendo a diagrafia do RGT um modelo idêntico em quase todas as sondagens estudadas; ou quando a Fm de Coimbra contacta por descontinuidade com unidades do Jurássico Médio/Superior ou Cretácico Inferior.

Com os limites definidos, procedeu-se à identificação dos intervalos na Fm de Coimbra com os maiores valores de RGT na Fm de Coimbra, de forma a identificar as sucessões mais margosas associadas à acumulação de matéria orgânica. Estes intervalos foram então correlacionados como equivalentes das unidades estudadas em Duarte *et al.* (2014b) para o perfil de referência da unidade aflorante em S. Pedro de Moel, e anotados os valores máximos do RGT em cada intervalo e a cada sondagem para além de outras informações relevantes.

### 2.3. Colunas litoestratigráficas e diagrfias de RGT

Após os procedimentos de análise concluídos, prosseguiu-se à construção das colunas litoestratigráficas e respectivas diagrfias de RGT de cada sondagem, processo realizado com recurso ao programa de *software Adobe Illustrator 2019*, e agrupadas em duas imagens contendo, respectivamente, todas as sondagens *offshore* e *onshore*. Utilizou-se a mesma escala (de 1:1000) para todas as sondagens (tendo-se reconvertido as sondagens, cuja escala estava em pés, para metros) e reconvertiu-se também a escala de todas as diagrfias para o intervalo: 0-150 API.

As sondagens *onshore* e *offshore* foram organizadas segundo uma direcção de N-S, e identificado todos os intervalos com maiores valores de RGT para a correlação entre os limites de sequência e intervalos de máxima inundação e identificação dos ciclos T-R de 3ª ordem do Sinemuriano na BL. Adicionalmente foi ainda indicado para o intervalo estudado as ocorrências e respectivas profundidades dos indícios de hidrocarbonetos.



## 2.4. Análise de variação espacial por técnicas de geoestatística

Para apoio à interpretação da variação espacial carbonatada na Fm de Coimbra, utilizou-se o *software* Surfer 12, para a elaboração de uma semi-modelagem pela técnica da Krigagem simples. Pretende-se discutir a variação da relação dolomia/calcário e diferenciar essa relação na sedimentação anterior e posterior ao maior intervalo de máxima inundação de 3ª ordem (unidade F) na Fm de Coimbra, de forma a destacar informações relevantes para a análise desta unidade no Sinemuriano e no contexto da BL.

## 3. Trabalho de Campo

Como componente de campo, observou-se vários afloramentos no sector oriental (região de Coimbra) e ocidental (S. Pedro de Moel e Peniche) da BL (Fig. III 4 e Tabela III 3). A análise de campo foi composta por dois objectivos. O primeiro era verificar a componente mineralógica da Fm de Coimbra, bem como os seus limites, através de análises de amostras e difracção de raios-X; o segundo era a observação e análise litoestratigráfica em afloramento.

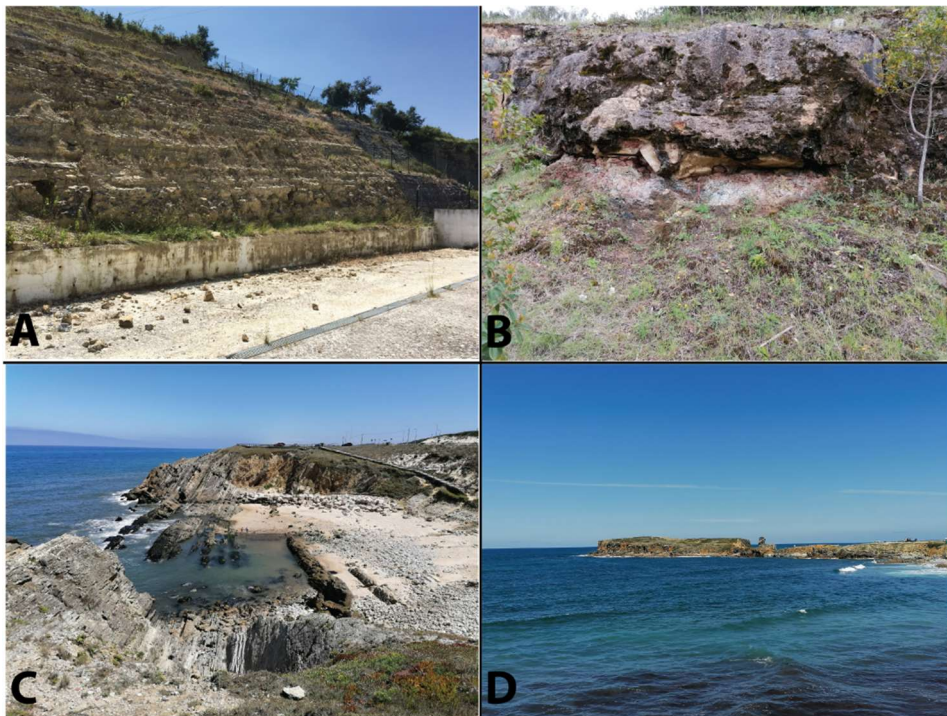


Figura III 4. Perfis estudados. A - Bairro de S. Miguel, Coimbra; B - Lamas, Coimbra; C - Praia da Concha em S. Pedro de Moel; e D - Papôa, Peniche.

Foi ainda realizada a medição da radiação gama ao nível da camada em afloramento no perfil do Bairro de S. Miguel. Utilizou-se um espectrómetro portátil e registaram-se as espessuras e a variabilidade radiométrica de acordo com a variação litológica. Este equipamento permite avaliar a radiação gama e quantificar os teores dos elementos radioactivos presentes nas diversas litologias. A colheita de dados foi realizada metodicamente de forma que cada leitura fosse representativa de cada série litofaciológica.

### 3.1. Assinatura radiométrica

A espectrometria de raios gama no afloramento do Bairro de S. Miguel foi realizada através da utilização de um espectrómetro portátil RS-230 super-SPEC (Fig. III 5) disponibilizado pelo Laboratório de Radioatividade Natural do Departamento e Ciências da Terra da Universidade de Coimbra. Este equipamento mede os seguintes parâmetros: radiação gama total (RGT em choques por segundo – cps), K (%), U e Th (ppm).



Figura III 5. Espectrómetro portátil RS-230 super-Spec (in Sêco, 2019).

Para a aquisição de medições representativas utilizou-se a metodologia recomendada pelo fabricante. Para este fim os níveis estratigráficos foram analisados em contínuo em superfícies frescas e evitando superfícies irregulares (convexas ou côncavas) ou cobertas por solo e vegetação. As leituras são realizadas

perpendicularmente aos planos de estratificação de forma a obter leituras concentradas, como ilustrado na Fig.III 6 (e.g. Sêco, 2019). Os exemplos da Fig. III 6B, C e D foram evitados, já que a geometria da superfície condiciona as medições do equipamento. Cada intervalo de medição do RGT foi definido em 15 segundos, e a quantificação dos teores dos elementos de K, U e Th em 60 segundos. Os valores foram registados e foi elaborado conjuntamente um perfil vertical de RGT e um perfil estratigráfico.

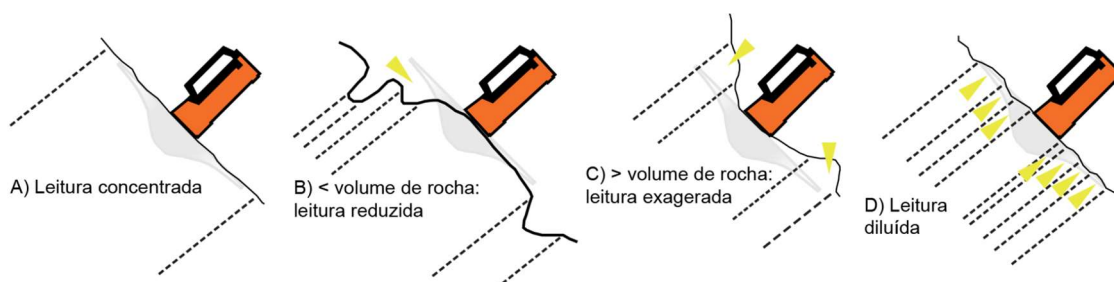


Figura III 6. Influência da geometria da superfície nas medições de radiação gama em afloramento. A área a sombreado demonstra o espaço de influência do detetor, sendo a disposição A a ideal para a aquisição de dados, e as restantes situações a serem evitadas pela integração de fluxos de RGT de camadas envolvente (in Sêco, 2019).

#### 4. Difração de raios-X

Foram recolhidas 7 amostras representativas da Fm de S. Miguel no perfil do Bairro de S. Miguel (Coimbra); 6 amostras do topo da Fm de Pereiros e 3 amostras da base da Fm de Coimbra no perfil de Lamas; na Papôa (Peniche) foram recolhidas 3 amostras aleatoriamente; e na praia da Concha (S. Pedro de Moel) foram recolhidas 20 amostras, ao longo de todo o intervalo da Fm de Coimbra.

A difração de raios-X foi realizada no Laboratório Geoquímico e de Raio-X do Departamento de Ciências da Terra da Universidade e Coimbra no equipamento AERIS 600W – Panalytical Detetor PIXcel 1D Medipix 3, com tubo de ânodo Cu. Após a obtenção dos difractogramas, procedeu-se à identificação mineralógica e semi-quantificação da composição de cada amostra. A identificação foi feita pelos valores tabulados em Tucker & Hardy (1988). Para a semi-quantificação utilizou-se o método descrito por Gomes (1988), que se baseia na divisão das intensidades sobre as áreas dos picos dos minerais identificados nos difractogramas. Estes valores são depois convertidos em percentagem.

## IV. Resultados

### 1. Diagrafias e Sondagens

Neste capítulo são apresentados os resultados do procedimento descrito no cap. III 1. As diagrafias são apresentadas, separadamente por sector da bacia (setentrional, central e meridional) seguindo os pressupostos apresentados no enquadramento geológico (ver localização das sondagens na Fig. III 1). Em cada sector é apresentada a sondagem que melhor o representa, que, por norma, corresponde à sua sucessão mais completa. As restantes diagrafias são apresentadas nos Anexo II.

As sondagens estão organizadas por unidade litoestratigráfica, e subunidades dos intervalos mais argilosos/margosos na Fm de Coimbra, aos quais, na zona setentrional, se utilizou a nomenclatura de Duarte *et al.* (2014b). Nos restantes sectores as principais unidades argilosas/margosas são caracterizadas como possíveis equivalentes laterais. Tendencialmente, entre os limites estratigráficos da Fm de Coimbra e as principais quatro unidades margosas que podem ser identificadas, definem-se cinco intervalos. É indicada a profundidade, litologia, diagrafia de RGT, e os ciclos de 3ª ordem interpretados (ver Cap. V 1). São ainda definidos os limites estratigráficos, bem como a presença de falhas e descontinuidades, previamente identificadas nos dados fornecidos ou reinterpretados. A legenda geral encontra-se na Figura IV 1 (ver também Anexo II).

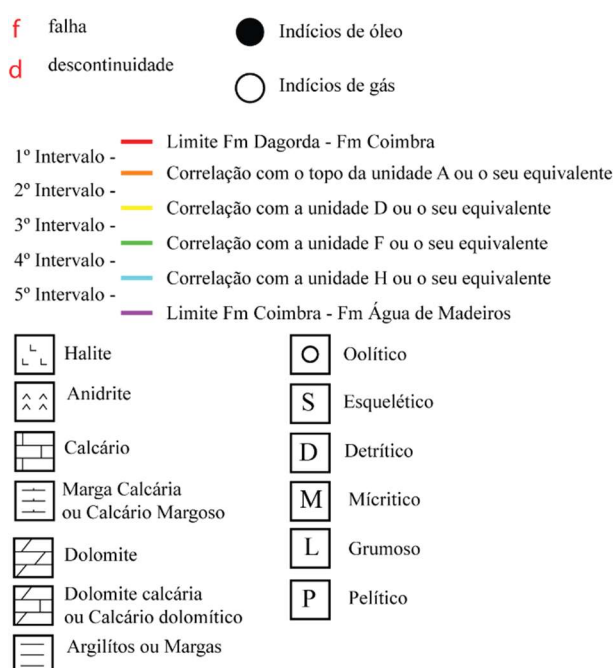


Figura IV 1. Legenda geral apresentada para cada log de sondagem.



Cada descrição de sondagem é subdividida em duas partes. A primeira relaciona-se com dados fornecidos no relatório, que inclui os objectivos principais da sondagem, a área implantada e os resultados. A segunda parte diz respeito aos resultados do trabalho realizado nesta dissertação, em especial com os dados de GR.

## 1.1. Zona Setentrional

### 1.1.1. Sondagem 14A – 1

Sondagem efectuada em 1975. Foi implantada numa zona de forte compartimentação tectónica interpretada como sendo uma estrutura anticlinal complexa com cavalgamento das formações supra salíferas (Fig. IV 2). Tinha como objectivos principais a Fm da Lourinhã do Jurássico Superior (ver Fig. II 6) e a sequência carbonatada do Jurássico Inferior. Foi encontrada uma pequena quantidade de óleo entre os 2404 e os 2375 metros (m), precisamente no topo da Fm de Coimbra e vários indícios de óleo e gás ao longo de várias unidades patentes na sondagem. Não se encontrou nenhum reservatório, presumindo a origem do óleo por segregação em fracturas existentes numa secção argilosa muito compacta. A sondagem foi abandonada e dada como seca.

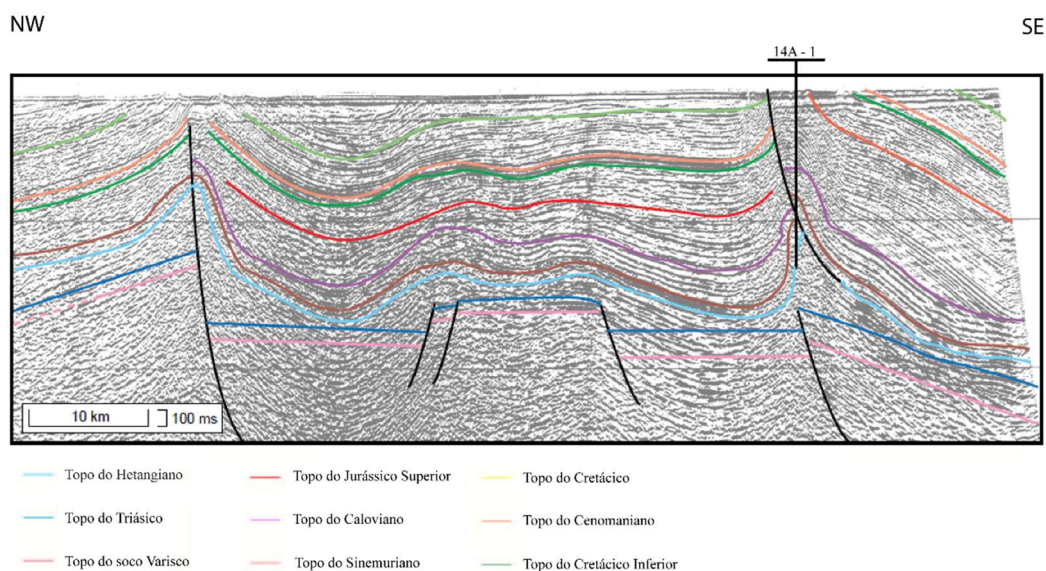


Figura IV 2. Linhas de reflexão sísmica S84-24 que capta o anticlinal onde se insere a sondagem 14A-1 (in Rasmussen *et al.*, 1998).

**Limites estratigráficos e valores de RGT:** A Fm de Coimbra define-se entre as profundidades de 2527 e 2376 m, apresentando 151 m de espessura perfurada. Esta sondagem representa a sucessão da Fm de Coimbra mais completa do sector setentrional e é a sondagem de referência para este sector (Fig IV 3 A). A parte basal circunscreve-se à delimitação entre as litologias anidráulicas, mais ou menos argilosas, que caracterizam o topo da Fm de Dagorda, para uma sucessão dolomítica, com pequenas intercalações argilosas. Esta transição marca um incremento de GR, entre os 40 e os 60 API. O limite superior é marcado onde ocorre uma transição de rochas carbonatadas, pouco dolomíticas, com algumas intercalações margosas para rochas com claro domínio margoso, onde o RGT aumenta exponencialmente. De acordo com os valores de RGT, definem-se dentro da unidade quatro intervalos mais argilosos e com possível acumulação de MO: **i)** entre os 2527 e os 2520 m, correlacionado com a unidade A com valores acima dos 50 API; **ii)** entre os 2505 e os 2500 m, correlacionado com a unidade D, com valores acima dos 70 API; **iii)** entre os 2480 e os 2470 m, correlacionado com a unidade F e com vários máximos acima dos 80 API e **iv)** um pequeno intervalo margoso aos 2404m correlacionado com a unidade H com valor acima dos 70 API. O GR tem grande variabilidade, o que permite uma boa observação dos padrões típicos.

### 1.1.2. Sondagem Carapau – 1

Esta sondagem foi realizada no ano de 1974, e tinha como objectivos investigar o potencial petrolífero dos calcários recifais do Jurássico Médio (Grupo do Cabo Mondego) e dos calcários e dolomitos do Jurássico Inferior numa estrutura anticlinal falhada, e secundariamente investigar os arenitos do Triásico. Não foram encontrados indícios de hidrocarbonetos em toda a extensão da sondagem. No entanto, segundo o relatório de sondagem, foram encontradas porosidades satisfatórias no Jurássico Médio (8 a 14%), e entre 13,5% a 20% na Fm de Coimbra.

**Limites estratigráficos e valores de RGT:** Nesta sondagem os limites da Fm de Coimbra definem-se entre os 1227 e os 1135 m de profundidade. O limite inferior é demarcado pela passagem de intercalações anidráulicas, argilosas e dolomíticas, do topo da Fm de Dagorda para um corpo carbonatado, de natureza calcária, que caracteriza toda a Fm de Coimbra aqui definida. O RGT diferencia-se entre estes dois pela variação abrupta de valores entre os intervalos anidráulicos (com baixos valores) e argilosos na Fm de Dagorda, quase nunca ultrapassando os 40 API, para valores superiores. O limite

superior da unidade, por sua vez, é demarcado por importante descontinuidade com uma sucessão siliciclástica do Cretácico Inferior aos 1135m de profundidade, estando ausente uma porção superior da Fm de Coimbra e, conseqüentemente, de todo o restante Jurássico. A variabilidade de valores observada na Fm de Coimbra alterna entre valores próximos de 10 API e os 60 API, mas em quase toda a sucessão rondam, em média, os 30 API. Esta variação de valores corresponde a bancadas alternantes de calcários micríticos (localmente detríticos, pelíticos, bioclásticos e oolíticos) e bancadas margosas em praticamente toda a sucessão.

### 1.1.3. Sondagem Dourada – 1C

A sondagem Dourada – 1C foi realizada entre os anos de 1974 e 1975, tendo como objectivo principal os “arenitos do Jurássico Superior” (como descrito no relatório de sondagem e coincidente com a Fm da Boa Viagem; Fig. II 6), e como objectivo secundário os dolomitos de Coimbra (Fm de Coimbra) e os arenitos do Cretácico Inferior (= Fm da Figueira da Foz; Fig. II 7). Os resultados revelaram rochas reservatório com boas porosidades (embora não quantificadas), mas sem indícios importantes de hidrocarbonetos. Os carbonatos do Sinemuriano revelaram indícios muito ligeiros.

**Limites estratigráficos e valores de GR:** O limite inferior da Fm de Coimbra nesta sondagem é demarcado aos 2343 m de profundidade, onde deixam de ocorrer bancadas de anidrite. O padrão de RGT varia entre 10 API e cerca de 40 API, nas bancadas anidriticas e argilosas (topo da Fm de Dagorda) para valores sempre superiores a 20 API onde ocorrem litologias calco-dolomíticas, e máximo que ronda os 60 API. O limite superior entre a Fm de Coimbra e a Fm de Água de Madeiros é demarcado no RGT por uma variação abrupta aos 2223m, indicativo de uma mudança de litologia. A Fm de Coimbra patente na sondagem Dourada 1-C apresenta um conjunto de características muito semelhantes às observadas na sondagem 14A-1. O intervalo de valores de RGT para a Fm de Coimbra varia entre os 30-40 API nos calcários dolomíticos/dolomitos calcários, e para valores de 50-80 API nos intervalos margosos. Definem-se de acordo com os valores de RGT três intervalos argilosos com a possibilidade de acumulação de matéria orgânica: **i)** entre os 2325 e os 2318m de profundidade, correlacionado com a unidade D; **ii)** entre os 2305 e os 2290m de profundidade onde ocorrem os maiores valores de GR de toda a sucessão (valor máximo de 83/84 API), correlacionado com a unidade F, aqui materializada por uma

sucessão margosa ou calco-margosa; **iii**) e nos 2154m de profundidade, correlacionado com a unidade H.

#### 1.1.4. Sondagem 13E – 1

A sondagem 13E-1, realizada no ano de 1977 teve como objectivo a avaliação do potencial petrolífero dos reservatórios do Cretácico Inferior, numa estrutura anticlinal de natureza halocinética que tinha sido detectada por interpretação sísmica; teve como objectivo secundário a avaliação do potencial petrolífero da Fm de Coimbra. A sondagem foi abandonada, já que apenas se revelaram alguns indícios asfálticos no Cretácico Superior e algumas manchas de óleo residual na Fm de Torres Vedras. Para além disso não foi encontrado nenhum intervalo com características de reservatório.

**Limites estratigráficos e valores de RGT:** O limite inferior desta sondagem é demarcado nos 1184m. O limite desta sondagem não contém anidrite, e demonstra um incremento de conteúdo argiloso no topo da Fm de Dagorda que se correlaciona com a secção estudada de Monte Real (ver Sêco *et al.*, 2018), apresentando valores de RGT mais altos que os observados na Fm de Coimbra. O limite superior da Fm de Coimbra foi definido nos 1073m, onde ocorre um grande pico nos valores de RGT marcando uma clara distinção litológica, com passagem à Fm de Água de Madeiros. No entanto, esta última unidade é cortada de forma quase imediata por falha (1068 m) de acordo com o relatório de sondagem, entrando em contacto com unidades do Jurássico Superior. A Fm de Coimbra nesta sondagem apresenta baixos valores de RGT com valores em média com cerca de 20 API, e poucas vezes ultrapassando os 40 API. Os intervalos margosos que merecem algum destaque, apesar dos baixos valores de RGT, são os seguintes: **i**) entre os 1158-1155 m (unidade D); **ii**) entre os 1137-1130 m correlacionado com a unidade F; **iii**) e entre os 1105-1097 m, com a unidade H.

#### 1.1.5. Sondagem 14C – 1A

Sondagem realizada em 1975 com o objectivo de avaliar toda a secção mesozóica pós Fm de Dagorda, na parte mais ocidental da bacia, tendo sido escolhida uma estrutura anticlinal fracturada e definida por interpretação sísmica. A sondagem foi dada como seca. Os arenitos da Fm de Torres Vedras (Cretácico Inferior) assentam sobre a Fm de Coimbra.

**Limites estratigráficos e valores de RGT:** O limite inferior foi definido nos 1229m onde cessam estratos de anidrite intercalados com bancadas espessas argilosas e bancadas dolomíticas, e passa a ocorrer calcário dolomítico e calcário intercalados com finas bancadas margosas. Nesta transição o RGT apresenta uma grande variabilidade entre valores mínimos (evaporitos) e máximos (argilitos/lutitos) no topo da Fm de Dagorda, sendo a transição no limite do perfil com valores que rondam os 40 API. A base da Fm de Coimbra exhibe um aumento de valores de RGT, e geralmente acima dos 60 API. Nesta sondagem os valores de RGT obtidos são dos mais altos observados em todas as sondagens estudadas. O limite superior, por sua vez, delimitado pela descontinuidade com a Fm de Torres Vedras aos 1145 m, corta uma secção do topo da Fm de Coimbra, a seguir ao último intervalo margoso, que se correlaciona com a unidade H. Em toda a sucessão dominam calcários dolomíticos e micríticos intercalados com numerosas bancadas margosas. Os principais intervalos argilosos com possível acumulação de MO situam-se aproximadamente: **i)** entre os 1195 e os 1185 m com vários picos rondando os 100 API (unidade F), e **ii)** os 1158 e 1154 m (unidade H).

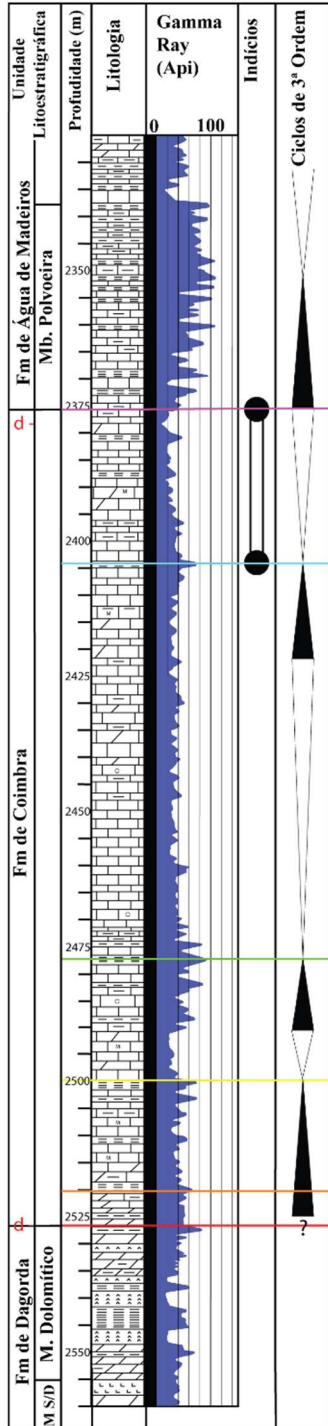
### 1.1.6. Sondagem Moreia – 1

A sondagem Moreia-1 (Fig IV 3B), realizada em 1974 tinha como objectivo os arenitos e calcários do Cretácico, os dolomitos e calcários do Sinemuriano e os arenitos permo-triásicos, num anticlinal falhado situado a uma profundidade de água compatível com as possibilidades mecânicas da sonda (Fig. IV 4). A sondagem realizada mostrou evidências de existir um bom reservatório no Jurássico Superior (Fm de Alcobaça; Fig. II 6), mas desprovido de óleo em quantidades para exploração. No entanto, foram encontrados bons indícios de óleo e gás no Jurássico Inferior, mas as rochas continham fraca porosidade.

**Limites estratigráficos e valores de RGT:** O limite inferior da Fm de Coimbra foi definido aos 1828 m, com o desaparecimento da anidrite intercalada em bancadas de dolomitos, e o limite superior foi definido na indicação de mudança brusca de litologia (para calcários margosos e margas) e pelo grande aumento de RGT a partir dos 1754 m. Os padrões de RGT são idênticos à sondagem 14A-1, embora com valores e variabilidade menores. A base da Fm de Coimbra é constituída por calcário dolomítico (primeiros 8m), sendo a restante unidade constituída maioritariamente por calcário e com alguns intervalos margosos. Destes, destacam-se os intervalos, **i)** entre os 1812 aos 1805 m correlacionado com um equivalente da unidade D; **ii)** e 1795 aos 1785 m correlacionado com a unidade F. Os equivalentes do topo da unidade A e da unidade H são correlacionadas, mas não evidenciam grande variação de RGT.

A

14A-1



B

Moreia-1

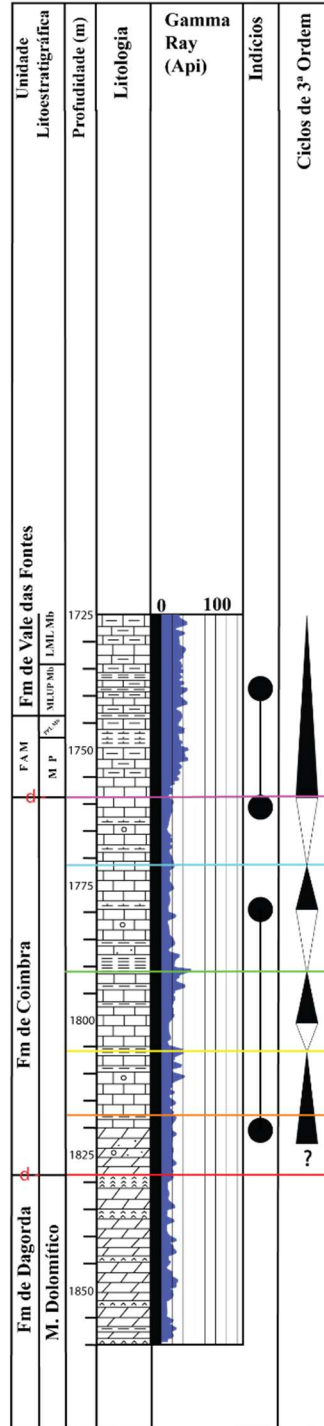


Figura IV 3. A -Log litoestratigráfico e diagrafia de RGT da sondagem 14A-1, e correlação das principais sub-unidades margosas da Fm de Coimbra; B- Log litoestratigráfico e diagrafia de RGT da sondagem Moreia-1, e correlação das principais sub-unidades margosas da Fm de Coimbra.



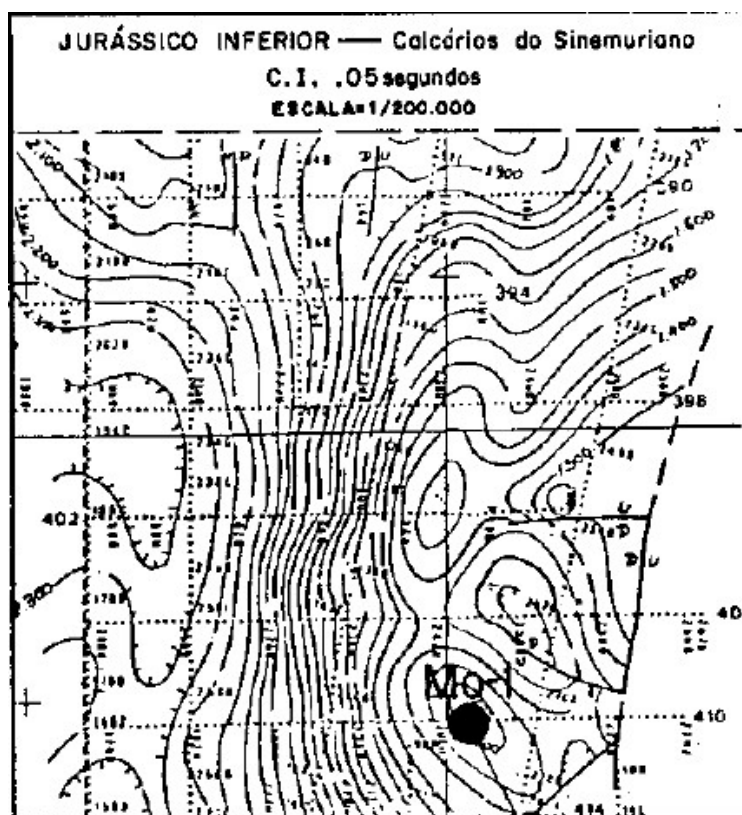


Figura IV 4. Mapa estrutural da zona onde foi realizada a sondagem Moreia-1, tendo por base a Fm de Coimbra. Imagem do relatório de sondagem.

### 1.1.7. Sondagem Faneca – 1

A sondagem Faneca-1 foi realizada entre 1975 e 1976 numa estrutura anticlinal fechada, cujas unidades alvo eram os carbonatos do Jurássico Inferior e enquanto objectivo secundário, o Grés de Silves do Triásico. Foram perfurados 447 m do Jurássico, tendo-se verificado com porosidades médias a fracas e 547 m no Triásico não se tendo encontrado indícios de hidrocarbonetos.

**Limites estratigráficos e valores de RGT:** A Fm de Coimbra tem o seu início nos 1571 m de profundidade e delimitado com o desaparecimento da anidrite para uma bancada de calcário dolomítico, e o seu término nos 1484 m, com os valores de RGT a aumentarem (dos 20 para >100 API) com uma transição de calcários, para espessas bancadas margosas e margo calcarias com finas camadas de calcário micrítico e bioclástico da Fm de Água de Madeiros. Os dados de RGT rondam em média os 20 API

e existe uma baixa variação de valores. Os valores mais significativos situam-se no intervalo correlacionado com a unidade F entre os 1540 e os 1530 m, com picos por volta dos 50 API, e entre os 1550 e os 1545 m correlacionado com a unidade D. Os baixos valores destes intervalos não indicam possível acumulação de matéria orgânica. A Fm de Coimbra apresenta durante a sua extensão vertical calcários micríticos e localmente oolíticos intercalados com finas bancadas margosas.

