



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

ANÁLISE TAFONÓMICA DE COQUINAS (FORMAÇÕES MORRO DO CHAVES E AMARAL) E SUAS
RELAÇÕES NA DEFINIÇÃO DAS PROPRIEDADES PERMO-POROSAS DE RESERVATÓRIOS ANÁLOGOS
AO PRÉ-SAL DO BRASIL

Gustavo Gonçalves Garcia



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Gustavo Gonçalves Garcia

**ANÁLISE TAFONÓMICA DE COQUINAS (FORMAÇÕES
MORRO DO CHAVES E AMARAL) E SUAS RELAÇÕES NA
DEFINIÇÃO DAS PROPRIEDADES PERMO-POROSAS DE
RESERVATÓRIOS ANÁLOGOS AO PRÉ-SAL DO BRASIL**

Tese no âmbito do Doutoramento em Geologia, Processos Geológicos, orientada
pela Professora Doutora Maria Helena Paiva Henriques e pelos Professores
Doutores Rui Paulo Bento Pena dos Reis e Antônio Jorge Vasconcellos Garcia e
apresentada ao Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Fevereiro de 2021



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA



Gustavo Gonçalves Garcia

Análise tafonómica de coquinas (Formações Morro do Chaves e Amaral) e suas relações na definição das propriedades permo-porosas de reservatórios análogos ao pré-sal do Brasil

Doutoramento em Geologia – Processos Geológicos

Orientadora: Doutora Maria Helena Paiva Henriques

Coorientadores: Doutor Rui Paulo Bento Pena dos Reis

Doutor Antônio Jorge Vasconcellos Garcia

Fevereiro de 2021

"Tudo ao nosso entorno é energia, devemos é saber neutralizar as energias negativas" (Paulo Tibana "In memoriam")

"Não tenho medo do escuro. Mas deixe as luzes acesas agora" (Renato Russo "In memoriam")

Agradecimentos

Agradecimentos

À vida, que me cuida, me ouve, me entende, me incentiva e, principalmente, acredita no que sou há 18 anos, Luiza Friedrich Garcia.

Ao futuro, que me faz não ficar parado e mostra-me que sempre é hora de sorrir e dançar, Ana Clara Friedrich Garcia.

À felicidade, a formadora de todas as minhas habilidades, o meu sorriso é o seu sorriso, Maria Felicidade Guimarães Gonçalves Garcia.

Ao caminho, que sempre esteve, está e estará lá para me orientar, Antônio Jorge Vasconcellos Garcia.

Ao ar, que me rodeia, por me mostrar que nunca estou só, mesmo distante, Marina, Natália, Luiz, Inês, Tatiana, Patrícia, Guilherme, Vinícius, Victória, Pedro e José António.

Ao mestre, a quem devo grande parte da minha serenidade, conhecimento e força, e a quem agradeço todo o conhecimento sobre carbonatos, Prof. Paulo Tibana *"In memoriam"*.

À Professora Maria Helena Paiva Henriques, pela orientação de excelência para o aprofundamento dos meus conhecimentos neste doutoramento. Por mostrar que nunca se deve desistir do que realmente queremos e é justo. Por todo o carinho, amizade e respeito que construímos.

Aos professores Rui Pena dos Reis e Nuno Pimentel, por toda a orientação, dedicação, disponibilidade e amizade.

Ao Laboratório PROGEOLOGIA, por todo o apoio de campo e formação, e aos amigos que, ao longo dos últimos 13 anos, pude encontrar, em especial ao Márcio, pela sinergia de trabalho e amizade na procura de um ideal. Ao Luiz Mário, por sempre nos cuidar com carinho e dedicação. À Karen, Samuel e Pedro, obrigado pela amizade, pela compreensão e respeito. À Mariana e Lucas, obrigado pela disponibilidade para todas as solicitações. À Mirian, Itson, Izaura, Thaylane, Arthur, Liana, Naedja e Daniela obrigado pelo respeito, carinho e auxílio.

Aos colegas do Laboratório de Geologia Sedimentar e Registo Fóssil da Universidade de Coimbra. Em especial à Patrícia, minha melhor amiga de infância, obrigado por me ouvir e entender sempre. Ao Rafael, meu amigo e "co-orientador", obrigado por todas as discussões científicas e toda a ajuda no

término desta tese. À Anna, pelo carinho e amizade, obrigado por todos os conselhos. À Salomé e Manuella, obrigado pelo respeito, carinho e auxílio. Meu agradecimento também aos colegas Nei, Caio, Gustavo B., Yasir, Fernando, Gabriela e ao professor Roberto Fainstein.

Ao Centro de Geociências da Universidade de Coimbra (CGEO), pelo acolhimento e pelo apoio à realização desta tese, suportado por fundos FEDER através do Competitiveness Factors Operational Programme - COMPETE e por fundos da Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito dos projetos UID/Multi00073/2013, UID/Multi00073/2019, UIDB/00073/2020 e UIDP/00073/2020.

À PETROBRAS que, através de projetos de pesquisa realizados em parceria com o Laboratório PROGEOLOGIA nos últimos 10 anos, suportou parte da pesquisa apresentada nesta tese, nomeadamente o projeto CAMURES-DIAGENESE - (2017/00019-4).

Aos sonhos lúcidos, por me permitirem viver infinitos universos.



Resumo

Resumo

O presente trabalho reporta os resultados obtidos através do estudo de depósitos de coquinas análogos situados em bacias das “Margens Atlânticas” do Atlântico Norte e do Atlântico Sul, nomeadamente das bacias Lusitânica e Sergipe-Alagoas. As unidades estratigráficas selecionadas como alvos para a presente pesquisa representam intervalos relacionados com a abertura do Atlântico Sul e Norte, a saber: Formação Morro do Chaves (Barremiano, Cretácico Inferior) na Bacia Sergipe-Alagoas, nordeste do Brasil, e Formação Amaral (Kimmeridgiano, Jurássico Superior) na Bacia Lusitânica, em Portugal.

Recorrendo à análise tafonómica das associações de fósseis registadas nas unidades acima referidas com base em critérios de tafonomia evolutiva e à Metodologia de Caracterização Multiescalar de Reservatório foi concebida e aplicada uma metodologia inovadora de classificação de coquinas adaptada à complexidade genética deste tipo de depósitos. Tal metodologia permite incrementar a eficácia dos modelos preditivos e responder ao desafio enfrentado pela indústria do petróleo na busca da compreensão da distribuição dos espaços permo-porosos em reservatórios de hidrocarbonetos.

A metodologia utilizada no presente estudo permitiu compreender e cartografar a distribuição de fácies de coquinas em dois contextos paleogeográficos distintos, bem como ampliar o uso de modelos ideais, construídos a partir de afloramentos e furos de sondagem.

As análises petrográficas e tafonómicas da Formação Morro do Chaves foram realizadas em 462 amostras/lâminas petrográficas dos afloramentos das cavas de pedreiras e de 14 poços perfurados nas mesmas e em áreas adjacentes. Estas análises resultaram no estabelecimento de dez tafofácies que, em associação com quatro litofácies, permitiram a definição de 36 petrofácies.

A Formação Amaral é reconhecida em quase toda a Bacia Lusitânica. Devido à sua ampla distribuição geográfica, os afloramentos e pontos de controlo foram agrupados, com base nos contextos deposicionais que representam, em três setores: lagunar, laguna-barreira e marinho-distal. O setor lagunar foi analisado com base em dois perfis estratigráficos: Cumieira e Abiul (Pombal). As análises litofaciológicas e tafonómicas destes perfis foram realizadas através de descrições macroscópicas de 58 amostras, sendo 53 do Perfil da Cumieira e cinco do Perfil de Abiul. Foram igualmente analisados 15 afloramentos para controlo lateral e vertical das unidades com recolha de 41 amostras. O setor laguna-

barreira foi analisado através do estudo de dois perfis estratigráficos: Praia do Salgado (Famalicão) e Praia da Consolação (Atouguia da Baleia). As análises litofaciológicas e tafonómicas destes perfis foram realizadas com base em descrições macroscópicas de 102 amostras, sendo 61 do Perfil da Praia do Salgado e 41 do Perfil da Praia da Consolação. Foram igualmente analisados dois afloramentos para controlo lateral e vertical das unidades com recolha de nove amostras. O setor marinho-distal foi analisado através do estudo de um perfil estratigráfico: Pedralvo (Arruda dos Vinhos). As análises litofaciológicas e tafonómicas deste perfil foram realizadas com base nas descrições macroscópicas de nove amostras. Foram igualmente analisados oito afloramentos para controlo lateral e vertical das unidades com recolha de oito amostras. A integração de todos os dados obtidos resultou no estabelecimento de dez tafofácies que, em associação com quatro litofácies, permitiram a definição de 84 petrofácies.

Os modelos geológicos resultantes, relativos às formações Morro do Chaves (Bacia Sergipe-Alagoas) e Amaral (Bacia Lusitânica), sustentaram a construção de modelos teóricos de depósitos de coquinas em banco e em plataforma que permitem prever a distribuição espacial das fácies em outros reservatórios análogos de hidrocarbonetos em coquinas do pré-sal do Brasil.

Palavras-chave: Coquinas; Tafonomia Evolutiva; Reservatórios Análogos; Petrofácies/Tafofácies; Formação Morro do Chaves (Bacia Sergipe-Alagoas; NE Brasil); Formação Amaral (Bacia Lusitânica; Portugal)



Abstract

Abstract

The present work reports the results obtained through the study of analogous coquina deposits located in basins of the "Atlantic margins" of the North Atlantic and the South Atlantic, namely in the Lusitanian and Sergipe-Alagoas basins. The stratigraphic units selected as targets for this research represent intervals related to the opening of the South and North Atlantic, namely: the Morro do Chaves Formation (Barremian, Lower Cretaceous) of the Sergipe-Alagoas Basin, NE Brazil, and the Amaral Formation (Kimmeridgian, Upper Jurassic) of the Lusitanian Basin, Portugal.

By using taphonomic analysis of the fossil assemblages recorded in the units mentioned above based on evolutionary taphonomy criteria, and the Multiscale Reservoir Characterization Methodology, it was possible to design and apply an innovative methodology for classifying coquina adapted to the genetic complexity of this type of deposits. Such methodology allows increasing the effectiveness of predictive models and responding to the challenge faced by the oil industry in the search for understanding the distribution of permo-porous spaces in hydrocarbon reservoirs.

The methodology used in the present study made it possible to understand and map the distribution of coquina facies in two distinct paleogeographic contexts, as well as to enlarge the use of ideal models, built from outcrops and boreholes.

The petrographic and taphonomic analyses of the Morro do Chaves Formation were carried out on 462 petrographic samples/slides from the outcrops of the quarry pits and from 14 wells drilled in them and in adjacent areas. These analyses resulted in the establishment of ten tafofacies that, in association with four lithofacies, allowed the definition of 36 petrofacies. The Amaral Formation is recognised in almost the entire Lusitanian Basin. Due to its wide geographical distribution, the outcrops and control points were grouped into three sectors, based on the depositional contexts they represent: lagoon, lagoon-barrier and marine-distal. The lagoon sector was analysed based on two stratigraphic sections: the Cumieira and the Abiul sections (Pombal). The lithofaciological and taphonomic analyses of these sections were performed based on macroscopic descriptions of 58 samples, 53 from the Cumieira Section and five from the Abiul Section. Fifteen outcrops were also analysed for lateral and vertical control of the units with the collection of 41 samples. The lagoon-barrier sector was analysed by studying two stratigraphic sections: Praia do

Salgado (Famalicão) and Praia da Consolação (Atouguia da Baleia). The lithofaciological and taphonomic analyses of these sections were performed based on macroscopic descriptions of 102 samples, 61 from the Praia do Salgado Section and 41 from the Praia da Consolação Section. Two outcrops were also analysed for lateral and vertical control of the units with the collection of nine samples. The marine-distal sector was analysed through the study of a stratigraphic section: Pedralvo (Arruda dos Vinhos). The lithofaciological and taphonomic analyses of this section were performed based on the macroscopic descriptions of nine samples. Eight outcrops were also analysed for lateral and vertical control of the units with the collection of eight samples. The integration of all the obtained data resulted in the establishment of ten tafofacies that, in association with four lithofacies, allowed the definition of 84 petrofacies.

The resulting geological models, related to the Morro do Chaves (Sergipe-Alagoas Basin) and Amaral (Lusitanian Basin) formations supported the construction of theoretical models of coquina deposits in bank and platform that allow predicting the spatial distribution of facies in other reservoirs hydrocarbon analogues in pre-salt coquina deposits in Brazil.

Key-words: Coquina; Evolutionary Taphonomy; Analogue Reservoirs; Petrofacies/Taphofacies; Morro do Chaves Formation (Sergipe-Alagoas Basin; NE Brazil); Amaral Formation (Lusitanian Basin; Portugal)

Índice

Índice

I	Agradecimentos	i
II	Resumo	vii
III	Abstract	xiii
IV	Índice	xix
V	Índice de figuras	xxvii
VI	Índice de tabelas	liii
VII	Índice de quadros	lvii
VIII	Índice de anexos	lxiii
1.	Introdução	1
2.	Objetivos	9
3.	Enquadramento teórico da investigação	15
3.1.	Tafonomia clássica	18
3.2.	Tafonomia evolutiva	22
3.3.	Petrofácies e tafofácies	26

4. Estado da arte	31
4.1. Bacia Sergipe-Alagoas	34
4.1.1. Contexto geológico da Formação Morro do Chaves	37
4.1.2. Formação Morro do Chaves: registo fóssil e implicações paleoambientais	41
4.1.3. Formação Morro do Chaves: registo palinológico e implicações paleoambientais e paleogeográficas	43
4.2. Bacia Lusitânica	59
4.2.1. Contexto geológico da Formação Amaral	64
4.2.2. Contexto paleoambiental e paleogeográfico da Formação Amaral	69
5. Materiais e métodos	83
5.1. Área de estudo da Formação Morro do Chaves	86
5.2. Área de estudo da Formação Amaral	90
5.3. Trabalho de campo	98
5.4. Caracterização multiescalar de reservatório	101
5.5. Análises petrográficas e tafonómicas	105

6. Resultados	115
6.1. Formação Morro do Chaves	118
6.2. Formação Amaral	135
6.2.1. Mecanismos de alteração tafonómica nas coquinas da Formação Amaral	145
6.2.1.1. Desarticulação	145
6.2.1.2. Distorção mecânica e abrasão	148
6.2.1.3. Reorientação (dispersão e reagrupamento)	148
6.2.1.4. Cimentação (permineralização, formação de concreções) e neomorfismo (recristalização)	149
6.2.1.5. Remoção tafonómica ou remobilização (acumulação e ressedimentação)	149
6.2.2. Petrofácies da Formação Amaral	154
6.2.2.1. Setor lagunar	155
6.2.2.2. Setor laguna-barreira	187
6.2.2.3. Setor marinho-distal	253
6.2.3. Reconstruções paleoambientais e paleogeográficas ...	265

7	Discussão	277
7.1	Formação Morro do Chaves	280
7.2	Formação Amaral	282
7.3	Reservatórios análogos	286
8	Conclusões	289
9	Considerações finais	295
10	Referências bibliográficas	301
11	Anexos	323
	Anexo A	325
	Anexo B	327
	Anexo C	329
	Anexo D	331

Índice de figuras

Índice de figuras

- Figura 1** Os tipos de concentrações de restos esqueléticos e as respectivas distribuições em diferentes ambientes de plataforma como resultado de diferentes processos; as influências diagenéticas (vértice 3 dos triângulos) não são representadas nesta figura (modificado de Kidwell et al., 1986) 18
- Figura 2** Terminologia usada na descrição de biofábricas considerando apenas a orientação das conchas (modificado de Kidwell et al., 1986) 19
- Figura 3** Processos tafonômicos envolvidos na fossilização de conchas de bivalves (modificado de Goldring, 1991) 20
- Figura 4** Sistema de classificação tafonômica (tafofácies) aplicado aos depósitos da Formação Coqueiros, Bacia de Campos, Brasil. Esta classificação é baseada nas relações entre o grau de remobilização hidráulica (transporte) e a preservação dos restos esqueléticos de bivalves com a energia do ambiente e a porosidade (modificado de Muniz, 2013) 21
- Figura 5** Esquema de várias disciplinas paleontológicas referentes a processos, eventos, fases ou intervalos de fossilização, conforme proposto por Fernández-López (1988) e Fernández-López & Jalvo (2002). Em geral, tafonomia e conhecimento tafonômico podem ser subdivididos em duas (sub)disciplinas, a saber, bioestratinomia e fóssil-diagénesse (modificado de Fernández-López & Jalvo, 2002) 22
- Figura 6** Significado, exemplos e critérios de alteração tafonômica (modificado de Fernández-López, 1991) 24
- Figura 7** Mecanismos de alteração tafonômica (modificado de Fernández-López, 2000) 25

Figura 8	As diferenças entre os conceitos de litofácies (1), biofácies (2) e tafofácies (3). A definição desta não depende do tipo de sedimento ou da distribuição taxonômica, mas exclusivamente dos atributos tafonômicos (modificado de Holz & Simões, 2002)	28
Figura 9	Contexto geológico-estrutural da Bacia Sergipe-Alagoas (conforme Caixeta et al., 2014; conforme Ferreira et al., 2011)	34
Figura 10	Quadro estratigráfico da Sub-Bacia de Alagoas destacando a Formação Morro do Chaves que representa o início da fase marinha restrita do final do Barremiano (modificado de Campos Neto et al., 2007; modificado de Garcia et al., 2020)	36
Figura 11	Paleogeografia das Formações Coqueiro Seco e Morro do Chaves: A) Modelo da plataforma carbonatada para o Cretácico Superior; B) Seção estratigráfica (a-b) simplificada da plataforma carbonatada para o Cretácico Superior (modificado de Garcia et al., 2005)	38
Figura 12	Perfil estratigráfico simplificado da Formação Morro do Chaves com a localização dos pontos de coletas de folhelhos para preparação palinológica, destacando as litologias: A) Camada de coquinas da base da pedreira InterCement; B e C) Folhelho alterado, com destaque para os fósseis de peixes; D) Camada de carvão; E e F) Camada de coquinas mais grosseira com fraca remobilização; G) Contato do folhelho com o arenito com ripples (modificado de Garcia, 2012)	40
Figura 13	Modelo evolutivo da deposição dos carbonatos da Formação Morro do Chaves (modificado de Azambuja Filho et al., 1998; modificado de Garcia et al., 2015b). Utiliza-se aqui uma terminologia de tratos de sistemas marinhos, adaptado ao contexto lacustre, atribuído à unidade pelos autores da figura original	42

- Figura 14** Perfil litológico composto, posição estratigráfica das amostras estudadas e distribuição dos palinomorfos com abundâncias relativas (pontos pretos) para cada amostra. O perfil litológico é subdividido em quatro sequências e em cinco bio-horizontes, com destaque para as faixas paleoclimáticas, o regime energético e as palinofácies (modificado de Garcia et al., 2018) 47
- Figura 15** Palinofácies reconhecidas na Formação Morro do Chaves: A) Ausência de matéria orgânica, baixa ocorrência de agregados de pirite e presença de cristais de pós-processamento da amostra; B) Ausência de matéria orgânica, elevada ocorrência de agregados de pirite e escassos fitoclastos; C) Baixa abundância de matéria orgânica amorfa, elevada abundância de fitoclastos opacos e escassos palinomorfos; D) Matéria orgânica amorfa fluorescente com contorno difuso, escassos palinomorfos e raros agregados de pirite; E) Elevada abundância de palinomorfos, matéria orgânica amorfa aglutinada de cor castanha clara e raros agregados de pirite; F) Grande quantidade de matéria orgânica amorfa densa de cor castanha escura, vários agregados de pirite e escassos palinomorfos; G) Matéria orgânica amorfa densa de alta fluorescência de contorno difuso e outros elementos fluorescentes; H) Baixa ocorrência de matéria orgânica amorfa densa fluorescente, elevada abundância de espécimes de *Scenedesmus* e vários agregados de pirite (modificado de Garcia et al., 2018) 50
- Figura 16** Reconstrução paleogeográfica da área de estudo: A) Localização da área de estudo na Bacia de Sergipe-Alagoas; B) Esboço de interpretação detalhada representando o ambiente deposicional aluvial-deltaico-lacustre para a parte inferior da Formação Morro do Chaves; C) Esboço de interpretação detalhada representando o ambiente deposicional aluvial-deltaico-lacustre sabkha para a parte superior da Formação Morro do Chaves (modificado de Garcia et al., 2018; modificado de Garcia, 2012) 57

Figura 17	Reconstrução paleogeográfica da área de estudo para o Cretácico Inferior (modificado de Garcia et al., 2020)	58
Figura 18	Evolução geotectónica e regional, culminando no início do Jurássico Superior com a reestruturação da Bacia Lusitânica, com soerguimento de blocos, emersão, exposição e erosão, associada à reorganização geotectónica das placas americana, africana e ibérica. O acentuar da abertura atlântica, entre Marrocos e a América, coloca a Bacia Lusitânica alinhada com o Atlântico Central e introduz uma geodinâmica atlântica nesta bacia anteriormente tétisiana. A Bacia Lusitânica passa a estar aberta para SW, em ligação direta com o Atlântico e com um eixo depocêntrico NNE-SSW (modificado de Pena dos Reis et al., 2008a; modificado de Pena dos Reis et al., 2009; modificado de Garcia et al., 2010b)	60
Figura 19	A) Localização do território português na Península Ibérica; B) Enquadramento geográfico e tectónico da Bacia Lusitânica em relação às bacias adjacentes; C) Principais acidentes tectónicos da Bacia Lusitânica (modificado de Kullberg et al., 2006; modificado de Kullberg, 2000)	61
Figura 20	Quadro litoestratigráfico da Bacia Lusitânica (modificado de Pena dos Reis et al., 2010)	63
Figura 21	Localização das Sub-Bacias de Arruda, Bombarral e Turcifal no setor central da Bacia Lusitânica no final do Jurássico (modificado de Leinfelder, 1997)	64

- Figura 22** Painel de correlação estratigráfica do Jurássico Superior da Bacia Lusitânica, expressa segundo uma secção esquemática norte-sul da parte "onshore". Legenda: 1) calcários predominantemente lacustres; 2) arenitos e argilas, fluviais e aluviais; 3) arenitos siliciclásticos e margas (de transição e marinho costeiro); 4) carbonatos e siliciclásticos de laguna; 5) calcários oncolíticos/coralígenos/oolíticos; 6) calcários micríticos de laguna pouco profunda; 7) brechas calcárias de talude; 8) calcários e margas marinhos; 9) margo-calcários e siltes marinhos profundos; 10) arenitos grosseiros siliciclásticos de sopé de talude; 11) provável hiato relativo à descontinuidade da base do Jurássico Superior (modificado de Pena dos Reis et al., 1993) 65
- Figura 23** Secção geológica (NE - SW) das "Camadas de Cabaços", com destaque para o enquadramento estratigráfico do "Corálico do Amaral" (modificado de Ruget-Perrot, 1961; de acordo com Choffat, 1885-1888) 67
- Figura 24** Quadro litoestratigráfico para o Jurássico Superior da Bacia Lusitânica, com o enquadramento da "Formação Amaral" em passagem gradacional na porção superior das formações Abadia e Alcobaça a depender do posicionamento paleogeográfico da unidade. (modificado de Kullberg et al., 2006) 70
- Figura 25** Unidades litoestratigráficas do Jurássico Superior (modificado de Ribeiro et al., 1979) 71
- Figura 26** Secções simplificadas do Kimmeridgiano/Tithoniano da Bacia Lusitânica nas quais estabelece o "datum" de correlação do primeiro evento transgressivo registado na bacia para aqueles intervalos (modificado de Leinfelder, 1987) 73

Figura 27	Modelo deposicional para os “Calcários de Ota”. A plataforma agradacional de águas rasas é limitada por recifes de corais-microbialitos e detritos bioacumulados em ambientes de alta energia (modificado de Leinfelder, 1987)	74
Figura 28	Esboços paleogeográficos do Jurássico Superior na Bacia Lusitânica a norte do Rio Tejo. 1) Fácies da bacia rica em cefalópodes; 2) Fácies calcária e calcária-dolomítica de plataforma; 3) Fácies detrítica; 4) Soco pré-triássico; 5) Rota de migração da fauna mesogeana 6) Limite entre fácies de bacia (oeste) e fácies detrítica (leste), durante o Portlandiano (atualmente Tithoniano); 7) Ocorrência local de <i>Calpionella</i> (modificado de Mousterde et al., 1972; modificado de Ribeiro et al., 1979)	78
Figura 29	Entre o final do Kimmeridgiano e o Tithoniano a sedimentação na Bacia Lusitânica é condicionada por uma paleogeografia com abertura oceânica a sul, recebendo aporte de sedimentos provenientes dos seus bordos de relevos mais ou menos acentuados a leste e oeste, assim como de norte, através de um sistema fluvio-deltaico distal. No limite entre estes intervalos, estabelece-se um contexto regressivo na bacia, favorecendo as condições de sedimentação carbonatada da Formação Amaral, Sequências I2 e I3 (modificado de Garcia et al., 2010b; modificado de Pena dos Reis et al., 1996)	80
Figura 30	Mapa de localização da Bacia de Sergipe-Alagoas (NE do Brasil), contexto geológico da Formação Morro do Chaves e localização da pedra de InterCement (modificado de Garcia et al., 2018)	86

- Figura 31** O afloramento da Formação Morro do Chaves na pedreira InterCement: A) representado pelo perfil estratigráfico composto e localização de alguns dos níveis amostrados; B) camada de coquinas na base da pedreira; C) folhelho desgastado com fóssil de peixe; D) nível de coquinas com bivalves com as valvas fechadas; E) limite entre o nível de folhelho da parte superior da Formação Morro do Chaves e o arenito da parte basal da Formação Coqueiro Seco (modificado de Garcia et al., 2018) 87
- Figura 32** A) Mapa de localização da Sub-bacia de Alagoas; B) Mapa de detalhe da região de São Miguel dos Campos com a localização das áreas de exploração da pedreira InterCement; C) Mapa de detalhe da área de estudo com a localização dos furos de sondagem estudados e do perfil estratigráfico simplificado detalhado no afloramento da cava principal de mineração da pedreira InterCement 88
- Figura 33** Mapa de localização da Bacia Lusitânica (Portugal) com identificação dos setores estudados, contexto estrutural, unidades estratigráficas do Jurássico e localização dos afloramentos estudados, nomeadamente: 1) Perfil de Pombal; 2) Perfil de Abiul; 3) Perfil da Praia do Salgado; 4) Perfil da Praia da Consolação; e 5) Perfil de Pedralvo 90
- Figura 34** A) Mapa de localização da Bacia Lusitânica com a identificação do setor lagunar; B) Mapa de detalhe do setor lagunar com a localização dos afloramentos de controlo ZL-01 a ZL-04; C) Mapa de detalhe da área de estudo com a localização dos perfis de Pombal (1) e Abiul (2) e os afloramentos de controlo ZL-06 a ZL-15 92
- Figura 35** A) Mapa de localização da Bacia Lusitânica com a identificação do setor laguna-barreira; B) Mapa de detalhe do setor laguna-barreira com a localização dos perfis descritos da Praia do Salgado (3) e da Consolação (4); C) Mapa de detalhe da área de estudo onde foram reconhecidos os afloramentos de controlo ZLB-01 e ZLB-02 94

Figura 36	A) Mapa de localização da Bacia Lusitânica com a identificação do setor marinho-distal; B) Mapa de detalhe do setor marinho-distal com a localização do perfil descritos de Pedralvo (5); C) Mapa de detalhe da área de estudo onde foram reconhecidos os afloramentos de controlo ZMD-01 a ZMD-08	96
Figura 37	Modelo de ficha de descrição de perfis estratigráficos utilizada para furos de sondagem e afloramentos (modificado de Garcia et al., 2011)	99
Figura 38	Classificação de rochas carbonatadas (modificado de Dunham, 1962)	100
Figura 39	Diagrama de fluxo ilustrando as atividades realizadas no desenvolvimento da Metodologia CAMURES aplicada em Afloramentos de Reservatórios Análogos (modificado de Huggenberg & Aigner, 1999; modificado de Garcia et al., 2003)	102
Figura 40	Esquema representativo de utilização da Metodologia CAMURES, indicando os principais procedimentos usados neste estudo, e que recorre a técnicas de cartografia geológica, descrição de perfis estratigráficos, análises petrográficas e tafonómicas	103
Figura 41	Fatores ambientais energéticos controladores da distribuição das petrofácies caracterizadas e definidores das principais associações de petrofácies (A, B e C) (modificado de Garcia et al., 2020)	106
Figura 42	Caracterização de petrofácies e das associações de petrofácies por ambientes deposicionais para as coquinas da Formação Morro do Chaves (modificado de Garcia et al., 2020)	111

- Figura 43** Fotomicrografias que ilustram a atuação de diferentes mecanismos de alteração tafonómica em depósitos de coquinas, a saber: A) desarticulação; B) abrasão; C) fragmentação (total ou parcial); D) orientação preferencial; E) distribuição caótica (modificado de Garcia et al., 2020) 124
- Figura 44** Fotomicrografias que ilustram a atuação de diferentes mecanismos de alteração tafonómica em depósitos de coquinas, a saber: A) micritização; B) cimentação em franja; C) cimentação espática; D) mecanismos de dissolução e variação do tamanho de poros; E) percolação de fluido ao longo de fraturas (modificado de Garcia et al., 2020) 126
- Figura 45** Fotomicrografias que ilustram a atuação de diferentes mecanismos de alteração tafonómica em depósitos de coquinas, a saber: A) conchas articuladas acumuladas de bivalves infaunais; B) molde interno reelaborado preenchido com calcite espática e posteriormente fragmentada por remoção tafonómica (modificado de Garcia et al., 2020) 128
- Figura 46** Modelo deposicional 3D e secção geológica A-B perpendicular à linha de costa. A secção geológica A-B na plataforma carbonatada representa os mecanismos tafonómicos e respetivos graus de intensidade conforme inferido das litofácies e tafofácies reconhecidas (modificado de Garcia et al., 2020) 130

- Figura 47** Modelo de evolução estratigráfica dos sistemas deposicionais. Sistemas deposicionais e tratos de sistemas (tempo - T). T1: conchas de organismos infaunais que vivem num substrato lamoso e eventualmente afetados por remobilização em escala centimétrica, deposição de coquinas com conchas completas; T2: aumento da entrada de sedimentos terrígenos grosseiros (ação fluvial), deposição de conchas fragmentadas e remobilizadas por ondas; T3: sabkha, deposição de barras de coquinas, deposição de conchas fragmentadas com sedimentos terrígenos de granulação grosseira; T4: inundação marinha, deposição de conchas fragmentadas com lama (remobilizadas por ondas) (modificado de Garcia et al., 2020) 132
- Figura 48** Modelo teórico de distribuição de associações de tafofácies e petrofácies para os depósitos de coquinas. Banco de coquinas idealizado a partir do material amostrado da Formação Morro do Chaves (modificado de Garcia et al., 2020) 133
- Figura 49** Caracterização de petrofácies e das associações de petrofácies por ambientes deposicionais para as coquinas da Formação Amaral (modificado de Garcia et al., 2020) 143

Figura 50 Mecanismos de alteração tafonómica nas coquinas da Formação Amarel: A) Elementos desarticulados e orientados segundo a estratificação plano-paralela (Camada 18, amostra PCS-11 do Perfil da Praia da Consolação; FTSRBnob1Bob2CmH); B) Restos esqueléticos de moluscos inteiros com distribuição caótica e pouco fragmentados (Camada 49, amostra EPB-31 do Perfil da Cumieira; FSRBnob1CD); C) Elementos inteiros e fragmentados fortemente desarticulados e orientados (Camada 20, amostra PCS-12 do Perfil da Praia da Consolação; FTSRBnob1Bob1CmH); D) Abundantes espículas de equinóides distribuídas de forma caótica (Camada 16, amostra P5-12 do Perfil da Praia do Salgado; FSRBnob1Bob2CmD); E e F) Abundantes restos esqueléticos das classes Anthozoa, Bivalvia e Gastropoda envoltos por uma matriz margosa e sujeitos a intensos processos de abrasão (Camada 1 do Perfil da Praia do Salgado; FSRBnob1Bob2MD); G) Elementos sujeitos a intensos processos de fragmentação (Camada 44 do Perfil da Praia da Consolação; FTSRBnob2Bob2CmD); H) Presença de micas e grãos de quartzo. Corais sujeitos a intensos processos de fragmentação (Camada 26, amostra A2 do Perfil da Praia da Consolação; FTSRBnob2Bob2CmH) 146

Figura 51 Mecanismos de alteração tafonómica nas coquinas da Formação Amaral: A) Elementos orientados e imbricados segundo a estratificação plano-paralela numa camada com geometria interna lenticular (base da camada intermédia do afloramento de controlo ZLB-01; FSRBnob1CmH); B) Elementos distribuídos de forma caótica (topo da camada intermédia do afloramento de controlo ZLB-01; FSRBnob1CmD); C) Micritização de microtubos produzidos por ação destrutiva de cianobactérias endolíticas, algas ou fungos na superfície do bioclasto (topo da camada 7 do Perfil da Praia do Salgado 3); D) Fósseis de bivalves micritizados (camada 17, amostra EPB-10B do Perfil da Cumieira; FSRBnob1MD); E) Restos esqueléticos de moluscos inteiros com as valvas unidas mas abertas, pouco fragmentadas com intensa recristalização (Camada 6, amostra PDV-06 do Perfil de Pedralvo; FTSRUnobCD); F) Abundantes espículas de equinóides recristalizados por calcite (camada 15, amostra P5-11B-X do Perfil da Praia do Salgado 5; FSRBnob1Bob1CmD); G) Formação de concreções envolvendo os elementos fósseis (camada 7, amostra PDV-07B do Perfil de Pedralvo; FTSRBnob1Bob1CmD); H) Detalhe da formação de concreções envolvendo os elementos fósseis (camada 7, amostra PDV-07B do Perfil de Pedralvo; FTSRBnob1Bob1CmD) 150

- Figura 52** A) Bloco rolado relacionado com uma fácies com significativa diversidade fossilífera formada por elementos ressedimentados (localizado junto ao Perfil da Praia da Consolação); B) Fósseis da Classe Anthozoa com um excelente estado de preservação mas ressedimentados (camada 65, amostra PCS-33B do Perfil da Praia da Consolação; FTSRBnob1Bob1CH); C) Fósseis da Classe Anthozoa acumulados e relacionados com um contexto deposicional de fácies de granulometrias finas com marcas de ondas (camada 4 do Perfil da Praia do Salgado 4, ISF2 sobre FM); D e E) Fósseis da Classe Anthozoa acumulados no topo de uma camada de oncólitos com matriz calcarenítica (camada 7 do Perfil da Praia do Salgado 3; ISF4 sobre FSRBnob1CmD) 152
- Figura 53** Legenda padrão para todos os perfis estudados no presente trabalho (modificada da legenda padrão utilizada pelo Laboratório PROGEOLOGIA) 154
- Figura 54** Perfil Estratigráfico da Cumieira (Pombal). A) Calcilutito maciço (FM); B) Calcilutito com estratificação ondulada e raros fósseis de Bivalvia (FSRBnob1MD); C) Calcilutito maciço com estratificação ondulada (FSRBnob1MD); D) Calcarenito muito fino maciço com topo ondulado (FSRBnob1MD) seguido de uma camada de folhelho (FM); E) Fósseis de Bivalvia de pequenas dimensões na base de uma camada de calcilutito (FM); F, G e H) Níveis com fósseis das classes Anthozoa, Bivalvia e Echinoidea (FSRBnob1Bob1CmD) 159

Figura 55 Fácies singulares do Perfil da Cumieira (Pombal): A) Fragmentos fósseis de corais identificados num nível de calcirrudito (FSRBnob1Bob1CmD; amostra EPB-37); B e C) Fósseis de bivalves inteiros e bem preservadas, alguns com as valvas fechadas. Concentrações de espécimes com dimensões que variam entre 0,2 até 0,5 cm e até cerca de 9,0 cm. Níveis com elementos orientados intercalados com níveis com elementos distribuídos de forma caótica. Presença de espículas de equinóides (até 1,0 cm), de fragmentos de corais bem preservados (3,0 a 4,0 cm) e de cnidários diretamente sobre o nível de conchas fragmentadas (FSRUnobBob1CmD; amostra EPB-36 e EPB-35lateral); D) Fragmentos de fósseis de corais identificados num nível de calcirrudito (FSRUnob1Bob1CmD; amostra EPB-33); E) Fósseis de bivalves distribuídos de forma caótica (FSRBnob1CD; amostra EPB-31); F) Fósseis de bivalves de pequena dimensão (representando indivíduos jovens) (FM; amostra EPB-30); G) Fragmento de fóssil de coral com recristalização moderada (FSRBnob1MD; amostra EPB-22); H) Fósseis de bivalves e gastrópodes fragmentados e distribuídos de forma caótica em matriz lamosa (FSRBnob1MD; amostra EPB-21) 172

- Figura 56** Fácies singulares do Perfil da Cumieira (Pombal): A e B) Fósseis de bivalves fragmentados, distribuídos de forma caótica em matriz lamosa (FSRBnob1MD; amostra EPB-19B e EPB-19A); C) Fósseis de bivalves fragmentados e distribuídos de forma caótica em matriz lamosa (FSRBnob1MD; amostra EPB-13); D) Fósseis de bivalves fragmentados e distribuídos de forma caótica em matriz lamosa, concentrados no topo. Presença comum de estratificação cruzada truncada por ondas e superfícies estilólíticas (FSRBnob1MD; amostra EPB-08A); E) Calcarenito de granulometria muito fina na base e média no topo. Presença de marcas de ondulação. Estratificação cruzada truncada por onda (FCm; amostra EPB-06); F) Abundantes fragmentos de lenhos fósseis em calcilito (0,1 a 1,1 cm) (FM; amostra EPB-03); G e H) Fósseis de bivalves e de gastrópodes inteiros, distribuídos de forma caótica e associados a oncólitos (de até 0,1 mm) em matriz lamosa (FSRUnobMD; amostra EPB-02 dividida em dois fragmentos) 174
- Figura 57** Perfil Estratigráfico de Abiul (Pombal). A) Camada 1 com abundância de oncólitos de grandes dimensões (FCm); B) Detalhe da dimensão dos oncólitos numa amostra lateral a esta camada (FCm); C) Imagem que ilustra a dificuldade de acompanhamento vertical da sucessão estratigráfica deste perfil; D) Brecha calcária com oncólitos (FCm) 178
- Figura 58** Fácies singulares do Perfil de Abiul (Pombal): A) Brecha calcária com oncólitos (0,1 a 1,0 cm) (FCm; amostra MPAF-06); B) Brecha calcária com oncólitos de pequenas dimensões dispersos (0,1 a 1,0 cm) e fragmentos terrígenos (FCm; amostra MPAF-05); C) Brecha calcária com oncólitos de pequenas dimensões dispersos (0,1 a 1,0 cm) com fragmentos terrígenos e lenhos fósseis carbonificados (FCm; amostra MPAF-04); D) Grãos terrígenos pequenos. Raros oncólitos. Cimentação intensa (FSRBnob2MD; amostra MPAF-02); E) Abundância de oncólitos (0,2 a 2,5 cm), apresentado granocrescência para o topo. Cimentação intensa (FCm; amostra MPAF-01) 182

- Figura 59** Fácies singulares dos afloramentos de controlo do setor lagunar: A) Afloramento com níveis de FM intercalados com coquinas. Fósseis das classes Bivalvia e Gastropoda (ZL-07); B) Afloramento de coquinas. Fósseis das classes Bivalvia e Gastropoda e oncólitos (ZL-11); C) Blocos com oncólitos de 0,2 a 3,0 cm (ZL-14) 184
- Figura 60** Correlação estratigráfica dos perfis dos afloramentos da Praia do Salgado. Identificação das sequências deposicionais com base em critérios paleoecológicos, tafonómicos, sedimentológicos e estratigráficos 189
- Figura 61** Perfil estratigráfico da Praia do Salgado 1 (Famalicão) com a localização das amostras coletadas e ciclos T-R, destacando as litologias: A) Calcirrudito com abundantes fósseis das classes Anthozoa, Bivalvia e Gastropoda (FSRBnob1Bob2MD); B) Calcirrudito com fraturas preenchidas por calcite (FSRBnob1Bob1CmD); C) Pegadas de dinossauros (FCm); D) Calcarenito com estratificação cruzada espinha de peixe (FTSRBnob1CmD); E) Calcirrudito com oncólitos com até 4,0 cm (FSRBnob1CmD); F) Alternância de camadas de arenitos e folhelhos no topo do perfil; G) Imagem geral do Perfil da Praia do Salgado 1 194
- Figura 62** Fácies singulares do Perfil da Praia do Salgado 1 (Famalicão). A) Alternância de camadas de arenitos e folhelhos no topo do perfil; B e C) Calcirrudito com oncólitos com até 4,0 cm (FSRBnob1CmD); D) Superfícies onduladas marcadas pela presença de finas lentículas de lamito (FT); E e F) Pegadas de dinossauros (FCm); G e H) Calcirrudito com abundantes fósseis das classes Anthozoa, Bivalvia e Gastropoda (FSRBnob1Bob2MD) 202

Figura 63 Perfil estratigráfico da Praia do Salgado 2 (Famalicão) com a localização das amostras coletadas e ciclos T-R, destacando as litologias: A) Camadas de calcirrudito com estratificação cruzada acanalada na base passando para espinha de peixe no topo, sobrepostas por uma camada de calcarenito (FSRUnobCmD para FCm); B) Calcirrudito com oncólitos com até 5,0 cm (FSRBnob1CmD); C) Calcirrudito com abundantes fósseis das classes Anthozoa, Bivalvia e Gastropoda, fragmentos de carvão com até 2,5 cm e constituintes terrígenos (FTSRBnob1Bob2CmD); D) Imagem geral da última sequência deposicional do Perfil da Praia do Salgado 2 204

Figura 64 Fácies singulares do Perfil da Praia do Salgado 2 (Famalicão). A) Imagem geral do topo da última sequência deposicional do Perfil da Praia do Salgado 2; B, C e D) Calcirrudito com abundantes fósseis das classes Anthozoa, Bivalvia e Gastropoda, fragmentos de carvão com até 2,5 cm e constituintes terrígenos (FTSRBnob1Bob2CmD); E) Arenito com estratificação cruzada acanalada tangencial (FT); F) Calcirrudito com oncólitos com até 5,0 cm (FSRBnob1CmD); G) Calcarenito com estratificação cruzada acanalada na base passando para espinha de peixe no topo (FSRUnobCmD para FCm); H) Calcirrudito com estratificação plano-paralela (FCm) 210

Figura 65 Perfil estratigráfico da Praia do Salgado 3 (Famalicão) com a localização das amostras coletadas e ciclos T-R, destacando as litologias: A) Arenito com marcas onduladas de dimensões pequenas a médias e fragmentos de carvão (lenhos fósseis) sobreposto por calcarenito com oncólitos com distribuição caótica (FT para FCm); B) Calcirrudito com oncólitos (com até 6,0 cm) (FSRBnob1CmD); C, D e E) Corais acumulados no topo da camada anterior sobrepostos à grande camada de oncólitos (corais com aproximadamente 1,0 m de diâmetro e com distanciamentos entre eles de aproximadamente 3,0 m) (ISF 4 - TF 1.4); F) Imagem geral do Perfil da Praia do Salgado 3 212

- Figura 66** Fácies singulares do Perfil da Praia do Salgado 3 (Famalicão):
 A) Imagem geral do afloramento do Perfil da Praia do Salgado 3; B) Arenito com estratificação plano-paralela na base passando gradualmente a estratificação cruzada acanalada tangencial (FT); C) Fóssil da Classe Anthozoa de grandes dimensões acumulados (ISF 4 - TF 1.4); D) Corais fósseis acumulados no topo de uma camada de calcirrudito com oncólitos de grandes dimensões (FSRBnob1CmD e ISF 4 - TF 1.4); E) Calcirrudito com oncólitos com até 5,0 cm (FSRBnob1CmD) 218
- Figura 67** Perfil estratigráfico da Praia do Salgado 4 (Famalicão) com a localização das amostras coletadas e ciclos T-R, destacando as litologias: A) Nível com abundantes oncólitos (1,0 a 5,0 cm) e contacto erosivo no topo (FSRBnob2Bob2CmD); B) Detalhe da camada descrita em A; C e D) Marcas de ondas (ripples) simétricas com orientação N70E, corais fósseis acumulados desenvolvidos na lama (com até 90,0 cm de diâmetro) (FM, ISF 2 - TF 1.2); E) Arenito com estratificação cruzada, plano-paralela a ondulada com granocrescência (FT); F) Imagem geral do afloramento do Perfil da Praia do Salgado 4 220
- Figura 68** Fácies singulares do Perfil da Praia do Salgado 4 (Famalicão):
 A) Imagem geral do afloramento do Perfil da Praia do Salgado 4; B e C) Fósseis de corais acumulados desenvolvidos nas camadas de folhelho (com até 90,0 cm de diâmetro) (ISF 2 - TF 1.2), alguns dos quais apresentam o início do seu crescimento na camada de oncólitos situada abaixo do folhelho (ISF 4 - TF 1.4); D e E) Nível com abundantes oncólitos (1,0 a 5,0 cm) com contato erosivo no topo (FSRBnob2Bob2CmD) 223

Figura 69 Perfil estratigráfico da Praia do Salgado 5 (Famalicão) com a localização das amostras coletadas e ciclos T-R, destacando as litologias: A) Imagem geral do topo da primeira sequência e base da segunda sequência do Perfil da Praia do Salgado 5; B) Calcarenito com matriz lamosa com fósseis da Classe Bivalvia intensamente fragmentados (FSRBnob2CmD); C) Arenito com estratificação plano-paralela e bioturbações (*Thalassinoides* com aproximadamente 46,0 cm de comprimento e 7,0 cm de largura) (FT); D e E) Calcirrudito com fósseis das classes Anthozoa, Bivalvia, Gastropoda e Echinoidea e abundantes espículas de equinóides (FSRBnob1Bob2MD e FSRBnob1Bob2CmD); F) Imagem geral do topo da última sequência do Perfil da Praia do Salgado 5; G) Imagem geral do Perfil da Praia do Salgado 5 224

Figura 70 Fácies singulares do Perfil da Praia do Salgado 5 (Famalicão): A) Imagem geral do afloramento do Perfil da Praia do Salgado 5; B) Corpo central de um equinóide bem preservado (FSRBnob1Bob2MD); C e D) Calcirrudito com fósseis das classes Anthozoa, Bivalvia, Gastropoda e Echinoidea, abundantes espículas de equinóides, raros fragmentos de corais muito fragmentados, raros gastrópodes e icnofósseis de pequenas dimensões. (FSRBnob1Bob2MD e FSRBnob1Bob2CmD); E) *Thalassinoides* com aproximadamente 46,0 cm de comprimento e 7,0 cm de largura (FT) 229

Figura 71 Perfil estratigráfico da Praia do Salgado 6 (Famalicão) com a localização das amostras coletadas e ciclos T-R, destacando as litologias: A) Imagem geral da base da primeira sequência do Perfil da Praia do Salgado 6; B) Imagem geral do topo da primeira sequência do Perfil da Praia do Salgado 6; C) Imagem geral da última camada do Perfil da Praia do Salgado 6 (FSRBnob1CmD); D) Imagem geral do Perfil da Praia do Salgado 6 230

Figura 72 Fácies singulares do Perfil da Praia do Salgado 6 (Famalicão):
A) Imagem geral do afloramento do Perfil da Praia do Salgado 6; B) Imagem geral do topo da última sequência do Perfil da Praia do Salgado 6; C) Imagem geral da base da primeira sequência do Perfil da Praia do Salgado 6 233

Figura 73 Perfil estratigráfico da Praia da Consolação (Atougua da Baleia) com a localização das amostras coletadas e ciclos T-R, destacando as litologias: A) Nível de folhelho com fragmentos de lenhos fósseis carbonizados e bioturbações no topo da camada (*Thalassinoides*) (FM); B) Imagem geral da base da segunda sequência do Perfil da Praia da Consolação; C) Imagem geral do topo da segunda sequência do Perfil da Praia da Consolação; D) Calcirrudito com micas e grãos de quartzo. Fósseis de bivalves com até 7,5 cm e de gastrópodes com até 2,7 cm; espículas de equinóides com até 0,8 cm e corais com até 8,5 cm. Grande parte dos bivalves orientados segundo a estratificação (FTSRBnob1Bob2CmH e FTSRBnob2Bob1CmH); E) Calcarenito micáceo, quartzoso. Estratificação cruzada de baixo ângulo. Fósseis de bivalves orientados paralelamente à estratificação. Fragmentos de lenhos fósseis (FTSRBnob1CmD e FTSRBnob1CmH); F) Imagem geral da base da última sequência do Perfil da Praia da Consolação; G) Imagem geral do topo do Perfil da Praia da Consolação 237

Figura 74 Fácies singulares do Perfil da Praia da Consolação (Atouguia da Baleia): A) Calcirrudito micáceo com fósseis de bivalves com até 7,0 cm, orientados paralelamente à estratificação (FTSRBnob2CH, amostra PCS-34); B) Calcarenito micáceo com fragmentos de lenhos fósseis (FTSRBnob2CmD, amostra PCS-26); C) Folhelho micáceo com fósseis de bivalves com até 5,5 cm (FM, amostra PCS-25); D) Calcarenito com fósseis das classes Anthozoa e Bivalvia (FTSRBnob2CmD, amostra PCS-20); E) Calcirrudito com fósseis de bivalves com orientação paralela à estratificação. Estratificação plano-paralela (FTSRBnob1Bob2CmH, amostra PCS-11); F) Calcarenito com fósseis das classes Anthozoa e Bivalvia (FSRBnob1Bob2CD, amostra PCS-07) 249

Figura 75 Fácies singulares dos afloramentos de controlo do setor laguna-barreira: A) Afloramento com coquinas formadas por elementos das classes Bivalvia e Gastropoda (ZLB-01); B) Detalhe da camada superior do afloramento ZLB-01; C) Amostras coletadas no afloramento ZLB-01 (amostra ZLB-01A e ZLB-01B); D e E) Afloramento de coquinas formadas por elementos da Classe Bivalvia (ZLB-02); F) Amostra coletada no afloramento ZLB-02 (amostra ZLB-02A) 250

Figura 76 Perfil estratigráfico de Pedralvo (Arruda dos Vinhos) com a localização das amostras coletadas e ciclos T-R, destacando as litologias: A) Imagem geral da base do Perfil de Pedralvo; B) Detalhe de níveis de intercalações entre calcilutitos e calcarenitos; C) Imagem geral do topo do Perfil de Pedralvo; D) Calcirrudito com raras espículas de equinóides e abundantes fósseis de bivalves inteiros com até 4,0 cm. Intensa recristalização e cimentação (FTSRUnobCmD); E) Calcirrudito com abundantes espículas de equinóides (FTSRBnob1Bob1CmD) 255

- Figura 77** Fácies singulares do Perfil de Pedralvo (Arruda dos Vinhos): A e B) Calcirrudito com abundantes espículas de equinoides e restos esqueléticos envolvidos em micrite distribuídos na matriz (micritização) (FTSRBnob1Bob1CmD, amostras PDV-02A e PDV-02B); C) Calcirrudito com raras espículas de equinóides, abundantes fósseis de bivalves inteiros com até 4,0 cm e com intensa recristalização e cimentação (FTSRUnobCmD, amostra PDV-04A); D) Calcirrudito com fósseis das classes Anthozoa, Bivalvia, Gastropoda e Echinoidea (FTSRBnob1Bob1CmD, amostra PDV-04B); E e F) Amostras dos níveis de intercalações entre calcilutitos e calcarenitos (FSRUnobMD, amostras PDV-05 e PDV-06); A e B) Amostras dos níveis de intercalações entre calcilutitos e calcarenitos com abundantes constituintes terrígenos (FTSRUnobMD, amostras PDV-07A e PDV-07C) 260
- Figura 78** Fácies singulares dos afloramentos de controlo do setor marinho-distal. A) Afloramento com coquinas formadas por elementos das classes Bivalvia e Gastropoda em blocos situados ao lado da estrada (ZMD-02, amostra ZMD-02); B) Pedreira de Trancoso (afloramento de controlo ZMD-08, amostra ZMD-08); C) Amostra de oólitos do afloramento ZMD-08 (amostra ZMD-08) 262
- Figura 79** Quadro de correlação regional dos perfis descritos para a Formação Amaral com a correlação das sequências deposicionais com base nos ciclos T-R e na diversidade fossilífera de cada uma 267
- Figura 80** Esboço paleoambiental do Kimmeridgiano superior da Bacia Lusitânica (modificado de Pena dos Reis et al., 1995; modificado de Garcia et al., 2019) 269
- Figura 81** Modelo paleoambiental/paleogeográfico ilustrando os principais tipos de depósitos sedimentares e registos fósseis reconhecidos nas localidades estudadas 271

- Figura 82** Modelos teóricos 2D de distribuição de tafofácies para os depósitos de coquinas da Formação Amaral em contexto de plataforma heterogénea, nomeadamente de dois tipos: A) plataforma contínua (e.g. plataforma de Pombal para SW e plataforma das Berlengas para E-SE); B) plataforma isolada (e.g. plataforma de Ota). Modelos 3D dos sistemas deposicionais para os setores estudados e com base na distribuição das tafofácies nos diferentes setores da plataforma, nomeadamente: C) Modelo deposicional do setor marinho-distal; D e E) Modelos deposicionais do setor laguna-barreira; F) Modelo deposicional do setor lagunar 273
- Figura 83** Diagrama bipiramidal com as associações diferenciadas de elementos conservados da Formação Amaral ao longo da Bacia Lusitânica para cada perfil estratigráfico estudado 284
- Figura 84** Distribuição dos perfis de afloramentos descritos e amostrados (1 - Perfil da Cumieira, 2 - Perfil de Abiul, 3 - Perfil da Praia do Salgado, 4 - Perfil da Praia da Consolação, 5 - Perfil de Pedralvo), inseridos nos três setores deposicionais/paleogeográficos definidos para o intervalo Kimmeridgiano-Tithoniano da Bacia Lusitânica 285

Índice de tabelas

Índice de tabelas

Tabela 1	Aspectos característicos observados em concentrações de conchas do Jurássico Superior na porção central da Bacia Lusitânica, de acordo com Fürsich et al. (2009)	75
-----------------	--	----

Índice de quadros

Índice de quadros

Quadro 1	Quadro de síntese sobre o uso do termo “Lusitaniano” e suas divisões (conforme P. Choffat de 1885 a 1914; modificado de Ruget-Perrot, 1961)	68
Quadro 2	Classificação de rochas carbonatadas de acordo com a dimensão dos seus constituintes aloquímicos e classificação de rochas siliciclásticas correspondente (modificado de Wentworth, 1922 e Folk, 1959)	100
Quadro 3	Classificação alfanumérica de coquinas para identificar tipos e intensidades de processos e produtos associados	110
Quadro 4	Classificações de litofácies e tafofácies das coquinas da Formação Morro do Chaves (modificado de Garcia et al., 2020)	121
Quadro 5	Descrição e interpretação das litofácies e tafofácies reconhecidas para a Formação Amaral, que perfazem 84 petrofácies. As tafofácies foram definidas tendo em conta os diferentes mecanismos de alteração tafonómica que terão atuado sobre os elementos fósseis registados nas coquinas da unidade (modificado de Garcia et al., 2020)	137
Quadro 6	Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Cumieira (Pombal)	161
Quadro 7	Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil de Abiul (Pombal)	179

Quadro 8	Afloramentos de controlo das variações faciológicas laterais da Formação Amaral no setor lagunar e respetivas observações e interpretações	185
Quadro 9	Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Praia do Salgado 1 (Famalicão)	195
Quadro 10	Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Praia do Salgado 2 (Famalicão)	205
Quadro 11	Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Praia do Salgado 3 (Famalicão)	213
Quadro 12	Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Praia do Salgado 4 (Famalicão)	221
Quadro 13	Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Praia do Salgado 5 (Famalicão)	225

Quadro 14	Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Praia do Salgado 6 (Famalicão)	231
Quadro 15	Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Praia da Consolação (Atouguia da Baleia)	239
Quadro 16	Afloramentos de controlo das variações faciológicas laterais da Formação Amaral no setor laguna-barreira e respetivas observações e interpretações	252
Quadro 17	Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil de Pedralvo (Arruda dos Vinhos)	257
Quadro 18	Afloramentos de controlo das variações faciológicas laterais da Formação Amaral no setor marinho-distal e respetivas observações e interpretações	263
Quadro 19	Petrofácies reconhecidas para cada setor da Bacia Lusitânica analisado e respetivas condições energéticas dominantes, diversidade do registo fóssil e relevância da componente terrígena	266

Índice de anexos

Índice de anexos

Anexo A	Artigo: GARCIA, G. G., GARCIA, A. J. V. & HENRIQUES, M. H. (2018) – “The palynological record of the Morro do Chaves Formation (Early Cretaceous of Sergipe Alagoas Basin, Northeastern Brazil): paleogeographical implications for the South Atlantic opening”, <i>Cretaceous Research</i> , 90, pp. 7-20 [DOI: 10.1016/j.cretres.2018.03.029]	325
Anexo B	Abundância dos táxones palinológicos identificados ao longo do perfil composto da Formação Morro do Chaves e correspondentes afinidades botânicas. (modificado de Garcia et al., 2018)	327
Anexo C	Artigo: Garcia, G.G., Henriques, M.H., Garcia, A.J.V., Dantas, M.V.S. (2020) – “Petrofacies and taphofacies analyses of coquinas as a tool for the establishment of a stratigraphic evolution model of the Morro do Chaves Formation (Sergipe-Alagoas Basin, NE Brazil)”, <i>Facies</i> , 67, 4 (2021). [DOI: https://doi.org/10.1007/s10347-020-00614-9]	329
Anexo D	Petrofácies e tafofácies definidas com base nos processos bioestratigráficos relacionados com diferentes ambientes deposicionais e com base nos processos fósil-diagenéticos (modificado de Garcia et al., 2020)	331

1.

Introdução

1.

Introdução

A necessidade de modelos preditivos cada vez mais seguros e eficazes constitui um importante desafio enfrentado pela indústria do petróleo, que procura compreender a distribuição dos espaços permo-porosos em reservatórios de hidrocarbonetos. Neste contexto, os estudos multidisciplinares/multiescalares em rochas carbonatadas, especialmente aquelas formadas por concentrações de fósseis (coquinas), tornaram-se cada vez mais indispensáveis para análises de reservatórios pré-sal, assumindo importante papel nos reservatórios pré-sal nas Bacias Marginais Atlânticas Brasileiras, nomeadamente nas Bacias de Santos e Campos (Castro, 2006).

Coquina é um termo usado para designar rochas compostas quase inteiramente por fósseis de conchas e tem sido amplamente aplicado em muitos estudos de reservatórios de hidrocarbonetos. O termo é derivado da palavra em latim 'concha' e é tradicionalmente definido como "qualquer acumulação relativamente densa de partes biológicas duras, independentemente da composição taxonómica, estado de preservação ou grau de modificação *post-mortem*" (Kidwell et al., 1986, p. 228).

Devido à complexidade genética dos depósitos de coquinas, para o seu entendimento são utilizadas distintas abordagens. Deste modo, são de primordial importância as análises tafonómicas, pois os mecanismos de fossilização são passíveis de influenciar as propriedades das rochas dos reservatórios, assim como a representação espacial da informação derivada desta análise em modelos da evolução estratigráfica de sistemas deposicionais. Os resultados obtidos através de análises tafonómicas contribuem para o desenvolvimento de estudos aplicados a geo-engenharia de reservatórios análogos.

As abordagens multidisciplinares/multiescalares são fundamentais nas análises das propriedades permo-porosas e mapeamentos da distribuição das mesmas em reservatórios de hidrocarbonetos. Isto porque tais propriedades são geradas, ao longo da história geológica de uma bacia, por um grande número de processos, por vezes complexos, e que são interativos, quer no espaço, quer no tempo.

Neste contexto, na sua aplicação à modelação preditiva de potencial reservatório, a integração da Tafonomia Evolutiva (Fernández-López, 1984a; 2007) com a Metodologia de Caracterização Multiescalar de Reservatórios - CAMURES (Garcia et al., 2014; 2015a) contribui para o aprofundamento no entendimento das variações de fácies lateral e vertical de coquinas. Esta integração permite ampliar o conhecimento sobre a gênese dos modelos paleoambientais, bem como dos modelos geocelulares 3D de fácies de coquinas, os quais fundamentam a simulação de fluxo de fluídos em reservatório de hidrocarbonetos (Bellian et al., 2005; Fabuel-Perez et al., 2010; Agada et al., 2013; Rodriguez et al., 2015). Ao introduzir informações detalhadas, advindas de um banco de dados multidisciplinar e multiescalar, sobre as variações espaciais das propriedades nos modelos, contribui-se para melhorar as análises de predição e previsão de qualidade em reservatórios de coquinas, o que assume particular relevância para a indústria de hidrocarbonetos.

A construção de modelos de distribuição de porosidade encontra-se geralmente fundamentada em modelos geológicos definidos para cada tipologia e situação de reservatórios. Estes modelos geológicos devem considerar os fatores deposicionais e pós-deposicionais (diagenéticos e estruturais) que controlam as características petrofísicas das diferentes litologias do reservatório. A Metodologia CAMURES (acrônimo de Metodologia de Caracterização Multiescalar de Reservatório), para a qual o presente estudo busca contribuir, utiliza análogos de afloramentos que representem todo um conjunto de aspetos, desde composicionais e texturais, relacionados com a tipologia de bacias sedimentares e contextos deposicionais e diagenéticos, específicos para cada tipo de reservatório a ser considerado análogo.

A linha de pesquisa assumida no presente trabalho, no que se refere a análises tafonômicas, tem vindo a tornar-se cada vez mais considerada pela indústria de hidrocarbonetos como importante ferramenta para as predições da qualidade de reservatórios. Deste modo, são assim caracterizadas as propriedades das associações paleontológicas, reconhecidas a partir da análise de lâminas delgadas e de amostras de mão, com base na interpretação dos processos tafonômicos (bioestratinômicos e fóssil-diagenéticos) que terão estado na origem do produto final.

O reconhecimento dos mecanismos de alteração tafonômica, como biodegradação, desarticulação, dispersão, reorientação, abrasão, dissolução, cimentação, neomorfismo e recristalização, com os padrões texturais resultantes (grau de fragmentação dos restos esqueléticos, tipo de matriz e tipos de poros) permitiram a caracterização de diferentes tafofácies, associadas a diferentes petrofácies (Fernández-López, 2000; Muniz, 2013; Folk, 1962; Choquette & Pray,

1970). Esta abordagem foi aplicada, neste trabalho, para associações de bivalves e de outros invertebrados fósseis, visando estabelecer um sistema de classificação para reservatórios de coquinas baseado em processos bioestratinômicos e fóssil-diagenéticos, e não apenas nos produtos deles resultantes.

O maior desafio para prever a qualidade de reservatórios complexos decorre da insuficiência de dados de subsuperfície, provenientes de poços perfurados (amostras de testemunhos, de calha e perfis de propriedades), o que conduz a uma baixa consistência na capacidade de previsão das características permo-porosas/petrofísicas dos intervalos reservatórios em âmbito multiescalar, desde a escala do poro até à escala sísmica.

O uso de afloramentos análogos no estudo de reservatórios de hidrocarbonetos é um procedimento comum na indústria do petróleo, que normalmente opera com base num número reduzido de dados. Para definir modelos geológicos preditivos mais robustos, requer-se a integração de diferentes escalas de observação, o que permite otimizar o reconhecimento e quantificação dos atributos arquiteturais dos conjuntos estratigráficos em subsuperfície, das geometrias dos corpos sedimentares e da variabilidade lateral das estruturas sedimentares internas, reduzindo as incertezas (Garcia et al., 2003).

O conceito de “Análogo Perfeito” resulta, assim, da definição do melhor análogo para cada tipologia de reservatório em subsuperfície, considerando não apenas as afinidades litológicas e deposicionais, ou mesmo as diagenéticas e estruturais, mas também a tipologia do depósito em termos de geometria e arquitetura deposicional, diante de diferentes tipologias de bacias sedimentares, de processos tectônicos e em contextos de subida ou de descida do nível relativo de base, que podem afetar a sua heterogeneidade.

Neste sentido, os estudos de potenciais “Reservatórios Análogos de Afloramentos” (Garcia et al., 2004; Pena dos Reis, 2008; Pimentel & Pena dos Reis, 2016; Pena dos Reis & Henriques, 2018) apresentam-se como uma alternativa perfeitamente viável, com o objetivo de reduzir as incertezas na elaboração dos “Modelos Depositionais e Diagenéticos”. Estes servirão de base para a construção dos “Modelos 3D” de distribuição das propriedades multiescalares do sistema permo-poroso e conseqüente processo de “Simulação de Fluxos” nos reservatórios, a fim de definir o “Plano de Sondagem” para extração e implementação dos procedimentos de recuperação. Os “Análogos Complementares” também podem vir a contribuir para o entendimento de reservatórios complexos, nos quais os processos evolutivos análogos não podem ser encontrados numa mesma “Bacia Análoga”, requerendo assim a complementaridade. Esta situação particular pode ser verificada ao buscarmos as

analogias entre as bacias das “Margens Conjugadas” do Atlântico Norte e do Atlântico Sul, como o caso das Bacias Lusitânica e Sergipe-Alagoas, onde estão situadas as unidades estratigráficas investigadas neste estudo.

Neste trabalho são propostos modelos teóricos evolutivos de coquinas com base nas características e distribuição de petrofácies e de tafofácies. A análise da estrutura e composição das associações registadas de fósseis de bivalves e de outros invertebrados, bem como os processos de produção e modificação dos seus esqueletos originais, basearam-se nos conceitos e métodos da Tafonomia Evolutiva (Fernández-López, 1984a; 2007).

As unidades estratigráficas selecionadas representam intervalos relacionados com a abertura do Atlântico Sul e Norte, a saber: Formação Morro do Chaves (Barremiano, Cretácico Inferior) na Bacia Sergipe-Alagoas, nordeste do Brasil, e Formação Amaral (Kimmeridgiano, Jurássico Superior) na Bacia Lusitânica, em Portugal. Ambas representam interessantes modelos deposicionais de coquinas, onde contextos transicionais a marinhos, em mares respetivamente restritos e abertos, podem ser comparados, do ponto de vista das relações entre rochas reservatórios e rochas geradoras, por exemplo.

Os afloramentos da Formação Morro do Chaves representam importantes fácies de coquinas. Contudo, os depósitos da Formação Morro do Chaves circunscrevem-se a um local específico dentro do sistema deposicional transicional misto, no qual as coquinas se destacam. Neste sentido, torna-se necessária a integração de estudos de afloramentos com dados de subsuperfície (poços e sísmica), para que o modelo deposicional evolutivo se sustente numa análise de reservatório a nível bacinal.

Por outro lado, a Formação Amaral corresponde a depósitos carbonatados localizados em distintas áreas ao longo da Bacia Lusitânica. Vários afloramentos principais e diversos pontos de controlo permitem uma análise das variações laterais da unidade. A Formação Amaral representa um importante contexto deposicional cíclico, que inclui coquinas com maior diversidade, que se intercalam com depósitos finos de zonas mais profundas e com depósitos arenosos fluviais. A possibilidade de analisar as variações verticais e laterais desde a escala microscópica à escala bacinal torna a Formação Amaral um análogo essencial para a extrapolação de modelos teóricos de análogos de reservatórios de coquinas.

O contexto bacinal exerce, assim, um papel relevante na possibilidade de ampliação ou não do Modelo Análogo ao longo de toda a extensão dos depósitos estudados, tendo em consideração particularidades evolutivas de setores da área deposicional, onde fatores como tectonismo, soerguimentos e

basculamentos vão ser responsáveis por inclinações diferenciadas dos substratos e diferenciação nas distribuições das litofácies, particularmente em sistemas carbonáticos e mistos de deposição.

A quantificação dos diferentes tipos de porosidade e a distribuição do espaço poroso nas diferentes litofácies (microfácies no caso de estudos petrográficos em microescala), considerando as escalas de heterogeneidades onde o sistema poroso está inserido são, portanto, requisitos fundamentais para a elaboração do modelo geométrico 3D do espaço permo-poroso em reservatórios siliciclásticos e carbonatados.

A tese de doutoramento aqui apresentada revela os resultados de vários anos de investigações, nos quais se procurou aprofundar a compreensão de todos os processos geodinâmicos envolvidos na gênese de depósitos de coquinas, e assume-se como um contributo para a compreensão da distribuição dos espaços permo-porosos em reservatórios de hidrocarbonetos.

2.

Objetivos

2.

Objetivos

A indústria de hidrocarbonetos, nas últimas décadas, busca a compreensão de reservatórios pré-sal. É neste contexto que surgiu o propósito desta tese, cujo objetivo principal é, através da utilização de modelos análogos a reservatório de coquinas e da Metodologia CAMURES (Caraterização Multi-escalar de Reservatório), compreender as distribuições laterais e verticais das petrofácies/tafofácies de coquinas com base em análises tafonômicas das associações paleontológicas registradas, e visando a predição de potencial reservatório de hidrocarbonetos.

As metodologias concebidas e aplicadas no presente estudo visam avaliar a importância dos processos tafonômicos e dos agentes energéticos na compreensão da distribuição de fácies e gênese dos depósitos de coquinas em reservatório. O uso de unidades análogas aos reservatórios de coquinas do pré-sal brasileiro em dois contextos paleogeográficos distintos possibilitará a extensão do uso de modelos, construídos a partir de afloramentos e furos de sondagem.

Para tal, pretende-se dar resposta às seguintes questões:

- Quais os processos/mecanismos tafonômicos que originam as tafofácies/petrofácies reconhecidas em depósitos de coquinas?
- Qual a influência da ação de frentes energéticas distintas que remobilizam os restos esqueléticos e os constituintes terrígenos que constituem os depósitos de coquinas?

Os resultados obtidos visam alcançar os seguintes propósitos:

- Elaboração de modelos deposicionais, modelos teóricos e modelos 3D de evolução estratigráfica de sistemas deposicionais de coquinas ao longo do tempo;
- Reconstruções paleogeográficas de ambientes deposicionais de coquinas em duas bacias atlânticas.

A presente investigação desenvolveu-se tendo como objetos de estudo a Formação Morro do Chaves (Bacia de Sergipe-Alagoas, Brasil) e a Formação

Amaral (Bacia Lusitânica, Portugal), que configuram dois contextos deposicionais de coquinas distintos.

O estudo da Formação Morro do Chaves teve como objetivo conceber uma metodologia inovadora e integradora de conhecimentos tafonómicos suscetíveis de serem aplicáveis na classificação de coquinas, e que permita obter um sistema de classificação baseado na relação entre petrofácies e tafofácies com as propriedades permo-porosas.

O estudo da Formação Amaral teve como objetivo validar o sistema de classificação desenvolvido para a Formação Morro do Chaves, bem como ampliar o conhecimento acerca das condições de deposição de coquinas inerentes a ambientes lacustres e marinhos.

Através desta abordagem, pretende-se estabelecer modelos geológicos para depósitos de coquinas que permitam uma melhor compreensão dos reservatórios pré-sal brasileiro ou de qualquer reservatório análogo, destacando o papel da tafonomia na análise de bacias com interesse para a indústria dos hidrocarbonetos.

3.

Enquadramento teórico da investigação

3.

Enquadramento teórico da investigação

A geologia de reservatório tem recorrido a abordagens tafonómicas para compreender os processos envolvidos na transformação de restos esqueléticos em fósseis, num contexto que se limita principalmente à análise das transformações ocorridas até ao soterramento daqueles restos nos sedimentos, nomeadamente a sua orientação e disposição. Porém, os processos subsequentes que ocorrem em subsuperfície, tais como compactação, dissolução e cimentação, também produzem importantes transformações diagenéticas com impacto na permo-porosidade final, conforme relatado por vários autores (Kidwell et al., 1986; Kidwell & Bosence, 1991; Goldring, 1991; Fürsich & Oschmann, 1993; Muniz, 2013).