### 1.1.8. Sondagem Monte Real Oeste – 9

A sondagem Monte Real Oeste-9 foi realizada entre os anos de 1962 e 1963. Tinha como objectivo investigar as possibilidades petrolíferas do flanco ocidental do diapíro de Monte Real. Segundo o relatório de sondagem a prioridade centrava-se na “zona dos indícios de Monte Real B e de Sismaria” (Fig. IV 5) e detinha como alvo as unidades do Cretácico e o Jurássico Inferior. Foram detectados numerosos indícios de óleo no Cretácico Inferior e no Jurássico Inferior, e ocorrem entre os 1105 e os 450m de profundidade. A geologia neste local é bastante complexa, envolvendo um grande condicionamento tectónico na região devido ao diapíro de Monte Real, e como exemplo existe sobreposição de sedimentos do Pliensbaquiano sobre o Cretácico.

**Limites estratigráficos e valores de RGT:** O limite inferior da Fm de Coimbra foi definido nos 1367 m onde ocorre uma transição de espessas camadas de argilitos e anidrite com camadas de dolomite argilosa para dolomite maciça. O GR não é muito diferente o que se observa na Fm de Dagorda. O limite superior foi definido aos 1152 m, onde os valores de GR sobem abruptamente (de cerca de 10 API no último ponto da Fm de Coimbra para 90 API no ponto máximo do Membro da Polvoeira da Fm de Água de Madeiros) e ocorrem espessas camadas margosas. Esta sondagem realizada numa estrutura complexa faz com que a Fm de Coimbra tenha uma grande espessura, que não corresponderá à espessura real. A perfuração foi feita em estratos inclinados e ocorrem falhas inversas que fazem com que ocorra a repetição de sequências sedimentares. O intervalo mais importante nesta sondagem encontra-se entre os 1290 e os 1275 m, correspondendo à unidade F, com o pico máximo rondando os 70 API. Os intervalos margosos dos equivalentes das unidades A, D e H são também correlacionados, mas não exibem valores com grande variação de RGT.



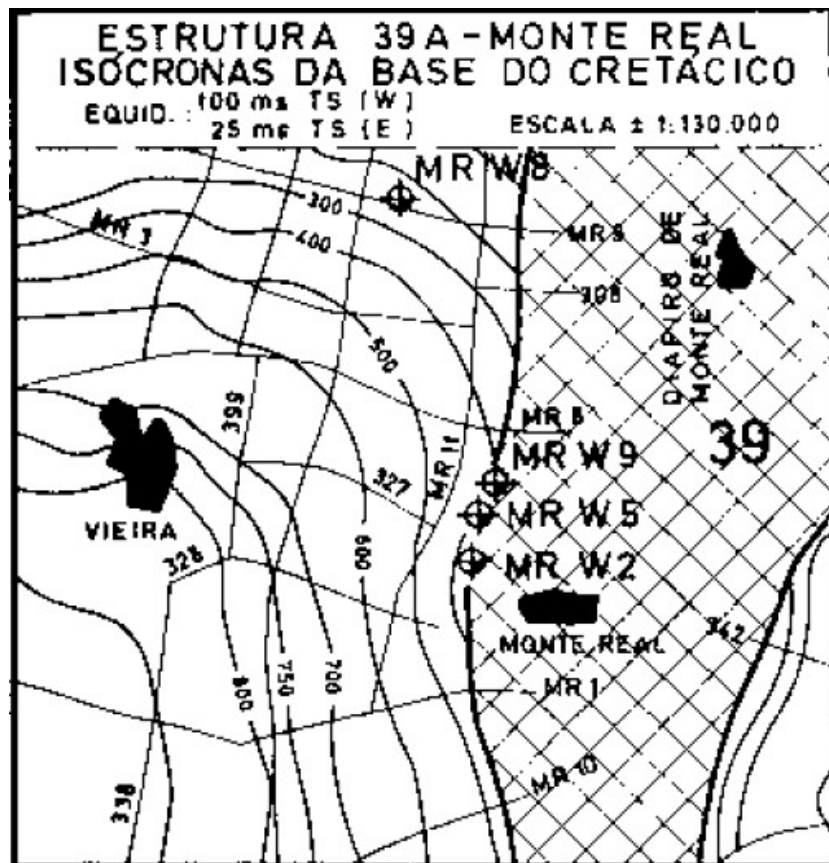


Figura IV 5. Mapa estrutural da zona onde foi efectuada a sondagem Monte Real Oeste-9, com a superfície nas unidades da base Cretácico. Imagem do relatório de sondagem.

### 1.1.9. Sondagem S. Pedro de Moel – 2

SPM-2 foi uma sondagem efectuada em 1963 com o objectivo de investigar o potencial petrolífero do Cretácico Inferior e do Jurássico Inferior no flanco NE do diapíro de S. Pedro de Moel, que apresenta em superfície no flanco SE indícios importantes de petróleo. A Fig. IV 6 mostra o mapa estrutural do local onde se insere esta sondagem, localizada tal como a sondagem anterior numa estrutura complexa. Encontraram-se indícios de petróleo no Cretácico Inferior entre os 670 e os 650 m nos arenitos da Fm da Boa Viagem (Fig. II 6). No entanto, o óleo encontrava-se oxidado e saturado em água salgada. Foi também encontrado um reservatório criado por fracturação nos carbonatos do Sinemuriano entre os 950 e os 930 m e onde se insere o topo da Fm de Coimbra. Este reservatório encontrava-se também impregnado de água salgada.

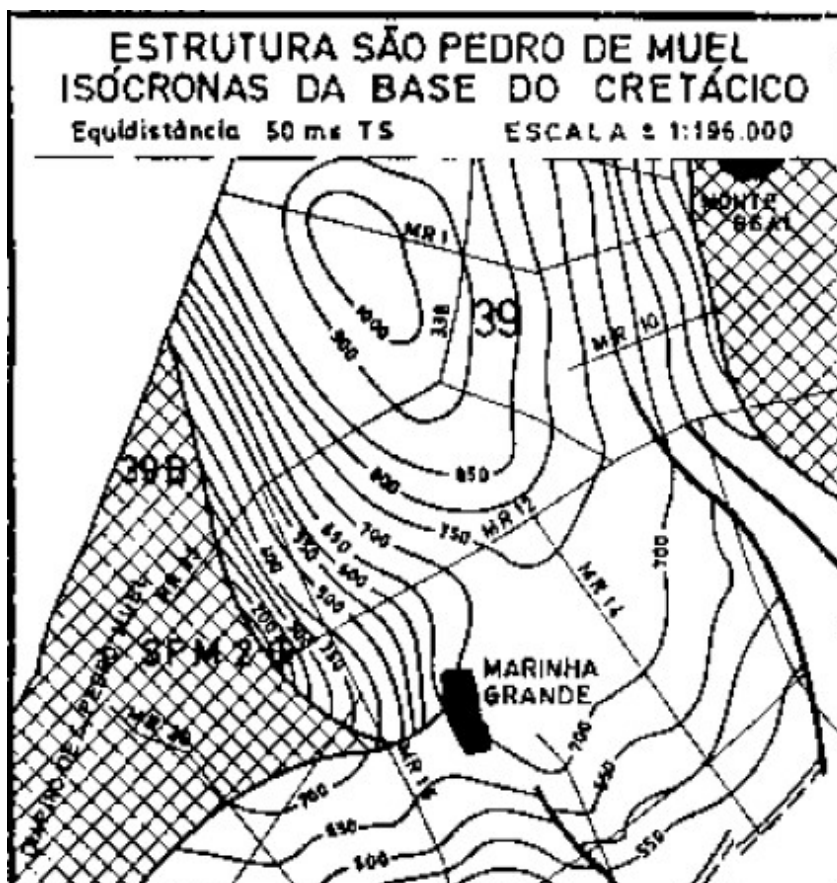


Figura IV 6. Mapa estrutural da base do Cretácico da localização onde se insere o poço SPM-2 no flanco nordeste do diápiro de S. Pedro de Moel (Relatório de Sondagem).

**Limites estratigráficos e valores de RGT:** Na sondagem SPM-2 o limite inferior é definido aos 1186 m, onde o topo da Fm de Dagorda termina com uma espessa camada de anidrite e começa a ocorrer dolomite argilosa. O RGT exibe um grande pico na transição entre as duas unidades de aproximadamente 85 API. O limite superior é definido nos 905 m, no valor mínimo antes de ocorrer a subida abrupta característica do Membro da Polvoeira (cujo valor máximo é pouco superior a 80 API; Fm de Água de Madeiros). Na base da Fm de Coimbra, ocorrem intercalações de camadas margosas métricas em que o RGT varia entre os 30-40 API, e as bancadas métricas de calcário margoso com valores compreendidos entre os 10-15 API. Na maior parte da sucessão encontram-se calcários ou calcários margosos cujos valores oscilam entre os 15-20 API, ocorrendo valores esporádicos de RGT rondando os 30-40 API. O único intervalo de destaque situa-se entre os 1085 e os 1065 m, correlacionado com a unidade F. A análise desta sondagem permitiu corresponder as restantes principais unidades margosas da Fm de Coimbra, mas não exibem valores de RGT significativos. Por outro lado, a estrutura complexa em que se insere esta sondagem faz a Fm de Coimbra ter uma espessura aparente de 281 m.

## 1.2. Zona Central

### 1.2.1. Sondagem 17C – 1

A sondagem 17C-1, realizada entre os anos de 1975 e 1976, tinha como objectivo avaliar o potencial petrolífero de rochas do Jurássico e Triásico (como definido no relatório), tendo sido implementada numa estrutura anticlinal definida pela interpretação sísmica. A perfuração chegou ao soco varisco, não tendo revelado em toda a sua extensão a existência de rochas com características de reservatório, e uma ausência total de indícios de hidrocarbonetos.

**Limites estratigráficos e valores de RGT:** O limite inferior da unidade em estudo foi definido aos 1232 m, onde termina o último vestígio de anidrite, intercalado com argilitos e dolomitos. Acima deste limite ocorre uma camada métrica margo-dolomítica em que se define um aumento brusco de RGT acima dos 100 API. Daí em diante ocorrem dolomitos ou calcários dolomíticos com valores de RGT que oscilam entre os 40-55 API. Aos 1171 m há um incremento de RGT até aos 63 API, correspondendo a um máximo correlacionado com um equivalente da unidade D. A correlação com a unidade F, encontra-se entre os 1160 e os 1140 m, demonstrando valores idênticos ao máximo da unidade observada anteriormente. Ocorrem aí dolomitos, dolomitos argilosos e calcários dolomíticos localmente oolíticos. Aos 1108m, a última unidade margosa da Fm de Coimbra revela um pico de RGT discreto e muito próximo dos 60 API. Até aqui havia um claro domínio dolomítico, que vai transitar para litologia predominantemente calcária, localmente margosa, micrítica e oolítica onde o RGT oscila entre valores centrados nos 40 API. A Fm de Coimbra tem o seu término aos 1058 m exibindo em um valor mínimo próximo dos 30 API. Na transição com a Fm de Água de Madeiros os valores sobem de forma abrupta e ocorrem calcários, calcários margosos e margas, intercalados em camadas finas. Esta é a sondagem *offshore* com maior espessura aparente da Fm de Coimbra (174m).

### 1.2.2. Sondagem Aljubarrota – 2

A sondagem Aljubarrota-2 é a sondagem mais recente deste estudo. Foi realizada entre os anos de 1998 e 1999, com o objectivo primário da investigação de gás nas unidades do Grés de Silves, e como objectivo secundário a investigação de hidrocarbonetos em calcários fossilíferos no Jurássico Superior e na Fm de Dagorda (Fig. II 3). Foi encontrada a presença de gás no Grupo da Brenha (não é possível definir

uma litoestratigrafia mais fina, e ocorrem indícios num grande intervalo), indícios de gás no Grés de Silves, Fm de Dagorda (que apresenta pouca espessura), indícios ligeiros de óleo na Fm de Coimbra, e alguns indícios ligeiros de óleo e gás no Jurássico Superior. Esta sondagem não tinha como objectivo a secção a que se dedica este estudo.

**Limites estratigráficos e valores de RGT:** O limite inferior foi definido aos 2870 m, num intervalo constituído por argilitos, com siltitos intercalados com níveis de anidrite que contactam com os calcários da Fm de Coimbra. O limite superior da Fm de Coimbra já tinha sido definido através de dados de RGT anteriormente por Correia *et al.* (2012), nos 2767 m. Os calcários do topo da Fm de Coimbra passam a calcários margosos, e o GR varia de valores de 15-30 API para valores superiores dos 30 API na Fm de Água de Madeiros. Na generalidade a Fm de Coimbra exhibe valores de RGT baixos, oscilando em média os 20 API. Os valores mais altos encontram-se entre os 2865 e os 2860 m, e os 2850 e os 2840 m, sendo o primeiro correlacionado com o equivalente da unidade D (43 API); e o segundo correlacionado com a unidade F (61 API). Foi possível correlacionar a unidade H, mas revela uma grande variação de RGT. A Fm de Coimbra é composta principalmente por dolomitos, dolomitos argilosos e calcários dolomíticos, embora esporádicas bancadas de calcário micrítico possam ocorrer. Só no topo da Fm de Coimbra é que a litologia é predominantemente calcária.

### 1.2.3. Sondagem São Mamede – 1

A sondagem São Mamede-1, realizada entre 1957 e 1958 foi implantada no topo do anticlinal de S. Mamede, e tinha como objectivo investigar o potencial petrolífero do Jurássico Inferior e do Triásico. Foram encontrados indícios de petróleo entre os 910 e os 900 m na Fm de Dagorda; entre os 860 e os 840 m, entre a Fm de Dagorda e a Fm de Coimbra; e aos 820 m na Fm de Coimbra. Contudo, as rochas tinham fraca porosidade, e a sondagem foi considerada estéril.

**Limites estratigráficos e valores de RGT:** Nesta sondagem a Fm de Coimbra tem os seus limites, superior e inferior, aos 850 e 735 m, respectivamente. Na Fm de Dagorda ocorrem bancadas de argilitos e dolomitos intercaladas com anidrite. A assinatura radiométrica do topo desta unidade tem maior variabilidade do que na Fm de Coimbra em que o RGT ronda valores maioritariamente abaixo dos 20 API. A Fm de Coimbra é composta por calcários dolomíticos e dolomitos argilosos até cerca dos 805

m, e por calcários e calcários oolíticos no topo da unidade. Correlacionam-se as principais unidades margosas, mas nenhuma exibe valores de RGT significativos. Dos 780 aos 755m ocorre o intervalo com os maiores valores da Fm de Coimbra, correlacionado com a unidade F e cujo pico máximo é de 60 API. No limite superior dá-se um aumento dos valores de RGT associado a calcários margosos e margas do membro da Polvoeira da Fm de Água de Madeiros, definindo-se uma clara distinção entre os baixos valores da Fm de Coimbra e esta unidade.

#### 1.2.4. Sondagem Gaiteiros – 1

A sondagem Gaiteiros-1, realizada em 1990, tinha como objectivo investigar o potencial petrolífero do anticlinal fracturado da estrutura de Alcobaça, cuja aquisição sísmica realizada entre 1981 e 1987 tinha confirmado a existência de possíveis reservatórios para a Fm de Montejunto (Fig. II 6) e para a Fm de Coimbra. Os resultados foram nulos, não se tendo verificado a existência de rocha geradora, e a Fm de Coimbra ter revelado más qualidades de reservatório. Foi encontrado óleo oxidado em algumas unidades do Jurássico Médio e Superior, e foram encontrados indícios de gás entre os 2292 e os 2250 m, e correlacionado com a Fm de Coimbra.

**Limites estratigráficos e valores de RGT:** O limite inferior foi definido aos 2312 m. Abaixo deste limite o topo da Fm de Dagorda é constituído por intercalações de dolomitos e dolomitos argilosos, anidrite, e mesmo antes do limite ocorrem calcários do tipo *mudstone*. Antes deste limite, na Fm Dagorda existe uma grande variabilidade de RGT, com mínimos muito próximos do zero e máximos entre os 40-65 API. Na Fm de Coimbra os valores de RGT mantêm-se nos primeiros 20 m desta unidade, abaixo de 20 API, uma tendência que ocorre também no topo da unidade. Entre os 2295 e os 2250 m surge um padrão côncavo em que as pontas exibem unidades margosas que são correlacionadas com os possíveis equivalentes das unidades D e unidade F, com valores máximos de, 58 e 66 API, respectivamente. A Fm de Coimbra é predominantemente dolomítica até aos 2250 m, a partir daí é dominado por sequências calcárias. O limite superior é definido nos 2232 m onde o padrão de RGT aumenta gradualmente no primeiro membro da Fm de Água de Madeiros.

De notar que há uma discrepância entre os valores de RGT nos dois perfis verticais de RGT, pelo que, ambos foram ilustrados.

### 1.2.5. Sondagem Benfeito – 1

A sondagem Benfeito-1, executada no ano de 1982 tinha como objectivo primário testar possíveis reservatórios da Fm de Montejunto (Jurássico Superior; Fig. II 6) e como objectivo secundário a Fm da Abadia (Fig. II 6), e os dolomitos do Jurássico Inferior no flanco SE do anticlinal de Torres Vedras-Montejunto, num local de anomalias *flat spot* detectadas por aquisição sísmica (Fig IV 7). A sondagem detectou a existência de rochas geradoras no Pliensbaquiano e bons reservatórios no Jurássico Médio, embora testados de forma inconclusiva. Detectou-se também óleo na Fm de Montejunto em reservatórios de baixa qualidade e a sondagem foi suspensa.

**Limites estratigráficos e valores de GR:** A Fm de Coimbra define-se entre as profundidades de 3195 e 2965 m, sendo que os 230 m de espessura sejam aparentes, não correspondendo à espessura real da formação. O limite inferior é o demarcado pelo relatório de sondagem, sendo descrito que abaixo da profundidade de 3195 m ocorre anidrite. O RGT exhibe um decréscimo no topo da Fm de Dagorda com valores de 50 API em dolomitos argilosos, diminuindo até aos 20 API no início da Fm de Coimbra. Os intervalos mais significativos de valores de RGT ocorrem: **i)** entre os 3135 e 3130 m, correlacionado com um equivalente da unidade D (> 60API), e **ii)** entre os 3115 e os 3060 m, cujo expoente máximo atinge valores de RGT, muito próximos dos 100 API e está correlacionado com a unidade F. Ocorrem entre estes intervalos dolomitos arenosos, e localmente oolíticos, e calcário dolomítico com intraclastos arenosos e espessas camadas margosas ou margo-calcárias (unidade F). A partir dos 3050 m ocorrem essencialmente litologias calcárias, localmente margosas e por vezes calco-dolomíticas. Ao longo de toda a Fm de Coimbra o RGT apresenta valores baixos, entre os 10 e os 30 API. O limite superior da Fm de Coimbra exhibe um incremento de valores de RGT dos 20 para os 40 API na Fm de Água de Madeiros. Esta variação de padrões de RGT está correlacionada com a variação litológica de calcários margosos do Membro da Polvoeira. Apesar desta sondagem apresentar uma grande espessura devido à estrutura em que se insere, é a sondagem que melhor representa a Fm de Coimbra na zona central da BL, pelo que foi definida como a sondagem de referência para este sector (Fig. IV 8A).



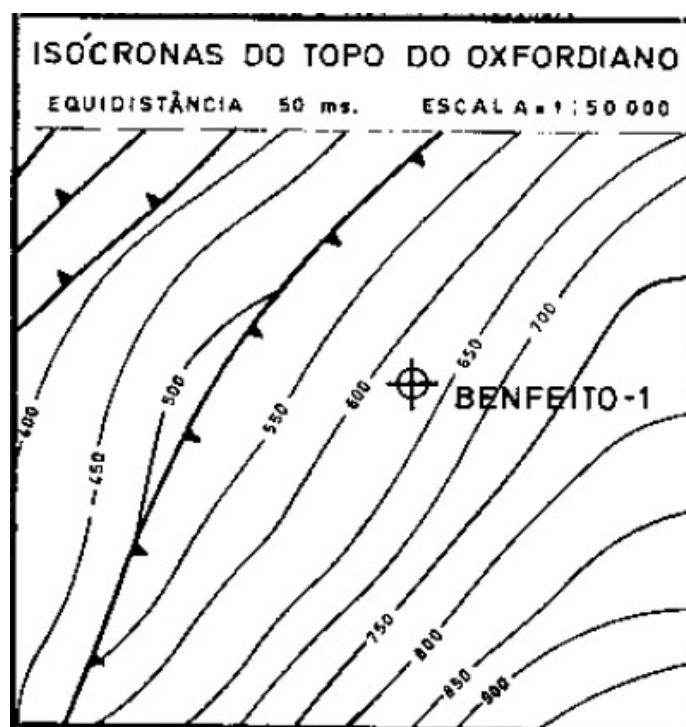


Figura IV 7. Mapa estrutural do topo do Oxfordiano e localização do poço Bf-1 no flanco SE do anticlinal de Torres Vedras (Relatório de Sondagem).

### 1.2.6. Sondagem 20B – 1

A Sondagem 20B-1 foi realizada entre 1975 e 1976 com o objectivo de testar os reservatórios do Oxfordiano e, selados pelas unidades do Kimmeridgiano. O poço foi dado como seco, não se tendo encontrado nenhum reservatório, e com o Cretácico a contactar com a Fm de Candeeiros (Fig. II 3). Foram encontrados indícios de óleo e gás aos 2330 m, coincidente com a Fm de Coimbra.

**Limites estratigráficos e valores de RGT:** Delimitou-se a Fm de Coimbra aos 2438 e 2308 m. O limite inferior é definido pela última vez que aparece anidrite, intercalado em litologias dolomíticas. A base da Fm de Coimbra é dominada por calcários dolomíticos, por vezes alternado com dolomitos arenosos e argilosos. No limite superior, e apesar do aumento gradual dos valores de RGT (e muito semelhante à sondagem Gaiteiros – 1), não é indicada uma mudança brusca de litologia na Fm de Água de Madeiros. Os valores médios da Fm de Coimbra centram-se entre os 10-20 API, com muito pouca variabilidade. Destaca-se a unidade F aos 2409 m que exhibe o pico máximo de RGT com 58 API e coincidente com níveis margosos. Toda a sucessão é maioritariamente constituída por calcários dolomíticos, localmente micríticos ou margosos.

### 1.2.7- Sondagem Sobral – 1

A sondagem Sobral-1 foi realizada em 1983 com o objectivo de pesquisar hidrocarbonetos na Fm de Montejuento (Oxfordiano), nos carbonatos do Jurássico Médio (porção superior), e ainda na Fm da Abadia (Kimmeridgiano; Fig. II 6), Fm de Coimbra e Xistos do Paleozóico. A sondagem foi dada como seca, apesar da existência de um possível reservatório com gás nos calcários da Fm de Montejuento.

**Limites estratigráficos e valores de RGT:** A última presença de anidrite ocorre aos 2480 m, demarcando o limite inferior da Fm de Coimbra. As litologias envolventes são essencialmente calco-dolomíticas e as assinaturas radiométricas são muito semelhantes entre o topo da Fm de Dagorda e a porção inferior da Fm de Coimbra, obtendo-se valores de RGT com pouca variação. A parte basal da Fm de Coimbra até ao possível equivalente da unidade F apresenta pouca espessura (15 m), e altos valores de RGT. É neste intervalo que se verificam os maiores valores de RGT da Fm de Coimbra nesta sondagem, com três máximos acima dos 60 API, e o maior de todos, com 89 API. Da unidade F até ao limite da unidade (2422 m) com a Fm de Água de Madeiros, os valores vão decrescendo atingindo os valores mínimos de toda a sucessão (< 20 API). A variedade de radiação gama entre o topo da Fm de Coimbra e a Fm de Água de Madeiros é discreta, sendo observado um aumento ligeiro dos padrões de RGT nesta última unidade e coincidente com os níveis de calcários margosos. A Fm de Coimbra é praticamente calco-dolomítica embora ocorra um intervalo margoso entre os 2474 e 2470 m, e um intervalo dominado por calcários entre os 2436 e os 2427 m.

## 1.3. Zona Meridional

### 1.3.1. Sondagem Montijo – 1

A sondagem Montijo-1 foi realizada em 1959 com o objectivo de investigar uma anomalia detectada por prospecção sísmica no flanco ocidental rebaixado da falha de Alcochete. Os resultados demonstraram que não deve haver possibilidades de acumulação de petróleo na anomalia descrita.

**Limites estratigráficos e valores de RGT:** O limite inferior foi definido pela última observação de anidrite aos 2105 m e o limite superior foi definido aos 2002 m de profundidade, dado o contacto entre a Fm de Coimbra com a Fm de Água de Madeiros.



Devido às características inconstantes que se encontram no Sinemuriano no sector sul, e como iremos ver nas seguintes sondagens, Montijo-1 é a sondagem guia para este sector porque apresenta a sucessão mais completa da Fm de Coimbra (Fig. IV 8 B). A base da Fm de Coimbra até aos 2040 m de profundidade é dominada por sequências dolomíticas, dolomitos argilosos e margas. A partir daí até ao fim da unidade é constituído essencialmente por calcários, localmente margosos. Na base da Fm de Coimbra há um intervalo margoso que exhibe padrão de RGT crescente, com valores que atingem os 79 API e que representam os maiores valores da formação. A variabilidade entre máximos e mínimos de RGT, observada até ao topo da unidade, é baixa, sendo a maioria dos valores abaixo dos 20 API. A unidade F tem pouca expressão com os picos máximos a apresentarem valores de RGT abaixo de 40 API. O limite superior da Fm de Coimbra é determinado pelo aumento do valor e pelo padrão serrilhado de RGT, coincidente com calcários e calcários oolíticos observados.

### 1.3.2. Sondagem Golfinho – 1

A sondagem Golfinho-1, realizada em 1979, tinha como objectivo investigar uma estrutura interpretada como uma zona salífera de orientação noroeste-sudeste, afectada por uma grande falha acerca de 20 km da boca da sondagem. As unidades alvo eram os arenitos do Cretácico, os calcários do Jurássico Médio e os dolomitos do Jurássico Inferior. Não foram encontrados reservatórios ou indícios de óleo ou gás.

**Limites estratigráficos e valores de RGT:** A Fm de Coimbra ocorre entre os 1144 e os 1082 m. O limite inferior foi definido pela sequência de bancadas de calcário, calcário dolomítico intercalados com camadas métricas de anidrite. A base da Fm de Coimbra, predominantemente calcária, exhibe um ligeiro aumento de RGT. A unidade F ocorre cerca de 15 m da porção de base da Fm de Coimbra, e não se identificaram nenhuns padrões de RGT que se correlacionem com intervalos margosos equivalentes da unidade A e D, pelo que se assume que grande parte da base da unidade não esteja presente. No limite superior os calcários da Fm de Coimbra contactam por descontinuidade com os Dolomitos de Cabo de Ares do Jurássico Médio. Os valores de RGT são baixos, variando entre 20 e 30 API. Os maiores valores de RGT definem-se na unidade F, entre os 1133 e os 1125 m, e cujo pico máximo é registado em litologias margosas, exibindo um valor 54 API.

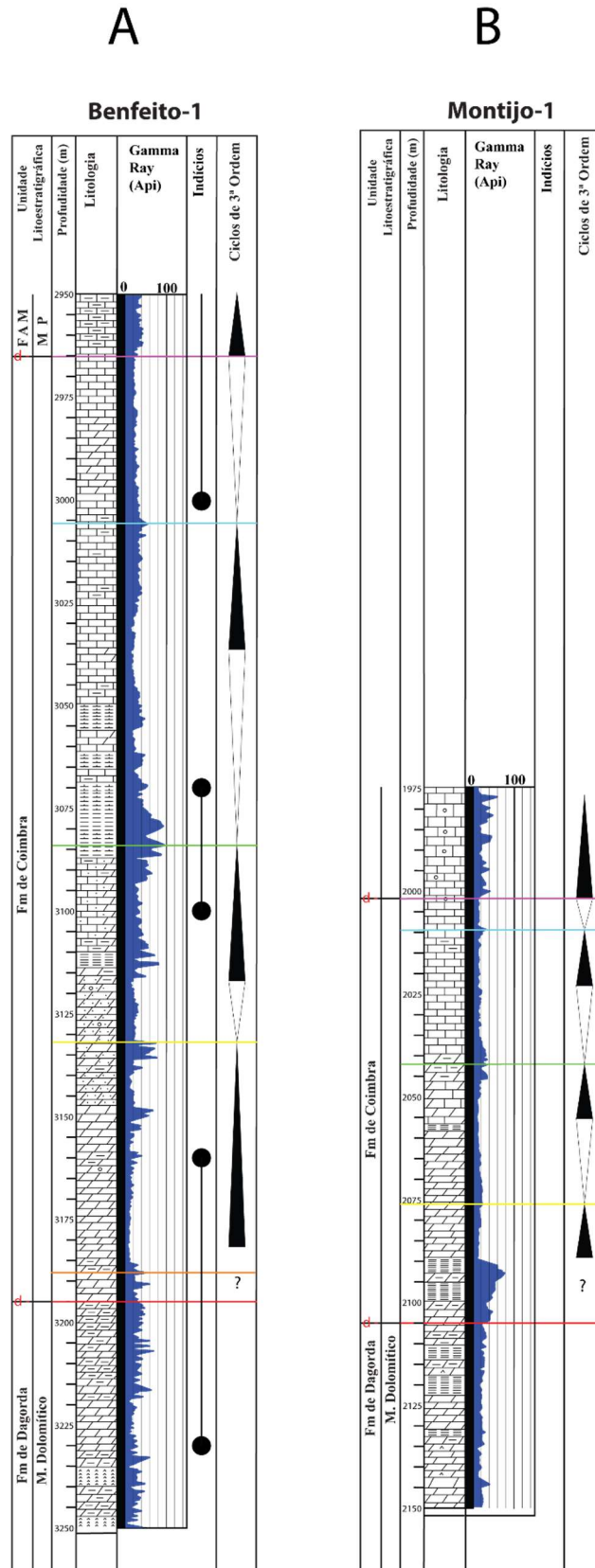


Figura IV 8. A- Log litoestratigráfico e diagrafia de GR da sondagem Benfeito-1, e correlação das principais sub-unidades margosas da Fm de Coimbra; B - Log litoestratigráfico e diagrafia de GR da sondagem Montijo-1, e correlação das principais sub-unidades margosas da Fm de Coimbra.

### 1.3.3. Sondagem Pescada – 1

A sondagem Pescada-1 foi realizada em 1975 com o objectivo de prospectar as séries carbonatadas do Jurássico Superior e Jurássico Inferior por se encontrarem características muito favoráveis para constituírem bons reservatórios. Descobriu-se que praticamente não existia Jurássico Inferior, e as séries do Jurássico Superior encontravam-se impregnadas de água.

**Limites estratigráficos e valores de RGT:** O limite inferior da Fm de Coimbra foi definido nos 2675 m de profundidade, coincidente com o fim de sequência de anidrite intercalada com dolomitos. O limite superior foi definido aos 2649 m na descontinuidade com, muito provavelmente, a Fm de Calcário de Pedreira (Batoniano). Os valores de RGT deste curto intervalo são, no entanto, bastante altos, exibindo um pico máximo de aproximadamente 90 API (e provavelmente com a unidade F), e com um mínimo de 30 API.

## 2. Afloramentos, aquisição radiométrica e difracção de raios-X

São aqui apresentadas as observações de campo mais relevantes, e os resultados da difracção de raios-X das amostras recolhidas nos afloramentos estudados. É ainda apresentada a curva de variação de RGT e quantificação dos teores de K, Th e U relativos ao perfil do Bairro de S. Miguel, como descrito no **Cap. III 3.2**.

### 2.1. Perfil do Bairro de S. Miguel

Neste afloramento define-se o limite entre as formações de S. Miguel e de Vale das Fontes. A bibliografia define a Fm de S. Miguel como sendo composta por calcários amarelados a esbranquiçados, em bancadas métricas a decimétricas, intercalados com bancadas centimétricas de margas cinzentas e bancadas decimétricas de calcário margoso. Estes calcários podem ser ocasionalmente esparíticos, micríticos e oolíticos e podem conter bivalves e gastrópodes (Dimuccio *et al.*, 2016). A Fm de Vale das Fontes, por sua vez, é composta por bancadas de margas cinzentas e margas calcárias cinzentas, com bancadas centimétricas de calcários esbranquiçados. A difracção de raios-X em 6 das amostras analisadas indicaram uma predominância dolomítica, e só a

amostra SM1 situada no topo da Fm de S. Miguel, demonstrou um domínio calcário. Foram encontrados ainda vestígios de hematite e de pirite, em algumas amostras, com a pirite a ser mais dominante nas amostras para o topo da Fm de S. Miguel. Ocorre ainda para o topo da Fm de S. Miguel uma diminuição do conteúdo siliciclástico e do conteúdo em hematite. A Figura IV 9 demonstra a recolha de dados radiométricos neste afloramento e a Fig. IV 10, a coluna estratigráfica elaborada deste perfil, demonstrando os locais onde foram recolhidas as amostras.



Figura IV 9. Aquisição radiométrica no perfil de S. Miguel. A- Parte superior do perfil, com alternância de bancadas calco-margosas da Fm de S. Miguel, acima, uma sucessão margosa da Fm de Vale das Fontes; B e C- aquisição radiométrica perpendicular aos planos de estratificação; D- parte inferior da Fm de S. Miguel.



## Perfil de S. Miguel

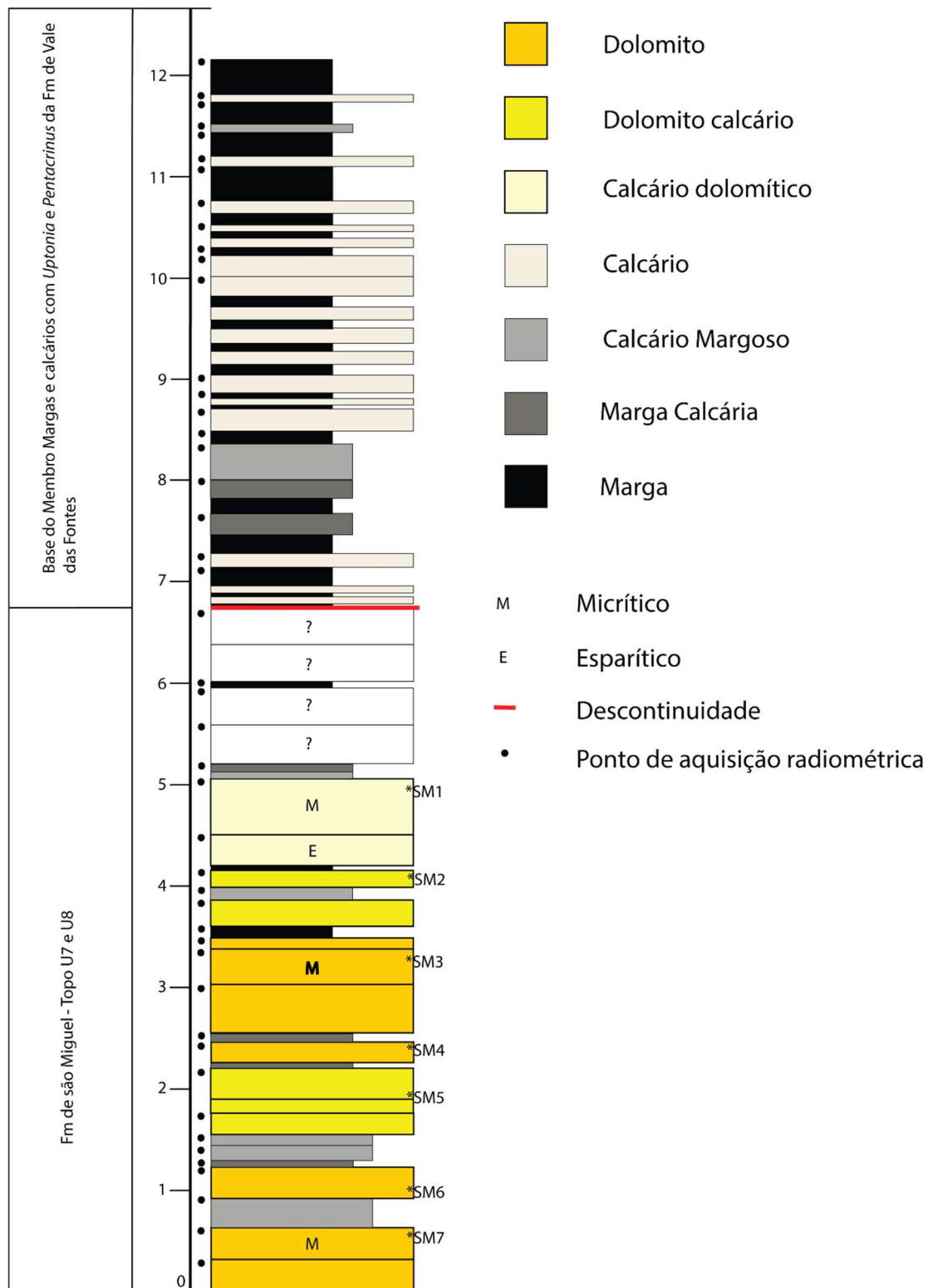
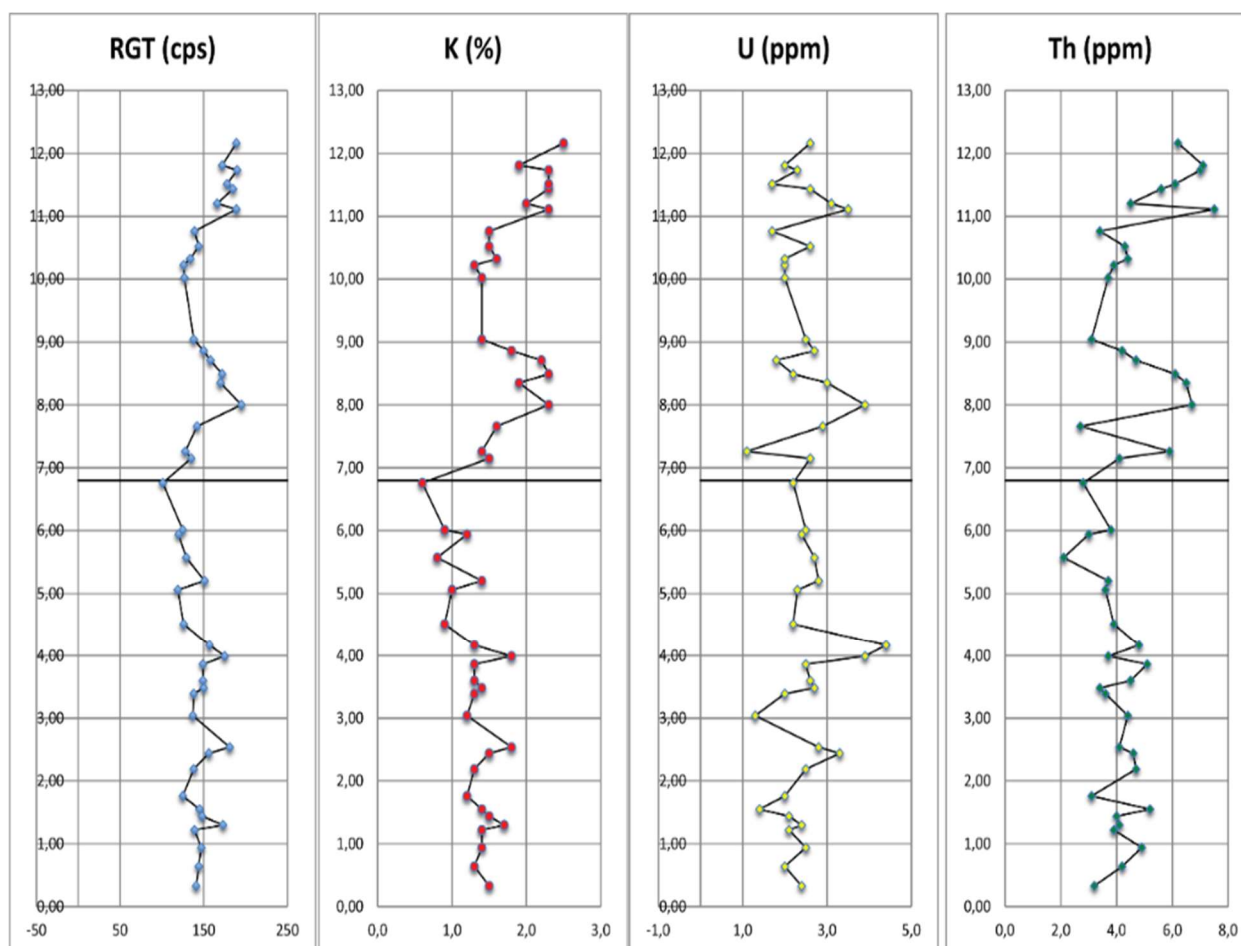


Figura IV 10. Coluna litoestratigráfica do perfil do Bairro de S. Miguel. A sucessão da Fm de S. Miguel (Dimuccio *et al.*, 2016) é apresentada em função dos resultados obtidos da difracção de raios-X. Na Fm de Vale das Fontes (Duarte & Soares, 2002) assumiu-se que as rochas de carácter carbonatado são calcários. Os pontos de aquisição radiométrica são também assinalados (ver também Anexo III).

A Fig. IV 11 demonstra a curva de variação de RGT, e composição de K, U e Th. Os valores de RGT e as quantificações de K, U, e Th, encontram-se tabulados no Anexo III. Verifica-se uma relação quase directa entre os valores de RGT e os teores de K e de Th, dando-se um aumento na composição destes elementos da Fm de S. Miguel para a Fm de Vale das Fontes. Há uma influência entre o aumento ou diminuição dos teores de U nos valores de RGT, apesar das duas curvas de variação terem as suas discrepâncias. Os teores em U relacionam-se com os intervalos de maior quantidade de K e Th, e os valores máximos são idênticos nas duas formações. Por último a Fig. IV 12, os difractogramas das amostras SM1 e SM7, e a Tabela IV 1 demonstra os resultados da semiquantificação da componente mineralógica das amostras recolhidas.



**Figura IV 11. Variação das assinaturas radiométricas (Radiação Gama Total (RGT) e quantificação de K (%), U e Th (ppm)) registadas no perfil do Bairro de S. Miguel. A escala vertical é em metros.**

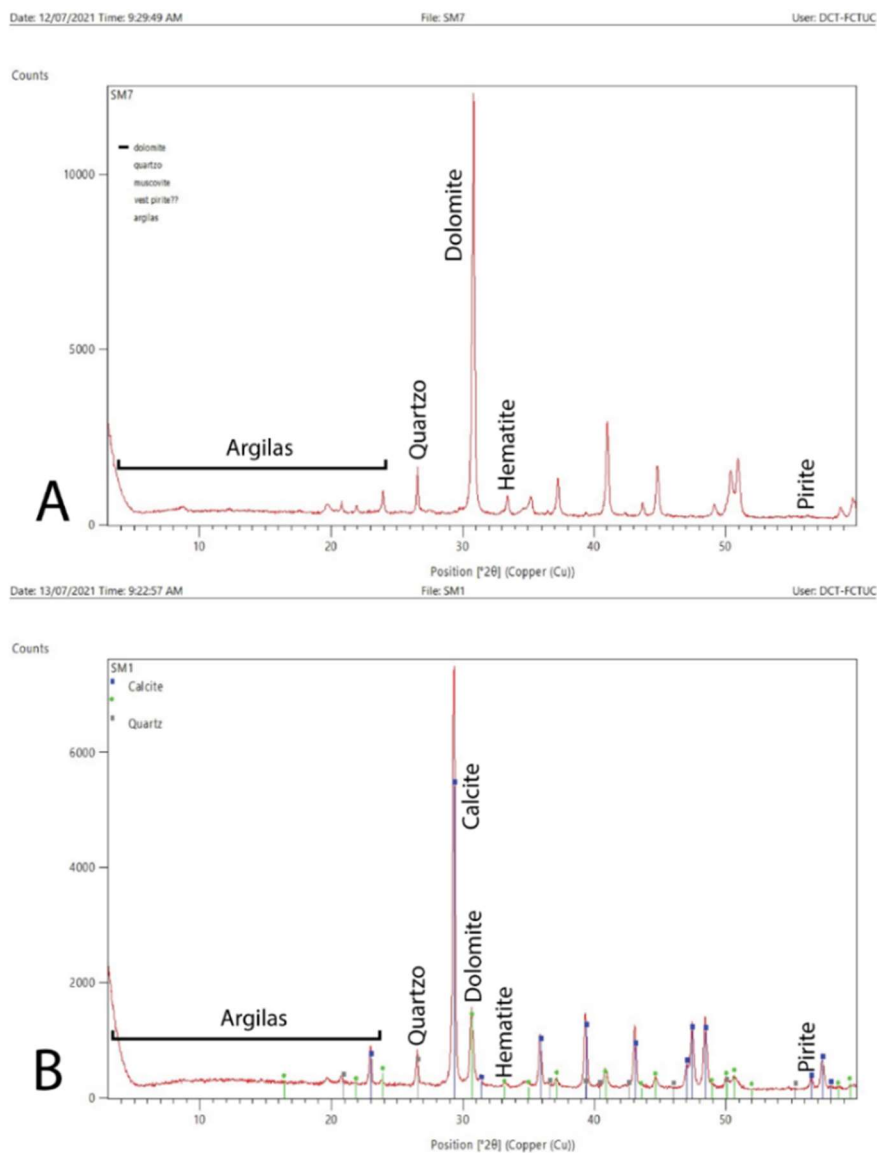


Figura IV 12. Tipologia dos difractogramas obtidos no perfil de S. Miguel. A- Difractograma da amostra SM7, onde se mostra uma associação mineralógica predominantemente dolomítica, pouco argilosa com algum quartzo e hematite; B- Difractograma da amostra SM1, onde se mostra uma mudança para uma associação predominantemente calcítica. Em relação à amostra anterior, há um incremento de pirite.

Tabela IV 1. Semiquantificação mineralógica das amostras recolhidas no perfil do Bairro de S. Miguel.

	SM1	SM2	SM3	SM4	SM5	SM6	SM7
Quartzo (%)	5,79	0,45	8,14	6,83	8,57	6,94	6,01
Argilas (%)	1,32	1,59	4,51	4,09	2,74	5,97	5,36
Calcite (%)	77,61	20,53	1,47	1,02	5,26	2,01	0
Dolomite (%)	12,38	75,82	83,31	84,46	80,86	83,7	85,18
Hematite (%)	0,84	1,08	1,77	3,59	2,57	1,38	2,92
Pirite (%)	2,06	0,53	0,79				0,53

## 2.2. Perfil de Lamas

Neste afloramento define-se o limite entre a Fm de Pereiros e a base da Fm de Coimbra. A Fm de Pereiros mostra uma sucessão de bancadas de argilitos/lutitos vermelhos intercalados com bancadas decimétricas a centimétricas de dolomitos. No limite com a Fm de Coimbra, demarcado por uma importante descontinuidade, ocorrem argilitos esbranquiçados e avermelhados. A transição é bem demarcada com a Fm de Coimbra a apresentar camadas métricas de dolomitos argilosos amarelos (Fig. IV 13). A Fig IV 14 mostra a coluna litoestratigráfica deste perfil, indicando os locais onde as amostras foram recolhidas. A Tab. IV 2 contém os resultados da semiquantificação mineralógica destas amostras, e a Fig. IV 15 dois difractogramas, representativos do topo da Fm de Dagorda (L2) e da base da Fm de Coimbra nesta região (L8).

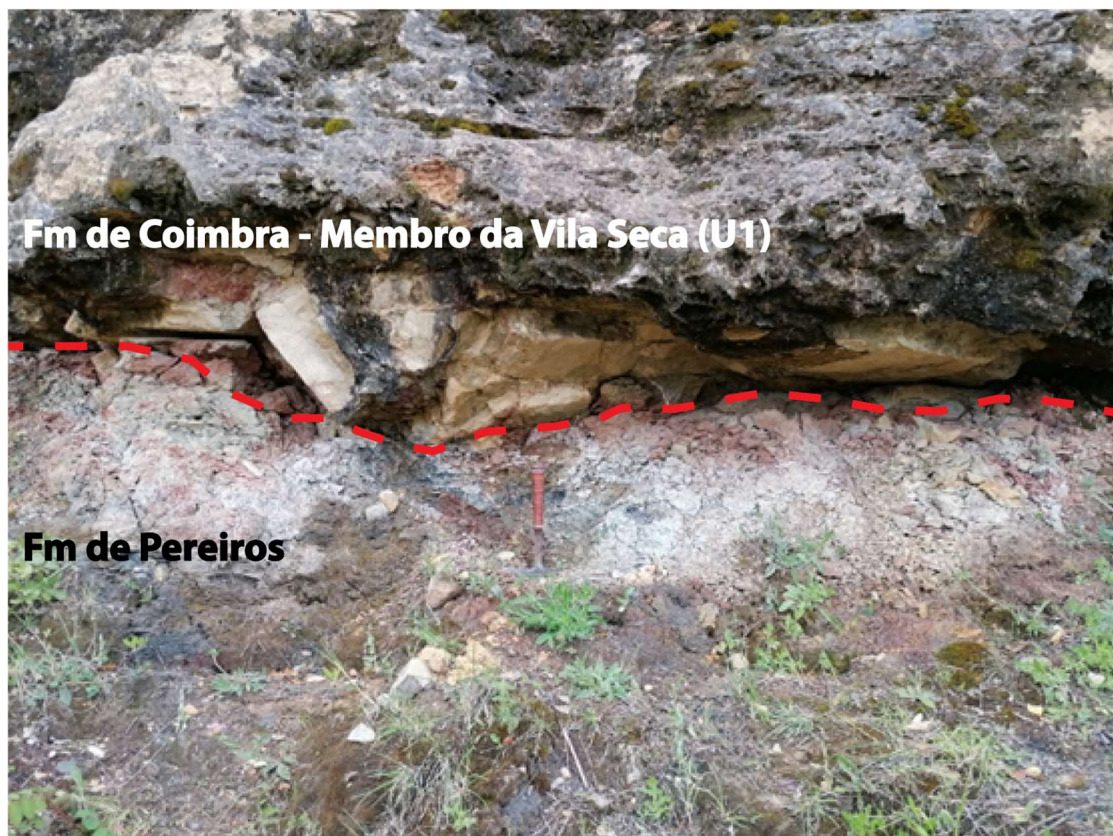


Figura IV 13. Contacto entre as formações de Pereiros e de Coimbra no perfil de Lamas



No limite com a Fm de Coimbra, e nesta região, a Fm de Pereiros apresenta predominantemente conteúdo em minerais siliciclásticos (incluindo argilas), e conteúdo variável em minerais carbonatados (Tab. IV 2). De todas as amostras recolhidas na Fm de Pereiros, só na amostra L1 surgem evidências de minerais evaporíticos. A Fm de Coimbra apresenta-se predominantemente dolomítica, por vezes muito argilosa e ferruginosa. Para o topo do perfil, diminui o conteúdo dolomítico e a quantidade de hematite, e aumenta o conteúdo argiloso (Tab. IV 2). A partir da amostra L9, não foi possível estudar a sucessão seguinte por inacessibilidade e erosão.

### Perfil de Lamas

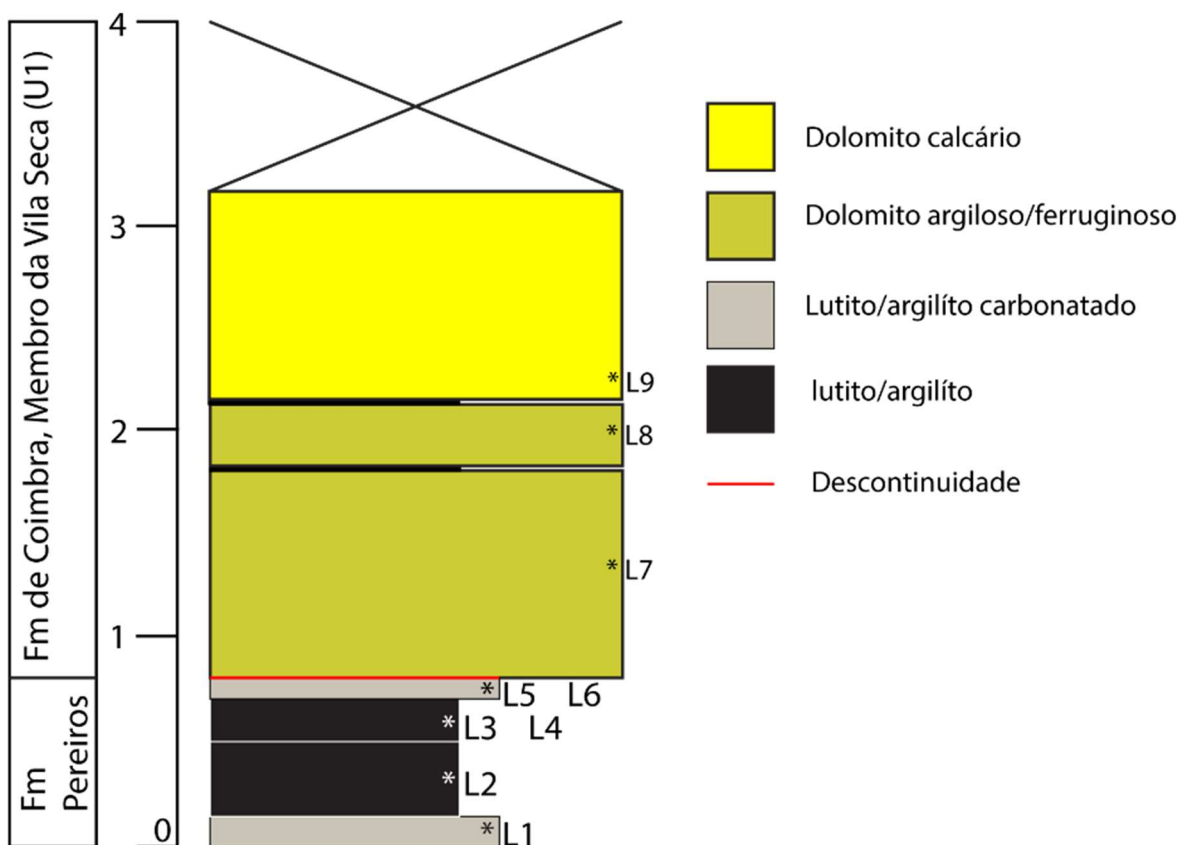
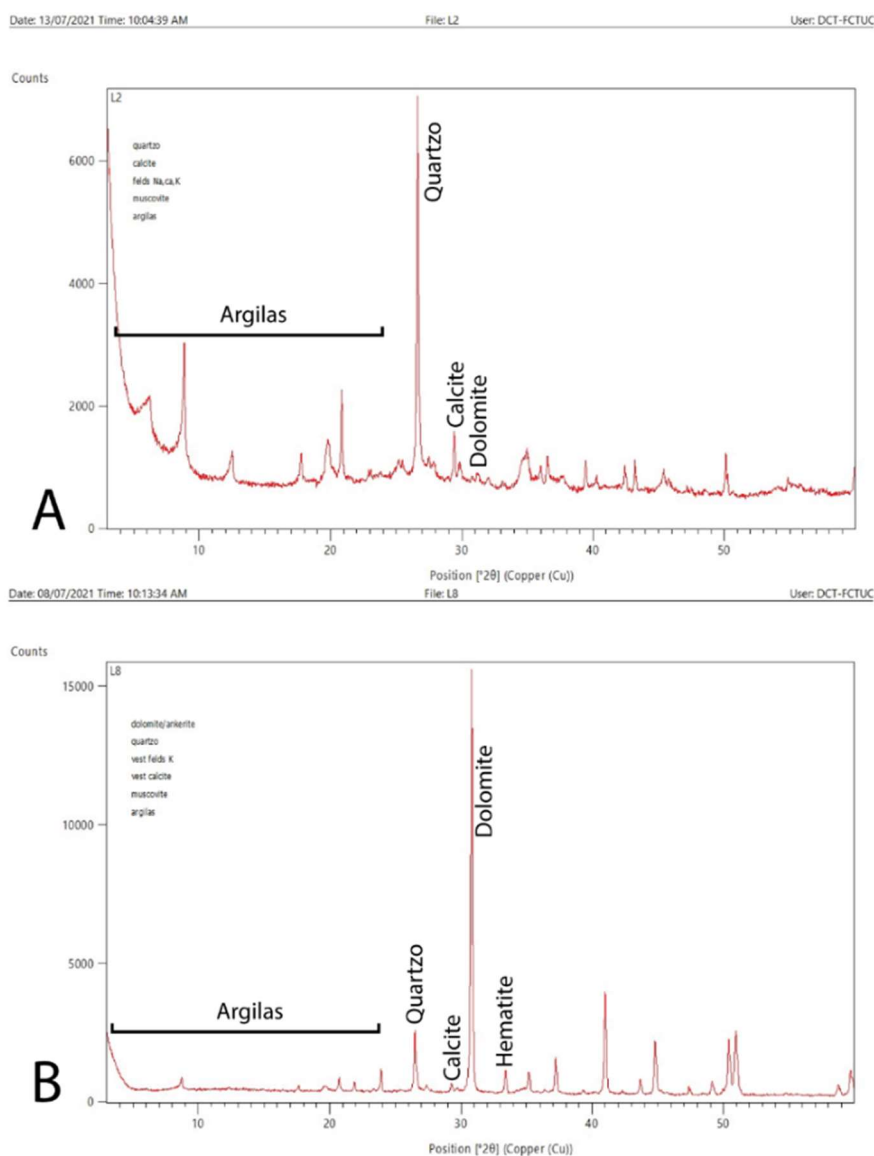


Figura IV 14. Coluna litoestratigráfica do perfil estudado em Lamas. A sucessão da Fm de Pereiros e da Fm de Coimbra (Dimuccio *et al.*, 2016) são apresentadas em função dos resultados obtidos da difracção de raios-X.



**Figura IV 15. Tipologia dos difractogramas obtidos no perfil de Lamas; A- Difractograma da amostra L2 recolhida no topo da Fm de Dagorda, onde se observa uma associação mineralógica predominantemente argilosa e quartzosa; B- Difractograma da amostra L8 representativo da base da Fm de Coimbra, onde se observa uma clara distinção da amostra anterior no conteúdo mineralógico. A amostra é composta maioritariamente por dolomite.**

**Tabela IV 2. Semiquantificação mineralógica das amostras recolhidas no perfil de Lamas.**

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
Quartzo (%)	37,1	50,11	57,21	49,38	50,14	57,61	8,97	8,43	7,66
Calcite (%)	4,35	9,08	8,37	9,79	18,53	2,05	14,26	1,04	37,46
Dolomite (%)	21,15	3,33	4,92	2,59	2,22	2,14	71,07	82,16	44,36
Argilas (%)	29,14	35,13	29,51	38,24	24,87	35,58	2,9	4,51	9,32
Hematite (%)	1,18	2,35			4,23	2,62	2,8	3,85	1,2
Gesso (%)	7,08								

## 2.3. Perfil da Praia da Concha

O afloramento da Fm de Coimbra na Praia da Concha (Fig. IV 16) exhibe a sucessão mais completa desta unidade na margem ocidental da BL, exibindo uma sucessão de fácies carbonatadas, dolomíticas e margosas, incluindo fácies do tipo *black shales* (unidade F) bem como ocorrências estromatolíticas domiformes (ver Azerêdo *et al.*, 2010; Duarte *et al.*, 2014b).



Figura IV 16. Alguns aspectos relevantes da sucessão basal da Fm de Coimbra aflorante na Praia da Concha (S. Pedro de Moel); A- vista para as arribas do norte da Praia da Concha; B- secção sul da praia onde se observa a base dolomítica da Fm de Coimbra; C- unidades de *black shale* localizadas na base da unidade; D- unidades de *black shale*, da unidade F.

No entanto, este afloramento encontra-se afectado por dobramentos e falhas complexas, com os estratos encontrarem-se numa posição quase vertical (Fig. IV 16). De acordo com os estudos citados anteriormente, recolheu-se amostras representativas de cada subunidade. A Fig. IV 17 apresenta a coluna litoestratigráfica de Duarte *et al.* (2014b) adaptada com a localização destas amostras, e na Fig. IV 18 apresentam-se os

difratogramas das amostras PCS3, PCS8 e PCSUF, que ilustram algumas das associações mineralógicas mais marcantes da sucessão.

Os resultados da difracção de raios-X, apresentados nas Tab. IV 3 e Tab. IV 4 confirmam o estudado em Duarte *et al.* (2014b) (Fig. IV 17). As amostras PCS1 à PCS5, recolhidas da base da Fm de Coimbra, indicam uma composição maioritariamente dolomítica com pouco conteúdo argiloso. A partir da amostra PCS6, as amostras têm uma composição maioritariamente calcária, com oscilações do conteúdo de quartzo, argilas, dolomite, hematite e pirite (Tab. IV 3 e Tab. IV 4). As amostras PCS7 e PCS 9B, contêm uma quantidade anómala de pirite em relação aos resultados das restantes amostras, e as amostras que revelaram maior conteúdo argiloso pela difracção de raios-X foram a PCSUF e a PCSUH.

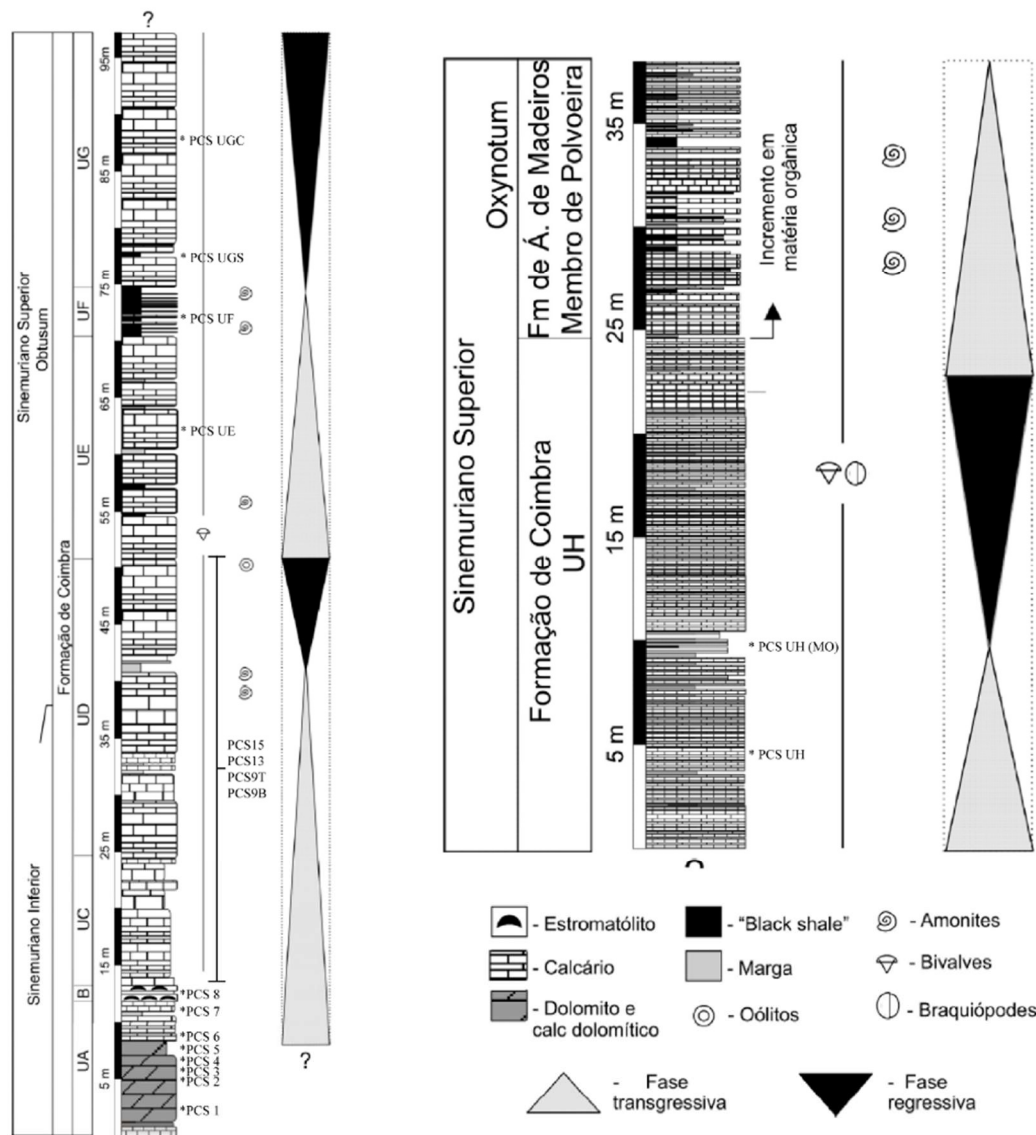


Figura IV 17. Coluna estratigráfica demonstrando a variação litológica com a interpretação sequencial (3ª ordem) da Fm de Coimbra na Praia da Concha em S. Pedro de Moel. É acrescentado os locais onde se realizou a amostragem (parcialmente baseado em Azerêdo *et al.*, 2010, *in* Duarte *et al.*, 2014b).