O termo "retrabalhado" (*"reworked"*) é frequentemente usado em análises de tafofácies para conchas e fósseis, embora as interpretações tafonómicas dos mecanismos de transporte de conchas e remoção de fósseis sejam totalmente diferentes. Tais processos são complexos, especialmente se as entidades fósseis estão sujeitas a episódios de remobilização, que envolvem exumação e deslocamento na superfície do substrato de restos de organismos previamente enterrados (Fernández-López & Meléndez, 1994). Estes só podem ser claramente compreendidos através de conceitos e métodos específicos, que foram desenvolvidos pela Tafonomia Evolutiva (Fernández-López, 1984b).

Tafonomia clássica 3.1.

Brett & Baird (1986, p. 218) e Brett & Speyer (1996, p. 258) definem fácies tafonômicas como séries de rochas sedimentares caracterizadas por combinações particulares, às vezes únicas, de características de preservação. No reconhecimento de tais tafofácies, os autores recorrem à combinação de processos bioestratinômicos e fóssil-diagenéticos precoces.

O estudo de Kidwell et al. (1986) sumariza as classificações de concentrações de fósseis propostas por vários autores (Schäfer, 1962, traduzido em 1972; Fürsich, 1978; Baird & Brett, 1983; Aigner, 1985; Kidwell, 1985; Seilacher, 1985). Através deste estudo comparativo, Kidwell et al. (1986) propõem uma nova classificação para as concentrações de restos esqueléticos e de fósseis, considerados sinónimos, com base em quatro características: composição taxonômica, fábrica bioclástica, geometria e estrutura interna (baseada em fatores biológicos, sedimentológicos e diagenéticos). Os autores consideram que existem três tipos de processos que podem levar a acumulações de restos esqueléticos: biogénicos, sedimentológicos e diagenéticos (Fig. 1). Além do uso indiscriminado de conceitos completamente distintos pelos autores (restos esqueléticos vs. fósseis; concentração vs. acumulação), os mecanismos de alteração tafonômica considerados aparecem como agentes que atuam de forma independente ou predominante na formação de concentrações de restos esqueléticos e de fósseis.

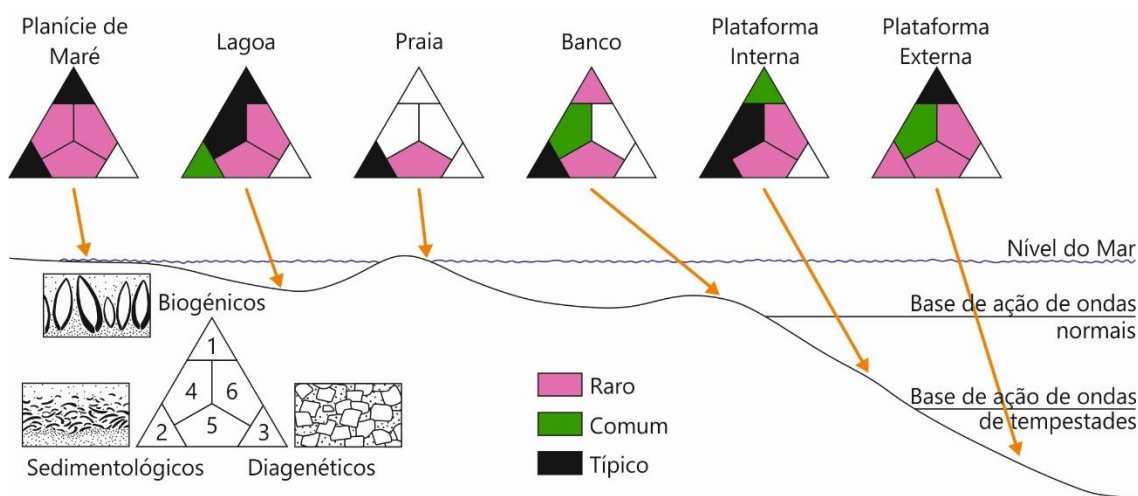


Figura 1 - Os tipos de concentrações de restos esqueléticos e as respectivas distribuições em diferentes ambientes de plataforma como resultado de diferentes processos; as influências diagenéticas (vértice 3 dos triângulos) não são representadas nesta figura (modificado de Kidwell et al., 1986).

Kidwell & Bosence (1991) destacam a importância do arranjo de bioclastos (biofábrica) no suporte às análises paleoambientais, tendo proposto uma terminologia específica que relaciona biofábricas a paleoambientes. A terminologia utilizada na descrição de biofábricas proposta por Kidwell et al. (1986) reflete o resultado da ação de processos bioestratónómicos sobre restos esqueléticos de organismos, sem considerar mecanismos de alteração tafonómica que ocorrem após o soterramento em sedimentos (Fig. 2).

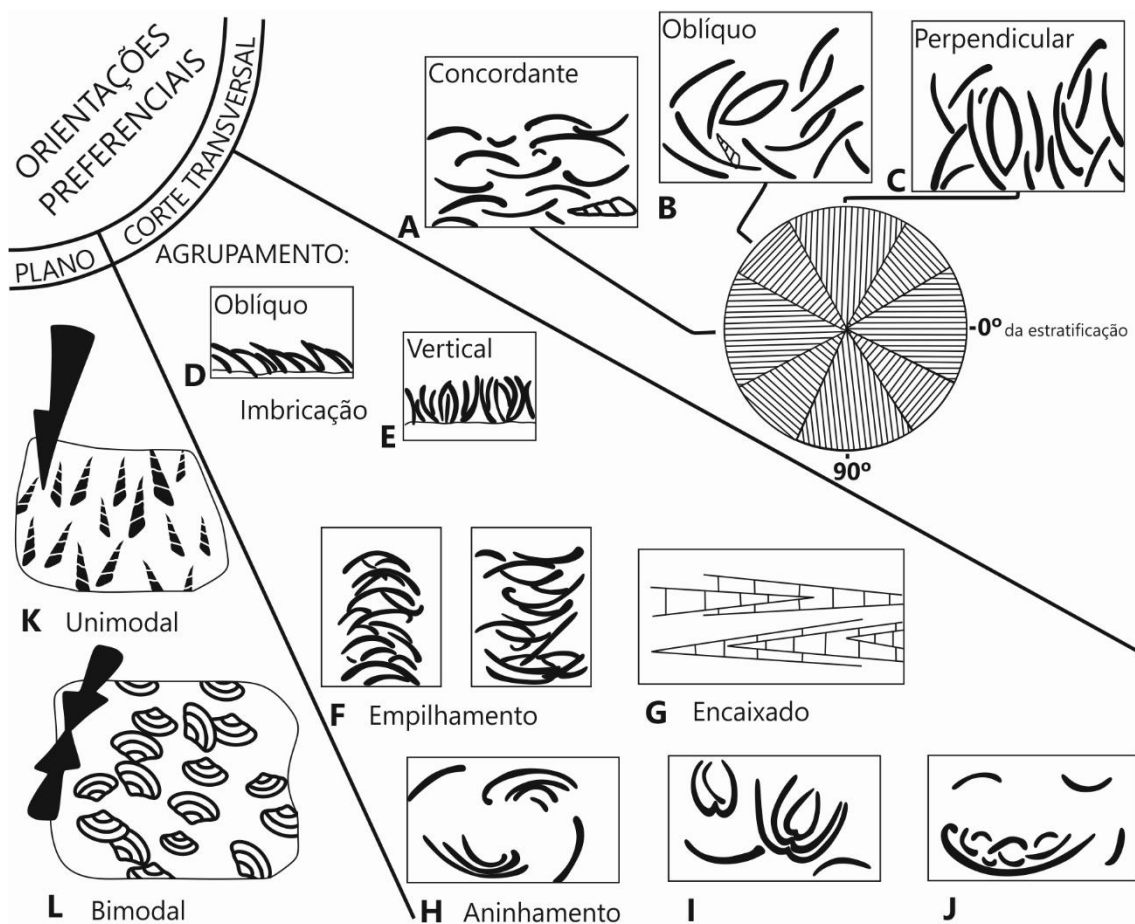


Figura 2 - Terminologia usada na descrição de biofábricas considerando apenas a orientação das conchas (modificado de Kidwell et al., 1986).

Goldring (1991) reconhece um conjunto de processos tafonómicos associados à génese de coquinas de bivalves. Este autor considera a possibilidade de remoção de restos esqueléticos de sedimentos (processo denominado retrabalho), que atua nas conchas originais, mas não nos fósseis (Fig. 3). E considera também as ocorrências de processos pós-enterro (cimentação, concreção, recristalização/neomorfismo, dissoluções, entre outros), mas não a exumação de entidades fósseis.

Simões & Kowalewski (1998) argumentam que os estudos tafonômicos de coquinas são frequentemente caracterizados por uma história complexa, que inclui processos biológicos, tafonômicos e sedimentológicos. Esses autores consideram vários episódios de retrabalho e mistura, mas nas suas análises tafonômicas incluem apenas a orientação, a desarticulação e a qualidade da preservação de "conchas".

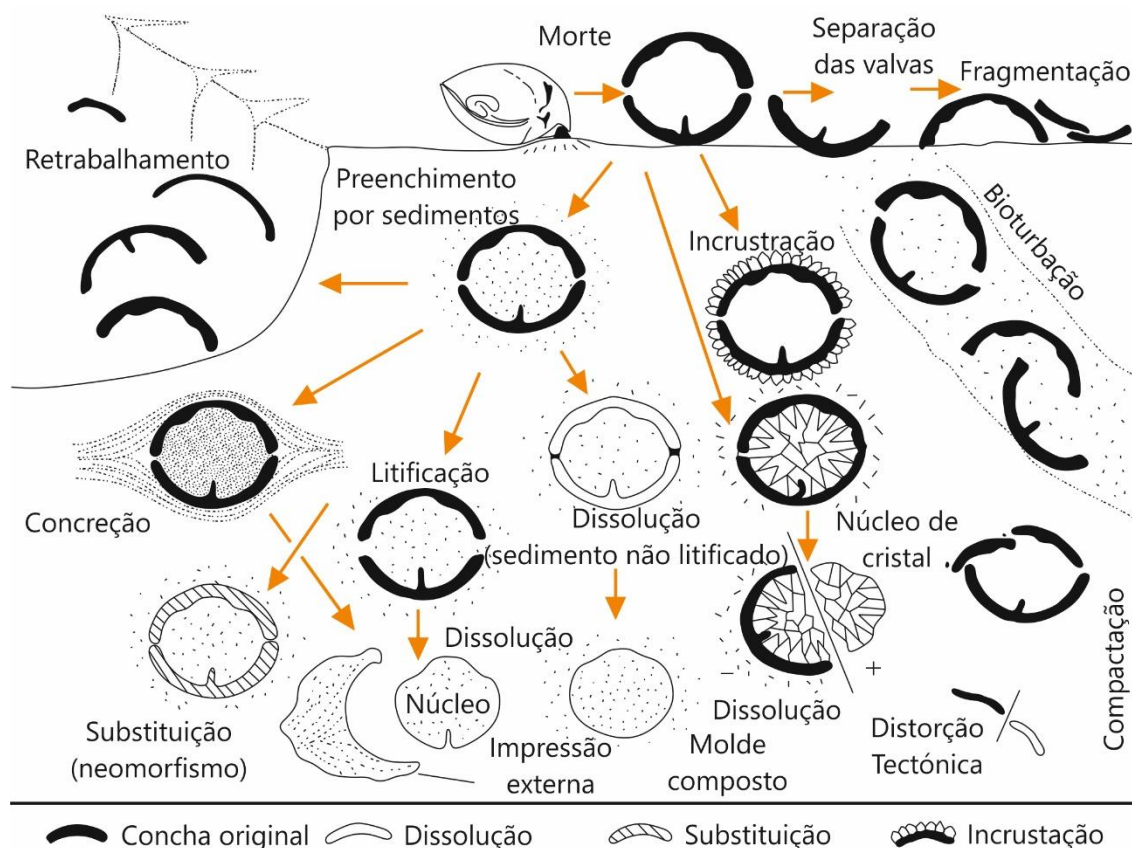


Figura 3 - Processos tafonômicos envolvidos na fossilização de conchas de bivalves (modificado de Goldring, 1991).

O modelo tafonômico proposto por Fürsich & Oschmann (1993) explica a relação entre os processos de produção biogénica, os agentes de transporte dos restos esqueléticos e os correspondentes locais de deposição. Muniz (2013), com base em Fürsich & Oschmann (1993), propõe um sistema de classificação tafonômica (tafofácies) relacionando o grau de retrabalho hidráulico (transporte) e a preservação de restos esqueléticos de bivalves com a energia do ambiente e a porosidade associada (Fig. 4). Essa classificação, que distingue entre tafofácies formadas dentro do mesmo ambiente, de tafofácies originadas fora daquele, também se limita a considerar apenas a atuação de processos bioestratónômicos sobre restos esqueléticos de organismos, sem levar em conta os mecanismos de

alteração tafonómica, que ocorrem após o soterramento daqueles nos sedimentos. Nessa abordagem, a porosidade depende diretamente da energia do meio deposicional, descartando, portanto, a influência que os processos diagenéticos têm na variação desta propriedade.

Tafofácies de conchas de bivalves									
Dentro do ambiente (formado dentro da bacia)								Fora do ambiente (híbrido)	
Autóctone			Parautóctone			Alóctone		Alóctone	
TF-1	TF-2a	TF-2b	TF-3a	TF-3b	TF-4	TF-5	TF-6	TF-7	TF-8
Conchas articuladas em posição de vida	Conchas articuladas e quebradas transportadas	Conchas articuladas com algum transporte de conchas inteiras	Conchas desarticuladas com menor transporte de conchas inteiras	Conchas desarticuladas com imbricação de conchas inteiras	Conchas desarticuladas inteiras e quebradas	Conchas quebradas, desgastadas e arredondadas	Conchas muito quebradas e retrabalhadas	Fragmentos de conglomerado polimítico de basalto e embasamento cristalino	Arenitos bioclásticos grosseiros com clastos de basalto
Maciço			Estruturas maciças e de tração (estratificação cruzada)					Maciço	Estruturas trativas
Lama - Matriz argilosa Poroso - Cimento			Energia → Porosidade →					Energia → Porosidade →	

Figura 4 - Sistema de classificação tafonómica (tafofácies) aplicado aos depósitos da Formação Coqueiros, Bacia de Campos, Brasil. Esta classificação é baseada nas relações entre o grau de remobilização hidráulica (transporte) e a preservação dos restos esqueléticos de bivalves com a energia do ambiente e a porosidade (modificado de Muniz, 2013).

Tafonomia evolutiva 3.2.

A abordagem tafonómica clássica, descrita no item anterior, aborda os processos envolvidos na fossilização, enfatizando sobretudo aqueles que atuam até ao enterro de restos esqueléticos em sedimentos. Alguns autores (por exemplo, Goldring, 1991) consideram a remobilização de restos esqueléticos de sedimentos antes do soterramento, o que Fernández-López (1994) define como ressedimentação, mas não a remoção de fósseis, que Fernández-López (op. cit.) define como reelaboração.

Contudo, as associações paleontológicas são o resultado de processos de natureza bioestratinómica e fósil-diagenética; a atuação de apenas mecanismos bioestratinómicos não define nenhuma associação paleontológica; estas são definidas pela ação de ambos os processos ou apenas por mecanismos fósil-diagenéticos (Fernández-López, 1988; Fernández-López & Jalvo, 2002) (Fig. 5).

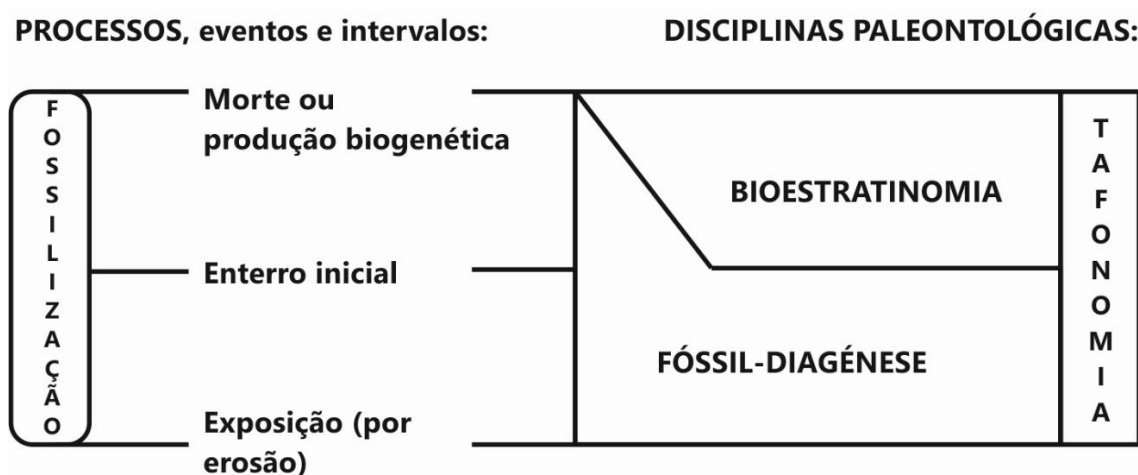


Figura 5 - Esquema de várias disciplinas paleontológicas referentes a processos, eventos, fases ou intervalos de fossilização, conforme proposto por Fernández-López (1988) e Fernández-López & Jalvo (2002). Em geral, tafonomia e conhecimento tafonómico podem ser subdivididos em duas (sub)disciplinas, a saber, bioestratinomia e fósil-diagenese (modificado de Fernández-López & Jalvo, 2002).

As coquinas representam entidades registadas, isto é, são evidências observáveis de entidades paleobiológicas e são o resultado de processos de fossilização atuando em entidades previamente produzidas e preservadas (Fernández-López, 1991). A análise tafonómica de coquinas requer o estudo da estrutura e composição das conchas de bivalves preservadas, bem como dos processos de produção e modificação de tais conchas.

Os fósseis podem ser encontrados em três diferentes estados de preservação: acumulado, ressedimentado e reelaborado (Fernández-López, 1991) (Fig. 6). Inicialmente utilizados na descrição de associações de fósseis de amonites do Jurássico da Cordilheira Ibérica (Espanha), estas designações já foram utilizadas por outros autores para diferentes grupos taxonómicos de fósseis de diferentes bacias sedimentares (e.g., Martire & Pavia, 1996; Herrero & Canales, 2002; Zamora et al., 2008; Reolid, 2008; Pavia et al., 2013; Dietze et al., 2017). A acumulação refere-se a qualquer elemento que seja incorporado ao registo sedimentar no mesmo local de produção (Herrero & Canales, 2002). O termo "acumulação tafonómica" não deve ser confundido com outros conceitos paleontológicos, tais como concentração (Fernández-López et al., 2002), frequentemente usado para descrever depósitos de coquinas. Depois de acumulados, dois outros estágios tafonómicos podem afetar os elementos preservados: a ressedimentação e a reelaboração (Fernández-López et al., op. cit.). Ressedimentação significa deslocamento na superfície do substrato de restos de organismos antes do seu soterramento (Fernández-López & Meléndez, 1994; 2004), sendo o registo paleontológico e sedimentar de mesma idade (Herrero & Canales, 2002). Finalmente, reelaboração significa a exumação e deslocamento na superfície do substrato de restos de organismos previamente enterrados (com ou sem transporte) (Fernández-López, 1991; Fernández-López & Meléndez, 1994; 2004).

Diversos mecanismos de alteração tafonómica podem atuar sobre um elemento ou associação de elementos durante os processos bioestratinómicos e fóssil-diagenéticos, produzindo mudanças na composição, estrutura e/ou localização espaço-temporal dos elementos tafonómicos (Fig. 7).

Variações espaciais no estado de preservação mecânica dos fósseis são comuns em depósitos de coquinas, dando origem a gradientes tafonómicos (Fernández-López, 1997). Estes resultam das variações geográficas das condições paleoambientais, como a turbulência da água, que tende a aumentar a duração e a intensidade dos processos de alteração bioestratinómica, e a reduzir a taxa de sedimentação, bem como as diferenças entre as distintas entidades conservadas em relação à capacidade de manter as suas características primárias.

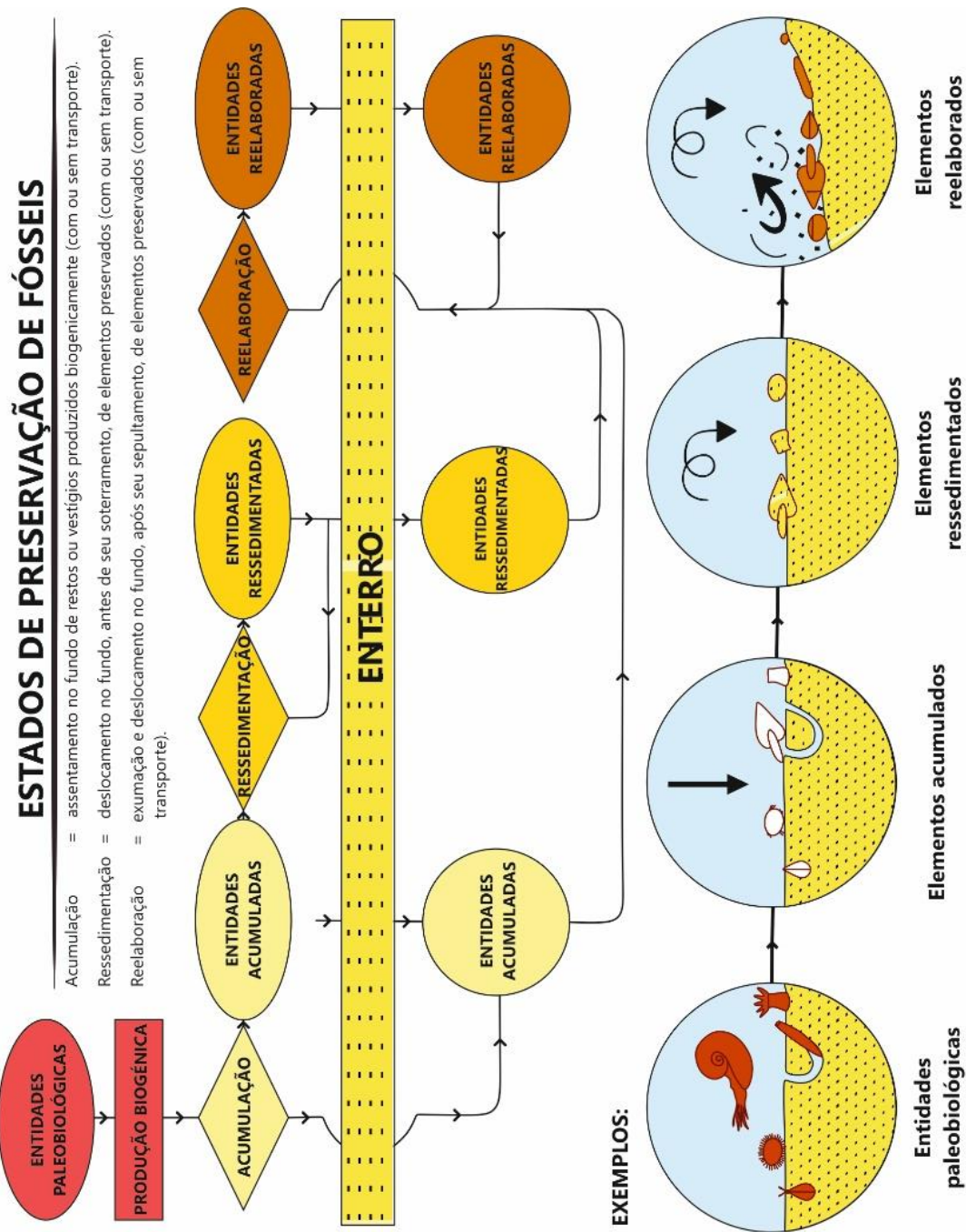


Figura 6 - Significado, exemplos e critérios de alteração tafonômica (modificado de Fernández-López, 1991).

MECANISMOS DE ALTERAÇÃO TAFONÓMICA

Biodegradação

Aeróbia / Decadência anaeróbia
Mumificação

Carbonificação

Alteração térmica

Imuração, incrustação

Bioimuração, litoimuração
Inclusão

Enchimento sedimentar

Pseudomorfismo sedimentar

Mineralização

Cimentação

- Permineralização
- Formação de concreções
- Cimentação de cavidades

Neomorfismo

- Recristalização
- Inversão

Substituição

Abrasão

Bioerosão

Dissolução

Distorção tafonómica

Distorção biogénica
Distorção mecânica

Necrocenose e deslocamentos fóssil-diagenéticos

Reorientação
Desarticulação
Dispersão
Agrupamento tafonómico, reagrupamento
Remoção

- Acumulação
- Ressedimentação
- Reelaboração

Figura 7 - Mecanismos de alteração tafonómica (modificado de Fernández-López, 2000).

Petrofácies e tafofácies 3.3.

Em geologia do petróleo, o termo petrofácies de reservatório é definido pela combinação entre estruturas deposicionais, texturas e composição primária e processos diagenéticos dominantes; a cada combinação corresponde um intervalo de valores definidos de porosidade e de permeabilidade, bem como um registo característico e uma assinatura sísmica (De Ros & Goldberg, 2007). O conceito deriva do termo petrofácies, relacionado sobretudo com reservatórios siliciclásticos. Mas nos reservatórios carbonatados, especialmente coquinas, a composição primária inclui frequentemente uma componente bioclástica significativa que corresponde a uma determinada associação de fósseis. Estas resultam de processos de fossilização de conchas de bivalves previamente produzidas e com características de preservação particulares, que podem ser consideradas como tafofácies. A sua distribuição espacial permite inferir as condições deposicionais dentro de uma plataforma carbonatada. Tal como nas petrofácies descritas para reservatórios siliciclásticos, a combinação entre aspetos texturais primários e composicionais e processos tafonómicos correspondem a intervalos de valores definidos de porosidade e de permeabilidade. Assim, o termo correspondente para depósitos de coquinas é "tafofácies de reservatório".

Conhecem-se vários estudos que demonstram uma relação intrínseca entre as características tafonómicas de concentrações de fósseis e as condições ambientais responsáveis pela sua génese, os quais permitem definir conceitos subjacentes à avaliação e validação das características ambientais de habitats particulares (Brett & Baird, 1986; Speyer & Brett, 1986). A quantificação de distintas assinaturas tafonómicas (presença ou não de elementos articulados, grau de fragmentação, abrasão, bioerosão, entre outras), permite discriminar diferentes fácies tafonómicas (Speyer & Brett, 1988; 1991).

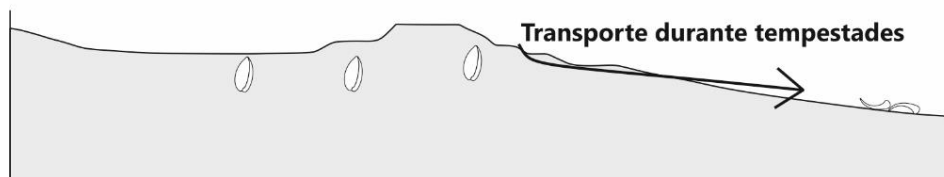
Holz & Simões (2002) definem "tafofácies" como uma rocha sedimentar caracterizada pela combinação de feições específicas de preservação dos fósseis nela contidos, nomeadamente: orientação, grau de desarticulação, grau de fragmentação, grau de abrasão ou dissolução e disposição espacial (e.g., percentagem de valvas com a concavidade para cima ou para baixo). Estes autores consideram que o conceito de tafofácies está relacionado exclusivamente com o aspeto tafonómico, não devendo ser confundido com outros termos e conceitos, ou seja, tafofácies não equivale a biofácies uma vez que não é definida pelo tipo de táxone ou associação de táxones; também não corresponde a uma litofácies, dado que também não é definida pelos atributos sedimentológicos e

estruturais. Tafofácies é, assim, um conceito autónomo que não deve ser vinculado a outros atributos que não os de natureza tafonómica (Fig. 8).

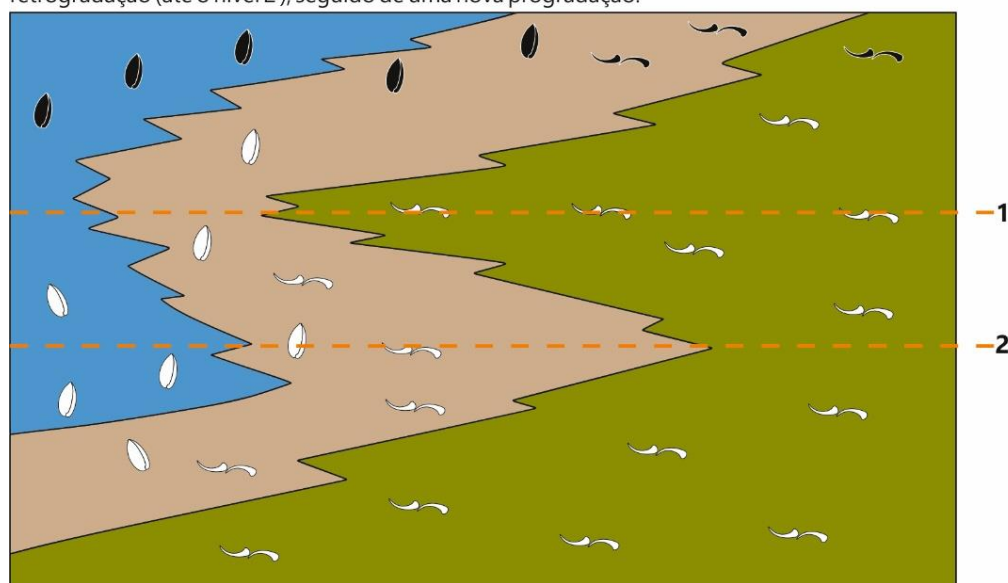
Neste contexto, pode afirmar-se que em duas litofácies é possível reconhecer a mesma tafofácies ou o contrário, apesar de algumas tafofácies poderem apresentar maior relação genética com determinadas fácies. As tafofácies de coquinas, por exemplo, são geralmente descritas como fácies de tempestitos. Já os sistemas deposicionais complexos, por exemplo os sistemas fluviais, podem apresentar muitas tafofácies em virtude de estarem sujeitos a distintos processos de transporte e de sedimentação (Holz & Simões, 2002).

Por fim, Holz & Simões (2002) enfatizam que a utilização do conceito de tafofácies deve ser parte fundamental e indispensável de qualquer análise tafonómica, pois a sua aplicação permite fundamentar a dinâmica que controla a deposição sedimentar e os respetivos parâmetros paleoambientais. Os autores destacam que o conceito precisa de ser mais bem divulgado e aplicado nos estudos paleontológicos, pois permite um melhor refinamento das interpretações sedimentológicas e estratigráficas.

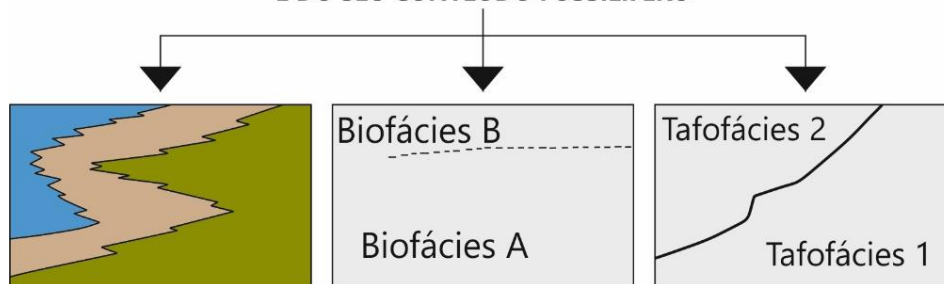
A - Situação paleoambiental (sistema de barreiras litorâneas): bivalves ocorrem em posição de vida na área da laguna e do *shoreface* proximal; bivalves desarticulados ocorrem na área de *shoreface* inferior e offshore.



B - Sucessão faciológica resultante de um ciclo trans-regressivo: no decorrer do tempo geológico, as fácies deslocam-se para a bacia (progradação) e, na regressão, para o continente (=retrogradação). No caso da figura ocorreu um progradação (até o nível 1), seguido de uma retrogradação (até o nível 2), seguido de uma nova progradação.



DESCRIÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE FÁCIES E DO SEU CONTEÚDO FOSSILÍFERO



1 - LITOFÁCIES: EXISTEM TRÊS (ARENITOS/PELITOS DE ORIGEM LAGUNAR, ARENITOS DE SHOREFACE E PELITOS DE PLATAFORMA).

2 - EXISTEM DUAS BIOFÁCIES, JÁ QUE NO DECORRER DO TEMPO APARECEU UMA NOVA FORMA DE PELECÍPODES (NO TOPO DA SUCESSÃO DE FÁCIES).

3 - OCORREM DUAS TAFOFÁCIES: UMA DE RESTOS DESARTICULADOS E UMA DE ANIMAIS EM POSIÇÃO DE VIDA.

DENTRO DE UM PACOTE SEDIMENTAR COMPOSTO POR TRÊS LITOFÁCIES OCORREM DUAS BIOFÁCIES E DUAS TAFOFÁCIES; CONTUDO, OS LIMITES LITOFACIOLÓGICOS NÃO COINCIDEM COM OS DAS BIOFÁCIES, QUE POR SUA VEZ NÃO COINCIDEM COM AS TAFOFÁCIES

Figura 8 - As diferenças entre os conceitos de litofácies (1), biofácies (2) e tafofácies (3). A definição desta não depende do tipo de sedimento ou da distribuição taxonómica, mas exclusivamente dos atributos tafonómicos (modificado de Holz & Simões, 2002).

4.

Estado da arte

4.

Estado da arte

O processo de rutura do Continente Gondwânico, responsável pela separação dos atuais continentes sul-americano e africano, tem sido amplamente debatido ao longo das últimas décadas, desde que Alfred Wegener (1912) detetou as similaridades entre os contornos continentais de ambas as Margens Atlânticas, bem como dos respetivos registos fósseis. De acordo com as conceções atuais, esta separação ter-se-ia consumado há cerca de 140 Ma. Entretanto, pode constatar-se que, mesmo depois de tantos trabalhos analisando as semelhanças litológicas entre estes dois continentes, focando as mais diversificadas linhas de investigação em geologia, os critérios de ajustamento entre as duas massas continentais atuais continuam a alimentar muita discussão na comunidade científica.

A pesquisa centrada em bacias inseridas em contextos de margens passivas, não necessariamente conjugadas, tem vindo a reforçar-se através de estudos de análogos de reservatórios de hidrocarbonetos. Nesta perspetiva, a Bacia Lusitânica é a única de entre as bacias marginais do Atlântico Norte com extensa exposição superficial e excelentes condições de observação, proporcionando o reconhecimento de uma sequência estratigráfica ampla, a qual contém unidades importantes para a modelação geológica em geologia sedimentar e do petróleo (Pena dos Reis et al., 2008b; Pena dos Reis & Henriques, 2018).

A necessidade, por parte da indústria de hidrocarbonetos, de aprofundar o conhecimento acerca dos grandes reservatórios do pré-sal brasileiro, bem como a busca por análogos de reservatório em superfície, levaram ao reconhecimento das unidades sedimentares mais representativas para este fim. No presente trabalho são apresentados os resultados obtidos a partir do estudo de duas unidades estratigráficas localizadas em duas Bacias Atlânticas que foram selecionadas por representarem importantes depósitos de coquinas. São elas: a Formação Morro do Chaves (Barremiano, Cretácico Inferior) da Bacia Sergipe-Alagoas, no nordeste do Brasil (descrita em 4.1); e a Formação Amarel (Kimmeridgiano, Jurássico Superior), da Bacia Lusitânica, em Portugal (descrita em 4.2).

Bacia Sergipe Alagoas 4.1.

A Bacia Sergipe-Alagoas faz parte de um conjunto de bacias extensionais Meso-Cenozoicas situadas na margem leste-nordeste do Brasil. Estas bacias têm a sua origem durante a fase de ruptura litosférica e a subsequente dinâmica assumida pelas placas Africana e Sul-Americana, na fase de deriva continental (Milani et al., 2007). A Bacia Sergipe-Alagoas é separada a nordeste da Bacia de Pernambuco-Paraíba pelo Alto de Maragogi; a sudoeste está separada da Bacia de Jacuípe por um limite indiviso (Campos Neto et al., 2007). A Sub-bacia de Sergipe é separada da Sub-bacia de Alagoas pelo Alto de Japoatã-Penedo (Fig. 9). O soco cristalino da Sub-Bacia de Sergipe é constituído por metassedimentos da Formação Estância e dos grupos Miaba, Vaza-Barris e Macururé, da Faixa Sergipana (Cruz, 2008), enquanto que o soco da Sub-Bacia de Alagoas é constituído por rochas graníticas, proterozóicas, do maciço Pernambuco-Alagoas.

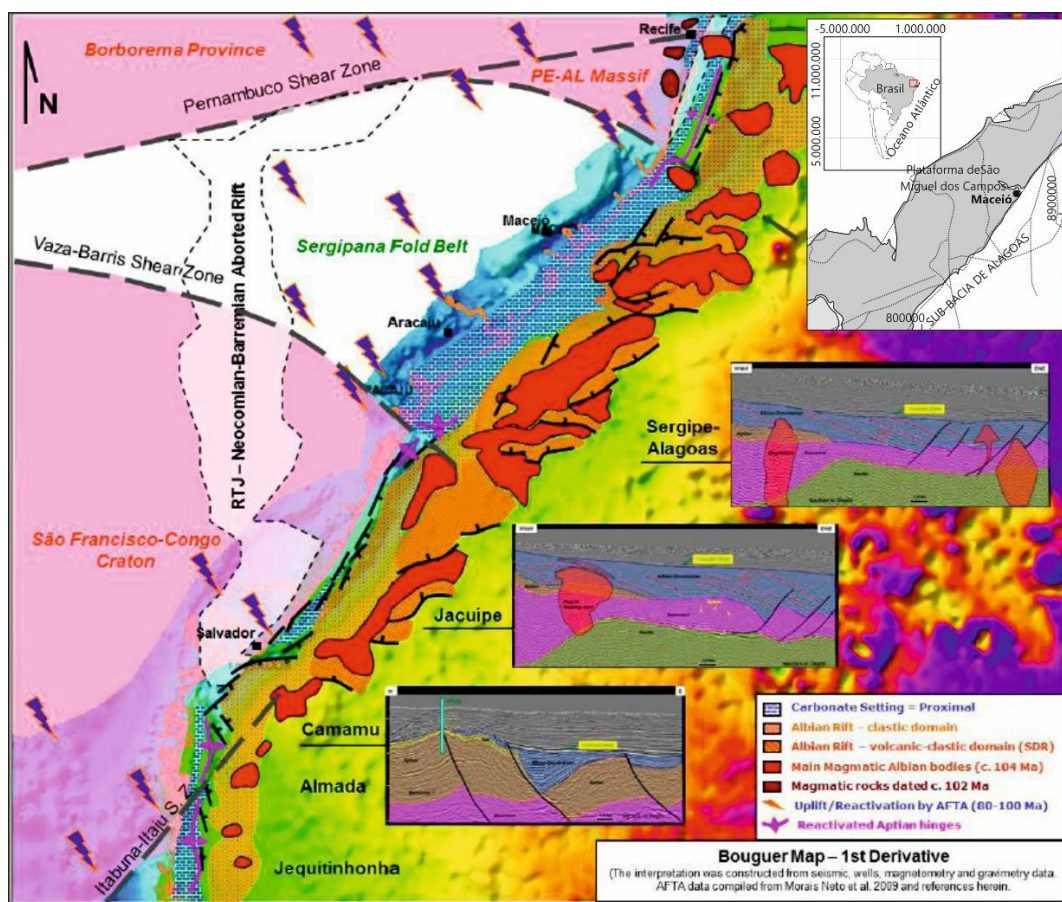


Figura 9 - Contexto geológico-estrutural da Bacia Sergipe-Alagoas (conforme Caixeta et al., 2014; conforme Ferreira et al., 2011).

A Bacia Sergipe-Alagoas, que fica ao norte da província de hidrocarbonetos das Bacias de Campos e Santos, fornece o mais completo registro estratigráfico *onshore* das bacias costeiras brasileiras, diretamente relacionado com todas as fases evolutivas da ruptura do Gondwana e da abertura do Atlântico Sul: sinéclise (relacionada com as grandes bacias intracratônicas localizadas no interior do Gondwana), pré-rifte, rifte, transicional e drifte (Garcia et al., 2018). Os limites entre esses estágios foram graduais, refletindo modificações no estilo tectônico predominante que afetou cada uma das sequências sedimentares (Schaller, 1969; Garcia, 1992). Contudo, este gradualismo não traduz a inexistência de eventos tectônicos importantes, marcados por fortes soerguimentos e afundamentos em partes diferenciadas da bacia, levando a situações de exposição, erosão e não deposição, e demarcando, assim, importantes discordâncias de caráter local ou regional.

Atualmente, considera-se que Sergipe-Alagoas é a principal bacia para estudos análogos utilizados para fins de formação avançada por diferentes universidades, nomeadamente em geologia do petróleo. Localizada no segmento central do Atlântico Sul (Chaboreau et al., 2013), a Bacia Sergipe-Alagoas inclui os grupos Perucaba (pré-rifte), Coruripe (rifte e pós-rifte), Sergipe e Piaçabuçu (drifte), depositados desde o Jurássico Superior ao Holocénico (Campos Neto et al., 2007) (Fig. 10).

As unidades que constituem o Grupo Coruripe foram depositadas em ambiente continental lacustre e marinho restrito e correspondem às fases de rifte e transicional da bacia (Campos Neto et al., 2007). Neste intervalo, a bacia foi preenchida por sedimentos derivados de um sistema aluvio-deltaico/lacustre-sabkha (Garcia et al., 2018). O Grupo Coruripe está representado formalmente pelas Formações Feliz Deserto, Penedo, Barra de Itiúba, Rio Pitanga, Morro do Chaves, Coqueiro Seco, Poção, Maceió e Muribeca (Campos Neto et al., 2007) (Fig. 10). De entre as litologias da Formação Morro do Chaves destacam-se os depósitos carbonatados (coquinas). Estes intervalos são relativamente ricos em fósseis, com ocorrências de grandes concentrações de fósseis de bivalves (e.g., Thompson, 2013), intercaladas por arenitos grosseiros (ricos em fragmentos de conchas) e folhelhos orgânicos ricos em ostracodos (e.g., Kinoshita, 2007), fragmentos de peixes e de tartarugas (e.g., Gallo et al., 2009a, 2009b, 2009c, 2010; Ferreira & Langer, 2013 e Romano et al., 2014) e palinomorfos (e.g., Antonioli et al., 2004, 2009; Garcia, 2012, 2016; Garcia et al., 2013, 2018).

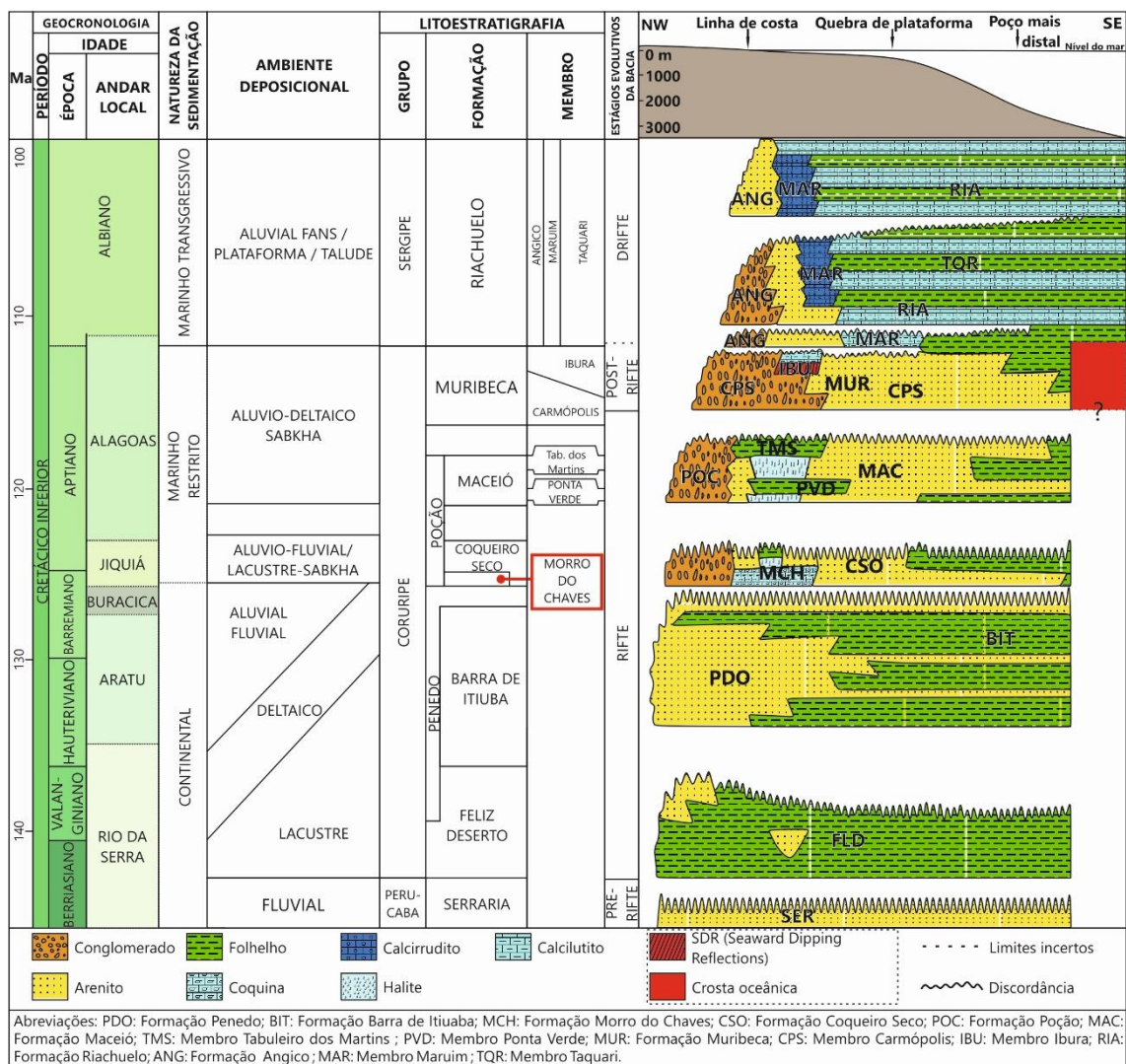


Figura 10 - Quadro estratigráfico da Sub-Bacia de Alagoas destacando a Formação Morro do Chaves que representa o início da fase marinha restrita do final do Barremiano (modificado de Campos Neto et al., 2007; modificado de Garcia et al., 2020).

A Formação Morro do Chaves aflora na Bacia Sergipe-Alagoas e registra a transição da fase de rifte para um contexto marinho restrito, representando assim a melhor exposição de coquinas em afloramento no Brasil (Garcia et al., 2018). É composta por calcários bioclásticos (coquinas), alternando com argilas (folhelhos) verde escuro a preto, depositados em posições distais, e por arenitos conglomeráticos, depositados em posições proximais e relacionados com condições lacustres (Azambuja Filho et al., 1998; Tavares et al., 2015; Thompson et al., 2015). No entanto, em estudos paleontológicos desenvolvidos durante a última década foram descritos vários táxones típicos de ambientes marinhos e salobros (Gallo, 2009; Gallo et al., 2009a, 2009b, 2010; Romano et al., 2012; Thompson, 2013; Garcia et al., 2018), embora tais estudos estejam sobretudo

restritos a resumos de congressos nacionais e regionais publicados em português e/ou a dissertações de mestrado e de doutoramento apresentadas em universidades brasileiras.

Os depósitos da Formação Morro do Chaves têm sido objeto de grande interesse como análogos dos reservatórios do pré-sal brasileiro, nomeadamente no que respeita à sua génese, bem como aos fatores geodinâmicos responsáveis pela sua evolução (Kinoshita, 2010; Thompson et al., 2015; Garcia et al., 2015b; Garcia, et al., 2018, 2020; Rigueti et al., 2020).

4.1.1. Contexto geológico da Formação Morro do Chaves

De acordo com Azambuja Filho et al. (1998), as litologias da Formação Morro do Chaves representam o estágio final de rifte da Bacia de Sergipe-Alagoas, conceitualmente representado por sequências predominantemente continentais, depositadas em *half-graben* limitadas por falhas com orientação N-S. Os autores referem-se a um contexto tectónico transpressivo, evoluindo para distensivo, que resultou na separação das placas sul-americana e africana, em simultâneo com o processo de adelgaçamento crustal no decorrer do Cretácico Inferior. A sedimentação dos calcários da Formação Morro do Chaves ocorre durante o Andar Jiquiá ($\approx 126-123$ Ma, correlativo do Barremiano ao Aptiano), intervalo atribuído por Schaller (1969), e está associada aos depósitos siliciclásticos da Formação Coqueiro Seco (Campos Neto et al., 2007) (Fig. 11). A unidade foi posicionada no Barremiano superior/Aptiano inferior a partir de associações de palinomorfos (Garcia et al., 2018), anterior à implantação da crosta oceânica atlântica, estando, em certa medida, temporal e paleogeograficamente, situada nas proximidades dos primeiros registos da chegada das águas do Atlântico Sul à Sub-Bacia de Sergipe.

Os sedimentos da Formação Morro do Chaves foram depositados no segundo estágio da fase de rifte, e estão relacionados com uma sedimentação aluvio-deltaica. Estes sedimentos penetravam num corpo aquoso de natureza lacustre a marinha restrita. Associado ao corpo aquoso ocorriam depósitos de sabkha nas margens, e depósitos ricos em matéria orgânica nos depocentros anóxicos (Garcia, 2016). O avanço e recuo do nível de base, influenciado pelo tectonismo ou pelo aumento do nível do lago, permitiam em parte o afogamento dos depósitos terrígenos, e favoreciam uma maior propagação dos organismos.

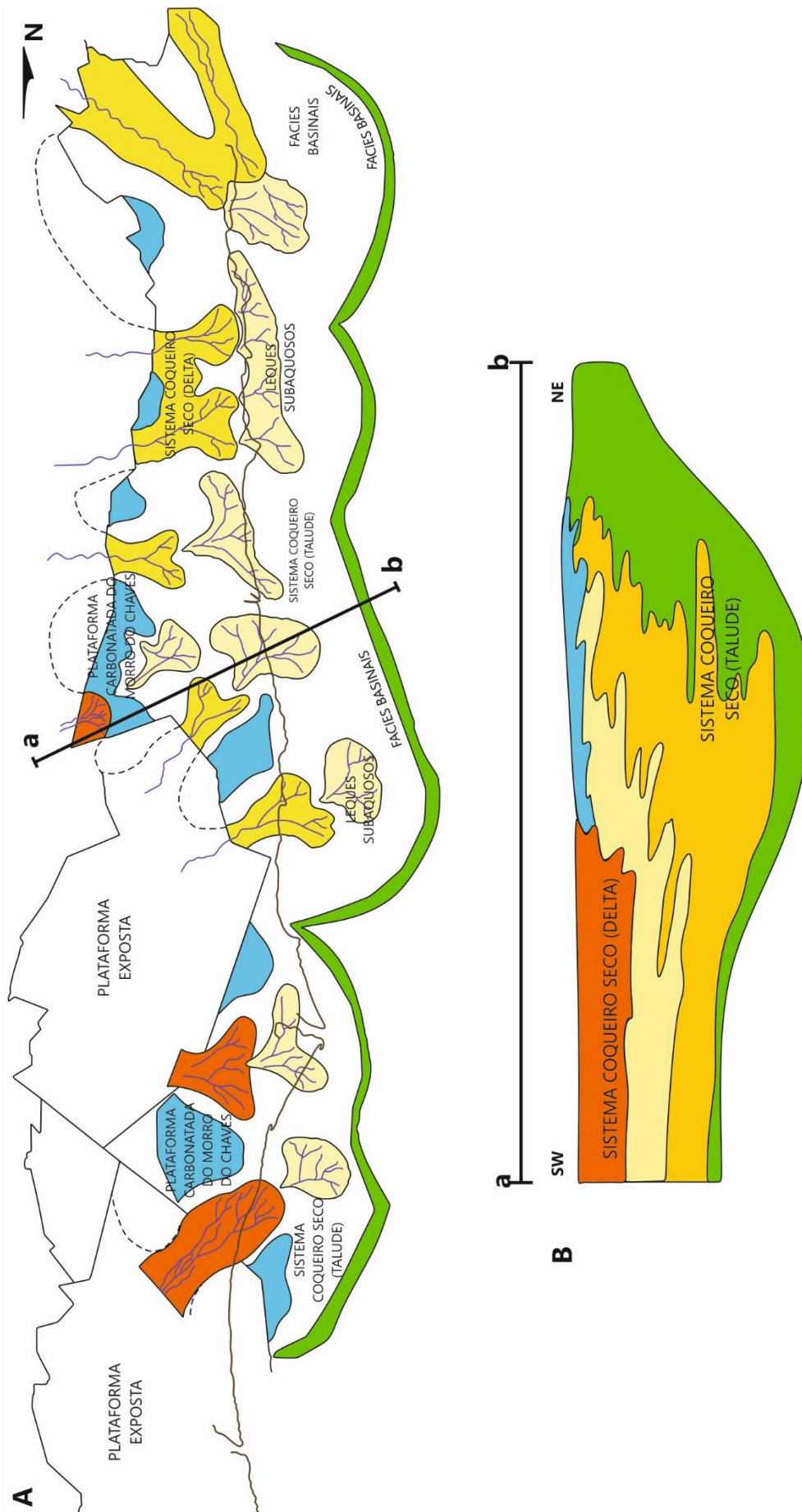


Figura 11 - Paleogeografia das Formações Coqueiro Seco e Morro do Chaves: A) Modelo da plataforma carbonatada para o Cretáceo Superior; B) Seção estratigráfica (a-b) simplificada da plataforma carbonatada para o Cretáceo Superior (modificado de Garcia et al., 2005).

Estas litologias terrígenas/siliciclásticas correspondem às formações Poção e Coqueiro Seco, representativas de fácies terrígenas conglomeráticas e arenosas com origem nas áreas continentais proximais através de sistemas fluviais que penetravam na bacia, e ao Membro Ponta Verde da Formação Maceió nas zonas mais distais (Garcia et al., 2018). A Formação Maceió corresponde, por sua vez, a uma sedimentação terrígena, atribuída a sistemas entrelaçados e a fluxos gravitacionais situados em canais turbidíticos de áreas rasas a profundas da bacia durante o estágio de rifte final a transicional. As litologias carbonatadas da Formação Morro do Chaves estão intercaladas com folhelhos ricos em fósseis e com arenitos grosseiros (ricos em bioclastos de bivalves), caracterizando, assim, uma sedimentação mista para este intervalo de preenchimento da bacia.

Os depósitos de coquinas com folhelhos intercalados apresentam-se organizados em camadas contínuas, em intervalos que podem medir de 500,0 a 700,0 metros (m) em afloramento, podendo estender-se por alguns quilómetros (km) de acordo com a interpretação a partir de secções sísmicas. Os níveis de coquinas são compostos predominantemente por grainstones/packstones com bioclastos quase exclusivamente de moluscos bivalves com dimensões entre 0,5 a 5,0 centímetros (cm), frequentemente organizados em lentes amalgamadas ou isoladas (com 0,2 a 12,0 m de espessura), exibindo estratificação cruzada truncadas de baixo ângulo, truncadas por ondas (*hummocky*) e estruturas de corte e enchimento; quando a argila ou a matriz micrítica estão ausentes, o cimento espático preenche a porosidade primária (Fig. 12).

As coquinas têm sido interpretadas como tendo sido depositadas em bancos de águas rasas, em ambientes de alta energia sujeitos a fortes ondas e/ou correntes (Garcia, 2016), resultantes de eventos de tempestades periódicas (Azambuja Filho et al., 1998). Chinellato et al. (2018) propuseram recentemente um modelo deposicional das coquinas baseado nas características e na distribuição de tafofácies, argumentando que as coquinas são organizadas em ciclos de raseamento e aprofundamento, formados acima da zona de constante remobilização das ondas normais e depósitos de marés mais baixas, retrabalhados por tempestades ocasionais.

Nogueira et al. (2003), ao discutir sumariamente as coquinas da Formação Morro do Chaves sob o ponto de vista de potencial para reservatório de petróleo, chama a atenção para o facto de as coquinas serem *plays* petrolíferos bastante incomuns no registo geológico e de difícil entendimento. Por isso, o estudo dos depósitos desta unidade como análogos torna-se particularmente importante para a compreensão de reservatórios localizados em subsuperfície, como por exemplo os da Bacia de Campos (Formação Lagoa Feia). Tavares et al. (2015)

propõem um novo modelo para os depósitos de coquinas da Formação Morro do Chaves mantendo o seu contexto lacustre. Corbett et al. (2017) elaboraram um modelo de permo-porosidade com base numa camada de coquinas da pedraira InterCement, e introduziram nele informações de um análogo moderno, nomeadamente os depósitos atuais da Shark Bay, na Austrália.

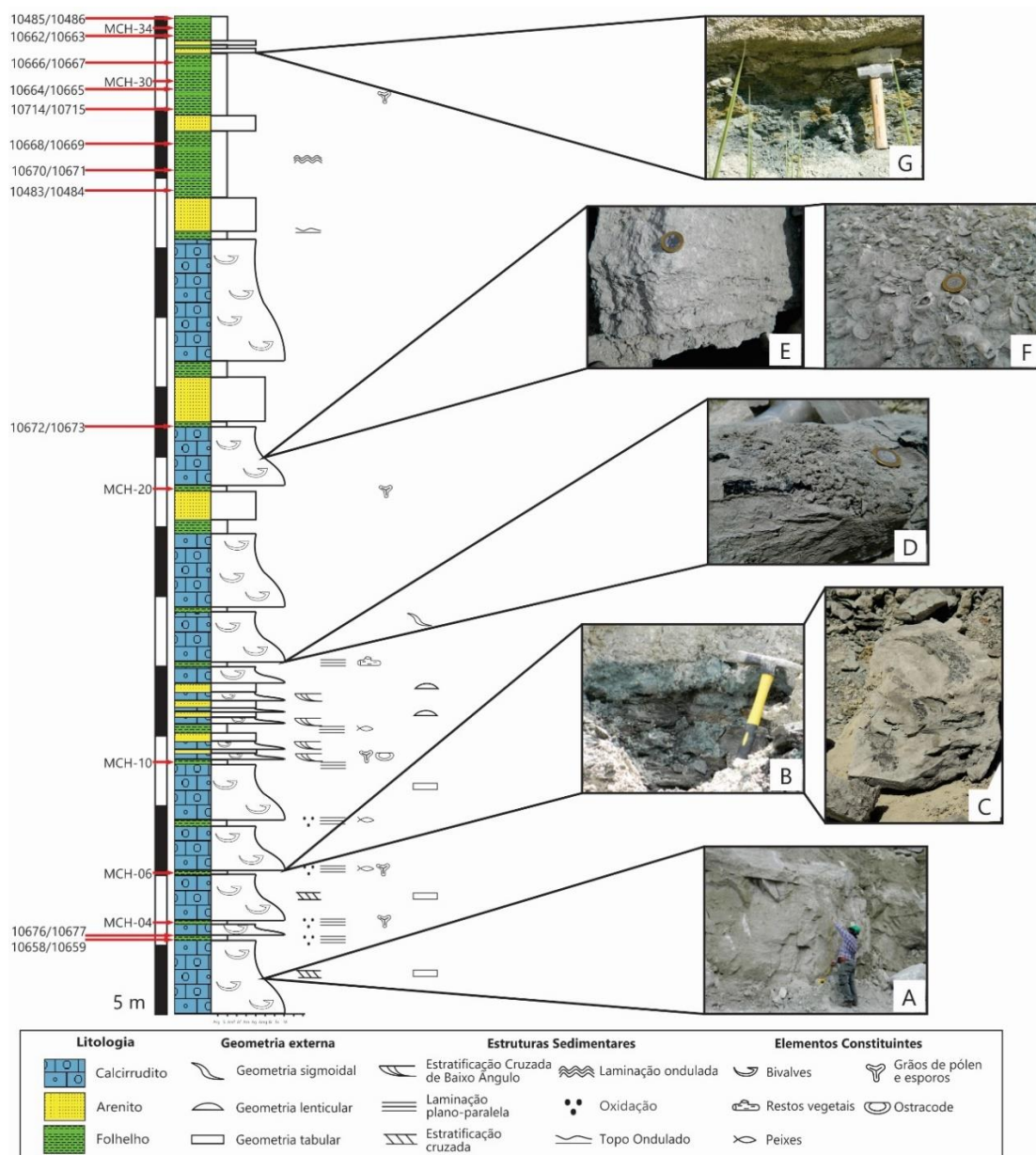


Figura 12 - Perfil estratigráfico simplificado da Formação Morro do Chaves com a localização dos pontos de coletas de folhelhos para preparação palinológica, destacando as litologias: A) Camada de coquinas da base da pedraira InterCement; B e C) Folhelho alterado, com destaque para os fósseis de peixes; D) Camada de carvão; E e F) Camada de coquinas mais grosseira com fraca remobilização; G) Contato do folhelho com o arenito com ripples (modificado de Garcia, 2012).

4.1.2. Formação Morro do Chaves: registo fóssil e implicações paleoambientais

O registo fóssil da Formação Morro do Chaves foi e continua a ser foco de interesse por parte de muitos investigadores, em particular no que se refere ao valor paleoambiental das associações registadas. Nogueira et al. (2003) descreveram as rochas coquinóides, formadas por moluscos bivalves (calcirruditos), as quais constituem o principal pacote sedimentar da secção aflorante na Pedreira InterCement.

Nos depósitos da Formação Morro do Chaves, Gallo et al. (2009a) registaram a ocorrência de tartarugas pertencentes à Família Bothremydidae (Ordem Testudines). Gallo (2009) e Gallo et al. (2009b, 2010) relataram a ocorrência de peixes dos grupos Mawsoniidae (Sarcopterygii, Actinistia) e Enchodontidae, sugerindo influência marinha durante a deposição dos sedimentos do Morro do Chaves. Motta & Malabarba (2011) também relataram a ocorrência de restos de Pterossauros. Capalessio & Malabarba (2012) reconheceram a ocorrência de um dente pertencente a um terópode, provavelmente do grupo Miniraptora. Ferreira & Langer (2013) e Romano et al. (2014) identificaram novos registos de tartarugas, classificadas como *Atolcheylys lepida*.

Thompson (2013) considera que as coquinas da Formação Morro do Chaves contêm uma diversidade de moluscos reconhecidamente marinhos, relacionados com ambientes de água salobra, o que sugere incursões marinhas periódicas durante o Cretácico Inferior na área, tal como proposto também por Chaboureau et al. (2013). O registo de microfósseis marinhos foi relatado por Távora et al. (2013), que se referem a associações com baixa diversidade, incluindo foraminíferos (*Cibicides*, *Ammonia*), ostracodos (*Cypridea*, *Darwinula*), espinhos de poríferos, restos de briozoários e um microbivalve reconhecido nos níveis de folhelho da pedreira InterCement.

As coquinas da Formação Morro do Chaves são compostas essencialmente por bioclastos de moluscos bivalves das famílias Crassatellidae (Infraclasse Archiheterodonta), Veneridae e Tellinidae (Infraclasse Euheterodonta), Verticordiidae e Trapezidae (Infraclasse Euheterodonta), para além do género *Tellina* da família Tellinidae (Santos et al., 2017). Estes autores apontam todos os espécimes identificados como sendo de ambiente exclusivamente marinho, de hábitos infaunais, alimentando-se de matéria orgânica em suspensão

(Crassatellidae e Veneridae) e de detritos depositados sobre o sedimento (*Tellina*).

O contexto paleoambiental e paleogeográfico, no qual os sedimentos que integram a Formação Morro do Chaves se terão depositado, tem sido objeto de intensa controvérsia entre os especialistas. O modelo deposicional é tradicionalmente relacionado com uma sedimentação lacustre, em contexto de rifte, onde leques aluviais terrígenos coalescentes avançam interagindo com a sedimentação lacustre e carbonatada (Azambuja Filho et al., 1998; Garcia et al., 2010a). No entanto, Garcia et al. (op. cit.) destacam a complexidade e a heterogeneidade dos depósitos de coquinas da Formação Morro do Chaves, que consideram apresentar uma história diagenética complexa. As fácies reconhecidas na unidade remetem para a existência de um grande lago que, durante períodos de descida do nível de base, se segmentaria em pequenos lagos profundos e isolados, com restrição de circulação de suas águas, nos quais ocorreria a deposição de folhelhos ricos em matéria orgânica (Fig. 13).

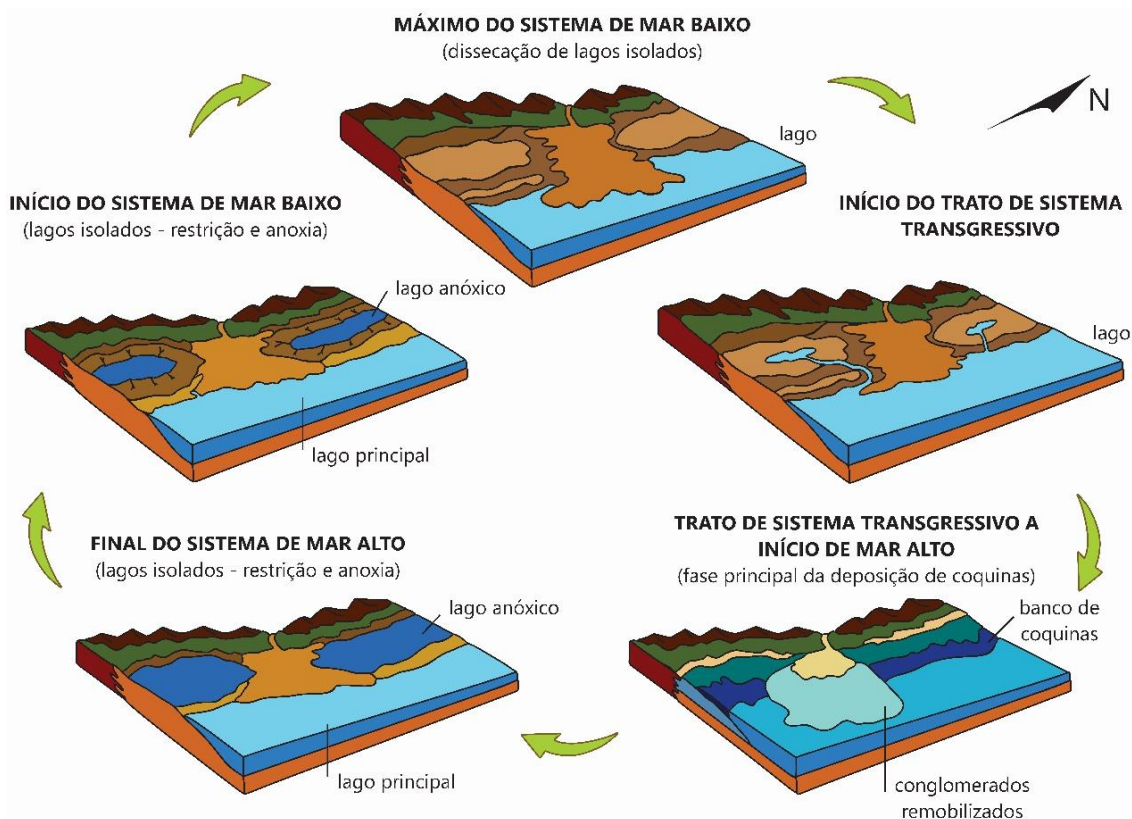


Figura 13 - Modelo evolutivo da deposição dos carbonatos da Formação Morro do Chaves (modificado de Azambuja Filho et al., 1998; modificado de Garcia et al., 2015b). Utiliza-se aqui uma terminologia de tratos de sistemas marinhos, adaptado ao contexto lacustre, atribuído à unidade pelos autores da figura original.

Entretanto, novas evidências sugerem a forte possibilidade de influência marinha nesta sedimentação (Garcia, 2012; Garcia et al., 2013; Garcia 2016). Tal já havia sido previamente reconhecido por Azevedo (2004) e Arai (2009), que defendem a influência de uma corrente marinha proveniente de norte nos depósitos situados a norte da Bacia Sergipe-Alagoas, região onde afloram os registos mais bem expostos da Formação Morro do Chaves, amostrados para o presente estudo.

Assim sendo, pode afirmar-se que os sedimentos da Formação Morro do Chaves se depositaram em ambiente subaquático, onde a intercalação de sedimentos siliciclásticos terrígenos (arenitos e conglomerados), de forma cíclica e controlada pelas condições tectónicas e/ou climáticas da bacia, promoviam um raseamento relativo do nível de base, favorecendo a deposição de sedimentos carbonatados bioclásticos (coquinas). Este material bioclástico remobilizado de forma mais ou menos intensa concentrou-se em lentes calcarenosas e calcirrudíticas, que se intercalam em litologias finas síltico-argilosas (e margosas) que se acumulavam em posições relativamente mais profundas do corpo de água, onde dominavam condições redutoras (Garcia, 2016).

Os dados paleontológicos e sedimentológicos, incluídos em muitas outras publicações com disseminação restrita entre a comunidade científica, podem ser integrados nesta discussão, contribuindo, assim, para uma melhor compreensão do cenário deposicional detalhado das coquinas do Barremiano superior da Bacia de Sergipe-Alagoas. A maioria dos trabalhos sugere a existência de inundações marinhas bruscas e breves no setor norte da Bacia de Sergipe-Alagoas durante o Cretácico Inferior (Chaboureau et al., 2013; Garcia et al., 2013; Garcia et al., 2015b), embora os seus autores não refiram com precisão o enquadramento estratigráfico a que se referem as conclusões neles obtidas.

4.1.3. Formação Morro do Chaves: registo palinológico e implicações paleoambientais e paleogeográficas

Estudos palinológicos conduzidos por Maffizzoni (2000) forneceram apenas matéria orgânica amorfa das intercalações de lamito da Formação Morro do Chaves, mas Antonioli et al. (2004, 2009) identificaram uma associação palinológica nos argilitos negros da unidade que inclui grãos de pólen de gimnospérmicas (*Classopollis*, *Equisetosporites*, *Araucariacites*, *Eucommiidites*, *Gnetaceaepollenites*, *Inaperturopollenites* e *Dicheiropollis*), associados a esporos (*Apiculatisporis*, *Aequitriradites*, *Cicatricosisporites*, *Verrucosisporites*,

Deltoidospora, *Leptolepidites* e *Concavisporites*), e também escassos espécimes de *Stelatopollis* e *Transitoripollis* (angiospérmicas?). Segundo esses autores, o registo palinológico permite atribuir à unidade uma idade Barremiano superior (estágio local Jiquiá inferior), mas não foi avançada nenhuma consideração paleoambiental, paleoecológica e/ou paleogeográfica.

As descrições e interpretações palinológicas e suas implicações paleoambientais e paleogeográficas trabalhadas pelo autor desta tese, estão publicadas e constituem parte complementar para a compreensão das considerações apresentadas aqui apresentadas (disponível online em revista indexada). A informação detalhada relativa ao referido trabalho está contida no Anexo A.

- GARCIA, G. G., GARCIA, A. J. V. & HENRIQUES, M. H. (2018) – “The palynological record of the Morro do Chaves Formation (Early Cretaceous of Sergipe Alagoas Basin, Northeastern Brazil): paleogeographical implications for the South Atlantic opening”, *Cretaceous Research*, 90, pp. 7-20 [DOI: 10.1016/j.cretres.2018.03.029].

Acessível em:

https://www.researchgate.net/publication/324210257_Palynology_of_the_Morro_do_Chaves_Formation_Lower_Cretaceous_Sergipe_Alagoas_Basin_NE_Brazil_Paleoenvironmental_implications_for_the_early_history_of_the_South_Atlantic

No trabalho publicado por Garcia et al. (2018), que decorre do desenvolvimento desta tese de doutoramento, apresenta-se um perfil estratigráfico composto da Formação Morro do Chaves, baseado em cinco secções amostradas (um perfil de afloramento e quatro perfis de poços) (Fig. 14), que permitiu o reconhecimento de oito palinofácies diferentes (Fig. 15), segundo Batten (1996). Nele descreve-se detalhadamente o registo palinológico dos níveis de folhelho da formação caracterizados a partir da análise de 17 amostras coletadas ao longo de 63,0 m de uma secção vertical na pedreira InterCement, e de 28 amostras de quatro poços localizados nas suas imediações. Das 45 amostras processadas, 21 forneceram um total de 2.250 espécimes de

palinórfos, a maioria dos quais se apresenta mal preservada (85%), tendo sido identificados um total de 260 espécimes (Anexo B).