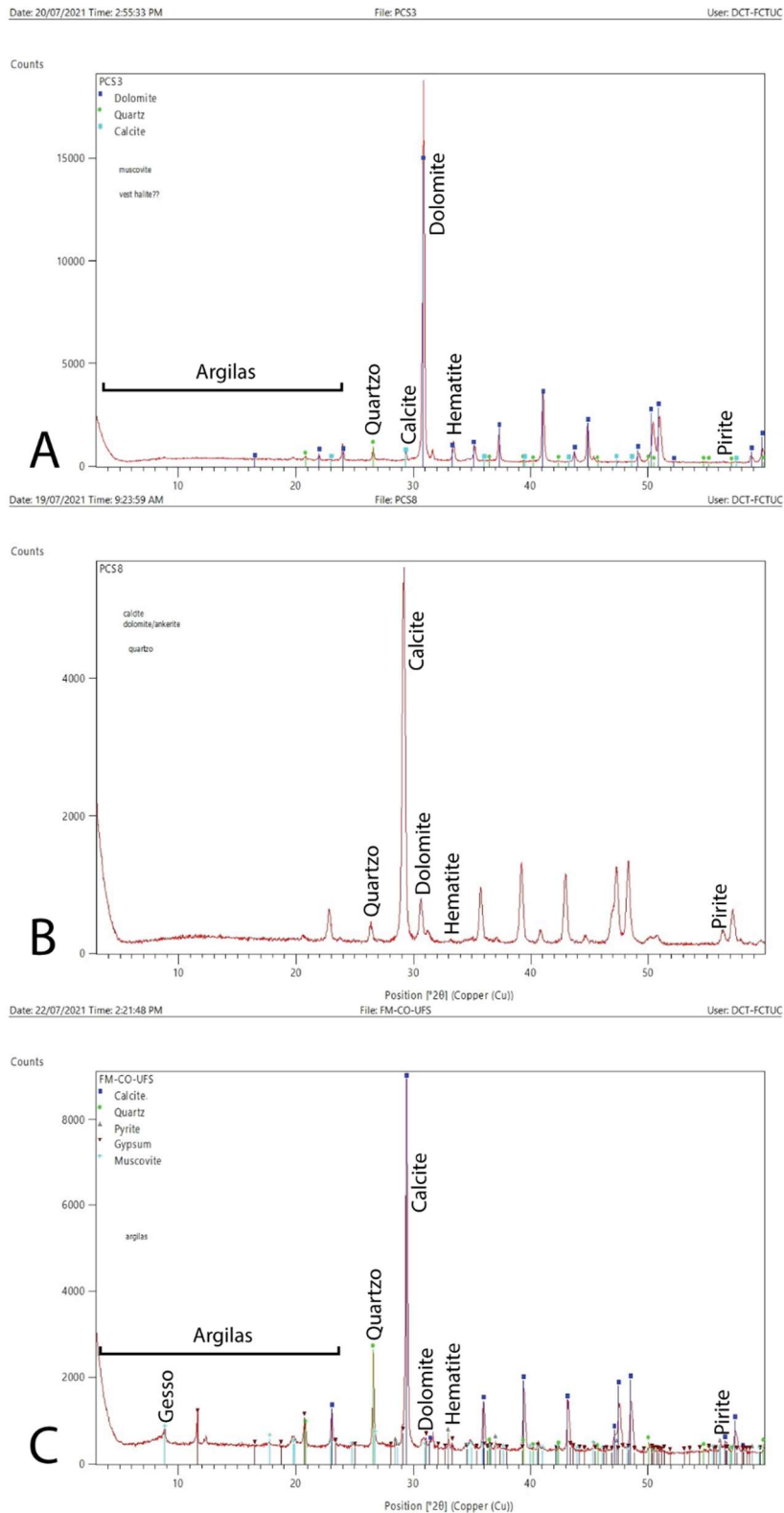


Figura IV 18. Tipologia dos difractogramas obtidos no perfil da Praia da Concha (S. Pedro de Moel) A- Difractograma da amostra PCS3 da base da Fm de Coimbra, demonstrando uma associação mineralógica dominada por dolomite, e pouco conteúdo em quartzo e argilas; B – Difractograma da amostra PCS8 da base da Fm de Coimbra, onde já se observa uma associação mineralógica dominada por calcite, e alguma dolomite vestigial. Há também um aumento do conteúdo de argilas e quartzo; C – Difractograma da amostra PCSUF recolhida nas unidades de *black shales* (UF) da Fm de Coimbra, com uma associação mineralógica enriquecida em argilas e quartzo, mas dominantemente calcítica.



**Tabela IV 3. Semiquantificação mineralógica das amostras recolhidas na base da Fm de Coimbra na Praia da Concha em S. Pedro de Moel.**

	PCS1	PCS2	PCS3	PCS4	PCS5	PCS6	PCS7	PCS8	PCS9B	PCS9T
Quartzo (%)	1,97	2,45	1,98	2,16	3,65	2	2,52	1,24	3,26	8,62
Argilas (%)	1,41	2,59	0,9	0,9	1	0,9	0	0,3	2,11	4,86
Calcite (%)	2,31	0,98	1,96	2,48	0,58	90,4	89,84	87,41	89,98	84,84
Dolomite (%)	89,64	90,53	89,99	90,7	90,5	4,9	1,85	8,11		
Hematite (%)	4,67	3,45	4,77	3,48	3,9	0,3		0,61		
Pirite (%)			0,4	0,28	0,37	1,5	5,8	2,32	4,65	1,68

**Tabela IV 4. Semiquantificação mineralógica das amostras, recolhidas do topo da Fm de Coimbra em S. Pedro de Moel.**

	PCS13	PCS15	PCSUE	PCSUF	PCSUGC	PCSUGS	PCSUH	PCSUH(MO)
Quartzo (%)	10,71	11,01	10,18	1,11	2,4	4,05	0,91	15,73
Argilas (%)	5,06	4,22	5,69	10,21	1,13	3,19	0	7,07
Calcite (%)	81,03	82	81,96	81,73	91,19	89,46	94,43	40,95
Dolomite (%)	1,44	1,14		5,08	2,34	1,43	1,46	34
Hematite (%)				0,86				1,21
Pirite (%)	1,76	1,63	2,17	1,01	2,94	1,87	3,2	1,04

## 2.4. Perfil da Papôa

A ponta da Papôa exhibe a unidade do Jurássico mais antiga que se encontra exposta na região de Peniche. Neste local, a Fm de Coimbra é materializada por uma sucessão de calcários micríticos, bioclásticos, oolíticos, muito carsificados e com raras intercalações margosas. Algumas fácies são ricas em bivalves e gastrópodes, e no topo definem-se bioturbações do tipo *Thalassinoides* (Fig. IV 19 B). Neste local é ainda possível observar o limite da Fm de Coimbra com a Fm de Água de Madeiros (Fig. IV 19A). Devido ao facto de a sucessão ser monótona, não se fez uma análise e amostragem pormenorizada. A Fig. IV 20 é uma representação geral dos resultados dos difractogramas obtidos. A Tab. IV.5 indica os valores da semiquantificação destas amostras. O conteúdo é essencialmente calcítico, por vezes com grande quantidade de quartzo. Revela-se por vezes pouco a nenhum material argiloso.

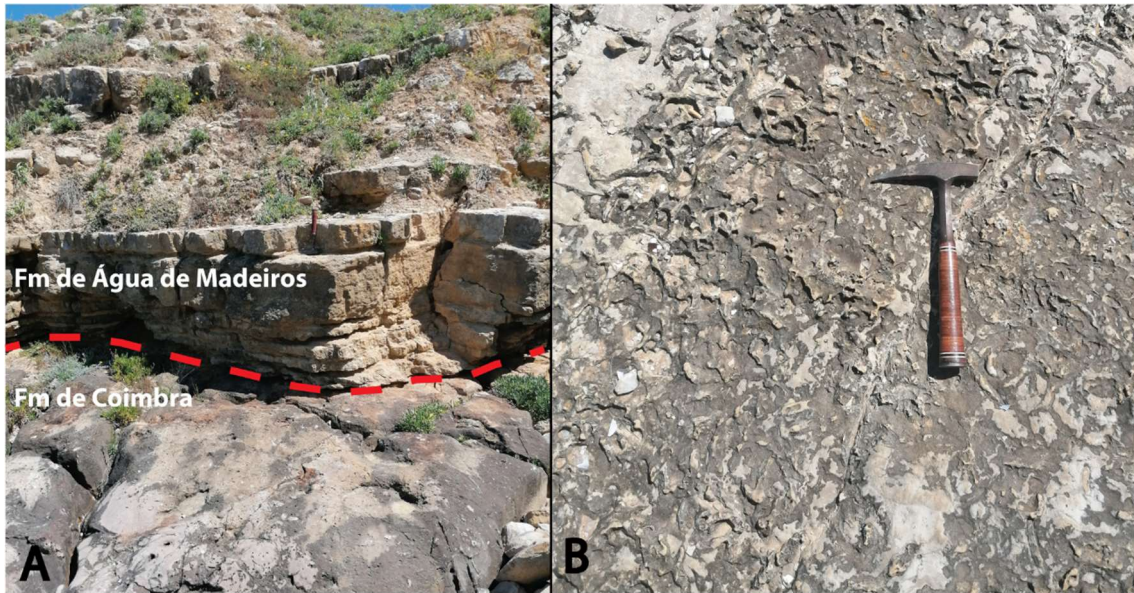


Figura IV 19. Aspectos das unidades sinemurianas aflorantes na Papôa. A- Contacto da Fm de Coimbra com a Fm Água de Madeiros; B- bioturbações do tipo *Thalassinoides* encontradas no topo da Fm de Coimbra.

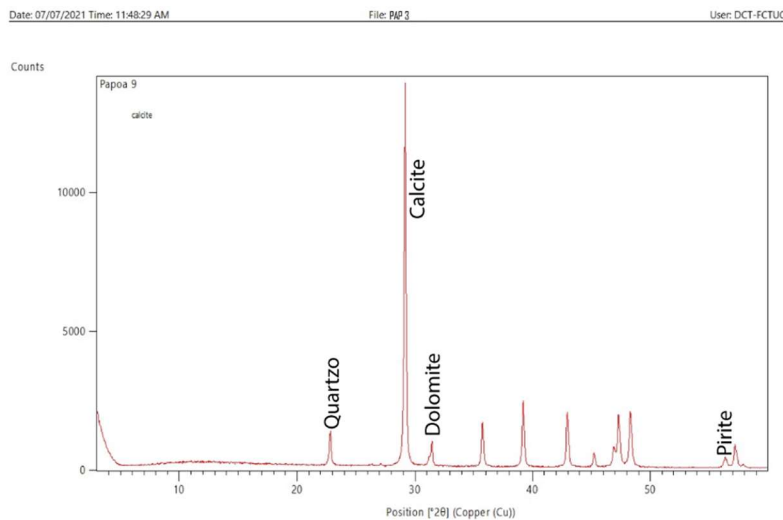


Figura IV 20. Difractograma da amostra PAP3, evidenciando uma litologia predominantemente calcária.

Tabela IV 5. Semiquantificação mineralógica das amostras recolhidas no topo da Fm de Coimbra na Ponta da Papôa em Peniche, evidenciando um claro domínio da calcite e uma presença acessória da dolomite.

	PAP 1	PAP 2	PAP 3
Quartzo (%)	0,49	18,73	0,41
Argilas (%)		2,82	
Calcite (%)	96,05	75,6	95,43
Dolomite (%)	2,18	0,96	1,04
Pirite (%)	1,28	1,89	3,12

## V. Discussão

Considerando a análise dos dados de subsuperfície da Fm de Coimbra, objecto central desta dissertação, bem como dessa integração com todos os elementos bibliográficos disponíveis, este capítulo de discussão encontra-se dividido em três tópicos. O primeiro deles está relacionado com a **variação do RGT** observada na Fm de Coimbra e a **análise sequencial** interpretada a partir dos registos das sondagens, e a sua correlação com os ciclos de 2ª e 3ª ordem previamente definidos (ver Duarte *et al.*, 2014b; Sêco *et al.*, 2018). O segundo tópico, discute a **distribuição espacial da Fm de Coimbra**, e pretende explorar a variabilidade faciológica, lateral e vertical da BL, baseado nos dados anteriores. O último tópico pretende discutir a influência da Fm de Coimbra nos **sistemas petrolíferos** da BL.

### 1. Variação do RGT e análise sequencial

Os dados de RGT exibem grandes diferenças de valores entre as sondagens e entre sectores. O primeiro ponto, é a variação dos valores médios de RGT em todas as sondagens, não dependendo necessariamente da localização distal ou proximal na BL, e incluindo até sondagens com relativa proximidade entre si, que podem ter valores de RGT muito díspares. Um exemplo disto são as sondagens do NW da bacia, que exibem, por vezes, valores de RGT muito baixos em comparação com outras do mesmo local com valores de RGT altos. Há sondagens em que baixos valores de RGT contrastam com altos valores nas unidades mais margosas, e há outros casos em que não (ver Anexo II). No entanto, há um certo padrão que é consistente em quase todas as sondagens analisadas. Neste tópico de discussão é preciso acrescentar factores de diluição tanto na leitura do RGT, que poderá ter sido causado pela imprecisão da leitura do próprio espectrómetro (*e.g.* camadas inclinadas ou superfícies irregulares e até a injeção de fluídos para arrefecimento da perfuradora que poderá ter removido material) ou factores de dados concentrados de RGT (*e.g.* compactação de estratos).

Como explicado nos Caps. III e IV, tendencialmente, entre os limites estratigráficos da Fm de Coimbra e as suas principais unidades margosas, definiram-se cinco intervalos. A Tab. V 1 demonstra os valores máximos e mínimos de RGT em cada intervalo, por sondagem. Quando não foi possível definir alguns intervalos, e assumindo-se a possibilidade de ausência de registo sedimentar parcial da Fm de Coimbra, não se tabulou os valores de RGT. Acrescenta-se ainda que foram feitas significativas



mudanças aos limites estratigráficos da Fm de Coimbra, previamente definidos nos relatórios das sondagens.

Em regra geral, o RGT sobe gradualmente no limite inferior da Fm de Coimbra até ao final do segundo intervalo de RGT, cujo limite se correlaciona com a unidade D ou seu equivalente lateral. No terceiro intervalo há uma sucessão decrescente, cuja espessura pode variar consoante as sondagens, e volta a subir, em algumas sondagens de forma abrupta, com o seu valor máximo a definir o término deste intervalo, e cuja correlação equivale à unidade F, ou o seu equivalente lateral. É nesta sucessão que se encontram os maiores valores de RGT em quase todas as sondagens. No quarto intervalo, e na maioria das sondagens, os valores médios de RGT decrescem, voltando a subir apenas no final do último intervalo margoso (unidade H ou equivalente), onde começa o quinto intervalo, com valores decrescentes de RGT até ao limite superior da Fm de Coimbra. Os valores médios de RGT da base da Fm de Coimbra ao topo do terceiro intervalo (unidade F, ou equivalente) são, por norma, maiores do que a parte superior da formação, com as sondagens do sector setentrional e a maior parte das sondagens do sector central (S. Mamede-1, Aljubarrota-2, Gaiteiros-1, e Sobral-1) a seguirem este padrão, incluindo os casos em que não foi possível definir todos os intervalos (ver Anexo II). As sondagens 20B-1 e Bf-1 são exceções a esta premissa, apresentando uma média de RGT no topo da formação (quarto e quinto intervalo) superior à da base, o que pode ser interpretado por maior contribuição siliciclástica nas sucessões carbonatadas. Na sondagem 17C-1 demonstra-se muito pouca variabilidade de RGT na Fm de Coimbra, e os valores máximos apresentam-se na base da formação, à qual Sêco *et al.* (2018) correlacionam com a unidade A (Fig. V 1, Anexo II). Este fenómeno encontra-se também na sondagem Montijo-1, numa localização muito afastada da sondagem anterior. Estes casos poderão estar relacionados com depósitos siliciclásticos sem qualquer associação a matéria orgânica. As principais unidades margosas dos três primeiros intervalos podem apresentar valores máximos de RGT similares entre si, como é o caso das sondagens Do-1C, Fa-1 e 17C-1, em que os valores máximos das unidades D e F são quase iguais (Tab. V 1). E tanto a unidade A como as unidades D e H (ou seus equivalentes) podem apresentar valores bastante significativos, quando comparados com os valores máximos de RGT da unidade F (embora nunca os ultrapassando) como é o caso das sondagens Cp-1, 14C-1A, Fa-1, 14A-1, MRW-9, SPM-2, 17C-1, Ga-1 e Bf-1 (Figs. V 1 e V 2 e Anexo II).

Relativamente ao contraste do RGT observado nas sondagens Sbl-1 e na sondagem Pe-1, este poderá estar associado a depósitos de siltitos e argilitos carbonatados, que terão sido compactados, contribuindo para os valores elevados e anómalos de RGT (Na sondagem Pe-1, da Fm de Coimbra à descontinuidade com o

Jurássico Médio, o RGT situa-se sempre acima dos 30 API, e ultrapassa várias vezes os 80 API; Na sondagem Sb-1, a base da Fm de Coimbra tem só 15 m de espessura, e o RGT exibe uma variação entre os 20 e os 90 API) . Os casos diferem apenas no que diz respeito à totalidade da sucessão da Fm de Coimbra, mas é indicado que os ambientes seriam de águas rasas/planícies de inundação. A sucessão presente na sondagem Sb-1 situar-se-ia num alto estrutural com muita pouca coluna de água no início do Sinemuriano, que terá evoluído para um ambiente de plataforma marinha interna justificando a redução abrupta dos valores de RGT. Na sondagem Pe-1, no extremo sul da BL, persistiriam condições de águas rasas ou exposição superficial durante todo o Sinemuriano.

**Tabela V 1. Valores máximos e mínimos da radiação gama nos cinco intervalos de GR estabelecidos para a Fm de Coimbra.**

Sondagens	GR 1º Int. (API)		GR 2º Int. (API)		GR 3º Int. (API)		GR 4º Int. (API)		GR 5º Int. (API)	
	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.
Cp-1	49	5	52	4	60	18	60	4	-	-
Do-1C	59	28	80	23	83	21	79	20	61	19
13 E-1	39	20	51	17	79	16	59	16	44	13
Mo-1	26	19	42	16	54	11	26	12	21	11
14C-1A	77	42	79	38	100	35	100	30	-	-
Fa-1	43	14	43	22	47	19	36	20	27	16
14A-1	67	39	76	28	91	21	83	22	50	10
MRW-9	48	12	40	10	72	9	33	4	31	6
SPM-2	48	19	47	13	56	12	49	10	45	12
SM-1	29	15	31	10	60	14	48	16	22	16
Alj-2	-	-	43	-	61	14	44	16	39	15
17C-1	112	42	63	39	67	40	59	38	49	32
Ga-1	-	-	58	-	66	8	50	7	22	12
20B-1	23	9	39	8	58	15	24	8	22	10
Bf-1	60	20	79	6	97	16	59	17	36	20
Sb-1	-	-	73	-	89	20	58	18	26	15
Mtj-1	-	-	79	-	38	7	32	8	17	11
Go-1	-	-	-	-	54	-	34	13	-	-
Pe-1	-	-	-	-	90	-	75	30	-	-

A interpretação sequencial é baseada definindo a cada um dos quatro principais intervalos margosos identificados na Fm de Coimbra, como a parte transgressiva de ciclos transgressivo-regressivos (T-R) de 3ª ordem. Desta forma, e excluindo a primeira unidade margosa da Fm de Coimbra (correlacionada com a unidade A ou seu equivalente), que tem pouca significância, definem-se três T-R de 3ª ordem, que se

inserir num ciclo transgressivo de 2ª ordem com a sua expressão máxima no topo da Fm de Água de Madeiros (à volta do limite Sinemuriano-Pliensbaquiano, tal como documentado em Duarte *et al.* 2010) (Figs. V 1 e V 2).

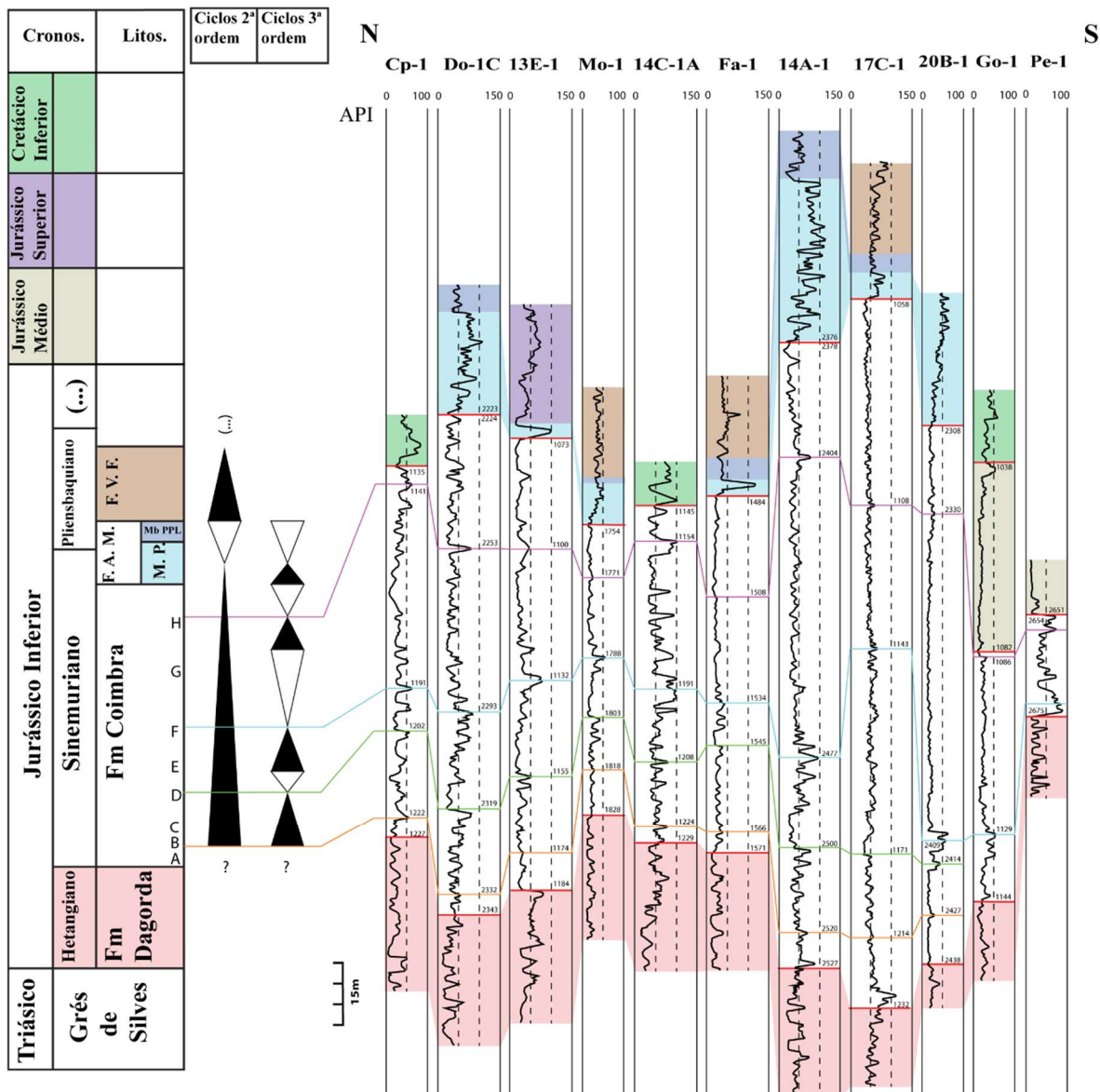


Figura V 1. Correlação entre os poços *offshore* estudados e as superfícies de máxima inundação e limites de seqüencia com os ciclos T-R de 2ª e 3ª ordem do Sinemuriano-Pliensbaquiano de Duarte *et al.* (2010, 2014b).

Excluindo a sondagem Pe-1, os dados de RGT corresponderam de forma adequada com os ciclos sedimentares T-R de 2ª e 3ª ordem identificados em Duarte *et al.* (2010, 2014b), incluindo os dados das sondagens em que a Fm de Coimbra   cortada por descontinuidade. As Figs. V 1 e V 2 demonstram a correla o dos registos de RGT, respectivamente, das sondagens *offshore* e *onshore* com os ciclos T-R de 2ª e 3ª ordem. Na Fm de Coimbra os intervalos margosos coincidem com os maiores valores de RGT, definindo-se os intervalos transgressivos dos ciclos de 3ª ordem, e da mesma forma

verifica-se que a deposição de intervalos carbonatados coincidem com os decréscimos dos valores de RGT definindo-se os intervalos regressivos dos ciclos de 3ª ordem. Verifica-se a uma boa correlação da utilização desta metodologia na análise sequencial nas sucessões margo-calcárias do Jurássico Inferior da BL, tal como nos trabalhos de Correia *et al.* (2013) e Sêco *et al.* (2018).

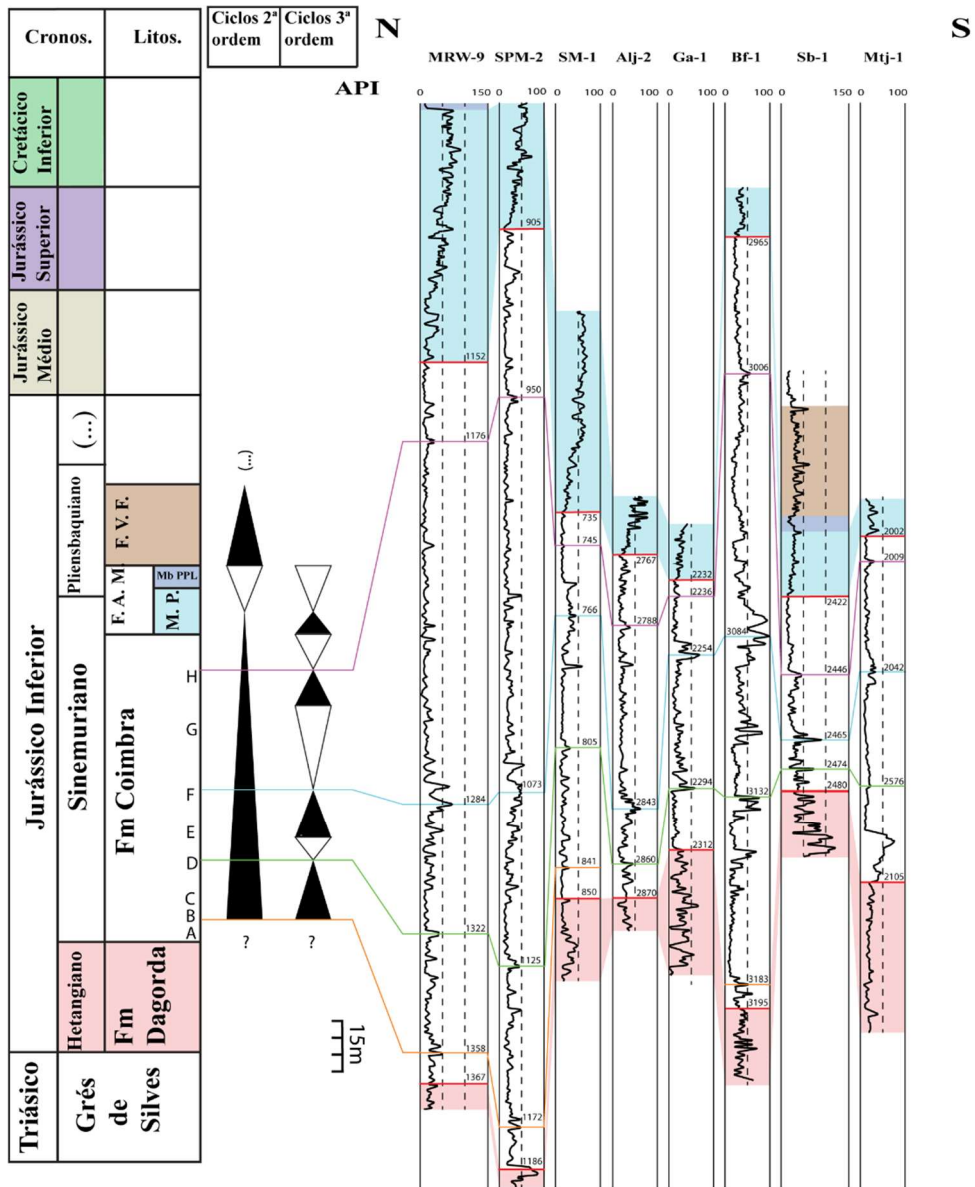


Figura V 2. Correlação entre os poços *onshore* estudados e as superfícies de máxima inundaçãe e limites de sequência com os ciclos T-R de 2ª e 3ª ordem do Sinemuriano-Pliensbaquiano de Duarte *et al.* (2010, 2014b).

## 2. Variabilidade faciológica da Formação de Coimbra

### 2.1. Diferenciação litológica

Do Sinemuriano inferior à base do Pliensbaquiano na BL, e como já referido no Cap. II, são formalizadas várias unidades em sectores distintos: no norte e centro destacam-se a Fm de Coimbra, a Fm de S. Miguel (Dimuccio *et al.*, 2016) e a Fm de Água de Madeiros (Duarte & Soares, 2002); e no sul, a Fm de Sesimbra (Azerêdo *et al.*, 2003) e a Fm de Fateota-Santa Cruz (Manuppella, 1983; Manuppella *in* Inverno *et al.*, 1993). A Fm de Coimbra, informalmente definida em dois membros por Azerêdo *et al.*, (2003), que se diferenciam pela relação dolomia/calcário, é uma representação geral desta unidade na BL. Dimuccio *et al.* (2016), definindo a Fm de Coimbra e Fm de S. Miguel formalmente pelas normas do Guia Internacional de Nomenclatura Estratigráfica para o domínio proximal e setentrional da Bacia Lusitânica, caracterizam a Fm de Coimbra (Sinemuriano inferior a Sinemuriano superior) como dolomítica a calco-dolomítica, pouco ou nada fossilífera e a Fm de S. Miguel (Sinemuriano inferior a Pliensbaquiano inferior) como calco-margosa, por vezes fossilífera e bioturbada com fácies negras ricas em matéria orgânica. Este estudo trata-se de uma representação regional, que não é compatível com os resultados deste trabalho (Fig. V 3). A maior parte das amostras recolhidas no topo da Fm de S. Miguel, na região de Coimbra, indicaram uma composição maioritariamente dolomítica. Seria preciso recolher mais amostras em vários afloramentos desta unidade para se verificar a validade desta afirmação. Por outro lado, as amostras da Ponta da Papôa, em Peniche, revelaram que o topo da Fm de Coimbra é composto predominantemente por calcário, com muito pouco ou nenhum vestígio de dolomite. As amostras de Lamas estavam de acordo com o articulado no estudo de Dimuccio *et al.* (2016) para a base da Fm de Coimbra, e as amostras recolhidas na praia da Concha em S. Pedro de Moel, de acordo com Duarte *et al.* (2014b).

Do estudo realizado, verifica-se que a Fm de Coimbra pode ser composta, em grande parte (e no caso da sondagem Cp-1, na sua totalidade) por uma sucessão calcária, como ocorre no extremo noroeste da BL (Fig V 4A, Anexo II). Por outro lado, a Fm de Coimbra pode ser composta, na sua quase totalidade, por uma sucessão dolomítica, como acontece nas sondagens Alj-2 e Ga-1 (Fig. V 4A, Anexo II), em que só nos últimos metros da unidade aparecem sucessões calcárias, e a partir do término da Fm de Coimbra aparecem calcários ou calcários margosos de forma massiva. Nestas



sondagens a unidade acima da Fm de Coimbra, é em termos litológicos mais semelhante à Fm de S. Miguel, embora os padrões de GR sejam idênticos aos da Fm de Água de Madeiros. Estas duas sondagens agrupam-se com a sondagem SM-1 em termos de localização, sendo que esta última, apesar de se localizar numa zona mais proximal, apresenta maior conteúdo em calcário. Mais ou menos na mesma latitude e a ocidente destas três sondagens, a sondagem 17C-1 tem maior composição calcária, mas ainda assim menor que as sondagens a norte. A sul da sondagem 17C-1, a sondagem 20B-1 é na sua totalidade calco-dolomítica, mas à mesma latitude e a E, a sondagem Bf-1, e a sul desta, a sondagem Sb-1, revelam ordenadamente ter conteúdo dolomítico, e calcário (ver Anexo II). Este facto poderá estar relacionado com a proximidade das sondagens 20B-1 e 17C-1 com o *horst* das Berlengas, e um ambiente marinho mais restrito. Poderá, no entanto, haver falta de detalhes, ou erros nos dados do relatório de sondagem.

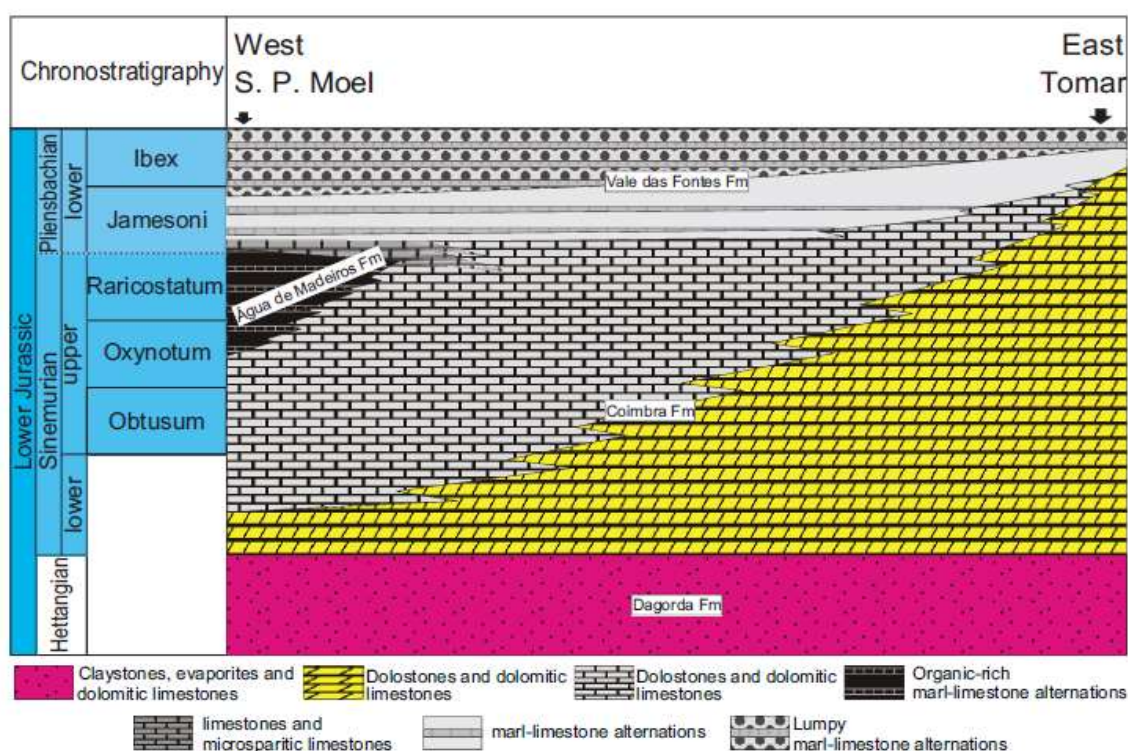


Figura V 3. Distribuição genérica estratigráfica e de fácies do Hetangiano ao Pliensbaquiano, onde se demonstra a variabilidade lateral da Fm de Coimbra de E-W (Duarte *et al.*, 2014b).

A Fm de Sesimbra, no sector meridional, é definida em Azerêdo *et al.* (2003) como uma unidade composta por margas intercaladas com dolomitos em finas camadas na base, e calcários intrabioclásticos e dolomitos no topo, tratando-se de uma equivalente lateral da Fm de Coimbra. A Fm da Fateota-Santa Cruz, definida mais a sul,

apresenta margas dolomíticas, dolomitos e dolomitos argilosos, calcários dolomíticos e calcários oolíticos dolomitizados (Manuppella, 1983). Atendendo à localização das sondagens Mtj-1 e Go-1, as respectivas sucessões estudadas corresponderão à Fm de Sesimbra. Verifica-se que a caracterização de Azerêdo *et al.* (2003) se adequa ao observado na Sondagem Mtj-1, mas só se adequa em parte à sondagem Go-1. Nesta última, o conteúdo é quase totalmente calcário e um pouco calco-dolomítico, sendo esta a única excepção observada no sector meridional. Por último, devido à ausência quase total do Jurássico na sondagem Pescada-1, não é possível discutir a sua correspondência. Esta sondagem situa-se no limiar da BL com a Bacia do Alentejo, e poderá ter características das duas bacias. Verifica-se assim que a variabilidade da Fm de Coimbra não é só controlada lateralmente de E-W, como disposto em Duarte *et al.* (2014b) (Fig. V 3), como também há algumas excepções à regra nos sectores centrais e meridionais.

A Fig. V 4A é um modelo criado para tentar definir localmente a relação calcário/dolomia na Fm de Coimbra, realizada pela comparação das colunas litoestratigráficas dispostas no Anexo II. Verifica-se na zona NW da BL um domínio calcário na composição da Fm de Coimbra. O sector **Central** tem menor conteúdo calcário que o sector **setentrional**, e tem o expoente máximo de composição dolomítica da Fm de Coimbra em toda a BL, na sondagem Alj-2. Para sul ocorre um incremento ligeiro da composição calcária em relação ao sector **central**, embora pouco representativo, e ocorre uma anomalia na sondagem Golfinho-1 que tem uma relação calcário/dolomia semelhante às sondagens do NW da BL. Este mapa deve ser visto apenas como um modelo simplificado e não exacto, uma vez que não se pode verificar e testar todas as premissas, nomeadamente a análise mineralógica dos testemunhos das sondagens, pouco número de dados (sondagens), e ainda possíveis incoerências das descrições litológicas nos relatórios de sondagem.

A Fig. V.5 é uma readaptação de uma imagem de Rasmussen *et al.* (1998), tratando-se do mapa de contorno estrutural do topo da Fm de Dagorda, sobre o qual se depositou a Fm de Coimbra, e podendo observar-se que a área onde se depositou maior conteúdo dolomítico coincide com a área onde a topografia é mais alta (Fig. V 4A). Conclui-se, também, que a Fm de Coimbra terá sido depositada numa superfície topográfica bastante irregular, com alto controlo estrutural (ver também Alves *et al.*, 2002). A formação de dolomite terá também sido possivelmente favorecida pela influência de um meio marinho mais restrito e de baixa energia.

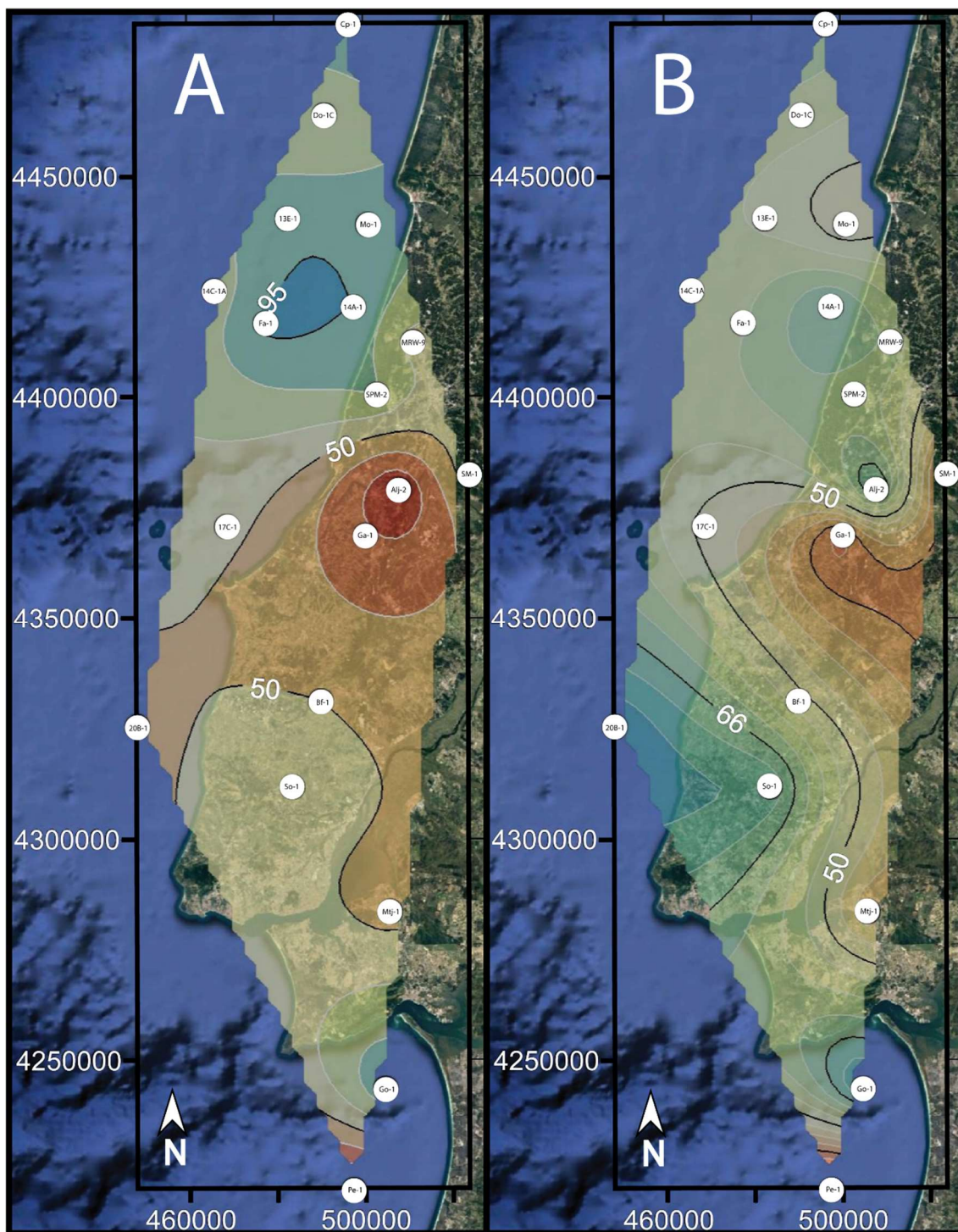


Figura V 4. A- Relação calcário/dolomia (em percentagem de rochas calcárias) na Fm de Coimbra; B- relação da sedimentação antes e após a maior transgressão máxima de 3ª ordem (unidade F ou seu equivalente lateral, em percentagem de registo sedimentar após a transgressão). Imagens retiradas do Google Earth, e sobreposição com dados analisados e georreferenciados no software Surfer 12, por sistema de coordenadas WGS84, 29N.



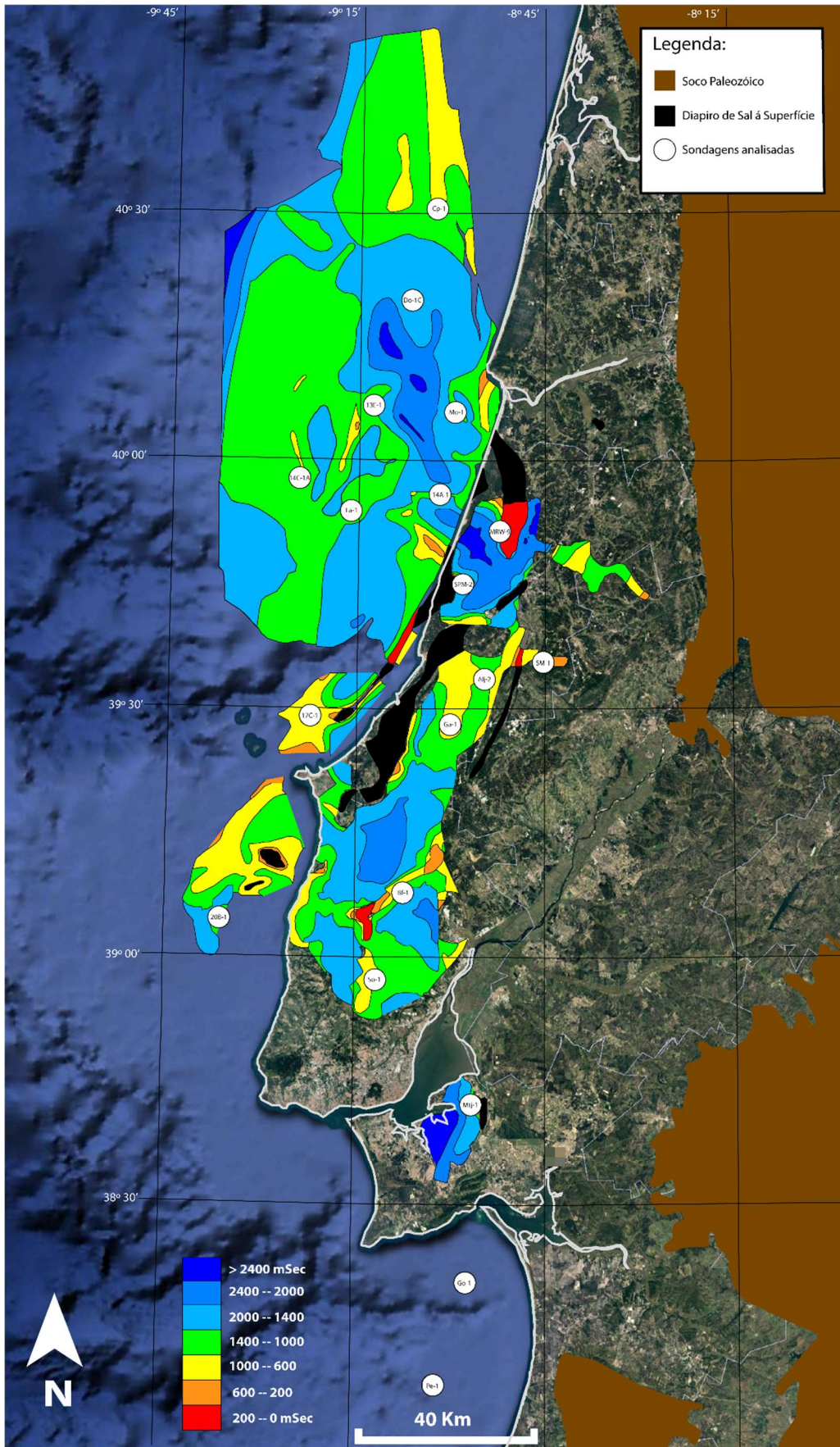


Figura V 5. Mapa de contorno estrutural demonstrando o limite do topo da Fm de Dagorda, e a localização das sondagens analisadas neste estudo (adaptado de Rasmussen *et al.*, 1998).

A análise litoestratigráfica das sondagens analisadas permitiu a comparação de fácies com o estudo de Duarte *et al.* (2014b). Neste estudo, realizado em S. Pedro de Moel, são descritas algumas fácies de maior energia nas unidades C e G (calcários do tipo *grainstone*, calcários com características intraoosparíticas, entre outros). Apesar da falta, ou informação muitas vezes errada dos dados das sondagens, algumas destas características são descritas, como na sondagem Cp-1, em que ocorrem calcários oolíticos previamente à unidade F e a sucessão da Fm de Coimbra é totalmente calcária; a sondagem Do-1C, com sucessões de calcários, localmente oolíticos, anteriores da unidade H; a sondagem 13E-1 com sucessões de calcários oolíticos desde a base da unidade, apresentando uma litologia predominantemente calcária; e nas sondagens Mo-1, 14C-1A, e Fa-1 (ver Anexo II, Fig. V 5). Nas sondagens SM-1 e 17C-1, quando são encontradas fácies de alta energia, ocorre a deposição de sucessões calcárias (ver Anexo II). Nas sondagens do sector central e meridional, e como a maioria das sondagens analisadas são no *onshore*, há falta de informação para classificar esta possibilidade. No entanto, é possível afirmar que na sondagem Bf-1 ocorrem fácies de alta energia em intervalos dolomíticos, e que nesta sondagem a Fm de Coimbra só é predominantemente calcária a partir do intervalo de máxima inundação da unidade F (ou equivalente), e que na sondagem Go-1, existem calcários oolíticos a partir da base da unidade, e a sucessão é predominantemente calcária.

Conclui-se com este subcapítulo que há a possibilidade da variação litológica da Fm de Coimbra não ser só controlada lateralmente de E para W, como também poderá ter sido controlada localmente pela topografia, altura da coluna de água, pela energia do ambiente de deposição, e maior abertura ou restrição ao meio marinho aberto.

## 2.2. Espessura da Formação de Coimbra

A Fm de Coimbra é definida nos vários trabalhos anteriores de forma regional. Em Soares *et al.* (1985) é estimada uma espessura de 60 m, mais cerca de 20 m para a região de Coimbra (Dimuccio *et al.*, 2016, atribuem a mesma espessura para esta região), e 70 a 80 m nas regiões de Pereiros, Lamas, Rabaçal e Penela. Por sua vez, na porção ocidental da BL, em S. Pedro de Moel, Duarte *et al.* (2014b) apontam uma espessura acima dos 120 m. Não obstante estes valores prévios, os resultados deste trabalho indicam também uma espessura variável e regional desta unidade. Por vezes uma diferença entre locais de poucas dezenas de quilómetros pode-se encontrar

espessuras muito diferentes, que poderão traduzir-se na espessura real ou aparente da Fm de Coimbra.

Na Tab. V 2 encontram-se os dados das espessuras da Fm de Coimbra nas várias sondagens analisadas bem como a percentagem de preenchimento sedimentar pelos intervalos correlacionados (ver também Anexo II). Como espessura representativa desta unidade, tem de se evitar as sondagens cuja Fm de Coimbra esteja cortada por descontinuidade (Cp-1, 14C-1A, Go-1 e Pe-1), ou que haja uma clara influência estrutural que condicione a apresentação de uma espessura aparente muito exagerada (MRW-9, SPM-2, 17C-1 e Bf-1). Excluindo estes casos, a menor espessura da Fm de Coimbra dos casos de estudo corresponde à sondagem Sb-1, com 58 m, e a espessura máxima corresponde à sondagem 14A-1 com 151 m. A média da espessura da Fm de Coimbra em todas as sondagens consideradas representativas é de 103 m de espessura, com a região norte a apresentar maior espessura, mas com pouca variação de média por sector da BL (Tab V 3).

A espessura da Fm de Coimbra é condicionada pela estrutura da BL durante o Sinemuriano, a subsidência e espaço de acomodação, e a proximidade a fontes de sedimentos continentais. Apesar da variação insignificante da espessura nos vários sectores da BL, estas condicionantes são importantes para explicar o porquê de em algumas sondagens a Fm de Coimbra ter muita ou pouca espessura.

A Fig. V 6 mostra a região NW da BL, no alinhamento das sondagens Cp-1, Do-1C, Mo-1, e 13C-1 (sondagem não analisada neste estudo). O esquema adaptado de Lomholt *et al.* (1996) por Kullberg *et al.* (2013), embora desactualizado, pretende apenas demonstrar a localização estrutural das sondagens Cp-1 e Mo-1 em relação à sondagem Do-1C. A Fm de Coimbra na sondagem Do-1C é mais espessa do que nas sondagens Cp-1 e Mo-1, situando-se estruturalmente num local mais aprofundado e, portanto, com maior espaço de acomodação (Tab. V 1). Da mesma forma, a Fig V 7, também algo desactualizada (e discutido pelos autores da imagem que os dados sísmicos não são substanciados pelos dados das perfurações), pretende demonstrar o extremo meridional da BL, no alinhamento das sondagens Go-1 e Pe-1, sondagens que apresentam também uma Fm de Coimbra com pouca expressão e vários hiatos deposicionais. Os locais das sondagens dos extremos da BL, nomeadamente a sondagem Cp-1, 14C-1A, Go-1 e Pe-1, uma Fm de Coimbra pouco espessa, e estruturas erosivas que, embora possam ter acontecido posteriormente ao Sinemuriano, indicam que estes locais se situavam em altos estruturais e que nunca terá havido subsidência suficiente para o *input* sedimentar gerado. Relativamente à sondagem Sb-1, com uma espessura muito curta e com prolongamento para as formações de Água de Madeiros, e de Vale das Fontes, leva a considerar que o espaço de acomodação

naquele local durante o Sinemuriano, seria muito reduzido e terá sido quase totalmente ou totalmente preenchido.

**Tabela V 2. Lista da espessura total da Fm de Coimbra das sondagens estudadas e relação da espessura total por intervalos (como definido no Anexo II). Relação da quantidade de sedimentação anterior ou posterior ao máximo de inundação definido pela unidade F.**

Sondagens	Espessura total (m)	1º Int. (%)	2º Int. (%)	3º Int. (%)	4º Int. (%)	5º Int. (%)	Base à UF (%)	UF ao topo (%)
Cp-1	92	-	-	-	-	-	-	-
Do-1C	122	11,5	10,7	21,3	29,55	27,05	43,4	56,6
13 E-1	111	9	17,1	20,7	28,8	24,3	46,8	53,2
Mo-1	74	13,5	20,3	20,3	27	18,9	54,1	45,9
14C-1A	84	-	-	-	-	-	-	-
Fa-1	87	5,7	24,1	12,6	29,9	27,6	42,5	57,5
14A-1	151	4,6	13,2	15,2	48,3	18,5	33,1	66,9
MRW-9	215	12,1	8,8	17,7	50,2	11,2	38,6	61,4
SPM-2	281	5	16,7	18,5	43,8	16	40,2	59,8
SM-1	115	7,8	31,3	33,9	18,3	8,7	73	27
Alj-2	103	9,7		16,5	53,4	20,4	26,2	73,8
Ga-1	80	22,5		50	22,5	5	72,5	27,5
17C-1	174	10,9	24,1	16,1	20,1	28,7	51,1	48,9
Bf-1	230	5,2	22,2	20,9	33,9	17,8	48,3	51,7
20B-1	130	8,5	10	3,8	60,8	16,9	22,3	77,7
Sb-1	58	10,3		15,5	32,8	41,4	25,9	74,1
Mtj-1	103	28,2		33	32	6,8	61,2	38,8
Go-1	62	-	-	-	-	-	-	-
Pesc-1	24	-	-	-	-	-	-	-

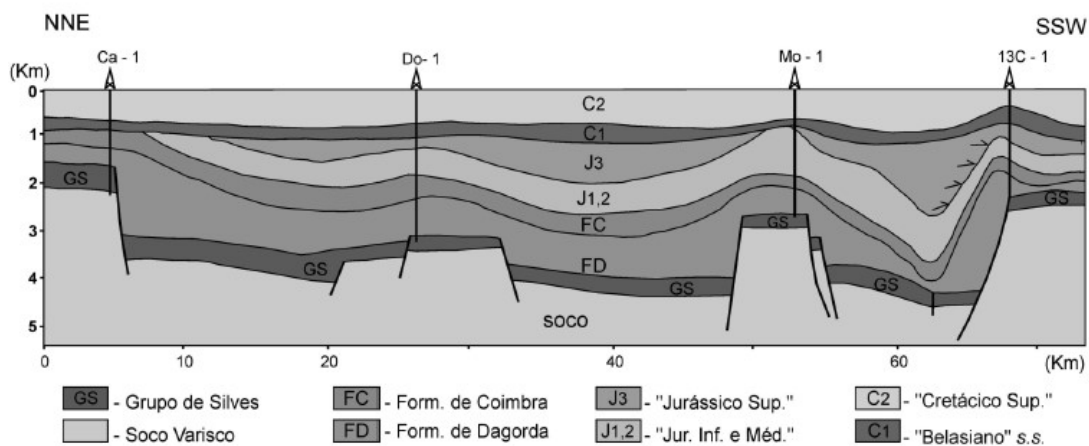
**Tabela V 3 Média de espessura da Fm de Coimbra nos três sectores da BL, pelas sondagens deste estudo que foram consideradas representativas.**

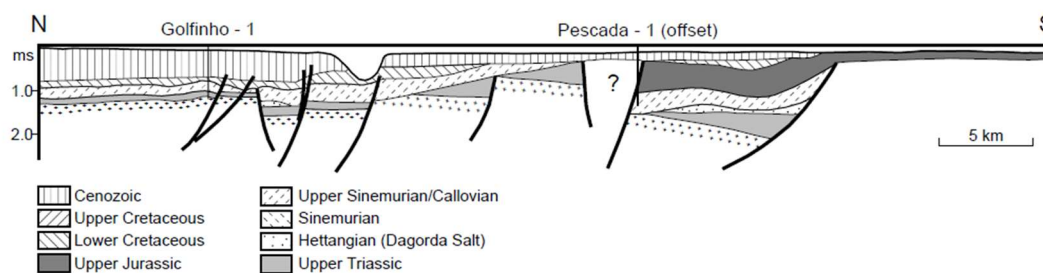
	Espessura (m)
Média Geral	103
Média Norte	109
Média Centro	97
Média Sul	103

Uma outra questão em análise tem a ver com maior deposição, antes ou após o maior intervalo transgressivo da Fm de Coimbra (da unidade F ou o seu equivalente lateral noutras porções da BL). Este intervalo pode ser usado como referência para se relacionar o espaço de acomodação, subsidência e preenchimento sedimentar antes e após uma acentuada subsidência e abertura ao meio marinho. A Fig V 4B é um modelo



elaborado pela relação da quantidade de sedimentos antes e após esta fase transgressiva. Tal como a Fig. V 4A, deve ser interpretada como um modelo simplificado e não exacto. Verifica-se que nos locais mais proximais da bacia ocorre mais deposição antes da fase transgressiva. Este espaço de acomodação terá sido preenchido mais rapidamente num ambiente mais isolado, já que parcialmente coincide com a área de maior deposição de dolomite, cujo ambiente terá sido em um meio marinho muito restrito e de pouca profundidade. O depocentro da BL, localizado no NW da bacia, e que se prolonga até à região de S. Pedro de Moel e Monte Real (Alves *et al.*, (2002) consideram neste local cinco sub-bacias), posto em evidência na Fig. V 5, quando se compara a relação da sedimentação anterior e posterior à principal fase transgressiva, as sondagens deste local exibem características semelhantes, exibindo maior sedimentação após a transgressão máxima (e no caso da zona setentrional da bacia, unidade F; Sêco *et al.*, 2018). Enquanto local mais aprofundado da BL no Sinemuriano, e localizado num ponto distal da bacia, a subsidência aqui, sendo muito maior que os restantes sectores da BL, permitiu que o espaço de acomodação nunca tenha sido totalmente preenchido. Por último, no sector meridional e central sul da BL, na área abrangendo as sondagens 20B-1, Sb-1 e Go-1, haveria pouco espaço de acomodação nos primórdios do Sinemuriano, mas este terá aumentado consideravelmente após a fase transgressiva principal.





**Figura V 7. Secção N-S do extremo do sector meridional da BL, onde se inserem as sondagens Go-1 e Pe-1. A sondagem Pe-1 não perfura o Jurássico Superior e Médio como indicado neste esquema. Atinge uma pequena porção do Sinemuriano-Hetangiano, em descontinuidade com o Cretácico Inferior (Rasmussen *et al.*, 1998)**

Concluindo este subcapítulo, pode dizer-se que o sector setentrional da BL seria o mais subsidente ao longo do Sinemuriano. Os principais acarreios sedimentares continentais seriam oriundos de oriente, do centro do soco Ibérico, tendo permitido que os locais das sondagens mais proximais mostrem maior volume de sedimentos, numa fase anterior à transgressão principal da Fm de Coimbra. No depocentro da bacia e durante todo o Sinemuriano, a subsidência era maior do que o *input* continental e a sedimentação marinha. Por outro lado, no decorrer da evolução do Sinemuriano, a zona W do sector meridional e parte do sector central sul, tornaram-se mais subsidentes, permitindo um enchimento de maior volume de sedimentos após o máximo de inundação principal de 3ª ordem da Fm de Coimbra (ver Cap. V 1).

### 3. Importância petrolífera da Formação de Coimbra

De acordo com a literatura, na Fm de Coimbra ocorrem rochas com potencial de geração de hidrocarbonetos (Duarte *et al.*, 2013; Poças Ribeiro *et al.*, 2013; Brito *et al.*, 2017), bem como condições propícias à sua acumulação e preservação (Brito *et al.*, 2017) (Relatórios de Sondagem: Do-1C, Mo-1, 14A-1, MRW-9, SPM-2, Alj-2, SM-1, Ga-1, 20B-1 e Bf-1). O que significa que esta unidade tem extrema importância na análise dos possíveis sistemas petrolíferos da BL. As sondagens indicam vários indícios no registo sedimentar estudado, e há várias possibilidades de sistemas petrolíferos no qual a Fm de Coimbra pode pertencer. Há a possibilidade de acumulação de hidrocarbonetos na Fm de Coimbra de unidades subjacentes ou a possibilidade de geração, acumulação *in situ* ou migração dos hidrocarbonetos gerados na Fm de Coimbra para unidades

suprajacentes. Este subcapítulo irá discutir a posição da Fm de Coimbra nos sistemas petrolíferos da BL.

### 3.1. Identificação dos intervalos ricos em matéria orgânica

A Fm de Coimbra é a unidade carbonatada rica em matéria orgânica mais antiga do Jurássico na margem ocidental Ibérica (Duarte *et al.*, 2013; Poças Ribeiro *et al.*, 2013). Em S. Pedro de Moel, onde se observa a sucessão mais completa desta unidade, foram reconhecidas essencialmente duas subunidades ricas em matéria orgânica em Duarte *et al.* (2014b). A unidade A, com dolomitos e margas depositadas num ambiente extremamente restrito (Azerêdo *et al.*, 2010, Cabral *et al.*, 2015) e hipersalino (Brito *et al.*, 2017); e a unidade F, com margas ricas em matéria orgânica, do tipo *black shale*, ricas em fauna nectónica (Duarte *et al.*, 2014b) e depositada no ambiente mais restrito em oxigénio da Fm de Coimbra. Em Duarte *et al.* (2014b), Sêco *et al.* (2018) e neste estudo, são ainda reconhecidas porções de outros intervalos cujos dados de RGT demonstram uma possível acumulação de matéria orgânica, associadas a máximos de inundação de 3ª ordem (ver Cap. V 1).

A primeira a referenciar é a unidade F no NW da bacia, apresentando altos valores de RGT nas sondagens Do-1C, 14A-1 (83 e 91 API, respectivamente). As sondagens MRW-9 e SPM-2 apresentam baixos valores de RGT nesta subunidade (72 e 56 API, respectivamente), mas sabe-se pelo estudo de Brito *et al.* (2017) que terá havido acumulação de matéria orgânica e geração de hidrocarbonetos, pelo que serão associadas a estas sondagens do *offshore* (ver localização destes intervalos no Anexo II). Ainda relativamente a esta área da bacia, pode-se acrescentar, embora em menor grau de importância, a unidade D e a unidade H, novamente nas sondagens Do-1C e 14A-1 que, tal como observado na Tab. V 4, podem apresentar nesta região valores apreciáveis de COT, e os valores de RGT apresentam-se favoráveis nestes casos. Algumas menções relativamente a esta região, mas não substanciadas pela presença de indícios de hidrocarbonetos nos resultados das sondagens, são a sondagem 13E-1 que apresenta um bom valor de RGT na unidade F, e a sondagem 14C-1A, com altos valores de RGT em toda a extensão da Fm de Coimbra.

As sondagens Alj-2, SM-1 e Ga-1 apresentam baixos valores de RGT em toda a extensão da Fm de Coimbra, tendo uma média de valores de 20 API, e poucas vezes ultrapassando o limite dos 60 API (Tab. V 1). No entanto, ocorrem indícios de óleo e gás nestas sondagens, e como se observou em MRW-9 e SPM-2, não significa



necessariamente que não tenha ocorrido acumulação de matéria orgânica. Define-se na sondagem Alj-2 o intervalo M1 dos 2849 aos 2840 m com valor máximo 61 API, e na sondagem Ga-1 o intervalo M2, entre os 2255 e os 2250 m, com valor máximo de 66 API (ver Anexo II). A sondagem 20B-1 exhibe um intervalo na base da Fm de Coimbra que foi correlacionado com o maior intervalo de máxima inundação de 3ª ordem, que se destaca bem no perfil vertical de RGT (Fig. V 1), podendo corresponder a uma sucessão com matéria orgânica, e que será referenciado como M3 (2412-2407 m), com 58 API (ver Anexo II). Por último, a sondagem Bf-1 exhibe pelo menos dois intervalos em que o RGT se destaca. São esses no término do primeiro sub-ciclo transgressivo de 3ª ordem, que seria correlacionado com a unidade D, mas dada a localização no sul do sector central da bacia, será denominado de M4 (3136-3132 m, 79 API), e no intervalo dos maiores valores de RGT na Fm de Coimbra (equivalente da UF) que será denominado de M5 (3115-3050 m, 97 API) (ver Anexo II). Todos estes intervalos seleccionados, estão delimitados no Anexo II.