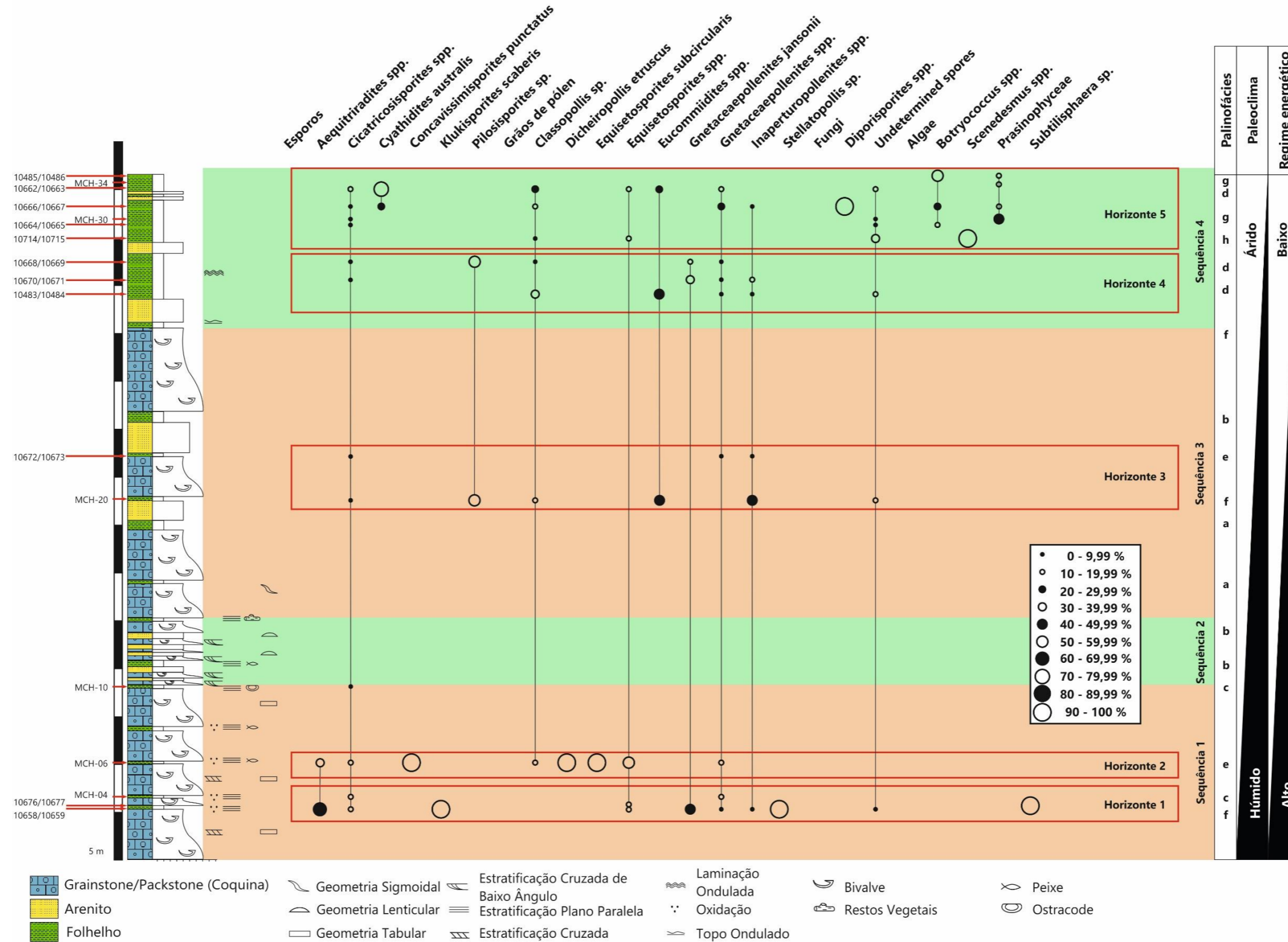


Figura 14 - Perfil litológico composto, posição estratigráfica das amostras estudadas e distribuição dos palinomorfos com abundâncias relativas (pontos pretos) para cada amostra. O perfil litológico é subdividido em quatro sequências e em cinco bio-horizontes, com destaque para as faixas paleoclimáticas, o regime energético e as palinofácies (modificado de Garcia et al., 2018).

Os palinomorfos identificados correspondem a 20 táxones: seis de esporos com afinidade natural nas divisões Bryophyta e Filicopsida; nove de grãos de pólen com afinidade natural em gimnospérmicas (Cheirolepidiaceae, Ephedraceae, Welwitschiaceae) e angiospérmicas; foram também reconhecidos elementos de algas (Prasinophyceae, Chlorophyceae) e esporos de fungos (Abbink et al., 2004). Os fitoclastos associados à matéria orgânica amorfa, apresentando alta fluorescência, são dominantes em todas as amostras estudadas. Os esporos pertencentes a *Cicatricosisporites* são igualmente dominantes, seguidos pelos grãos de pólen dos gêneros *Equisetosporites* e *Gnetaceapollenites*. A composição palinológica geral dos palinomorfos registados é caracterizada pela ocorrência de representantes pertencentes à Família Gnetopsida (*Equisetosporites* e *Gnetaceapollenites*), praticamente desconhecidos como fósseis, mas considerados próximos à linha ancestral das angiospérmicas, e interpretados como plantas lenhosas principalmente tropicais ou xerófitas. Ainda em toda a unidade, é possível recuperar representantes Cheirolepidiaceanos (*Classopolis* e *Inaperturopollenites*), considerados adaptados a condições subtropicais áridas (Alvin, 1982). A abundância e diversidade desta flora continental diminui ao longo de todo o registo estratigráfico estudado, enquanto as algas e matéria orgânica fluorescente aumentam, traduzindo uma variação ao longo do tempo entre um sistema lacustre-aluvial deltaico com clima quente e húmido, periodicamente sujeito a tempestades e incursões de águas marinhas, e um sistema sabkha aluvial-deltaico-lacustre quente e húmido, com águas salobras.

As palinofácies A e B estão relacionadas com a falta de matéria orgânica e a ocorrência de agregados de pirite. A palinofácies C é caracterizada pela abundância de fitoclastos opacos. As palinofácies D, E e F incluem diferentes padrões de matéria orgânica amorfa observados sob luz natural. A palinofácies G é constituída por matéria orgânica amorfa fluorescente, e a palinofácies H é composta por uma grande abundância de espécimes de *Scenedesmus* (Fig. 15).

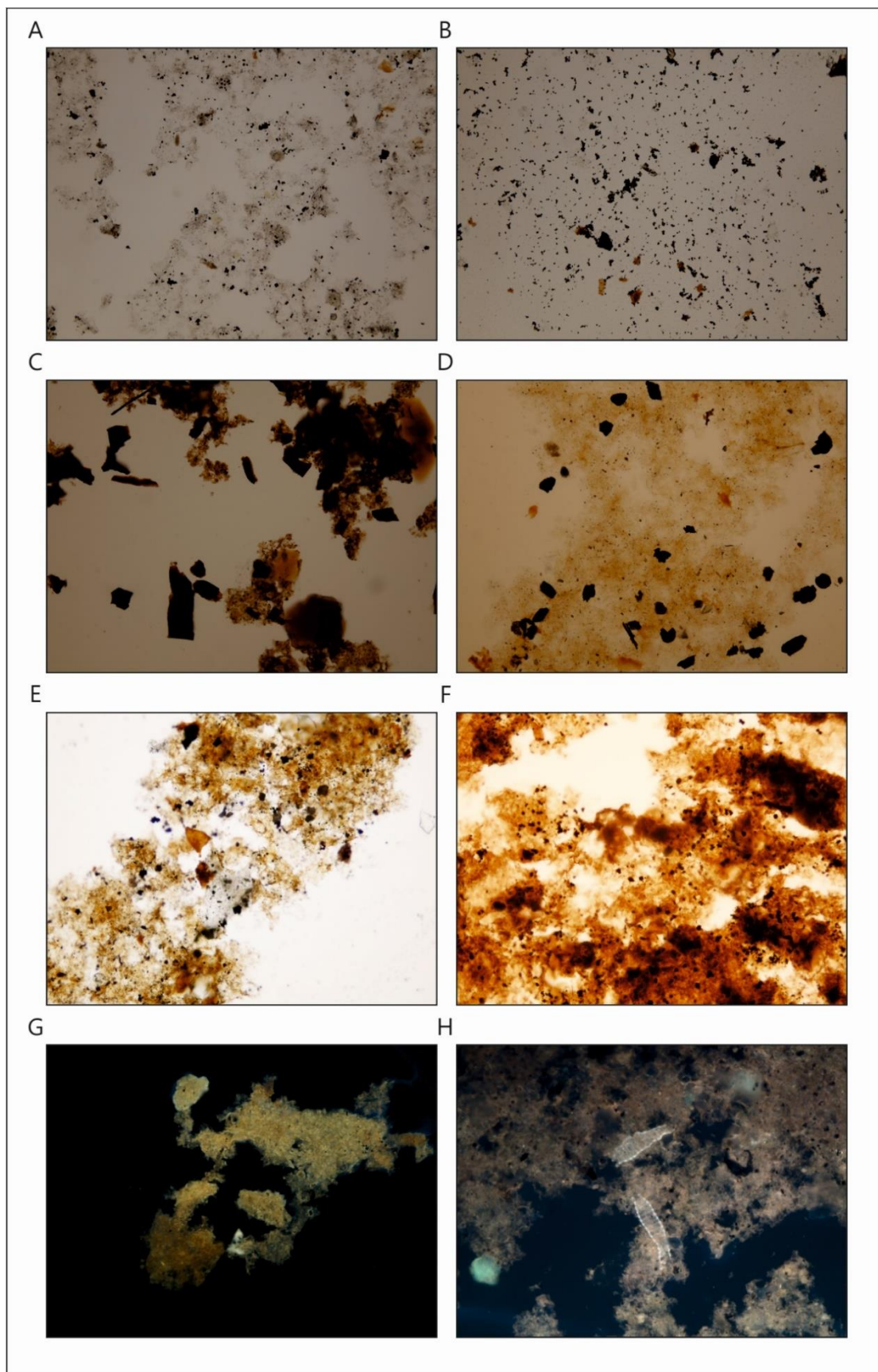


Figura 15 - Palinofácies reconhecidas na Formação Morro do Chaves: A) Ausência de matéria orgânica, baixa ocorrência de agregados de pirite e presença de cristais de pós-processamento da amostra; B) Ausência de matéria orgânica, elevada ocorrência de agregados de pirite e escassos fitoclastos; C) Baixa abundância de matéria orgânica amorfa, elevada abundância de fitoclastos opacos e escassos palinomorfos; D) Matéria orgânica amorfa fluorescente com contorno difuso, escassos palinomorfos e raros agregados de pirite; E) Elevada abundância de palinomorfos, matéria orgânica amorfa aglutinada de cor castanha clara e raros agregados de pirite; F) Grande quantidade de matéria orgânica amorfa densa de cor castanha escura, vários agregados de pirite e escassos palinomorfos; G) Matéria orgânica amorfa densa de alta fluorescência de contorno difuso e outros elementos fluorescentes; H) Baixa ocorrência de matéria orgânica amorfa densa fluorescente, elevada abundância de espécimes de *Scenedesmus* e vários agregados de pirite (modificado de Garcia et al., 2018).

Garcia et al. (2018) reconhecem para a Formação Morro do Chaves quatro sequências distintas que refletem diferentes ambientes deposicionais. Estas sequências foram definidas tendo em conta critérios sedimentológicos e palinológicos, nomeadamente o grau de recuperação do registo palinológico e as suas afinidades botânicas (Fig. 14).

- **Sequência aluvial-deltaica lacustre**

A primeira sequência do perfil tem 18,0 m de espessura e é composta por camadas com variações laterais granocrescentes de grainstone/packstone exibindo geometria tabular e estratificação cruzada. Esta sequência é caracterizada por depósitos de coquinas de cor branca a cinza (até 6,0 m de espessura), incluindo abundantes restos fósseis de conchas de bivalves distribuídos aleatoriamente, alternando com camadas de folhelhos cinza a preto (até 0,20 m de espessura). De entre toda a amostragem realizada esta foi a sequência que proporcionou a melhor recuperação palinológica, a saber:

- no poço IC-2, com 225,55 m de comprimento, que forneceu no nível 10676/10677 (profundidade de 194,0 m) vários exemplares de *Equisetosporites*, e um único exemplar de *Subtilisphaera*,

- no poço IC-4, que tem 118,98 m de comprimento, apenas o nível basal 10658/10659 (101,64 m de profundidade), que apresentou boa recuperação palinológica, fornecendo espécimes de *Aequitriradites*, *Cicatricosisporites*, *Klukisporites*, *Equisetosporites*, *Gnetaceaepollenites*, *Inaperturopollenites*, *Stellatopollis* e esporos de fungos indeterminados;

- e no afloramento da pedreira, com aproximadamente 75,0 m de espessura, onde a recuperação foi possível para o nível mais basal (camada MCH-04, 6,62 m), que forneceu exemplares dos géneros *Cicatricosisporites* e *Gnetaceaepollenites*, para a camada MCH-06 (10,2 m), que proporcionou a maior diversidade de associações (*Aequitriradites*, *Cicatricosisporites*, *Concavissimisporites*, *Classopolis*, *Dicheiropollis*, *Equisetosporites* e *Gnetaceaepollenites*); e para a camada MCH-10 (17,8 m), que forneceu uma associação incluindo exemplares do género *Cicatricosisporites*.

Do ponto de vista bioestratigráfico, podem ser reconhecidos nesta sequência dois bio-horizontes: o primeiro, que se caracteriza pela ocorrência de uma associação que inclui *Klukisporites scaberis* e representantes dos géneros *Stellatopollis* e *Subtilisphaera*; o segundo, que é caracterizado pela primeira

ocorrência de representantes do gênero *Classopolis* associada à ocorrência única, até o momento, de vários exemplares de *Concavissimisporites punctatus*, *Dicheiropollis etruscus* e *Equisetosporites subcircularis*. A ocorrência de *Dicheiropollis etruscus*, reconhecida na camada MCH-06 do afloramento da pedra, permite atribuir este horizonte ao Barremiano superior.

Do ponto de vista paleoecológico, esta sequência é dominada pela palinofácies C, com fitoclastos abundantes que refletem forte influência continental. Nela foram reconhecidos palinomorfos com afinidades próximas de Bryophyta (*Aequitriradites*), consideradas as primeiras plantas terrestres, que preferem ambientes húmidos e sombrios, e agem como incubadoras para outras plantas em processos de sucessão e regeneração (Raven et al. 1996). Além disso, também se identificaram espécimes de *Dicheiropollis etruscus*, da Divisão Coniferophyta - Cheirolepidiaceae, um grupo considerado adaptado às condições subtropicais quentes e secas (Trevisan, 1971; Alvin, 1982; Dettmann & Clifford, 1992; Anderson et al., 2007), e de *Equisetosporites subcircularis*, incluída na classe Ephedraceae, cuja maioria dos representantes cresce nas margens ou em solos arenosos com exposição direta ao sol, estando relacionados com clima temperado (Kramer & Green, 1990). A Família Schizaeaceae apresenta abundantes registros nesta sequência, sendo representada por três espécies (*Cicatricosisporites* spp., *Concavissimisporites punctatus* e *Klukisporites scaberis*, estando as duas últimas apenas presentes nesta sequência do perfil). A Família Schizaeaceae está distribuída principalmente nos trópicos, mas várias espécies podem ser encontradas em zonas temperadas. Espécimes de *Stellatopollis* (Divisão das Magnoliophyta ou Angiospermae), que também ocorrem nesta sequência, estão geralmente relacionados com ambientes fluviais e lacustres (Prámparo, 1990; Arcucci et al., 2015). É importante destacar a ocorrência de Dinoflagellata, flagelado protista adaptado principalmente a ambientes marinhos (Cavalier-Smith & Chao, 2004).

Assim, em termos gerais, a sequência basal da Formação Morro do Chaves pode ser interpretada como característica de um ambiente deposicional lacustre aluvial-deltaico, possivelmente sujeito a incursões marinhas episódicas, e localizada em zona tropical temperada, com clima quente e húmido, sujeito a tempestades periódicas.

- **Sequência de transição de alta energia**

A segunda sequência do perfil tem 7,0 m de espessura e apresenta geometria lenticular e estratificação cruzada de baixo ângulo. É representada por uma alternância de camadas de coquinas incluindo abundantes restos fósseis de bivalves distribuídas aleatoriamente, camadas de folhelhos e camadas de arenito. Os níveis de coquinas são mais finos do que os descritos na sequência anterior e os folhelhos apresentam coloração verde com níveis avermelhados, em decorrência da oxidação, que pode ter impedido a preservação da matéria orgânica. Nenhuma recuperação foi alcançada nos folhelhos amostrados das amostras dos poços e do afloramento, tal como a palinofácies B evidencia (Fig. 15).

- **Sequência de transição de baixa energia**

A terceira sequência tem aproximadamente 33,0 m de espessura. É composta por depósitos de coquinas espessas de coloração branca a cinzenta de grainstone/packstone, incluindo abundantes restos de fósseis de bivalves com distribuição planar, intercaladas com arenitos e camadas cada vez mais espessas de folhelhos verdes, que já atingem os 0,80 m de espessura no topo da sequência. Nesta sequência reconhecem-se vários níveis com boa recuperação palinológica, a saber:

- no poço IC-2 no nível de profundidade de 106,0 m (10672/10673), que forneceu espécimes de *Cicatricosporites*, *Gnetaceaepollenites* e *Inaperturopollenites*,

- na amostra da pedreira da camada MCH-20 (34,7 m), na qual foram reconhecidos cinco gêneros (*Cicatricosporites*, *Pilosisporites*, *Classopolis*, *Eucommiidites* e *Inaperturopollenites*), associados a esporos de fungos indeterminados.

Do ponto de vista bioestratigráfico, foi possível reconhecer um bio-horizonte nesta sequência, caracterizado pela primeira ocorrência de representantes dos gêneros *Pilosisporites* e *Eucommiidites*.

Do ponto de vista paleoecológico, esta sequência representa uma transição gradual das palinofácies A e B com baixa recuperação orgânica, e para as palinofácies E e F com boa recuperação orgânica. Ainda ocorrem

representantes de Gnetopsida (*Gnetaceaepollenites*), Cheirolepidiacean (*Classopolis* e *Inaperturopollenites*) e Schizaeaceae (*Cicatricosisporites*). Além disso, esta sequência regista *Pilosisporites*, representando as Filicopsida, mundialmente relacionadas com clima tropical, e outro espécime de Cheirolepidiacean (*Eucommiidites*).

- **Sequência aluvial-deltaica lacustre sabkha**

A última sequência traduz uma mudança deposicional acentuada. É composta por folhelhos espessos verdes a castanhos (até 6,0 m de espessura) intercalados com níveis de arenito apresentando laminação ondulada com topos ondulados e fendas de dessecação no topo lamoso, o que sugere episódios de baixa energia e aumento do nível de base. Esta sequência forneceu vários níveis com ótima recuperação palinológica, a saber:

- no poço IC-1 (96,14 m de comprimento), que apresenta dois níveis com palinomorfos identificáveis: na profundidade de 34,5 m (10483/10484), com espécimes de *Classopolis*, *Eucommiidites*, *Gnetaceaepollenites*, *Inaperturopollenites* e esporos de fungos indeterminados; e a 79,82 m de profundidade (10485/10486), onde foram recuperados apenas espécimes do género *Botryococcus* e do grupo Prasinophyceae;

- no poço IC-2 no nível superior 10662/10663 (a 22,6 m de profundidade), onde foram reconhecidos seis géneros (*Cicatricosisporites*, *Cyathidites*, *Classopolis*, *Equisetosporites*, *Eucommiidites* e *Gnetaceaepollenites*, além de esporos de fungos indeterminados); no nível com 27,6 m de profundidade (10666/10667), onde foram identificados sete géneros (*Cicatricosisporites*, *Cyathidites*, *Classopolis*, *Gnetaceaepollenites*, *Inaperturopollenites*, *Diporisporites* e *Botryococcus*) além de espécimes do grupo Prasinophyceae; na profundidade de 28,1 m (10664/10665), que forneceu esporos de *Cicatricosisporites* e de *Botryococcus*, bem como fungos indeterminados; no nível de profundidade de 61,6 m (10668/10669), onde foram reconhecidos quatro géneros (*Cicatricosisporites*, *Pilosisporites*, *Classopolis* e *Gnetaceaepollenites*); e na profundidade de 71,6 m (10670/10671), onde foram identificados *Cicatricosisporites*, *Gnetaceaepollenites* e *Inaperturopollenites*;

- no poço IC-3, que tem 212,54 m de comprimento, reconhecem-se abundantes elementos de algas, bem preservados e atribuídos ao grupo *Scenedesmus*, que apresentaram preenchimento de pirite diagenética. No nível

superior 10714/10715 (38,7 m de profundidade) foram recuperados, além de *Classopolis* e *Equisetosporites*, esporos de fungos indeterminados; a associação da camada MCH-30 (63,2 m) do afloramento da pedra inclui *Cicatricosisporites*, algas Prasinophyceae e esporos de fungos indeterminados; finalmente, no nível superior do afloramento (camada MCH-34, 66,7 m) foi possível reconhecer a ocorrência de algas Prasinophyceae.

Do ponto de vista bioestratigráfico, nesta sequência podem ser reconhecidos dois bio-horizontes: o primeiro é caracterizado pela última ocorrência de *Pilosporites* e *Gnetaceaepollenites jansonii*; o segundo é caracterizado pela primeira ocorrência de *Botryococcus* e Prasinophyceae, e pelo apogeu de *Scenedesmus*. Nela também se registra a primeira ocorrência de um representante da família Cyatheaceae (*Cyathidites australis*).

Do ponto de vista paleoecológico, nesta sequência ainda estão presentes Gnetopsida (*Equisetosporites* e *Gnetaceaepollenites*), Cheirolepidiacean (*Classopolis* e *Inaperturopollenites*) e Schizaeaceae (*Cicatricosisporites*). Ocorrem elementos da família Cyatheaceae (*Cyathidites australis*), um grupo de samambaias principalmente terrestres, que inclui os mais altos fetos arbóreos conhecidos (até 20,0 m de altura). Essas samambaias podem ser encontradas nas florestas montanhosas e tropicais, com algumas espécies que se estendem para regiões temperadas (Large & Braggins, 2004; Korall & Pryer, 2014). Ocorrem igualmente algas pertencentes a Chlorophyceae e Prasinophyceae, que incluem exemplares que podem ser encontrados no solo, embora a maioria esteja relacionada com águas marinhas e doces (Guy-Ohlson, 1996). Podem ser igualmente encontradas em lagos e estuários oligotróficos temperados ou tropicais e florescem quando expostos a níveis elevados de fósforo inorgânico dissolvido (Christensen, 1994).

As palinofácies D, G e H podem ser reconhecidas apenas nesta última sequência da secção, representando, assim, uma fase de transição de águas doces (com as algas *Scenedesmus* ou a tartaruga Pelomedusoidea) para águas doces/salobras (com *Botryococcus* e Prasinophytes). As palinofácies G (matéria orgânica amorfa fluorescente) e H (grande abundância de *Scenedesmus*) reforçam a concepção de um sistema deposicional aluvial-deltaico-lacustre sabkha sujeito a clima quente e seco.

A história deposicional desta unidade é bastante complexa, sendo possível reconhecer a existência de diferentes ambientes deposicionais ao longo do tempo, desde um sistema aluvial-deltaico-lacustre, periodicamente sujeito a tempestades e incursões de águas marinhas, para um sistema aluvial-deltaico-lacustre sabkha, com águas doces/salgadas (Fig. 16).

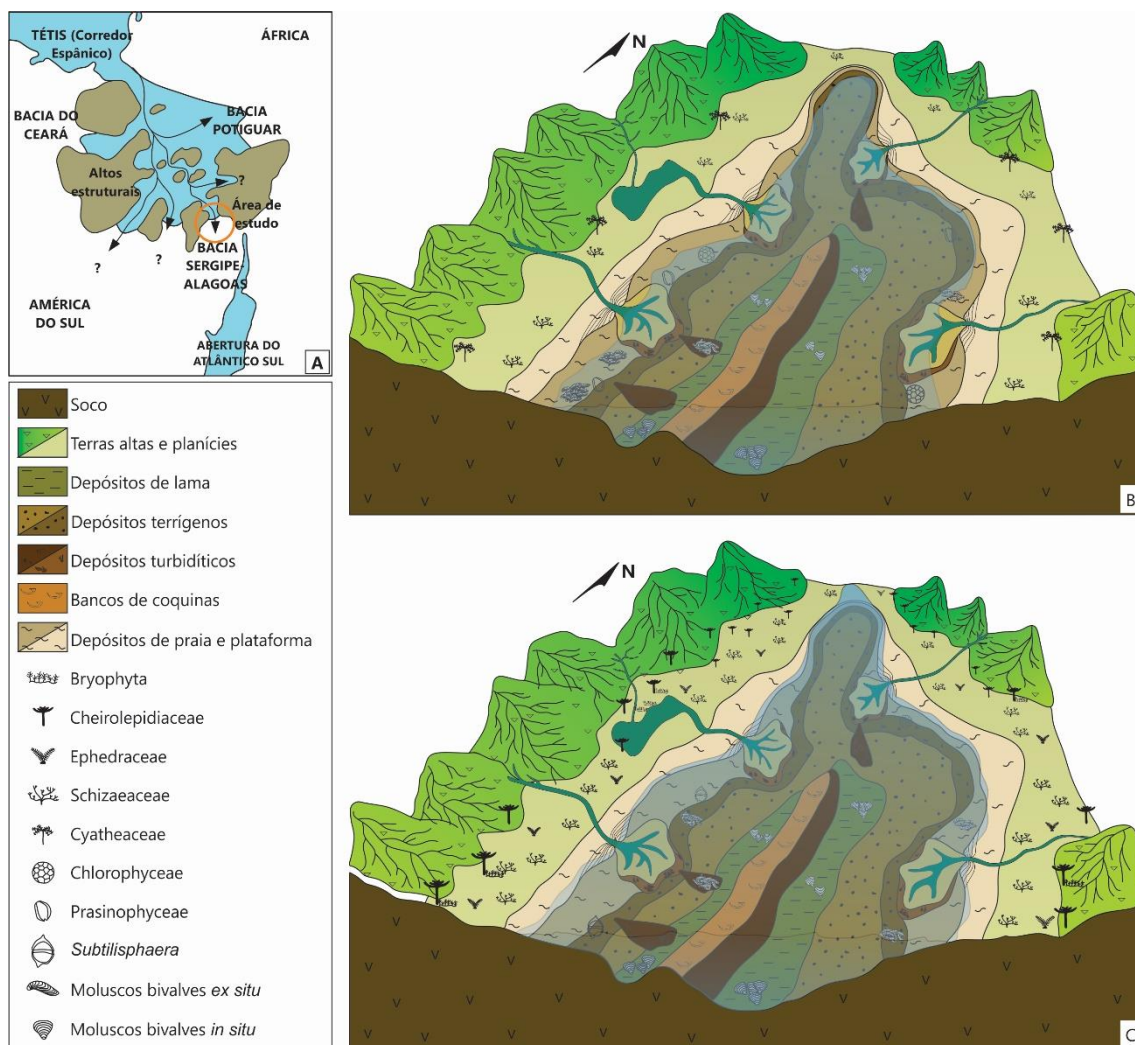


Figura 16 - Reconstrução paleogeográfica da área de estudo: A) Localização da área de estudo na Bacia de Sergipe-Alagoas; B) Esboço de interpretação detalhada representando o ambiente deposicional aluvial-deltaico-lacustre para a parte inferior da Formação Morro do Chaves; C) Esboço de interpretação detalhada representando o ambiente deposicional aluvial-deltaico-lacustre sabkha para a parte superior da Formação Morro do Chaves (modificado de Garcia et al., 2018; modificado de Garcia, 2012).

Na integração de dados paleontológicos realizada por Garcia et al. (2018), os autores defendem que as afinidades com águas tétisianas de *Subtilisphaera* e de tartarugas encontradas nos depósitos da Formação Morro do Chaves, contribuem para fundamentar um modelo paleogeográfico associado à separação do Gondwana e à abertura do Atlântico Sul durante o final do Barremiano, caracterizado por um sistema deposicional influenciado pela entrada esporádica de águas tétisianas em direção ao norte do continente sul-americano.

Na verdade, os mapas paleogeográficos apresentados por Torsvik & Cocks (2004) mostram que, entre 130 e 110 Ma, a conexão entre o Tétis e o Atlântico se

encontrava aberta. Tal facto pode ter permitido o acesso de águas oceânicas a partir de norte para o sul, ao longo da futura margem equatorial brasileira e em todas as áreas rebaixadas do continente localizadas no setor norte do Gondwana, resultando na incursão de águas do Tétis (*seaways*). Essa possibilidade de entrada de água do Tétis no Nordeste do Brasil já era avançada no trabalho de Golonka et al. (1994). Os trabalhos de Garcia (2012 e 2016), juntamente com a integração de outras informações paleontológicas (e.g., Ferreira & Langer, 2013; Thompson, 2013), apontam igualmente para a existência de ingressões marinhas provenientes de norte que se estenderam até ao setor norte da Bacia de Sergipe-Alagoas, podendo atingir os depósitos da Formação Morro do Chaves. Defende-se, assim, a presença de águas do Mar de Tétis/águas do Atlântico Central em baixos estruturais e topográficos da porção norte do continente sul-americano antes da rutura com o continente africano (Fig. 17).

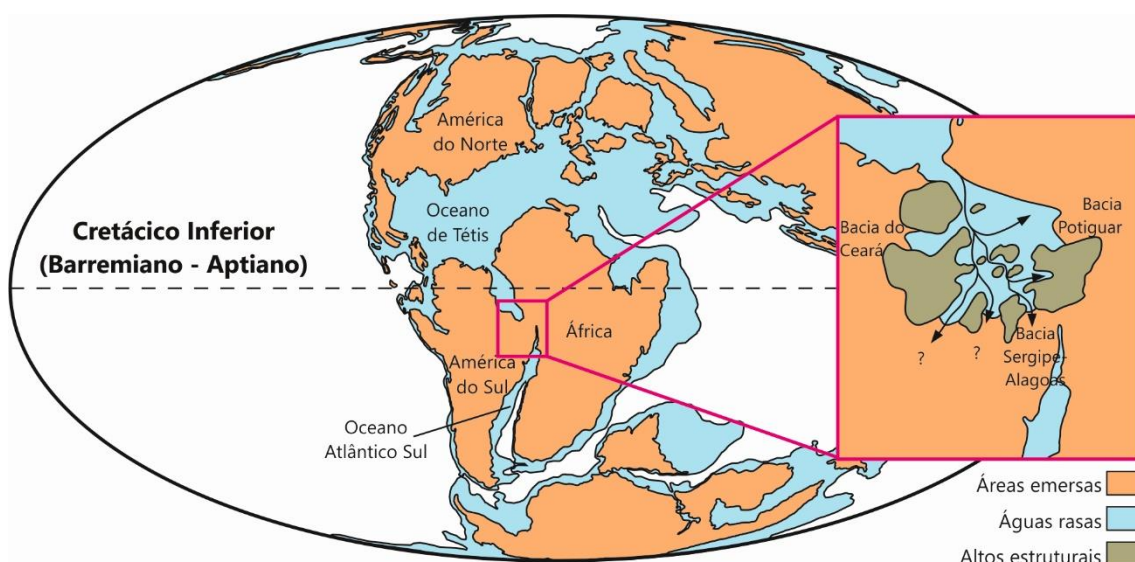


Figura 17 - Reconstrução paleogeográfica da área de estudo para o Cretáceo Inferior (modificado de Garcia et al., 2020).

Bacia Lusitânica 4.2.

A Bacia Lusitânica pertence à Margem Ocidental Ibérica e está relacionada com a rotura da Pangea e a formação tanto do Mar de Tétis quanto do Atlântico Norte (Garcia et al., 2010b) (Fig. 18). Corresponde a uma bacia distensiva, tendo-se iniciado o seu rifteamento no Triássico, embora a formação efetiva da sua crosta oceânica se tenha somente iniciado no Jurássico Superior (Ribeiro et al., 1979; Wilson, 1988; Wilson et al., 1989). A génese da bacia está relacionada com a abertura do Atlântico Norte durante o Mesozoico, que levou à formação da Margem Ocidental Ibérica e de crosta oceânica no Atlântico. Ao longo deste processo prolongado ocorreram episódios de inversão tectónica precoce, um breve episódio magmático contemporâneo do desenvolvimento da bacia e diapirismo (Kullberg et al., 2013).

IB - Ibéria

G - Grandes Bancos

AN - América do Norte

NM - Norte de Marrocos (Atlas)

OM - Oeste de Marrocos

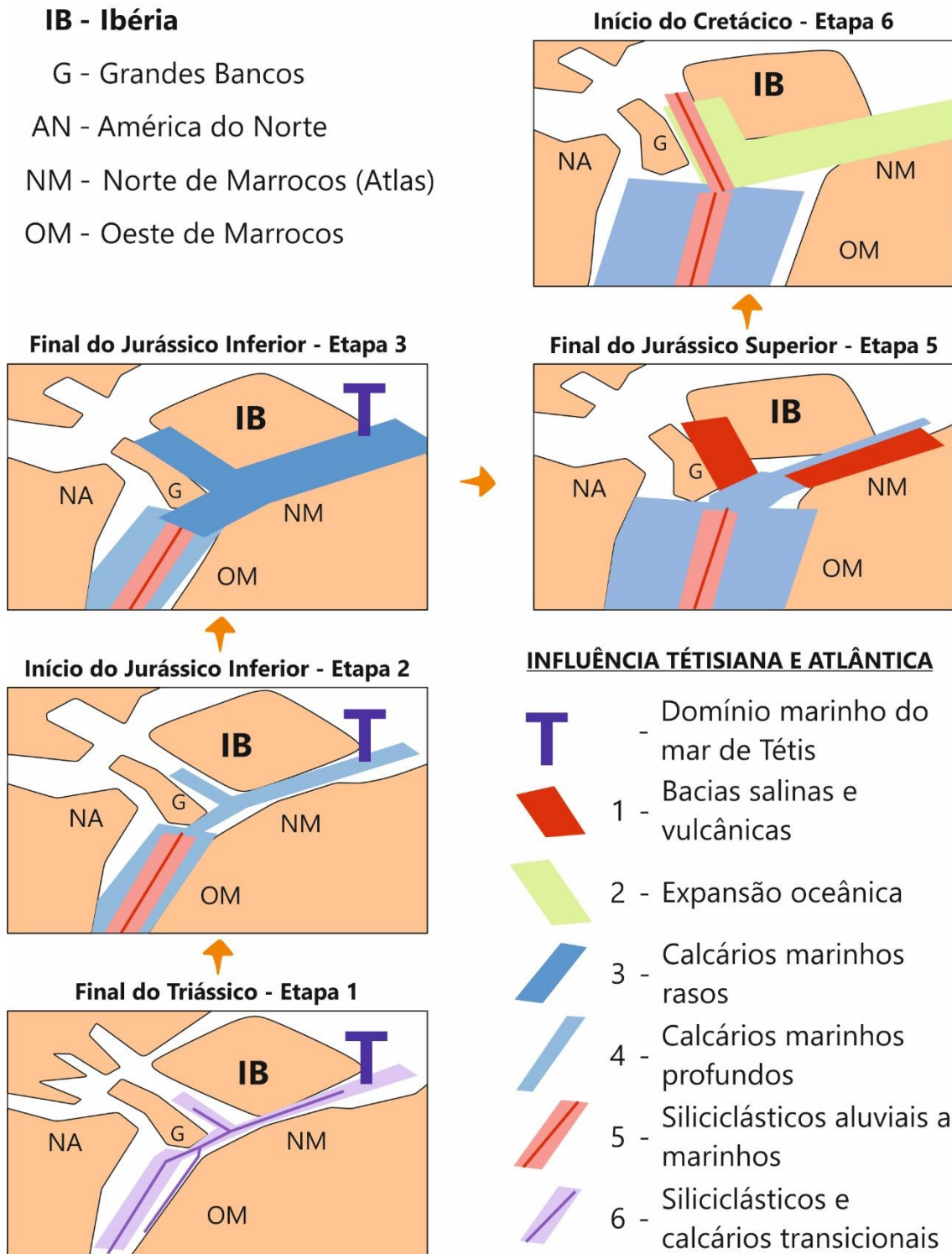


Figura 18 - Evolução geotectónica e regional, culminando no início do Jurássico Superior com a reestruturação da Bacia Lusitânica, com soerguimento de blocos, emersão, exposição e erosão, associada à reorganização geotectónica das placas americana, africana e ibérica. O acentuar da abertura atlântica, entre Marrocos e a América, coloca a Bacia Lusitânica alinhada com o Atlântico Central e introduz uma geodinâmica atlântica nesta bacia anteriormente tétisiana. A Bacia Lusitânica passa a estar aberta para SW, em ligação direta com o Atlântico e com um eixo depocêntrico NNE-SSW (modificado de Pena dos Reis et al., 2008a; modificado de Pena dos Reis et al., 2009; modificado de Garcia et al., 2010b).

A bacia tem uma extensão aproximada de 300,0 km com orientação NNW-SSE e cerca de 150,0 km de largura, sendo o seu preenchimento de cerca de 5,0 km (Ribeiro et al., 1979; Wilson, 1988). A porção norte e leste da bacia é delimitada por um sistema de falhas pertencentes ao Maciço Hespérico (Ribeiro et al., 1979). Na porção oeste é delimitada por falhas que controlam o alto estrutural das Berlengas (Soares & Rocha, 1984; Ribeiro et al., 1996; Kullberg, 2000). Aproximadamente 2/3 da bacia encontra-se *onshore* e o restante encontra-se *offshore*, na plataforma continental (Kullberg et al., 2013) (Fig. 19).

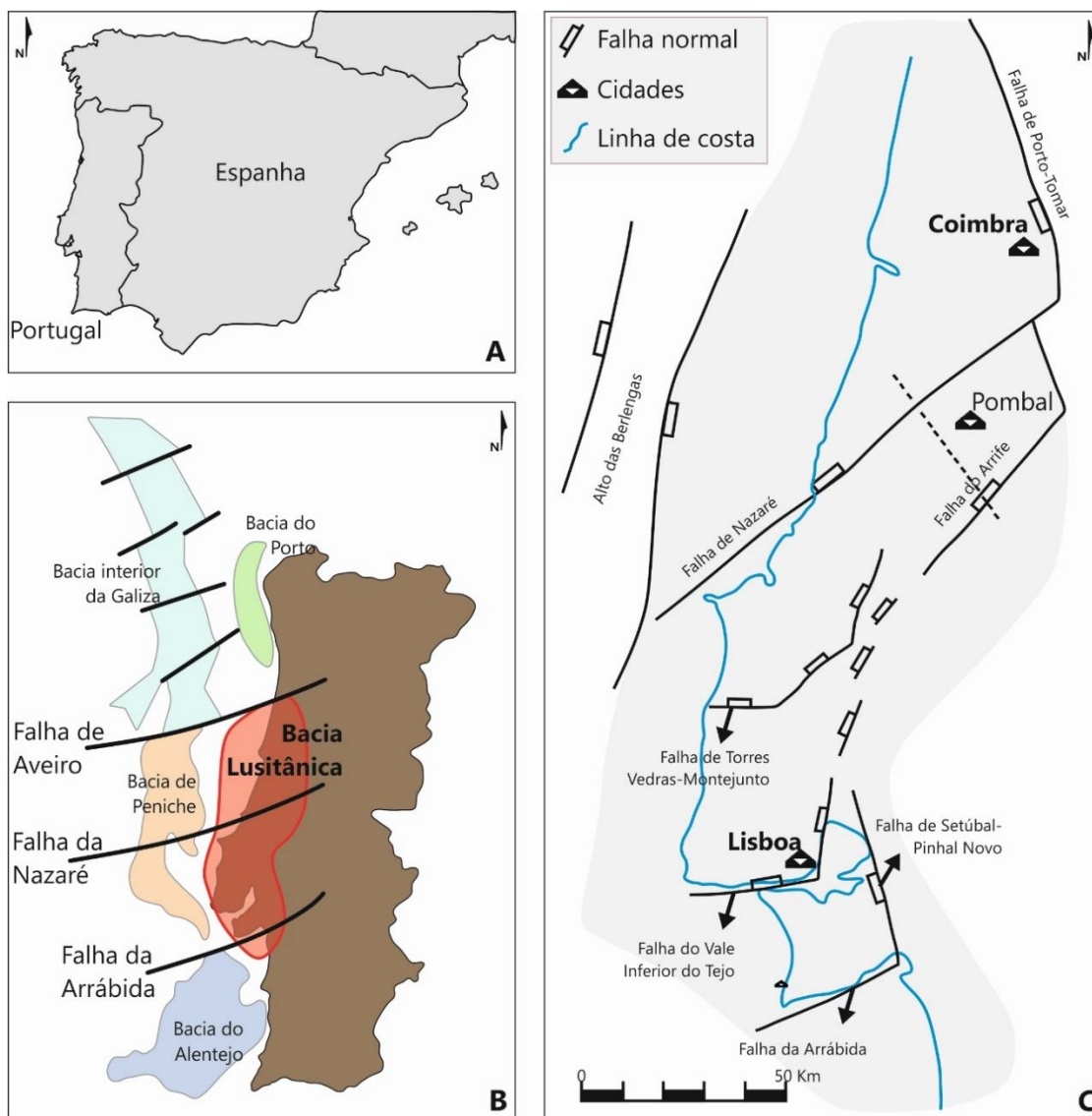


Figura 19 - A) Localização do território português na Península Ibérica; B) Enquadramento geográfico e tectónico da Bacia Lusitânica em relação às bacias adjacentes; C) Principais acidentes tectónicos da Bacia Lusitânica (modificado de Kullberg et al., 2006; modificado de Kullberg, 2000).

A caracterização estratigráfica da Bacia Lusitânica tem sido alvo de pesquisa desde o século XIX, com o trabalho pioneiro de Choffat (1885). Desde então, diversos autores propuseram unidades litoestratigráficas para caracterizar o seu registo mesozoico. No entanto, a análise da evolução da bacia à escala regional revela que, após o registo de um grande período de regressão durante o final do Jurássico Médio, se verifica uma transgressão de menor intensidade durante o Jurássico Superior (Teixeira & Gonçalves, 1980). Choffat (1885-1888) definiu a base do Jurássico Superior em Portugal como andar Lusitaniano, o que posteriormente foi atribuído ao Oxfordiano e Kimmeridgiano (Teixeira & Gonçalves, 1980).

O quadro estratigráfico proposto por Pena dos Reis et al. (2010) foi baseado essencialmente no reconhecimento de grandes descontinidades regionais com significado geodinâmico (Sequências de 1.^a Ordem) e no reconhecimento de Superfícies de Inundação Máxima (SIM) e de Superfícies de Regressão Máxima (SRM) no registo litoestratigráfico (Sequências de 2.^a Ordem). Para os autores, a análise baseou-se nos conceitos de Sequência T-R (sensu Embry & Johannessen, 1993) e de Sequência Genética (sensu Galloway, 1989).

O registo sedimentar da Bacia Lusitânica corresponde ao intervalo entre o Triássico Superior e o Cretácico Superior (Fig. 20), com taxas de sedimentação bastante variáveis, sendo a sua maior expressividade representada pelos depósitos do Jurássico Superior (Pena dos Reis et al., 2010). A deposição e o enchimento da bacia com sedimentos estão correlacionados com a formação de um mar raso/epicontinental no início do Jurássico (Fürsich et al., 2009), condicionado a intensa atividade tectónica e ao diapirismo salino.

As grandes variações laterais e temporais de fácies resultam da complexidade estrutural da bacia (Pena dos Reis et al., 2010), o que dificulta o posicionamento estratigráfico das unidades estratigráficas reconhecidas, bem como a correlação lateral entre fácies geneticamente um pouco distintas, porém sin-deposicionais, o que é particularmente evidente no que respeita às unidades definidas para o Jurássico Superior da Bacia, nomeadamente para a Formação Amaral.

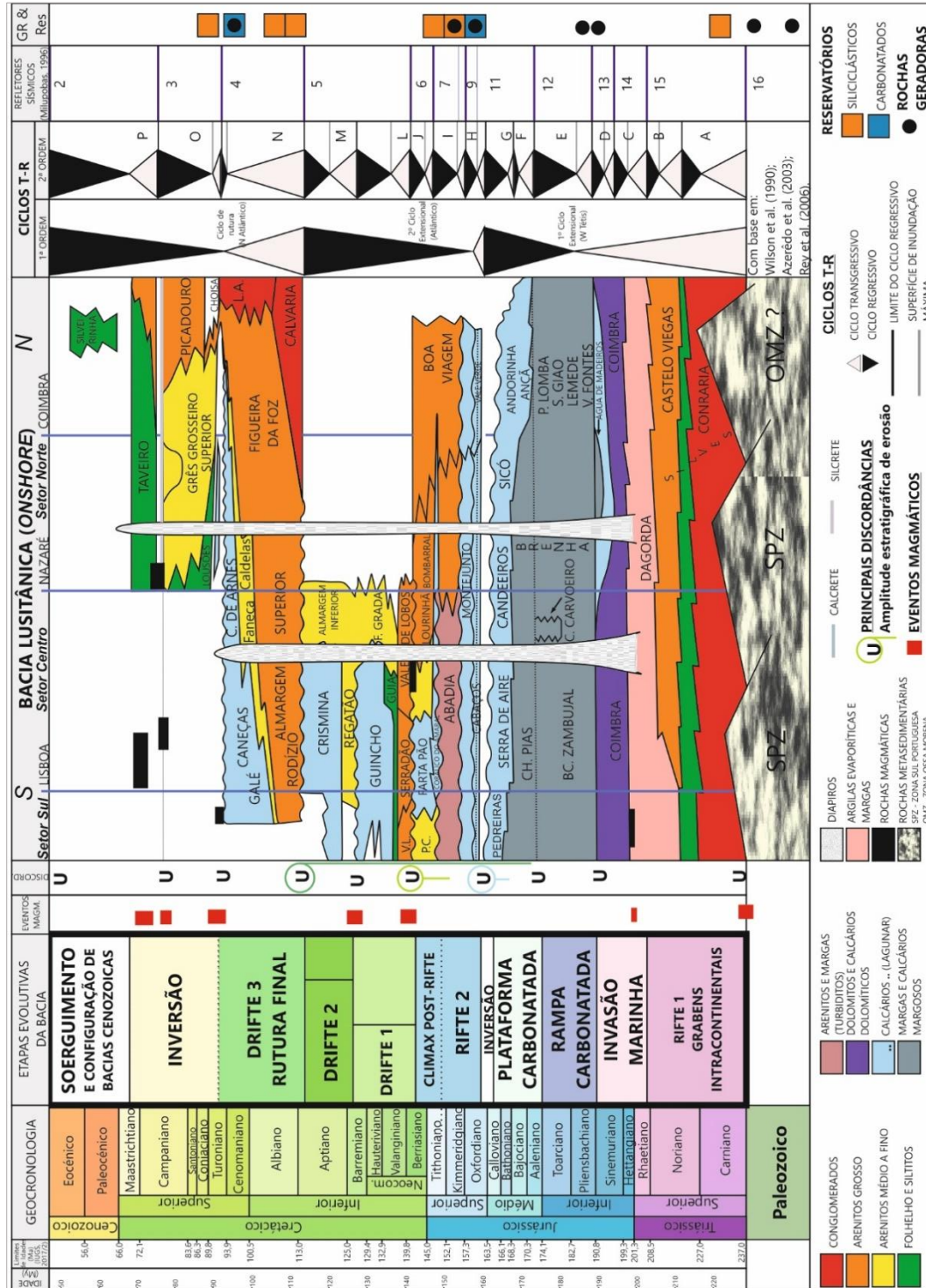


Figura 20 - Quadro litoestratigráfico da Bacia Lusitânica (modificado de Pena dos Reis et al., 2010).

4.2.1. Contexto geológico da Formação Amaral

Na segunda fase de rifte (Oxfordiano), a sul do alinhamento de Caldas da Rainha, a porção central da Bacia Lusitânica foi estruturalmente compartimentada em três sub-bacias: Arruda, Turcifal e Bombarral (Leinfelder, 1997) (Fig. 21), devido a basculamentos e a halocinese (Pena dos Reis et al., 2007). Estas três regiões foram controladas por falhas profundas que condicionaram a subsidência em cada uma delas (Falhas de Lourinhã e de Mafra). A norte desta região central, as condições de sedimentação marinha mantiveram-se rasas, representadas por uma alternância de sedimentos margosos, arenosos e carbonatados, configurando um ambiente lacustre a marinho profundo com registo fóssilífero expressivo (Kullberg et al., 2013); já a sul, tornaram-se gradativamente mais profundas, desenhando um grande golfo marinho.

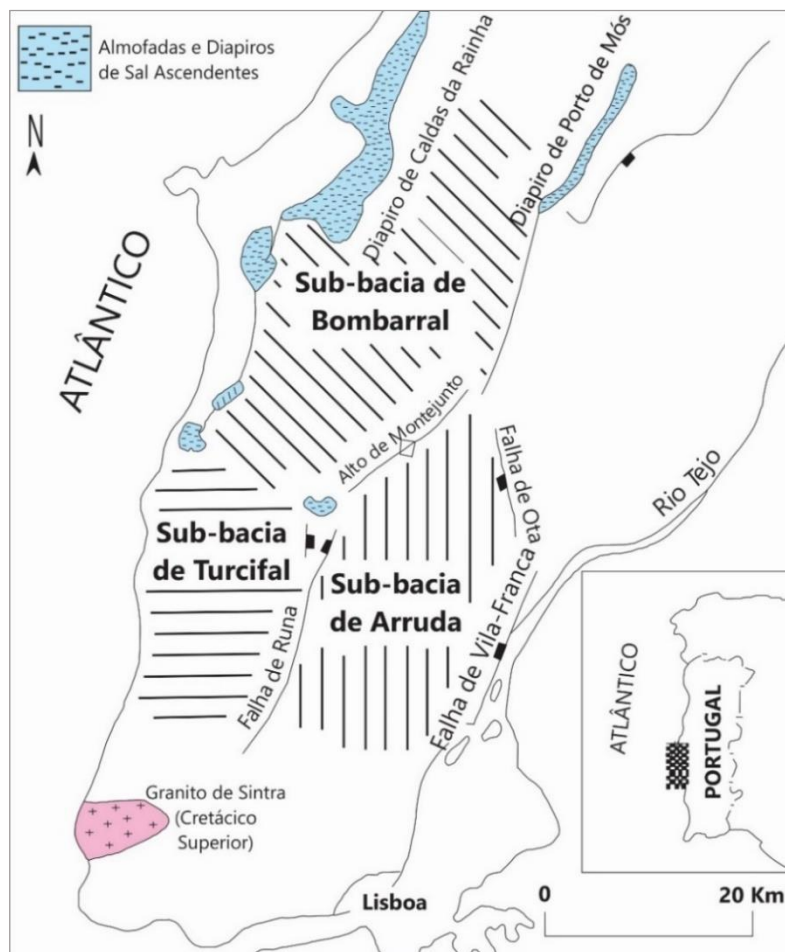


Figura 21 - Localização das Sub-Bacias de Arruda, Bombarral e Turcifal no setor central da Bacia Lusitânica no final do Jurássico (modificado de Leinfelder, 1997).

Durante o Kimmeridgiano regista-se uma sedimentação predominantemente terrígena nos setores proximais (Formações Boa Viagem e Alcobaça) e leques turbidíticos nos setores distais (Formação Abadia). No Kimmeridgiano superior (Tithoniano?) ocorre a deposição dos sedimentos carbonatados da Formação Amaral (Rocha et al., 1996). O posicionamento estratigráfico deste intervalo e as suas relações com as demais unidades do Jurássico Superior está representado em Pena dos Reis et al. (1993) (Fig 22).

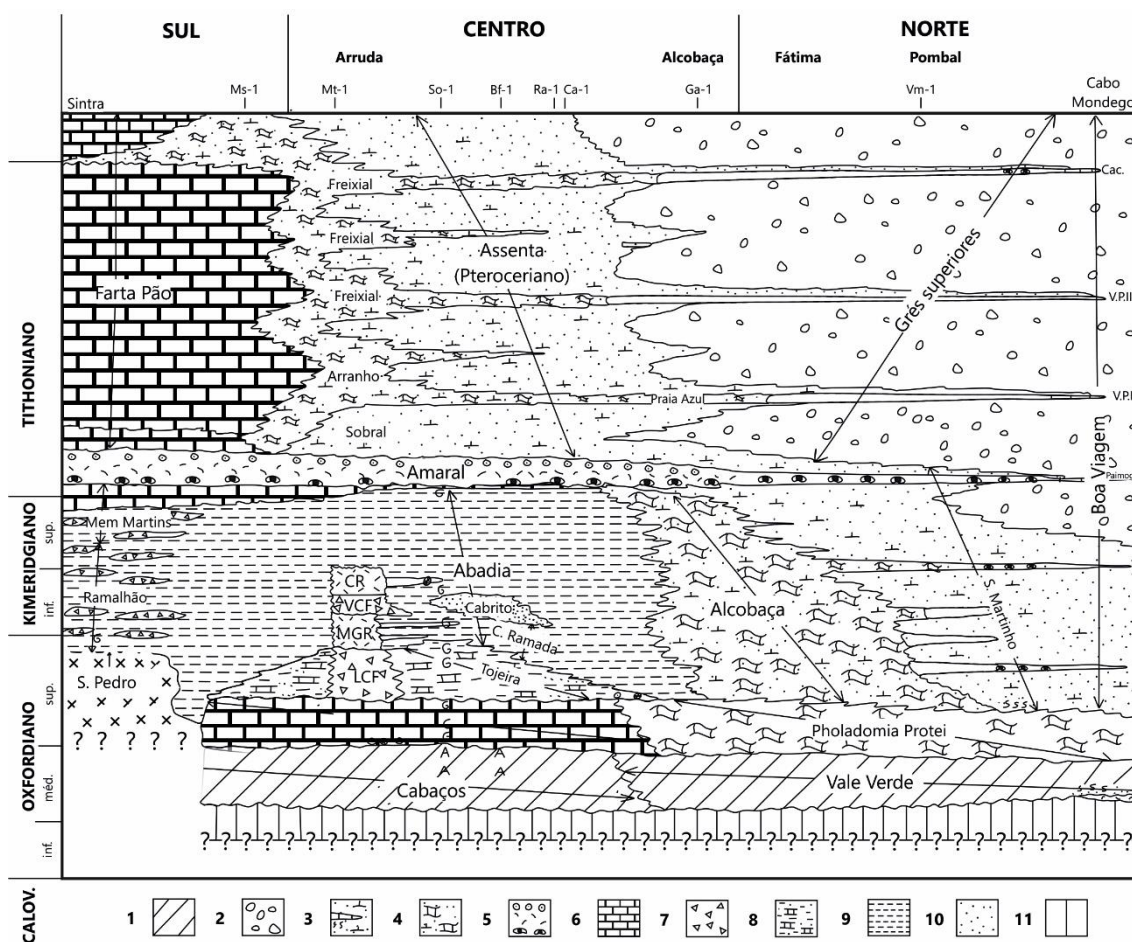


Figura 22 - Painel de correlação estratigráfica do Jurássico Superior da Bacia Lusitânica, expressa segundo uma secção esquemática norte-sul da parte "onshore". Legenda: 1) calcários predominantemente lacustres; 2) arenitos e argilas, fluviais e aluviais; 3) arenitos siliciclásticos e margas (de transição e marinho costeiro); 4) carbonatos e siliciclásticos de laguna; 5) calcários oncolíticos/coralígenos/oolíticos; 6) calcários micríticos de laguna pouco profunda; 7) brechas calcárias de talude; 8) calcários e margas marinhos; 9) margo-calcários e siltes marinhos profundos; 10) arenitos grosseiros siliciclásticos de sopé de talude; 11) provável hiato relativo à descontinuidade da base do Jurássico Superior (modificado de Pena dos Reis et al., 1993).

Pena dos Reis et al. (2000) referem que nos altos estruturais (e.g. Ota), os carbonatos da Formação Amaral, considerados como depósitos delgados de mar raso, foram associados a um evento transgressivo. Estes carbonatos recobrem os sedimentos de mar profundo da Formação Abadia que, deste modo, podem ser considerados como indicativos de uma diminuição significativa da batimetria.

Posteriormente, Pena dos Reis et al. (2008) referem-se a este intervalo de rápida subida do nível do mar, dando lugar a uma sedimentação marinha pouco profunda em direção ao continente, como fácies de barreiras oolíticas e recifais coquinóides localmente bioconstruídas (Formação Amaral). Esta sedimentação está em *onlap*, acompanhando a superfície transgressiva, sobre as áreas elevadas associadas aos alinhamentos diapíricos e aos *horsts* marginais. Sobre estas fácies carbonatadas ocorre a deposição dos sedimentos das formações de Sobral e de Lourinhã. Estas unidades afloram no setor setentrional da Bacia Lusitânica, podendo a sua idade variar lateralmente, alcançando o Tithoniano inferior (Kullberg et al., 2013).

No Tithoniano regista-se o desenvolvimento de sistemas deposicionais fluviais meadrantes e fluvio-deltaicos, com sedimentação de corpos arenosos canalizados intercalados com as fácies de lutitos vermelhos de planície de inundação da Formação Lourinhã (Pena dos Reis et al., 2010). A sedimentação varia lateralmente para os depósitos siliciclásticos de fácies costeiras arenosas da Formação Porto da Calada e carbonatadas da Formação Farta Pão (Hill, 1988; conforme Pena dos Reis et al., 2010).

Relativamente ao registo estratigráfico dos depósitos associados à Formação Amaral, verifica-se grande controvérsia entre os diversos autores, desde o trabalho pioneiro de Paul Choffat (1885). Este, ao estudar os afloramentos da região de Torres Vedras e Montejunto, definiu o andar Lusitaniano como sendo constituído, da base para o topo, por três intervalos: "Camadas de *Pholadomya protei*", "Camadas de Alcobaça" e "Camadas de *Lima alternicosta*".

Choffat (1885-1888) reconhece nas "Camadas de *Pholadomya protei*", sedimentos marinhos análogos aos do Oxfordiano. Desde modo, o autor, redefine o andar Lusitaniano como sendo constituído apenas pelas "Camadas de Alcobaça" e "Camadas de *Lima alternicosta*", de natureza marinha com "fauna sequaniana", salobra ou lacustre. Mais tarde, Choffat (1887) restringe o Lusitaniano aos "Calcários de Montejunto" e às "Margas da Abadia".

Choffat (1893a, 1893b) distingue, pela primeira vez, os sedimentos do topo do Lusitaniano, posicionando-os na parte superior das "Assise de Abadia", como

Corallien d'Amaral – Corálico do Amaral. Estes correspondem às “Camadas de *Lima alternicosta*”, previamente consideradas (Choffat, 1885).

Mais tarde, Choffat (1901) descreve o Corálico do Amaral como constituído por bancos contínuos de corais com 10,0 a 20,0 m de espessura, que se sobrepõem a níveis ricos em gastrópodes, bivalves e algas, e a margas. Acima do Corálico do Amaral, Choffat (op. cit.) define a “Camada *Lima pseudo-alternicosta*” como constituída por oólitos, gastrópodes e bivalves. Esta camada é considerada como um nível de passagem entre as “Assise de Abadia” e o “Ptéroceroiano” (Néio Jurássico). Choffat (op. cit.) considera de difícil distinção entre a “Camada *Lima pseudo-alternicosta*” e o Corálico do Amaral, por ambos apresentarem fácies oolíticas.

Ruget-Perrot (1961), ao trabalhar com as sequências estratigráficas do Jurássico Médio e Superior de Portugal, reconhece nas regiões a SW e S de Torres Vedras, de Varatojo, de Parafuja, da Serra de Vila e Engenheiro, na parte superior das margas de Abadia, calcários coralináceos formados por lentes de bancos contínuos com 10,0 m de espessura, que atribui ao Corálico do Amaral de Choffat (1893a, 1893b) (Fig. 23). Além disso, subdivide o Lusitaniano, para a região de Torres Vedras, em três intervalos: Camadas de Cabaços (300,0 m), Camadas de Montejunto (350,0 m) e Camadas de Abadia (800,0 m) (Quadro 1).

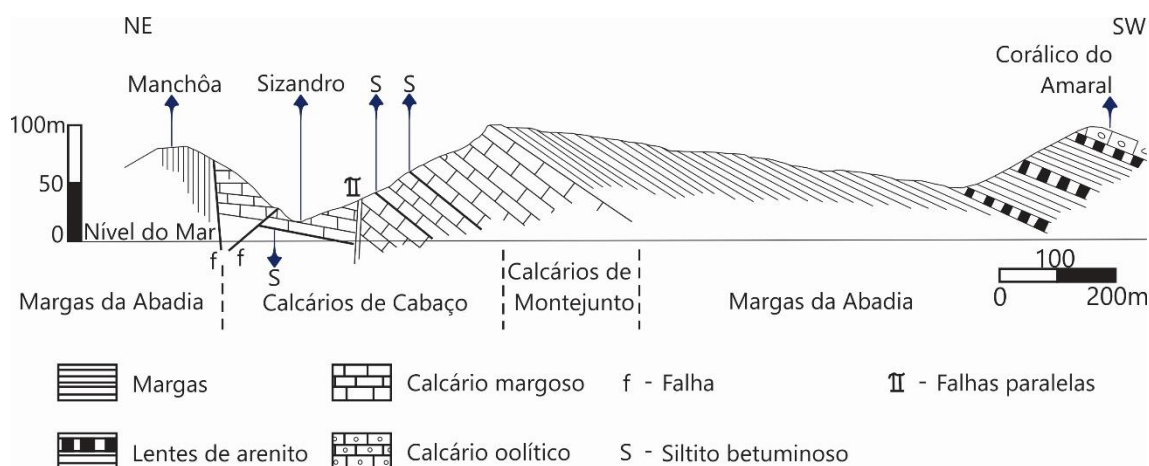


Figura 23 - Secção geológica (NE - SW) das “Camadas de Cabaços”, com destaque para o enquadramento estratigráfico do “Corálico do Amaral” (modificado de Ruget-Perrot, 1961; de acordo com Choffat, 1885-1888).

Quadro 1 - Quadro de síntese sobre o uso do termo "Lusitaniano" e suas divisões (conforme P. Choffat de 1885 a 1914; modificado de Ruget-Pertot, 1961).

1885a	1885b	1887	1893a	1893b	1901	1914
PTEROCERIANO (camadas marinhas ou lagunares)	PTEROCERIANO				NEO JURÁSSICO - "Freixialien = Potlandien?" - Pteroceriano - Camadas de <i>Lima pseudo-alternicosta</i>	NEO JURÁSSICO
LUSITANIANO Camadas de <i>Lima alternicosta</i> Camadas de Alcobça ("Rég, Moy.") Camadas de <i>Pholadomya profer</i> ("Hord")	LUSITANIANO camadas marinhas com "fauna sequaniana" ou salobra ou lacustre	Margas da Abadia	III - "Assise de Abadia" zona de <i>Am. tenuilobatus</i>	- Corálico do Amaral - "Assise de Abadia" (de natureza tenuilobaciana)	idem Xistos do Ramalhão em Sintra	idem Xistos do Ramalhão em Sintra
	Camadas marinhas análogas ao Oxfordiano	Calcário com amonite de Montejuento	Camadas de Montejuento (= zona de <i>Peltoceras bimammatum</i>) II - 1 - 2 - Subdivisões sem nome 3 - Camadas de Montejuento	4 3 2 1 3 - Horizonte de <i>P. tiziani</i> var. 2 - Camadas de Cefalópodes = (zona de <i>A. transversarius</i>) 1 - Calcário laminado = (zona de <i>A. cordatus</i>)	idem Camadas de Montejuento	idem Camadas de Cabaço Camadas de Cabaço
CALOVIANO SUPERIOR: zona de <i>Peltoceras athleta</i>						
OXFORDIANO						

Mais recentemente, Kullberg et al. (2006) descrevem os depósitos da Formação de Amaral (Rocha et al., 1996) (= Corálico do Amaral, Choffat, 1901) e referem-nos à parte superior das formações de Abadia e Alcobaça, no limite entre o Kimmeridgiano/Tithoniano e em contacto gradacional com ambas. Reconhecem, ainda, a contemporaneidade entre os depósitos das formações de Amaral e Abiul, que passam gradualmente a unidades terrígenas continentais (e.g. Formação de Lourinhã) (Fig. 24).

4.2.2. Contexto paleoambiental e paleogeográfico da Formação Amaral

Seifert (1963) considerou que as fácies calcárias do Corálico do Amaral e da "Camada *Lima pseudo-alternicosta*" correspondem ao topo das Camadas da Abadia (Choffat, 1901) e relacionam-se com águas rasas. Por outro lado, Ramalho (1971), seguindo Choffat (1901), considera a Camada *Lima pseudo-alternicosta* como assente sobre as Camadas de Abadia e correlativa do Corálico do Amaral. Além disso, caracteriza o Corálico do Amaral como uma unidade composta por depósitos carbonatados de pequena profundidade (calcários intraclásticos, calcários dolomíticos, calcários oolíticos e conglomerados calcários com intercalações de calcários recifais), representada por biofácies ricas em fragmentos de equinóides, bivalves, estromatoporídeos, espículas de espongiários e microfauna (foraminíferos, algas e ostracodos), e relacionada com ambientes intermareais a infralitorâneos com influências marinhas francas.

Mouterde et al. (1971) e Mouterde et al. (1981) atribuem as Camadas da Abadia ao Kimmeridgiano superior, e reconhecem que estas passam lateral e verticalmente a formações recifais em bancos contínuos ou lentes (Calcário do Amaral, Calcários de Ota, Monte Redondo e Atouguia). Os autores descrevem ainda que, para norte e leste, estes depósitos passam a depósitos litorais (e.g. Camadas de Alcobaça) (Fig. 25).

Wilson (1979) considera que a terminologia estratigráfica do Jurássico Superior de Portugal é complexa e às vezes confusa, em grande parte porque a literatura existente se refere indiscriminadamente a termos litoestratigráficos e bioestratigráficos. Este autor defende que o topo das Camadas da Abadia é geralmente marcado por fácies calcárias, que pode ser rica em bivalves ("Camadas *Lima pseudo-alternicosta*") ou corais e algas (Calcários do Corálico do Amaral, Monte Redondo e de Ota).

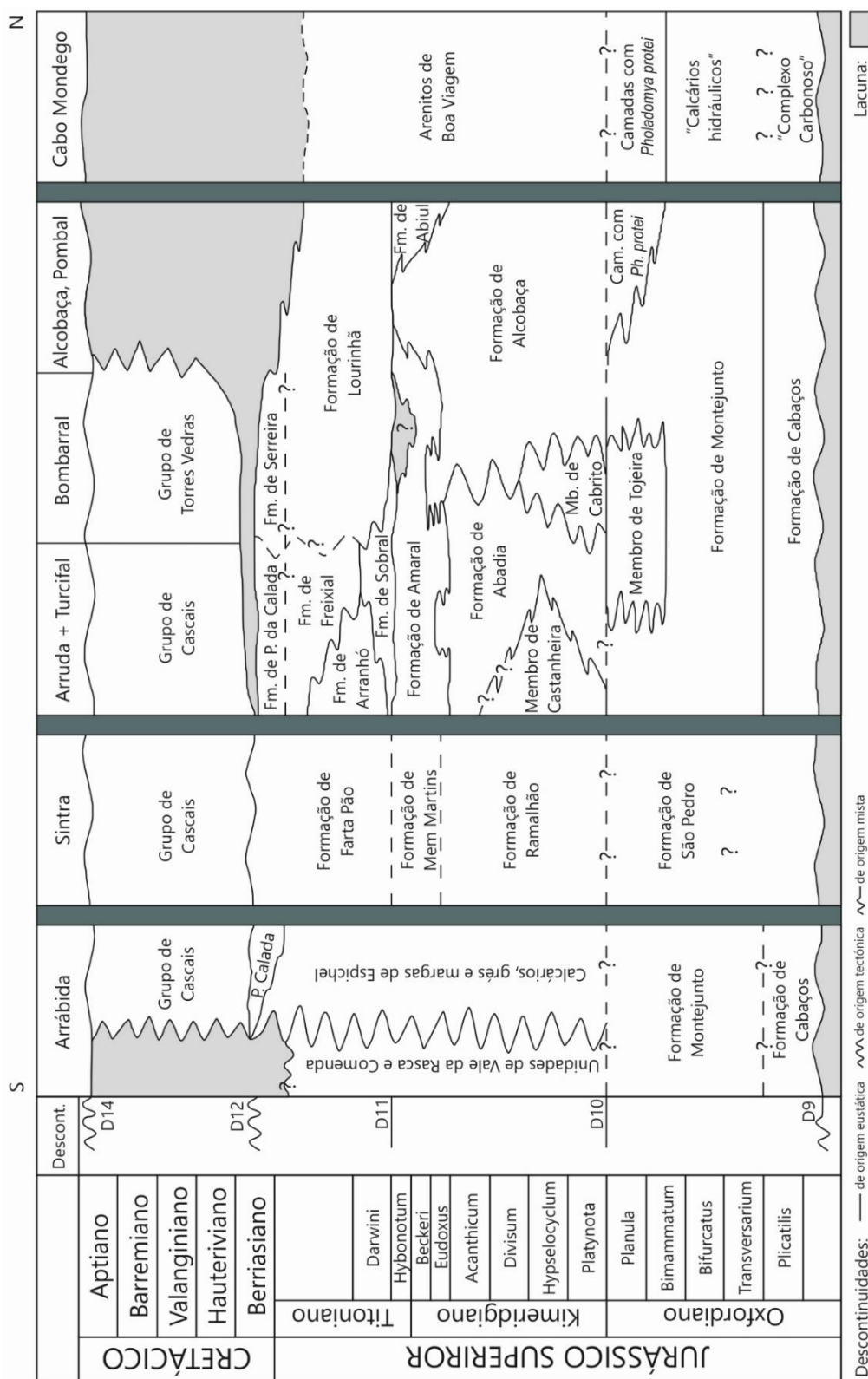


Figura 24 - Quadro litoestratigráfico para o Jurássico Superior da Bacia Lusitânica, com o enquadramento da "Formação Amaral" em passagem gradacional na porção superior das formações Abadia e Alcobaça a depender do posicionamento paleogeográfico da unidade. (modificado de Kullberg et al., 2006).