### 3.2. A natureza da matéria orgânica

A quantificação dos teores de COT, e tipo de matéria orgânica, indicaram a existência de rochas potencialmente geradoras na Fm de Coimbra. No estudo de Poças Ribeiro *et al.* (2013) são apresentados estes dados para a Fm de Coimbra em nove amostras na região de S. Pedro de Moel, cujos resultados podem ser observados na Tab. V 4, e a localização estratigráfica pode ser observada na Fig. V 8.

A amostra 1 (COT = 7,51%) corresponde ao intervalo margoso associado do máximo de inundação da unidade D, e as amostras 2 e 3 corresponderão à unidade F (COT = 3,85 e 8,78 %, respectivamente) (ver Duarte *et al.*, 2014b). Estas amostras da base da unidade revelam o maior conteúdo em matéria orgânica deste perfil na Fm de Coimbra. As restantes amostras correspondem ao topo da formação, e contêm pouca quantidade de COT, excluindo as amostras 6 e 7 que se correlacionarão com a unidade H (COT = 0,95 e 2,92 %, respectivamente) e revela um conteúdo um pouco mais significativo (Tab. V 4). O intervalo de maior conteúdo de COT na Fm de Coimbra (unidade F) em conjunto com as associações de querogénio indicam uma deposição num ambiente proximal e restrito, de águas estagnadas (Poças Ribeiro *et al.*, 2013). Após esta unidade ocorre maior influência continental e condições mais oxidantes até à amostra 6, onde a partir daí se revela novamente maior influência marinha aberta (Poças Ribeiro *et al.*, 2013). Ainda relativamente a este estudo, a análise palinológica revelou

que a origem da matéria orgânica na Fm de Coimbra é predominantemente de origem marinha, composta por fitoplâncton e bactérias, com episódios esporádicos de alguma contribuição continental (Poças Ribeiro *et al.*, 2013) (Tab. V 4, matéria orgânica amorfa (AOM) nas amostras 1, 2, 3, 6, 7, 8 e 9).

**Tabela V 4** Geoquímica orgânica e palinofácies das amostras da Fm de Coimbra estudadas em Poças Ribeiro *et al.* (2013) e Brito *et al.* (2017).

Litoestratigrafia		Poças Ribeiro <i>et al.</i> (2013)		Resíduo Insolúvel (%)	Matéria orgânica Amorfa (%)	Fitoclastos (%)	Palinomorfos (%)	
		Amostra	COT (wt. %)					
Seção de S. Pedro de Moel	Fm de Coimbra	9	0,82	24	87,3	6,1	6,7	
		8	0,84	19	65,5	17,1	17,4	
		7 (UH)	2,92	42	89,4	2,2	8,1	
		6 (H)	0,95	19	80,6	13,7	5,7	
		5	0,47	16	18	78,4	3,6	
		4	0,33	19	40,3	53,1	6,6	
		3 (UF)	8,78	45	93,6	0,3	6,1	
		2 (UF)	3,85	25	80,4	1,6	18,1	
		1 (UD?)	7,51	31	95	0,6	4,4	
Brito <i>et al.</i> (2017)					S2 (mg HC/g rocha)	IH (mg HC/g COT)	Index de produção	Tmax (°C)
Fm de Coimbra	UF	9,65	50	62,51	647,77	0,03	428	
	UA	3,57	82	15,28	428,01	0,03	429	

Em Brito *et al.* (2017) foram quantificados os teores de COT, bem como apresentados dados de pirólise Rock-Eval de várias amostras de rochas ricas em matéria orgânica da BL, três destas atribuídas à Fm de Coimbra. Duas destas amostras foram recolhidas do afloramento em S. Pedro de Moel, da unidade A, com 3,57 % de COT, e a segunda da unidade F, com 9,65% de COT. A terceira amostra foi recolhida na sondagem SPM-2, aos 895,25 m, sendo atribuída erroneamente à unidade H da Fm de Coimbra. Segundo a delimitação da Fm de Coimbra assumida no presente trabalho, esta amostra corresponde, na verdade, à base da Fm de Água de Madeiros, pelo que foi desconsiderada. A amostra da unidade A revela a presença de matéria orgânica mais oxidada em relação à amostra da unidade F, que terá sido depositada num ambiente mais redutor (Brito *et al.*, 2017). Os valores de COT significativos oscilam entre os 2 e os 10%, com a unidade F a apresentar os maiores valores (Brito *et al.*, 2017), e corroborando com os resultados de Poças Ribeiro *et al.* (2013). Segundo os dados de pirólise Rock-Eval (Tab. V 4), as duas amostras apresentam um bom potencial de

geração (COT>2%, e S<sub>2</sub>>10). No entanto, os valores de T<sub>máx</sub> nas duas amostras são inferiores a 435°C o que indica que a matéria orgânica se encontra em estado imaturo. A unidade F é classificada como tendo excelente potencial para a formação de óleo (IH = 647,77 mg HC/g COT), e a unidade A como tendo um potencial bom a muito bom para a formação de óleo (HI = 428,01 mg HC/g COT), pela classificação de Peters & Cassa (1994) (ver Duarte *et al.*, 2013 e Brito *et al.*, 2017).

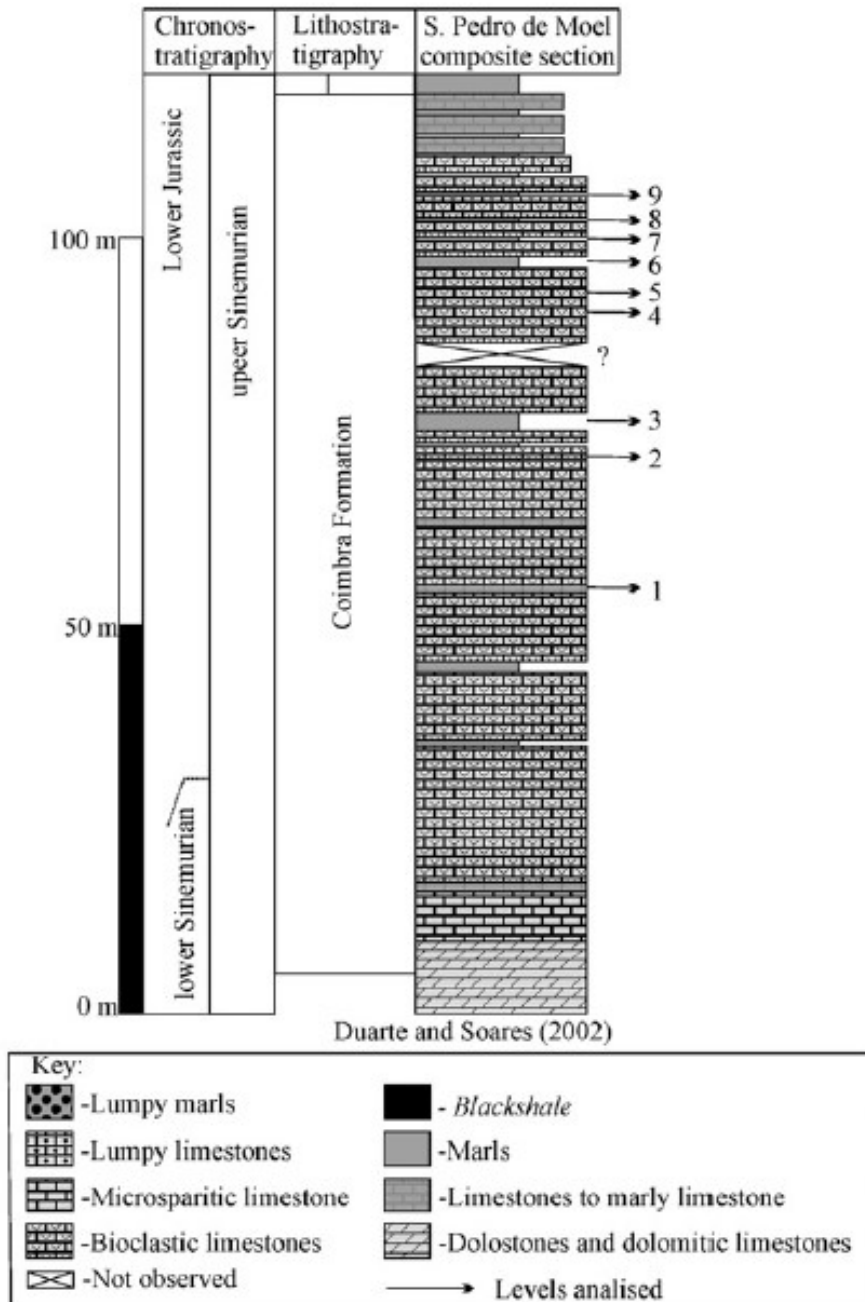


Figura V 8. Coluna estratigráfica da secção da Fm de Coimbra em S. Pedro de Moel posicionando estratigraficamente as amostras estudadas em Poças Ribeiro *et al.* (2013) (coluna litoestratigráfica de Duarte & Soares, 2002; *in* Poças Ribeiro *et al.*, 2013).

### 3.3. A Formação de Coimbra nos sistemas petrolíferos da BL

Pelos argumentos acima aduzidos, a Fm de Coimbra insere-se nos sistemas petrolíferos da BL como rocha geradora e rocha reservatório. Apesar de ser a primeira unidade carbonatada da BL, não é a primeira unidade com fácies ricas em matéria orgânica com possível geração de hidrocarbonetos. O presente trabalho vem acrescentar novas perspectivas aos sistemas petrolíferos conhecidos na BL.

Reconhecem-se nesta bacia, pelos dados bibliográficos, vários sistemas petrolíferos principais (Uphoff, 2005; Spigolon *et al.*, 2010, 2011; Pimentel & Reis, 2016; Brito *et al.*, 2017). O sistema petrolífero mais antigo, que se encontra na BL, tem sua rocha geradora em rochas ricas em matéria orgânica do soco paleozóico, de idade silúrica, com acumulação de óleo e gás em reservatórios siliciclásticos do Triásico Superior e selo nas sucessões evaporíticas do Hetangiano (Uphoff, 2005). O segundo é relacionado com as unidades do Jurássico Inferior, anteriormente considerando as rochas geradoras das formações de Água de Madeiros e de Vale das Fontes (Duarte *et al.*, 2010, 2012; Silva *et al.*, 2011), sabendo-se agora que há rochas geradoras também na Fm de Coimbra (Poças Ribeiro *et al.*, 2013; Brito *et al.*, 2017). A geoquímica das unidades ricas em matéria orgânica do Jurássico Inferior indicam um bom potencial para a geração de óleo (Duarte *et al.*, 2010, 2012; Spigolon *et al.*, 2011) e, como demonstrado em Brito *et al.* (2017), para algumas sondagens do sector norte da BL, neste sistema petrolífero não terá ocorrido migração para as restantes sucessões do Jurássico e Cretácico.

No Jurássico Superior ocorre um sistema petrolífero cuja rocha geradora corresponde à Fm de Cabaços (Brito *et al.*, 2017). Esta unidade margo-calcária gerou óleo essencialmente nos sectores central e sul da BL (Brito *et al.*, 2017), num ambiente lacustre ou lagunar costeiro (Spigolon *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2013). Ocorreu migração e acumulação na Fm de Montejunto em carbonatos fracturados e na Fm da Abadia (Brito *et al.*, 2017) em turbiditos siliciclásticos (Pimentel & Reis, 2016). A Fm de Montejunto terá também formado e acumulado óleo no sector central da bacia que se acumulou na própria unidade (Brito *et al.*, 2017).

Relativamente à análise efectuada neste estudo, a região do N da BL apresenta o maior potencial de geração de hidrocarbonetos do Jurássico Inferior (Brito *et al.*, 2017), embora os dados de RGT nem sempre substanciam os indícios de óleo ou gás encontrados na Fm de Coimbra nas sondagens analisadas. Na zona norte da bacia, encontraram-se indícios de hidrocarbonetos nas sondagens Do-1C, Mo-1, 14A-1 (com

recuperação de óleo) (Fig. V 9), MRW-9 e SPM-2. Destas cinco sondagens, a Mo-1 não evidencia nenhum intervalo significativo de RGT, e os indícios de óleo e gás manifestam-se da base da Fm de Coimbra até à Fm de Vale das Fontes. Na Do-1C, por outro lado, o intervalo da unidade F tem valores de RGT apelativos, e ocorrem indícios de hidrocarbonetos no topo da Fm de Dagorda, e no topo da Fm de Coimbra. Nas restantes três sondagens definem-se valores significativos de RGT na unidade F, e só ocorrem indícios de óleo no topo da Fm de Coimbra, e no caso de MRW-9, na Fm de Água de Madeiros. Brito *et al.* (2017) demonstraram que para estas três sondagens, o óleo terá sido gerado na Fm de Coimbra e ter-se-á acumulado na mesma unidade, ou no caso de MRW-9, terá migrado e acumulado na Fm de Água de Madeiros.

Nas sondagens SM-1, Alj-2 e Ga-1, localizadas no sector central numa zona muito proximal, encontraram-se indícios de óleo e gás. Na sondagem de São Mamede estes indícios (óleo; ver Anexo II) encontram-se no topo da Fm de Dagorda, e na base da Fm de Coimbra, muito prévio a qualquer pico de RGT. Na sondagem de Alj-2 ocorrem numerosos indícios de gás desde o Grupo do Grés de Silves ao Jurássico Superior, e ocorrem alguns indícios de óleo na Fm de Coimbra após o intervalo M1, definido anteriormente. E na sondagem Ga-1 encontram-se fracos indícios de gás entre os 2292 aos 2250 m de profundidade na Fm de Coimbra. A sondagem não perfurou muito mais da Fm de Dagorda e, portanto, não se pode relacionar com mais dados.

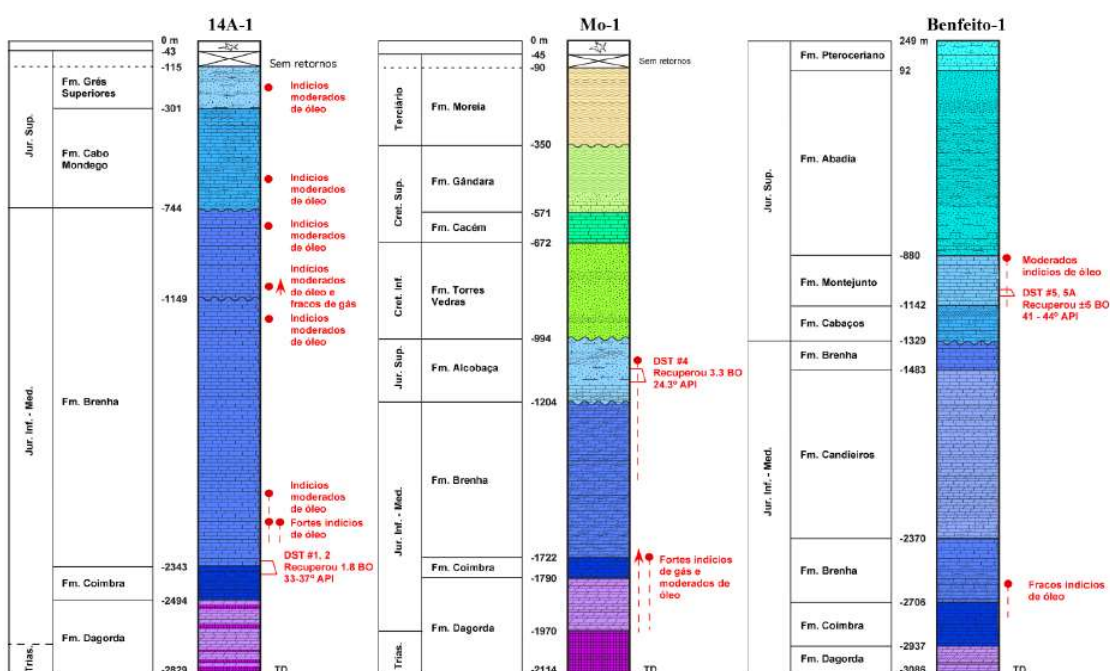


Figura V 9. Interpretação litoestratigráfica das sondagens 14A-1, Moreia-1 e Benfeito-1, indicando a ocorrência de indícios de óleo ou gás, realizada pela Divisão para a Pesquisa e Exploração de Petróleo. A correlação das unidades litoestratigráficas encontra-se mal assinalada em relação aos resultados deste trabalho (*in* DPEP, 2015).

Na região sul do sector central, encontram-se as sondagens 20B-1 e Bf, sendo as últimas a apresentar indícios de hidrocarbonetos na Fm de Coimbra de todas as sondagens analisadas. Na sondagem 20B-1 aparecem indícios muito ligeiros de óleo no topo da Fm de Coimbra, sendo os únicos indícios em toda a sondagem, e ocorrem após o intervalo M3 previamente definido (ver Anexo II). Na sondagem Bf-1 encontram-se numerosos indícios de óleo em toda a perfuração (Fig. V 9). Mas para o intervalo deste estudo, encontram-se indícios de óleo do topo da Fm de Dagorda à base da Fm de Coimbra, na unidade M5, e no topo da Fm de Coimbra e Fm de Água de Madeiros. Definem-se na Fm de Coimbra desta sondagem os intervalos M4 (3137 aos 3132 m) e M5 (3115 aos 3050 m), com valores muito significativos de RGT (ver Anexo II).

### **3.3.1. Possíveis sistemas petrolíferos envolvendo a Formação de Coimbra**

Tendo em conta esta recapitulação dos resultados deste trabalho, e a informação bibliográfica anterior, reconhecendo-se o risco de não se usarem dados de natureza geoquímica, pretende-se discutir a possível origem dos indícios dos hidrocarbonetos encontrados na Fm de Coimbra nas sondagens analisadas. Esta interpretação, trata-se na maior parte dos casos de uma especulação, que pretende abrir novas possibilidades de investigação. Assim, de norte para sul:

**Do-1C** - Há a possibilidade de ocorrerem dois sistemas petrolíferos nesta sondagem, um com a sua rocha geradora na Fm de Dagorda, e acumulação no topo da mesma unidade, anteriormente ao seu limite com a Fm de Coimbra; e o segundo, com rocha geradora na Fm de Coimbra, em que os dados de RGT apontam a unidade F como o intervalo mais provável, e cuja acumulação se deu no topo da mesma unidade, com as sucessões margo calcárias da Fm de Água de Madeiros a actuarem como selo do sistema. Poderá haver mistura dos dois sistemas.

**Mo-1** - Toda a sucessão de RGT na Fm de Coimbra apresenta fraca variação. Os valores oscilam entre os 11 e os 54 API, e não se identifica nenhum intervalo relevante. Os indícios de óleo e gás encontrados na Fm de Coimbra, não devem ter tido a sua origem nesta unidade, e a secção analisada das formações de Água de Madeiros e Vale das Fontes apresentam também baixos valores de RGT, o que significa que a



origem mais provável será da Fm de Dagorda, tendo posteriormente migrado para as sucessões do Jurássico Inferior superiores (1970 aos 1722 m) (Fig. V 9).

**SPM-2, MRW-9 e 14A-1** - Estas sondagens, excepto a SPM-2, exibem valores de RGT na unidade F significativos. Como já referido anteriormente, Brito *et al.* (2017), através de análises geoquímicas, permitiram identificar a origem das ocorrências de hidrocarbonetos em algumas sondagens da BL, incluindo estas sondagens, tendo evidenciado que o óleo destas sondagens terá sido gerado e acumulado na Fm de Coimbra e, no caso de MRW-9, acumulado na Fm de Água de Madeiros. Pelos dados de RGT, este óleo terá sido gerado na unidade F. No entanto, encontram-se localizadas numa área de condicionamento tectónico complexo, que se por um lado criou reservatórios por fracturação, por outro, permitiu a infiltração de água salgada, na sondagem de SPM-2.

**Alj-2** – Nesta sondagem são encontrados indícios de gás desde o Triásico até (e incluindo) o Jurássico Superior. Segundo Uphoff (2005), o gás encontrado nesta sondagem tem origem em rochas do tipo *black shale* das Formações de Sazes e Vale de Ursa, do soco paleozóico, de idade silúrica. Estas rochas teriam atingido um estado de sobrematuração antes do enchimento mesozóico com formação de óleo acumulado no Grupo do Grés de Silves e na Fm de Dagorda, em que os evaporitos actuaram como selo tendo posteriormente ocorrido uma segunda fase de geração de hidrocarbonetos com formação de gás (Uphoff, 2005). Encontram-se também indícios fracos de óleo na Fm de Coimbra, após a unidade M1, até aos 2670 m, não voltando a aparecer mais indícios até às unidades do Jurássico Superior. Em Uphoff (2005) foram comparados os óleos encontrados nas rochas do Silúrico e do Jurássico Inferior, concluindo-se que estes não estariam relacionados. É possível que na unidade M1 se tenha acumulado matéria orgânica, sendo gerado e acumulado óleo na Fm de Coimbra. Por outro lado, o gás que se encontra por toda a perfuração, poderá estar associado às rochas do soco paleozóico.

**SM-1** – Nesta sondagem aparecem numerosos indícios de óleo no topo da Fm de Dagorda, até aos 820 m na Fm de Coimbra, prévio à unidade que exhibe os maiores valores de RGT. Esta sondagem perfurou até ao Grupo do Grés de Silves, não tendo aí encontrado quaisquer indícios de hidrocarbonetos, e encontrou espessuras quilométricas de sal que teriam actuado como um selo impermeável. Portanto, tudo indica que este óleo tenha sido gerado na Fm de Dagorda, tendo sido acumulado nesta unidade e na base da Fm de Coimbra.

**Ga-1** - Os indícios de gás aparecem nesta sondagem desde a base da Fm de Coimbra, aos 2290 até aos 2250 m. Foi aqui definido o intervalo M2. Esta sondagem perfurou pouco da Fm de Dagorda, sendo inconclusivo se estes indícios se localizam *in situ*, ou poderão ser provenientes da Fm de Dagorda ou das unidades do pré-sal.

**20B-1** – Esta sondagem é praticamente estéril excepto uns fracos indícios de óleo nos 2340 m. A unidade M3 apresenta um RGT relativamente baixo, e pelo que se constatou no Cap. V 2.2, terá ocorrido um soterramento muito rápido a seguir ao principal máximo de inundação de 3ª ordem. Definiu-se a unidade M3 pela presença única em toda a sondagem de indícios de óleo na Fm de Coimbra mas, no entanto, não existem dados suficientes para se poder discutir esta sondagem.

**Bf-1** - De todas as sondagens em que ocorrem indícios de hidrocarbonetos na Fm de Coimbra, é nesta sondagem onde ocorrem os maiores valores de RGT, definidos nas unidades M4 e M5 (ver Anexo II). Nesta sondagem e para este intervalo de estudo ocorrem indícios fracos de óleo a partir dos 3230 aos 3160 m, na Fm de Dagorda e base da Fm de Coimbra; entre os 3100 e os 3080 m, na unidade M5, na Fm de Coimbra; e dos 3000 aos 2820 metros de profundidade nas sucessões do Pliensbaquiano. Poderão aqui ocorrer dois grupos de hidrocarbonetos diferentes, o primeiro com rocha geradora no topo da Fm de Dagorda, e o segundo nas unidades M4 e M5, podendo ocorrer a mistura dos dois sistemas, acumulação *in situ* ou ainda migração para as sucessões do Jurássico Inferior. O elevado RGT da unidade M5 demonstra que há uma grande probabilidade de acumulação de matéria orgânica, a existência de intervalos asfálticos (segundo o relatório de sondagem) na unidade M5 indicam que deverá ter ocorrido geração, e o RGT do intervalo da Fm de Água de Madeiros analisada é bastante baixo em relação ao que se observa na Fm de Coimbra. Na Fig. V 9, o intervalo da sondagem Benfeito-1 em que se atribui os indícios fracos de óleo à Fm de Coimbra, correspondem na realidade a unidades do Jurássico Médio, e o intervalo do Hetangiano-Sinemuriano-Pliensbaquiano não terá sido bem estudado em DPEP (2015).

Desta análise, demonstra-se, portanto, a existência de três possíveis sistemas petrolíferos, nos quais a Fm de Coimbra faz parte, como rocha geradora, ou como rocha reservatório:

**Sistema 1** – Com rocha geradora no soco paleozóico, e segundo Uphoff (2005) com acumulação de hidrocarbonetos no Grupo do Grés de Silves e na Fm de Dagorda, parece segundo o analisado na sondagem Alj-2 que poderá ter havido acumulação de gás na Fm de Coimbra. Este sistema está definido como uma possibilidade, que abrange os resultados da sondagem Alj-2 e, talvez, da sondagem Ga-1.

**Sistema 2** – Com rocha geradora na Fm de Dagorda, e acumulação na própria unidade, na Fm de Coimbra, e talvez nas sucessões posteriores do Jurássico Inferior. Encontram-se evidências deste sistema nas sondagens Do-1C, Mo-1, SM-1, e Bf-1.

**Sistema 3** – Com rocha geradora na Fm de Coimbra, e acumulação de hidrocarbonetos na mesma unidade ou nas unidades suprajacentes do Jurássico Inferior. Este sistema evidencia-se nas sondagens Do-1C, 14A-1, MRW-9, SPM-2 e Bf-1. Há a possibilidade de abranger as sondagens de Alj-2, Ga-1 e 20B-1.

Das sondagens analisadas neste estudo, os dados disponibilizados raramente indicavam os tipos ou a quantificação das porosidades nas várias unidades litoestratigráficas perfuradas. Sabe-se que nas sondagens Cp-1 e Do-1C encontram-se porosidades boas na Fm de Coimbra, mas só na sondagem Do-1C é que foram encontrados indícios de hidrocarbonetos. Já a sul destas duas sondagens, a Mo-1, também com indícios de hidrocarbonetos apresenta baixas porosidades, tal como a sondagem 13E-1. A sondagem Fa-1 apresenta porosidades médias a fracas e na sondagem 14C-1A não são fornecidos dados. Relativamente às sondagens de, Alj-2, SM-1, Ga-1, 20B-1 e Bf-1 ou não são indicados dados de porosidade, ou encontram-se baixas porosidades.

Reconhece-se a possibilidade de existirem reservatórios criados por fracturação que abrangem a área das sondagens SPM-2, MRW-9 e 14A-1, devido à influência de estruturas diapíricas e reactivação de falhas. No entanto, estes podem ser de má qualidade, pois dependendo da profundidade da fracturação, podem ocorrer infiltrações, como ocorre na sondagem SPM-2; ou poderá ocorrer migração e dispersão dos hidrocarbonetos, como parece haver a possibilidade de ter ocorrido na sondagem MRW-9, onde ocorrem numerosos indícios de óleo até à cobertura do Cenozóico, embora não possa ser associado ao óleo da Fm de Coimbra.

A Fig. V 10 é um esquema que pretende demonstrar o que foi interpretado e especulado destes três sistemas petrolíferos. Estas suposições só podem ser confirmadas com o suporte de dados de geoquímica. Estes são os casos dos indícios encontrados nas sondagens Do-1C, Mo-1, Alj-2, SM-1, Ga-1, Bf-1 e 20B-1. Não

obstante, demonstra-se a possibilidade de ocorrerem rochas geradoras além do sector norte da BL, contrastando com as conclusões do trabalho de Brito *et al.* (2017), tendo sido indicados os intervalos com a maior probabilidade de se apresentarem como rochas geradoras, pelos dados de RGT e os indícios de hidrocarbonetos encontrados nas sondagens analisadas.

Sondagens	Paleozóico	Triásico	Jurássico Inferior				Jurássico Médio	Jurássico Superior	Cretácico Inferior	
		? Grés de Silves	Het.	Sinemuriano		Pliens.				Toar.
			Fm de Dagorda	A	D	F				H
Do-1C			G R s --- G R s							
Mo-1			G R — s --- G R s							
14A-1			G R s							
MRW-9			G — R s ----- R s							
SPM-2			G R s							
SM-1			G R s							
Alj-2			G — R s R s ----- R s G ----- G R — R R s							
Ga-1			G ----- G R s							
Bf-1			G R s — R s ----- R — s G R ----- R — s							
20B-1			G R s							

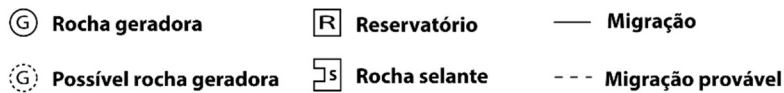


Figura V 10. Sistemas petrolíferos certos e prováveis abrangentes da Fm de Coimbra, pela análise e interpretação das sondagens deste estudo.

## VI. Considerações finais

A presente investigação vem acrescentar novas informações em relação aos trabalhos bibliográficos mais recentes focados na Fm de Coimbra (e.g. Azerêdo *et al.*, 2010; Duarte *et al.*, 2014b; Dimuccio *et al.*, 2016; Sêco *et al.*, 2018). Demonstrou-se que há mais condicionantes na variabilidade lateral e vertical desta unidade, para além do que já era previamente conhecido, nomeadamente, na variação de espessura, na variação da relação calcário/dolomia e nos vários ambientes deposicionais. No entanto, e acima de tudo, demonstrou-se através dos dados de RGT, que a delimitação das unidades estratigráficas nos relatórios de sondagem da BL precisava de revisão. Desta forma, e para a Fm de Coimbra, foram feitas alterações significativas dos limites desta unidade nos dados de subsuperfície.

Demonstrou-se que a relação entre o conteúdo dolomítico/calcário, não só varia lateralmente de E para W, como também pode variar de N para S nos vários sectores da bacia, com o sector central a demonstrar maior conteúdo dolomítico e, localmente, o sector sul da bacia a demonstrar maior conteúdo calcário que o sector central; demonstrou-se que a espessura média desta unidade ronda os 100 m, e as condicionantes principais terão sido o controlo estrutural, o espaço de acomodação e a localização em área proximal ou distal; com a análise do enchimento sedimentar conclui-se que a região norte seria a mais subsidente, e que a subsidência terá aumentado gradualmente para sul durante o Sinemuriano, e associou-se esta observação com o enchimento sedimentar, em que o espaço de acomodação foi mais rapidamente preenchido nas porções mais proximais da bacia.

A correlação litoestratigráfica entre dados de subsuperfície permite um aperfeiçoamento na análise de bacias sedimentares e seus estudos derivados. Através do estudo de dezanove sondagens, definiram-se os padrões típicos de RGT para a Fm de Coimbra, que poderão servir de base para outros trabalhos futuros do mesmo tipo, aplicados nesta bacia, na margem ocidental ibérica. A Fm de Coimbra tem o seu início a partir da última ocorrência de anidrite, e o seu término quando contacta por descontinuidade com outras sucessões do Jurássico e Cretácico, ou quando contacta em continuidade com a Fm de Água de Madeiros, onde a assinatura radiométrica exhibe um crescimento derivado de uma natureza distintamente mais margosa desta unidade. Através dos dados de RGT, foi possível demonstrar a correlação da análise sequencial entre as sucessões carbonatadas do Sinemuriano, nas diferentes localizações da BL. Com o aprimoramento destes dados, é possível demonstrar que a Fm de Coimbra se correlaciona lateralmente entre vários

intervalos de máxima inundação de 3<sup>a</sup> ordem, em que se definem sucessões margosas com possível acumula o de matéria orgânica. Foram identificados três ciclos (ou sequências) T-R de 3<sup>a</sup> ordem principais, inseridos num ciclo transgressivo de 2<sup>a</sup> ordem com o seu expoente máximo nas sucessões do topo da Fm de água de Madeiros, como demonstrado em Duarte *et al.* (2010, 2014b) e Sêco *et al.* (2018).

A Fm de Coimbra insere-se como uma unidade relevante para os sistemas petrolíferos da BL, sendo demonstrado em Poças Ribeiro *et al.* (2013) a existência de rochas geradoras nesta unidade com dados de COT bastante significativos na unidade F, e cuja matéria orgânica   maioritariamente origem algal. Dados de Rock-Eval obtidos por Brito *et al.* (2017) demonstram bom a excelente potencial para a gera o de óleo, e que terá sido gerado óleo na Fm de Coimbra nas sondagens 14A-1, MRW-9 e SPM-2, do norte da BL, encontrando-se em estado imaturo.

De acordo com os indícios de hidrocarbonetos encontrados nas sondagens estudadas, e pela identifica o das por oes nestas sondagens que exibem os maiores valores de RGT, definiram-se as seguintes unidades como potenciais intervalos ricos em matéria orgânica:

Unidade F nas sondagens Do-1C (83 API), 14A-1 (91 API), MRW-9 (72 API) e SPM-2 (56 API), do norte da BL.

M1 e M2 nas sondagens Alj-2 (61 API) e Gai-1 (66 API).

M3 na sondagem 20B-1 (58 API).

M4 e M5 na sondagem Bf-1 (79 e 97 API, respectivamente).