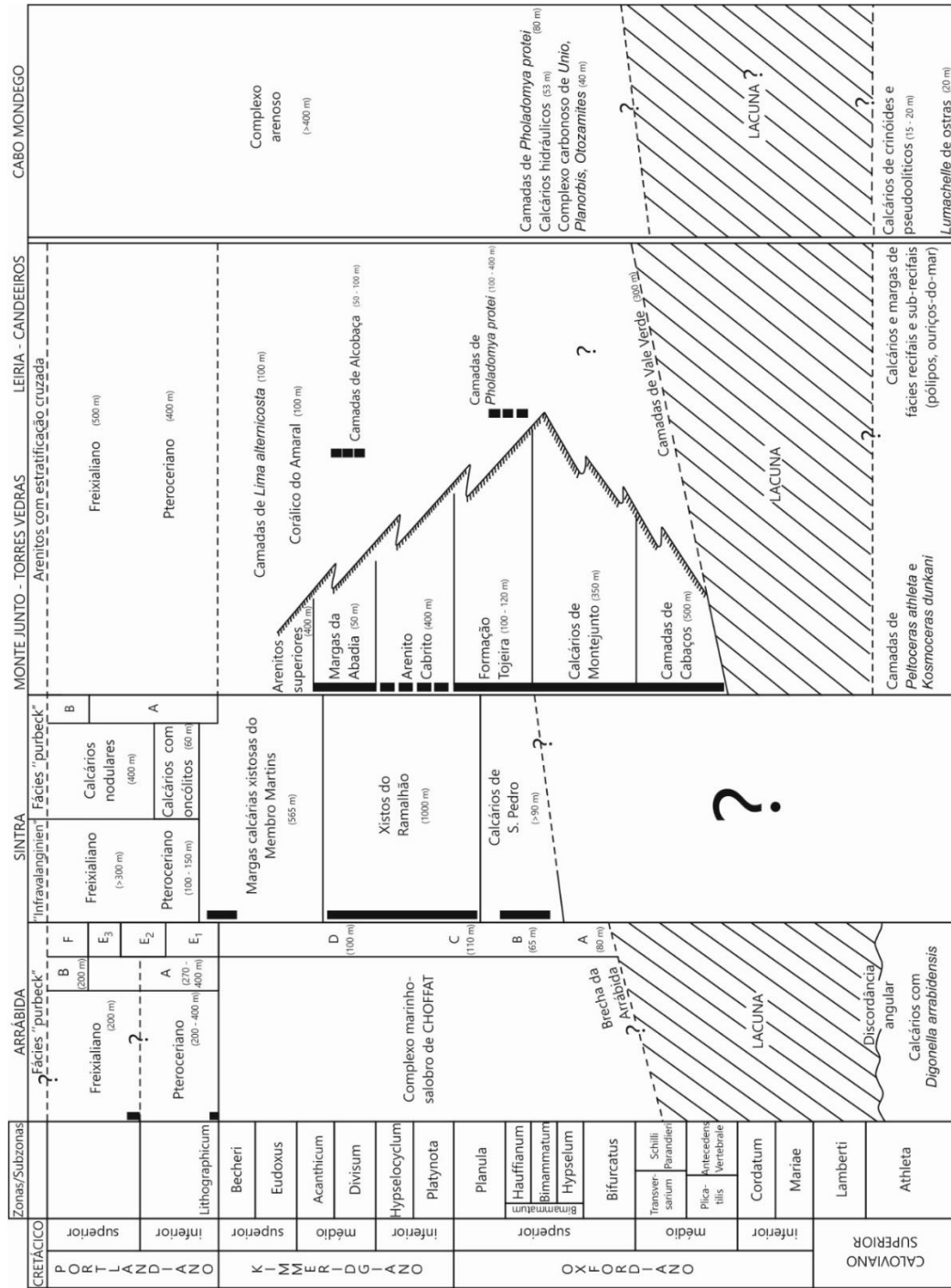


Figura 25 - Unidades litoestratigráficas do Jurássico Superior (modificado de Ribeiro et al., 1979).

Entretanto, Teixeira & Gonçalves (1980) consideram que as “Camadas *Lima pseudo-alternicosta*”, do Kimmeridgiano superior, assentam sobre a Formação de Alcobaça, do Oxfordiano. Além disso, defendem que as unidades recifais que ocorrem de Montejunto ao Tejo, quer as do tipo biostroma quer as do tipo bioherma, correspondem a variações laterais das anteriores, mas com idades indefinidas (“Corálico do Amaral”, Calcários de Ota, Monte Redondo e Atougua).

Mais recentemente, Leinfelder et al. (2004) reconhecem a diversidade faunística dos recifes da Formação Amaral, bem como as implicações paleoambientais da respetiva distribuição no contexto das plataformas carbonatadas mistas do Jurássico Superior da região centro-oeste de Portugal, nomeadamente os eventos transgressivos do Kimmeridgiano e Tithoniano, apesar das limitações na utilização de ferramentas bioestratigráficas (com base em macro e em microfósseis) no estabelecimento de correlações laterais em depósitos recifais (Fig. 26). Neste sentido, a estratigrafia de sequências parece ser o único método passível de permitir a conceção de modelos deposicionais para este intervalo na Bacia Lusitânica (Leinfelder, 1993, 1994, 2001; Leinfelder et al., 1993a, 1993b, 1996). No entanto, a estratigrafia de sequências não leva em consideração as diferentes áreas-fonte e a estruturação da bacia, o que pode conduzir a distintas interpretações paleoambientais, de que são exemplo os Calcários de Ota e a Formação Amaral (Leinfelder et al., 2004) (Fig. 27).

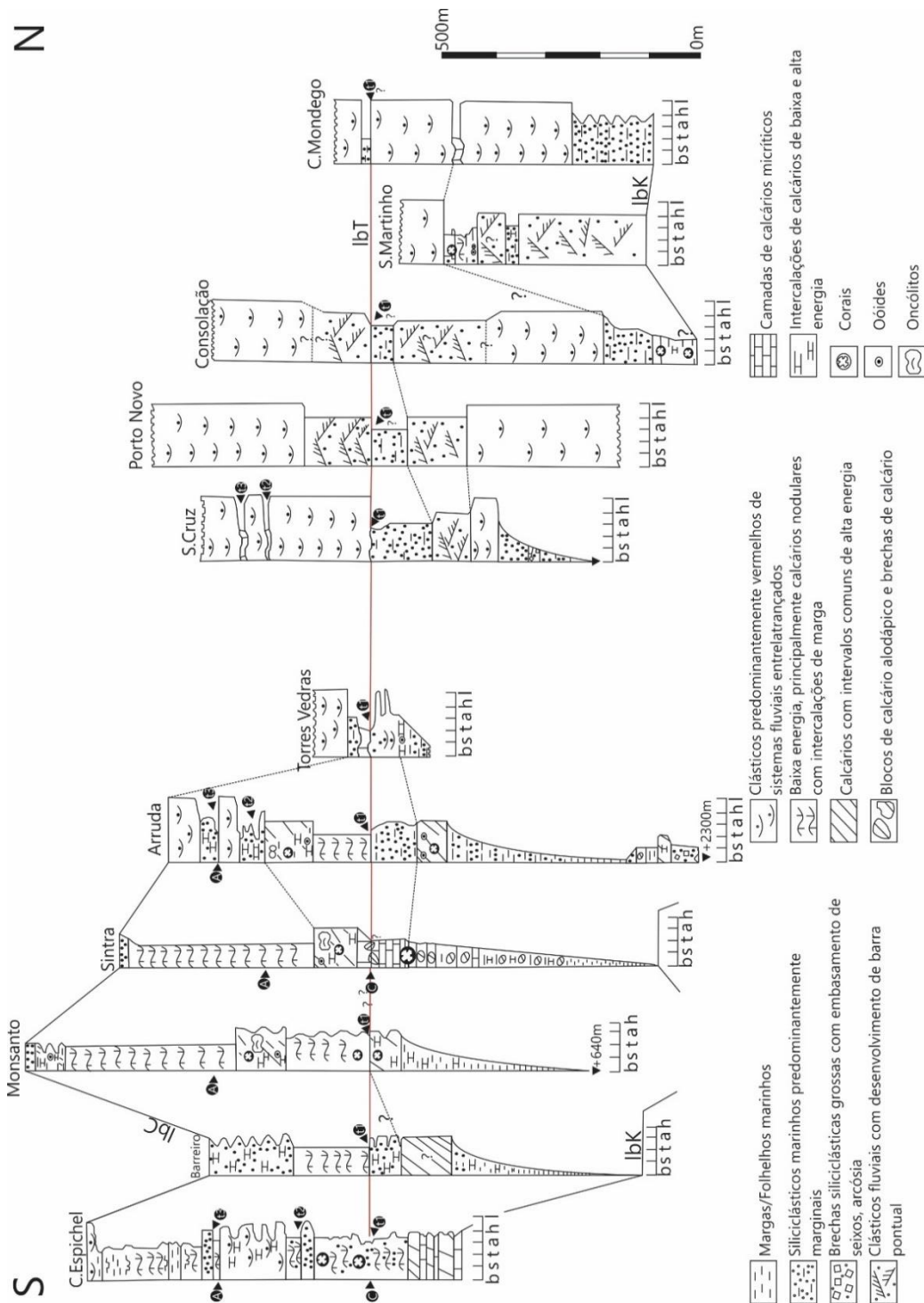


Figura 26 - Secções simplificadas do Kimmeridgiano/Tithoniano da Bacia Lusitânica nas quais estabelece o "datum" de correlação do primeiro evento transgressivo registado na bacia para aqueles intervalos (modificado de Leinfelder, 1987).

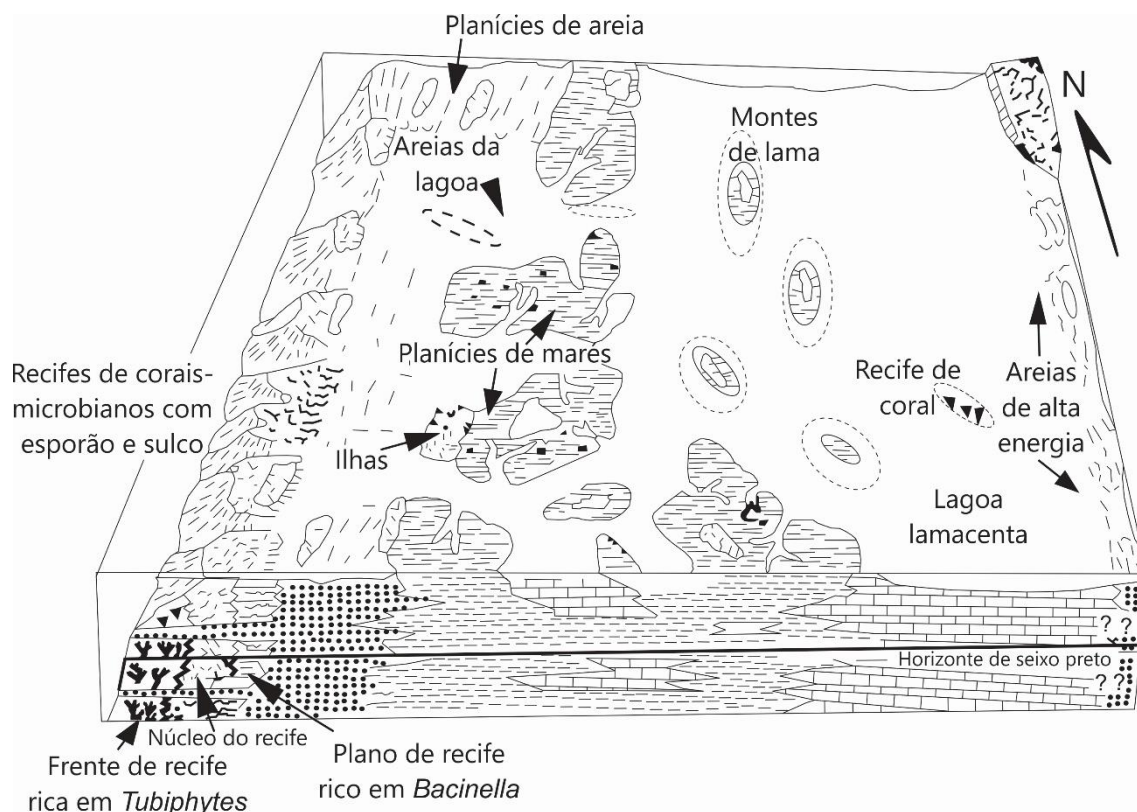


Figura 27 - Modelo deposicional para os "Calcários de Ota". A plataforma agradacional de águas rasas é limitada por recifes de corais-microbianos e detritos bioacumulados em ambientes de alta energia (modificado de Leinfelder, 1987).

Por fim, Fürsich et al. (2009) descrevem e interpretam, dos pontos de vista tafonômico e paleoecológico, as associações de bivalves do Jurássico Superior das unidades da parte central da Bacia Lusitânica, expostas entre as regiões de Torres Vedras e Nazaré (Tabela 1). Os autores consideram que o desenvolvimento das concentrações de bivalves está associado a fases de inundação máxima. Contudo, também identificam que, embora raramente, também podem ocorrer no trato de sistema transgressivo, quando a remobilização dos sedimentos não é tão expressiva quanto durante a transgressão tardia.

Tabela 1 – Aspectos característicos observados em concentrações de conchas do Jurássico Superior na porção central da Bacia Lusitânica, de acordo com Fürsich et al. (2009).

Camada com conchas (posição estratigráfica)	Espessura (cm)	Matriz	Biofábrica	Complexidade	Táxon Dominante	Incrustações	Diversidade de Espécies	Perfurações	Observações
Consolação 1 (Fm. Alcobaça)	40-42	Marga com areia fina	Matriz para concha-suportada	Complexa	<i>Pteria crederiana</i>	Comum	Alta	/	
Consolação 2 (Fm. Alcobaça)	25	Marga bioclástica síltica com grãos revestidos	Principalmente concha-suportada	Complexa	<i>Alaperna polita</i>	Comum	Alta	Ocorrem para comum	
Consolação 3 (Fm. Alcobaça)	20	Silte bioclástica	Concha-suportada	Complexa	<i>Alaperna polita</i>	Rara	Médio-alta	Ocorrem para comum	
Consolação 4 (Fm. Alcobaça)	12	Marga síltica com areia fina	Concha-suportada	Complexa	<i>Alaperna polita</i>	Rara	Alta	Ocorrem para comum	Biofábrica modificada por grandes Thalassinoides
Consolação 5 (Fm. Alcobaça)	20	Marga síltica com areia fina	Matriz para concha-suportada	Complexa	<i>Alaperna polita</i>	Ocorrem	Alta	Comum	
Consolação 6 (Fm. Alcobaça)	30	Arenito fino micrítica	Matriz para concha-suportada	Complexa	<i>Alaperna polita</i>	Comum	Médio-alta	Comum	
Consolação 7 (Fm. Alcobaça)	15	Arenito fino micrítica	Matriz para concha-suportada	Complexa	<i>Alaperna polita</i>	Rara	Alta	Rara	
Consolação 8 (Fm. Alcobaça)	70	Silte	Boundstone	Complexa	<i>Praeexogyra pustulosa</i>	Ocorrem	Baixa	Rara	Patch reef
Santa Cruz 1 (Fm. Farta Pão)	65	Bioclástica, margosa-silte	Concha-suportada	Complexa	<i>Isognomon lusitanicus</i>	Abundante	Baixa	Rara	Banco <i>Isognomon</i>
Santa Cruz 2 (Fm. Farta Pão)	45	Bioclástica, margosa-silte	Concha-suportada	Complexa	<i>Isognomon lusitanicus</i>	Abundante	Baixa	Rara	Banco <i>Isognomon</i> parcialmente retrabalhado

Tabela 1 (continuação) - Aspectos característicos observados em concentrações de conchas do Jurássico Superior na porção central da Bacia Lusitânica, de acordo com Fürsich et al. (2009).

Camada com conchas (posição estratigráfica)	Espessura (cm)	Matriz	Biofábrica	Complexidade	Táxon Dominante	Incrustações	Diversidade de Espécies	Perfurações	Observações
Santa Cruz 3 (Fm. Farta Pão)	35	Bio-rudstone siltica	Concha-suportada	Complexa	<i>Isognomon lusitanicus</i> , <i>Juranomia calabyssata</i>	Ocorrem	Baixa	Rara	Preenchimento do canal
Santa Cruz 4 (Fm. Farta Pão)	32	Silte argilosa	Principalmente matriz-suportada	Complexa	<i>Juranomia calabyssata</i>	Ausente	Baixa	Ausente	
Santa Cruz 5 (Fm. Farta Pão)	set/18	Arenito fino bioclástica	Matriz-suportada	Complexa	<i>Eomiodon securiformis</i>	Ausente	Muito baixa	Ausente	
Santa Cruz 6 (Fm. Farta Pão)	5-120	Arenito fino bioclástica	Concha-suportada	Complexa	<i>Isognomon lusitanicus</i>	Ocorrem para comum	Baixa	Rara	
Santa Cruz 7 (Fm. Farta Pão)	60-80	Silte argilosa	Boundstone	Simples	<i>Praeexogyra pustulosa</i>	Ocorrem	Baixa	Rara	<i>Patch reef</i>
Santa Cruz 8 (Fm. Farta Pão)	2-3 m	Argila siltosa	Matriz-suportada	Simples	<i>Myophorella lusitanica</i>	Ocorrem	Média	Ausente	Conchas dispersas
Cambelas 1 (Fm. Farta Pão)	17	Arenito fino siltica bioclástica	Matriz-suportada	Simples	<i>Isognomon rectangularis</i> , <i>Myophorella lusitanica</i>	Ocorrem	Média	Rara	
Cambelas 2 (Fm. Farta Pão)	20	Silte argilosa bioclástica	Matriz-suportada	Simples	<i>Myophorella lusitanica</i>	Ocorrem	Média	Rara	
Porta das Barcas (Fm. Farta Pão)	30	Arenito fino micácea	Matriz-suportada	Simples	<i>Eomiodon securiformis</i>	Ausente	Muito baixa	Ausente	Camada transgressiva dentro de uma sucessão não marinha
São Martinho do Porto 1 (Fm. Alcobaça)	05/ago	Bio-packstone	Concha-suportada	Simples	<i>Isognomon rugosus</i>	Baixa	Baixa	?	

Tabela 1 (continuação) - Aspectos característicos observados em concentrações de conchas do Jurássico Superior na porção central da Bacia Lusitânica, de acordo com Fürsich et al. (2009).

Camada com conchas (posição estratigráfica)	Espessura (cm)	Matriz	Biofábrica	Complexidade	Táxon Dominante	Incrustações	Diversidade de Espécies	Perfurações	Observações
São Martinho do Porto 2 (Fm. Alcobaça)	10	Bio-packstone	Concha-suportada	Simple	<i>Praeexogyra pustulosa</i> , <i>Rostroperna thurmanni</i>	Ocorrem para comum	Baixa	Rara	Formando uma camada composta junto com São Martinho do Porto 1
São Martinho do Porto 3 (Fm. Alcobaça)	80	Bio-rudstone/packstone	Matriz-suportada	Simple	<i>Actinostreon gregareum</i> , <i>Rostroperna thurmanni</i>	Abundante	Baixa	Rara	
São Martinho do Porto 4 (Fm. Alcobaça)	40	Bio-rudstone/packstone	Matriz para concha-suportada	Simple	<i>Actinostreon gregareum</i>	Abundante	Baixa	Rara	
São Martinho do Porto 5 (Fm. Alcobaça)	40	Bio-rudstone/packstone	Matriz-suportada	Simple	<i>Actinostreon gregareum</i>	Abundante	Baixa	Rara	
Salir do Porto 1 (Fm. Alcobaça)	55	Wackestone	Matriz para concha-suportada	Simple	<i>Isognomon rugosus</i>	Ocorrem	Baixa	Rara	
Salir do Porto 2 (Fm. Alcobaça)	30	Wackestone	Matriz para concha-suportada	Simple	<i>Actinostreon gregareum</i> , <i>Rostroperna thurmanni</i>	Abundante	Baixa	Rara	
Salir do Porto 3 (Fm. Alcobaça)	05/jul	Wackestone	Matriz-suportada	Simple	<i>Arcomytilus moirisi</i>	Rara	Baixa	Ausente	Formando aglomerados em posição de crescimento
Encosta ao sul do Rio Sizandro 1 (Fm. Farta Pão)	26-30	Silte	Concha-suportada	Complexa	<i>Praeexogyra pustulosa</i>	Comum	Baixa	Rara	
Encosta ao sul do Rio Sizandro 2 (Fm. Farta Pão)	05/out	Silte	Boundstone	Simple	<i>Praeexogyra pustulosa</i>	Ocorrem	Baixa	Rara	Pequenos <i>patch reef</i>
Encosta ao sul do Rio Sizandro 3 (Fm. Farta Pão)	30	Silte	Concha-suportada	Complexa	<i>Isognomon lusitanicus</i>	Comum	Baixa	Rara	

A complexidade reconhecida nas diferentes concepções e designações da Formação Amaral e de unidades correlativas, aliada à diversidade de interpretações paleoambientais com elas relacionadas, contribuem para a relativa escassez de propostas de cariz paleogeográfico para a Bacia Lusitânica durante o Jurássico Superior.

Com base na maioria dos trabalhos já anteriormente referidos, Ribeiro et al. (1979), apoiado em Mouterde et al. (1972), propõem um esboço paleogeográfico que ilustra a distribuição das fácies carbonatadas marinhas e das fácies detríticas continentais para o Oxfordiano e Kimmeridgiano da Bacia Lusitânica (Fig. 28).

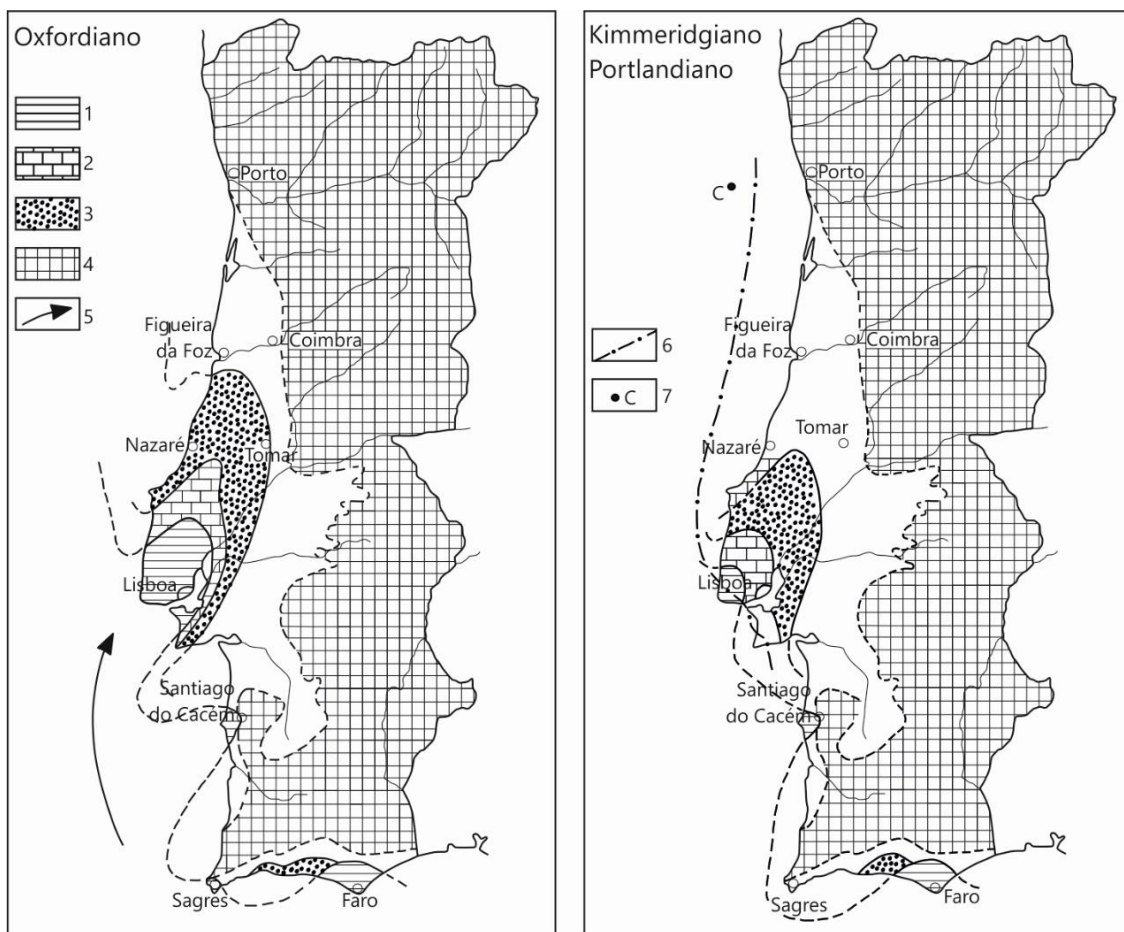


Figura 28 - Esboços paleogeográficos do Jurássico Superior na Bacia Lusitânica a norte do Rio Tejo. 1) Fácies da bacia rica em cefalópodes; 2) Fácies calcária e calcária-dolomítica de plataforma; 3) Fácies detrítica; 4) Soco pré-triássico; 5) Rota de migração da fauna mesogeana 6) Limite entre fácies de bacia (oeste) e fácies detrítica (leste), durante o Portlandiano (atualmente Tithoniano); 7) Ocorrência local de *Calpionella* (modificado de Mouterde et al., 1972; modificado de Ribeiro et al., 1979).

Garcia et al. (2010b) identificam o “Intervalo Evolutivo” durante o qual ocorre a deposição das rochas carbonatadas da Formação Amaral, situada no limite Kimmeridgiano superior e Tithoniano inferior, como Intervalo II.1, inserido num contexto tectónico de formação de sub-bacias (II.1 a), que passa a pós-climax do rift (II.1 b). Esta interpretação está representada na figura 29 (A e B).

No desenvolvimento deste processo de reestruturação da bacia, com a ocorrência de soerguimentos de blocos, verificam-se situações de emersão, associadas a exposição subaérea, e até mesmo erosão. A sedimentação na Bacia Lusitânica desenvolve-se condicionada por uma paleogeografia com a presença de um sulco NNE-SSW, aberto para sul, o qual recebia aporte de sedimentos provenientes dos seus bordos de relevos mais ou menos acentuados a leste e oeste, assim como de norte, através de um sistema fluvio-deltaico distal. Durante a sedimentação da Formação Amaral verifica-se que a evolução dos paleoambientes mais ou menos carbonatados, bioconstruídos ou não, estiveram fortemente condicionados pelo posicionamento do substrato sujeito ao tectonismo, assim como ao diapirismo salífero, gerador de alto-fundos intrabaciais, que favorecem as concentrações de sedimentos carbonatados. A sedimentação na fase inicial do rift ocorre associada a um evento transgressivo, passando, no final do Kimmeridgiano e início do Tithoniano, a um contexto regressivo; estabelece-se, então, na bacia, as condições para uma sedimentação carbonatada, em águas mais ou menos rasas, que corresponde às Sequências I2 e I3 de Garcia et al. (2010b) da Formação Amaral (Fig. 29).

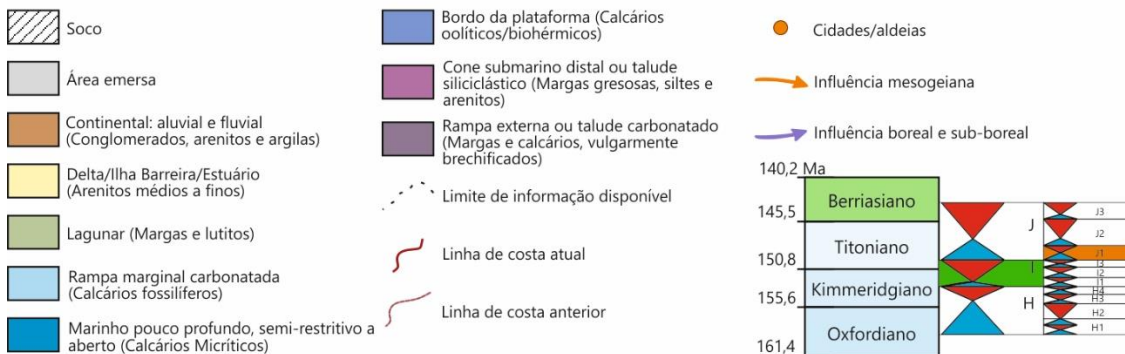
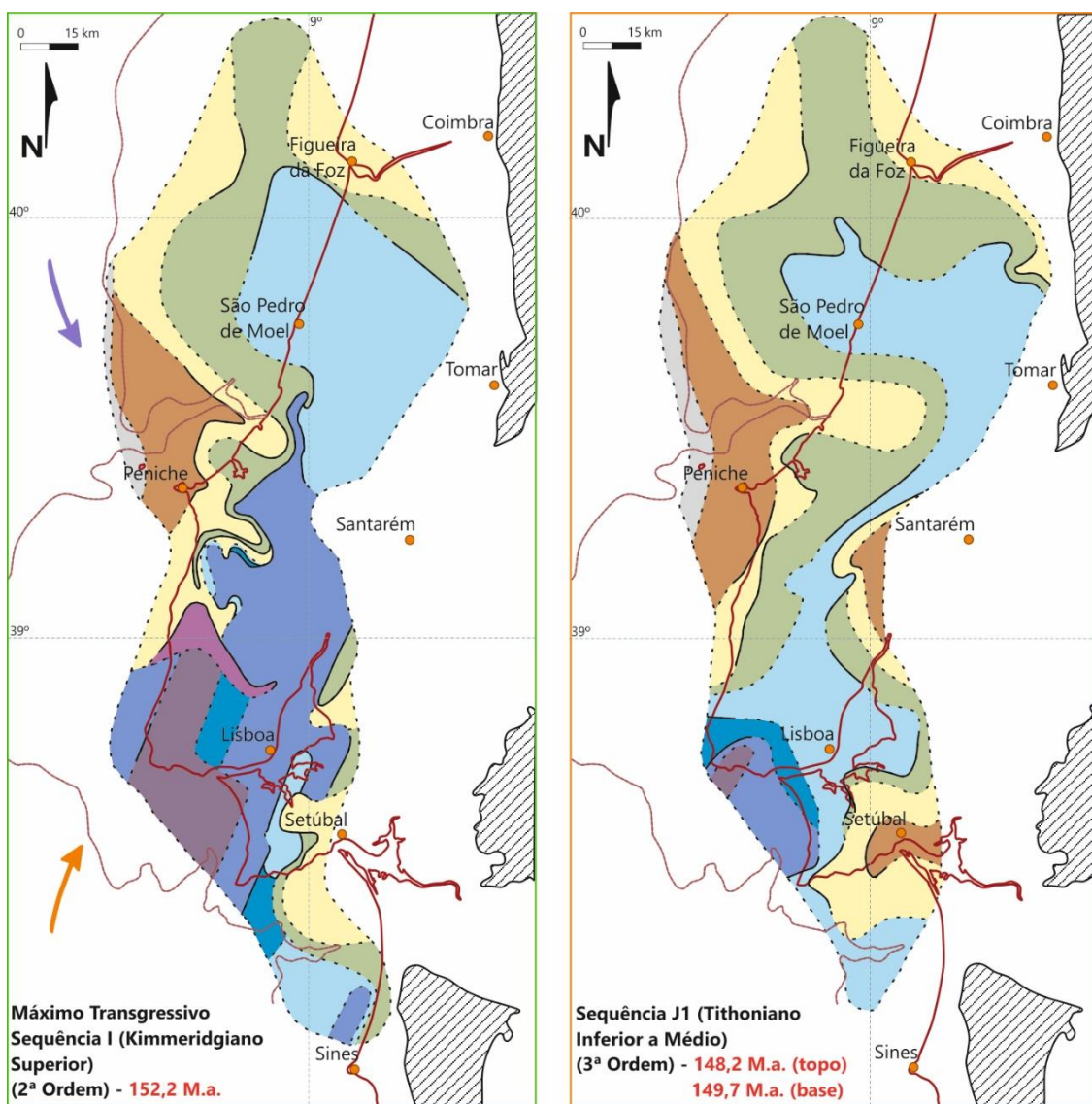


Figura 29 - Entre o final do Kimmeridgiano e o Tithoniano a sedimentação na Bacia Lusitânica é condicionada por uma paleogeografia com abertura oceânica a sul, recebendo aporte de sedimentos provenientes dos seus bordos de relevos mais ou menos acentuados a leste e oeste, assim como de norte, através de um sistema fluvio-deltaico distal. No limite entre estes intervalos, estabelece-se um contexto regressivo na bacia, favorecendo as condições de sedimentação carbonatada da Formação Amaral, Sequências I2 e I3 (modificado de Garcia et al., 2010b; modificado de Pena dos Reis et al., 1996).

5.

Materiais e métodos

5.

Materiais e métodos

Neste capítulo apresenta-se a localização das áreas de estudo das unidades selecionadas para a presente tese, nomeadamente da Formação Morro do Chaves (em 5.1.) e da Formação Amaral (em 5.2.). Descrevem-se igualmente as metodologias de trabalho de campo (em 5.3.), de Caracterização Multiescalar de Reservatório - CAMURES (em 5.4.) e das análises petrográficas e tafonómicas realizadas (em 5.5.).

Área de estudo da Formação Morro do Chaves 5.1.

Os depósitos aflorantes da Formação Morro do Chaves estão localizados nas proximidades da cidade de São Miguel dos Campos, na Fazenda São Sebastião, que se situa a 5,0 km a oeste da BR-101 (Estado de Alagoas, nordeste do Brasil) (Fig. 30). Estes afloramentos são objeto de exploração do Grupo InterCement (antiga CIMPOR), referidos em trabalhos mais antigos como Pedreira Atol, ou apenas citados como Mina IV (Fig. 31). O melhor afloramento desta unidade é uma cava a céu aberto com cerca de 1000,0 m de comprimento, 300,0 m de largura e 100,0 m de profundidade. As camadas expostas na cava da pedra possuem atitude geral para leste, e pendor de 12°. A configuração das frentes de lavra (N-S), associada ao pendor das camadas, permite reconhecer na maioria dos intervalos descritos uma geometria externa tabular, que inclui internamente as camadas lenticulares de coquinas.

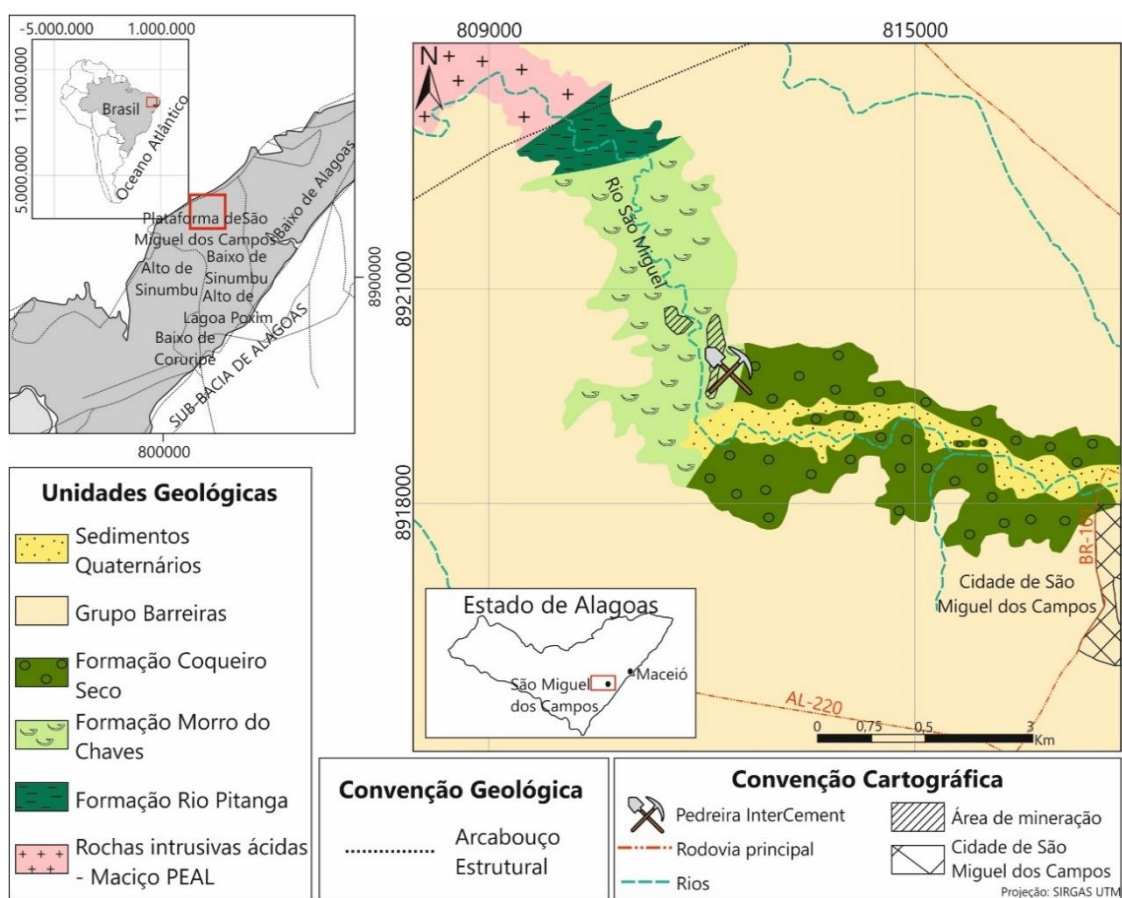


Figura 30 - Mapa de localização da Bacia de Sergipe-Alagoas (NE do Brasil), contexto geológico da Formação Morro do Chaves e localização da pedra de InterCement (modificado de Garcia et al., 2018).



Figura 31 - O afloramento da Formação Morro do Chaves na pedreira InterCement: A) representado pelo perfil estratigráfico composto e localização de alguns dos níveis amostrados; B) camada de coquinas na base da pedreira; C) folhelho desgastado com fósil de peixe; D) nível de coquinas com bivalves com as valvas fechadas; E) limite entre o nível de folhelho da parte superior da Formação Morro do Chaves e o arenito da parte basal da Formação Coqueiro Seco (modificado de Garcia et al., 2018).

As análises petrográficas e tafonómicas da Formação Morro do Chaves foram realizadas em 462 amostras/lâminas petrográficas dos afloramentos das cavas da pedreira e de 14 poços perfurados nas pedreiras e áreas adjacentes (FZ2, FZ3, FZ4, FZ5, FZ6, FZ7, SM17, SM18, SM19, F206, F213, F223, F249 e F266) (Fig. 32), atingindo espessuras de aproximadamente 550 metros, todas relacionadas com o perfil estratigráfico composto do afloramento descrito por Garcia et al. (2018). O estudo integrado de poços e de afloramento contribuiu para a caracterização multiescalar das heterogeneidades das fácies.

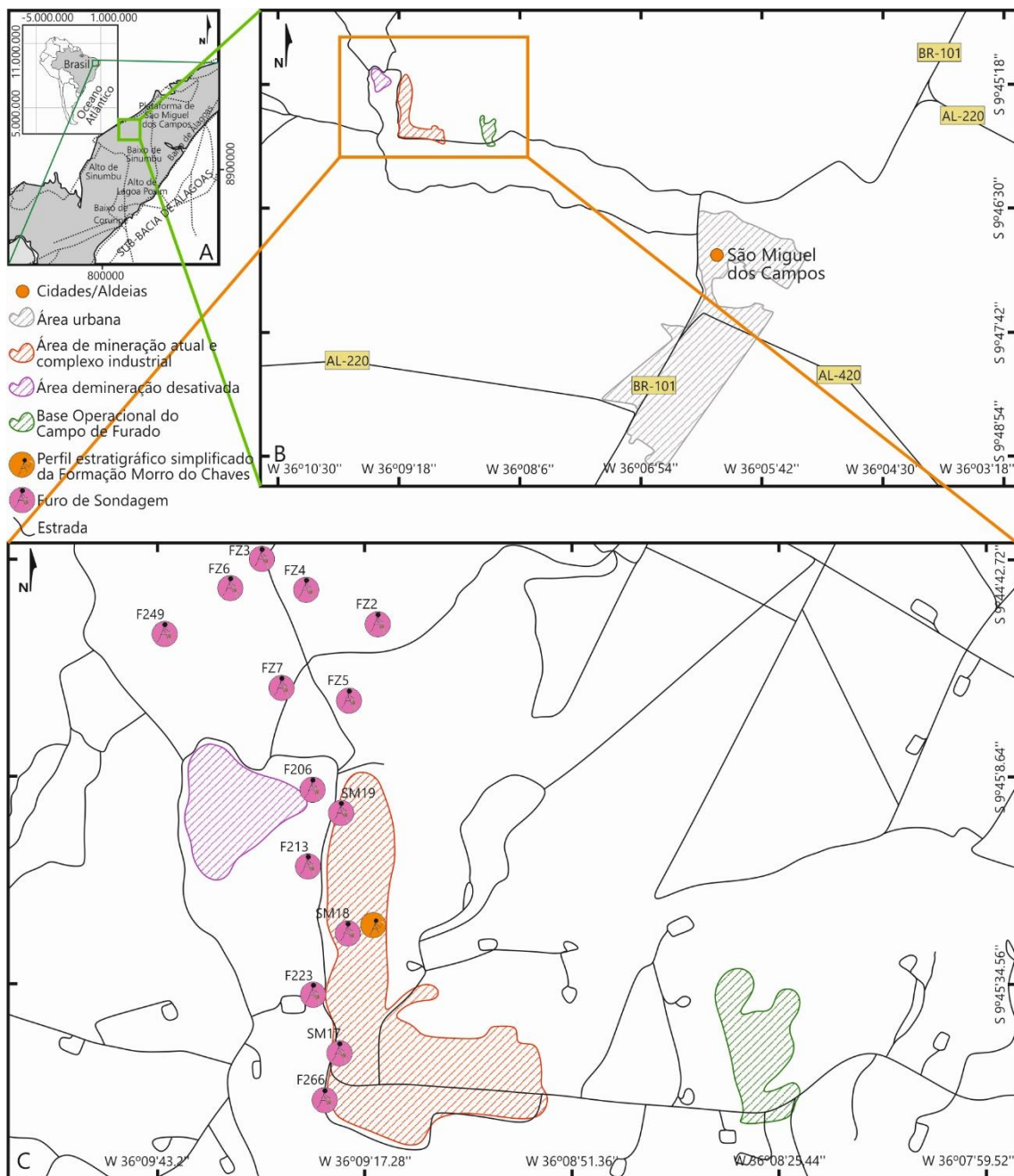


Figura 32 - A) Mapa de localização da Sub-bacia de Alagoas; B) Mapa de detalhe da região de São Miguel dos Campos com a localização das áreas de exploração da pedreira InterCement; C) Mapa de detalhe da área de estudo com a localização dos furos de sondagem estudados e do perfil estratigráfico simplificado detalhado no afloramento da cava principal de mineração da pedreira InterCement.

Área de estudo da Formação Amaral 5.2.

A Formação Amaral é reconhecível na Bacia Lusitânica desde o setor norte até ao setor sul. Devido à sua ampla distribuição geográfica, os afloramentos e pontos de controlo foram agrupados, com base nos contextos deposicionais que representam, em três setores, nomeadamente: lagunar, laguna-barreira e marinho-distal (Fig. 33).

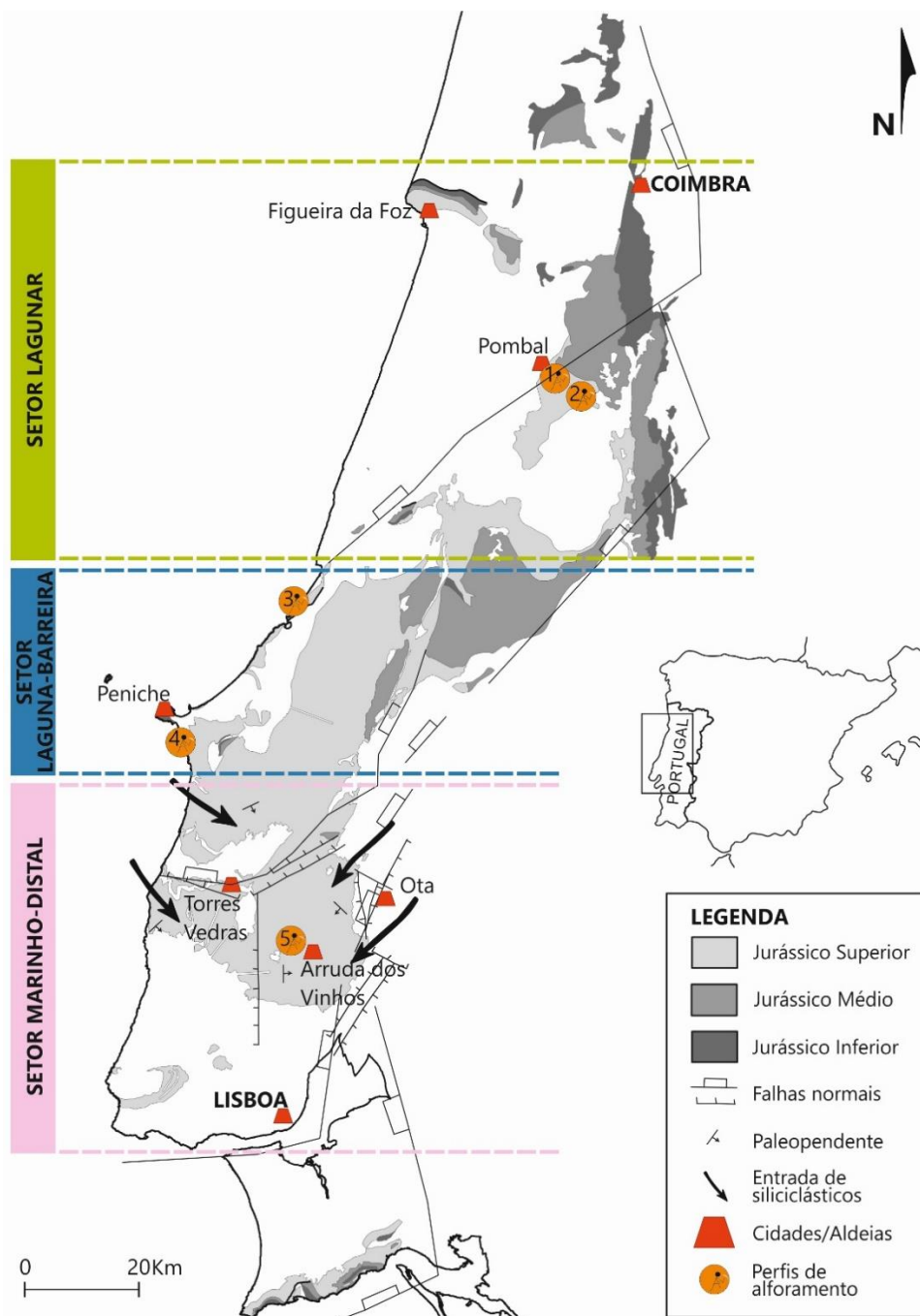


Figura 33 - Mapa de localização da Bacia Lusitânica (Portugal) com identificação dos setores estudados, contexto estrutural, unidades estratigráficas do Jurássico e localização dos afloramentos estudados, nomeadamente: 1) Perfil de Pombal; 2) Perfil de Abiul; 3) Perfil da Praia do Salgado; 4) Perfil da Praia da Consolação; e 5) Perfil de Pedralvo.

O setor lagunar abrange a região situada entre Leiria e Figueira da Foz, na faixa litoral atual, estendendo-se até à latitude de Coimbra para leste. Nesta região, a Formação Amaral foi analisada através de dois perfis estratigráficos, nomeadamente: Perfil da Cumieira (Pombal); e Perfil de Abiul (Pombal). As análises litofaciológicas e tafonómicas destes perfis foram realizadas com base em descrições macroscópicas de 58 amostras, sendo 53 do Perfil da Cumieira e cinco do Perfil de Abiul. Foram igualmente analisados 15 afloramentos para controlo lateral e vertical das unidades, com recolha de 41 amostras (Fig. 34).

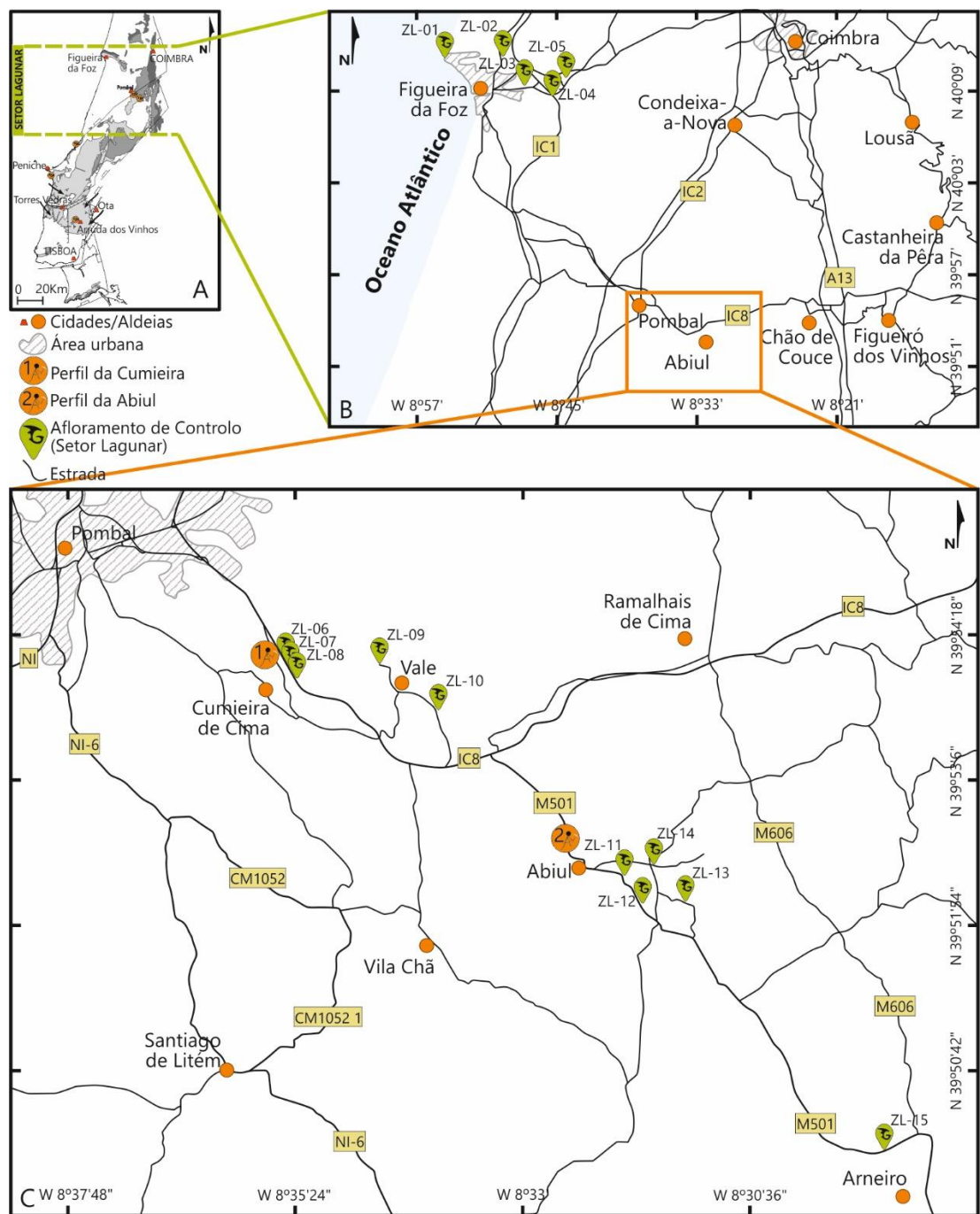


Figura 34 - A) Mapa de localização da Bacia Lusitânica com a identificação do setor lagunar; B) Mapa de detalhe do setor lagunar com a localização dos afloramentos de controlo ZL-01 a ZL-04; C) Mapa de detalhe da área de estudo com a localização dos perfis de Pombal (1) e Abiul (2) e os afloramentos de controlo ZL-06 a ZL-15.

O setor laguna-barreira abrange a região situada entre Lourinhã e Leiria, na faixa litoral, estendendo-se até à latitude da Batalha para leste. Nesta região, a Formação Amaral foi caracterizada através da descrição de dois perfis estratigráficos, nomeadamente: Perfil da Praia do Salgado (Famalicão); e Perfil da Praia da Consolação (Atouguia da Baleia). As análises litofaciológicas e tafonómicas destes perfis foram realizadas com base em descrições macroscópicas de 102 amostras, sendo 61 do Perfil da Praia do Salgado e 41 do Perfil da Praia da Consolação. Foram igualmente analisados dois afloramentos para controlo lateral e vertical das unidades e recolhidas nove amostras (Fig. 35).

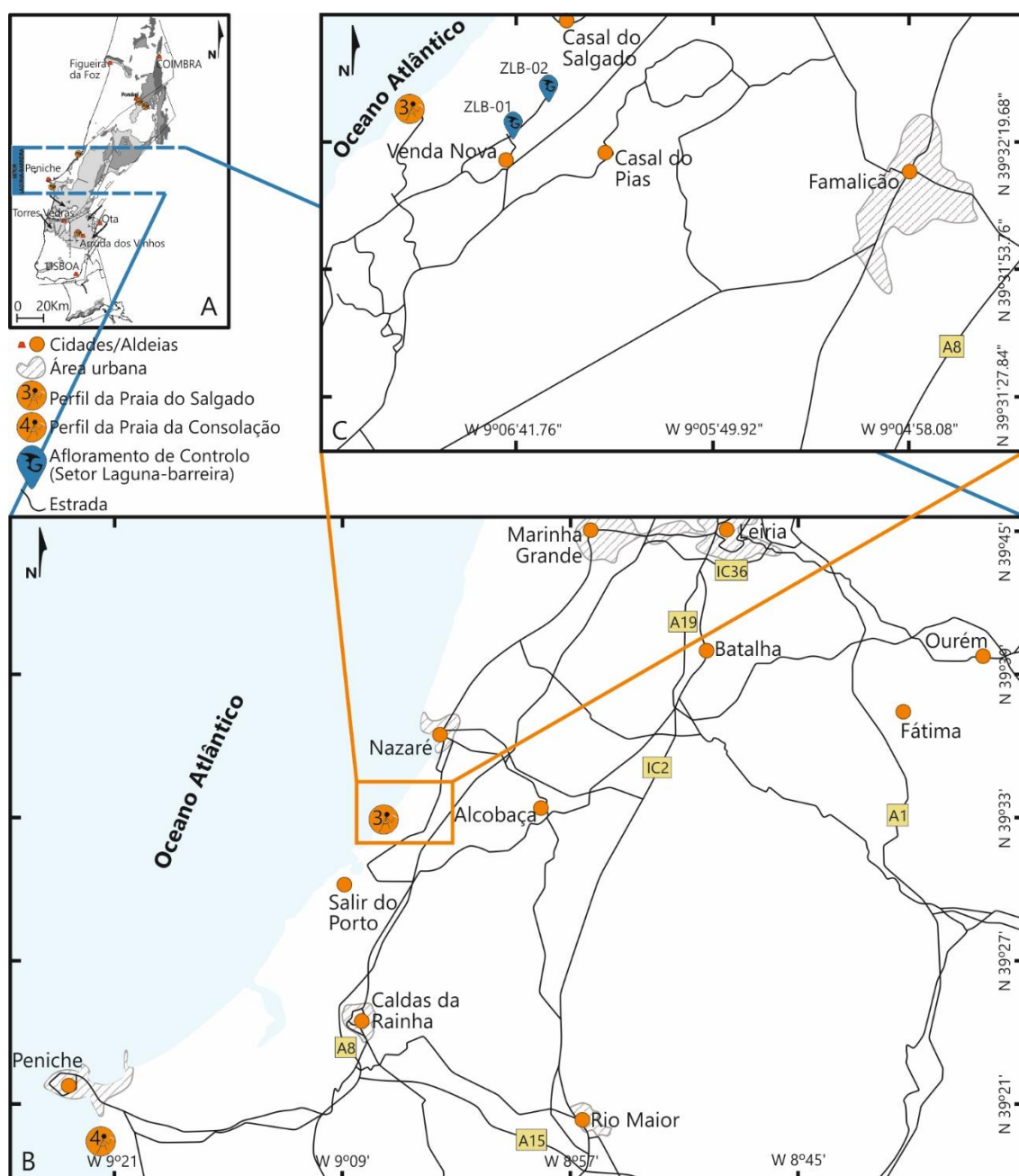


Figura 35 - A) Mapa de localização da Bacia Lusitânica com a identificação do setor laguna-barreira; B) Mapa de detalhe do setor laguna-barreira com a localização dos perfis descritos da Praia do Salgado (3) e da Consolação (4); C) Mapa de detalhe da área de estudo onde foram reconhecidos os afloramentos de controlo ZLB-01 e ZLB-02.

O setor marinho-distal abrange a região situada entre Cascais e Lourinhã, na faixa litoral, estendendo-se até à latitude de Ota para leste. Nesta região, a Formação Amaral foi caracterizada através da descrição de um perfil estratigráfico: Perfil de Pedralvo (Arruda dos Vinhos). As análises litofaciológicas e tafonómicas deste perfil foram realizadas com base nas descrições macroscópicas de nove amostras. Foram igualmente analisados oito afloramentos para controlo lateral e vertical das unidades, com recolha de oito amostras (Fig. 36).

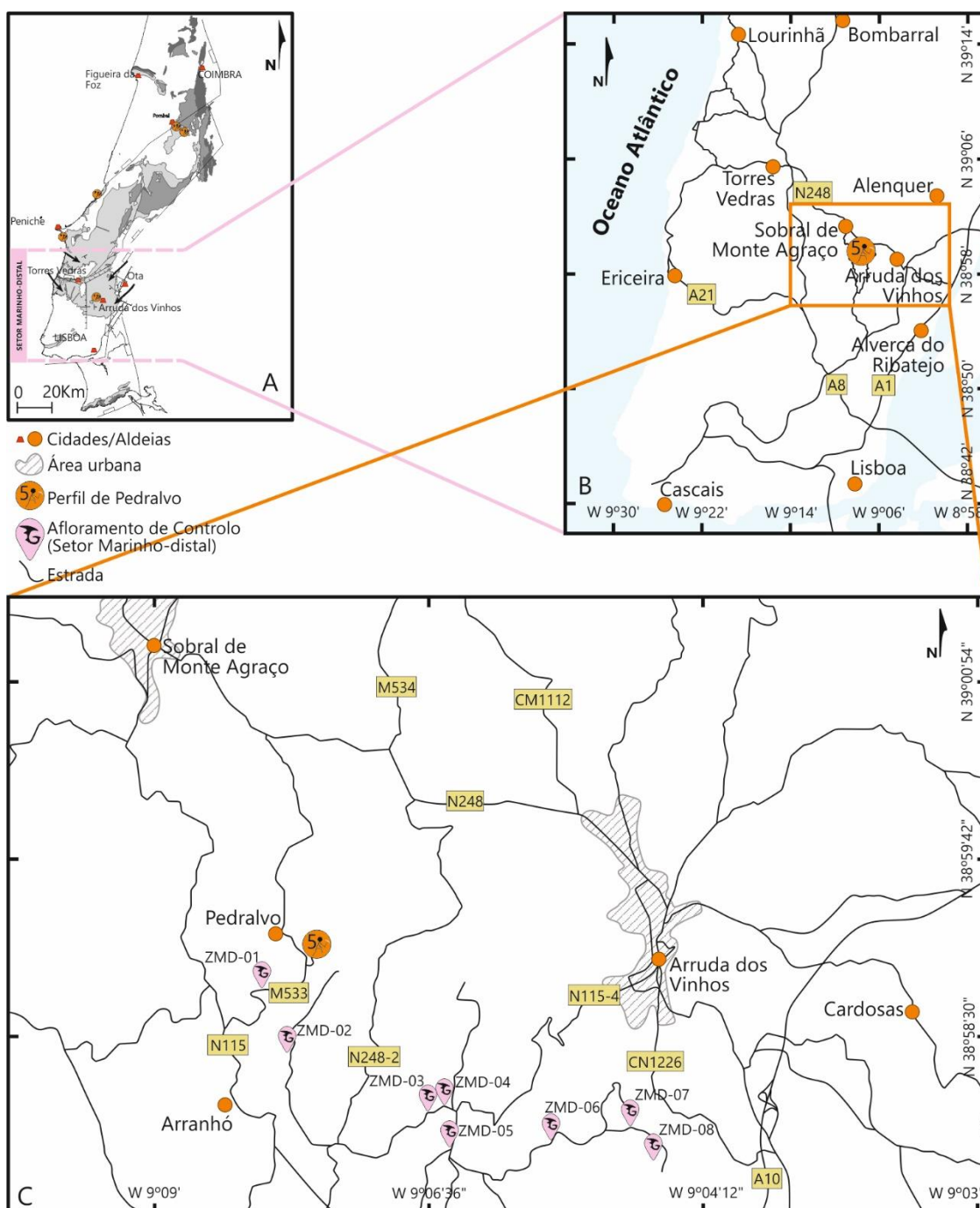


Figura 36 - A) Mapa de localização da Bacia Lusitânica com a identificação do setor marinho-distal; B) Mapa de detalhe do setor marinho-distal com a localização do perfil descritos de Pedralvo (5); C) Mapa de detalhe da área de estudo onde foram reconhecidos os afloramentos de controlo ZMD-01 a ZMD-08.


Trabalho de campo 5.3.

Os procedimentos de campo consistiram na descrição de perfis (poços e afloramentos) com ênfase na análise tafonômica das associações registradas de fósseis, no estabelecimento de correlações estratigráficas e na recolha de amostras correspondentes à Formação Morro do Chaves e à Formação Amaral. O trabalho de campo foi realizado em conformidade com a Metodologia CAMURES (Caracterização Multiescalar de Reservatórios), de caráter multidisciplinar, desenvolvida pelo Laboratório PROGEOLOGIA/NUPEG/UFS, que visa a compreensão, em diferentes escalas, dos intervalos carbonatados e siliciclásticos das Bacias Sergipe-Alagoas e Lusitânica (Garcia et al., 2014; 2015a). Os calcários foram descritos com base nas classificações de Folk (1959) e de Dunham (1962). As fácies identificadas foram caracterizadas tendo em conta as suas propriedades sedimentares e diagenéticas, para além das tafonômicas, a fim de interpretar os aspetos deposicionais e evolutivos das respetivas unidades.

Os perfis estratigráficos foram construídos com base nos trabalhos de Garcia & Eastwood (1981) e Tucker (1991), que tratam da descrição de afloramentos com grande detalhe, e também de Aigner (1995), que se centra diretamente em afloramentos de rochas carbonatadas.

Os depósitos carbonatados das unidades estudadas apresentam heterogeneidades verticais e laterais significativas, o que requer a recolha de amostras não somente nas camadas fossilíferas, mas também nos níveis encaixantes. Além das amostragens de afloramentos foram igualmente utilizadas informações provenientes de descrição de poços para a Formação Morro do Chaves, que contribuíram para fundamentar a conceção do modelo geológico da unidade.

Foi utilizada uma ficha modelo para a descrição de perfis que permite a integração de informação descritiva, quer de rochas carbonatadas, quer de rochas siliciclásticas, e adaptável à descrição de rochas em laboratório (Fig. 37). A classificação de rochas carbonatadas de Dunham (1962) baseia-se na identificação de sedimentos gerados em ambiente de alta/baixa energia tendo em conta a quantidade de lama carbonatada (micrite) presente na amostra (Fig. 38). A classificação de sedimentos siliciclásticos de Wentworth (1922) assenta numa escala granulométrica cujos intervalos foram adaptados para as rochas carbonatadas (Folk, 1959) (Quadro 2).

FICHA DE DESCRIÇÃO DE TESTEMUNHOS								
	POÇO: _____		TEST.: _____		INTERV.: _____		CAMPO/ÁREA: _____	
	BACIA: _____			Fm.: _____		Mb.: _____		
	Descrito por: _____							
CAIXA	PROF. SOND. (m)	Amostrag	Classificação Dunham (1962)	Litofácies			Espes. (m)	Poros. (%)
				Litologia	Textura e Estruturas	Descrição		

Boum
Gra
Pac
Wac
Mud

Arg S Amf Af Am Ag Amg Gr Sx M

(Rochas Siliciclásticas)

Mar Clu Cra

Adaptado de
Cru FOLK (1959)

(Rochas Carbonáticas)

Figura 37 - Modelo de ficha de descrição de perfis estratigráficos utilizada para furos de sondagem e afloramentos (modificado de Garcia et al., 2011).

TEXTURA DEPOSICIONAL RECONHECÍVEL					TEXTURA DEPOSICIONAL NÃO RECONHECÍVEL
Indivíduos não relacionados organicamente			Sem matriz carbonatada grão-suportado	Indivíduos organicamente relacionados	
Contém matriz carbonatada (Partículas tamanho argila/silte fino)		Arcabouço grão-suportado com matriz carbonatada			
Suportado pela matriz carbonatada					
Menos de 10% de grãos	Mais de 10% de grãos				
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Carbonato Cristalino

Figura 38 - Classificação de rochas carbonatadas (modificado de Dunham, 1962).

Quadro 2 - Classificação de rochas carbonatadas de acordo com a dimensão dos seus constituintes aloquímicos e classificação de rochas siliciclásticas correspondente (modificado de Wentworth, 1922 e Folk, 1959).

Diâmetro das Partículas (mm)	Tipo Carbonatado (Aloquímico)		Tipo Siliciclástico
< 0,004	-		Argila/Folhelho
0,004 a 0,0063	Calcilutito		Siltito
0,063 a 0,125	Calcarenitos	Calcarenito muito fino	Arenito muito fino
0,125 a 0,250		Calcarenito fino	Arenito fino
0,250 a 0,500		Calcarenito médio	Arenito médio
0,500 a 1,000		Calcarenito grosso	Arenito grosso
1,000 a 2,000	Calcirruditos	Calcirrudito fino	Arenito muito grosso
2,000 a 4,000		Calcirrudito médio	Arenito conglomerático, Conglomerado e Brecha
4,000 a 16,000			
16,000 a 64,000		Calcirrudito grosso	

Caracterização multiescalar de reservatório 5.4.

Uma vez que os dados de subsuperfície oferecem informações pontuais ou restritas sobre as heterogeneidades das unidades litoestratigráficas, enquanto que dados de afloramentos permitem uma melhor compreensão sobre as relações e o comportamento de tais heterogeneidades, a análise integrada em diferentes escalas de trabalho, utilizada pela Metodologia Geoarq (Garcia et al., 2003; Paim et al., 2003), e hoje transposta e aplicada à Caracterização Multiescalar de Reservatórios (CAMURES), procura reduzir as incertezas dos modelos a partir da integração de escalas.

A Metodologia CAMURES (Garcia et al., 2014; 2015a) consiste na integração de ferramentas e dados obtidos em diferentes escalas de observação e na representação das heterogeneidades existentes em cada uma delas. Obtém-se, assim, um modelo geológico ideal, tanto do ponto de vista da sua concepção genética (Modelo Geológico Conceitual), como do ponto de vista da modelação geocelular multiescalar 3D de propriedades. Um dos objetivos da Metodologia CAMURES é reproduzir modelos de afloramentos análogos a reservatórios em subsuperfície, que contemplem a distribuição das suas propriedades multiescalares. Esta metodologia associa o entendimento dos processos genéticos, desde o contexto deposicional até à sua evolução diagenética, à história de soterramento da unidade. Considera ainda todas as etapas de evolução em termos de interatividade fluido-rocha, dentro dos ambientes termodinâmicos e condições cinéticas em que o reservatório real esteve submetido (evolução diagenética). Por fim, esta abordagem permite fundamentar, com maior grau de certeza, a modelação geológica tridimensional e a simulação de fluxo de fluido. Esta última assume particular relevância enquanto aplicação no planeamento do método de recuperação mais adequado em hidrocarbonetos (Fig. 39).

Para que seja possível atingir uma maior representatividade de um análogo de afloramento relativamente a cada tipologia de litofácies presente nos reservatórios análogos encontrados nos campos de petróleo, recorre-se a uma análise integrada que assenta na utilização de distintas ferramentas de aquisição de dados: trabalhos de campo (macro e meso-escalas), nomeadamente levantamento de estratigrafia de sequência, levantamento de perfis de raio gama, nuvens de pontos de Laser Scanner e dados de GPR; trabalhos laboratório (micro-escala) integrando dados decorrentes de análises palinológicas, petrográficas (microfácies) e petrofísicas (Figura 40).



Figura 39 - Diagrama de fluxo ilustrando as atividades realizadas no desenvolvimento da Metodologia CAMURES aplicada em Afloramentos de Reservatórios Análogos (modificado de Huggenberg & Aigner, 1999; modificado de Garcia et al., 2003).

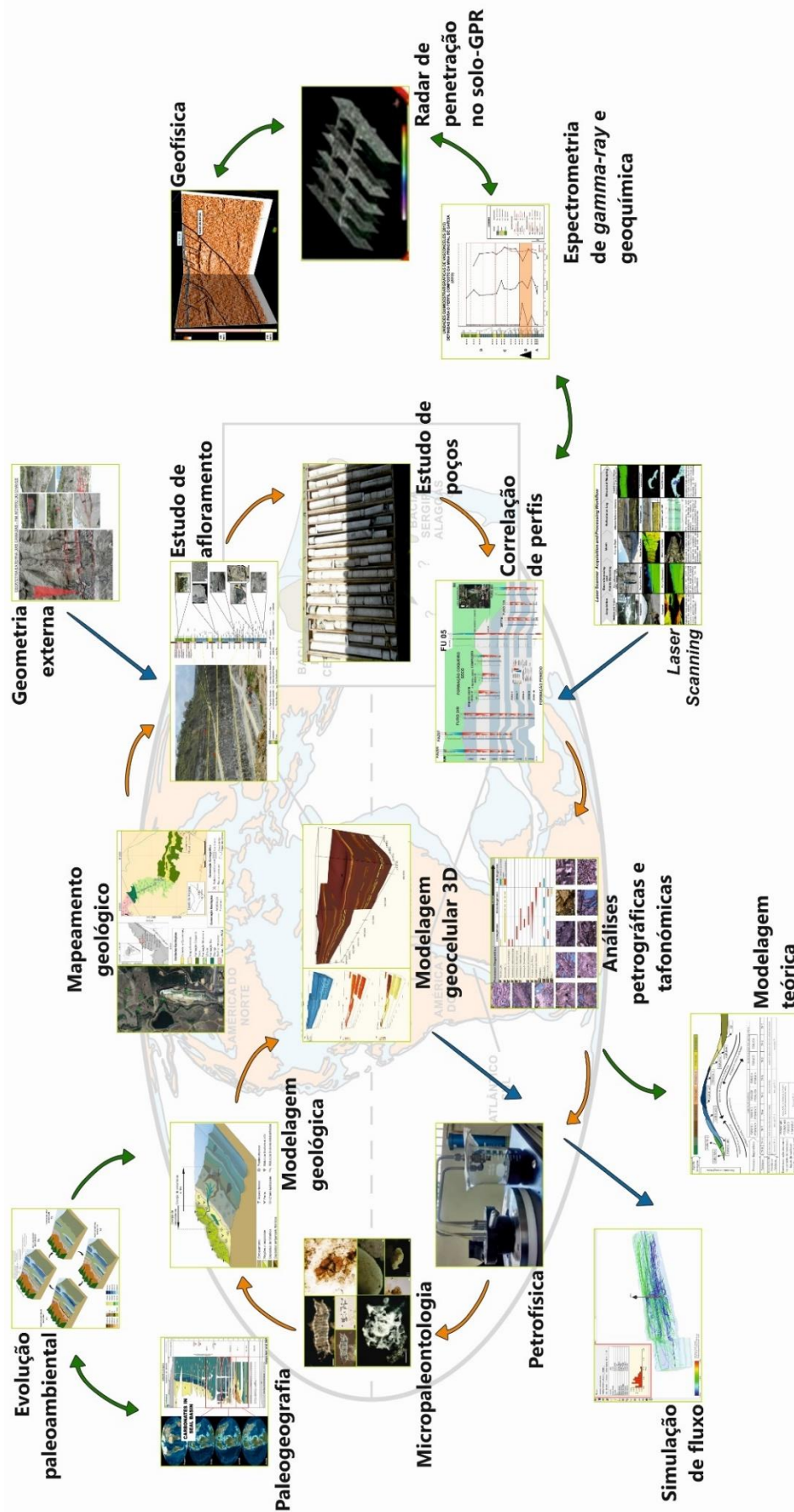


Figura 40 - Esquema representativo de utilização da Metodologia CAMURES, indicando os principais procedimentos usados neste estudo, e que recorre a técnicas de cartografia geológica, descrição de perfis estratigráficos, análises petrográficas e tafonômicas.

Para que sejam confiáveis, e robustas, as transferências de valores das propriedades permo-porosas distribuídas nos modelos 3D multiescalares elaborados com auxílio da utilização de softwares de modelação, é necessário que haja uma forma confiável de se utilizar dados obtidos desde a micro-escala (escala petrofísica) até a escala bacinal (escala sísmica). Através da compreensão dos processos genéticos responsáveis pelas mesmas, nas diferentes escalas, isto torna-se viável.