Na fase terminal deste trabalho, especulou-se sobre a origem dos hidrocarbonetos encontrados nas sondagens estudadas, tendo-se proposto a existência de três sistemas petrolíferos da qual a Fm de Coimbra faz parte.

Por último, há que enfatizar que a análise dos relatórios de sondagens   um processo exigente, que requer muita aten o e trabalho, dada a informa o desactualizada e, por vezes errada, que terá sido o principal obstáculo nesta disserta o. Este tipo de trabalhos permite o refinamento litoestratigráfico na análise de bacias sedimentares, e seria uma perspectiva futura, actualizar as delimita oes de todas as unidades da BL, bem como melhorar a interpreta o sequencial. Relativamente aos sistemas petrolíferos, e tendo uma boa base estratigráfica, remete-se a necessidade de novos estudos que caracterizem geoquimicamente os indícios de hidrocarbonetos das sondagens analisadas nesta investiga o, tentando uma correla o com as potenciais rochas geradoras.





## Referências Bibliográficas

- AIGNER, T., SCHAUER, M., JUNGHANS, W. D. & REINHARDT, L. (1995). Outcrop gamma ray logging and its applications: examples from the German Triassic. *Sedimentary Geology*, 100: 47-61.
- ALVES, T. M., GAWTHORPE, R. L., HUNT, D. H., & MONTEIRO, J. H., (2002). Jurassic tectono-sedimentary evolution of the northern Lusitanian basin (offshore Portugal). *Marine Petroleum Geology* 19, 727-754.
- ALVES, T. M., GAWTHORPE, R. L., HUNT, D. W. & MONTEIRO, J. H. (2003). Post-Jurassic tectono-sedimentary evolution of the Northern Lusitanian Basin (Western Iberian margin). *Basin Research*, 15: 227-249.
- ALVES, T. M., MOITA, C., SANDNES, F., CUNHA, T., MONTEIRO, J. H. & PINHEIRO, L. M., (2006). Mesozoic– Cenozoic evolution of North Atlantic continental-slope basins: The Peniche basin, western Iberian margin. *AAPG Bull.* 90 (1), 31-60.
- ANTUNES, M. T., ROCHA, R. B., & WENZ, S., (1981). Faunule ichtyologique du Lias inférieur de São Pedro de Moel, Portugal. *Ciências da Terra*, 6: 101-116.
- ATROPS, F. & MARQUES, B., (1988). Précisions stratigraphiques sur les formations à ammonites du Jurassique supérieur dans le massif du Montejunto (Nord du Tage, Portugal). In: Rocha, R. B. & Soares, A. F. (Eds.), *2nd Int. Symp. Jur. Strat.* I, 505-516, Lisboa.
- AZERÊDO, A. C., (1993). Jurássico Médio do Maciço Calcário Estremenho (Bacia Lusitânica): análise de fácies, micropaleontologia, paleogeografia. Tese de Doutoramento, Dep. Geologia Fac. Ciências Lisboa, 366 p.
- AZERÊDO, A. C., (1998). Geometry and facies dynamics of Middle Jurassic carbonate ramp sandbodies, West-Central Portugal. In: Wright, V. P. & Burchette, T. (Eds.), *Carbonate Ramps. Geol. Soc., Spec. Publ.* 149, 281-314, London.
- AZERÊDO, A. C., DUARTE, L. V., HENRIQUES, M. H. & MANUPPELLA, G. (2003). Da dinâmica continental no Triásico aos mares do Jurássico Inferior e Médio. *Cadernos da Geologia de Portugal, Instituto Geológico e Mineiro*, 43 pp.
- AZERÊDO, A. C., DUARTE, L. V. & SILVA, R. L. (2014). Configuração sequencial em ciclos (2a ordem) de fácies transgressivas-regressivas do Jurássico Inferior e Médio da Bacia Lusitânica (Portugal). *Comunicações Geológicas*, 101, Especial I: 383-386.
- AZERÊDO, A. C., SILVA, R. L., DUARTE L. V. & CABRAL, M. C. (2010). Subtidal stromatolites from the Sinemurian of the Lusitanian Basin (Portugal). *Facies*, 56: 211-230.
- AZERÊDO, A. C., WRIGHT, V. P. & RAMALHO, M. M. (2002). The Middle-Late Jurassic forced regression and disconformity in central Portugal: eustatic, tectonic and climatic effects on a carbonate ramp system. *Sedimentology*, 49: 1339-1370.
- BAUDIN, F., HERBIN, J. P. & VANDENBROUCKE, M. (1990) Mapping and geochemical characterization of the Toarcian organic matter in the Mediterranean Tethys and Middle East. *Org. Geochem.*, 16, 677–687.
- BERTHOU, P. Y. (1984). Albian-Turonian stage boundaries and subdivisions in the Western Portuguese Basin, with special emphasis on the Cenomanian-Turonian boundary in the Ammonite Facies and Rudist Facies. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 33(1-2), 41-55.

- BESSA, J. L. & HESSELBO, S. P. (1997). Gamma-ray character and correlation of the Lower Lias, SW Britan. *Proceedings of the Geologists Association*, 108: 113-129.
- BRITO, M., RODRIGUES, R., BAPTISTA, R., DUARTE, L. V., AZERÊDO, A. C. & JONES, C. M. (2017). Geochemical characterization of oils and their correlation with Jurassic source rocks from the Lusitanian Basin (Portugal). *Marine and Petroleum Geology*, 85: 151-176.
- BRUNEAU, B., CHAUVEAU, B., DUARTE, L. V., DESAUBLIAUX, G., MORETTI, I., & BAUDIN, F. (2018). 3D numerical modelling of marine organic matter distribution: example of the early Jurassic sequences of the Lusitanian Basin (Portugal). *Basin Research*, 30, 101-123.
- CABRAL, M. C., COLIN, J. P., AZERÊDO, A. C., SILVA, R. L., & DUARTE, L. V., (2013). Associações de ostracodos da Formação de Coimbra (Sinemuriano) de S. Pedro de Moel: valor paleoecológico e paleobiogeográfico. *Comunicações Geológicas*, 100(1): 43-47.
- CABRAL, M. C., COLIN, J. P., AZERÊDO, A. C., SILVA, R. L., & DUARTE, L. V., (2015). Brackish and marine ostracode assemblages from the Sinemurian of western Portugal, with descriptions of new species. *Micropaleontology*, 61(1-2): 3-24.
- CALLAPEZ, P., (2003). The Cenomanian-Turonian transition in West Central Portugal: ammonites and biostratigraphy. *Ciências da Terra* 15, 53–70.
- CALLAPEZ, P., (2004). The Cenomanian-Turonian central West Portuguese carbonate platform. In: Dinis, J., Proença Cunha, P. (Eds.), *Cretaceous and Cenozoic events in West Iberia margins. Field Trip Guidebook 2, 23rd IAS Meeting of Sedimentology*, Coimbra, 2004, pp. 39–51.
- CATUNEANU, O. (2006). *Principles of Sequence Stratigraphy*, Oxford – United Kingdom, Elsevier, Amsterdam, 375 pp.
- CHOFFAT, P., (1880). Etude stratigraphique et paleontologique des terrains jurassiques du Portugal. Première livraison. Le Lias et le Dogger au Nord du Tage. *Memórias Secção de Trabalhos Geológicos de Portugal*, Lisbonne, XIII: 72.
- CHOFFAT, P., (1903/04). L'Infralias et le Sinémurien du Portugal. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, V: 49-114.
- CHOFFAT, P., (1905). Supplement a la description de l'Infralias et de Sinémurien en Portugal. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal* VI: 123-143.
- CHOFFAT, P., (1908). Contribution à la connaissance du Lias et du Dogger dans la région de Tomar. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, VII: 140-167.
- COHEN, K. M., FINNEY, S. M., GIBBARD, P. L., FAN, J.-X., (2013). The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes*, 36(3): 199-204. ([www.stratigraphy.org](http://www.stratigraphy.org) - último acesso 21 Novembro 2013).
- COIMBRA, R., HORIKX, M., HUCK, S., HEIMHOFER, U., IMMENHAUSER, A., ROCHA, F., & DUARTE, L. V. (2017). Statistical evaluation of elemental concentrations in shallow-marine deposits (Cretaceous, Lusitanian Basin). *Marine and Petroleum Geology*, 86, 1029-1046.
- CORREIA, G., DUARTE, L. V., PEREIRA, A. e SILVA, R. L. (2012). Outcrop Spectral Gamma- Ray applications to the Sinemurian-Pliensbachian organic-rich facies of the Lusitanian Basin (Portugal). *Journal of Iberian Geology*, 38 (2): 373-388.
- CORREIA, G, DUARTE, L. V., PEREIRA, A. C., SILVA, R. L. & MENDONÇA FILHO, J. G. (2013). Utilização da espectrometria de raios gama na caracterização das fácies ricas em matéria orgânica do Sinemuriano-Pliensbaquiano da Bacia Lusitânica. In DUARTE, L.V., SILVA, R.L. e AZERÊDO, A.C. (Eds.), *Fácies carbonatadas ricas em matéria orgânica do Jurássico da Bacia Lusitânica. Novos contributos paleontológicos, sedimentológicos e geoquímicos. Comunicações Geológicas*, 100, Especial I: pp. 77-82.

- CRANGANU, C. & BAUTU, E. (2010). Using Gene Expression Programming to estimate sonic log distributions based on the natural gamma ray and deep resistivity logs: A case study from the Anadarko Basin, Oklahoma. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 70: 243-255.
- DIMUCCIO, L. A. (2014). A carsificação nas Colinas dolomíticas a sul de Coimbra (Portugal centro-ocidental). Fácies deposicionais e controlos estratigráficos do (paleo)carso no grupo de Coimbra (Jurássico Inferior). Tese de Doutoramento. Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, 435 pp.
- DIMUCCIO, L. A., DUARTE, L. V., & CUNHA, L., (2014). Facies and Stratigraphic Controls of the Palaeokarst Affecting the Lower Jurassic Coimbra Group, Western Central Portugal. In: Rocha, R. B., Pais, J., Kullberg, J. C., Finney, S., (Eds.), *Strati 2013. First International Congress on stratigraphy. At the cutting edge of Stratigraphy*. Springer Geology XLV: 787-791.
- DIMUCCIO, L. A., DUARTE, L. V. & CUNHA, L. (2016). Definição litostratigráfica da sucessão calcodolomítica do Jurássico Inferior da região de Coimbra-Penela (Bacia Lusitânica, Portugal). *Comunicações Geológicas*, 103: 1-19.
- DINIS, J., REY, J., CUNHA, P. P., CALLAPEZ, P. M. & REIS, R. P., (2008). Stratigraphy and allogenic controls on the western Portugal Cretaceous: an updated synthesis. *Cretaceous Research* 29, 772-780 (doi:10.1016/j.cretres.2008.05.027).
- DOMMERMUES, J. L., MEISTER, C., NEIGE, P., & ROCHA, R. B., (2004). Endemic Sinemurian (Early Jurassic) ammonites from the Lusitanian Basin (Portugal). *Revue de Paléobiologie*, 23 (2): 529-549.
- DOMMERMUES, J. L., MEISTER, C., & ROCHA, R. B., (2010). The Sinemurian ammonites of the Lusitanian Basin (Portugal): an example of complex endemic evolution. *Palaeodiversity*, 3: 59-87.
- DOMMERMUES, J. L., & MOUTERDE, R., (1987). The endemic trends of Liassic Ammonite faunas of Portugal as the result of the opening up of a narrow epicontinental basin. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 58: 129-137.
- DPEP (2015). Divisão para a Pesquisa e Exploração de Petróleo. Ministério da Economia, Governo de Portugal.
- DRISCOLL, N. W., HOGG, J. R., CHRISTIE-BLICK, N. & KARNER, G. D., (1995). Extensional tectonics in the Jeanne d'Arc Basin, offshore Newfoundland: Implications for the timing of break-up between Grand Banks and Iberia. In: Scrutton, R. A., Stoker, M. S., Shimmield G. B. & Tudhope, A. W. (Eds.), *The tectonics, sedimentation and palaeoceanography of the North Atlantic region*. *Geol. Soc. London Sp. Publ.* 90, 1-28.
- DUARTE, L. V. (1997). Facies analysis and sequential evolution of the Toarcian-Lower Aalenian series in the Lusitanian Basin (Portugal). *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, 83: 65-94.
- DUARTE, L. V. (2007). Lithostratigraphy, sequence stratigraphy and depositional setting of the Pliensbachian and Toarcian series in the Lusitanian Basin (Portugal). *Ciências da Terra* (UNL), Lisboa, 16: 17-23.
- DUARTE, L. V., COMAS-RENGIFO, M. J., SILVA, R. L., PAREDES, R., & Goy, A. (2014a). Carbon isotope stratigraphy and ammonite biostratigraphy across the Sinemurian-Pliensbachian boundary in the western Iberian margin. *Bulletin of Geosciences*, 89(4): 719-736.
- DUARTE, L. V., KRAUTTER & SOARES, A. F. (2001). Bioconstructions à spongiaires siliceux ans le Lias terminal du Bassin lusitanien (Portugal): stratigraphie, sédimentologie et signification paléogéographique. *Bull. Soc. Géol. France*, Paris, 172 (5), pp. 637-646.

- DUARTE, L. V., SILVA, R. L., AZERÊDO, A. C., PAREDES, R. & RITA, P. (2014b). A Formação de Coimbra na região de S. Pedro de Moel (Oeste de Portugal). Caracterização litológica, definição litostratigráfica e interpretação sequencial. *Comunicações Geológicas*, 101, Especial I: 421-425.
- 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. e DINIS, P.M. (Eds.), *A Terra, Conflitos e Ordem*, MMGUC: pp. 175-185.
- DUARTE, L. V., SILVA, R. L. & MENDONÇA FILHO, J. G. (2013). Variação do COT e pirólise Rock-Eval do Jurássico Inferior da região de S. Pedro de Moel. Potencial de geração de hidrocarbonetos. *Comunicações Geológicas*, 100, Especial I: 107-111.
- DUARTE, L. V., SILVA, R. L., MENDONÇA FILHO, J. G., RIBEIRO, N. P. & 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 (2): 105-126.
- 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. *Geol. Acta* 8 (3), 325-340.
- DUARTE, L. V. & SOARES, A. F., (1993). Eventos de natureza tempestífica e turbidítica no Toarciano inferior da Bacia Lusitaniana (Sector Norte). *Cad. Geografia, Fac. Let. Univ. Coimbra* 12, 89-95.
- DUARTE, L. V. & SOARES, A. F. (2002). Litostratigrafia das séries margo-calcárias do Jurássico inferior da Bacia Lusitânica (Portugal). *Comunicações Instituto Geológico e Mineiro*, 89: 135- 154.
- EHRENBERG, S. N. & SVANA, T. A. (2001). Use of spectral gamma-ray signature to interpret stratigraphic surfaces in carbonate strata: An example from the Finnmark carbonate platform (Carboniferous–Permian), Barents Sea. *AAPG Bulletin*, 85 (2): 295-308.
- ELLIS, P. M., WILSON, R. C. & LEINFELDER, R. R., 1990. Controls on Upper Jurassic carbonate buildup development in the Lusitanian Basin, Portugal. In: M. E. Tucker *et al.* (Eds.): *Carbonate platforms. Facies, Sequences and Evolution*. Spec. Publ. Int. Ass. Sediment. 9, 169-202.
- FÜRSICH, F. T., SCHNEIDER, S., WERNER, W., LOPEZ-MIR, B., & PIERCE, C. S. (2022). Life at the continental–marine interface: Palaeoenvironments and biota of the Alcobaça Formation (Late Jurassic, Central Portugal), with a formal definition of the unit appended. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 102(2), 265-329.
- GOMES, C. (1988). Argilas o que são e para que servem. *Fundação Calouste Gulbenkian*, 457 p.
- GÓMEZ, J. J., COMAS-RENGIFO, M. J. & GOY, A. (2016). The hydrocarbon source rocks of the Pliensbachian (Early Jurassic) in the Asturian Basin (northern Spain): Their relationship with the palaeoclimatic oscillations and gamma-ray response. *Journal of Iberian Geology*, 42 (3): 259-273.
- GPEP (1986). Petroleum potential of Portugal. Gabinete para a Pesquisa e Exploração de Petróleo, 62 pp.
- GUTHRIE, V. A., & KLEEMAN, J. D. (1986). Changing uranium distributions during weathering of granite. *Chemical geology*, 54(1-2), 113-126.
- HANSLEY, P. L. & SPIRAKIS, C. S. (1992). Organic matter diagenesis as the key to a unifying theory for the genesis of tabular uranium-vanadium deposits in the Morrison Formation, Colorado Plateau. *Economic Geology*, 87 (2): 352-365.

- HEIMHOFER, U., HOCHULI, P. A., BURLA, S., DINIS, J. M. L., & WEISSERT, H., (2005). Timing of Early Cretaceous angiosperm diversification and possible links to major palaeoenvironmental change. *Geology* 33, 141–144.
- HESSELBO, S.P. (1996). Spectral gamma-ray logs in Relation to clay mineralogy and Sequence stratigraphy, Cenozoic of the Atlantic margin, offshore New Jersey. In MOUNTAIN, G.S., MILLER, K.G., BLUM, P., POAG, C.W. e TWICHELL, D.C. (Eds.), *Proceedings of the Ocean Drilling Program*, Scientific Results, 150: pp. 411-422.
- INVERNO, C. M. C., MANUPPELLA, G., ZBYSZEWSKI, G., PAIS, J. & RIBEIRO, M. L. (1993). Notícia Explicativa da Folha 42-C (Santiago do Cacém) da Carta Geológica de Portugal à escala de 1:50 000. *Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, 75 pp.
- KULLBERG, J. C., OLÓRIZ, F., MARQUES, B., CAETANO, P. S. & ROCHA, R. B. (2001). Flat-pebble conglomerates: a local marker for Early Jurassic seismicity related to syn-rift tectonics in the Sesimbra area (Lusitanian Basin, Portugal). *Sedim. Geology*. Amsterdam. 139 (1), pp. 49-70.
- 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 R. DIAS, A. ARAÚJO, P. TERRINHA e J. C. KULLBERG, (Eds.). *Geologia de Portugal, Vol. II*. Livraria Escolar Editora, pp. 195-347.
- LANGMUIR, D. & HERMAN, J. S.,(1980). The mobility of thorium in natural waters at low temperatures. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44:1753-1766.
- LEINFELDER, R. R. & WILSON, R. C. L., (1989). Seismic and sedimentologic features of Oxfordian-Kimmeridgian syn-rift sediments on the eastern margin of the Lusitanian Basin. *Geol. Rundschau* 78 (1), 81-104.
- LOMHOLT, S., RASMUSSEN, E., ANDERSEN, C., VEJBÆK, O. V., MADSEN, L. & STEINHARDY, H., (1996). Seismic interpretation and mapping of the Lusitanian Basin, Portugal. Final Report, *Proj. MILUPOBAS*, Contract nº J0U2-CT94-0348, GEUS, Copenhagen.
- LOUREIRO, I. M., CABRAL, M. C., DUARTE, L. V., & AZERÊDO, A. C., (2013). Ostracodos do Sinemuriano superior da região de S. Pedro de Moel e de Peniche: relação com o contexto sedimentar. *Comunicações Geológicas*, 100(1): 49-54.
- LOUREIRO, I. M., CABRAL, M. C., DUARTE, L. V., AZERÊDO, A. C., & COLIN, J. P., (2011). Upper Sinemurian (Lower Jurassic) ostracods of the Lusitanian Basin (Portugal): new data. *Joannea Geologie und Paläontologie*, 11: 116-118.
- LÜNING, S., LOYDELL, D. K., SUTCLIFFE, O., AIT SALEM, A., ZANELL, E., CRAIG, J. & HARPER, D. A. T. (2000). Silurian - Lower Devonian black shales in morocco: which are the organically richest horizons?. *Journal of Petroleum Geology*, 23 (3): 293-311.
- MANUPPELLA, G. (1983). O Dogger de Santiago do Cacém. *Comun. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, 69 (1), pp. 47-61.
- MANUPPELLA, G. & AZERÊDO, A. C., (1996). Contribuição para o conhecimento da geologia da região de Sesimbra. *Comun. Inst. Geol. Min.* 82, 37-50.
- MARTINS, L. T. (1991). Actividade ígnea mesozóica em Portugal (contribuição petrológica e geoquímica). Tese de Doutoramento (*não publicada*). *Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa*, 418 p.
- MATTIOLI, E., PLANCQ, J., BOUSSAHA, M., DUARTE, L. V., & PITTET, B., (2013). Calcareous nanofossil biostratigraphy: new data from the Lower Jurassic of the Lusitanian Basin. *Comunicações Geológicas*, 100(1): 69-76.



- MENDONÇA FILHO, J. G., SILVA, T. F., SILVA, R. L., DUARTE, L. V., & POÇAS RIBEIRO, N., (2013). Distribuição dos biomarcadores hopanóides e sua relação com a matéria orgânica nas séries jurássicas de S. Pedro de Moel, Bacia Lusitânica (Portugal). *Comunicações Geológicas*, 100(I): 101-105.
- MEYER, B. L., & NEDERLOF, M. H. (1984). Identification of source rocks on wireline logs by density/resistivity and sonic transit time/resistivity crossplots. *AAPG bulletin*, 68(2), 121-129.
- MOUTERDE, R., (1955). Le Lias de Peniche. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, XXXVI: 87-115.
- MOUTERDE, R., (1967). Le Lias du Portugal - vue d'ensemble et division en zones. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal* 52: 209-226.
- MOUTERDE, R., RAMALHO, M. M., ROCHA, R. B., RUGET-PERROT, Ch., & TINTANT, H., (1971). Le Jurassique du Portugal. Esquisse stratigraphique et zonale. *Boletim da Sociedade Geológica de Portugal*, 18: 73-104.
- MOUTERDE, R., ROCHA, R. B., & DELANCE, J., (1981). Atlas des fossiles caractéristiques du Lias portugais. I lias inférieur. *Ciências da Terra* (UNL), 6: 49-76.
- MOUTERDE, R., ROCHA, R. B., & RUGET-PERROT, Ch., (1978). Stratigraphie et faune du Lias et de la base du Dogger au Nord du Mondego (Quiaios et Brenha). *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 63: 83-103.
- MOUTERDE, R., ROCHA, R. B., RUGET-PERROT, Ch., & TINTANT, H., (1979). Facies biostratigraphie et paleogeographie du jurassique portugais. *Ciências da Terra* (UNL), 5: 29-52.
- MOUTERDE, R., ROCHA, R. B., & RUGET-PERROT, Ch., (1980). Stratigraphie et faune du Lias et de la base du Dogger au Nord du Mondego (Quiaios et Brenha) (parties 2 à 4). *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, LXVI: 79-97.
- MOUTERDE, R., & RUGET-PERROT, Ch., 1975. Esquisse de la paléogéographie du Jurassique inférieur et moyen au Portugal. *Bulletin de la Société Géologique de France*, XVII(5): 779-786.
- MOUTERDE, R., RUGET-PERROT, Ch., & ALMEIDA, F. M., (1965). Coupe du Lias au Sud de Condeixa. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 48: 61-91.
- MYERS, K. J. & WIGNALL, P. B. (1987). Understanding Jurassic organic-rich mudrocks—New concepts using gamma ray spectrometry and palaeoecology: Examples from the Kimmeridge Clay of Dorset and the Jet Rock of Yorkshire. In LEGGETT, J.K. e ZUFFA, G.G. (Eds.), *Marine Clastic Depositional Environments: Concepts and Case Studies*. Graham and Trotman, London, pp. 172-189.
- OLIVEIRA, L. C. V., RODRIGUES, R., DUARTE, L. V. & LEMOS, V. (2006). Avaliação do potencial gerador de petróleo e interpretação paleoambiental com base em biomarcadores e isótopos estáveis do carbono da seção Pliensbaquiano-Toarciano inferior (Jurássico inferior) da região de Peniche (Bacia Lusitânica, Portugal). *Boletim de Geociências da Petrobras*, 14 (2): 207-234.
- PALAIN, C. (1976). Une série détritico terrigène. Les «Grès de Silves»: Trias et Lias inférieur du Portugal. *Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal*, Nova Série, 25, Lisboa, 377 pp.
- PAWELLEK, T. & AIGNER, T. (2003). Stratigraphic architecture and gamma ray logs of deeper ramp carbonates (Upper Jurassic, SW Germany). *Sedimentary Geology*, 159 (3): 203-240.
- PENA DOS REIS, R. P. B., (1983). A sedimentologia de depósitos continentais. Dois exemplos do Cretácico Superior - Miocénico de Portugal. *Unpublished PhD thesis*, University of Coimbra, 403 pp. (in Portuguese).

- PEREIRA, A. J. S. C., GODINHO, M. M. & NEVES, L. J. P. F. (2010). On the influence of faulting on small-scale soil-gas radon variability: a case study in the Iberian Uranium Province. *Journal of environmental radioactivity*, 101 (10): 875-882.
- PETERS, K. E., & CASSA, M. R., (1994). Applied source rock geochemistry, In: Maggon, L.B., Dow, W.G. (Eds.), *The Petroleum System – from Source to Trap*. AAPG Memoir 60, pp. 93-120.
- PIMENTEL, N., & PENA DOS REIS, R. (2016). Petroleum systems of the West Iberian margin: a review of the Lusitanian basin and the deep offshore Peniche basin. *Journal of Petroleum Geology*, 39(3), 305-326.
- PINHEIRO, L. M., WILSON, R. C. L., PENA DOS REIS, R., WHITMARSH, R. B. & RIBEIRO A. (1996). The western Iberia margin: a geophysical and geological overview. In WHITMARSH, R.B. SAWYER, D.S. KLAUS, A. e MASSON, D.G. (Eds.), *Proceedings of the Ocean Drilling Program*, Scientific Results, 149: pp. 3-23.
- 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.
- RAMALHO, M. M., (1971). Contribution à l'étude micropaléontologique et stratigraphique du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur des environs de Lisbonne (Portugal). *Mem. Serv. Geol. Portugal*, N.S. 19, 1-212.
- RASMUSSEN, E. S., LOMHOLT, S., ANDERSEN, C. & VEJBÆK, O. V., (1998). Aspects of the structural evolution of the Lusitanian Basin in Portugal and the shelf and slope area offshore Portugal. *Tectonophysics* 300, 199-225.
- REIS, R. P. B. P., PROENÇA CUNHA, P., DINIS, J. L. & TRINCÃO, P. R. (2000) Geological evolution of the Lusitanian Basin (Portugal) during the Late Jurassic. *GeoRes. Forum*, 6, 345– 356.
- REY, J., (1972). Recherches géologiques sur le Crétacé inférieur de l'Estremadura (Portugal). *Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal*, Nova Série 21, 477 (in French).
- REY, J., DINIS, J. L., CALLAPEZ, P. & CUNHA, P. P. (2006). Da rotura continental à margem passiva. Composição e evolução do Cretácico de Portugal. *Cadernos de Geologia de Portugal*, INETI, pp. 75.
- RIBEIRO, A., ANTUNES, M. T., FERREIRA, M. P., ROCHA, R. B., SOARES, A. F., ZBYSZEWSKI, G., ALMEIDA, F. M., CARVALHO, D. e MONTEIRO, J.H. (1979). *Introduction à la Géologie Générale du Portugal*. *Serviços Geológicos de Portugal*, 114 pp.
- RIBEIRO, A., SILVA, J. B., CABRAL, J., DIAS, R., FONSECA, P., KULLBERG, M. C., TERRINHA, P. & KULLBERG, J. C., 1996. Tectonics of the Lusitanian Basin. Final Report, Proj. MILUPOBAS, Contract n° JOU-CT94-0348, ICTE/GG/GeoFCUL; 126 p., Lisboa.
- RIDER, M. & KENNEDY, M. (2011). *The Geological Interpretation of Well Logs. 3rd edition, Rider-French Consulting Limited*, pp. 432.
- ROCHA, R. B., MARQUES, J., & SOARES, A. F., (1990). Les unités lithostratigraphiques du Bassin Lusitanien au Nord de l'accident de Nazaré (Trias-Aalénien). *Cahiers de l'Université Catholique de Lyon, Série Scientifique*, 4: 121-126.
- ROCHA, R. B., MOUTERDE, R., SOARES, A. F. & ELMÍ, S., (1987). Excursion A- Biostratigraphie et évolution séquentielle du Bassin au Nord du Tage au cours du Lias et du Dogger. *2nd Int. Symp. Jur. Strat.*, 1-84, Lisboa.

- ROCHA, R. B. & SOARES, A. F., (1984). Algumas reflexões sobre a sedimentação jurássica na orla meso- -cenozóica ocidental de Portugal. *Mem. Notícias, Univ. Coimbra* 97, 133-142.
- ROUSE, W. A. & HOUSEKNECHT, D. W. (2016). Modified method for estimating petroleum source-rock potential using wireline logs, with application to the Kingak Shale, Alaska North Slope (No. 2016-5001). *US Geological Survey*, pp. 40.
- SCHARER, U., GIRARDEAU, J., CORNEN, G., & BOILLOT, G., (2000). 138-121 Ma asthenospheric magmatism prior to continental break-up in the North Atlantic and geodynamic implications. *Earth and Planetary Science Letters* 181, 555–572.
- SCHMOKER, J. W. (1981). Determination of organic-matter content of Appalachian Devonian shales from gamma-ray logs. *American Association of Petroleum Geologists*, 65 (7): 1285- 1298.
- SÊCO, S. L. R. (2020). Espectrometria de raios gama em unidades potencialmente geradoras de hidrocarbonetos e implicações ambientais. O caso do Jurássico Inferior e Médio carbonatado da Bacia Lusitânica, Portugal (*Doctoral dissertation*, 00500:: Universidade de Coimbra).
- SÊCO, S. L. R, DUARTE, L. V., PEREIRA, A. J. S. C. & SILVA, R. L. (2018). Field gamma-ray patterns and stratigraphic reinterpretation of offshore well-log data from Lower Jurassic organic-rich units of the Lusitanian Basin (Portugal). *Marine and Petroleum Geology*, 98: 860-872.
- SÊCO, S. L. R, SILVA, R. L., WATSON, N., DUARTE, L. V. , PEREIRA, A. J. S. C. & WACH, G. (2019). Application of petrophysical methods to estimate total organic carbon in Lower Jurassic source rocks from the offshore Lusitanian Basin (Portugal). *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 180: 1058-1068.
- SHARPE, D., (1850). On the secondary district of Portugal with the Lias of the north of the Tagus. *The Quarterly Journal of the Geological Society of London*, 6 (parte 1º): 135-201.
- SHILLINGTON, D. J., HOLBROOK, W. S., TUCHOLKE, B. E., HOPPER, J. R., LOUDEN, K. E., LARSEN, H. C., VAN AVENDONK, H. J. A., DEEMER, S., & HALL, J., (2004). Data report: Marine geophysical data on the Newfoundland nonvolcanic rifted margin around SCREECH transect 2. In: Tucholke, B.E., Sibuet, J.-C., Klaus, A. (Eds.), *Proceedings of the Ocean Drilling Project*, Initial Reports 210, 1–36.
- SILVA, R. L., DUARTE, L. V. & COMAS-RENGIFO, M. J. (2015). Facies and carbon isotope chemostratigraphy of Lower Jurassic carbonate deposits, Lusitanian Basin (Portugal): Implications and limitations to the application in sequence stratigraphic studies. In RAMKUMAR, M. (Eds.), *Chemostratigraphy: Concepts, Techniques, and Applications*. Elsevier, pp. 341-371.
- SILVA, R. L., DUARTE, L. V., COMAS-RENGIFO, M. J., MENDONÇA FILHO, J. G. & 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). *Chemical Geology*, 283: 177-184.
- SILVA, R. L., DUARTE, L. V., & MENDONÇA FILHO, J. G., (2013). Optical and geochemical of Upper Sinemurian (Lower Jurassic) fossil wood from the Lusitanian Basin (Portugal). *Geochemical Journal*, 47: 489-498.
- SILVA, R. L., MENDONÇA FILHO, J. G, AZERÊDO, A. C. & DUARTE, L. V., 2014. Palynofacies and TOC analysis of marine and non-marine sediments across the Middle–Upper Jurassic boundary in the central-northern Lusitanian Basin (Portugal). *Facies*, 60 (1), 255-276.
- ŠIMÍČEK, D. & BÁBEK, O. (2015). Spectral gamma-ray logging of the Grés d'Annot, SE France: An outcrop analogue to geophysical facies mapping and well-log correlation of sand-rich turbidite reservoirs. *Marine and Petroleum Geology*, 60: 1-17.
- SOARES, A. F., (1980). A «Formação Carbonatada» na região do Baixo-Mondego. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal* 66, 99–109 (in Portuguese, French abstract).