A Estratigrafia de Sequências, a partir do entendimento dos Ciclos T-R (Transgressivos-Regressivos), inseridos nos contextos dos diferentes Tratos de Sistemas Depositionais, contribui para o reconhecimento dos processos genéticos responsáveis pelas propriedades permoporosas de reservatórios de hidrocarbonetos. A integração pode ser obtida a partir das delimitações da Superfície Regressiva Máxima (SRM) e da Superfície Transgressiva Máxima (STM), sendo que a primeira define topo e base das sequências e a segunda a mudança interna do ciclo transgressivo para o regressivo. Estas são identificadas na análise dos Ciclos TR, realizadas nos perfis de afloramento ou de furos de sondagem. Ambas as superfícies estão associadas aos momentos transgressivos e regressivos do nível de base (Catuneanu et al., 2011), marcados por triângulos azuis e vermelhos, tal como proposto por Karagodin (1975) e utilizados por Muniz (2013). Neste contexto, torna-se possível o reconhecimento e a parametrização das espessuras e das continuidades laterais de corpos, assim como as suas contextualizações em distintas situações deposicionais relacionadas com os ciclos transgressivos e regressivos do corpo aquoso.

Análises petrográficas e tafonómicas **5.5.**

Tal como já referido, as análises petrográficas foram realizadas com base nas classificações propostas por Dunham (1962) para rochas carbonatadas, e de Wentworth (1922) para a caracterização de sedimentos siliciclásticos. As análises tafonómicas apoiaram-se nos princípios e métodos da tafonomia evolutiva (Fernández López, 1991), pela primeira vez aplicados ao estudo de coquinas. Dele resultou um sistema de classificação de petrofácies para depósitos híbridos de coquinas, que se baseia nos tipos e intensidades dos processos tafonómicos e sedimentares a que aqueles bioclastos e sedimentos encaixantes estiveram sujeitos, antes e após o enterro dos restos esqueléticos que originaram os primeiros, e deposição dos segundos.

Em depósitos de coquinas os fatores ambientais relacionados com a energia do meio são os principais agentes responsáveis pela origem e distribuição das petrofácies que integram as distintas associações de petrofácies (A, B e C), conforme se ilustra na figura 41. Estas associações foram definidas com base na composição do material intersticial, sendo: associação A) matriz lamosa carbonática; associação B) presença de constituintes siliciclásticos terrígenos (grosseiros); e associação C) domínio de fragmentos bioclásticos carbonáticos.

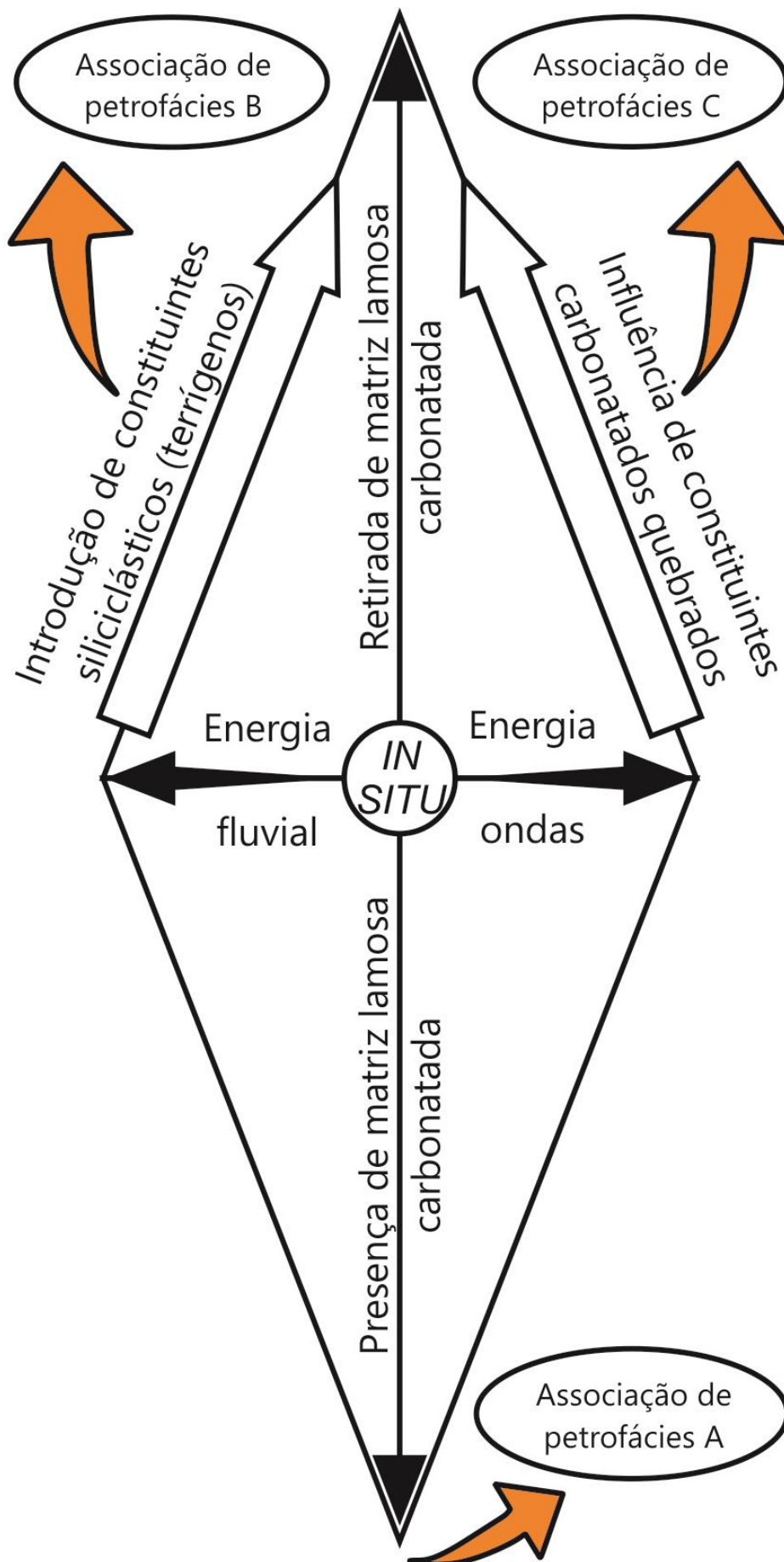


Figura 41 - Fatores ambientais energéticos controladores da distribuição das petrofácies caracterizadas e definidores das principais associações de petrofácies (A, B e C) (modificado de Garcia et al., 2020).

As designações de fácies utilizadas no presente trabalho seguem uma classificação alfanumérica, tal como é usualmente feito na indústria de hidrocarbonetos, concebida com o objetivo de identificar tipos e intensidades de processos e produtos associados. A classificação alfanumérica aqui apresentada visa facilitar o entendimento dos tipos de fácies de acordo com as suas características petrográficas e tafonômicas. As designações das petrofácies são expressas por uma combinação de letras e números, em que as letras resultam da abreviação de características tafonômicas/texturais significativas, antecedidas pela letra inicial da palavra fácies (Quadro 3). Com esta proposta procura-se dar ênfase aos diferentes processos tafonômicos reconhecidos e sua articulação com os ambientes deposicionais.

Cada aspecto analisado é referido tal como de seguida se descreve, em português e inglês: F (F) - fácies, *facies*; RE (SR) - restos esqueléticos, *skeletal remains*; I (U) - inteiros, *unbroken*; Q (B) - quebrados/fragmentados, *broken*; L (M) - lama (micrítica ou não), *mud (mimicritic or not)*; M (Cm) - matriz calcarenítica, *calcareous sand-sized matrix*; C (C) - cimentação intensa (1 - fósseis de bivalves visíveis através do seu revestimento de micrite; 2 - constituintes originais completamente mascarados), *intense cementation (1 - bivalve fossils visible through their micrite coating; 2 - completely masks the original constituents)*; P (P) - porosidade bem preservada, classificada em três estágios (1 - franja diagenética precoce que impede o empacotamento e suporta a estrutura; 2 - porosidade móldica gerada por dissolução; 3 - porosidade gerada por ambos os processos anteriores), *well-preserved porosity, classified into three stages (1 - early diagenetic fringe that prevents packing and supports framework; 2 - moldic porosity generated by dissolution; 3 - with porosity generated by both previous processes)*; H (H) - orientados (na sua maioria horizontais), *oriented (mostly horizontal)*; D (D) - caótica, *dispersed*; T (T) - presença de material siliciclástico terrígeno de granulometria grosseira, principalmente grãos de quartzo, *presence of terrigenous, coarse-grained siliciclastic material, mostly quartz grains*; SAB (SAB) – sabkha, *sabkha*; FIS (ISF) - fácies *in-situ* (elementos acumulados), *in-situ facies (accumulated elements)*. As fácies que apresentam bioclastos fragmentados (B) possuem uma subdivisão consoante a intensidade energética do ambiente deposicional. Portanto, na designação de tal fácies, somam-se os números 1 ou 2 referentes ao grau de fragmentação (1 - bioclastos fragmentados e inteiros; 2 - apenas bioclastos fragmentados). A distribuição das fácies de acordo com o ambiente deposicional e levando em consideração a origem e intensidade energética (fluvial e onda) da remobilização está representada na figura 42.

As petrofácies de coquinas podem ser diferenciadas em dois grupos: coquinas constituídas quase exclusivamente por representantes de um único táxone (e.g. coquinas de moluscos bivalves); e coquinas constituídas por representantes de diferentes táxones. Além disso, as coquinas podem ser constituídas por indivíduos organicamente relacionados (e.g. corais) e indivíduos não relacionados organicamente (e.g. moluscos bivalves). Esta distinção faciológica das coquinas conduziu à conceção de uma terminologia adicional à classificação alfanumérica anteriormente descrita. Estas letras são resultado da abreviação do tipo de relação orgânica existente entre os indivíduos. Esta característica é expressa tal como de seguida se descreve em português e inglês, respetivamente: nob (*nob*) - elementos não relacionados organicamente, *not organically bounded elements* (e.g. moluscos bivalves, gastrópodes); ob (*ob*) - elementos relacionados organicamente, *organically bounded elements* (e.g. recifes de corais). Os elementos relacionados organicamente são considerados inteiros (U) apenas nas fácies *in-situ* (ISF), enquanto noutros contextos são reconhecidos sempre como estando quebrados/fragmentados (B, 1 ou 2).

Quadro 3 - Classificação alfanumérica de coquinas para identificar tipos e intensidades de processos e produtos associados.

CLASSIFICAÇÃO		CARACTERÍSTICAS TAFONÓMICAS/TEXTURAIS SIGNIFICATIVAS		
Português	Inglês	Intensidade do processo		
F			Fácies	
RE	SR		Restos esqueléticos	
I	U		Inteiros	
Q	B	1	Elementos fragmentados e inteiros	
		2	Apenas elementos fragmentados	
L	M		Lama (micrítica ou não)	
M	Cm		Matriz calcarenítica	
C				Cimentação intensa
		1	Elementos visíveis através do seu revestimento de micrite	
		2	Elementos originais completamente mascarados	
				Porosidade bem preservada
P			1	Franja diagenética precoce que impede o empacotamento e suporta a estrutura
			2	Porosidade móldica gerada por dissolução
			3	Porosidade gerada por ambos os processos anteriores
H			Elementos orientados (na sua maioria horizontais)	
D			Elementos distribuídos de forma caótica	
T			Presença de material siliciclástico terrígeno de granulometria grosseira, principalmente grãos de quartzo	
SAB				Sabkha
FIS	ISF			Fácies <i>in-situ</i> (elementos acumulados)
nob				Elementos não relacionados organicamente
ob				Elementos relacionados organicamente

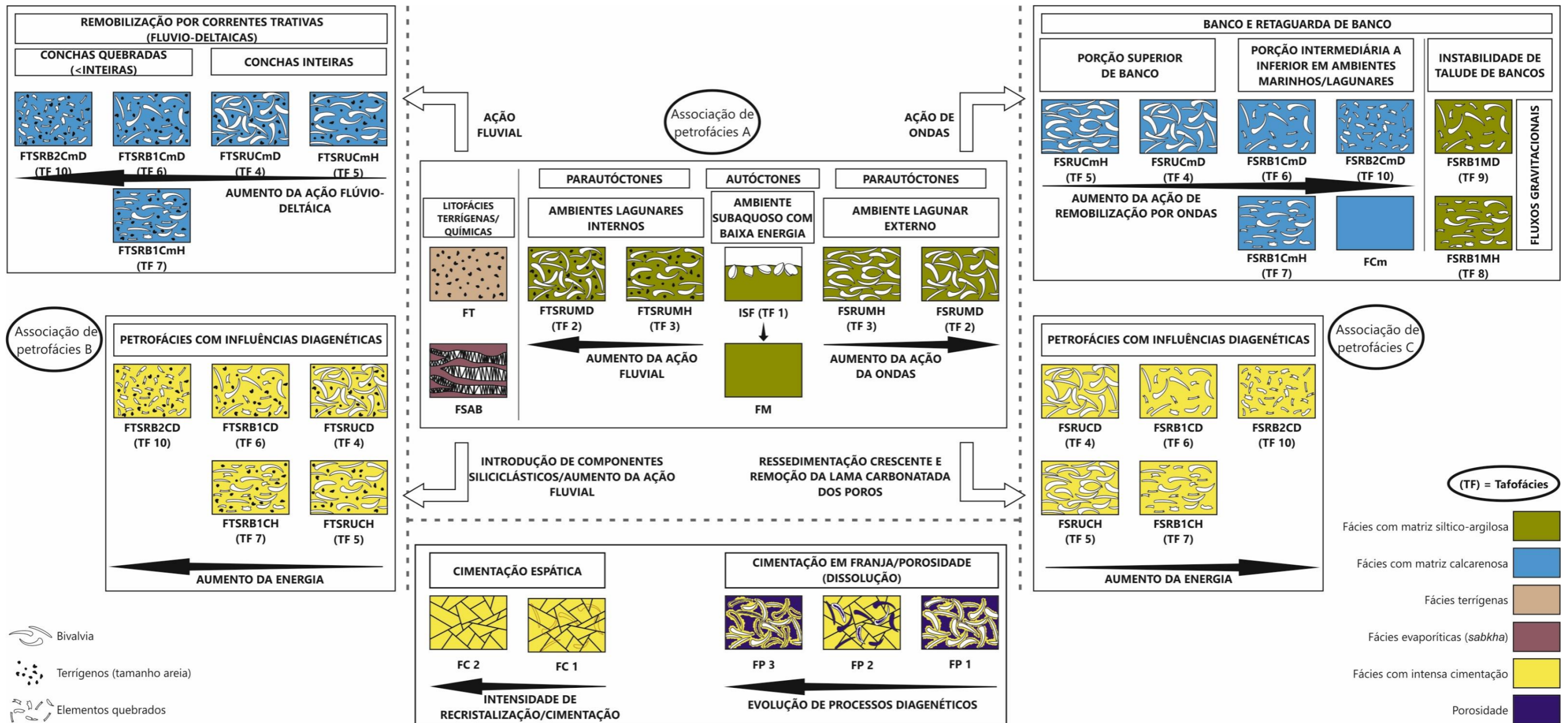


Figura 42 - Caracterização de petrofácies e das associações de petrofácies por ambientes deposicionais para as coquinas da Formação Morro do Chaves (modificado de Garcia et al., 2020).

6.

Resultados

6.

Resultados

No presente capítulo são apresentados os resultados obtidos através da análise dos mecanismos tafonômicos que originam as tafofácies/petrofácies reconhecidas para os depósitos de coquinas das Formações Morro do Chaves e Amaral, bem como as suas relações na definição das propriedades permo-porosas de reservatórios análogos ao pré-sal do Brasil.

Os resultados apresentados para a Formação Morro do Chaves (em 6.1.) e para a Formação Amaral (em 6.2.) apontam para contextos deposicionais de ambientes marinhos relativamente restritos, associados a situações de maior ou menor diversidade de associações paleontológicas. Neste capítulo, discute-se igualmente o papel dos agentes energéticos nas distribuições verticais e laterais das fácies, ferramenta essencial de extrapolação em modelos teóricos de análogos de reservatórios do pré-sal brasileiro.

6.1. Formação Morro do Chaves

As análises petrográficas e tafonômicas enquadradas numa perspectiva multi-escalar da Formação Morro do Chaves, permitiram o estabelecimento de um modelo de evolução estratigráfico para a unidade, assente no reconhecimento de diferentes fácies de acordo com as suas propriedades composicionais, texturais e tafonômicas. Tais resultados estão publicados em revista indexada (disponível online) e constituem parte essencial para a compreensão dos resultados obtidos no projeto subjacente a esta tese de doutoramento. A informação detalhada relativa ao referido trabalho está contida no Anexo C.

- Garcia, G.G., Henriques, M.H., Garcia, A.J.V., Dantas, M.V.S. (2020) Petrofacies and taphofacies analyses of coquinas as a tool for the establishment of a stratigraphic evolution model of the Morro do Chaves Formation (Sergipe-Alagoas Basin, NE Brazil). *Facies* 67, 4 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10347-020-00614-9>.

Acessível em:

https://www.researchgate.net/publication/345762247_Petrofacies_and_taphofacies_analyses_of_coquinas_as_a_tool_for_the_establishment_of_a_stratigraphic_evolution_model_of_the_Morro_do_Chaves_Formation_Sergipe-Alagoas_Basin_NE_Brazil

De acordo com os critérios enunciados em 5.5., a análise de diferentes aspetos litológicos e tafonômicos resultou no estabelecimento de dez tafofácies (1 a 10, relativas a depósitos com fósseis) que, em associação com quatro litofácies (1 a 4, relativas a depósitos sem fósseis), permitiram a definição de 36 petrofácies (Quadro 4). Tendo em vista a importância dos processos fósfil-diagenéticos na génese de coquinas, cinco petrofácies que exibem substituição quase total dos constituintes originais foram classificadas separadamente como fácies fósfil-diagenéticas (Fig. 42).

Os mecanismos de alteração tafonômica reconhecidos nos fósseis de bivalves que compõem as coquinas da formação incluem fundamentalmente incrustação, permineralização, cimentação, recristalização, distorção mecânica,

abrasão, dissolução, reorientação, desarticulação, dispersão, reagrupamento e remoção tafonómica ou remobilização (Fig. 43, Fig. 44 e Fig. 45).

As petrofácies e tafofácies foram agrupadas em cinco associações de fácies, com base nas afinidades entre os processos tafonómicos (bioestratinómicos e fósil-diagenéticos) e os contextos deposicionais em que ocorrem na plataforma carbonatada mista.

Quadro 4 - Classificações de litofácies e tafofácies das coquinas da Formação Morro do Chaves (modificado de Garcia et al., 2020).

LITOFÁCIES/ TAFOFÁCIES	DESCRIÇÃO	CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES	INTERPRETAÇÃO
Litofácies 1	Mais de 30% dos grãos de tamanho areia, siliciclástico, principalmente grãos de quartzo	Contribuição importante de material terrígeno de granulometria grosseira	Inundações fluviais esporádicas num ambiente marinho restrito
Litofácies 2	Mais de 30% dos grãos de tamanho argila-silte, siliciclásticos ou carbonatados	Presença importante de constituintes da dimensão da argila-silte	Regiões mais profundas de uma plataforma marinha restrita, onde os moluscos bivalves viviam
Litofácies 3	Microestruturas laminadas, intercaladas com matéria orgânica amorfa (MOA). Níveis de argila intercalados. Podem ocorrer grãos de quartzo da dimensão da areia fina	Fendas de dessecação preenchidas por gesso ou sílica microcristalina	Pequenos lagos evaporíticos distribuídos ao longo da planície costeira (sabkha)
Litofácies 4	Grãos (quartzo) da dimensão da areia de composição carbonatada, predominantemente de origem aloquímica	Limpeza devido à remoção de material de granulometria fina (lama)	Porção superior dos bancos de coquinas
Tafofácies 1	Bioclastos inteiros com valvas unidas em posição de vida	Matriz lamosa	Ambiente de baixa energia
Tafofácies 2	Bioclastos inteiros com orientação caótica		Transporte curto relacionado com a ação das ondas normais e fluxos de gravidade proximais como resultado de descargas fluviais de alta energia. Parte externa do banco com grande declividade
Tafofácies 3	Bioclastos inteiros, orientados e/ou imbricados		Transporte curto relacionado com a ação das ondas normais de baixa energia e fluxos de gravidade distais como resultado de descargas fluviais de alta energia. Parte externa do banco com baixa inclinação
Tafofácies 4	Bioclastos inteiros com orientação caótica e forte abrasão	Matriz calcarenítica e ausência de matriz lamosa	Transporte médio e contínuo dos bioclastos, relacionado com a ação de ondas de alta energia na porção superior do banco.
Tafofácies 5	Bioclastos inteiros com forte imbricação		Transporte relacionado com a ação das ondas de alta energia e ação de descargas fluviais de alta energia. Partes superiores externas dos bancos de conchas
Tafofácies 6	Bioclastos inteiros e fragmentados com orientação caótica		Transporte longo relacionado com fluxos de tempestade, que resultam de ondas de tempestade que remobilizam os bioclastos para a parte proximal interna do banco
Tafofácies 7	Bioclastos inteiros e fragmentados com orientação e/ou imbricação		Transporte longo relacionado com fluxos de tempestade, que resultam de ondas de tempestade que remobilizam os bioclastos para a parte distal interna do banco
Tafofácies 8	Bioclastos inteiros e fragmentados com orientação caótica	Presença de matriz lamosa. Apresenta mistura de alguns fósseis reelaborados	Transporte relacionado com a ação de descargas fluviais e fluxos gravitacionais em decorrência de ondas de tempestade. Esses fluxos gravitacionais transportam os bioclastos do topo do banco para o interbanco proximal com lama
Tafofácies 9	Bioclastos inteiros e fragmentados com orientação caótica	Presença de matriz lamosa. Apresenta maior frequência de fósseis reelaborados	Transporte relacionado com a ação de descargas fluviais de baixa energia e fluxos gravitacionais como resultado de ondas de tempestade. Esses fluxos gravitacionais transportam os bioclastos do topo do banco para o interbanco distal com lama
Tafofácies 10	Bioclastos totalmente fragmentados	Matriz calcarenítica e ausência de matriz lamosa	Transporte relacionado com a ação das ondas no contexto de praia e leques de <i>washover</i>

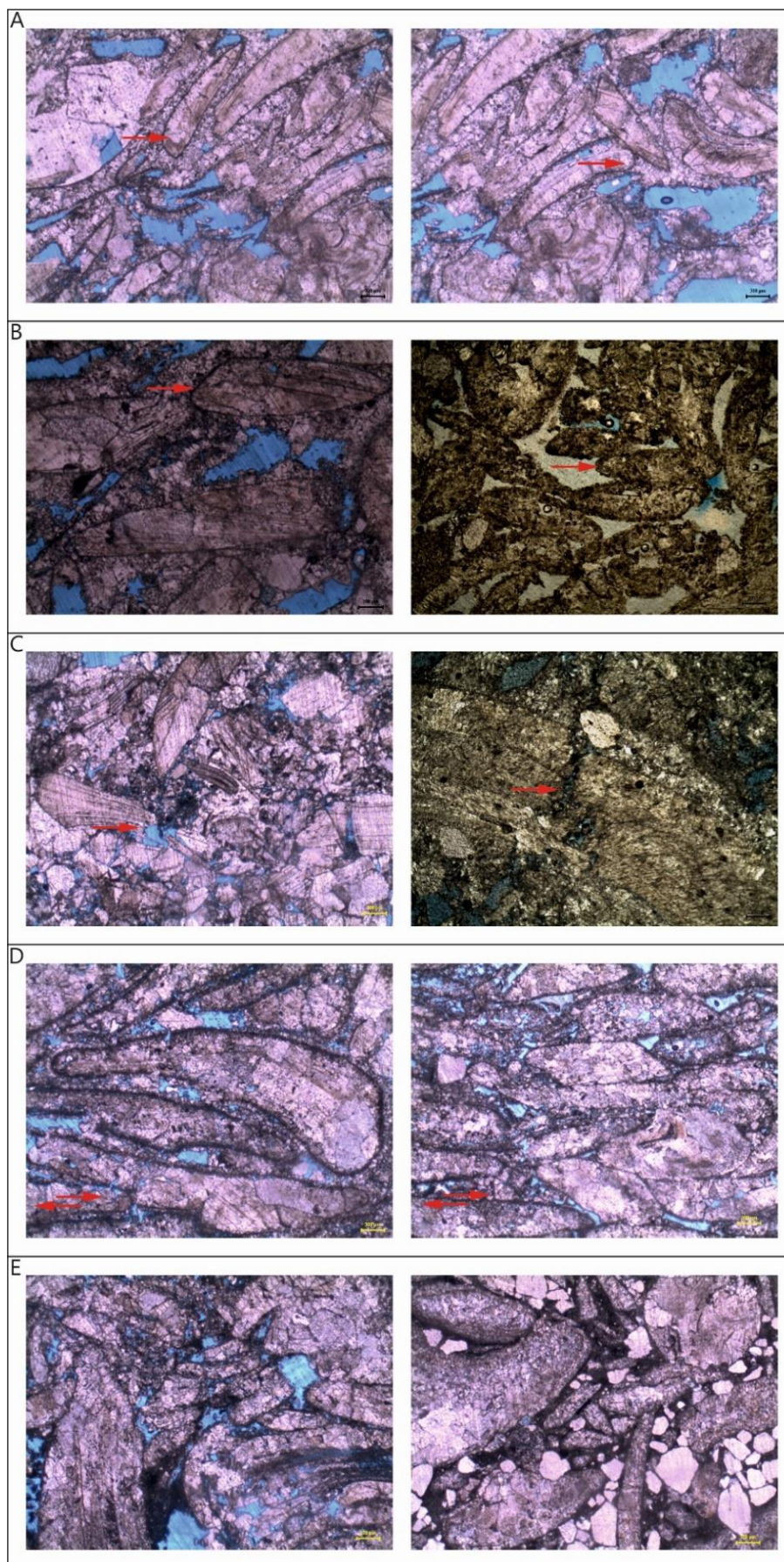


Figura 43 - Fotomicrografias que ilustram a atuação de diferentes mecanismos de alteração tafonômica em depósitos de coquinas, a saber: A) desarticulação; B) abrasão; C) fragmentação (total ou parcial); D) orientação preferencial; E) distribuição caótica (modificado de Garcia et al., 2020).

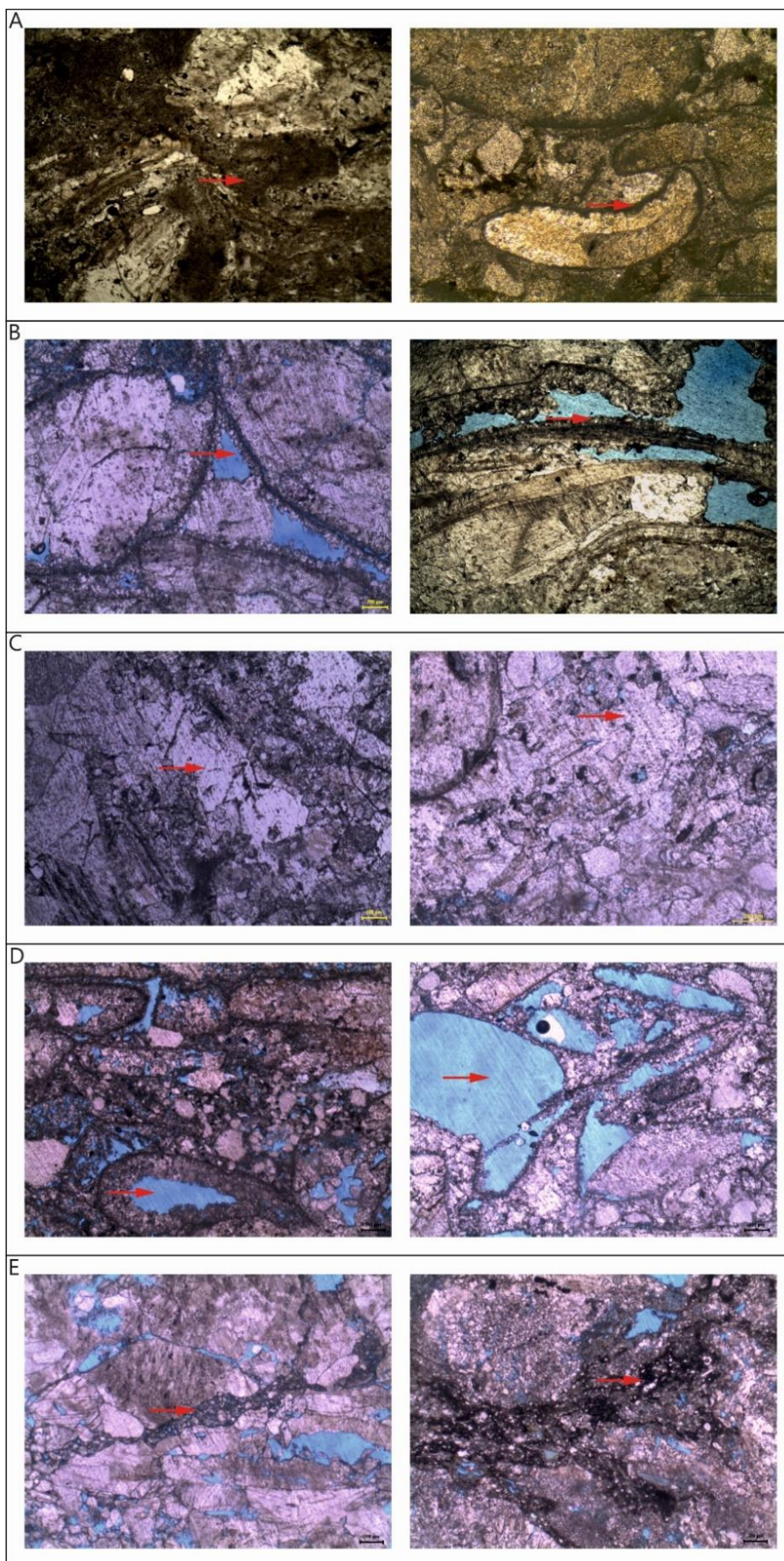


Figura 44 - Fotomicrografias que ilustram a atuação de diferentes mecanismos de alteração tafonômica em depósitos de coquinas, a saber: A) micritização; B) cimentação em franja; C) cimentação espática; D) mecanismos de dissolução e variação do tamanho de poros; E) percolação de fluido ao longo de fraturas (modificado de Garcia et al., 2020).

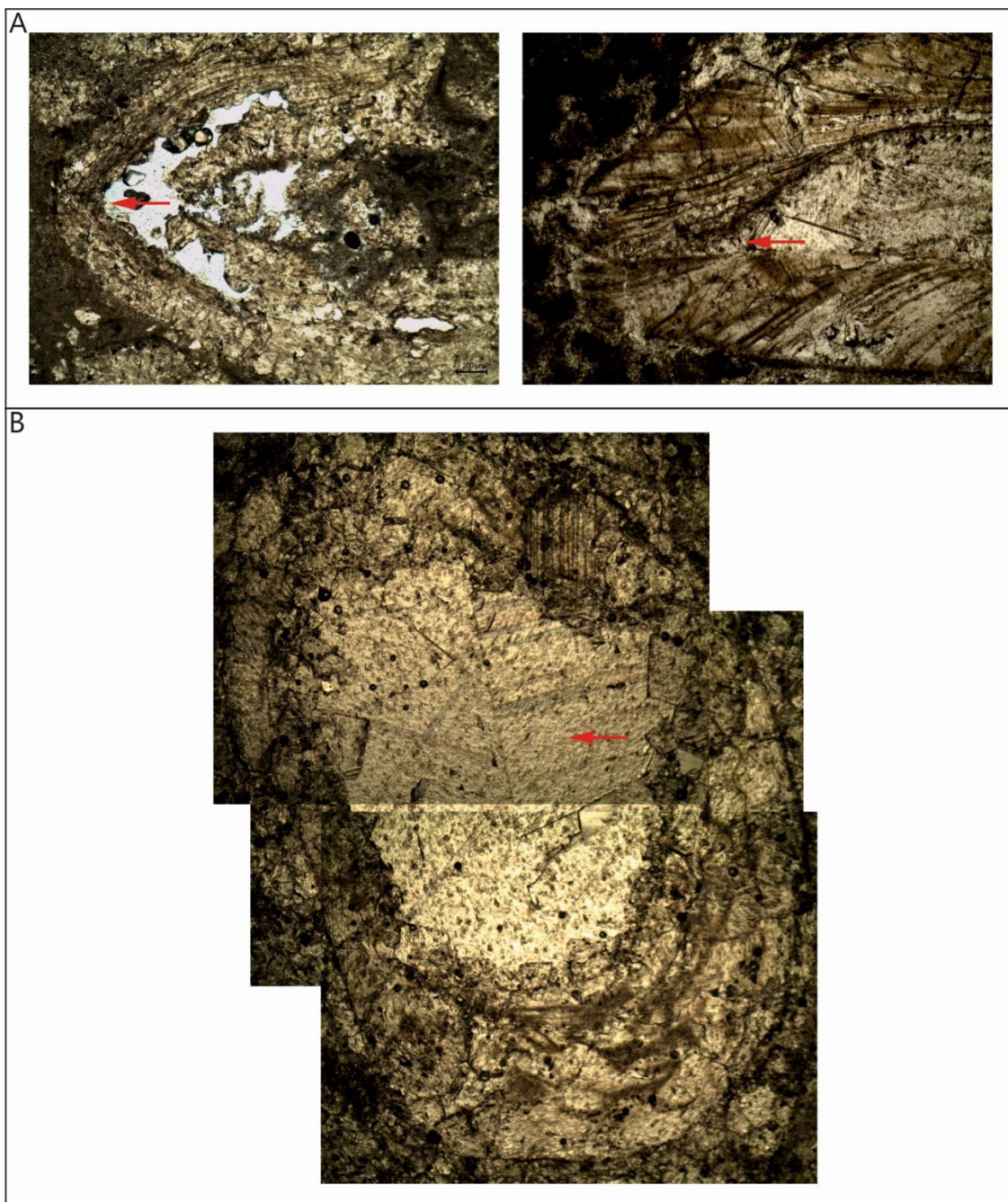


Figura 45 - Fotomicrografias que ilustram a atuação de diferentes mecanismos de alteração tafonômica em depósitos de coquinas, a saber: A) conchas articuladas acumuladas de bivalves infaunais; B) molde interno reelaborado preenchido com calcite espática e posteriormente fragmentada por remoção tafonômica (modificado de Garcia et al., 2020).

A distribuição espacial das diferentes petrofácies no contexto da plataforma mista clástica-carbonática da Formação Morro do Chaves sugere diversos subambientes sujeitos a regimes energéticos específicos (Fig. 46, Anexo D). A sua distribuição temporal permitiu a construção de um modelo de evolução estratigráfica dos sistemas deposicionais das coquinas fortemente controlado por mecanismos tafonômicos, bem como por mudanças paleoambientais registadas nos distintos tratos do sistema e no contexto tectónico do segundo estágio da fase rifte (Fig. 47).

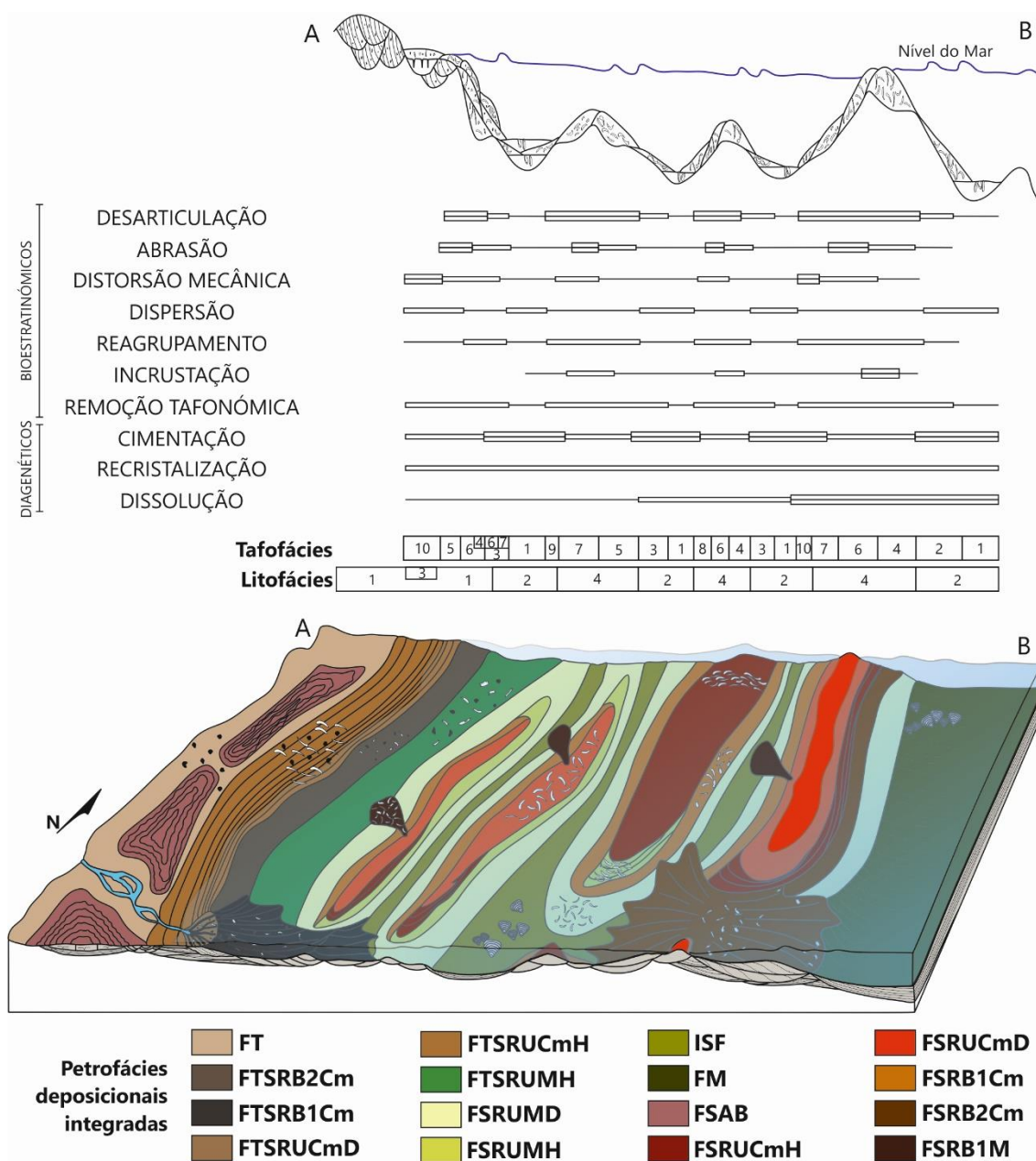


Figura 46 - Modelo deposicional 3D e secção geológica A-B perpendicular à linha de costa. A secção geológica A-B na plataforma carbonatada representa os mecanismos tafonómicos e respetivos graus de intensidade conforme inferido das litofácies e tafofácies reconhecidas (modificado de Garcia et al., 2020).

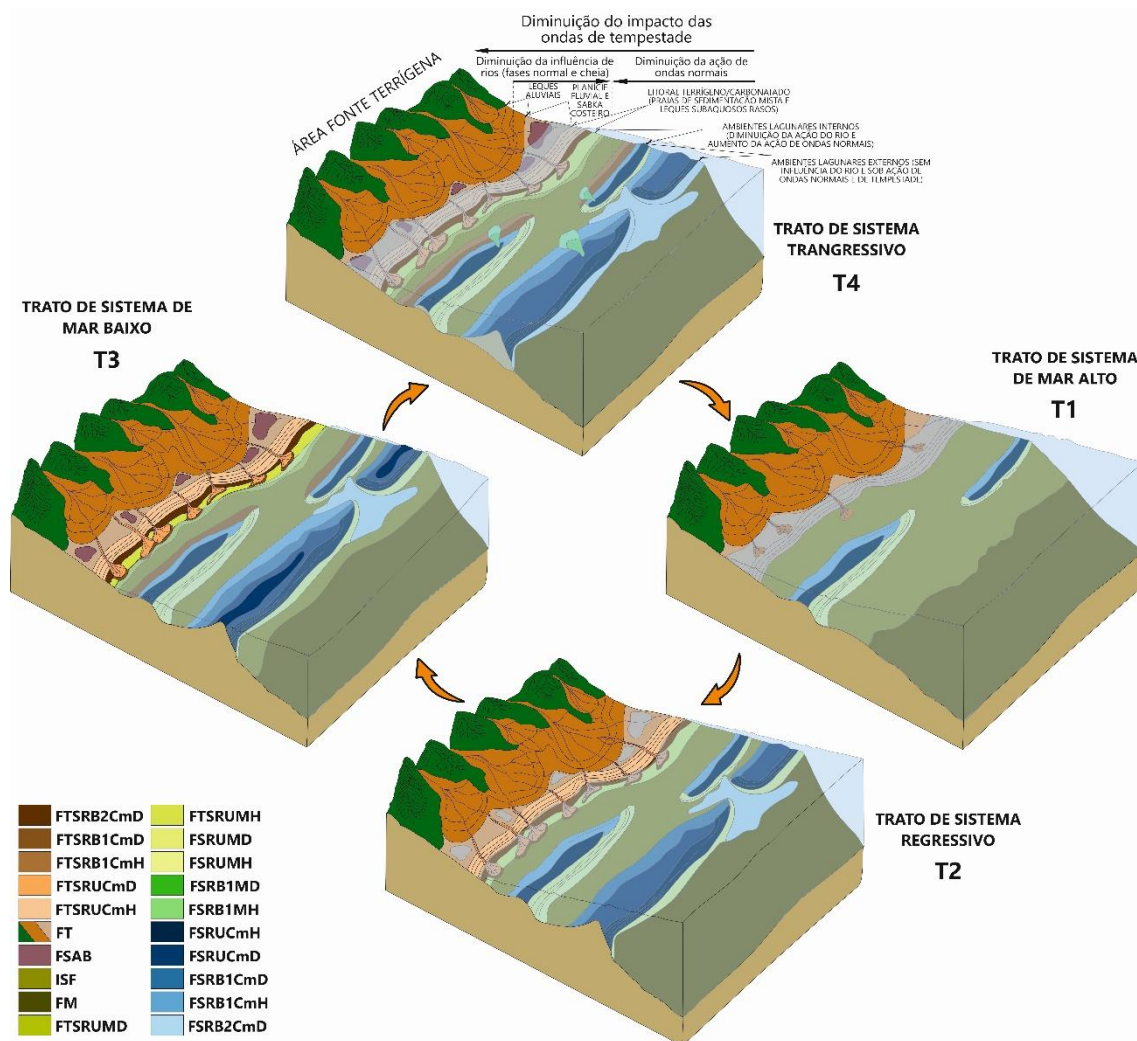


Figura 47 - Modelo de evolução estratigráfica dos sistemas deposicionais. Sistemas deposicionais e tratos de sistemas (tempo - T). T1: conchas de organismos infaunais que vivem num substrato lamoso e eventualmente afetados por remobilização em escala centimétrica, deposição de coquinas com conchas completas; T2: aumento da entrada de sedimentos terrígenos grosseiros (ação fluvial), deposição de conchas fragmentadas e remobilizadas por ondas; T3: sabkha, deposição de barras de coquinas, deposição de conchas fragmentadas com sedimentos terrígenos de granulação grosseira; T4: inundação marinha, deposição de conchas fragmentadas com lama (remobilizadas por ondas) (modificado de Garcia et al., 2020).

O modelo de evolução estratigráfica elaborado para a Formação Morro do Chaves permitiu fundamentar a concepção de um modelo teórico de distribuição de fácies capaz de prever a evolução de fácies de coquinas dentro de um sistema deposicional misto de uma plataforma rasa extensa. Por exemplo, petrofácies do tipo ISF podem evoluir para FSRUMH, FSRUMD, FSRUCmH e FSRUCmD no contexto de um ambiente sujeito à ação normal das ondas, ou diretamente para FSRUCmD no contexto de um ambiente sujeito a tempestades (Fig. 48).

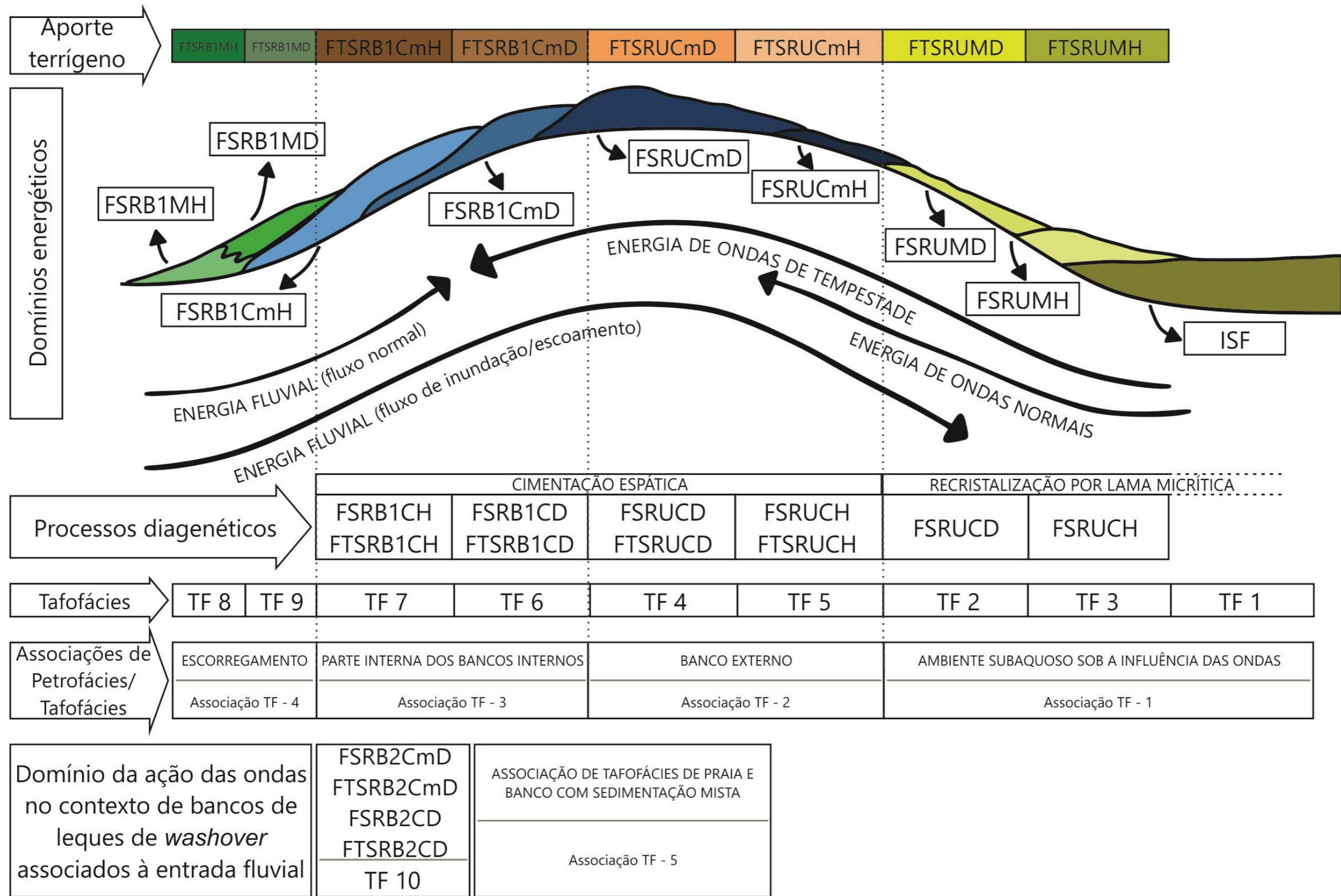


Figura 48 - Modelo teórico de distribuição de associações de tafofácies e petrofácies para os depósitos de coquinas. Banco de coquinas idealizado a partir do material amostrado da Formação Morro do Chaves (modificado de Garcia et al., 2020).

Formação Amaral 6.2.

Tal como na Formação Morro do Chaves (em 6.1.), as análises macroscópicas e tafonómicas do registo da Formação Amaral enquadradas numa perspectiva multi-escalar permitiram o estabelecimento de um modelo de evolução estratigráfico para a unidade, assente no reconhecimento de diferentes fácies de acordo com as suas propriedades composicionais, texturais e tafonómicas.

A metodologia seguida para a classificação das coquinas da Formação Amaral baseou-se na que foi utilizada na Formação Morro do Chaves (Garcia et al., 2020), adaptada no caso da caracterização das petrofácies, para ir ao encontro da emergência de novas variáveis: ocorrência de maior ou menor biodiversidade de elementos registados, atuação de condicionantes tectónicas e impactos de eventos transgressivos.

Assim, de acordo com os critérios enunciados em 5.5., a análise de diferentes aspetos litológicos e tafonómicos do registo sedimentar da Formação Amaral resultou no estabelecimento de 10 tafofácies (1 a 10, relativas a depósitos com fósseis) que, em associação com quatro litofácies (1, 2, 4 e 5, relativas a depósitos sem fósseis), permitiram a definição de 84 petrofácies (Quadro 5; Fig. 49).

Para a definição das tafofácies foram tidos em conta os diferentes mecanismos de alteração tafonómica que terão atuado sobre os elementos fósseis registados nas coquinas da unidade, e que se descrevem de seguida.

Quadro 5 - Descrição e interpretação das litofácies e tafofácies reconhecidas para a Formação Amarel, que perfazem 84 petrofácies. As tafofácies foram definidas tendo em conta os diferentes mecanismos de alteração tafonómica que terão atuado sobre os elementos fósseis registados nas coquinas da unidade (modificado de Garcia et al., 2020).

LITOFÁCIES/ TAFOFÁCIES		PETROFÁCIES	DESCRIÇÃO	CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES	INTERPRETAÇÃO
Litofácies 1		FT	Mais de 30% dos grãos da dimensão da areia, siliciclásticos, principalmente grãos de quartzo	Contribuição importante de material terrígeno de granulometria grosseira	Inundações fluviais esporádicas num ambiente marinho restrito
Litofácies 2		FM	Mais de 30% dos grãos da dimensão da argila-silte, siliciclásticos ou carbonatados	Presença importante de constituintes da dimensão da argila-silte	Regiões mais profundas de uma plataforma marinha restrita, onde os organismos viviam
Litofácies 4		FCm	Grãos da dimensão da areia de composição carbonatada, predominantemente de origem aloquímica bioclástica	Limpeza devido à remoção de material de granulometria fina (lama)	Porção superior dos bancos de coquinas
Litofácies 5		ANBF	Mais de 30 % de componentes de origem aloquímica não bioclástica	Presença comum de matriz carbonatada fina margosa (lama), a depender do grau de remoção dos componentes	Porções protegidas de ambiente lagunares e onde eventualmente não viviam organismos de concha carbonatada
Tafofácies 1	Tafofácies 1.1	ISF1	Elementos não relacionados organicamente (nob) inteiros e em posição de vida	Matriz lamosa	Ambiente de baixa energia. Lagunas interbancos
	Tafofácies 1.2	ISF2	Elementos relacionados organicamente (ob) inteiros e em posição de vida		
	Tafofácies 1.3	ISF3	Elementos não relacionados organicamente (nob) inteiros e em posição de vida	Matriz calcarenítica e ausência de matriz lamosa	Ambiente de baixa energia relacionado e próximos de bancos internos
	Tafofácies 1.4	ISF4	Elementos relacionados organicamente (ob) inteiros e em posição de vida		
Tafofácies 2	Tafofácies 2.1	FSRUnobMD	Elementos não relacionados organicamente (nob) inteiros distribuídos de forma caótica	Matriz lamosa	Transporte curto relacionado com a ação das ondas normais e fluxos de gravidade proximais como resultado de descargas fluviais de alta energia. Parte externa do banco com grande declividade
		FTSRUnobMD			
	Tafofácies 2.2	FSRUnobBob1MD	Elementos não relacionados organicamente (nob) inteiros e elementos relacionados organicamente (ob) fragmentados e distribuídos de forma caótica		
		FTSRUnobBob1MD			
Tafofácies 3	Tafofácies 3.1	FSRUnobMH	Elementos não relacionados organicamente (nob) inteiros orientados e/ou imbricados	Matriz lamosa	Transporte curto relacionado com a ação das ondas normais de baixa energia e fluxos de gravidade distais como resultado de descargas fluviais de alta energia. Parte externa do banco com baixa inclinação
		FTSRUnobMH			
	Tafofácies 3.2	FSRUnobBob1MH	Elementos não relacionados organicamente (nob) inteiros e elementos relacionados organicamente (ob) fragmentados, orientados e/ou imbricados		
		FTSRUnobBob1MH			
Tafofácies 4	Tafofácies 4.1	FSRUnobCmD	Elementos não relacionados organicamente (nob) inteiros, distribuídos de forma caótica	Matriz calcarenítica e ausência de matriz lamosa	Transporte médio e contínuo dos elementos, relacionado com ação de ondas de alta energia na porção superior do banco que remobilizam os bioclastos para a parte proximal interna do banco
		FTSRUnobCmD			
		FSRUnobCD			
		FTSRUnobCD			
	Tafofácies 4.2	FSRUnobBob1CmD	Elementos não relacionados organicamente (nob) inteiros e elementos relacionados organicamente (ob) fragmentados e distribuídos de forma caótica		
		FTSRUnobBob1CmD			
		FSRUnobBob1CD			
		FTSRUnobBob1CD			
	Tafofácies 4.3	FSRBob1CmD	Elementos relacionados organicamente (ob), parcialmente fragmentados e distribuídos de forma caótica		
		FTSRBob1CmD			
		FSRBob1CD			
		FTSRBob1CD			

Quadro 5 (continuação) - Descrição e interpretação das litofácies e tafofácies reconhecidas para a Formação Amaral, que perfazem 84 petrofácies. As tafofácies foram definidas tendo em conta os diferentes mecanismos de alteração tafonômica que terão atuado sobre os elementos fósseis registrados nas coquinas da unidade (modificado de Garcia et al., 2020).

LITOFÁCIES/ TAFOFÁCIES		PETROFÁCIES	DESCRIÇÃO	CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES	INTERPRETAÇÃO	
Tafofácies 5	Tafofácies 5.1	FSRUnobCmH	Elementos não relacionados organicamente (nob) inteiros, orientados e/ou imbricados	Matriz calcarenítica e ausência de matriz lamosa	Transporte relacionado com a ação das ondas de alta energia e ação de descargas fluviais de alta energia. Partes superiores externas dos bancos	
		FTSRUnobCmH				
		FSRUnobCH				
		FTSRUnobCH				
	Tafofácies 5.2	FSRUnobBob1CmH	Elementos não relacionados organicamente (nob) inteiros e elementos relacionados organicamente (ob) fragmentados, orientados e/ou imbricados			
		FTSRUnobBob1CmH				
		FSRUnobBob1CH				
		FTSRUnobBob1CH				
	Tafofácies 5.3	FSRBob1CmH	Elementos relacionados organicamente (ob), parcialmente fragmentados, orientados e/ou imbricados			
		FTSRBob1CmH				
		FSRBob1CH				
		FTSRBob1CH				
Tafofácies 6	Tafofácies 6.1	FSRBnob1CmD	Elementos não relacionados organicamente (nob) e elementos relacionados organicamente (ob) inteiros e fragmentados com orientação caótica	Matriz calcarenítica e ausência de matriz lamosa	Transporte longo relacionado com fluxos de tempestade, nomeadamente de ondas de tempestade que remobilizam os bioclastos para a parte proximal interna do banco	
		FTSRBnob1CmD				
		FSRBnob1CD				
		FTSRBnob1CD				
	Tafofácies 6.2	FSRBnob1Bob1CmD				Elementos não relacionados organicamente (nob) e elementos relacionados organicamente (ob) inteiros e fragmentados com orientação caótica
		FTSRBnob1Bob1CmD				
		FSRBnob1Bob1CD				
		FTSRBnob1Bob1CD				
	Tafofácies 6.3	FSRBob1CmD				Elementos não relacionados organicamente (nob) e elementos relacionados organicamente (ob) inteiros e fragmentados, horizontais e/ou imbricados
		FTSRBob1CmD				
		FSRBob1CD				
		FTSRBob1CD				
Tafofácies 7	Tafofácies 7.1	FSRBnob1CmH	Elementos não relacionados organicamente (nob) e elementos relacionados organicamente (ob) inteiros e fragmentados, horizontais e/ou imbricados	Matriz calcarenítica e ausência de matriz lamosa	Transporte longo relacionado com fluxos de tempestade, nomeadamente de ondas de tempestade que remobilizam os bioclastos para a parte distal interna do banco	
		FTSRBnob1CmH				
		FSRBnob1CH				
		FTSRBnob1CH				
	Tafofácies 7.2	FSRBnob1BobCmH				Elementos não relacionados organicamente (nob) e elementos relacionados organicamente (ob) inteiros e fragmentados, horizontais e/ou imbricados
		FTSRBnob1BobCmH				
		FSRBnob1Bob1CH				
		FTSRBnob1Bob1CH				
	Tafofácies 7.3	FSRBob1CmH				Elementos não relacionados organicamente (nob) e elementos relacionados organicamente (ob) inteiros e fragmentados, horizontais e/ou imbricados
		FTSRBob1CmH				
		FSRBob1CH				
		FTSRBob1CH				
Tafofácies 8	Tafofácies 8.1	FSRBnob1MH	Elementos não relacionados organicamente (nob) e elementos relacionados organicamente (ob) inteiros e fragmentados, horizontais e/ou imbricados	Presença de matriz lamosa	Transporte relacionado com a ação de descargas fluviais e fluxos gravitacionais em decorrência de ondas de tempestade. Esses fluxos gravitacionais transportam os bioclastos desde o topo do banco até ao interbanco proximal com lama	
		FTSRBnob1MH				
	Tafofácies 8.2	FSRBnob1Bob1MH				
		FTSRBnob1Bob1MH				
	Tafofácies 8.3	FSRBob1MH				
		FTSRBob1MH				

Quadro 5 (continuação) - Descrição e interpretação das litofácies e tafofácies reconhecidas para a Formação Amaral, que perfazem 84 petrofácies. As tafofácies foram definidas tendo em conta os diferentes mecanismos de alteração tafonômica que terão atuado sobre os elementos fósseis registrados nas coquinas da unidade (modificado de Garcia et al., 2020).

LITOFÁCIES/ TAFOFÁCIES		PETROFÁCIES	DESCRIÇÃO	CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES	INTERPRETAÇÃO
Tafofácies 9	Tafofácies 9.1	FSRBnob1MD	Elementos não relacionados organicamente (nob) e elementos relacionados organicamente (ob) parcialmente inteiros ou fragmentados, distribuídos de forma caótica	Presença de matriz lamosa. Apresenta maior frequência de fósseis reelaborados	Transporte relacionado com a ação de descargas fluviais de baixa energia e fluxos gravitacionais como resultado de ondas de tempestade. Esses fluxos gravitacionais transportam os bioclastos desde o topo do banco até ao interbanco distal com lama
		FTSRBnob1MD			
	Tafofácies 9.2	FSRBnob1Bob1MD			
		FTSRBnob1Bob1MD			
	Tafofácies 9.3	FSRBob1MD			
		FTSRBob1MD			
Tafofácies 10	Tafofácies 10.1	FSRBnob2CmD	Bioclastos totalmente fragmentados	Matriz calcarenítica e ausência de matriz lamosa	Transporte relacionado com a ação das ondas no contexto de praia e leques de <i>washover</i>
		FTSRBnob2CmD			
		FSRBnob2CD			
		FTSRBnob2CD			
	Tafofácies 10.2	FSRBnob2Bob1CmD			
		FTSRBnob2Bob1CmD			
		FSRBnob2Bob1CD			
		FTSRBnob2Bob1CD			
	Tafofácies 10.3	FSRBnob2Bob2CmD			
		FTSRBnob2Bob2CmD			
		FSRBnob2Bob2CD			
		FTSRBnob2Bob2CD			
	Tafofácies 10.4	FSRBob2CmD			
		FTSRBob2CmD			
		FSRBob2CD			
		FTSRBob2CD			

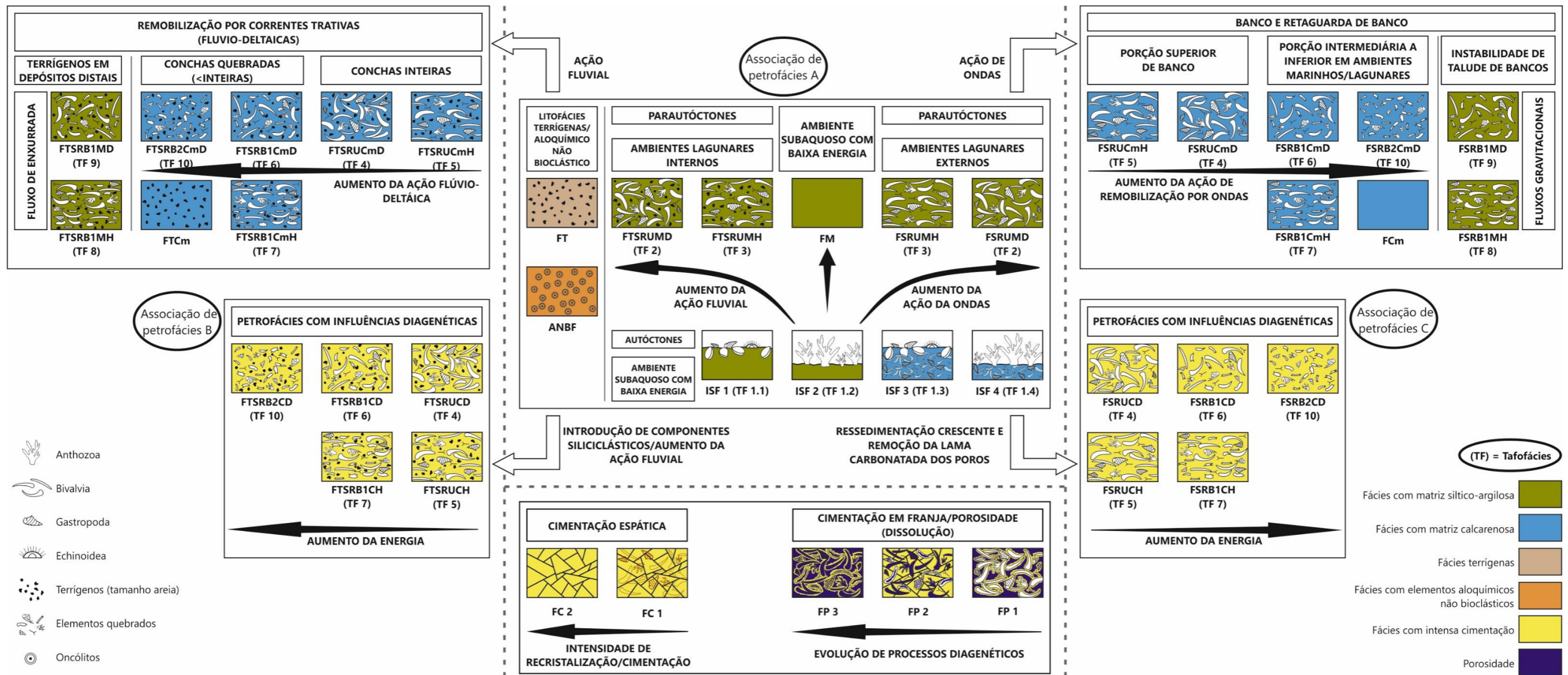


Figura 49 - Caracterização de petrofácies e das associações de petrofácies por ambientes deposicionais para as coquinas da Formação Amaral (modificado de Garcia et al., 2020).

6.2.1. Mecanismos de alteração tafonómica nas coquinas da Formação Amaral

A grande concentração e diversidade de bioclastos e demais constituintes aloquímicos registada na Formação Amaral são o resultado da atuação de diferentes mecanismos tafonómicos de longa duração e das condicionantes que controlaram os distintos contextos paleoambientais com os quais a unidade se relaciona. Os mecanismos tafonómicos reconhecidos nos elementos e associações registados da Formação Amaral incluem biodegradação, incrustação, cimentação (permineralização, formação de concreções), neomorfismo (recristalização), substituição, abrasão, bioerosão, dissolução, distorção mecânica, desarticulação, reorientação (dispersão e reagrupamento) e remoção tafonómica ou remobilização (acumulação e ressedimentação).

As análises tafonómicas de amostras de mão, juntamente com técnicas de separação de fósseis, permitiram a identificação dos principais processos tafonómicos, que geralmente ocorreram na seguinte ordem: desarticulação, distorção mecânica e abrasão, reorientação (dispersão e reagrupamento), cimentação (permineralização, formação de concreções) e neomorfismo (recristalização) e remoção tafonómica ou remobilização (acumulação e ressedimentação).

6.2.1.1. Desarticulação

O processo de desarticulação é identificado essencialmente em elementos não relacionados organicamente. Este é um dos primeiros processos a ocorrer e é o mais comum, principalmente em ambientes sujeitos à ação de ondas. Os elementos reconhecidos na Formação Amaral encontram-se fundamentalmente em dois estados de desarticulação: com as valvas dos moluscos e/ou placas de equinodermes unidas, mas abertas, e pouco fragmentadas; com todos os elementos desarticulados (espinhos e placas de equinodermes, valvas de moluscos, entre outros) (Fig. 50 A até D). A tafofácies TF1, geralmente relacionado a fácies com lama, constitui o único exemplo em que os elementos ainda podem ser encontrados inteiros e completos.

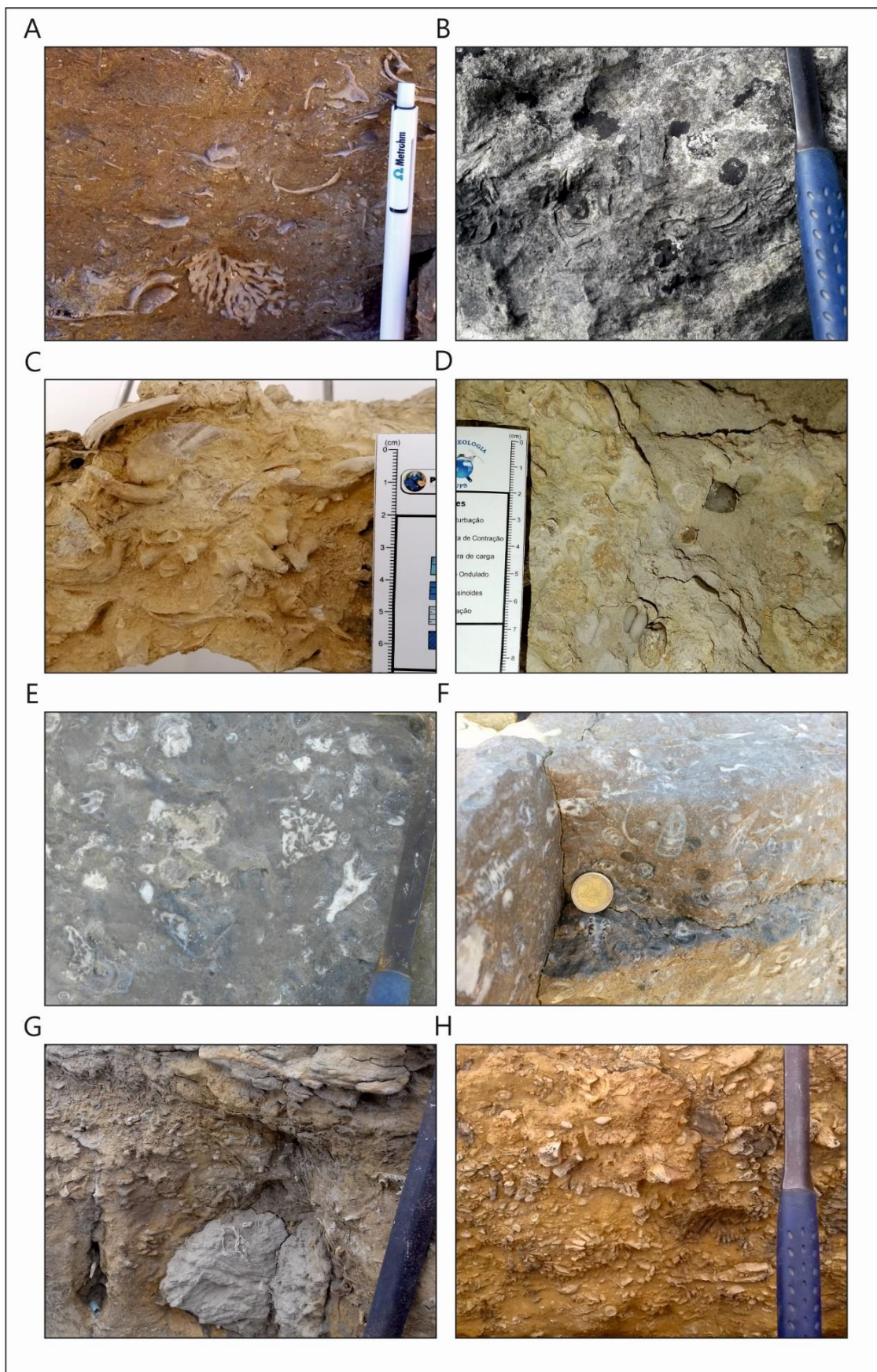


Figura 50 - Mecanismos de alteração tafonômica nas coquinas da Formação Amaral: A) Elementos desarticulados e orientados segundo a estratificação plano-paralela (Camada 18, amostra PCS-11 do Perfil da Praia da Consolação; FTSRBnob1Bob2CmH); B) Restos esqueléticos de moluscos inteiros com distribuição caótica e pouco fragmentados (Camada 49, amostra EPB-31 do Perfil da Cumieira; FSRBnob1CD); C) Elementos inteiros e fragmentados fortemente desarticulados e orientados (Camada 20, amostra PCS-12 do Perfil da Praia da Consolação; FTSRBnob1Bob1CmH); D) Abundantes espículas de equinóides distribuídas de forma caótica (Camada 16, amostra P5-12 do Perfil da Praia do Salgado; FSRBnob1Bob2CmD); E e F) Abundantes restos esqueléticos das classes Anthozoa, Bivalvia e Gastropoda envoltos por uma matriz margosa e sujeitos a intensos processos de abrasão (Camada 1 do Perfil da Praia do Salgado; FSRBnob1Bob2MD); G) Elementos sujeitos a intensos processos de fragmentação (Camada 44 do Perfil da Praia da Consolação; FTSRBnob2Bob2CmD); H) Presença de micas e grãos de quartzo. Corais sujeitos a intensos processos de fragmentação (Camada 26, amostra A2 do Perfil da Praia da Consolação; FTSRBnob2Bob2CmH).

6.2.1.2. Distorção mecânica e abrasão

Os processos de distorção mecânica e de abrasão ocorrem em simultâneo e resultam da ação de ondas (normais ou de tempestade) e de fluxos fluviais. O grau de alteração tafonômica destes processos é definido pelo tempo de atuação e intensidade dos mesmos. Estes processos são reconhecidos em elementos não relacionados organicamente e em elementos relacionados organicamente. A distorção mecânica corresponde sobretudo à mudança no tamanho dos elementos por fragmentação, geralmente antes da abrasão (Fernández-López & Meléndez 2004). Os componentes aloquímicos das rochas carbonatadas (e.g. bivalves, gastrópodes, corais, entre outros) possuem superfícies naturalmente arredondadas. Contudo, o processo de abrasão torna estas superfícies ainda mais arredondadas (Fig. 50 E até F). Nos depósitos da Formação Amaral os elementos são comumente reconhecidos em dois estágios de fragmentação: total ou parcialmente fragmentados. Tal situação verifica-se em quase todas as petrofácies (Fig. 50 G até H), exceto nas tafofácies TF1, TF2 e TF3. Por sua vez, o mecanismo de distorção mecânica pode ser reconhecido para elementos não relacionados organicamente nas tafofácies TF13, TF14, TF15, TF16, TF17 e TF18, e para elementos relacionados organicamente nas tafofácies TF5, TF7, TF8, TF10, TF12, TF13, TF14, TF15, TF16, TF17 e TF18. No entanto, não é reconhecido nas tafofácies TF4, TF6, TF9 e TF11.

6.2.1.3. Reorientação (dispersão e reagrupamento)

Os elementos (relacionados organicamente ou não) podem ocorrer dispersos nos depósitos ou exibir algum padrão de reagrupamento. Em ambos os casos tais elementos foram sujeitos a distintos tipos de deslocamentos com diferentes origens: ondas (normais ou tempestade), fluviais (descargas normais ou de inundação), correntes induzidas ou fluxos gravitacionais. Esses agentes tendem a organizar os elementos de duas formas: alinhando-os com uma orientação preferencial, imbricada ou não (mais facilmente reconhecido para os elementos não relacionados organicamente), ou dispersando-os de forma caótica. Esses processos são, portanto, responsáveis por dois aspectos reconhecidos nas petrofácies descritas: dispersão e reagrupamento. Foram reconhecidos em quase todas as tafofácies (Fig. 51 A até B), e estão parcialmente ausentes apenas nas tafofácies TF1, TF2, TF3, TF4 e TF5.

6.2.1.4. Cimentação (permineralização, formação de concreções) e neomorfismo (recristalização)

A maioria dos constituintes aloquímicos reconhecidos na Formação Amaral apresentam grandes dimensões. Neste contexto, o reconhecimento dos processos diagenéticos é circunscrito a análises macroscópicas, realizadas no âmbito do trabalho de campo e em laboratório. Os processos diagenéticos podem ser reconhecidos em todas as tafofácies que, neste caso, se referem a processos de neomorfismo, nomeadamente micritização (Fig. 51 C até D) e recristalização (Fig. 51 E até F). O primeiro é reconhecível nas tafofácies TF1, TF2, TF4, TF5, TF6, TF7, TF8, TF16 e TF17; já o segundo está particularmente bem representado nas tafofácies que apresentam elementos não relacionados organicamente, inteiros e de grandes dimensões, nomeadamente nas tafofácies TF1, TF4, TF5, TF6, TF7, TF9, TF10, TF11 e TF12. A formação de concreções foi reconhecida em tafofácies relacionadas com ambientes de baixa energia. Estas ocorrem por aumento da concentração alcalina em torno dos elementos, e estão normalmente relacionadas com o início dos processos diagenéticos, presente nas tafofácies TF8, TF15 e TF16 (Fig. 51 G até H).

6.2.1.5. Remoção tafonómica ou remobilização (acumulação e ressedimentação)

Quase todas as tafofácies descritas neste trabalho apresentam constituintes aloquímicos ressedimentados, ou seja, elementos que correspondem a restos esqueléticos que foram sujeitos a transporte antes do enterro final nos sedimentos (Fig. 52 A até B), não se reconhecendo evidências de reelaboração tafonómica. As associações registadas correspondentes a paleoambientes de laguna e laguna-barreira apresentam-se acumuladas, o que é atestado pela presença de elementos da Classe Anthozoa *in situ* em fácies lamosas (TF2; Fig 52 C até E).



Figura 51 - Mecanismos de alteração tafonómica nas coquinas da Formação Amara: A) Elementos orientados e imbricados segundo a estratificação plano-paralela numa camada com geometria interna lenticular (base da camada intermédia do afloramento de controlo ZLB-01; FSRBnob1CmH); B) Elementos distribuídos de forma caótica (topo da camada intermédia do afloramento de controlo ZLB-01; FSRBnob1CmD); C) Micritização de microtubos produzidos por ação destrutiva de cianobactérias endolíticas, algas ou fungos na superfície do bioclasto (topo da camada 7 do Perfil da Praia do Salgado 3); D) Fósseis de bivalves micritizados (camada 17, amostra EPB-10B do Perfil da Cumieira; FSRBnob1MD); E) Restos esqueléticos de moluscos inteiros com as valvas unidas mas abertas, pouco fragmentadas com intensa recristalização (Camada 6, amostra PDV-06 do Perfil de Pedralvo; FTSRUnobCD); F) Abundantes espículas de equinóides recristalizados por calcite (camada 15, amostra P5-11B-X do Perfil da Praia do Salgado 5; FSRBnob1Bob1CmD); G) Formação de concreções envolvendo os elementos fósseis (camada 7, amostra PDV-07B do Perfil de Pedralvo; FTSRBnob1Bob1CmD); H) Detalhe da formação de concreções envolvendo os elementos fósseis (camada 7, amostra PDV-07B do Perfil de Pedralvo; FTSRBnob1Bob1CmD).

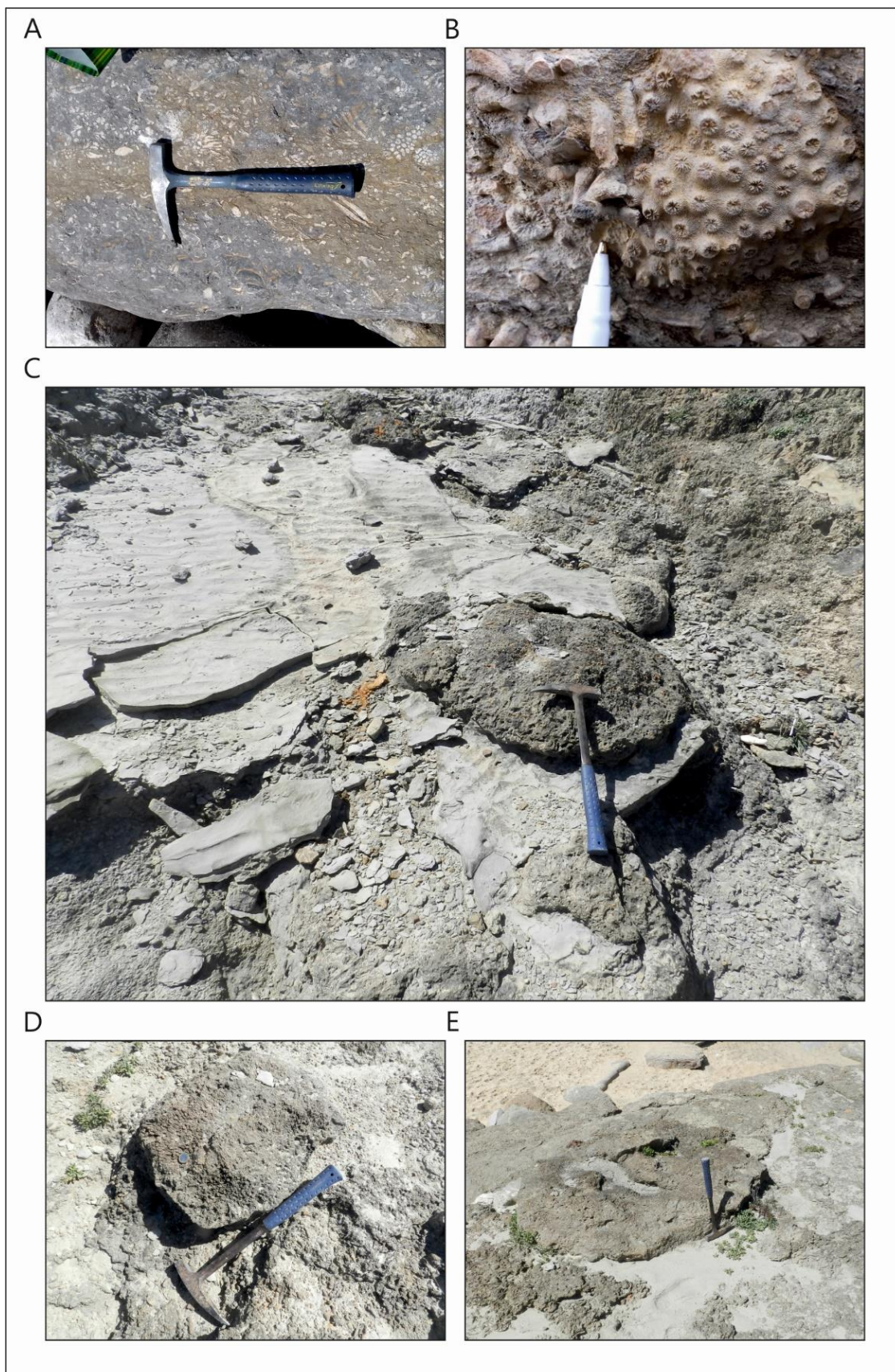


Figura 52 - A) Bloco rolado relacionado com uma fácies com significativa diversidade fossilífera formada por elementos ressedimentados (localizado junto ao Perfil da Praia da Consolação); B) Fósseis da Classe Anthozoa com um excelente estado de preservação mas ressedimentados (camada 65, amostra PCS-33B do Perfil da Praia da Consolação; FTSRBnob1Bob1CH); C) Fósseis da Classe Anthozoa acumulados e relacionados com um contexto deposicional de fácies de granulometrias finas com marcas de ondas (camada 4 do Perfil da Praia do Salgado 4, ISF2 sobre FM); D e E) Fósseis da Classe Anthozoa acumulados no topo de uma camada de oncólitos com matriz calcarenítica (camada 7 do Perfil da Praia do Salgado 3; ISF4 sobre FSRBnob1CmD).

6.2.2. Petrofácies da Formação Amaral

O registo geológico correspondente ao tempo da deposição dos sedimentos atribuídos à Formação Amaral encontra-se amplamente distribuído em quase toda a área da Bacia Lusitânica. Entretanto, neste intervalo podem ser observadas importantes variações laterais, relacionadas não apenas com as dinâmicas inerentes a cada umas das sub-bacias onde se localizam, como também com as configurações paleogeográficas reconhecidas para o intervalo compreendido entre o Kimmeridgiano e o Tithoniano.

Em função destas particularidades, os afloramentos descritos neste trabalho foram agrupados em três setores que refletem ambientes deposicionais específicos: setor lagunar (em 6.2.2.1.), setor laguna-barreira (em 6.2.2.2.) e setor marinho-distal (em 6.2.2.3.) (Fig. 33). As representações gráficas apresentadas nos perfis estratigráficos descritos neste capítulo baseiam-se na legenda pré-estabelecida pelo Laboratório Progeologia para depósitos de coquinas em plataforma mista (Fig. 53).

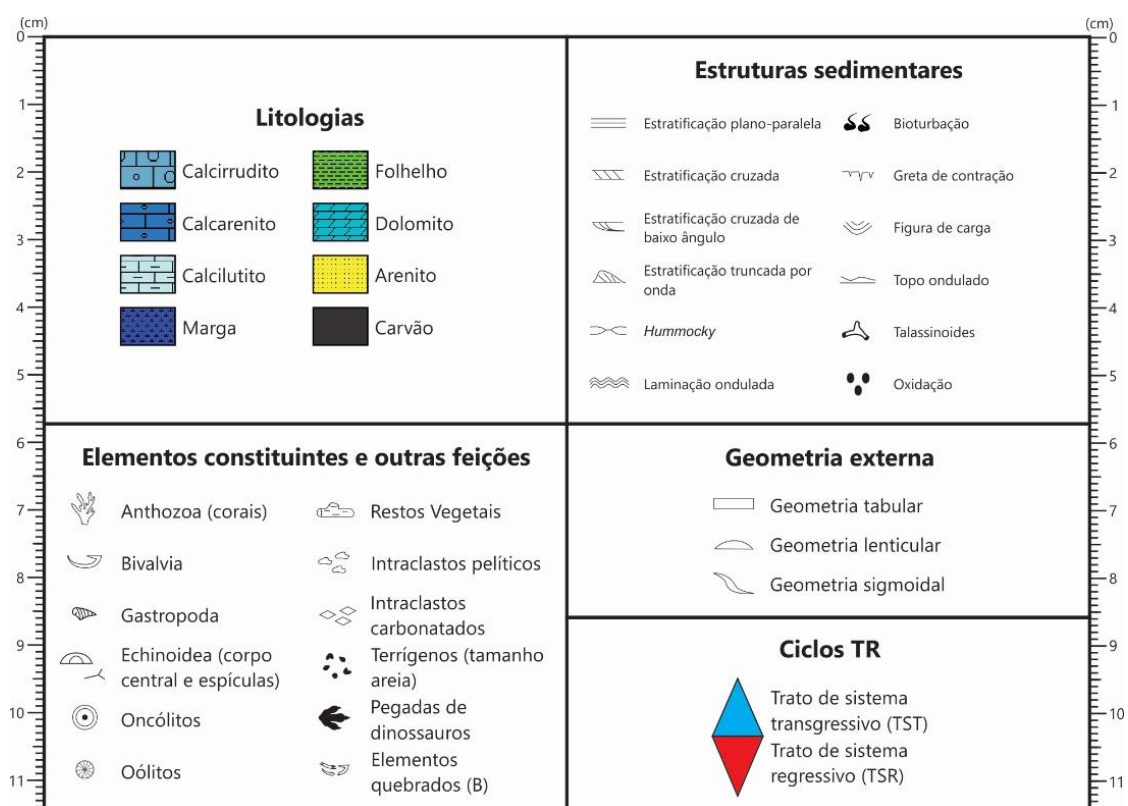


Figura 53 - Legenda padrão para todos os perfis estudados no presente trabalho (modificada da legenda padrão utilizada pelo Laboratório PROGEOLOGIA).

6.2.2.1. Setor lagunar

O setor lagunar encontra-se amplamente representado na região mais interna e protegida do grande golfo marinho em que se constituiu a Bacia Lusitânica à época da deposição dos sedimentos da Formação Amaral. Os depósitos lagunares circundam o corpo de água, podendo este setor estar protegido da ação mais direta das ondas pela presença de corpos recifais ou barreiras constituídas por fragmentos bioclásticos ou oncolíticos.

O setor lagunar a norte deste golfo expressa-se de forma mais extensa, enquanto que para sul tende a estreitar-se, com sobreposição de ilhas-barreiras e maior proximidade das margens da bacia soerguidas (Berlengas e Ota).

Nesta região, a Formação Amaral foi analisada a partir do estudo dos perfis estratigráficos da Cumieira (Pombal) e de Abiul (Pombal) e em 15 afloramentos para controlo lateral e vertical de fácies (Fig. 34).

○ Perfil da Cumieira (Pombal)

O Perfil da Cumieira (Pombal) apresenta 92,63 m de espessura (Fig. 54), e reparte-se por 65 camadas, das quais foram recolhidas 53 amostras para análise. As descrições detalhadas e as classificações de rochas carbonatadas, segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas, segundo Garcia et al. (2020), são apresentadas no Quadro 6. As fácies com características singulares são representadas nas figuras 55 (A até H) e 56 (A até H).

Tendo em consideração critérios paleoecológicos, tafonómicos, sedimentológicos e estratigráficos, neste perfil foram reconhecidas cinco sequências distintas que refletem diferentes ambientes deposicionais.

• Sequência lagunar interna

A primeira sequência do perfil tem 14,7 m de espessura e é composta por cinco camadas amalgamadas, com geometria externa lenticular e com continuidade lateral. As camadas apresentam espessuras em torno de 1,0 a 1,5 m, sendo constituídas por mudstones/wackstones (calcilitos). Exibem

estratificações plano-paralelas e cruzadas truncadas por ondas, com algumas camadas com o topo ondulado. Foram reconhecidos representantes das classes Bivalvia e Gastropoda, suportados por matriz siltico-argilosa carbonatada. Regista-se, na parte inferior do intervalo, a presença de oncólitos com até 0,1 milímetros (mm) de diâmetro. Em quase todo o intervalo reconhece-se igualmente a ocorrência de abundantes fragmentos de lenhos fósseis carbonificados (entre 0,1 e 1,1 mm). Neste intervalo foram coletadas três amostras, representativas das petrofacies FM e FSRUnobMD.

Esta sequência basal da Formação Amaral no Perfil da Cumieira (Pombal) pode ser interpretada como representativa de um ambiente de laguna interna com baixa energia, sujeita à ação de ondas normais e à ação fluvial em situações distais, o que pode ser atestado pela grande quantidade de fragmentos vegetais carbonificados transportados para a laguna.

- **Sequência transicional de alta energia**

A segunda sequência apresenta 13,77 m de espessura e é constituída por 15 camadas com geometria externa lenticular com continuidade lateral. As camadas têm espessuras que variam de 1,0 a 1,5 m, sendo compostas por mudstones/wackstones (calcilutitos/folhelhos). Foram reconhecidos representantes das classes Bivalvia e Gastropoda, suportados por matriz siltico-argilosa a areia média carbonatada. Exibem marcas de ondulação, estratificação plano-paralela e estratificação truncada por ondas. Neste intervalo foram coletadas 13 amostras, representativas das petrofácies FM e FSRBnob1MD.

Esta segunda sequência é interpretada como característica de um ambiente transicional, de energia moderada a alta, sujeito à ação frequente de ondas normais.

- **Sequência transicional de baixa energia**

Esta sequência do perfil é a mais espessa, com 32,77 metros e é composta por 24 camadas, algumas amalgamadas. Apresentam geometria externa lenticular com boa continuidade lateral das camadas mais espessas. As camadas variam muito de espessuras, desde 0,3 a 2,5 m, e são constituídas por mudstones/wackstones (calcilutitos). De modo geral, exibem estratificações

onduladas e cruzadas truncadas por ondas, e algumas camadas apresentam o topo ondulado. Foram reconhecidos representantes das classes Bivalvia e Gastropoda, suportados por matriz siltico-argilosa a arenosa muito fina e carbonatada. Em algumas camadas da parte intermédia do intervalo regista-se a presença de raros fragmentos de lenhos fósseis carbonificados. Foram coletadas 24 amostras, representativas das petrofácies FM, FCm, FSRBnob1CmD, FSRBnob1MD e FSRBnob2MD.

Esta sequência é interpretada como representativa de um contexto deposicional de baixa energia, sujeito à ação contínua de ondas normais.

- **Sequência laguna-barreira**

Esta sequência deposicional, relativa ao topo do perfil, é representada por 18,89 metros de espessura, sendo composta por 17 camadas. As camadas apresentam geometria externa lenticular com boa continuidade lateral das camadas mais espessas. A espessura das camadas varia desde 0,3 a 3,0 m, sendo constituídas por mudstones/wackstones (calcilutitos) e em alguns intervalos por grainstones (calcirruditos). Apresentam estratificações onduladas e cruzadas truncadas por ondas, com algumas camadas com o topo ondulado. Foram reconhecidos representantes das classes Bivalvia e Gastropoda, suportados por matriz siltico-argilosa a arenosa muito fina, carbonatada. Na parte superior desta sequência ocorrem espículas de Echinoidea (0,8 a 1,3 cm) e fragmentos de corais (3,5 a 5,0 cm). Neste intervalo foram coletadas 13 amostras, representativas das petrofácies FM, FSRBnob1CD, FSRBnob1MD, FSRUnobCmD, FSRUnobBob1CmD e FSRBnob1Bob1CmD.

A presença de fragmentos de Echinoidea e de corais sugere que esta sequência traduz um contexto deposicional de rápida subida do nível do mar.

- **Sequência aluvio-deltaica lagunar**

A parte terminal do Perfil da Cumieira (Pombal), apesar de pouco exposta, apresenta cerca de 12,5 m de espessura, sendo composta por quatro camadas. Apresenta uma camada com 0,6 m de grainstone (calcirrudito) oncolítico. Sobre esta, assenta uma camada de aproximadamente 2,00 metros de espessura de arenito, que apresenta bivalves dispersos, e que marca o início da deposição de

um novo ciclo regressivo. Neste intervalo foram coletadas 13 amostras, representativas das petrofácies FCm e FT.

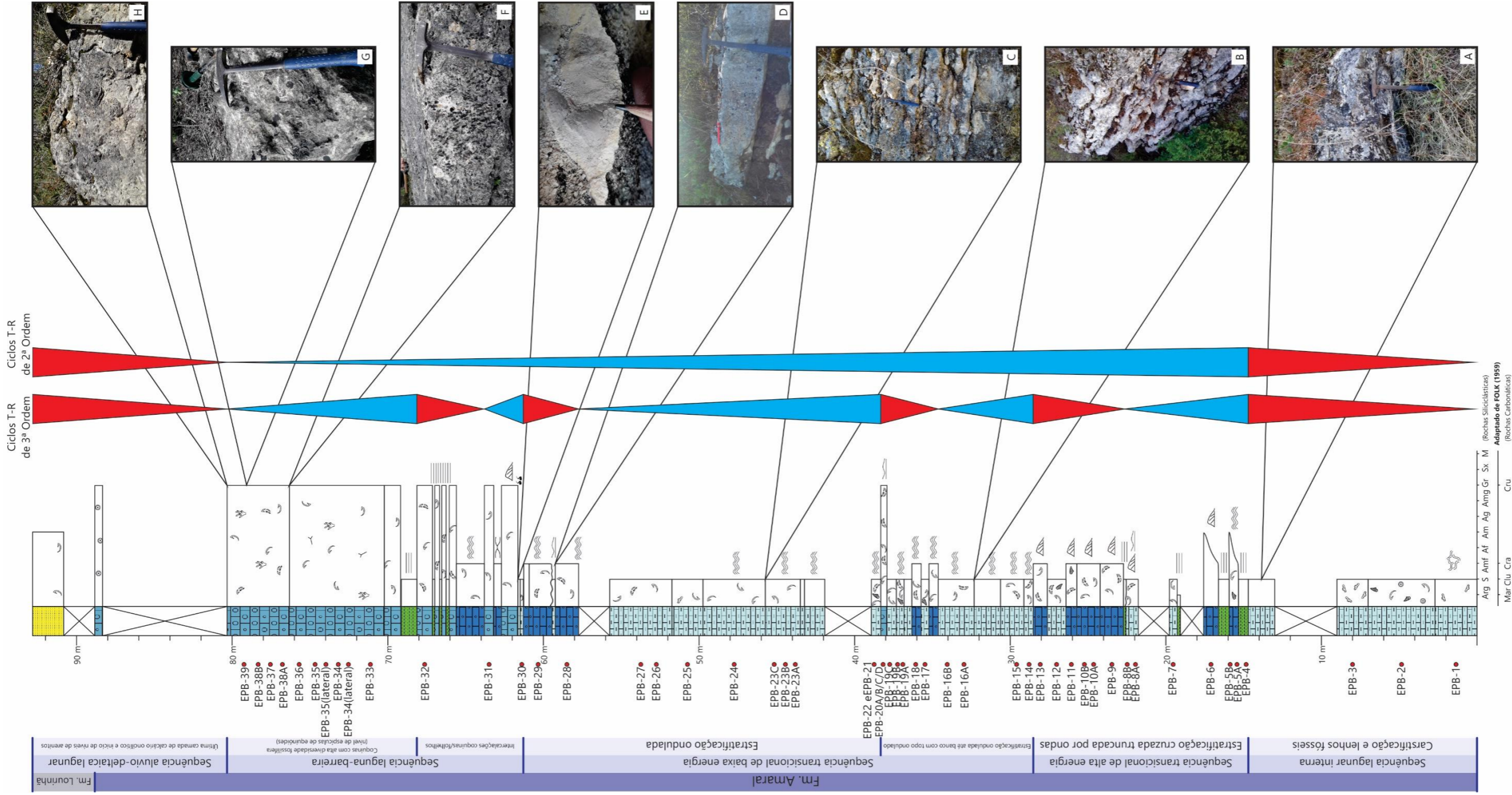


Figura 54 - Perfil Estratigráfico da Cumieira (Pombal). A) Calcilutito maciço (FM); B) Calcilutito com estratificação ondulada e raros fósseis de Bivalvia (FSRBnob1MD); C) Calcilutito maciço com estratificação ondulada (FSRBnob1MD); D) Calcarenito muito fino maciço com topo ondulado (FSRBnob1MD) seguido de uma camada de folhelho (FM); E) Fósseis de Bivalvia de pequenas dimensões na base de uma camada de calcilutito (FM); F, G e H) Níveis com fósseis das classes Anthozoa, Bivalvia e Echinoidea (FSRBnob1Bob1CmD).

Quadro 6 - Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Cumieira (Pombal).

Camada	Amostra	Material Intersticial	Biofábrica	Classes Dominantes	Diversidade do Registo Fóssil	Dunham (1962)/ Folk (1959)	Adaptado de Garcia et al. (2020)	Observações
65 (90,63m - 92,63m)		Areia média	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	- / Arenito	FT	Presença de fósseis de bivalves isolados.
64 (88,63m - 90,63m)		ENCOBERTO						
63 (88,13m - 88,63m)		Areia	Grão suportada	/	/	Grainstone/ Cacirrudito	FCm	Oncólitos (com até 1,5 cm).
62 (80,13m - 88,13m)		ENCOBERTO						
61 (76,13m - 80,13m)	EPB-39	Silte-argila	Grão suportada	Anthozoa Bivalvia Echinoidea	Media a Alta	Grainstone/ Cacirrudito	FSRBnob1Bob1CmD	Fósseis de bivalves fragmentados e inteiros (até 5,0 cm) relativamente bem preservadas. Presença de fósseis de corais (de 3,5 a 5,0 cm de tamanho) e de espículas de equinóides (com 0,8 a 1,3 cm). (Fig. 55-A, amostra EPB-37).
	EPB-38B							
	EPB-38A							
	EPB-37							
60 (70,03m - 76,13m)	EPB-36	Silte-argila	Suportada pela matriz	Anthozoa Bivalvia Echinoidea	Media a Alta	Wackstone/ Calcirrudito	FSRUnobBob1CmD	Fósseis de bivalves inteiros e bem preservadas, alguns com as valvas fechadas. Concentrações de indivíduos com dimensões que variam entre 0,2 até 0,5 cm e até cerca de 9,0 cm. Níveis com elementos orientados intercalados com níveis com elementos distribuídos de forma caótica. Presença de espículas de equinóides (até 1,0 cm), e fragmentos de corais bem preservados (3,0 a 4,0 cm) e de cnidários diretamente sobre o nível de conchas fragmentadas. (Fig. 55-B, amostra EPB-36; Fig. 55-C, amostra EPB-35lateral; Fig. 55-D, amostra EPB-33).
	EPB-35(L)							
	EPB-35							
	EPB-34(L)							
	EPB-34							
EPB-33								
59 (68,93m - 70,03m)		Areia muito fina-silte	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Grainstone/ Cacirrudito	FSRUnobCmD	/
58 (67,93m - 68,93m)		/	/	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	/
57 (66,93m - 67,93m)	EPB-32	Areia muito fina-silte	Grão suportada	Bivalvia	Muito Baixa	Grainstone/ Cacirrudito	FSRBnob1CD	Fósseis de bivalves de grandes dimensões (até 0,4 cm de comprimento). Alguns exemplares encontram-se inteiros.
56 (66,78m - 66,93m)		/	/	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	/
55 (66,48m - 66,78m)		/	/	Bivalvia	Muito Baixa	Wackstone/ Calcirrudito	FSRBnob1CD	/

Quadro 6 (continuação) - Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Cumieira (Pombal).

Camada	Amostra	Material Intersticial	Biofábrica	Classes Dominantes	Diversidade do Registo Fóssil	Dunham (1962)/ Folk (1959)	Adaptado de Garcia et al. (2020)	Observações
54 (66,38m - 66,48m)		/	/	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	/
53 (66,10m - 66,38m)		/	/	Bivalvia	Muito Baixa	Wackstone/ Calcirrudito	FSRBnob1CD	/
52 (65,90m - 66,10m)		/	/	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	/
51 (65,44m - 65,90m)		/	/	Bivalvia	Muito Baixa	Wackstone/ Calcirrudito	FSRBnob1CD	/
50 (63,64m - 65,44m)		/	/	/	/	Wackstone/ Calcarenito		Estratificação cruzada truncada por ondas. Nível com fósseis de bivalves na base da camada.
49 (63,04m - 63,64m)	EPB-31	Areia muito fina-silte	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Wackstone/ Calcirrudito	FSRBnob1CD	Fósseis de bivalves distribuídos de forma caótica. (Fig. 55-E).
48 (62,54m - 63,04m)		Areia muito fina-silte	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Wackstone/ Calcarenito	FSRBnob1MD	Estratificação cruzada truncada por ondas.
47 (61,49m - 62,54m)		Areia muito fina-silte	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Wackstone/ Calcirrudito	FSRBnob1MD	Estratificação cruzada truncada por ondas.
46 (61,44m - 61,49m)		/	/	/	/	Mudstone/ Calcilutito	/	Superfície bioturbada.
45 (61,24m - 61,44m)	EPB-30	Areia muito fina-lama	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Mudstone/ Calcilutito	FM	Fósseis de bivalves muito pequenos (indivíduos jovens). (Fig. 55-F).
44 (60,89m - 61,24m)		Areia muito fina	/	/	/	Mudstone/ Calcarenito Muito Fino	/	/
43 (59,39m - 60,89m)	EPB-29	Areia muito fina-silte	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Wackstone/ Calcarenito Muito Fino	FSRBnob1MD	Fósseis de bivalves imbricados e fragmentados.
42 (59,19m - 59,39m)		Silte-argila	/	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Marcas de ondulação no topo da camada.
41 (57,69m - 59,19m)	EPB-28	Areia muito fina-silte	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Wackstone/ Calcarenito Muito Fino	FSRBnob1MD	Estruturas laminadas e com estratificação cruzada truncada por ondas.
40 (55,69m - 57,69m)						ENCOBERTO		

Quadro 6 (continuação) - Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Cumieira (Pombal).

Camada	Amostra	Material Intersticial	Biofábrica	Classes Dominantes	Diversidade do Registo Fóssil	Dunham (1962)/ Folk (1959)	Adaptado de Garcia et al. (2020)	Observações
39 (51,69m - 55,69m)	EPB-27	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Mudstone/ Calcilutito	FSRBnob1MD	Estrutura maciça. Presença de fragmentos de lenhos fósseis.
	EPB-26							
38 (49,69m - 51,69m)	EPB-25	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Mudstone/ Calcilutito	FSRBnob1MD	Estrutura maciça. Presença de fragmentos de lenhos fósseis.
37 (45,69m - 49,69m)	EPB-24	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Wackstone/ Calcilutito	FSRBnob1MD	Estratificação cruzada truncada por ondas. Intercalações de folhelhos. Abundantes fósseis de bivalves.
36 (43,44m - 45,69m)	EPB-23C	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Wackstone/ Calcilutito	FSRBnob1MD	Estrutura maciça com estratificação ondulada.
	EPB-23B							
	EPB-23A							
35 (43,17m - 43,44m)		Silte-argila	/	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	/
34 (41,87m - 43,17m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Mudstone - Wackstone/ Calcilutito	FSRBnob1MD	Estratificação cruzada truncada por ondas.
33 (38,87m - 41,87m)	ENCOBERTO							
32 (38,27m - 38,87m)	EPB-22	Silte-argila	Suportada pela matriz	Anthozoa Bivalvia Gastropoda	Baixa	Wackstone/ Calcilutito	FSRBnob1MD	Estratificação cruzada truncada por ondas. Um exemplar de coral com recristalização moderada. (Fig. 55-G, amostra EPB-22; Fig. 55-H, amostra EPB-21).
	EPB-21							
31 (37,87m - 38,27m)	EPB-20D	Silte-argila	Grão suportada	Bivalvia	Muito Baixa	Packstone/ Calcirrudito	FSRBnob1MD	Estratificação cruzada truncada por ondas. Fósseis de bivalves inteiros e fragmentados. Proximidade com a petrofácies ISF1.
	EPB-20C							
	EPB-20B							
	EPB-20A							
30 (37,27m - 37,87m)	EPB-19C	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Wackstone/ Calcilutito	FSRBnob1MD	Fósseis de bivalves recristalizados.
29 (36,77m - 37,27m)	EPB-19B	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Wackstone/ Calcilutito	FSRBnob1MD	Estratificação cruzada truncada por ondas. (Fig. 56-A, amostra EPB-19B; Fig. 56-B, amostra EPB-19A).
	EPB-19A							
28 (36,27m - 36,77m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Wackstone/ Calcilutito	FSRBnob1MD	Estratificação cruzada truncada por ondas.
27 (35,67m - 36,27m)	EPB-18	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Wackstone/ Calcarenito	FSRBnob1MD	/
26 (35,17m - 35,67m)	EPB-17	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia Gastropoda	Baixa	Mudstone/ Calcilutito	FSRBnob1MD	Estrutura maciça.

Quadro 6 (continuação) - Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Cumieira (Pombal).

Camada	Amostra	Material Intersticial	Biofábrica	Classes Dominantes	Diversidade do Registo Fóssil	Dunham (1962)/ Folk (1959)	Adaptado de Garcia et al. (2020)	Observações
25 (34,57m - 35,17m)		Areia muito fina-lama	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muit Baixa	Wackstone/ Calcarenito Muito Fino	FSRBnob1MD	Marcas de ondulação.
24 (32,27m - 34,57m)	EPB-16B	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Mudstone/ Calcilutito	FSRBnob1MD	Marcas de ondulação.
	EPB-16A							
23 (30,57m - 32,27m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Mudstone - Wackstone/ Calcilutito	FSRBnob1MD	Marcas de ondulação.
22 (29,07m - 30,57m)	EPB-15	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Mudstone - Wackstone/ Calcilutito	FSRBnob1MD	Fósseis de bivalves recristalizados. Marcas de ondulação.
21 (28,47m - 29,07m)	EPB-14	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Mudstone - Wackstone/ Calcilutito	FSRBnob1MD	Fósseis de bivalves recristalizados. Marcas de ondulação.
20 (27,57m - 28,47m)	EPB-13	Areia muito fina-lama	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Wackstone/ Calcarenito Muito Fino	FSRBnob1MD	Estratificação cruzada truncada por ondas. (Fig. 56-C).
19 (26,37m - 27,57m)	EPB-12	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia Gastropoda	Baixa	Mudstone/ Calcilutito	FSRBnob1MD	Aspeto caótico. Bioclastos recristalizados.
18 (25,67m - 26,37m)	EPB-11	Areia muito fina-lama	Suportada pela matriz	Bivalvia Grastopoda	Baixa	Wackstone/ Calcarenito	FSRBnob2MD	Estratificação cruzada truncada por ondas.
17 (24,17m - 25,67m)	EPB-10B	Areia muito fina-lama	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Wackstone/ Calcarenito	FSRBnob1MD	Estratificação cruzada truncada por ondas. Granodecrescência ascendente dos bioclastos de bivalves micritizados.
	EPB-10A							
16 (22,67m - 24,17m)	EPB-09	Areia muito fina-lama	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Wackstone/ Calcarenito Muito Fino	FSRBnob1MD	Estratificação cruzada truncada por ondas. Fragmentos de fósseis de bivalves recristalizados.
15 (22,57m - 22,67m)		Silte-argila	/	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	/

Quadro 6 (continuação) - Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Cumieira (Pombal).

Camada	Amostra	Material Intersticial	Biofábrica	Classes Dominantes	Diversidade do Registo Fóssil	Dunham (1962)/ Folk (1959)	Adaptado de Garcia et al. (2020)	Observações
14 (21,77m - 22,57m)	EPB-8B EPB-8A	Silte a areia muito fina-lama	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Wackstone/ Calcilutito	FSRBnob1MD	Estratificação cruzada truncada por ondas. Topo ondulado. Fósseis de bivalves concentrados no topo. Superfícies estilolíticas. (Fig. 56-D; amostra EPB-08A).
13 (19,77m - 21,77m)	ENCOBERTO							
12 (19,27m - 19,77m)	EPB-07	Silte a areia muito fina	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito Baixa	Mudstone/ Calcilutito	FSRBnob1MD	Coloração cinza-esverdeado.
11 (19,07m - 19,27m)		Silte-argila	/	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Estratificação plano-paralela.
10 (17,57m - 19,07m)	ENCOBERTO							
9 (16,61m - 17,57m)	EPB-06	Areia muito fina a média	/	/	/	- / Calcarenito muito fino a médio	FCm	Material intersticial muito fino na base e médio no topo. Presença de marcas de ondulação. Estratificação cruzada truncada por ondas. (Fig. 56-E).
8 (15,93m - 16,61m)		Silte-argila	/	/	/	Wackstone/ Folhelho	FM	Estratificação plano-paralela.
7 (15,33m - 15,93m)	EPB-05B EPB-05A	Areia muito fina a média	Suportada pela matriz	Bivalvia Gastropoda	Baixa	Wackstone/ Calcarenito Fino	FSRBnob1CmD	Presença de marcas ondulares. Brecha calcária.
6 (14,70m - 15,33m)	EPB-04	Silte-argila	/	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Laminação incipiente. Pequenas concreções.
5 (13,00m - 14,70m)		Silte-argila	/	/	/	Mudstone/ Calcilutito	FM	/
4 (9,00m - 13,00m)	ENCOBERTO							
3 (7,00m - 9,00m)	EPB-03	Silte a areia muito fina	/	/	/	Mudstone/ Calcilutito	FM	Abundantes lenhos fósseis (0,1 a 1,1 cm). (Fig. 56-F).
2 (2,70m - 7,00m)	EPB-02	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia Gatropoda	Muito Baixa	Wackstone / Calcilutito	FSRUnobMD	Oncólitos (com ate 0,1 mm). (Fig. 56-G e H).
1 (0,00m - 2,70m)	EPB-01	Silte a areia muito fina	/	/	/	Mudstone/ Calcilutito	FM	Presença de lenhos fósseis (0,1 a 1,1 cm). Carstificação.

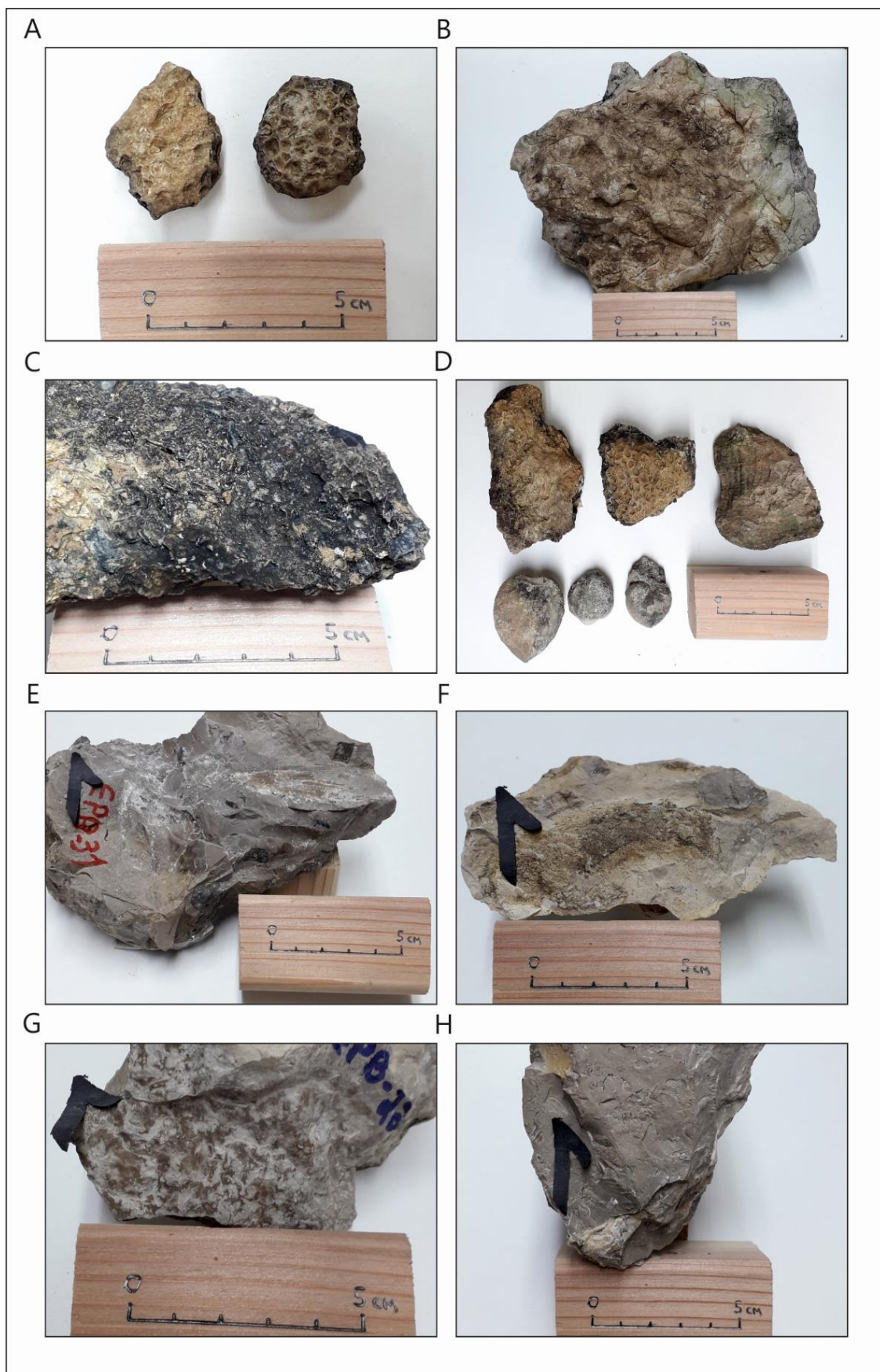


Figura 55 - Fácies singulares do Perfil da Cumieira (Pombal): A) Fragmentos fósseis de corais identificados num nível de calcirrudito (FSRBnob1Bob1CmD; amostra EPB-37); B e C) Fósseis de bivalves inteiros e bem preservadas, alguns com as valvas fechadas. Concentrações de espécimes com dimensões que variam entre 0,2 até 0,5 cm e até cerca de 9,0 cm. Níveis com elementos orientados intercalados com níveis com elementos distribuídos de forma caótica. Presença de espículas de equinóides (até 1,0 cm), de fragmentos de corais bem preservados (3,0 a 4,0 cm) e de cnidários diretamente sobre o nível de conchas fragmentadas (FSRUnobBob1CmD; amostra EPB-36 e EPB-35lateral); D) Fragmentos de fósseis de corais identificados num nível de calcirrudito (FSRUnob1Bob1CmD; amostra EPB-33); E) Fósseis de bivalves distribuídos de forma caótica (FSRBnob1CD; amostra EPB-31); F) Fósseis de bivalves de pequena dimensão (representando indivíduos jovens) (FM; amostra EPB-30); G) Fragmento de fóssil de coral com recristalização moderada (FSRBnob1MD; amostra EPB-22); H) Fósseis de bivalves e gastrópodes fragmentados e distribuídos de forma caótica em matriz lamosa (FSRBnob1MD; amostra EPB-21).



Figura 56 - Fácies singulares do Perfil da Cumieira (Pombal): A e B) Fósseis de bivalves fragmentados, distribuídos de forma caótica em matriz lamosa (FSRBnob1MD; amostra EPB-19B e EPB-19A); C) Fósseis de bivalves fragmentados e distribuídos de forma caótica em matriz lamosa (FSRBnob1MD; amostra EPB-13); D) Fósseis de bivalves fragmentados e distribuídos de forma caótica em matriz lamosa, concentrados no topo. Presença comum de estratificação cruzada truncada por ondas e superfícies estilolíticas (FSRBnob1MD; amostra EPB-08A); E) Calcarenito de granulometria muito fina na base e média no topo. Presença de marcas de ondulação. Estratificação cruzada truncada por onda (FCm; amostra EPB-06); F) Abundantes fragmentos de lenhos fósseis em calcilutito (0,1 a 1,1 cm) (FM; amostra EPB-03); G e H) Fósseis de bivalves e de gastrópodes inteiros, distribuídos de forma caótica e associados a oncólitos (de até 0,1 mm) em matriz lamosa (FSRUnobMD; amostra EPB-02 dividida em dois fragmentos).

○ **Perfil de Abiul (Pombal)**

O Perfil de Abiul (Pombal) apresenta 21,9 m de espessura (Fig. 57), e nele foram reconhecidas oito camadas, das quais foram recolhidas cinco amostras para análise. As descrições detalhadas e as classificações de rochas carbonatadas, segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas, segundo Garcia et al. (2020), são apresentadas no Quadro 7. As fácies com características singulares são representadas na figura 58 (A até E).

A Formação Amaral reconhecida no Perfil de Abiul (Pombal) é composta por duas sequências distintas que refletem diferentes ambientes deposicionais, tendo em consideração critérios paleoecológicos, tafonômicos, sedimentológicos e estratigráficos.

• **Sequência laguna-barreira**

Esta sequência deposicional, situada na base do Perfil de Abiul, com cerca de 10,5 m de espessura total, está representada por duas camadas amalgamadas com cerca de 1,4 m de espessura, que estão parcialmente cobertas.

As camadas apresentam geometria externa lenticular com boa continuidade lateral das camadas mais espessas. A camada inferior, com 0,5 m de espessura, é constituída por grainstone (calcirrudito), contendo representantes da classe Bivalvia numa matriz arenosa com biofábrica grão-suportada. Registra-se igualmente a presença de oncólitos (0,2 a 2,5 cm). A camada superior, com 0,9 m de espessura, é constituída por mudstones/wackstones (calcilutitos), contendo representantes das classes Bivalvia e Gastropoda, além de raros oncólitos. Neste intervalo foram coletadas duas amostras, representativas das petrofácies FCm e FSRBnob2MD.

Esta sequência é correlacionável com a sequência do topo do Perfil da Cumieira (Pombal), e relaciona-se com um evento de rápida elevação do nível do mar, corroborado pela presença de fragmentos de Echinoidea e corais.

- **Sequência aluvio-deltaica lagunar**

O topo do perfil apresenta uma camada de arenito médio a fino com cerca de 0,8 metros de espessura. Sobre esta assentam três camadas amalgamadas de grainstone, packstone e wackstone (calcarenito) com espessura total de 3,0 m, que têm como componente principal oncólitos com dimensões que variam de 0,1 a 1,0 cm.

O topo do perfil marca o estabelecimento de um ambiente lagunar com aporte fluvio-deltaico.

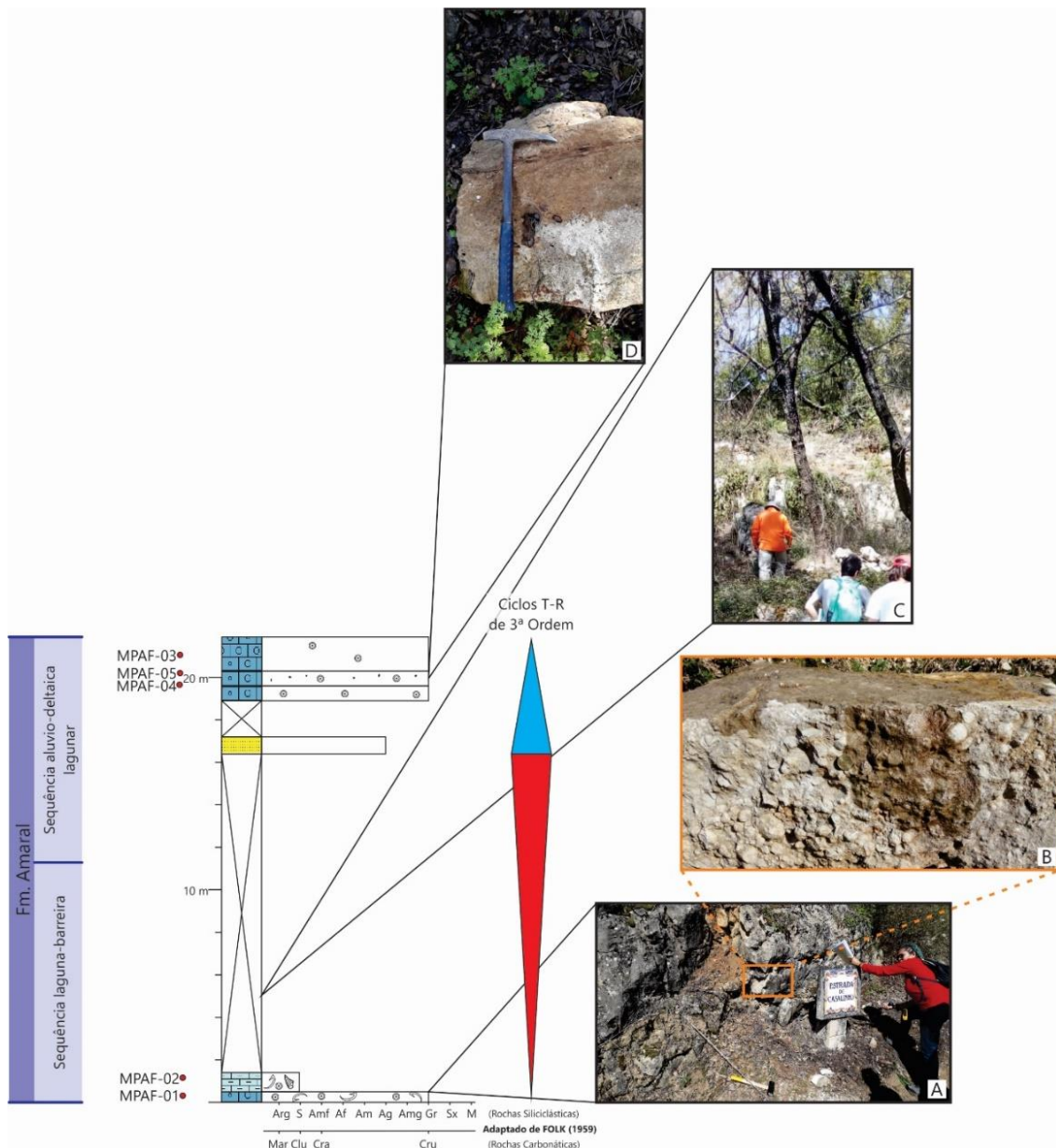


Figura 57 - Perfil Estratigráfico de Abiul (Pombal). A) Camada 1 com abundância de oncólitos de grandes dimensões (FCm); B) Detalhe da dimensão dos oncólitos numa amostra lateral a esta camada (FCm); C) Imagem que ilustra a dificuldade de acompanhamento vertical da sucessão estratigráfica deste perfil; D) Brecha calcária com oncólitos (FCm).

Quadro 7 - Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil de Abiul (Pombal).

Camada	Amostra	Material Intersticial	Biofábrica	Classes Dominantes	Diversidade do Registo Fóssil	Dunham (1962)/ Folk (1959)	Adaptado de Garcia et al. (2020)	Observações
8 (20,30m - 21,90m)	MPAF-06	Areia média	Suportada pela matriz	/	/	Wackstone/ Calcarenito	FCm	Brecha calcária com oncólitos (0,1 a 1,0 cm). (Fig. 58-E).
7 (19,60m - 20,30m)	MPAF-05	Areia fina siltica	Suportada pela matriz	/	/	Packstone/ Calcarenito	FCm	Brecha calcária com oncólitos de pequenas dimensões dispersos (0,1 a 1,0 cm) e fragmentos terrígenos e lenhos fósseis carbonificados. (Fig. 58-D, amostra MPAF-05; Fig. 58-C, amostra MPAF-04).
	MPAF-04							
6 (18,90m - 19,60m)		Marga	Grão suportada	/	/	Grainstone/ Calcirrudito	FCm	Oncólitos (0,2 a 2,0 cm).
5 (17,20m - 18,90m)	ENCOBERTO							
4 (16,40m - 17,20m)		Areia média	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	/
3 (1,40m - 16,40m)	ENCOBERTO							
2 (0,50m - 1,40m)	MPAF-02	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia Gastropoda	Baixa	Wackstone/ Calcilutito	FSRBnob2MD	Grãos terrígenos pequenos. Raros oncólitos. Intensa cimentação. (Fig. 58-B).
1 (0,00m - 0,50m)	MPAF-01	Areia média a grossa	Grão suportada	Bivalvia	Muito Baixa	Grainstone/ Calcirrudito	FCm	Abundância de oncólitos (0,2 a 2,5 cm), apresentado granocrescência para o topo. Intensa cimentação. (Fig. 58-A).

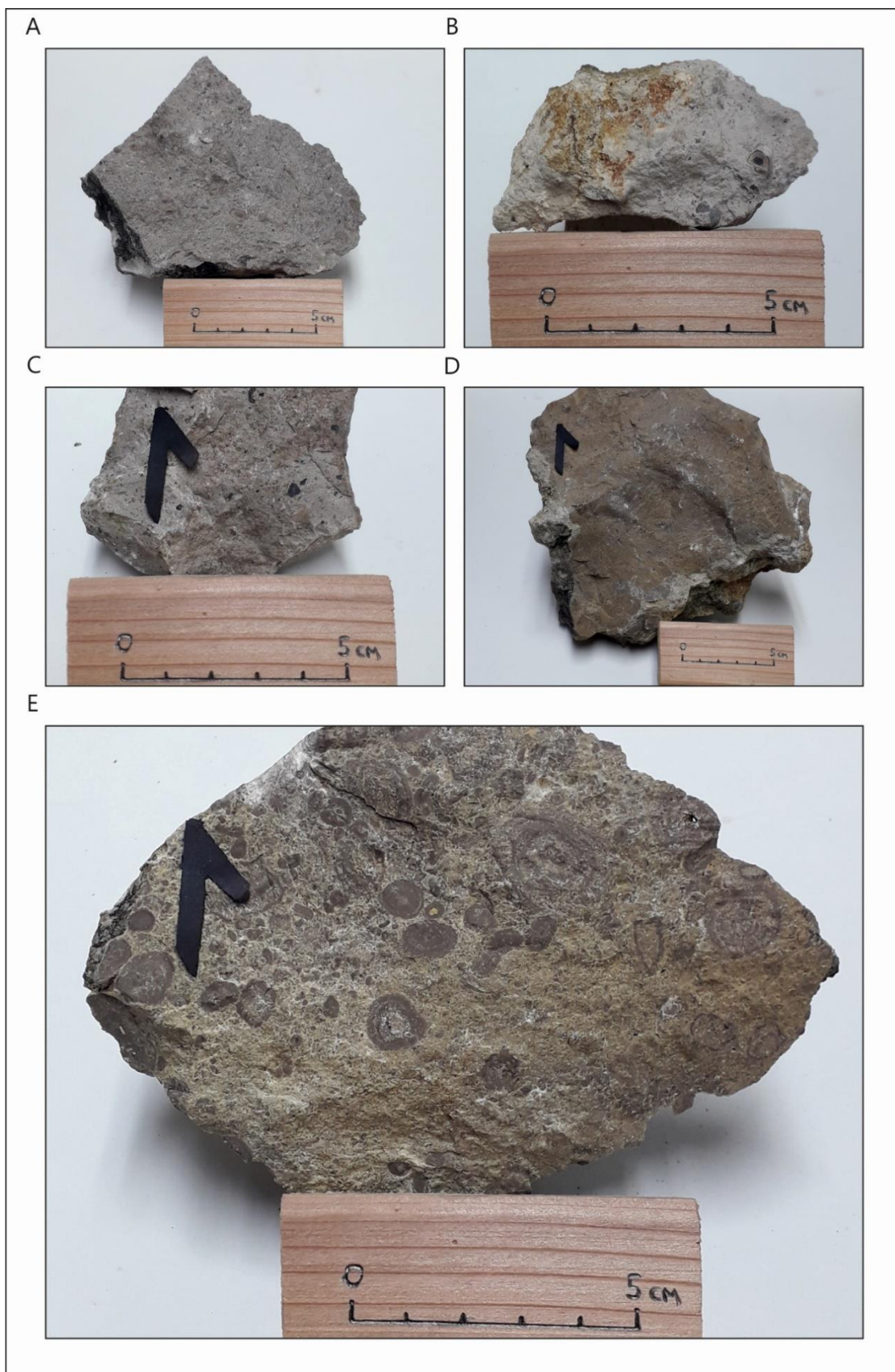


Figura 58 - Fácies singulares do Perfil de Abiul (Pombal): A) Brecha calcária com oncólitos (0,1 a 1,0 cm) (FCm; amostra MPAF-06); B) Brecha calcária com oncólitos de pequenas dimensões dispersos (0,1 a 1,0 cm) e fragmentos terrígenos (FCm; amostra MPAF-05); C) Brecha calcária com oncólitos de pequenas dimensões dispersos (0,1 a 1,0 cm) com fragmentos terrígenos e lenhos fósseis carbonificados (FCm; amostra MPAF-04); D) Grãos terrígenos pequenos. Raros oncólitos. Cimentação intensa (FSRBnob2MD; amostra MPAF-02); E) Abundância de oncólitos (0,2 a 2,5 cm), apresentado granocrescência para o topo. Cimentação intensa (FCm; amostra MPAF-01).

○ **Afloramentos de controlo**

No setor lagunar foram reconhecidos e analisados 15 afloramentos para controlo das variações faciológicas laterais da Formação Amaral, com vista a uma melhor definição dos modelos geológicos (Fig. 59). As observações e interpretações efetuadas para cada um deles estão sumariadas no Quadro 8.

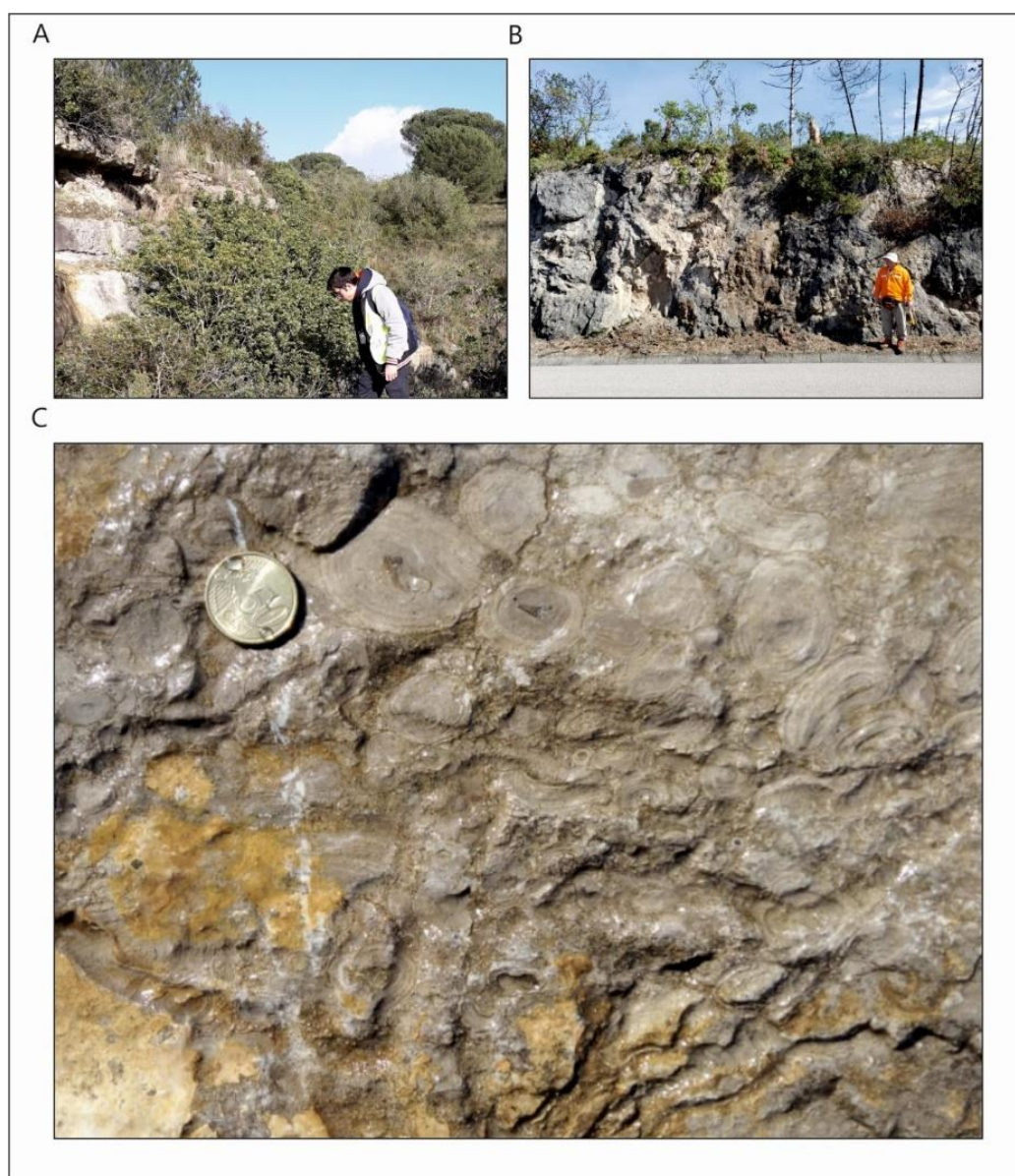


Figura 59 - Fácies singulares dos afloramentos de controlo do setor lagunar: A) Afloramento com níveis de FM intercalados com coquinas. Fósseis das classes Bivalvia e Gastropoda (ZL-07); B) Afloramento de coquinas. Fósseis das classes Bivalvia e Gastropoda e oncólitos (ZL-11); C) Blocos com oncólitos de 0,2 a 3,0 cm (ZL-14).

Quadro 8 - Afloramentos de controlo das variações faciológicas laterais da Formação Amaral no setor lagunar e respetivas observações e interpretações.

Alforamento de Controlo	Código	Coordenada	Tipo de Controlo	Possibilidade de Correlação	Número de amostras	Observações Gerais
Buarcos (Figueira da Foz)	ZL-01	40°11'5.84"N 8°54'27.15"W	Reconhecimento de campo e recolha de amostras representativas	Perfis da Praia da Consolação e da Cumieira	9	Camadas de coquinas com alta e baixa diversidade. Identificação de representantes das classes Anthozoa, Bivalvia, Gastropoda. Níveis de carvões associados.
Brenha (Figueira da Foz)	ZL-02	40°11'20.00"N 8°49'37.00"W	Integração de mapas geológicos e imagens de satélite	/	/	Afloramento do tipo pedra desativada com significativa expressão vertical.
Caceira de Cima (Figueira da Foz)	ZL-03	40° 9'24.00"N 8°47'43.00"W	Integração de mapas geológicos e imagens de satélite	/	/	Afloramento do tipo pedra desativada com significativa expressão vertical.
Safins de Cima (Figueira da Foz)	ZL-04	40° 8'42.00"N 8°45'20.00"W	Integração de mapas geológicos e imagens de satélite	/	/	Afloramento do tipo corte de estrada.
Pedreira Maiorca (Figueira da Foz)	ZL-05	40° 9'35.00"N 8°44'35.00"W	Reconhecimento de campo e recolha de amostra representativa	Perfil da Cumieira	1	Afloramento de coquinas com baixa diversidade. Identificação de representantes das classes Bivalvia, Gastropoda.
Cumieira de Cima (Pombal)	ZL-06	39°54'2.52"N 8°35'29.22"W	Reconhecimento de campo e recolha de amostra representativa	Perfil da Cumieira	2	Afloramento com níveis de FM intercalados a coquinas. Identificação de representantes da Classe Bivalvia.
	ZL-07	39°53'57.60"N 8°35'25.38"W	Reconhecimento de campo e recolha de amostras representativas	Perfil da Cumieira	4	Afloramento com níveis de FM intercalados com coquinas. Identificação de representantes das classes Bivalvia e Gastropoda. (Fig. 59-A).
	ZL-08	39°53'55.14"N 8°35'23.46"W	Reconhecimento de campo e recolha de amostras representativas	Perfil da Cumieira	9	Afloramento de FM intercaladas com coquinas. Identificação de representantes das classes Bivalvia e Gastropoda.
Vale (Pombal)	ZL-09	39°54'1.07"N 8°34'29.30"W	Reconhecimento de campo e recolha de amostras representativas	Perfil da Cumieira	6	Afloramento de coquinas. Identificação de representantes das classes Bivalvia e Gastropoda.
Vale (Pombal)	ZL-10	39°53'38.91"N 8°33'53.36"W	Reconhecimento de campo e recolha de amostras representativas	Perfil da Cumieira	7	Afloramento de coquinas. Identificação de representantes das classes Anthozoa, Bivalvia e Gastropoda.
Aroeiras (Pombal)	ZL-11	39°52'17.22"N 8°31'57.48"W	Reconhecimento de campo e recolha de amostras representativas	Perfis da Cumieira, de Abiul e da Praia do Salgado	2	Afloramento de coquinas. Identificação de representantes das classes Bivalvia e Gastropoda e de oncólitos. (Fig. 59-B).
Carrapia (Pombal)	ZL-12	39°52'4.39"N 8°31'45.49"W	Reconhecimento de campo	Perfis da Cumieira, de Abiul e da Praia do Salgado	/	Afloramento de coquinas. Identificação de representantes das classes Bivalvia e Gastropoda e de oncólitos.
Quinta da Graça (Pombal)	ZL-13	39°52'5.67"N 8°31'18.20"W	Reconhecimento de campo	Perfil da Cumieira	/	Afloramento de coquinas. Identificação de representantes da Classe Bivalvia.
Aroeiras (Pombal)	ZL-14	39°52'23.34"N 8°31'38.58"W	Reconhecimento de campo	Perfis de Abiul e da Praia do Salgado	/	Blocos com oncólitos de 0,2 a 3,0 cm. (Fig. 59-C).
Amieira (Pombal)	ZL-15	39°50'0.06"N 8°29'11.47"W	Reconhecimento de campo	Perfis da Cumieira, de Abiul e da Praia do Salgado	/	Blocos de coquinas. Identificação de representantes das classes Bivalvia e Gastropoda e de oncólitos.

6.2.2.2. Setor laguna-barreira

O setor laguna-barreira corresponde ao estreitamento, para sul, das regiões lagunares situadas a norte da bacia, e caracteriza-se pela presença de corpos recifais mais expressivos, assim como de ilhas barreiras, constituídas por fragmentos bioclásticos ou oncólitos. Destaca-se, neste setor, a ocorrência de sedimentos terrígenos mais grosseiros, provenientes das margens da bacia soerguidas (Berlengas a oeste, e Ota a leste).

Nesta região, a Formação Amaral foi analisada com base no estudo dos perfis estratigráficos da Praia do Salgado (Famalicão) e da Praia da Consolação (Atouguia da Baleia) e em dois afloramentos para controlo lateral e vertical de fácies (Fig. 35). O afloramento da Praia do Salgado apresenta uma excelente continuidade lateral, permitindo uma melhor análise das variações das fácies. Aqui, foram estudados seis perfis estratigráficos.

- **Perfis da Praia do Salgado (Famalicão)**

A Formação Amaral reconhecida nos depósitos aflorantes na região da Praia do Salgado (Famalicão) foi analisada através do estudo de seis perfis estratigráficos, que de seguida se descrevem, e que totalizam 69,52 m de espessura, individualizadas em 119 camadas das quais foram recolhidas 61 amostras.

A caracterização das sequências deposicionais da Formação Amaral para os depósitos que afloram na Praia do Salgado foi realizada tendo como base a correlação estratigráfica entre os diferentes perfis, o que permitiu um melhor entendimento das variações laterais dos sistemas deposicionais registados nas distintas sequências. Neste contexto e com base em critérios paleoecológicos, tafonómicos, sedimentológicos e estratigráficos, foram reconhecidas quatro sequências distintas que refletem diferentes ambientes deposicionais (Fig. 60).

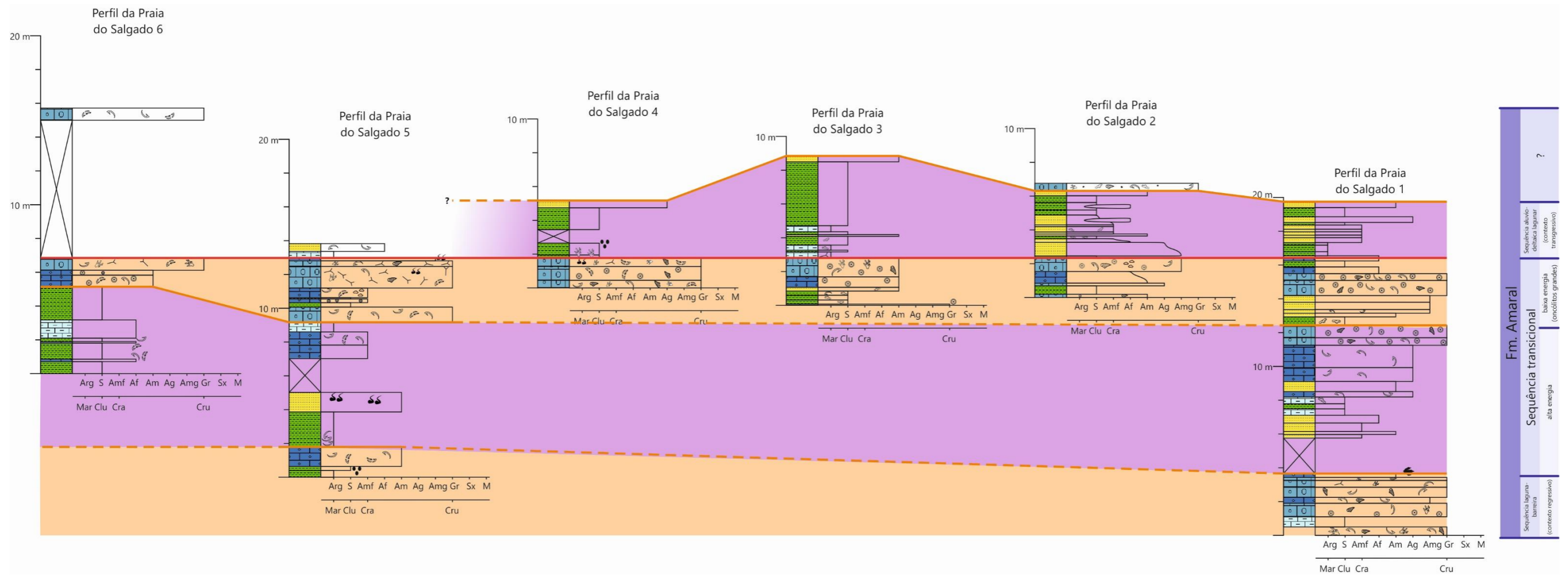


Figura 60 - Correlação estratigráfica dos perfis dos afloramentos da Praia do Salgado. Identificação das seqüências deposicionais com base em critérios paleoecológicos, tafonômicos, sedimentológicos e estratigráficos.

- **Sequência laguna-barreira (contexto regressivo)**

Esta sequência constitui o intervalo basal nos perfis 1 e 5 da Praia do Salgado, apresenta espessura máxima de aproximadamente 3,66 m e é composta por até oito camadas com geometrias externas lenticulares amalgamadas de grande continuidade lateral. As camadas apresentam espessuras desde 0,5 m até aproximadamente 2,0 m. São constituídas por grainstones (calcirruditos), packstones (calcarenitos) e mudstones (calcilutitos). Apresentam estratificações plano-paralela e cruzadas. O topo da sequência é demarcado por uma superfície de raseamento, onde são encontradas pegadas de dinossauros. Foram igualmente reconhecidos representantes das classes Anthozoa, Bivalvia, Gastropoda e Echinoidea, predominantemente suportados por matriz de areia média a fina, carbonatada. Localmente, na base de algumas camadas, ocorrem níveis oncolíticos.

As quatro amostras coletadas neste intervalo são representativas das petrofácies FM, FSRBnob1Bob2MD, FSRBnob1CmD, FSRBnob1Bnob1CmD, FSRBnob2CmD, FCm e FTC.

Esta sequência da Formação Amaral da Praia do Salgado representa um sistema deposicional de laguna-barreira em contexto regressivo. Este é delimitado por uma superfície contendo pegadas de dinossauros, o que identifica uma proximidade da linha de costa no final desta sequência.

- **Sequência transicional de alta energia**

Esta sequência encontra-se registada nos perfis 1, 5 e 6, com espessura máxima de aproximadamente 5,49 m e é composta por até 11 camadas com geometrias externas lenticulares amalgamadas, de grande continuidade lateral. As camadas apresentam espessuras desde 0,5 m até aproximadamente 2,0 m. São constituídas por wacstones (calcarenitos), mudstones (calcilutitos) e arenitos. Apresenta estratificações cruzada acanalada e em espinha de peixe. Localmente são encontrados fragmentos vegetais carbonificados; ocorrem igualmente representantes da classe Bivalvia, predominantemente suportados por matriz arenosa média a fina, carbonatada.

As dez amostras coletadas neste intervalo são representativas das petrofácies FT, FM, FCm, FTC, FSRUnobMH, FSRBnob2CmD e FTSRBnob2CmD.

Esta segunda sequência é interpretada como característica de um ambiente transicional de energia moderada a alta. Reconhece-se aporte terrígeno proveniente do continente e sob ação de ondas normais e de tempestades ocasionais.