- SOARES, A. F., KULLBERG, J. C., MARQUES, J. F., ROCHA, R. B. & CALLAPEZ, P. M. (2012). Tectono-sedimentary model for the evolution of the Silves Group (Triassic, Lusitanian basin, Portugal). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 183 (3), 203-216.
- SOARES, A. F., MARQUES, J. F., & ROCHA, R. B., (1985). Contribuição para o conhecimento geológico de Coimbra. Museu Laboratório Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra, *Memórias e Notícias*, 100: 41-71.
- SOARES, A. F., MARQUES, J. J. & SEQUEIRA, A. D., 2007. Notícia Explicativa da Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50.000, Folha 19-D (Coimbra), *INETI*, 71 pp.
- SOARES, A. F., ROCHA, R. B., ELMÍ, S., HENRIQUES, M. H., MOUTERDE, R., ALMERAS, Y., RUGET, C., MARQUES, J., DUARTE, L. V., CARAPITO, M. C. & KULLBERG, J. (1993). Le sous-bassin nord-lusitanien (Portugal) du Trias au Jurassique moyen: histoire d'un «rift avorté». *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, II, 317: 1659-1666.
- SPIGOLON, A. L. D., BUENO, G. V., PENA DOS REIS, R., PIMENTEL, N. L. and MATOS, V., (2010). The Upper Jurassic Petroleum System: evidence of secondary migration in carbonate fractures of Cabaços Formation, Lusitanian Basin (Portugal). Ext. Abstr. *II Central & North Atlantic Conjugate Margins Conference*, Lisbon, vol. III, 274-278.
- SPIGOLON, A. L. D, PENA DOS REIS, R., PIMENTEL, N. & MATOS, V., (2011). Geoquímica orgânica de rochas potencialmente geradoras de petróleo no contexto evolutivo da Bacia Lusitânica. [Organic geochemistry of petroleum source rock potential in the evolutionary context of the Lusitanian Basin, Portugal.] *Bol. Geociências da Petrobras*, 19 (1/2), 131-162.
- SVENDSEN, J. B. & HARTLEY, N. R. (2001). Comparison between outcrop-spectral gamma ray logging and whole rock geochemistry: implications for quantitative reservoir characterisation in continental sequences. *Marine and Petroleum Geology*, 18: 657-670.
- TUCKER, M., & HARDY, R. (1988) Techniques in Sedimentology. *Blackwell Scientific Publications*. p. 206-215.
- UPHOFF, T. L., (2005). Subsalt (pre-Jurassic) exploration play in the northern Lusitanian basin of Portugal. *AAPG Bulletin*, 89 (6), 699-714.
- UPHOFF, T. L., STEMLER, D. P. & McWHORTER, R. J., (2010). Jurassic reef exploration play in the southern Lusitanian Basin, Portugal. Ext. Abstr. *II Central & North Atlantic Conjugate Margins Conference*, Lisbon, vol. III, 284-288.
- WHITMARSH, R. B., & WALLACE, P. J., (2001). The rift-to-drift development of the west Iberia nonvolcanic continental margin: a summary and review of the contribution of Ocean Drilling program Leg 173. In: Beslier, M.-O., Whitmarsh, R.B.,Wallace, P.J., Girardeau, J. (Eds.), *Proceedings of the Ocean Drilling Project, Scientific Results*, 173, pp. 1–36.
- WIGNALL, P. B., & MYERS, K. J. (1988). Interpreting benthic oxygen levels in mudrocks: a new approach. *Geology*, 16(5), 452-455.
- WILSON, R. C. L. (1988). Mesozoic development of the Lusitanian basin, Portugal. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 1 (3-4): 393-407.
- WILSON, R. C. L., HISCOTT, R. N., WILLIS, M. G., & GRADSTEIN, F. M., (1989). The Lusitanian Basin of west central Portugal; Mesozoic and Tertiary tectonic, stratigraphic, and subsidence history. In: Tankard, A. J., Balkwill, H., (Eds.), *Extensional tectonics and stratigraphy of the north Atlantic margins*, *Memoirs of the American Association of Petroleum Geologists* (AAPG Memoir), 46: 341-361.

- WILSON, R. C. L., MANATSCHAL, G., & WISE, S., (2001). Rifting along non-volcanic passive margins: stratigraphic and seismic evidence from the Mesozoic of the Alps. Special Publication. In: Wilson, R.C.L., Whitmarsh, R.B., Taylor, B., Froitzheim, N. (Eds.), Non-volcanic rifting of continental margins: a comparison of evidence from land and sea, 187. *Geological Society*, London, pp. 429–452.
- WITT, W. G. (1977). Stratigraphy of the Lusitanian Basin. *Shell Prospex Portuguesa*, unpublished report, 61 pp.
- WRIGHT, V. P. & WILSON, R. C. L., (1984). A carbonate submarine-fan sequence from the Jurassic of Portugal. *Journ. Sediment. Petrol.*, 54, pp. 394-412.
- ZELT, F. B. (1984). Gamma-Ray Spectrometry of Marine Shales in Outcrop – A Tool for Petroleum Exploration and Basin Analysis: (abs.), *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, V. 68 (4): p. 542.

## **Relatórios de sondagem**

- Well Report 13E-1 (1977). Composite LOG, Caliper LOG and Stratigraphic Report, April-May 1977, Shell Prospex Portugal.
- Well Report 14A-1 (1975). Composite LOG, Caliper LOG and Stratigraphic Report, June-September 1975, Shell Prospex Portugal.
- Well Report 14C-1A (1975). Composite LOG, Caliper LOG and Stratigraphic Report, April-June 1975, Shell Prospex Portugal.
- Well Report 17C-1 (1975). Composite LOG, Caliper LOG and Stratigraphic Report, December 1975, Shell Prospex Portugal.
- Well Report 20B-1 (1976). Composite LOG, Caliper LOG and Stratigraphic Report, February 1975-May 1976, Shell Prospex Portugal.
- Well Report Aljubarrota-2 (1998) Caliper LOG and Stratigraphic Report, June 1998, Mohave Oil & Gas Corp.
- Well Report Benfeito-1 (1982). Caliper LOG and Stratigraphic Report, August-November 1982, PETROGAL
- Well Report Carapau-1 (1974). Composite LOG, Caliper LOG and Stratigraphic Report, July - September 1974, ESSO E.P.P INC.
- Well Report Dourada-1 (1974). Composite LOG, Caliper LOG and Stratigraphic Report, March 1974, Portugal Sun Oil.
- Well Report Faneca-1 (1996). Composite LOG, Caliper LOG and Stratigraphic Report, 1996, ESSO E.P.P INC.

Well Report Gaiteiros-1 (1990). Calipher LOG and Stratigraphic Report, February-May 1990, TEREDO PETROLEUM LDA.

Well Report Golfinho-1 (1979). Composite LOG, Calipher LOG and Stratigraphic Report, May-June 1979, TEXACO P. P. & P-SARL.

Well Report Monte Real Oeste-9 (1963). Calipher LOG and Stratigraphic Report, October 1962-January 1963, CPP.

Well Report Montijo-1 (1959). Calipher LOG and Stratigraphic Report, March-June 1959, CPP-SARL.

Well Report Moreia-1 (1974). Composite LOG, Calipher LOG and Stratigraphic Report, April-June 1974, Portugal Sun Oil.

Well Report Pescada-1 (1975). Composite LOG, Calipher LOG and Stratigraphic Report, April 1975, TEXACORP P. P. & P-SARL.

Well Report São Mamede-1 (1957). Calipher LOG and Stratigraphic Report, 1957, CPP.

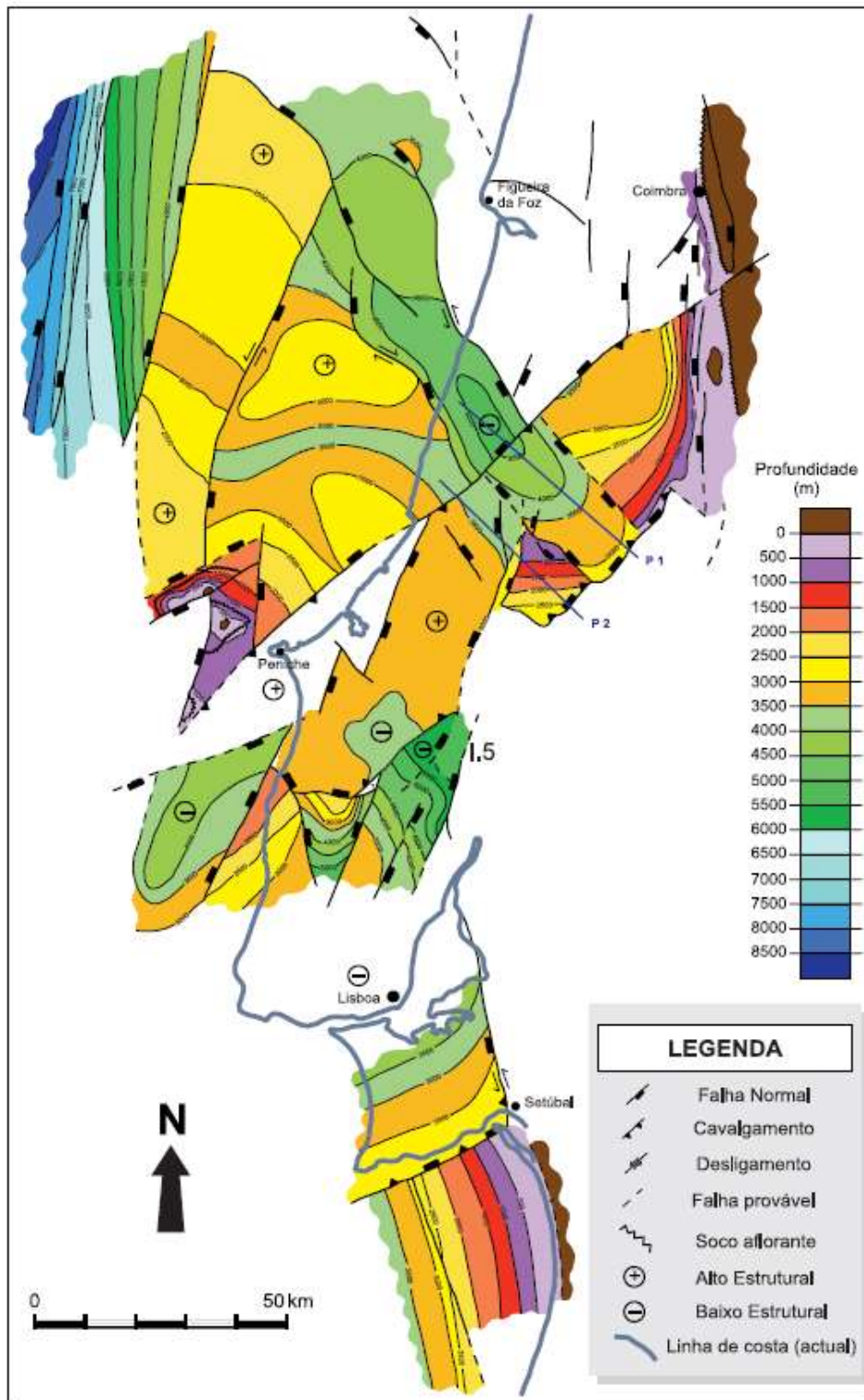
Well Report São Pedro de Moel-2 (1963). Calipher LOG and Stratigraphic Report, January-March 1963, CPP.

Well Report Sobral-1 (1983). Calipher LOG and Stratigraphic Report, February-July 1983, Petrogal

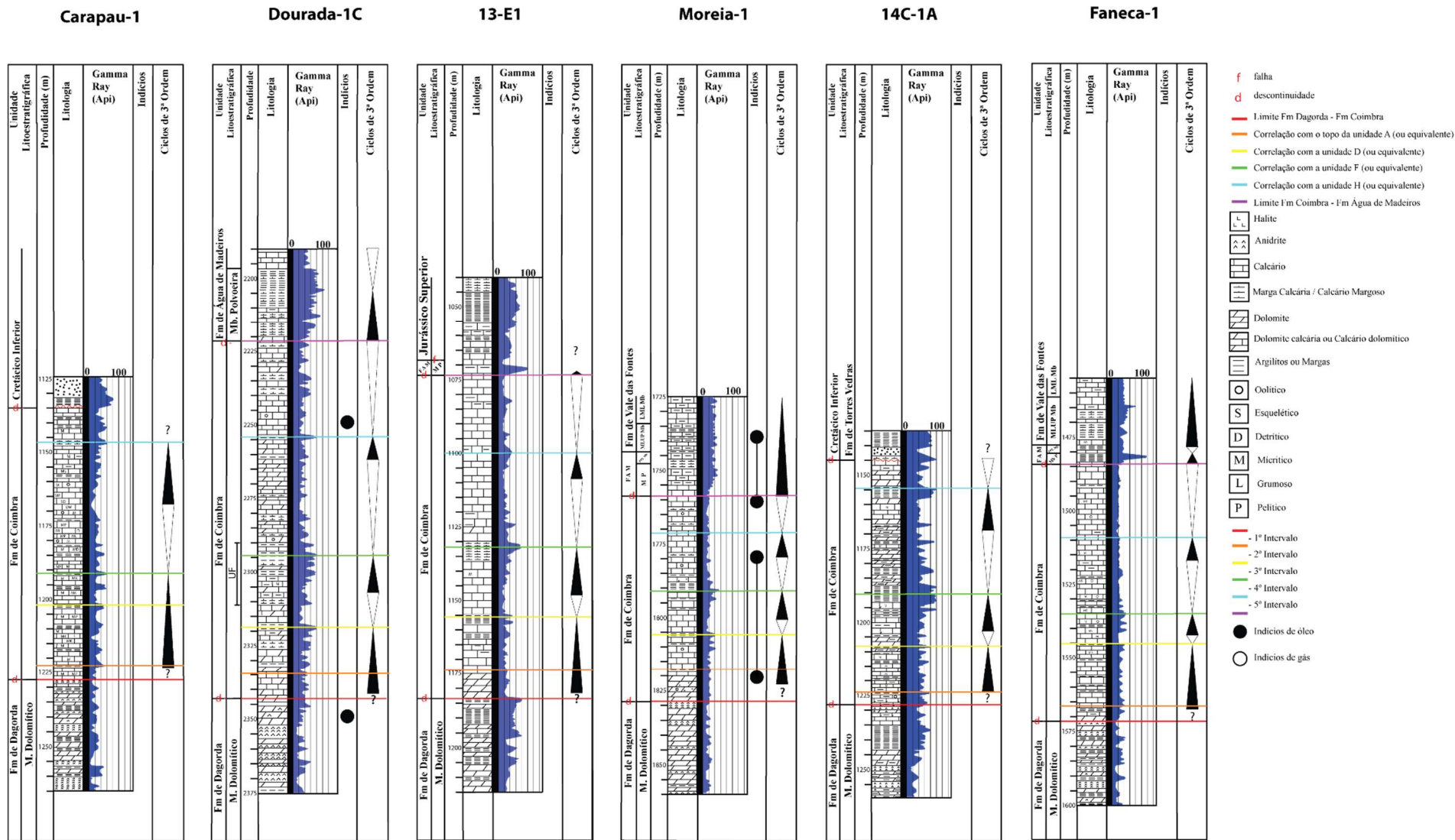


## **Anexos**

## Anexo I - Mapa de contorno estrutural da BL demonstrando a geometria actual do soco ibérico (Ribeiro *et al.*, 1996).



## Anexo II – Análise, interpretação, e correlação das sondagens e diagrfias de RGT (*offshore*)



## Anexo II (offshore, continuação)

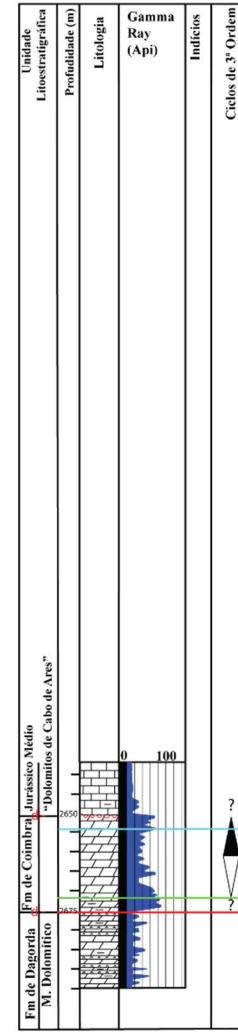
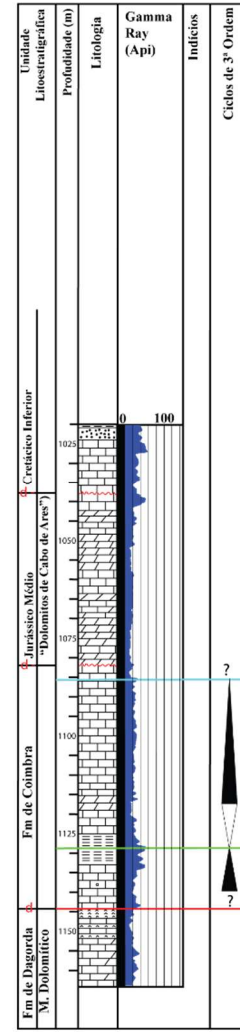
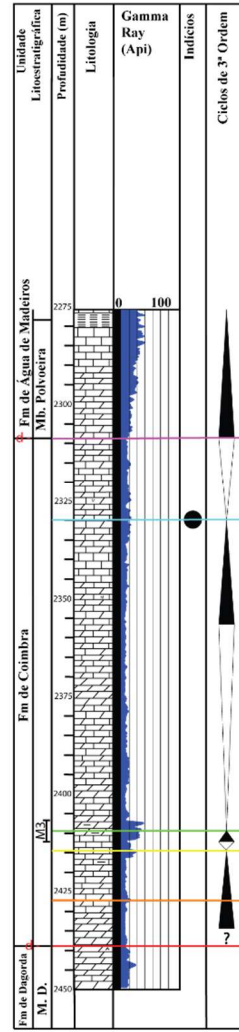
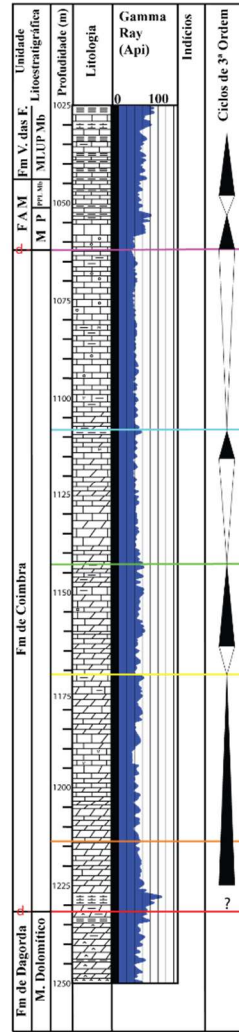
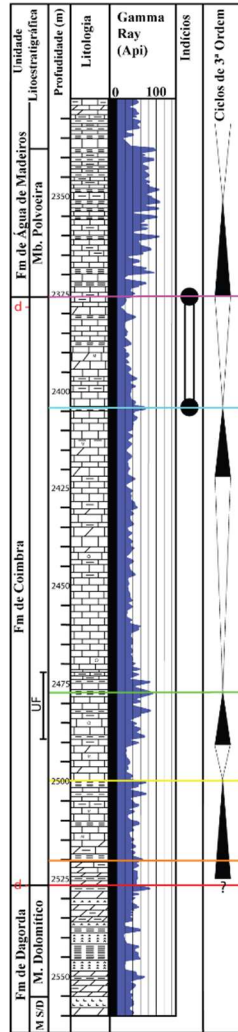
14A-1

17C-1

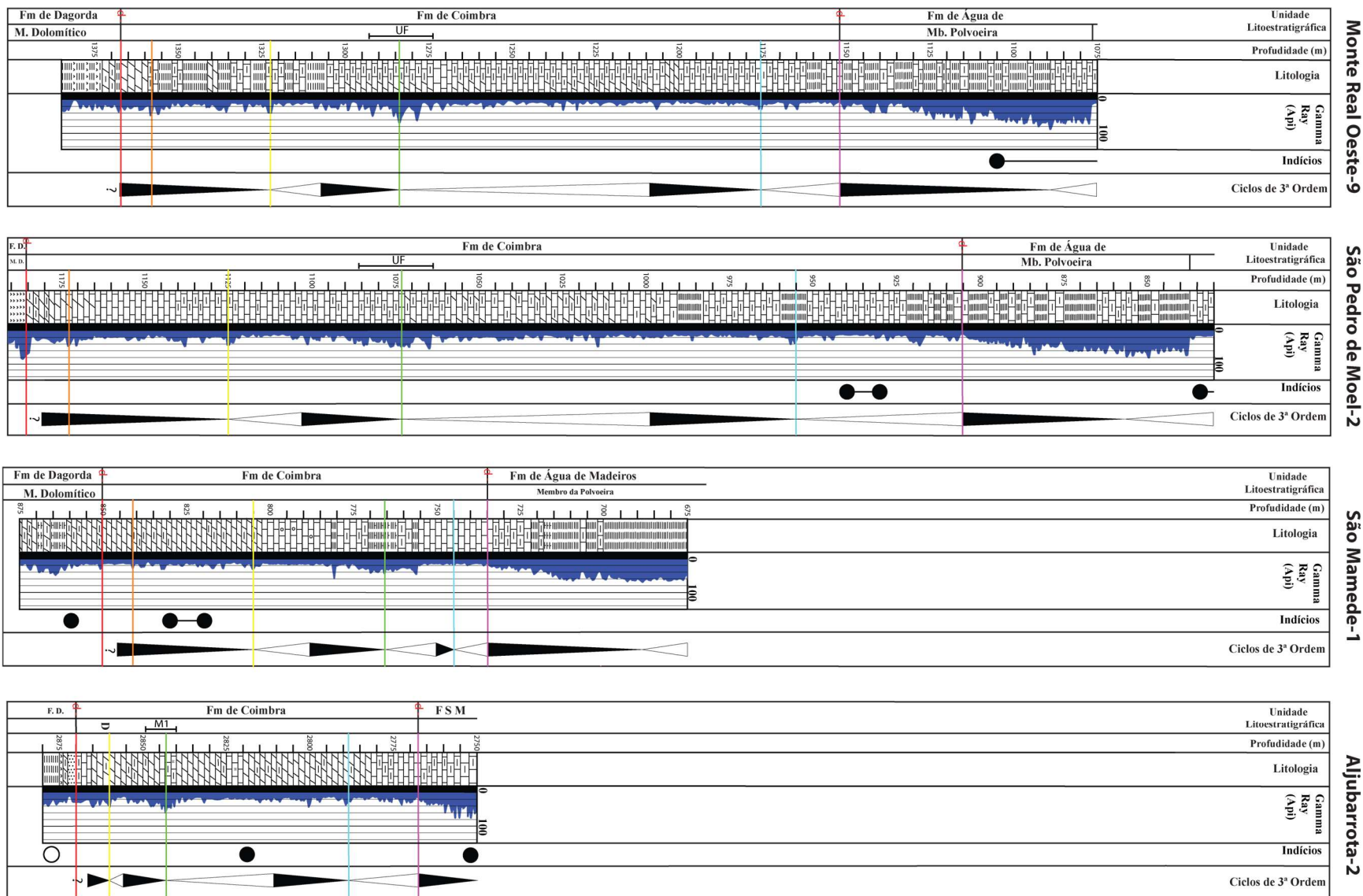
20B-1

Golfinho-1

Pescada-1

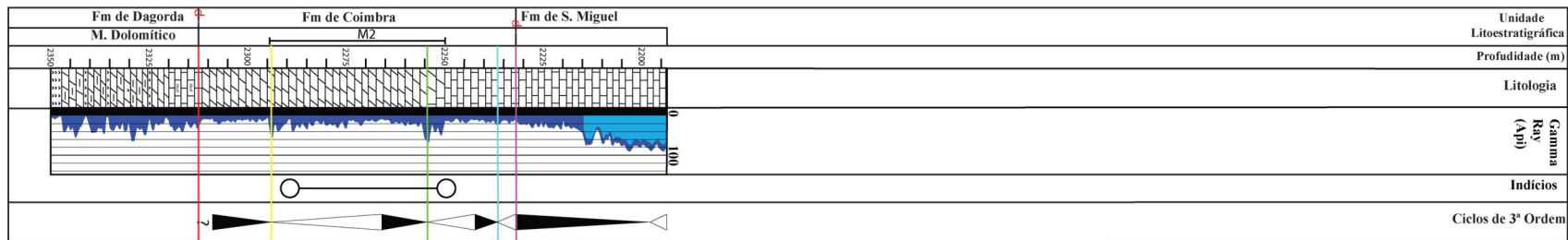


## Anexo II (onshore)

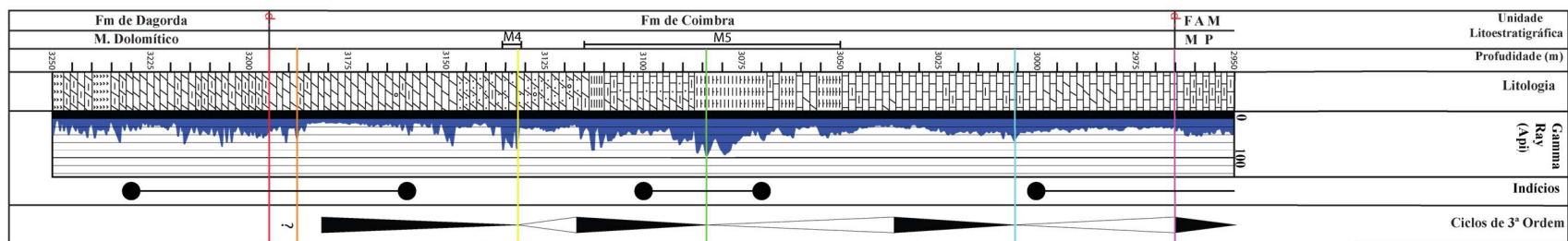




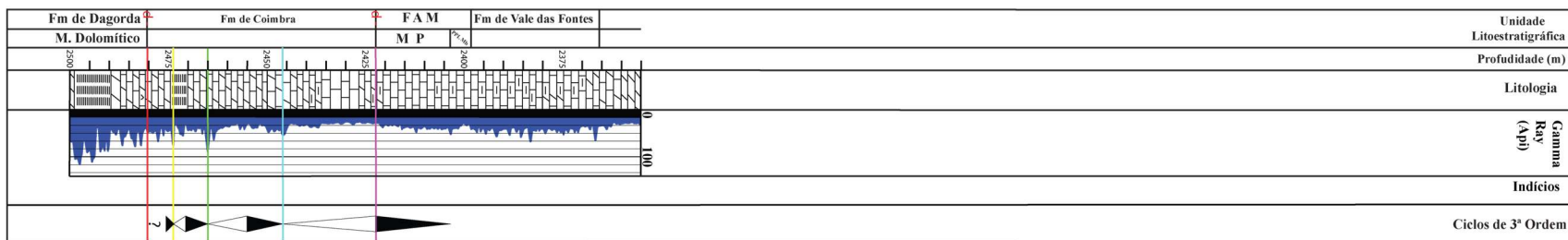
## Anexo II (onshore, continuação)



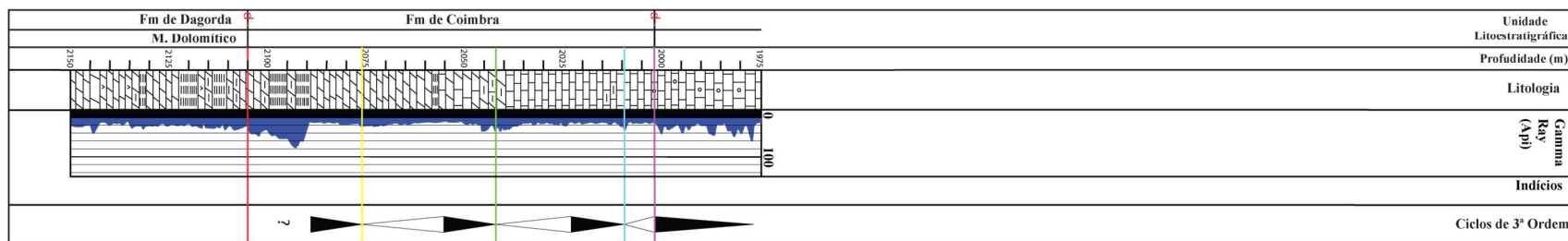
Gatteiros-1



Benfeito-1



Sobral-1



Montijo-1



## Anexo III – Ficha de ensaio de radiação gama no perfil de S. Miguel

Ficha de Ensaio Gamma-Ray							
Perfil:	Gonfil						
Data:	08/06/2021						
P. Obs	Descrição Litológica	Espessura (m)	RGT	DR	K	U	Th
			(cps)	(nGyh-1)	(%)	(ppm)	(ppm)
<b>Fm de São Miguel - Topo U7 e U8 (Dimuccio <i>et al.</i> 2016)</b>							
1	C	0,33	141	40,6	1,5	2,4	3,2
2	C	0,31	144	39,4	1,3	2,0	4,2
3	CM	0,30	147	45,5	1,4	2,5	4,9
4	C	0,28	139	39,8	1,4	2,1	3,9
5	MC	0,08	173	46,9	1,7	2,4	4,1
6	C + (margoso)	0,14	148	42,5	1,5	2,1	4,0
7	CM	0,11	145	40,1	1,4	1,4	5,2
8	C	0,21	125	34,9	1,2	2,0	3,1
9	C	0,16					
10	C	0,27	138	43,9	1,3	2,5	4,7
11	MC	0,05					
12	C	0,20	156	50,4	1,5	3,3	4,6
13	MC	0,10	181	50,3	1,8	2,8	4,1
14	C	0,50	137	34,7	1,2	1,3	4,4
15	C	0,35	138	38,1	1,3	2,0	3,6
16	C	0,09	150	42,3	1,4	2,7	3,4
17	M	0,12	149	42,8	1,3	2,6	4,5
18	C	0,26	149	43,9	1,3	2,5	5,1
19	CM	0,13	175	54,9	1,8	3,9	3,7
20	C	0,18	157	53,7	1,3	4,4	4,8
21	M	0,02					
22	C + esparfítico	0,32	126	35,0	0,9	2,2	3,9
23	C + esparfítico	0,55	119	34,8	1,0	2,3	3,6
24	CM	0,08					
25	MC	0,06	151	43,6	1,4	2,8	3,7
26	C	0,37	129	32,5	0,8	2,7	2,1
27	C	0,37	120	37,0	1,2	2,4	3,0
28	M	0,07	125	36,2	0,9	2,5	3,8
29	C (duplo)	0,75	101	27,3	0,6	2,2	2,8

## Anexo III (continuação)

P. Obs	Descrição Litológica	Espessura (m)	RGT	DR	K	U	Th
			(cps)	(nGyh-1)	(%)	(ppm)	(ppm)
<b>Mb. MLUP Fm de Vale das Fontes (Duarte &amp; Soares, 2002)</b>							
30	M/C/M/C	0,18					
31	M	0,21	135	45,0	1,5	2,6	4,1
32	C	0,11	128	40,1	1,4	1,1	5,9
33	M e MC	0,40	142	44,0	1,6	2,9	2,7
34	M e MC	0,34	195	68,6	2,3	3,9	6,7
35	CM	0,35	170	58,9	1,9	3,0	6,5
36	M	0,14	172	58,9	2,3	2,2	6,1
37	C	0,22	158	51,1	2,2	1,8	4,7
38	M/C	0,10					
39	M	0,05	150	48,8	1,8	2,7	4,2
40	C	0,18	138	40,7	1,4	2,5	3,1
41	M e C em bancada	0,80					
42	C	0,18	127	38,8	1,4	2,0	3,7
43	C (duplo)	0,20	126	38,1	1,3	2,0	3,9
44	M	0,10	134	44,4	1,6	2,0	4,4
45	M e C	0,14					
46	C	0,06	144	45,9	1,5	2,6	4,3
47	M	0,14					
48	C	0,10	139	37,9	1,5	1,7	3,4
49	M	0,35	189	69,7	2,3	3,5	7,5
50	C	0,09	166	54,8	2,0	3,1	4,5
51	M	0,23	185	59,0	2,3	2,6	5,6
52	CM	0,08	178	55,9	2,3	1,7	6,1
53	M	0,22	190	61,7	2,3	2,3	7,0
54	C	0,08	172	54,9	1,9	2,0	7,1
55	M	0,35	189	63,1	2,5	2,6	6,2

C - Calcário

CM - Calcário margoso

MC - Marga calcária

M - Marga