- **Sequência transicional de baixa energia**

Esta sequência está representada em todos os perfis descritos, apresentando uma espessura aproximada de 4,79 m e é composta por até nove camadas com geometrias externas lenticulares e com grande continuidade lateral. As espessuras das camadas mostram-se inferiores a 1,0 m. São constituídas por grainstones (calcirruditos), mudstones (calcilutitos) e arenitos. Apresenta estratificações plano-paralela, ondulada e cruzada truncada por ondas. Ocorrem representantes das classes Bivalvia, Gastropoda e Echinoidea, suportados por matriz siltico-argilosa a arenosa muito fina, carbonatada, bem como oncólitos com até 4,0 cm. Ao longo do intervalo encontram-se fragmentos de lenhos fósseis carbonificados. Na base dos estratos podem ocorrer estratificações cruzadas espinha de peixe e acanaladas associadas a níveis de fragmentos carbonificados.

Neste intervalo foram coletadas 29 amostras, representativas de petrofácies FM, FT, FCm, FCm, FSRUnobCmD, FSRBnob2MD, FSRBnob1Bob2MD, FSRBnob1Bob2CmD, FSRBnob2Bob2CmD, FSRBnob1CmD e FSRBnob2CmD.

Esta sequência é caracterizada por uma significativa abundância de oncólitos, e é interpretada como representativa de um contexto de baixa energia, sob ação contínua de ondas normais, que transportariam fragmentos de lenhos fósseis carbonificados provenientes do continente próximo, que eram distribuídos nos sedimentos do ambiente lagunar pela ação de correntes. Neste intervalo as espículas de equinodermes são abundantes, o que sugere a ocorrência de um evento transgressivo subsequente ao ambiente de baixa energia a que se refere a sequência anterior.

- **Sequência aluvio-deltaica lagunar (contexto transgressivo)**

A parte superior de todos os perfis registra uma sequência com 3,75 m de espessura e 16 camadas, que não ultrapassam 1,0 m de espessura cada. O

intervalo é constituído predominantemente por mudstones (folhelhos) intercalados em arenitos e calcarenitos, nos quais foi reconhecida a presença de representantes das classes Anthozoa e Bivalvia.

Foram coletadas 12 amostras, representativas das petrofácies FCm, FM, FCm, FL e FT.

Esta sequência é interpretada como característica de um ambiente deposicional lagunar de baixa energia, sujeito à ação de ondas normais e de sistemas fluviais, que transportariam para a laguna fragmentos vegetais carbonificados.

➤ **Perfil da Praia do Salgado 1 (Famalicão)**

O Perfil da Praia do Salgado 1 (Famalicão) apresenta 19,24 m de espessura (Fig. 61), com 45 camadas, das quais foram recolhidas 11 amostras para análise. As descrições detalhadas e as classificações de rochas carbonatadas, segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas, segundo Garcia et al. (2020) são apresentadas no Quadro 9. As fácies com características singulares estão representadas na figura 62 (A até H).

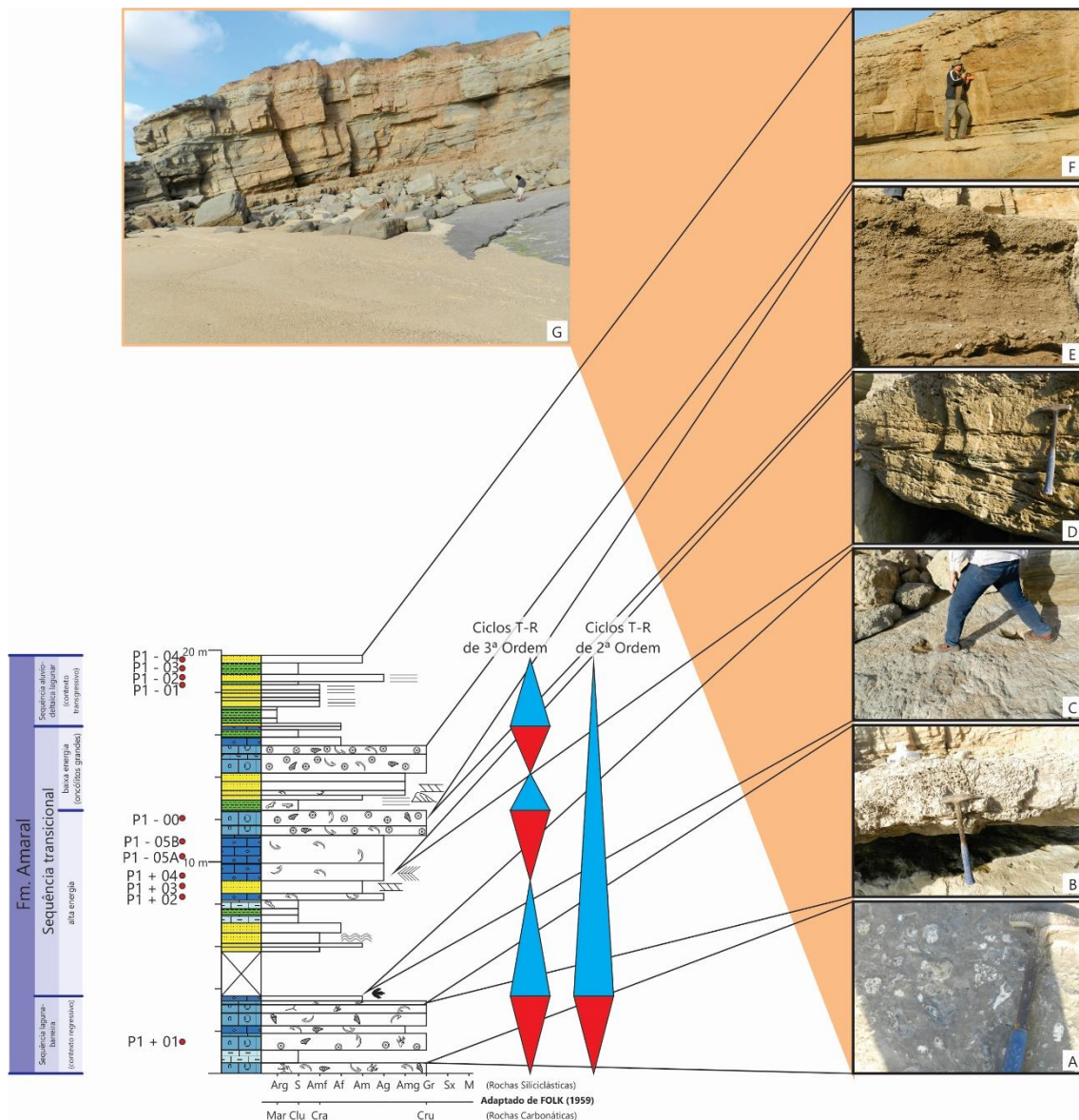


Figura 61 - Perfil estratigráfico da Praia do Salgado 1 (Famalicão) com a localização das amostras coletadas e ciclos T-R, destacando as litologias: A) Calcirrudito com abundantes fósseis das classes Anthozoa, Bivalvia e Gastropoda (FSRBnob1Bob2MD); B) Calcirrudito com fraturas preenchidas por calcite (FSRBnob1Bob1CmD); C) Pegadas de dinossauros (FCm); D) Calcarenito com estratificação cruzada espinha de peixe (FTSRBnob1CmD); E) Calcirrudito com oncólitos com até 4,0 cm (FSRBnob1CmD); F) Alternância de camadas de arenitos e folhelhos no topo do perfil; G) Imagem geral do Perfil da Praia do Salgado 1.

Quadro 9 - Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Praia do Salgado 1 (Famalicão).

Camada	Amostra	Material Intersticial	Biofábrica	Classes Dominantes	Diversidade do Registo Fóssil	Dunham (1962)/ Folk (1959)	Adaptado de Garcia et al. (2020)	Observações
45 (18,89m - 19,24m)	P1 - 04	Areia média	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	Estratificação plano-paralela.
44 (18,35m - 18,89m)	P1 - 03	Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	/
43 (18,01m - 18,35m)	P1 - 02	Areia média a grossa	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	Estratificação plano-paralela. Camada com granocrescência dos seus constituintes.
42 (17,96m - 18,01m)	P1 - 01	Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	/
41 (17,71m - 17,96m)		Arenito muito fino	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	Estratificação plano-paralela.
40 (17,69m - 17,71m)		Arenito muito fino	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	Arenito siltico de coloração castanha com lenhos fósseis.
39 (17,49m - 17,69m)		Arenito muito fino	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	Arenito siltico de coloração castanha com lenhos fósseis.
38 (17,45m - 17,49m)		Arenito muito fino	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	Arenito siltico de coloração castanha com lenhos fósseis.
37 (17,16m - 17,45m)		Arenito muito fino	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	Estratificação plano-paralela.
36 (17,08m - 17,16m)		Argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	/
35 (16,69m - 17,08m)		Argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	/
34 (16,45m - 16,69m)		Argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	/
33 (16,40m - 16,45m)		Areia fina	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	/
32 (16,24m - 16,40m)		Areia fina-argilosa	Suportada pela matriz	/	/	- / Calcarenito- Calcilutito	FCm/FM	Arenito muito fino a argilito siltico de coloração cinza com lentes arenosas e com fragmentos de lenhos fósseis.
31 (15,89m - 16,24m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Feições nodulares. Abundantes fragmentos de lenhos fósseis.
30 (15,49m - 15,89m)		Areia fina-argilosa	Suportada pela matriz	/	/	- / Calcarenito	FCm	Oncólitos. Matriz argilosa.
29 (15,09m - 15,49m)		Areia muito grossa	Grão suportada	Bivalvia Gastropoda	Baixa	Grainstone/ Calcirrudito	FSRBnob1CmD	Oncólitos.

Quadro 9 (continuação) - Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Praia do Salgado 1 (Famalicão).

Camada	Amostra	Material Intersticial	Biofábrica	Classes Dominantes	Diversidade do Registo Fóssil	Dunham (1962)/ Folk (1959)	Adaptado de Garcia et al. (2020)	Observações
28 (14,19m - 15,09m)		Areia muito grossa	Grão suportada	Bivalvia Gastropoda	Baixa	Grainstone/ Calcirrudito	FSRBnob1CmD	Oncólitos. Camada com granocrescência dos seus constituintes.
27 (13,80m - 14,19m)		Areia muito grossa	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	Estratificação cruzada.
26 (13,37m - 13,80m)		Areia muito grossa	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	Estratificação cruzada espinha de peixe. Nível de carvão na base da camada.
25 (13,15m - 13,37m)		Areia muito grossa	Suportada pela matriz	Bivalvia	Baixa	- / Arenito	FT	Raros bivalves.
24 (12,93m - 13,15m)		Areia média	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	Estratificação evolui da base para o topo de plano-paralela para cruzada, passando por estratificação cruzada truncada por ondas.
23 (12,43m - 12,93m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Coloração cinza. Presença de fragmentos de carvão.
22 (11,70m - 12,43m)	P1 - 00	Argila esverdeada	Grão suportada	Bivalvia Gastropoda	Baixa	Grainstone/ Calcirrudito	FSRBnob1CmD	Oncólitos (1,0 a 4,0 cm). (Fig. 62-B e C).
21 (11,25m - 11,70m)		Areia muito grossa a grânulo	Grão suportada	Bivalvia Gastropoda	Baixa	Grainstone/ Calcirrudito	FSRBnob1CmD	Oncólitos (0,2 a 0,8 cm).
20 (9,93m - 11,25m)	P1 - 05B P1 - 05A	Areia grossa	Suportada pela matriz	Bivalvia	Baixa	Wackstone/ Calcarenito	FTSRBnob1CmD	/
19 (9,11m - 9,93m)	P1 + 04	Areia grossa	Suportada pela matriz	Bivalvia	Baixa	Wackstone/ Calcarenito	FTSRBnob1CmD	Estratificação cruzada espinha de peixe.
18 (8,51m - 9,11m)	P1 + 03	Arenito média	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	Estratificação cruzada.
17 (8,19m - 8,51m)	P1 + 02	Areia grossa	Suportada pela matriz	Bivalvia	Baixa	- / Calcarenito	FTSRBnob2CmD	Intenso grau de distorção mecânica.
16 (7,79m - 8,19m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Calcilutito	FM	Feições nodulares. Presença de lenho fóssil.
15 (7,49m - 7,79m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Coloração vermelha.

Quadro 9 (continuação) - Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Praia do Salgado 1 (Famalicão).

Camada	Amostra	Material Intersticial	Biofábrica	Classes Dominantes	Diversidade do Registo Fóssil	Dunham (1962)/ Folk (1959)	Adaptado de Garcia et al. (2020)	Observações
14 (7,11m - 7,49m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Calcilutito	FM	Feições nodulares.
13 (6,65m - 7,11m)		Arenito fino	Suportada pela matriz	/	/	/ - Arenito	FT	Coloração vermelha.
12 (6,15m - 6,65m)		Arenito muito fino	Suportada pela matriz	/	/	/ - Arenito	FT	Superfícies onduladas marcadas pela presença de finas lentes de lama. (Fig. 62-D).
11 (5,97m - 6,15m)		Areia média	Suportada pela matriz	/	/	/ - Arenito	FT	Coloração vermelha.
10 (5,76m - 5,97m)		Areia muito fina	Suportada pela matriz	/	/	/ - Arenito	FTC	Coloração cinza-castanho. Intensa cimentação.
9 (3,66m - 5,76m)		ENCOBERTO						
8 (3,43m - 3,66m)		Areia média	Suportada pela matriz	/	/	/ - Calcarenito	FCm	Pegadas de dinossauros. (Fig. 62-E e F).
7 (3,25m - 3,43m)		Areia média	Suportada pela matriz	Anthozoa Gastropoda	Baixa	Packstone/ Calcirrudito	FSRBnob1Bob1CmD	/
6 (2,85m - 3,25m)		Areia média a grossa	Suportada pela matriz	Anthozoa Bivalvia Echnoidea	Média a alta	Packstone/ Calcirrudito	FSRBnob1Bob1CmD	Calcite em fraturas.
5 (2,25m - 2,85m)		Areia média a grossa	Suportada pela matriz	Bivalvia Gastropoda	Baixa	Grainstone/ Calcirrudito	FSRBnob1Bob1CmD	/
4 (1,90m - 2,25m)		Arenito muito grosso	Suportada pela matriz	Bivalvia Gastropoda	Média	Packstone/ Calcarenito muito grosso	FSRBnob1CmD	Remoção tafonómica dos bioclastos.
3 (1,10m - 1,90m)	P1 + 01	Areia	Grão suportada	Anthozoa Bivalvia Gastropoda	Muito alta	Grainstone/ Calcirrudito	FSRBnob1Bob1CmD	Oncólitos na base.
2 (0,50m - 1,10m)		Argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Calcilutito	FM	Marlstone com textura em grumos, coloração cinza-escura. Fracturas em mosaicos.
1 (0,00m - 0,50m)		Areia fina, silte-argila	Grão suportada	Anthozoa Bivalvia Gastropoda	Muito alta	Grainstone/ Calcirrudito	FSRBnob1Bob2MD	Abundantes fósseis. (Fig. 62-G e H).

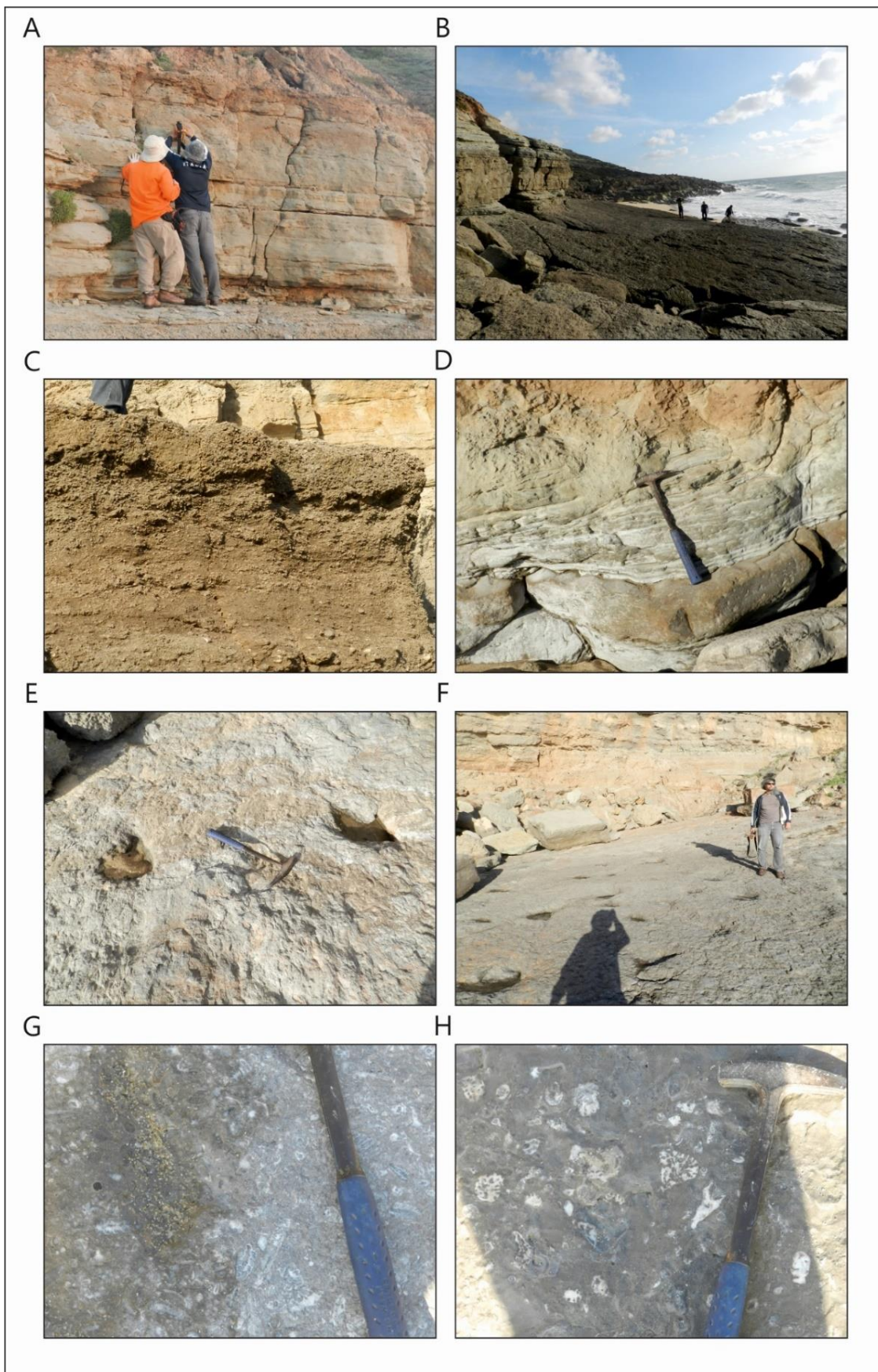


Figura 62 - Fácies singulares do Perfil da Praia do Salgado 1 (Famalicão). A) Alternância de camadas de arenitos e folhelhos no topo do perfil; B e C) Calcirrudito com oncólitos com até 4,0 cm (FSRBnob1CmD); D) Superfícies onduladas marcadas pela presença de finas lenticulas de lamito (FT); E e F) Pegadas de dinossauros (FCm); G e H) Calcirrudito com abundantes fósseis das classes Anthozoa, Bivalvia e Gastropoda (FSRBnob1Bob2MD).

➤ Perfil da Praia do Salgado 2 (Famalicão)

O Perfil da Praia do Salgado 2 (Famalicão) apresenta 6,76 metros de espessura (Fig. 63) e 19 camadas, das quais foram recolhidas 13 amostras para análise. As descrições detalhadas e as classificações de rochas carbonatadas, segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas, segundo Garcia et al. (2020) são apresentadas no Quadro 10. As fácies com características singulares estão representadas na figura 64 (A até H).

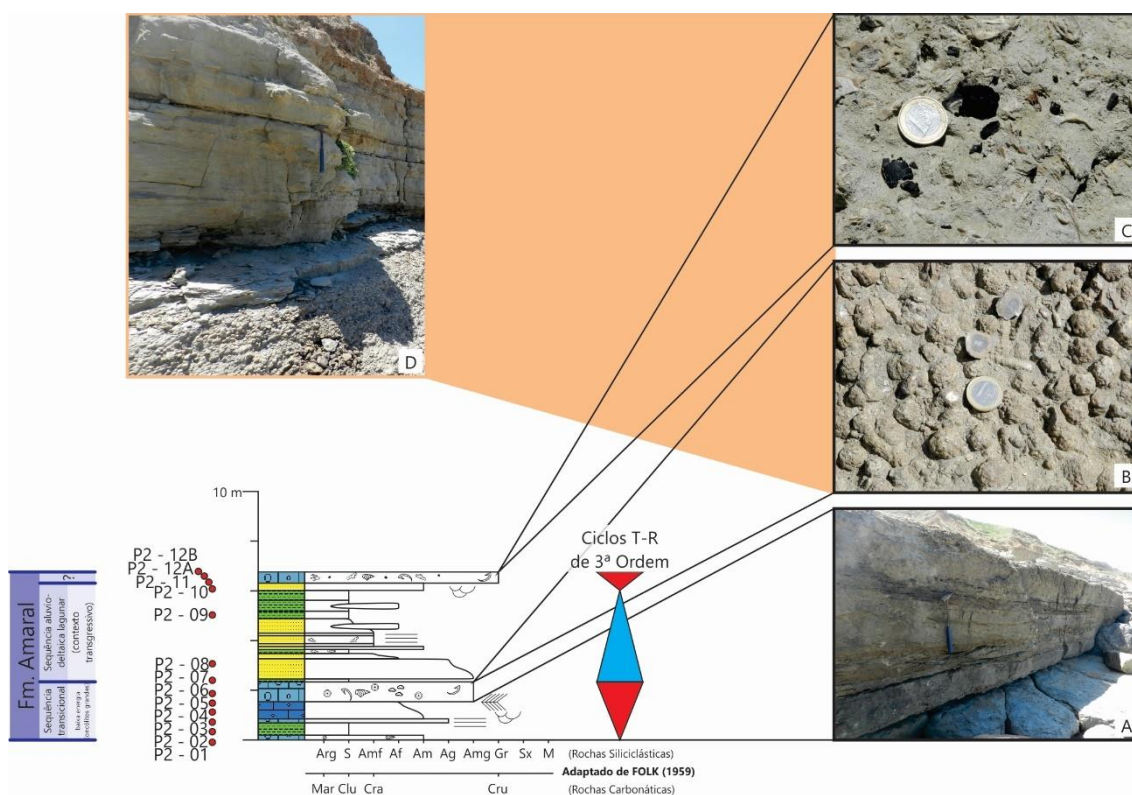


Figura 63 - Perfil estratigráfico da Praia do Salgado 2 (Famalicão) com a localização das amostras coletadas e ciclos T-R, destacando as litologias: A) Camadas de calcirrudito com estratificação cruzada acanalada na base passando para espinha de peixe no topo, sobrepostas por uma camada de calcarenito (FSRUobCmD para FCm); B) Calcirrudito com oncólitos com até 5,0 cm (FSRBnob1CmD); C) Calcirrudito com abundantes fósseis das classes Anthozoa, Bivalvia e Gastropoda, fragmentos de carvão com até 2,5 cm e constituintes terrigenos (FTSRBnob1Bob2CmD); D) Imagem geral da última sequência deposicional do Perfil da Praia do Salgado 2.

Quadro 10 - Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Praia do Salgado 2 (Famalicão).

Camada	Amostra	Material Intersticial	Biofábrica	Classes Dominantes	Diversidade do Registo Fóssil	Dunham (1962)/ Folk (1959)	Adaptado de Garcia et al. (2020)	Observações
19 (6,31m - 6,76m)	P2 - 12B	Areia média	Grão suportada	Anthozoa Bivalvia Gastropoda	Muito alta	Grainstone/ Calcirrudito	FTSRBnob1Bob2CmD	Fragmentos de carvão com até 2,5 cm. Constituintes terrígenos. (Fig. 64-B, C e D).
	P2 - 12A							
	P2 - 11							
18 (6,02m - 6,31m)	P2 - 10	Areia média	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	Estratificação cruzada acanalada tangencial. (Fig. 64-E).
17 (5,62m - 6,02m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	/
16 (5,18m - 5,62m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Coloração negra. Lentes de areia muito fina.
15 (4,88m - 5,18m)	P2 - 09	Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Coloração negra.
14 (4,30m - 4,88m)		Areia muito fina a silte	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	Arenito siltico com lentes de arenito.
13 (4,20m - 4,30m)		Areia muito fina	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	Coloração avermelhada.
12 (3,88m - 4,20m)		Areia muito fina	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	Estratificação plano-paralela. Fragmento de carvão.
11 (3,76m - 3,88m)		Areia muito fina	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	/
10 (3,64m - 3,76m)		Areia média	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	/

Quadro 10 (continuação) - Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Praia do Salgado 2 (Famalicão).

Camada	Amostra	Material Intersticial	Biofábrica	Classes Dominantes	Diversidade do Registo Fóssil	Dunham (1962)/ Folk (1959)	Adaptado de Garcia et al. (2020)	Observações
9 (3,48m - 3,64m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Coloração cinza-esverdeado. Fragmentos de lenhos fósseis. Geometria externa em lentes.
8 (3,27m - 3,48m)		Areia fina a muito fina	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	
7 (2,46m - 3,27m)	P2 - 08	Areia muito grossa a grânulo	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito conglomerático	FT	
6 (2,34m - 2,46m)	P2 - 07	Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Coloração cinza-esverdeado
5 (1,54m - 2,34m)	P2 - 06	Areia muito grossa	Grão suportada	Bivalvia Gastropoda	Baixa	Grainstone/ Calcirrudito	FSRBnob1CmD	Oncólitos (1,0 a 5,0 cm). Intraclastos de folhelho. (Fig. 64-F).
4 (0,85m - 1,54m)	P2 - 05	Areia média a fina	Suportada pela matriz	/	/	- / Calcarenito	FCm	Estratificação cruzada acanalada na base passando para espinha de peixe no topo. (Fig. 64-G).
	P2 - 04							
3 (0,69m - 0,85m)	P2 - 03	Areia grossa	Suportada pela matriz	/	/	- / Calcirrudito	FCm	Estratificação plano-paralela. (Fig. 64-H).
2 (0,19m - 0,69m)	P2 - 02	Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Coloração cinza-esverdeado. Lentes.
1 (0,00m - 0,19m)	P2 - 01	Areia média	Grão suportada	Gastropoda	Baixa	Grainstone/ Calcirrudito	FSRUnobCmD	Oncólitos (0,5 a 3,0 cm).

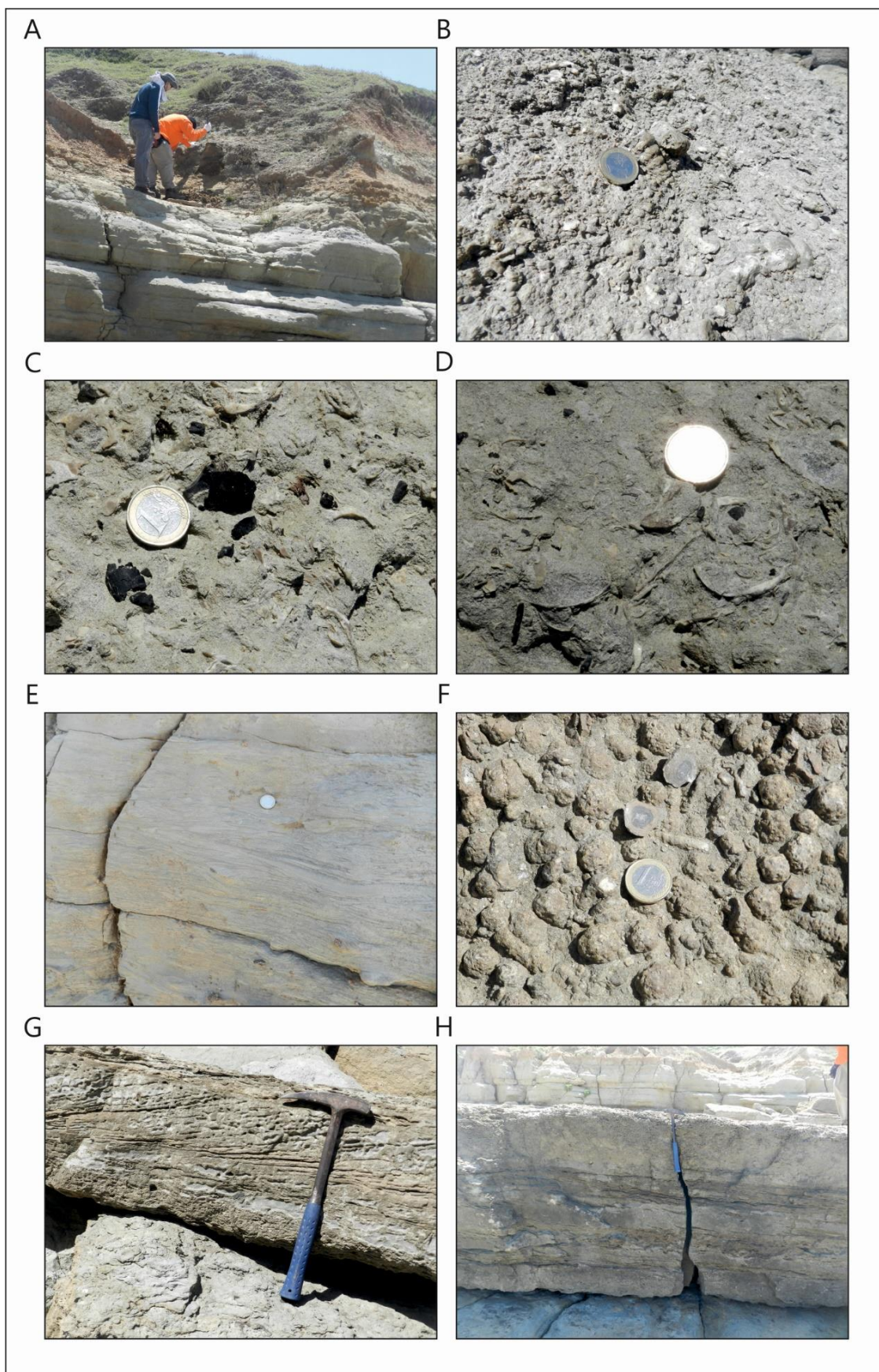


Figura 64 - Fácies singulares do Perfil da Praia do Salgado 2 (Famalicão). A) Imagem geral do topo da última sequência deposicional do Perfil da Praia do Salgado 2; B, C e D) Calcirrudito com abundantes fósseis das classes Anthozoa, Bivalvia e Gastropoda, fragmentos de carvão com até 2,5 cm e constituintes terrígenos (FTSRBnob1Bob2CmD); E) Arenito com estratificação cruzada acanalada tangencial (FT); F) Calcirrudito com oncólitos com até 5,0 cm (FSRBnob1CmD); G) Calcarenito com estratificação cruzada acanalada na base passando para espinha de peixe no topo (FSRUnobCmD para FCm); H) Calcirrudito com estratificação plano-paralela (FCm).

➤ Perfil da Praia do Salgado 3 (Famalicão)

O Perfil da Praia do Salgado 3 (Famalicão) apresenta 8,82 m de espessura (Fig. 65) e 16 camadas, das quais foram recolhidas 13 amostras para estudos de fácies. As descrições detalhadas e as classificações de rochas carbonatadas, segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas, segundo Garcia et al. (2020) são apresentadas no Quadro 11. As fácies com características singulares estão representadas na figura 66 (A até E).

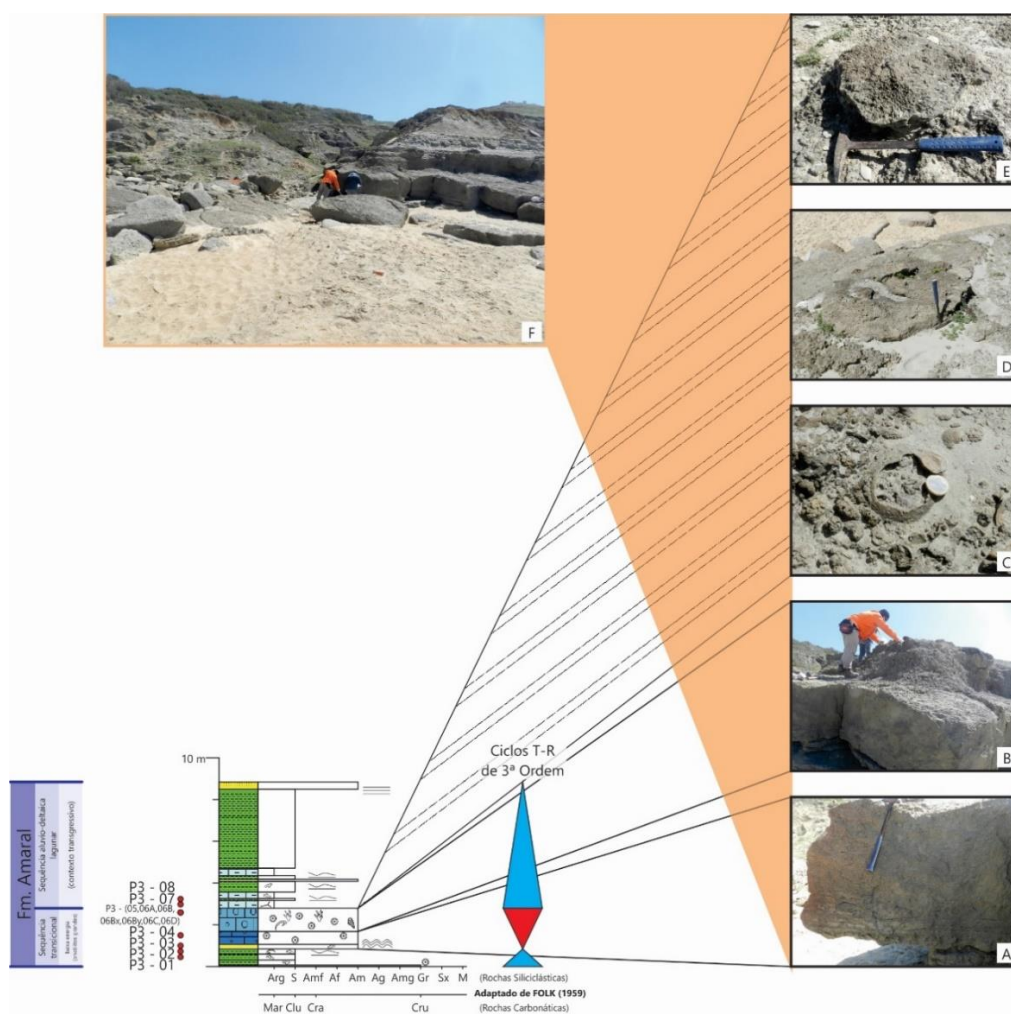


Figura 65 - Perfil estratigráfico da Praia do Salgado 3 (Famalicão) com a localização das amostras coletadas e ciclos T-R, destacando as litologias: A) Arenito com marcas onduladas de dimensões pequenas a médias e fragmentos de carvão (lenhos fósseis) sobreposto por calcarenito com oncólitos com distribuição caótica (FT para FCm); B) Calcirrudito com oncólitos (com até 6,0 cm) (FSRBnob1CmD); C, D e E) Corais acumulados no topo da camada anterior sobrepostos à grande camada de oncólitos (corais com aproximadamente 1,0 m de diâmetro e com distanciamentos entre eles de aproximadamente 3,0 m) (ISF 4 - TF 1.4); F) Imagem geral do Perfil da Praia do Salgado 3.

Quadro 11 - Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amarel e descritas no Perfil da Praia do Salgado 3 (Famalicão).

Camada	Amostra	Material Intersticial	Biofábrica	Classes Dominantes	Diversidade do Registo Fóssil	Dunham (1962)/ Folk (1959)	Adaptado de Garcia et al. (2020)	Observações
16 (8,47m - 8,82m)		Areia média a grossa	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	Estratificação plano-paralela na base. Topo não visível (provavelmente é o arenito com estratificação cruzada acanalada tangencial da base da camada 18 do Perfil do Salgado 2). (Fig. 66-B).
15 (4,69m - 8,47m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Coloração cinza. Concreções nodulares.
14 (4,33m - 4,69m)		Argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Calcilutito	FM	Coloração vermelha. Friável.
13 (4,16m - 4,33m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Coloração cinza. Topo com marcas de ondulação.
12 (4,06m - 4,16m)		Areia muito fina	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	Coloração vermelha. Friável.
11 (3,54m - 4,06m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Coloração cinza. Topo com marcas de ondulação. Menor presença de fragmentos de lenhos fósseis em relação ao Perfil da Praia do Salgado 2.
10 (3,24m - 3,54m)		Argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Calcilutito	FM	Coloração cinza. Maciço. Raros fragmentos de lenhos fósseis.
9 (3,14m - 3,24m)	P3 - 08	Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Coloração cinza. Topo com marca de ondulação.
8 (2,77m - 3,14m)	P3 - 07	Argila	Suportada pela matriz	Echinoidea	Baixa	Mudstone/ Calcilutito	FM	Espículas de equinóides.

Quadro 11 (continuação) - Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Praia do Salgado 3 (Famalicão).

Camada	Amostra	Material Intersticial	Biofábrica	Classes Dominantes	Diversidade do Registo Fóssil	Dunham (1962)/ Folk (1959)	Adaptado de Garcia et al. (2020)	Observações
7 (1,66m - 2,77m)	P3 - 06D	Areia carbonatada	Grão suportada	Anthozoa Bivalvia Gastropoda	Média	Grainstone/ Calcirrudito	FSRBnob1CmD e ISF 4 (TF 1.4)	Oncólitos (com até 6,0 cm). Corais fósseis <i>in situ</i> no topo desta camada em cima da grande camada de oncólitos (com aproximadamente 1,0 m de diâmetro e com distanciamento entre eles de aproximadamente 3,0 m). (Fig. 66-C e D).
	P3 - 06C							
	P3 - 06B - y							
	P3 - 06B - x							
	P3 - 06B							
	P3 - 06A							
	P3 - 05							
6 (1,04m - 1,66m)	P3 - 04	Areia média carbonatada	Grão suportada	/	/	Grainstone/ Calcarenito	FCm	Oncólitos com distribuição caótica. (Fig. 66-E).
5 (0,82m - 1,04m)	P3 - 03	Areia muito fina a média	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	Marcas de ondulação com dimensões pequenas a médias. Fragmentos de carvão (lenhos fósseis).
4 (0,57m - 0,82m)	P3 - 02	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito baixa	Mudstone/ Folhelho	FM	Coloração cinza-esverdeada. Topo com marca de ondulação. Pequenos fragmentos de carvão (lenho fóssil).
3 (0,29m - 0,57m)	P3 - 01	Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Brecha com fragmentos de carvão (fulgênio). Restos vegetais (lenhos fósseis).
2 (0,05m - 0,29m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Coloração cinza-esverdeada. Fragmentos de lenhos fósseis.
1 (0,00m - 0,05m)		Argila a areia	Suportada pela matriz	/	/	Packstone/ Calcirrudito	FCm	Contacto transicional de argila para areia. Oncólitos.

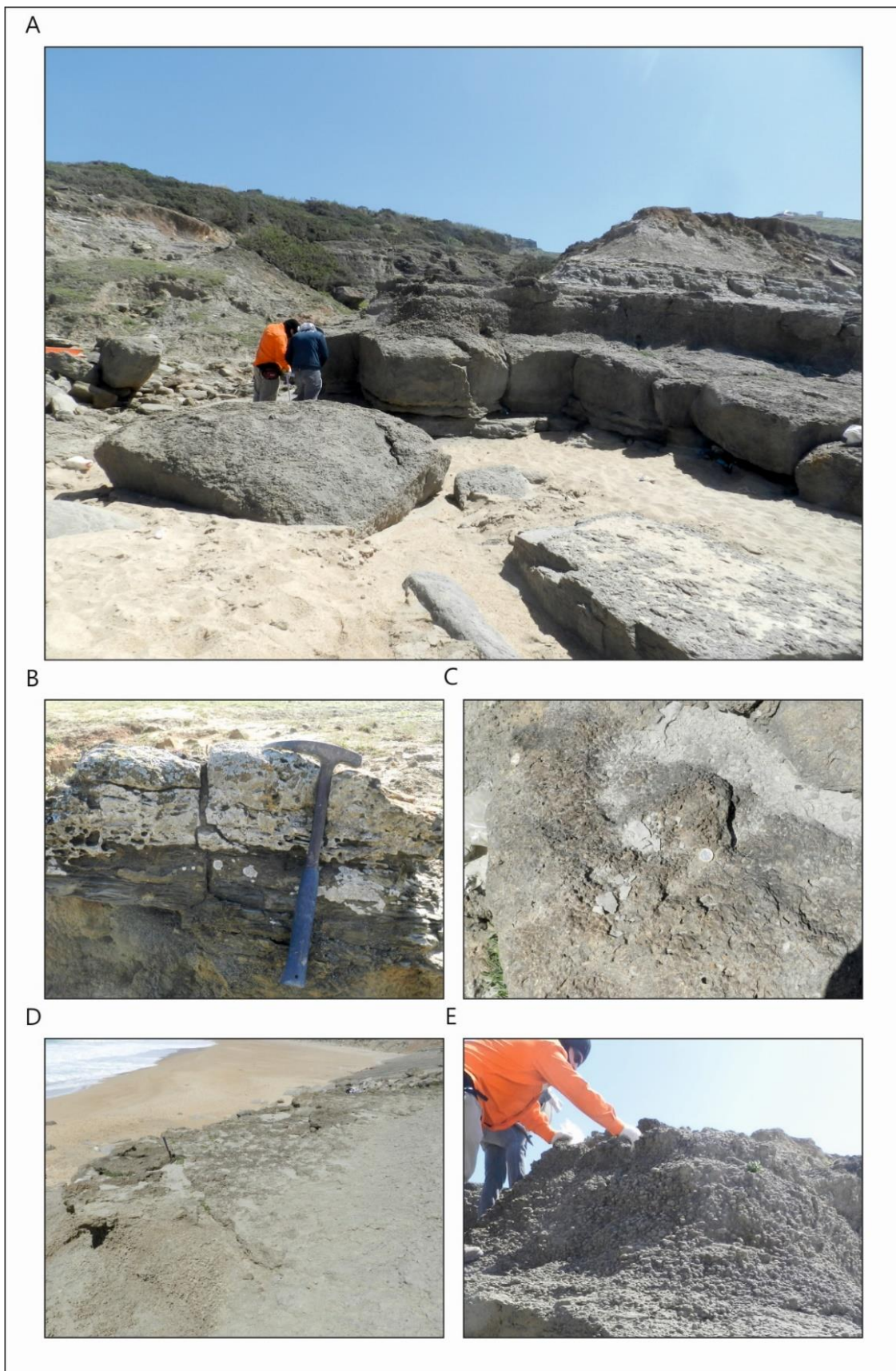


Figura 66 - Fácies singulares do Perfil da Praia do Salgado 3 (Famalicão): A) Imagem geral do afloramento do Perfil da Praia do Salgado 3; B) Arenito com estratificação plano-paralela na base passando gradualmente a estratificação cruzada acanalada tangencial (FT); C) Fóssil da Classe Anthozoa de grandes dimensões acumulados (ISF 4 - TF 1.4); D) Corais fósseis acumulados no topo de uma camada de calcirrudito com oncólitos de grandes dimensões (FSRBnob1CmD e ISF 4 - TF 1.4); E) Calcirrudito com oncólitos com até 5,0 cm (FSRBnob1CmD).

➤ Perfil da Praia do Salgado 4 (Famalicão)

O Perfil da Praia do Salgado 4 (Famalicão) apresenta 5,17 m de espessura (Fig. 67) e oito camadas, das quais foram recolhidas quatro amostras para análise. As descrições detalhadas e as classificações de rochas carbonatadas, segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas, segundo Garcia et al. (2020) são apresentadas no Quadro 12. As fácies com características singulares estão representadas na figura 68 (A até E).

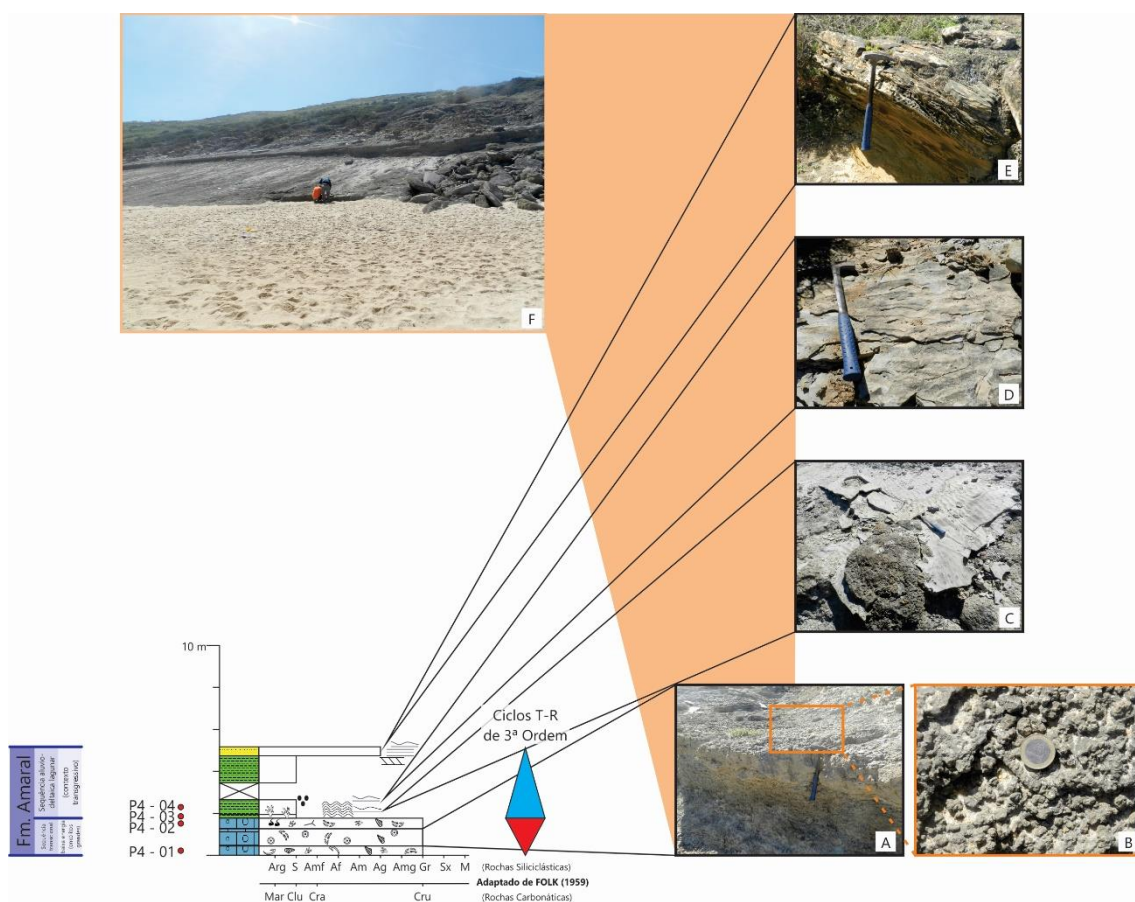


Figura 67 - Perfil estratigráfico da Praia do Salgado 4 (Famalicão) com a localização das amostras coletadas e ciclos T-R, destacando as litologias: A) Nível com abundantes oncólitos (1,0 a 5,0 cm) e contacto erosivo no topo (FSRBnob2Bob2CmD); B) Detalhe da camada descrita em A; C e D) Marcas de ondas (ripples) simétricas com orientação N70E, corais fósseis acumulados desenvolvidos na lama (com até 90,0 cm de diâmetro) (FM, ISF 2 - TF 1.2); E) Arenito com estratificação cruzada, plano-paralela a ondulada com granocrescência (FT); F) Imagem geral do afloramento do Perfil da Praia do Salgado 4.

Quadro 12 - Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Praia do Salgado 4 (Famalicao).

Camada	Amostra	Material Intersticial	Biofábrica	Classes Dominantes	Diversidade do Registo Fóssil	Dunham (1962)/ Folk (1959)	Adaptado de Garcia et al. (2020)	Observações
8 (4,74m - 5,17m)		Areia média a grossa	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	Estratificação cruzada, plano-paralela a ondulada. Granocrescência.
7 (3,45m - 4,74m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Cinza, friável.
6 (2,65m - 3,45m)	ENCOBERTO							
5 (1,95m - 2,65m)	P4 - 04	Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Estratificação ondulada. Topo ondulado (<i>ripples</i>). Presença de oxidação.
4 (1,77m - 1,95m)	P4 - 03	Silte-argila	Suportada pela matriz	Anthozoa	Muito baixa	Mudstone/ Folhelho	FM (ISF 4 - TF 1.4; ISF 2 - TF 1.2)	Marcas de ondulação simétricas com orientação N70E. Corais <i>in situ</i> (com até 90,0 cm de diâmetro). (Fig. 68-B e C).
3 (1,27m - 1,77m)	P4 - 02	Areia fina a média	Grão suportada	Anthozoa Bivalvia Gastropoda Echinoidea	Muito alta	Grainstone/ Calcirrudito	FSRBnob2Bob2CmD	Abundantes fragmentos de gástrópodes. Fragmentos de corais, espículas de equinóides, bivalves com até 10,0 cm. Bioturbações.
2 (0,45m - 1,27m)		Areia fina a média	Grão suportada	Bivalvia Gastropoda	Média	Grainstone/ Calcirrudito	FSRBnob2Bob2CmD	Abundantes oncólitos (1,0 a 5,0 cm). Contacto erosivo no topo. (Fig. 68-D e E).
1 (0,00m - 0,45m)	P4 - 01	Areia fina a média	Grão suportada	Anthozoa Bivalvia Gastropoda	Média a alta	Grainstone/ Calcirrudito	FSRBnob1Bob2CmD	Abundantes restos de corais (principalmente no topo). Topo com maior dissolução da matriz.

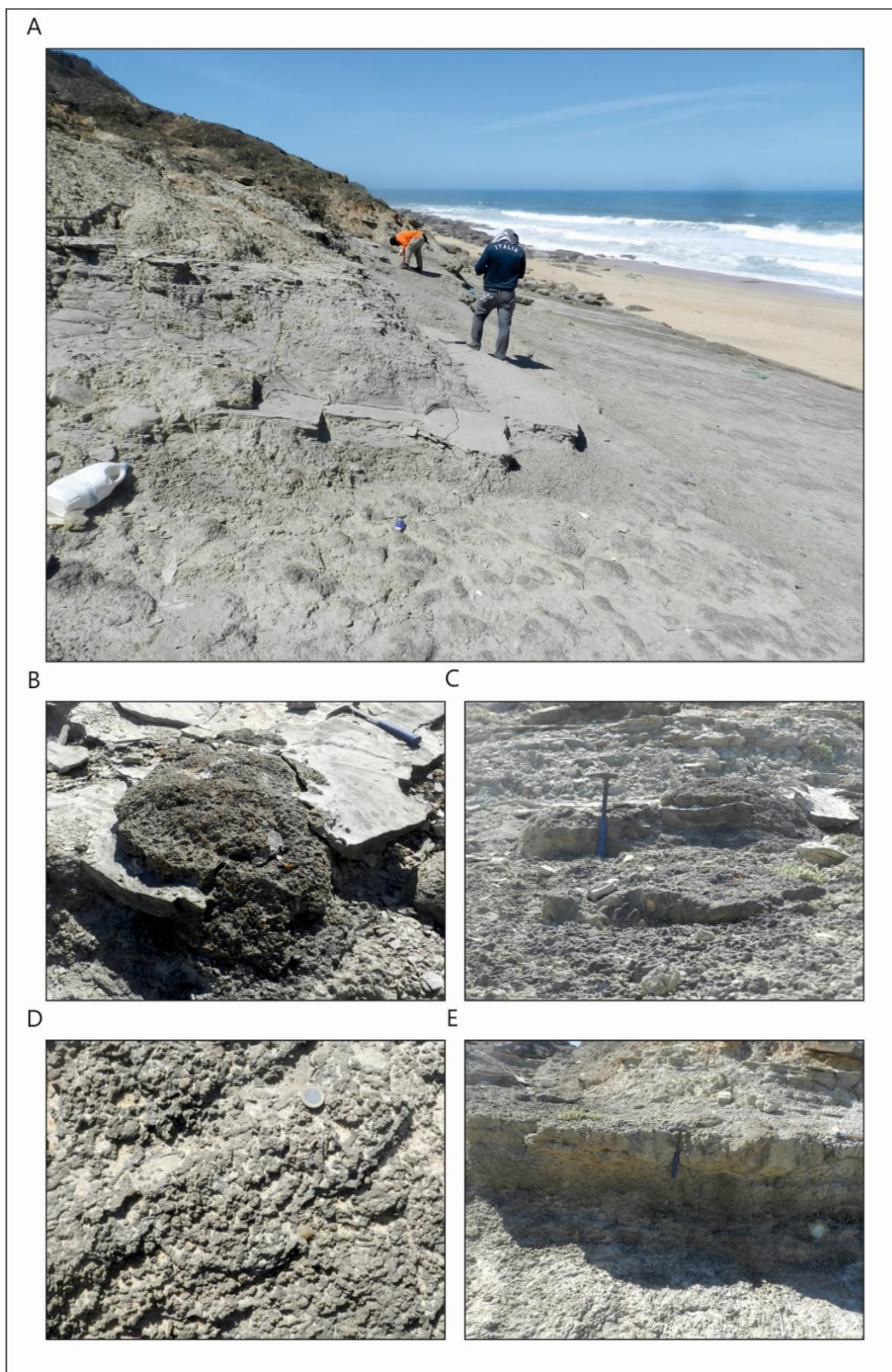


Figura 68 - Fácies singulares do Perfil da Praia do Salgado 4 (Famalicão): A) Imagem geral do afloramento do Perfil da Praia do Salgado 4; B e C) Fósseis de corais acumulados desenvolvidos nas camadas de folhelho (com até 90,0 cm de diâmetro) (ISF 2 - TF 1.2), alguns dos quais apresentam o início do seu crescimento na camada de oncólitos situada abaixo do folhelho (ISF 4 - TF 1.4); D e E) Nível com abundantes oncólitos (1,0 a 5,0 cm) com contato erosivo no topo (FSRBnob2Bob2CmD).

➤ Perfil da Praia do Salgado 5 (Famalicão)

O Perfil da Praia do Salgado 5 (Famalicão) apresenta 13,81 m de espessura (Fig. 69) e 19 camadas, das quais foram recolhidas 16 amostras para análise. As descrições detalhadas e as classificações de rochas carbonatadas, segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas, segundo Garcia et al. (2020) são apresentadas no Quadro 13. As fácies com características singulares estão representadas na figura 70 (A até E).

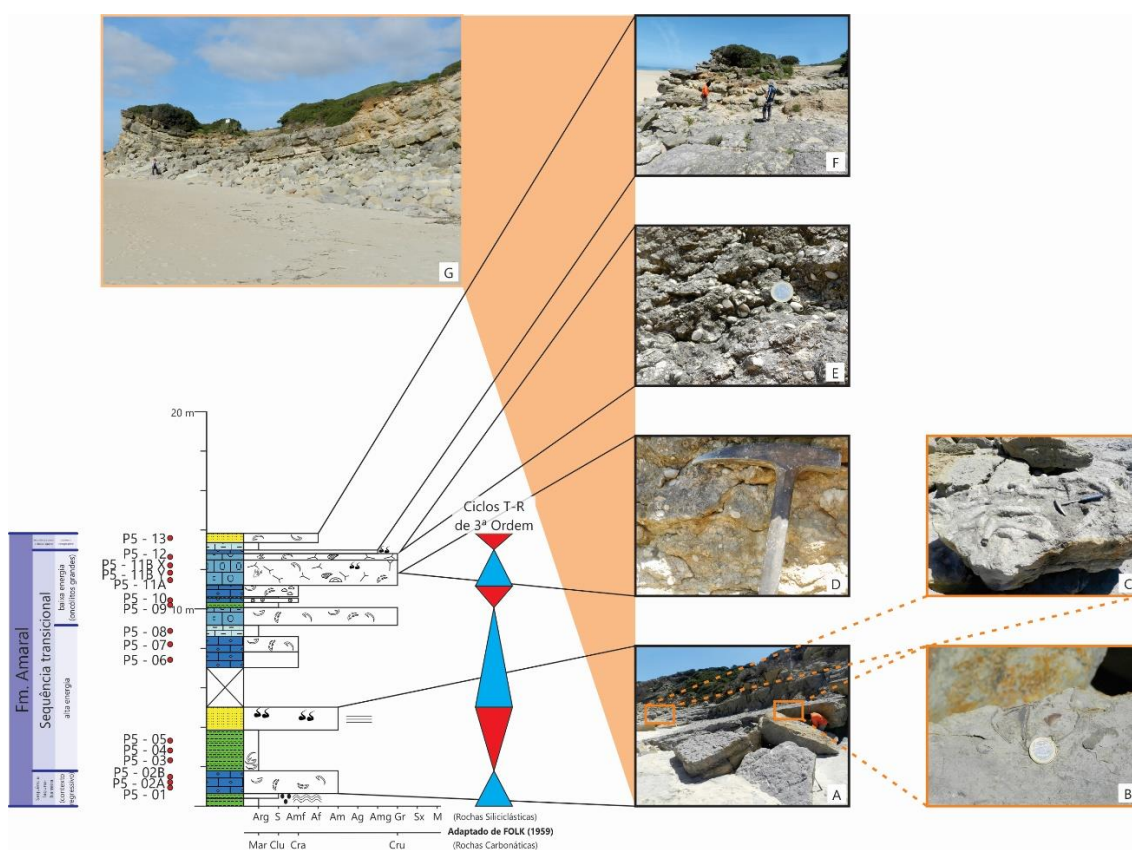


Figura 69 - Perfil estratigráfico da Praia do Salgado 5 (Famalicão) com a localização das amostras coletadas e ciclos T-R, destacando as litologias: A) Imagem geral do topo da primeira sequência e base da segunda sequência do Perfil da Praia do Salgado 5; B) Calcarenito com matriz lamosa com fósseis da Classe Bivalvia intensamente fragmentados (FSRBnob2CmD); C) Arenito com estratificação plano-paralela e bioturbações (*Thalassinoides* com aproximadamente 46,0 cm de comprimento e 7,0 cm de largura) (FT); D e E) Calcirrudito com fósseis das classes Anthozoa, Bivalvia, Gastropoda e Echinoidea e abundantes espículas de equinóides (FSRBnob1Bob2MD e FSRBnob1Bob2CmD); F) Imagem geral do topo da última sequência do Perfil da Praia do Salgado 5; G) Imagem geral do Perfil da Praia do Salgado 5.

Quadro 13 - Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Praia do Salgado 5 (Famalicão).

Camada	Amostra	Material Intersticial	Biofábrica	Classes Dominantes	Diversidade do Registo Fóssil	Dunham (1962)/ Folk (1959)	Adaptado de Garcia et al. (2020)	Observações
19 (13,35m - 13,81m)	P5 - 13	Areia fina	Suportada pela matriz	Bivalvia	Baixa	- / Arenito	FTSRBnob2CmD	/
18 (12,97m - 13,35m)		Argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Calcilutito	FM	/
17 (12,79m - 12,97m)		Areia muito grossa	Suportada pela matriz	Bivalvia	Baixa	Packstone/ Calcarenito	FSRBnob2CmD	Coloração esbranquiçada. Bioturbações (<i>Thalassinoides</i>).
16 (12,46m - 12,79m)	P5 - 12	Areia muito grossa	Suportada pela matriz	Anthozoa Bivalvia Gastropoda Echinoidea	Alta	Grainstone/ Calcirrudito	FSRBnob1Bob2CmD	Abundantes espículas de equinóides. Fósseis de corais inteiros com aproximadamente 60,0 cm de diâmetro. Gastrópodes e bivalves.
15 (11,18m - 12,46m)	P5 - 11B - X	Silte-argila	Suportada pela matriz	Anthozoa Bivalvia Gastropoda Echinoidea	Alta	Grainstone/ Calcirrudito	FSRBnob1Bob2MD	Abundantes espículas de equinóides e um exemplar do corpo central de um equinóide bem preservado. Raros fragmentos de corais muito fragmentados. Raros gastrópodes. Traços fósseis de pequenas dimensões. (Fig. 70-B, C e D).
	P5 - 11B - Y							
	P5 - 11A							
14 (10,61m - 11,18m)		Areia muito fina	Suportada pela matriz	Bivalvia	Baixa	Packstone/ Calcarenito	FSRBnob2CmD	Apresenta intraclastos de folhelhos com coloração esbranquiçada.
13 (10,55m - 10,61m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	/
12 (10,33m - 10,55m)	P5 - 10	Areia muito fina	Suportada pela matriz	/	/	- / Calcarenito	FCm	Oncólitos com pequenas dimensões.
11 (10,07m - 10,33m)	P5 - 09	Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	/
10 (9,17m - 10,07m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Baixa	Grainstone/ Calcirrudito	FSRBnob2MD	Muita matriz lamosa.

Quadro 13 (continuação) - Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Praia do Salgado 5 (Famalicão).

Camada	Amostra	Material Intersticial	Biofábrica	Classes Dominantes	Diversidade do Registo Fóssil	Dunham (1962)/ Folk (1959)	Adaptado de Garcia et al. (2020)	Observações
9 (8,60m - 9,17m)	P5 - 08	Argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Calclutito	FM	Coloração cinza. Fraturação acentuada.
8 (7,82m - 8,60m)	P5 - 07	Areia muito fina	Suportada pela matriz	Bivalvia	Baixa	Packstone/ Calcarenito	FSRBnob2CmD	/
7 (7,02m - 7,82m)	P5 - 06	Areia muito fina	Suportada pela matriz	/	/	- / Calcarenito	FCm	Intensa cimentação carbonatada.
6 (5,02m - 7,02m)	ENCOBERTO							
5 (3,86m - 5,02m)		Areia média a fina	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FT	Estratificação plano-paralela. Bioturbações (<i>Thalassinoidea</i> com aproximadamente 46,0 cm de comprimento e 7,0 cm de largura). (Fig. 70-E).
4 (1,79m - 3,86m)	P5 - 05	Argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito baixa	Mudstone/ Folhelho	FSRUnobMH	Coloração cinza escura. Bivalves com até 5,0 cm orientados na base da camada.
	P5 - 04							
	P5 - 03							
3 (0,64m - 1,79m)	P5 - 02B	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito baixa	- / Calcarenito	FSRBnob2CmD	Matriz lamosa.
	P5 - 02A							
	P5 - 01							
2 (0,40m - 0,64m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Coloração cinza-esverdeada. Níveis oxidados. Superfícies onduladas na base.
1 (0,00m - 0,40m)		Argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Coloração cinza-esverdeada. Friável.

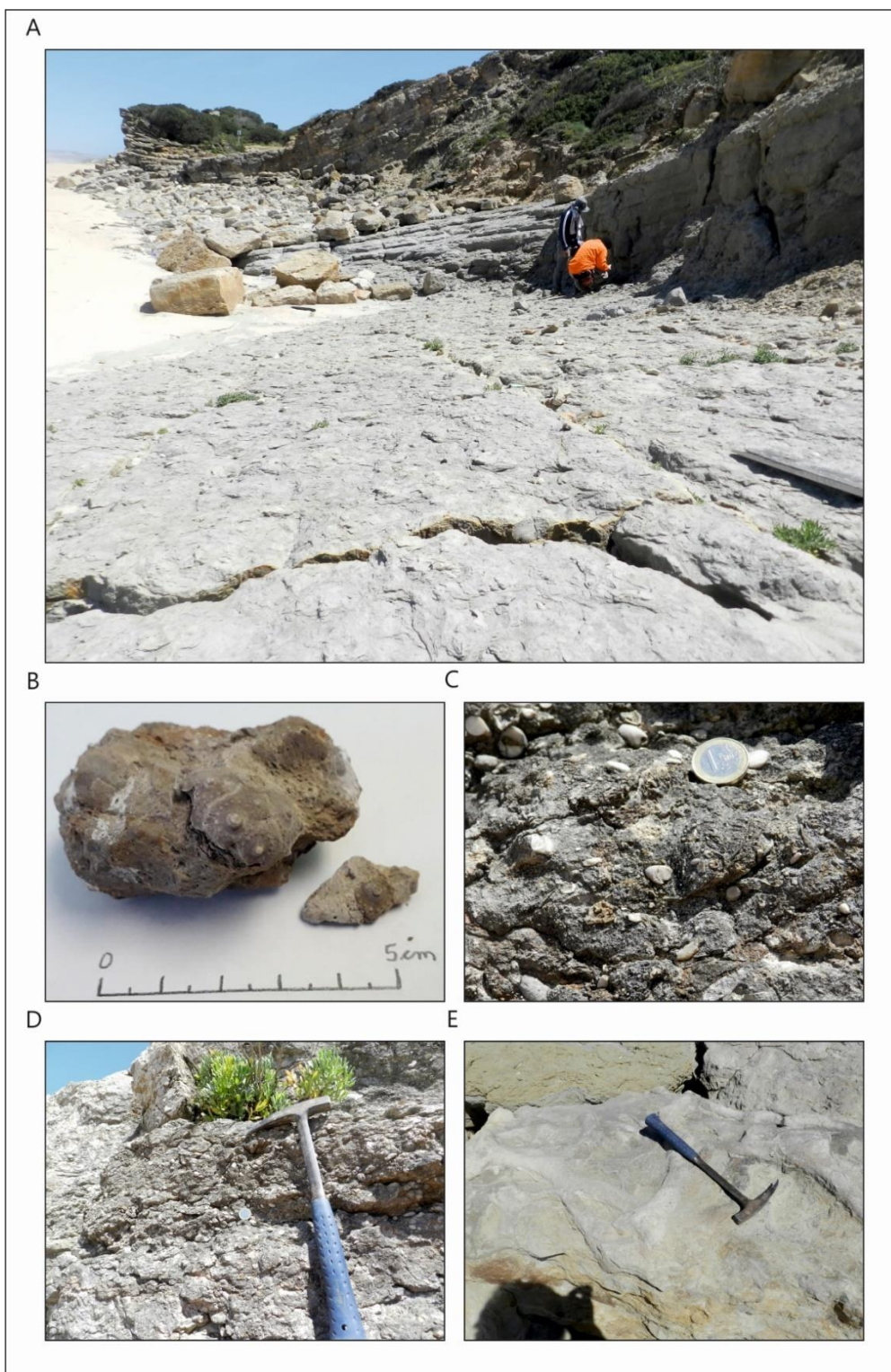


Figura 70 - Fácies singulares do Perfil da Praia do Salgado 5 (Famalicão): A) Imagem geral do afloramento do Perfil da Praia do Salgado 5; B) Corpo central de um equinóide bem preservado (FSRBnob1Bob2MD); C e D) Calcirrudito com fósseis das classes Anthozoa, Bivalvia, Gastropoda e Echinoidea, abundantes espículas de equinóides, raros fragmentos de corais muito fragmentados, raros gastrópodes e icnofósseis de pequenas dimensões. (FSRBnob1Bob2MD e FSRBnob1Bob2CmD); E) *Thalassinoides* com aproximadamente 46,0 cm de comprimento e 7,0 cm de largura (FT).

➤ Perfil da Praia do Salgado 6 (Famalicão)

O Perfil da Praia do Salgado 6 (Famalicão) apresenta 15,72 m de espessura (Fig. 71) e 12 camadas, das quais foram recolhidas quatro amostras para análise. As descrições detalhadas e as classificações de rochas carbonatadas, segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas, segundo Garcia et al. (2020) são apresentadas no Quadro 14. As fácies com características singulares estão representadas na figura 72 (A até C).

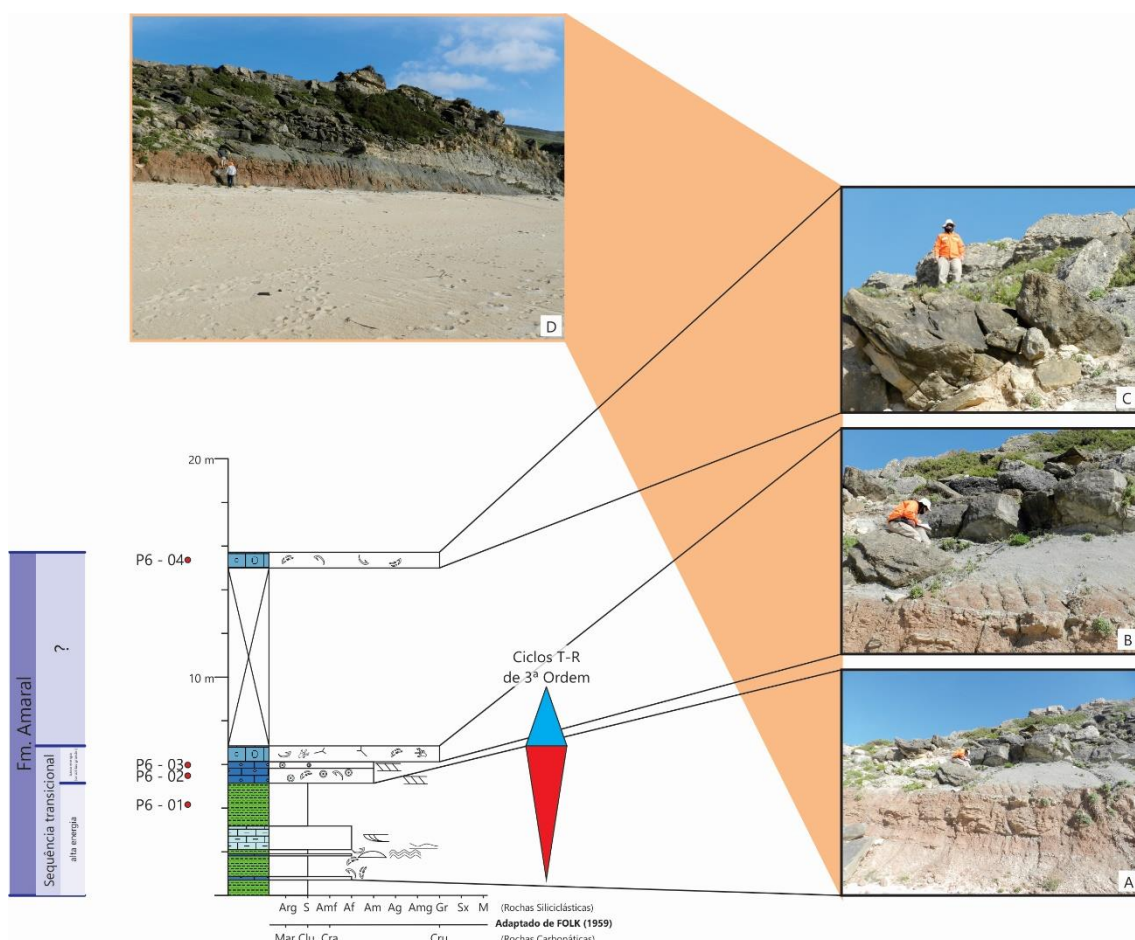


Figura 71 - Perfil estratigráfico da Praia do Salgado 6 (Famalicão) com a localização das amostras coletadas e ciclos T-R, destacando as litologias: A) Imagem geral da base da primeira sequência do Perfil da Praia do Salgado 6; B) Imagem geral do topo da primeira sequência do Perfil da Praia do Salgado 6; C) Imagem geral da última camada do Perfil da Praia do Salgado 6 (FSRBnob1CmD); D) Imagem geral do Perfil da Praia do Salgado 6.

Quadro 14 - Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Praia do Salgado 6 (Famalicão).

Camada	Amostra	Material Intersticial	Biofábrica	Classes Dominantes	Diversidade do Registo Fóssil	Dunham (1962)/ Folk (1959)	Adaptado de Garcia et al. (2020)	Observações
12 (15,00m - 15,72m)	P6 - 04	Grânulo	Grão suportada	Bivalvia	Média	Grainstone/ Calcirrudito	FSRBnob1CmD	/
11 (6,85m - 15,00m)	ENCOBERTO							
10 (6,12m - 6,85m)		Areia	Suportada pela matriz	Anthozoa Bivalvia Echinoidea	Média a alta	Packstone/ Calciruru	FSRBnob2CmD	Espículas de equinóides.
9 (5,83m - 6,12m)	P6 - 03	Areia média	Suportada pela matriz	/	/	- / Calcarenito	FCm	Coloração cinza. Oncólitos. Estratificação cruzada. Raros fósseis de bivalves.
8 (5,14m - 5,83m)	P6 - 02	Areia média	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito baixa	Packstone/ Calcarenito	FSRBnob2CmD	Coloração cinza. Oncólitos. Estratificação cruzada. Raros fósseis de bivalves.
7 (3,18m - 5,14m)	P6 - 01	Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Coloração cinza.
6 (2,10m - 3,18m)		Areia finas e argila	Suportada pela matriz	/	/	- / Calcilutito	FM	Intercalações de finas camadas de calcarenitos com estratificação cruzada de baixo ângulo com camadas de argila.
5 (1,90m - 2,10m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Coloração cinza-vermelha.
4 (1,81m - 1,90m)		Areia fina	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito baixa	Packstone/ Calcarenito	FSRBnob2CmD	Geometria lenticular com a base e o topo com marcas de ondulação. Estratificação cruzada tangencial.
3 (0,86m - 1,81m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	/
2 (0,71m - 0,86m)		Areia fina	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito baixa	Packstone/ Calcarenito	FSRBnob1CmD	Abundantes fósseis de bivalves.
1 (0,00m - 0,71m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Coloração cinza.



Figura 72 - Fácies singulares do Perfil da Praia do Salgado 6 (Famalicão): A) Imagem geral do afloramento do Perfil da Praia do Salgado 6; B) Imagem geral do topo da última sequência do Perfil da Praia do Salgado 6; C) Imagem geral da base da primeira sequência do Perfil da Praia do Salgado 6.

○ **Perfil da Praia da Consolação (Atouguia da Baleia)**

O Perfil da Praia da Consolação (Atouguia da Baleia) apresenta 40,3 m de espessura (Fig. 73) e 69 camadas, das quais foram recolhidas 41 amostras para análise. As descrições detalhadas e as classificações de rochas carbonatadas, segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas, segundo Garcia et al. (2020) são apresentadas no Quadro 15. As fácies com características singulares estão representadas na figura 74 (A até F).

A Formação Amaral reconhecida no registo sedimentar do Perfil da Praia da Consolação é composta por três sequências distintas que refletem, para cada intervalo, diferentes ambientes deposicionais dominantes. Estas sequências foram definidas tendo em consideração critérios paleoecológicos, tafonômicos, sedimentológicos e estratigráficos.

• **Sequência transicional de alta energia**

A parte inferior do Perfil da Praia da Consolação apresenta 3,28 m de espessura e é marcada pela presença de componentes lenhosos fósseis. Este intervalo expõe oito camadas com espessuras individuais inferiores a 1,0 m, constituídas predominantemente por packstones, wackstones e mudstones. Ocorrem representantes das classes Anthozoa e Bivalvia fragmentados. Neste intervalo observa-se com frequência a presença de fragmentos lenhosos fósseis carbonificados e de estratificação truncada por onda. Foram coletadas dez amostras, representativas das petrofácies FM, FCm, FTCm, FSRBnob2Bob2CmD.

A sequência basal da Formação Amaral no Perfil da Praia da Consolação é interpretada como característica de um ambiente deposicional transicional de alta energia, atingido pela ação de ondas normais e com ação fluvial, traduzida pelo transporte de fragmentos vegetais carbonificados para a laguna.

- **Sequência transicional de baixa energia**

Esta sequência do perfil apresenta 15,2 m de espessura e é composta por 27 camadas, com geometria externa lenticular de grande continuidade lateral. A espessura das camadas varia de 0,2 até 2,0 m, sendo constituídas por grainstones (calcirruditos), packstone (calcarenitos), wackstones e mudstones (calcilutitos). Observam-se estratificações plano-paralela, ondulada e cruzada truncada por ondas. Reconhece-se a ocorrência de representantes das classes Anthozoa, Bivalvia, Gastropoda e Echinoidea, suportados por matriz siltítico-argilosa a arenosa muito fina, carbonatada. Numa das camadas foi reconhecida a presença de corais acumulados. Ao longo do intervalo ocorrem fragmentos de lenhos fósseis carbonificados. Em algumas camadas, com maior incidência no topo das mesmas, encontram-se bioturbações (*Thalassinoides*). Neste intervalo foram coletadas 16 amostras, representativas das petrofácies FSRBnob1Bob2CD, FM, FSRBob1CmD, ISF 4 (TF 1.4), FCm, FSRBnob1Bob2CmH, FSRBnob1Bob1CmH e FTSRBnob2Bob1CmH, FTSRBnob1Bob2CmH, FTSRBnob1CmD, FTSRBnob1CmH, FTSRBnob2CmD e FTSRBnob2Bob2CmD.

Esta sequência é relacionada com um contexto de baixa energia, sob ação contínua de ondas normais, onde se mantinha a chegada de fragmentos de lenhos fósseis carbonificados provenientes do continente próximo.

- **Sequência laguna-barreira**

A sequência do topo do perfil da Praia da Consolação tem 21,82 m de espessura e é composta por 34 camadas com geometrias externas lenticulares, com lentes amalgamadas e de grande continuidade lateral. As camadas variam de 0,2 até 2,0 m e são constituídas por packstones (calcarenitos), wackstones e mudstones (calcilutitos). Apresenta estratificações plano-paralela e cruzada truncada por ondas. Em alguns níveis observam-se fendas de dessecação no topo, e sobre uma delas reconhecem-se pegadas de dinossauros. Foi igualmente reconhecida a ocorrência de representantes das classes Anthozoa, Bivalvia e Gastropoda, predominantemente suportados por matriz siltico-argilosa, carbonatada. Os fragmentos de lenhos fósseis carbonificados são raros. Neste intervalo foram coletadas 14 amostras, representativas das petrofácies FM, FCm, FTSRBnob2Bob2CmD, FTSRBnob2CmD, FSRBnob2Bob1MD, FTSRBnob1CH e FTSRBnob2CH.

A sequência da parte superior do perfil da Formação Amaral na Praia da Consolação é interpretada como característica de um ambiente deposicional de laguna-barreira, de baixa energia, atingido pela ação de ondas normais, onde é possível identificar uma proximidade da linha de costa delimitada por uma superfície contendo pegadas de dinossauros.

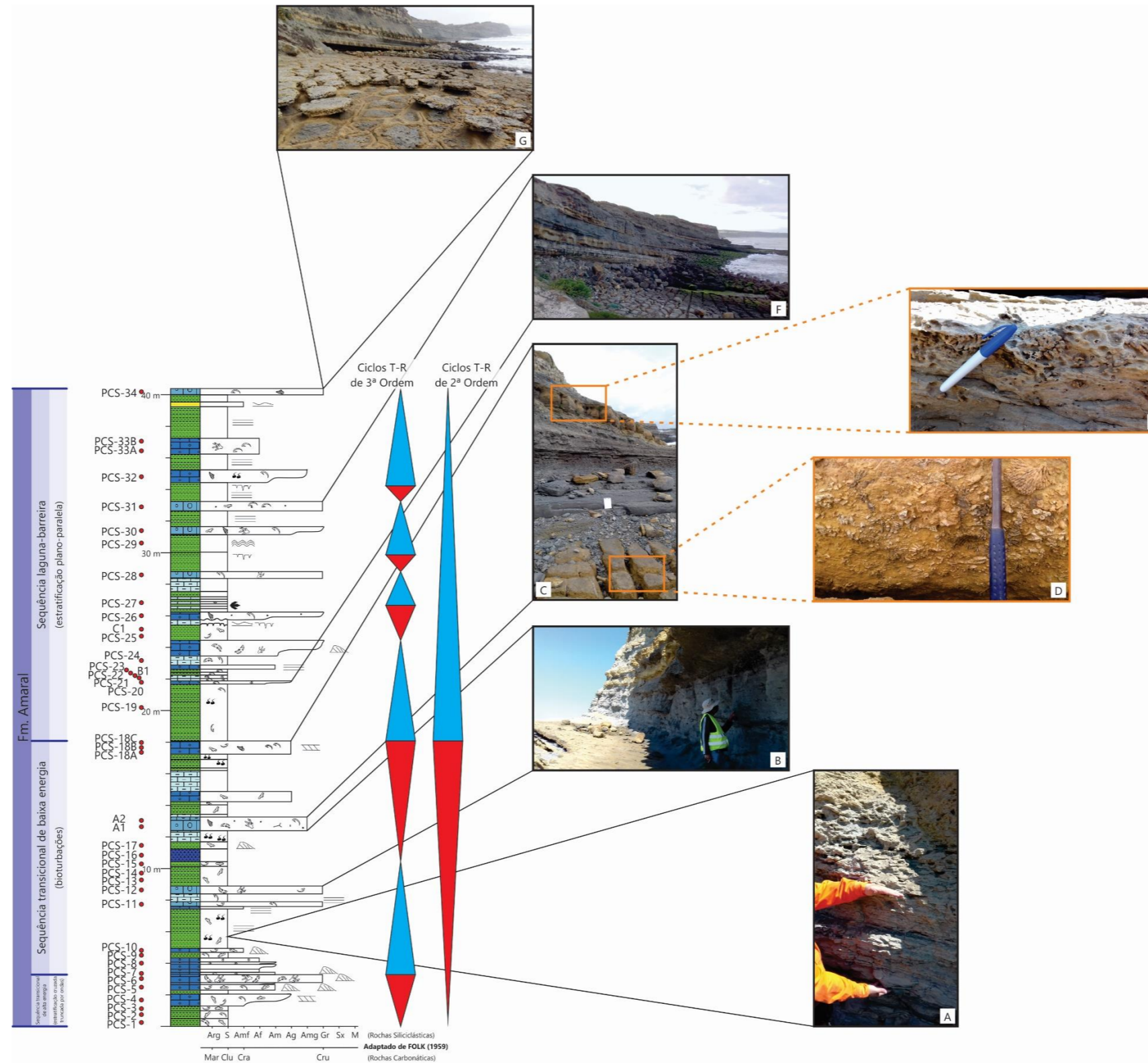


Figura 73 - Perfil estratigráfico da Praia da Consolação (Atouguia da Baleia) com a localização das amostras coletadas e ciclos T-R, destacando as litologias: A) Nível de folhelho com fragmentos de lenhos fósseis carbonizados e bioturbações no topo da camada (*Thalassinoides*) (FM); B) Imagem geral da base da segunda sequência do Perfil da Praia da Consolação; C) Imagem geral do topo da segunda sequência do Perfil da Praia da Consolação; D) Calcirrudito com micas e grãos de quartzo. Fósseis de bivalves com até 7,5 cm e de gastrópodes com até 2,7 cm; espículas de equinóides com até 0,8 cm e corais com até 8,5 cm. Grande parte dos bivalves orientados segundo a estratificação (FTSRBnob1Bob2CmH e FTSRBnob2Bob1CmH); E) Calcarenito micáceo, quartzoso. Estratificação cruzada de baixo ângulo. Fósseis de bivalves orientados paralelamente à estratificação. Fragmentos de lenhos fósseis (FTSRBnob1CmD e FTSRBnob1CmH); F) Imagem geral da base da última sequência do Perfil da Praia da Consolação; G) Imagem geral do topo do Perfil da Praia da Consolação.

Quadro 15 - Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Praia da Consolação (Atouguia da Baleia).

Camada	Amostra	Material Intersticial	Biofábrica	Classes Dominantes	Diversidade do Registo Fóssil	Dunham (1962)/ Folk (1959)	Adaptado de Garcia et al. (2020)	Observações
69 (39,90m - 40,30m)	PCS-34	Areia grossa	Grão suportada	Bivalvia Gastropoda	Média a baixa	Grainstone / Calcirrudito	FTSRBnob2CH	Micáceo. Fósseis de bivalves com até 7,0 cm, orientados paralelos à estratificação. (Fig. 74-A).
68 (39,45m - 39,9m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	/
67 (39,15m - 39,45m)		Silte-argila a areia fina	Suportada pela matriz	/	/	- / Arenito	FM	Micáceo. Com " <i>climbing ripple</i> ".
66 (37,15m - 39,15m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Micáceo. Laminado. Alterações intempéricas horizontais no topo da camada (caulinização?).
65 (36,15m - 37,15m)	PCS-33B PCS-33A	Areia muito fina-silte	Suportada pela matriz	Anthozoa Bivalvia	Média a baixa	Packstone/ Calcarenito	FTSRBnob1Bob1CH	Micáceo. Fósseis de bivalves fragmentados orientados segundo a estratificação. Fósseis de corais com até 15,0 cm.
64 (35,15m - 36,15m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Micáceo. Laminado.
63 (34,35m - 35,15m)	PCS-32	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia Gastropoda	Média a baixa	Mudstone/ Calcarenito	FCm	Micáceo, fragmentos de lenhos fósseis e bioturbação (<i>Thalassinoïdes</i>).
62 (33,15m - 34,35m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Coloração cinza. Estratificação plano-paralela. Fendas de dessecação no topo.
61 (32,55m - 33,15m)	PCS-31	Areia muito fina a média	Grão suportada	Bivalvia	Muito baixa	Grainstone / Calcirrudito	FTSRBnob2CmD	Micáceo, quartzoso. Fósseis de bivalves com orientação paralela à estratificação. Fragmentos de lenhos fósseis.
60 (31,55m - 32,55m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Coloração cinza. Estratificação plano-paralela.
59 (31,05m - 31,55m)	PCS-30	Areia média a grossa	Grão suportada	Anthozoa Bivalvia Gastropoda	Média a alta	Grainstone / Calcirrudito	FTSRBnob2Bob2CmD	Fragmentos de lenhos fósseis.
58 (29,95m - 31,05m)	PCS-29	Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Marcas de ondulação.
57 (28,71m - 29,95m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Coloração cinza escuro. Fendas de dessecação.
56 (28,28m - 28,71m)	PCS-28	Silte-argila	Suportada pela matriz	Anthozoa Bivalvia	Média a baixa	Packstone/ Calcirrudito	FSRBnob2Bob1MD	Fragmentos fósseis de corais muito bem preservados.

Quadro 15 (continuação) - Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Praia da Consolação (Atouguia da Baleia).

Camada	Amostra	Material Intersticial	Biofábrica	Classes Dominantes	Diversidade do Registo Fóssil	Dunham (1962)/ Folk (1959)	Adaptado de Garcia et al. (2020)	Observações
55 (27,45m - 28,28m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone / Calcilutito	FM	Coloração cinza escuro.
54 (27,11m - 27,45m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Coloração cinza claro.
53 (27,06m - 27,11m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone / Calcilutito	FM	/
52 (27,01m - 27,06m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	/
51 (26,95m - 27,01m)	PCS-27	Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone / Calcilutito	FM	Micáceo. Fragmentos de lenhos fósseis.
50 (26,83m - 26,95m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Pegadas de dinossauros.
49 (26,75m - 26,83m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone / Calcilutito	FM	/
48 (26,54m - 26,75m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	/
47 (26,06m - 26,54m)	PCS-26	Areia fina	Suportada pela matriz	Bivalvia Gastropoda	Média a baixa	Packstone/ Calcarenito	FTSRBnob2CmD	Micáceo. Fragmentos de lenhos fósseis. (Fig. 74-B).
46 (25,72m - 26,06m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Calcilutito	FM	Apresenta laminação ondulada no topo e fendas de dessecação na base.
45 (24,75m - 25,72m)	C1 PCS-25	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito baixa	Mudstone/ Folhelho	FM	Fósseis de bivalves com até 5,5 cm. Micáceo. Fragmentos de lenhos fósseis. (Fig. 74-C).
44 (23,75m - 24,75m)		Areia média a grossa conglomerática	Suportada pela matriz	Anthozoa Bivalvia	Média a baixa	Packstone/ Calcarenito	FTSRBnob2Bob2CmD	Estratificação cruzada truncada por ondas.
43 (23,19m - 23,75m)	PCS-24	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito baixa	Mudstone/ Calcilutito	FM	Fósseis de bivalves fragmentados.
42 (22,93m - 23,19m)		Areia fina a grossa	Suportada pela matriz	/	/	- / Calcarenito	FCm	Calcarenito (microbial), laminado (estratificação plano-paralela).
41 (22,73m - 22,93m)	PCS-23	Areia fina a silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito baixa	Mudstone/ Folhelho	FM	Micáceo.

Quadro 15 (continuação) - Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Praia da Consolação (Atouguia da Baleia).

Camada	Amostra	Material Intersticial	Biofábrica	Classes Dominantes	Diversidade do Registo Fóssil	Dunham (1962)/ Folk (1959)	Adaptado de Garcia et al. (2020)	Observações
40 (22,55m - 22,73m)	PCS-22	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito baixa	Mudstone/ Folhelho	FM	Micáceo.
39 (22,33m - 22,55m)	B1 PCS-21	Silte-argila	Suportada pela matriz	Anthozoa Bivalvia	Média a baixa	Wackstone/ Calcilutito	FM	Fósseis de bivalves fragmentados dispostos paralelamente à estratificação.
38 (22,28m - 22,33m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	Anthozoa Bivalvia	Média a baixa	Mudstone/ Calcilutito	FM	Matriz margosa. Intensa cimentação.
37 (22,08m - 22,28m)	PCS-20	Areia fina a grossa	Suportada pela matriz	Anthozoa Bivalvia	Média a baixa	Packstone/ Calcarenito	FTSRBnob2CmD	Amostra do topo da camada. (Fig. 74-D).
36 (18,48m - 22,08m)	PCS-19	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito baixa	Mudstone/ Calcilutito	FM	Presença de bioturbações (<i>Thalassinoides</i>).
35 (17,64m - 18,48m)	PCS-18C	Areia grossa conglomerática	Suportada pela matriz	Bivalvia Gastropoda	Média a baixa	Wackstone/ Calcarenito	FTSRBnob1CmD	Micáceo, quartzoso. Estratificação cruzada de baixo ângulo. Fósseis de bivalves orientados paralelamente à estratificação. Fragmentos de lenhos fósseis.
	FTSRBnob1CmH							
	FTSRBnob1CmD							
34 (17,31m - 17,64m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Bioturbações próximas do topo da camada (<i>Thalassinoides</i>).
33 (16,77m - 17,31m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Bioturbações próximas do topo da camada (<i>Thalassinoides</i>).
32 (16,60m - 16,77m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Calcilutito	FL	/
31 (15,28m - 16,60m)		Areia muito grossa	Grão Suportada	/	/	Grainstone / Calcirrudito	FCm	/
30 (14,63m - 15,28m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Calcilutito	FM	Fragmentos de lenhos fósseis.
29 (14,43m - 14,63m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	Fragmentos de lenhos fósseis.
28 (13,83m - 14,43m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito baixa	Mudstone/ Marga	FM	Fragmentos de lenhos fósseis.
27 (13,66m - 13,83m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Folhelho	FM	/

Quadro 15 (continuação) - Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Praia da Consolação (Atouguia da Baleia).

Camada	Amostra	Material Intersticial	Biofábrica	Classes Dominantes	Diversidade do Registo Fóssil	Dunham (1962)/ Folk (1959)	Adaptado de Garcia et al. (2020)	Observações
26 (12,79m - 13,66m)	A2	Areia fina a média	Grão Suportada	Anthozoa Bivalvia Gastropoda Echinoidea	Muito alta	Grainstone / Calcirrudito	FTSRBnob2Bob1CmH	Micas e grãos de quartzo. Fósseis de bivalves com até 7,5 cm; gastrópodes com até 2,7 cm; espículas de equinóides com até 0,8 cm e corais com até 8,5 cm. Grande parte dos bivalves orientadas segundo a estratificação.
	FTSRBnob1Bob2CmH							
25 (12,09m - 12,79m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Calcilutito	FM	Fortemente bioturbado.
24 (11,64m - 12,09m)	PCS-17	Areia muito fina-silte	Suportada pela matriz	/	/	- / Calcilutito	FM	Micáceo, contendo fragmentos de lenhos fósseis com até 1,5 cm. Estratificação cruzada truncada por ondas.
23 (10,84m - 11,64m)	PCS-16	Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	- / Calcilutito	FM	/
22 (10,54m - 10,84m)	PCS-15	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito baixa	Wackstone/ Calcilutito	FM	Fragmentos de bivalves levemente orientados segundo a estratificação. Fragmentos de lenhos fósseis.
21 (9,29m - 10,54m)	PCS-14	Silte-argila	Suportada pela matriz	Anthozoa Bivalvia	Média a baixa	Mudstone/ Calcilutito	FM	Fragmentos de lenhos fósseis.
	PCS-13							
20 (8,79m - 9,29m)	PCS-12	Areia muito grossa	Suportada pela matriz	Bivalvia	Baixa a média	Grainstone / Calcirrudito	FTSRBnob1Bob1CmH	Fósseis de bivalves semi-inteiros, com 0,1 a 10,0 cm. Fósseis de corais com 7,0 cm, pelo menos de 3 grupos taxonómicos.
19 (8,29m - 8,79m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito baixa	Wackstone/ Calcilutito	FM	Fósseis de bivalves dispersos.
18 (7,99m - 8,29m)	PCS-11	Areia muito grossa	Grão Suportada	Bivalvia	Muito baixa	Grainstone / Calcirrudito	FTSRBnob1Bob2CmH	Fósseis de bivalves com orientação paralela à estratificação. Estratificação plano-paralela. (Fig. 74-E).
17 (7,84m - 7,99m)		Areia muito fina-silte	Suportada pela matriz	/	/	- / Calcarenito	FCm	Estratificação plano-paralela.
16 (5,34m - 7,84m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	- / Folhelho	FM	Fragmentos de lenhos fósseis carbonizados. Bioturbação no topo da camada (<i>Thalassinoides</i>).
15 (5,09m - 5,34m)	PCS-10	Areia muito fina-silte	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito baixa	Wackstone/ Calcilutito	FM	Fragmentos de lenhos fósseis. Estratificação cruzada truncada por ondas.

Quadro 15 (continuação) - Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil da Praia da Consolação (Atouguia da Baleia).

Camada	Amostra	Material Intersticial	Biofábrica	Classes Dominantes	Diversidade do Registo Fóssil	Dunham (1962)/ Folk (1959)	Adaptado de Garcia et al. (2020)	Observações
14 (4,73m - 5,09m)	PCS-9	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito baixa	Mudstone/ Calcilutito	FM	Fragmentos de lenhos fósseis.
13 (4,08m - 4,73m)		Areia fina	Suportada pela matriz	Anthozoa	Muito baixa	Packstone/ Calcarenito	ISF 4 (TF 1.4)	Fósseis de corais acumulados.
12 (3,93m - 4,08m)	PCS-8	Areia fina	Grão Suportada	Anthozoa	Muito baixa	Grainstone / Calcirrudito	FSRBob1CmD	Fragmentos de fósseis de corais com dimensões de 0,45 a 15,0 cm.
11 (3,63m - 3,93m)		Areia fina	Suportada pela matriz	/	/	- / Calcarenito	FCm	Com estrutura maciça.
10 (3,43m - 3,63m)		Areia fina	Suportada pela matriz	/	/	- / Calcarenito	FCm	/
9 (3,28m - 3,43m)	PCS-7	Areia média a grossa	Suportada pela matriz	Anthozoa Bivalvia	Média a baixa	Packstone/ Calcarenito	FSRBnob1Bob2CD	Estratificação cruzada truncada por ondas. (Fig. 74-F).
8 (2,78m - 3,28m)	PCS-6	Areia média	Suportada pela matriz	Anthozoa Bivalvia	Muito baixa	Wackstone/ Calcirrudito	FSRBnob2Bob2CmD	Fragmentos de corais (0,5 a 0,7 cm). Estratificação cruzada truncada por ondas.
7 (2,65m - 2,78m)		Areia média	Suportada pela matriz	/	/	- / Calcarenito	FCm	Estratificação cruzada truncada por ondas.
6 (2,30m - 2,65m)	PCS-5	Areia fina-silte	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito baixa	Mudstone/ Calcilutito	FM	Fragmentos de lenhos fósseis. Estratificação cruzada truncada por ondas.
5 (2,05m - 2,30m)		Silte-argila	Suportada pela Matriz	/	/	- / Folhelho	FM	/
4 (1,30m - 2,05m)	PCS-4	Areia fina	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito baixa	Wackstone/ Calcarenito	FTCm	Micáceo, contendo fragmentos de lenhos fósseis com até 0,6 cm. Estratificação cruzada.
3 (1,00m - 1,30m)	PCS-3	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito baixa	Mudstone/ Calcilutito	FM	Fragmentos de lenhos fósseis de 0,4 cm.
2 (0,50m - 1,00m)	PCS-2	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito baixa	Mudstone/ Calcilutito	FM	Fragmentos de lenhos fósseis de 0,2 cm.
1 (0,00m - 0,50m)	PCS-1	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito baixa	Mudstone/ Folhelho	FM	Raros fósseis de bivalves fragmentados de coloração castanha (de 0,25 a 2,5 cm). Raros fragmentos de lenhos fósseis (com aproximadamente 0,3 cm).

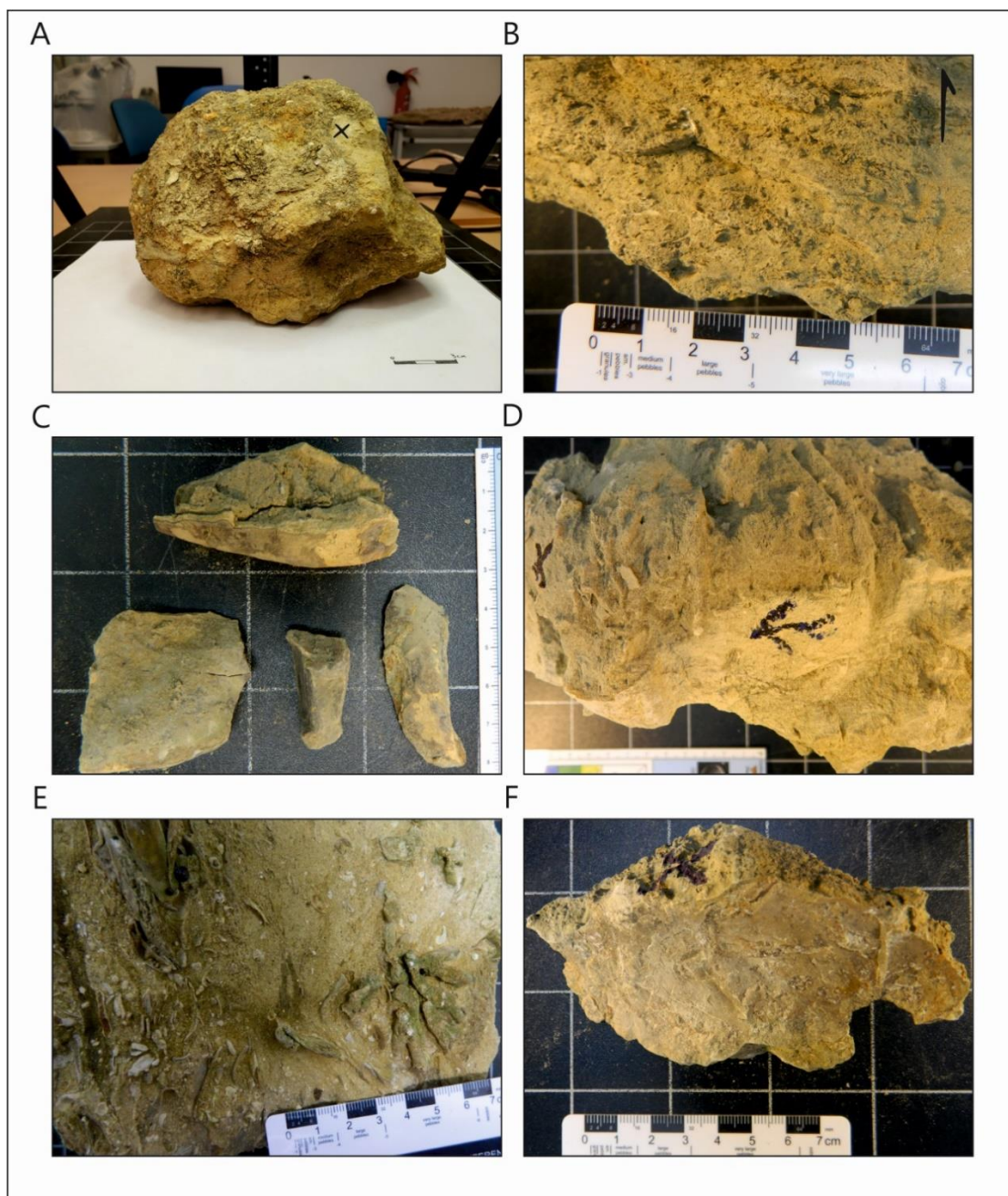


Figura 74 - Fácies singulares do Perfil da Praia da Consolação (Atouguia da Baleia): A) Calcirrudito micáceo com fósseis de bivalves com até 7,0 cm, orientados paralelamente à estratificação (FTSRBnob2CH, amostra PCS-34); B) Calcarenito micáceo com fragmentos de lenhos fósseis (FTSRBnob2CmD, amostra PCS-26); C) Folhelho micáceo com fósseis de bivalves com até 5,5 cm (FM, amostra PCS-25); D) Calcarenito com fósseis das classes Anthozoa e Bivalvia (FTSRBnob2CmD, amostra PCS-20); E) Calcirrudito com fósseis de bivalves com orientação paralela à estratificação. Estratificação plano-paralela (FTSRBnob1Bob2CmH, amostra PCS-11); F) Calcarenito com fósseis das classes Anthozoa e Bivalvia (FSRBnob1Bob2CD, amostra PCS-07).

○ **Afloramentos de controle**

No setor laguna-barreira foram reconhecidos e analisados dois afloramentos para controle das variações faciológicas laterais da Formação Amaral para melhor definição dos modelos geológicos (Fig. 75). As observações e interpretações efetuadas identificadas para cada um deles estão sumariadas no Quadro 16.



Figura 75 - Fácies singulares dos afloramentos de controlo do setor laguna-barreira: A) Afloramento com coquinas formadas por elementos das classes Bivalvia e Gastropoda (ZLB-01); B) Detalhe da camada superior do afloramento ZLB-01; C) Amostras coletadas no afloramento ZLB-01 (amostra ZLB-01A e ZLB-01B); D e E) Afloramento de coquinas formadas por elementos da Classe Bivalvia (ZLB-02); F) Amostra coletada no afloramento ZLB-02 (amostra ZLB-02A).

Quadro 16 - Afloramentos de controle das variações faciológicas laterais da Formação Amaral no setor laguna-barreira e respectivas observações e interpretações.

Afloramento de Controle	Código	Coordenada	Tipo de Controle	Possibilidade de Correlação	Amostra	Observações Gerais
Venda Nova (Famalicão)	ZLB-01	39°32'19.85"N 9°6'43.54"W	Reconhecimento de campo e recolha de amostras representativas	Perfil da Praia do Salgado	6	Afloramento de corte feito para construção de uma moradia, próximo da bifurcação da estrada secundária.
Venda Nova (Famalicão)	ZLB-02	39°32'28.53"N 9°6'33.71"W	Reconhecimento de campo e recolha de amostras representativas	Perfil da Praia do Salgado	3	Afloramento do tipo estrada localizado no final da estrada à direita da bifurcação do ponto anterior.

6.2.2.3. Setor marinho-distal

O setor marinho-distal, situado na porção mais a sul do grande golfo marinho, encontra-se sobre um fundo de bacia falhado e basculado, com altos produzidos por diapiros de sal, nomeadamente nas sub-bacias de Arruda e Bombarral. Estes altos internos favorecem a formação de plataformas isoladas onde se instalaram bioconstruções de corais e bancos calcarenosos, por ação intensa de ondas, devido à proximidade do oceano aberto.

Nesta região, a Formação Amaral foi analisada com base no estudo do perfil estratigráfico de Pedralvo (Arruda dos Vinhos) e na análise de dez afloramentos para controlo lateral e vertical das fácies (Fig. 36).

- **Perfil de Pedralvo (Arruda dos Vinhos)**

O Perfil de Pedralvo (Arruda dos Vinhos) apresenta 7,3 m de espessura (Fig. 76), com sete camadas, das quais foram recolhidas nove amostras para análise. As descrições detalhadas e as classificações de rochas carbonatadas, segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas, segundo Garcia et al. (2020) são apresentadas na Quadro 17. As fácies com características singulares estão representadas na figura 77 (A até H).

A Formação Amaral reconhecida no Perfil de Pedralvo (Arruda dos Vinhos) é composta por uma sequência, definida tendo em consideração critérios paleoecológicos, tafonómicos, sedimentológicos e estratigráficos, que reflete um ambiente deposicional específico dentro do contexto da génese da unidade.

- **Sequência de laguna-barreira no setor marinho-distal**

As sete camadas do perfil apresentam geometria externa lenticular com boa continuidade lateral, que se observa melhor nas mais espessas. A camada inferior, com 1,0 m, é constituída por mudstone (calcilutito) com marcas de ondulação e constituintes terrígenos. A camada 2, com 0,55 m de espessura, representada por um wackstone (calcilutito), regista a presença de representantes da classe Bivalvia, marcas de ondulação em toda a camada e abundância de constituintes terrígenos. A camada 3, com 2,05 m de espessura, é constituída por

mudstone (calcilutito), contendo raras espículas de equinodermes e raros bivalves. A camada 4, com 3,45 m de espessura, é composta por wackstone (calcilutito), com bivalves com até 7,0 cm, alguns dos quais com as valvas ainda unidas. A camada 5, com 0,3 m de espessura, é constituída por grainstone (calcirrudito) e contém representantes das classes Anthozoa, Bivalvia e Gastropoda. A camada 6, que é de grainstone (calcirrudito), apresenta raras espículas de equinodermes e abundantes bivalves inteiros com até 4,0 cm. A camada 7, no topo do perfil, com 0,6 m de espessura, é constituída por grainstone (calcirrudito) contendo abundantes espículas de equinodermes.

Neste intervalo foram coletadas nove amostras, representativas das petrofácies FM, FTSRUnobMD, FSRUnobMD, FTSRUnobCmD e FTSRBnob1Bob1CmD. Esta sequência é correlacionável com um intervalo da parte superior do Perfil da Cumieira (Pombal), marcado por contexto de rápida elevação do nível do mar, o que é corroborado pela presença de fragmentos e espículas de equinodermes.

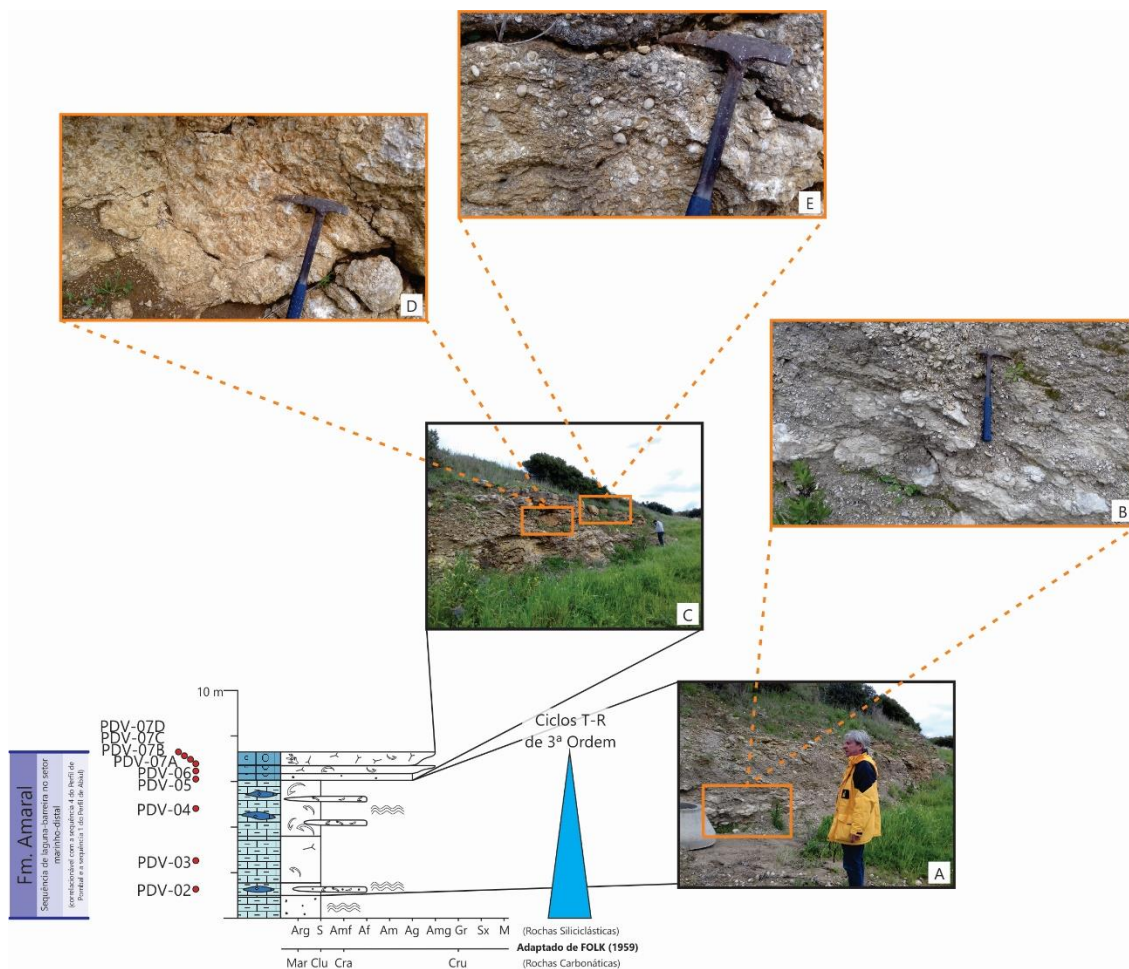


Figura 76 - Perfil estratigráfico de Pedralvo (Arruda dos Vinhos) com a localização das amostras coletadas e ciclos T-R, destacando as litologias: A) Imagem geral da base do Perfil de Pedralvo; B) Detalhe de níveis de intercalações entre calcilutitos e calcarenitos; C) Imagem geral do topo do Perfil de Pedralvo; D) Calcirrudito com raras espículas de equinoides e abundantes fósseis de bivalves inteiros com até 4,0 cm. Intensa recristalização e cimentação (FTSRUnobCmD); E) Calcirrudito com abundantes espículas de equinóides (FTSRBnob1Bob1CmD).

Quadro 17 - Principais componentes, diversidade do registo fóssil e classificações de rochas carbonatadas e mistas segundo Dunham (1962) e Folk (1959), e de coquinas segundo Garcia et al. (2020), atribuídas às litologias da Formação Amaral e descritas no Perfil de Pedralvo (Arruda dos Vinhos).

Camada	Amostra	Material Intersticial	Biofábrica	Classes Dominantes	Diversidade do Registo Fóssil	Dunham (1962)/ Folk (1959)	Adaptado de Garcia et al. (2020)	Observações
7 (6,70m - 7,30m)	PDV-07D	Areia grossa a muito grossa	Grão suportada	Anthozoa Bivalvia Echinoidea	Muito alta	Grainstone/ Calcirrudito	FTSRBnob1Bob1CmD	Matriz quartzosa. Abundantes espículas de equinóides. Restos esqueléticos com espessos revestimentos micríticos, distribuídos na matriz (micritização). (Fig. 77-A, amostra PDV-07C; Fig. 77-B, amostra PDV-07A).
	PDV-07C							
	PDV-07B							
	PDV-07A							
6 (6,35m - 6,70m)	PDV-06	Areia grossa a muito grossa	Grão suportada	Bivalvia Echinoidea	Média a baixa	Grainstone/ Calcirrudito	FTSRUnobCmD	Raras espículas de equinóides. Abundantes fósseis de bivalves inteiros de até 4,0 cm. Intensa recristalização e cimentação. (Fig. 77-C).
5 (6,05m - 6,35m)	PDV-05	Areia grossa	Grão suportada	Anthozoa Bivalvia Gastropoda Echinoidea	Alta	Grainstone/ Calcirrudito	FTSRBnob1Bob1CmD	Matriz calcarenosa. (Fig. 77-D).
4 (3,60m - 6,05m)	PDV-04	Silte-argila (areia fina em lentes)	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito baixa	Wackstone/ Calcilutito (lentes de Calcarenito)	FSRUnobMD	Marcas de ondulação em toda a camada. Micáceo. Fósseis de bivalves com até 7,0 cm, alguns exemplares com as valvas unidas. (Lentes de Calcarenito com bivalves fragmentados. Algumas lentes possuem maiores dimensões laterais e são ligeiramente mais espessas, podendo ser interpretadas como camadas). (Fig. 77-E, amostra PDV-04-fragmento1; Fig. 77-F, amostra PDV-04-fragmento2).
3 (1,55m - 3,60m)	PDV-03	Silte-argila	Suportada pela matriz	Bivalvia Echinoidea	Média a baixa	Mudstone/ Calcilutito	FM	Maciço. Raros fósseis de espículas de equinóides e de bivalves.
2 (1,00m - 1,55m)	PDV-02	Silte-argila (areia fina em lentes)	Suportada pela matriz	Bivalvia	Muito baixa	Wackstone/ Calcilutito (lentes de Calcarenito)	FTSRUnobMD	Marcas de ondulação em toda a camada. Abundantes constituintes terrígenos. (Lentes de Calcarenito com bivalves partidos). (Fig. 77-G, amostra PDV-02A; Fig. 77-H, amostra PDV-02B).
1 (0,00m - 1,00m)		Silte-argila	Suportada pela matriz	/	/	Mudstone/ Calcilutito	FM	Marcas de ondulação em toda a camada. Constituintes terrígenos.



Figura 77 - Fácies singulares do Perfil de Pedralvo (Arruda dos Vinhos): A e B) Calcirrudito com abundantes espículas de equinóides e restos esqueléticos envolvidos em micrite distribuídos na matriz (micritização) (FTSRBnob1Bob1CmD, amostras PDV-02A e PDV-02B); C) Calcirrudito com raras espículas de equinóides, abundantes fósseis de bivalves inteiros com até 4,0 cm e com intensa recristalização e cimentação (FTSRUnobCmD, amostra PDV-04A); D) Calcirrudito com fósseis das classes Anthozoa, Bivalvia, Gastropoda e Echinoidea (FTSRBnob1Bob1CmD, amostra PDV-04B); E e F) Amostras dos níveis de intercalações entre calcilutitos e calcarenitos (FSRUnobMD, amostras PDV-05 e PDV-06); A e B) Amostras dos níveis de intercalações entre calcilutitos e calcarenitos com abundantes constituintes terrígenos (FTSRUnobMD, amostras PDV-07A e PDV-07C).

○ **Afloramentos de controlo**

No setor marinho-distal foram reconhecidos e analisados oito afloramentos para controlo das variações faciológicas laterais da Formação Amaral, com vista a uma melhor definição dos modelos geológicos (Fig. 78). As observações e interpretações efetuadas identificadas para cada um deles estão sumariadas na Quadro 18.



Figura 78 - Fácies singulares dos afloramentos de controlo do setor marinho-distal. A) Afloramento com coquinas formadas por elementos das classes Bivalvia e Gastropoda em blocos situados ao lado da estrada (ZMD-02, amostra ZMD-02); B) Pedreira de Trancoso (afloramento de controlo ZMD-08, amostra ZMD-08); C) Amostra de oólitos do afloramento ZMD-08 (amostra ZMD-08).

Quadro 18 - Afloramentos de controlo das variações faciológicas laterais da Formação Amaral no setor marinho-distal e respetivas observações e interpretações.

Afloramento de Controlo	Código	Coordenada	Tipo de Controlo	Possibilidade de Correlação	Amostra	Observações Gerais
Norte de A dos Arcos (Arruda dos Vinhos)	ZMD-01	38°58'49.02"N 9°8'7.02"W	Reconhecimento de campo e recolha de amostra representativa	Perfil de Pedralvo	1	Afloramento.
Sul de A dos Arcos (Arruda dos Vinhos)	ZMD-02	38°58'22.86"N 9°7'52.32"W	Reconhecimento de campo e recolha de amostra representativa	Perfil de Pedralvo	1	Blocos. (Fig. 78-A).
Leste de Louriceira de Cima (Arruda dos Vinhos)	ZMD-03	38°58'2.58"N 9°6'31.92"W	Reconhecimento de campo e recolha de amostra representativa	Perfil de Pedralvo	1	Blocos.
Leste de Louriceira de Cima (Arruda dos Vinhos)	ZMD-04	38°57'59.46"N 9°6'39.72"W	Reconhecimento de campo e recolha de amostra representativa	Perfil de Pedralvo	1	Blocos.
Leste de Louriceira de Cima (Arruda dos Vinhos)	ZMD-05	38°57'45.00"N 9°6'28.44"W	Reconhecimento de campo e recolha de amostra representativa	Perfil de Pedralvo	1	Afloramento.
Trancoso de Cima/Trancoso de Baixo (Arruda dos Vinhos)	ZMD-06	38°57'48.84"N 9°5'36.60"W	Reconhecimento de campo e recolha de amostra representativa	Perfil de Pedralvo	1	Oeste da pedreira.
Trancoso de Cima/Trancoso de Baixo (Arruda dos Vinhos)	ZMD-07	38°57'53.00"N 9°4'56.00"W	Reconhecimento de campo e recolha de amostra representativa	Perfil de Pedralvo	1	Na estrada da pedreira.
Trancoso de Cima/Trancoso de Baixo (Arruda dos Vinhos)	ZMD-08	38°57'50.58"N 9°4'52.38"W	Reconhecimento de campo e recolha de amostra representativa	Perfil de Pedralvo	1	Pedreira abandonada. (Fig. 78-B e C).

6.2.3. Reconstruções paleoambientais e paleogeográficas

Os sistemas deposicionais que originaram os sedimentos que integram a Formação Amaral ao longo do espaço e do tempo apresentam uma dinâmica bastante complexa. A gênese dos sedimentos que integram os diferentes sistemas deposicionais reconhecidos durante o Kimmeridgiano-Tithoniano está relacionada com distintos paleoambientes, condicionados por contextos paleogeográficos específicos de cada setor da Bacia Lusitânica, e que se traduzem numa matriz de associações de fácies características (Quadro 19).

A correlação estratigráfica dos perfis da Formação Amaral, tendo em consideração os ciclos TR, permite relacionar as coquinas daquela unidade com distintos ambientes deposicionais enquadrados num golfo com configuração bastante heterogénea (Fig. 79).

As condições energéticas dominantes em cada setor modelaram diferentes tipos de paleoambientes (Fig. 80). O lagunar, ao qual corresponde um ambiente de baixa energia protegido por bancos recifais dispersos e de pequenas dimensões na zona mais interna do golfo, está representado por fácies margosas e oncolíticas com escassa contribuição de constituintes terrígenos (siliciclásticos e carbonosos).

A laguna-barreira integra dois sub-ambientes. Um de baixa a média energia, protegido por uma grande quantidade de bancos recifais agregados e de maiores dimensões, localizado na baía dentro do grande golfo (a norte do alto estrutural das Berlengas). Está representado por fácies margosas oncolíticas a fácies recifais (com corais *in situ*) e com alguma contribuição de constituintes terrígenos. O outro traduz um ambiente de alta energia; apresenta grande quantidade de bancos de corais e esteve sujeito a maior ação dos agentes energéticos (ondas normais e de tempestades e descargas fluviais normais e de enxurradas). Corresponde à zona proximal da plataforma na região externa do golfo, e está representado por fácies margosas, recifais, de leques de *washover* e aluvio-deltaicos.

O setor marinho-distal corresponde a um ambiente com grande variação energética (de muito baixa a alta). Está representado por fácies recifais e margosas isoladas, com elevado aporte terrígeno, em consequência da proximidade das áreas-fonte, cuja distribuição está circunscrita a altos estruturais ao longo de uma plataforma com declive acentuado. Este ambiente corresponde à zona distal da plataforma na região externa do golfo.

Quadro 19 - Petrofácies reconhecidas para cada setor da Bacia Lusitânica analisado e respectivas condições energéticas dominantes, diversidade do registo fóssil e relevância da componente terrígena.

Setor	Petrofácies	Características tafonômicas/ texturais	Observações
Lagunar	FSRUnobMD, FM, FSRBnob1MD, FSRBnob2MD, FCm, FSRBnob1CmD, FSRUnobBob1CmD, FSRBnob1Bob1CmD e FSRBnob1CD	B1 + M	Pequena contribuição de constituintes terrígenos. Diversidade do registo fóssil baixa a muito baixa. Ambiente de baixa energia. Matriz lamosa.
Laguna-barreira	FSRUnobMH, FSRUnobCmD, FM, FSRBnob2MD, FSRBnob1Bob2MD, FSRBnob2Bob1MD, FCm, FSRBnob1CmD, FSRBnob2CmD, FSRBnob1Bnob1CmD, FSRBnob1Bob2CmD, FSRBnob2Bob2CmD, FSRBob1CmD, FSRBnob1Bob1CmH, FSRBnob1Bob2CmH, FTSRBnob2Bob1CmH, FT, FTCm, FTSRBnob1CmD, FTSRBnob2CmD, FTSRBnob1CmH, FTSRBnob1Bob2CmH, FTC, FTSRBnob1CH, FTSRBnob2CH e FSRBnob1Bob2CD	U + B1 e B2 + T + H	Grande contribuição de constituintes terrígenos. Diversidade do registo fóssil média a muito alta. Ambiente de alternância entre baixa e alta energia. Matriz lamosa e calcarenosa.
Marinho-distal	FM, FSRUnobMD, FTSRUnobMD, FTSRUnobCmD, FTSRBnob2Bob2CmD e FTSRBnob1Bob1CmD	T + U + B2	Grande contribuição de constituintes terrígenos. Diversidade do registo fóssil muito baixa a alta. Ambiente de alta energia. Matriz lamosa e calcarenosa.

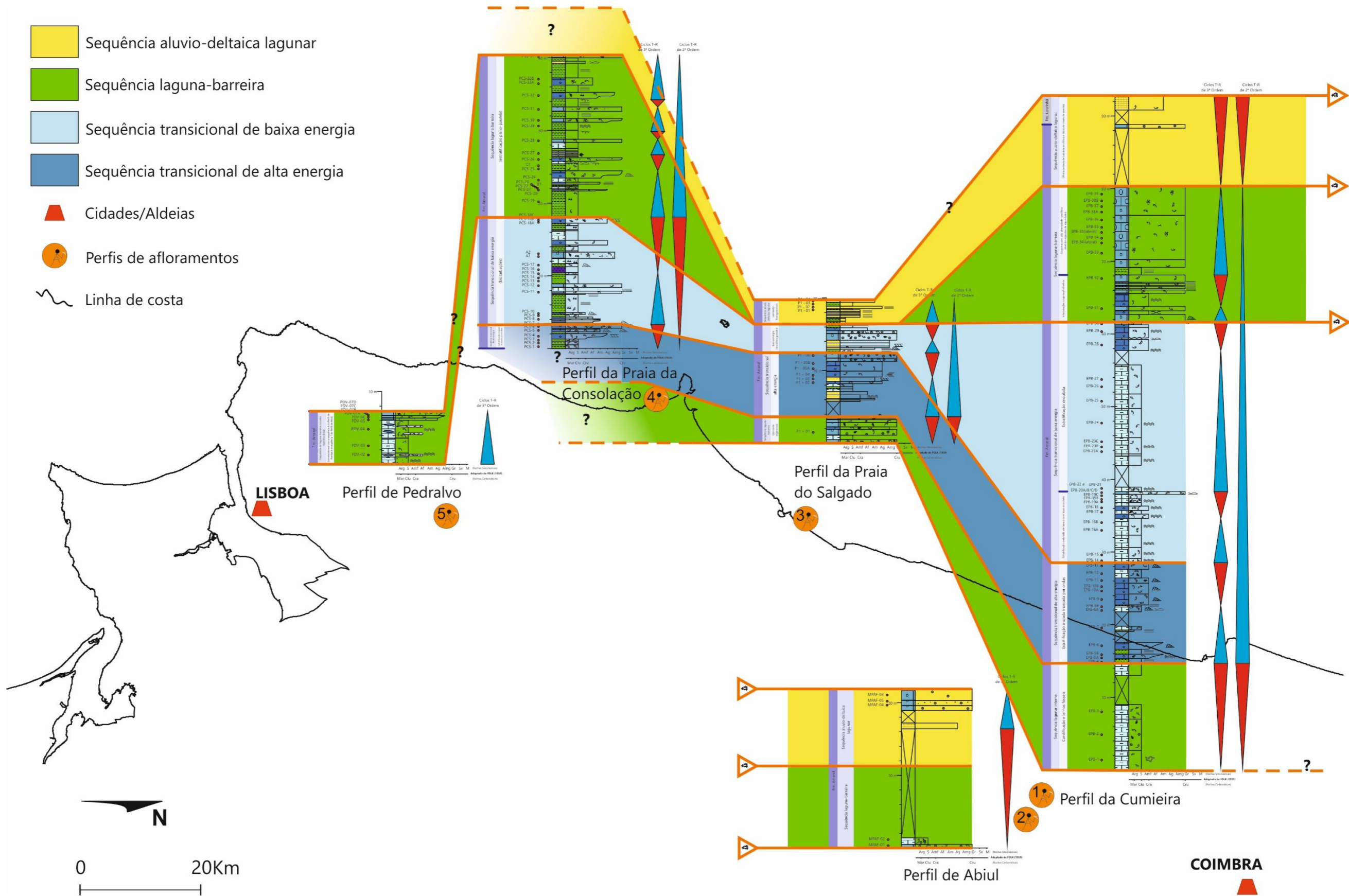


Figura 79 - Quadro de correlação regional dos perfis descritos para a Formação Amaral com a correlação das sequências deposicionais com base nos ciclos T-R e na diversidade fóssilífera de cada uma.

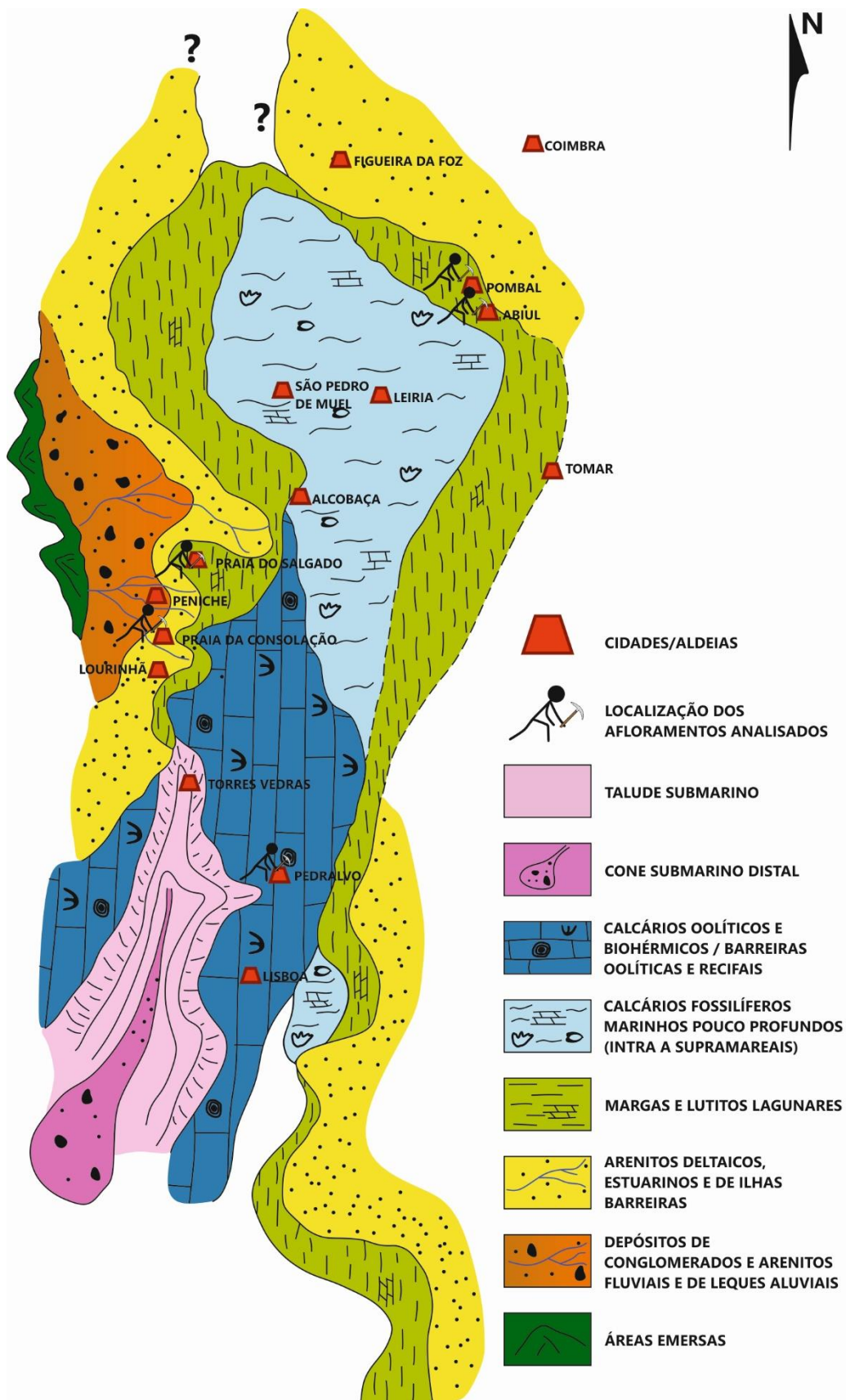


Figura 80 - Esboço paleoambiental do Kimmeridgiano superior da Bacia Lusitânica (modificado de Pena dos Reis et al., 1995; modificado de Garcia et al., 2019).

A distribuição das petrofácies de coquinas, concebida conforme as relações de energia entre os agentes sedimentares atuantes (energia fluvial e energia das ondas) para cada setor, permitiu a construção de um modelo paleoambiental 3D para as coquinas da Formação Amaral fortemente controlado pelos mecanismos tafonómicos, nomeadamente bioestratinómicos, que traduz uma evolução a partir de um sistema deposicional de laguna-barreira, com influência de aportes fluviais e de subidas do nível do mar, para um sistema aluvio-deltaico lagunar, através de episódios transicionais de alta e baixa energia (Fig. 81).

O modelo 3D para as coquinas da Formação Amaral permite fundamentar a conceção de um modelo teórico de distribuição de fácies capaz de prever a evolução de fácies de coquinas dentro de um sistema deposicional misto em contexto de plataforma heterogénea (Fig. 82). Tal heterogeneidade, decorrente da complexidade tectónica da Bacia Lusitânica e do seu intenso diapirismo salífero diferencial, resulta, relativamente à continuidade, em dois tipos plataforma: contínua (e.g. plataforma de Pombal para SW e plataforma das Berlengas para E-SE) e isolada (e.g. plataforma de Ota).

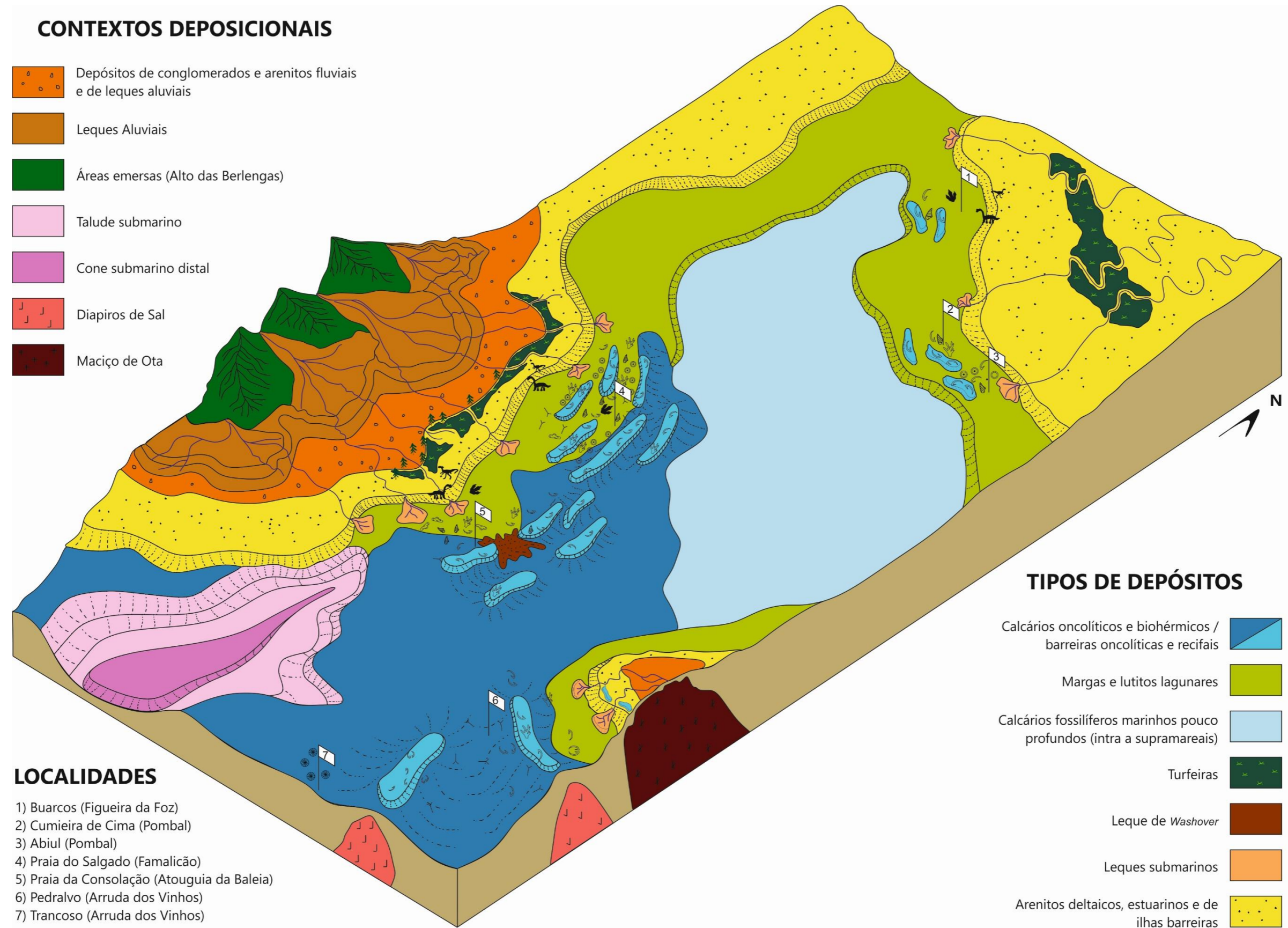


Figura 81 - Modelo paleoambiental/paleogeográfico ilustrando os principais tipos de depósitos sedimentares e registos fósseis reconhecidos nas localidades estudadas.

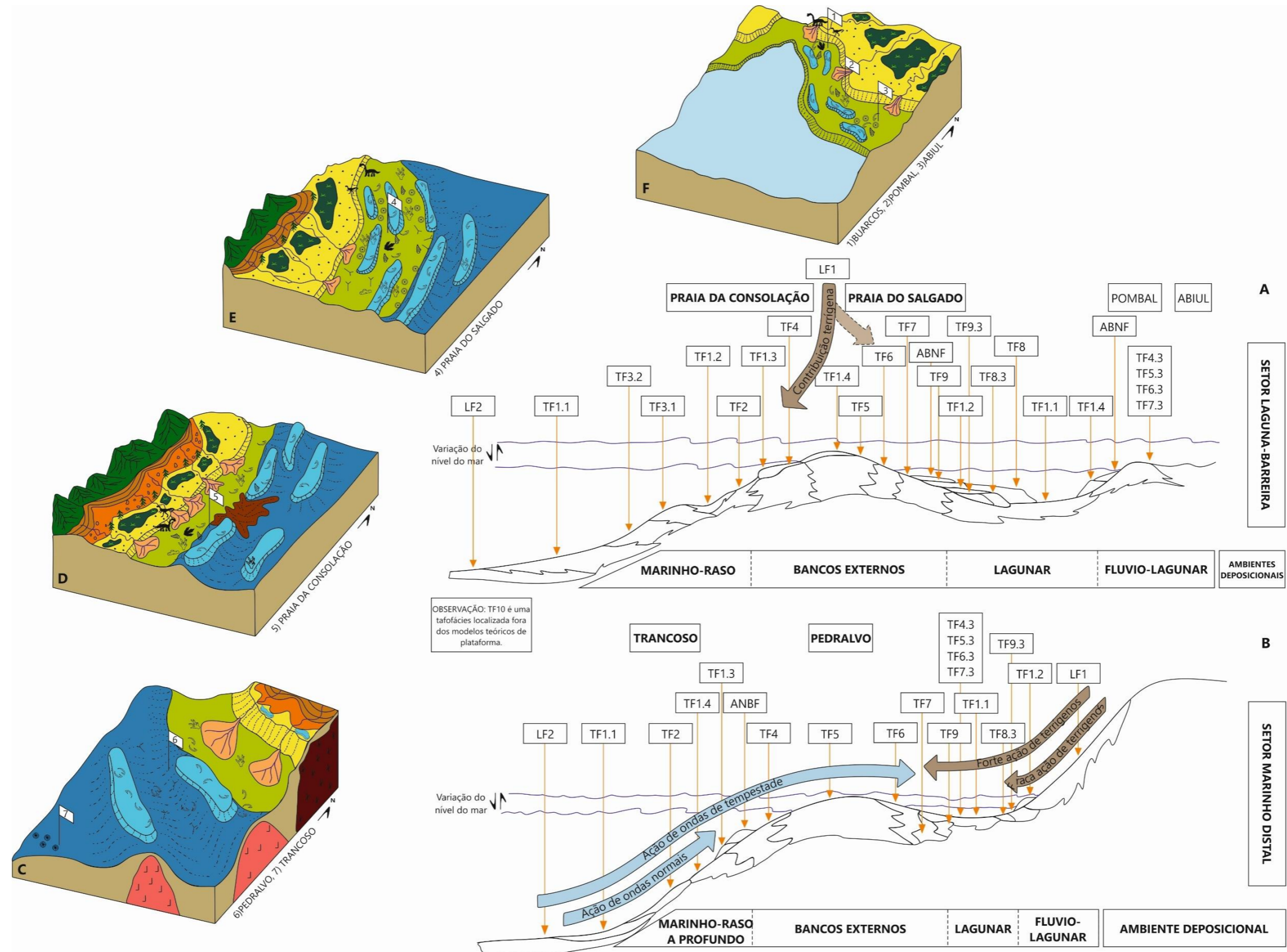


Figura 82 - Modelos teóricos 2D de distribuição de tafofácies para os depósitos de coquinas da Formação Amaral em contexto de plataforma heterogénea, nomeadamente de dois tipos: A) plataforma contínua (e.g. plataforma de Pombal para SW e plataforma das Berlengas para E-SE); B) plataforma isolada (e.g. plataforma de Ota). Modelos 3D dos sistemas deposicionais para os setores estudados e com base na distribuição das tafofácies nos diferentes setores da plataforma, nomeadamente: C) Modelo deposicional do setor marinho-distal; D e E) Modelos deposicionais do setor laguna-barreira; F) Modelo deposicional do setor lagunar.

7.

Discussão

7.

Discussão

Neste capítulo discutem-se os conhecimentos adquiridos acerca de depósitos de coquinas e a sua relevância para o estabelecimento de modelos exploratórios aos reservatórios do pré-sal brasileiro e seus análogos, em afloramento e em poços. Com base na Metodologia de Caracterização Multiescalar de Reservatórios (CAMURES) e na utilização de critérios tafonômicos, alinhados a critérios sedimentológicos, estratigráficos e petrográficos, bem como a conhecimentos estruturais e tectônicos das bacias analisadas nesta tese, foi possível a concepção de modelos geológicos evolutivos e de modelos teóricos dos sistemas deposicionais, que se referem a contextos estratigráficos, paleoambientais e paleogeográficos distintos, porém geneticamente relacionados: Formação Morro do Chaves (Bacia Sergipe, NE Brasil) e Formação Amaral (Bacia Lusitânica, Portugal).

Formação Morro do Chaves 7.1.

A complexidade genética dos depósitos de coquinas relacionados com a transição da fase rifte para a fase marinha restrita das bacias marginais brasileiras está particularmente bem registrada na Formação Morro do Chaves. A análise tafonômica das associações de fósseis exigiu a interpretação dos processos bioestratinômicos e fóssil-diagenéticos inerentes às alterações tafonômicas que afetaram os restos esqueléticos das conchas antes e depois do enterro final nos sedimentos (Fernández-López, 1991). Conforme apresentado nesta tese, os mecanismos tafonômicos produzem mudanças significativas na composição, estrutura e/ou localização espácio-temporal dos elementos preservados, que resultam em diferentes tafofácies.

Os modelos 3D da distribuição de tafofácies propostos anteriormente para a Formação Morro do Chaves por Chinellato et al. (2018) e Rigueti et al. (2020) estão relacionados com um ambiente lacustre; contudo, outros autores defendem interpretações que sugerem um cenário deposicional mais complexo envolvendo influências marinhas (Gallo, 2009; Gallo et al., 2009a, 2009b, 2010; Romano et al., 2012; Thompson, 2013; Santos et al., 2017; Garcia et al., 2018).

Garcia et al. (2018) destacam as evidências de entrada de sedimentos terrígenos no sistema carbonatado e a influência esporádica de águas tétisianas na plataforma, como consequência da rutura do Gondwana, nas latitudes correspondentes ao Atlântico Central. De forma geral, estas distintas influências resultam numa ampla variedade de ambientes deposicionais em toda a plataforma carbonatada mista, onde se depositam os sedimentos da Formação Morro do Chaves, que podem ser descritos pelas cinco associações de petrofácies identificadas.

O modelo de evolução estratigráfica dos sistemas deposicionais permitiu a elaboração de um modelo teórico de distribuição das petrofácies e tafofácies e das respectivas associações (Fig. 48), que possibilita inferir sequências evolutivas de fácies de coquinas dentro do contexto da plataforma. Este modelo genérico permite melhorar as previsões de mudanças laterais e verticais de fácies dentro de um sistema deposicional de coquinas aplicados a modelos geocelulares 3D.

O entendimento dos processos e agentes energéticos responsáveis pela distribuição lateral e vertical das diversas petrofácies e tafofácies nas sequências deposicionais dos intervalos dos reservatórios de coquinas, inseridas nos modelos evolutivos construídos a partir do estudo de afloramentos análogos e

testemunhos de sondagem da Formação Morro do Chaves, conduz a uma maior fiabilidade nas suas aplicações aos sistemas petrolíferos do pré-sal brasileiro.

Formação Amaral 7.2.

Os depósitos de coquinas da Formação Amaral apresentam uma grande diversidade em termos de registo fóssil e uma génese bastante complexa. Assim, a aplicação da metodologia de classificação de petrofácies e tafofácies de coquinas desenvolvida para a Formação Morro do Chaves ao estudo das coquinas da Formação Amaral exigiu uma adaptação que permitisse incorporar a interação entre os mecanismos tafonómicos, o contexto tectono-estrutural da bacia, a diversidade do registo fóssil reconhecido e os ambientes deposicionais inerentes a estes depósitos de coquinas.

Do ponto de vista tafonómico, as interpretações das associações de bivalves do Jurássico Superior das unidades da parte central da Bacia Lusitânica, propostas anteriormente por Fürsich et al. (2009), consideram que o desenvolvimento das concentrações de bivalves está associado a fases de inundação máxima, podendo ocorrer de forma mais rara no trato de sistema transgressivo, quando a remobilização dos sedimentos não é tão expressiva quanto durante a transgressão tardia. Os autores descrevem o modo de formação e as interpretações paleoecológicas resultantes do estudo de 27 associações de bivalves. As concentrações de bivalves estão particularmente associadas a ambientes costeiros, com salinidade controlada, sendo menos comum em configurações de plataforma aberta. Por fim, os autores afirmam que várias das concentrações descritas não se restringem apenas à Bacia Lusitânica, mas que também ocorrem noutros lugares nos mares epicontinentais situados na margem norte do Neo-Tétis.

Conforme descrito anteriormente, os depósitos de coquinas da Formação Amaral, distintamente daqueles da Formação Morro do Chaves, apresentam uma maior variedade de componentes aloquímicos (bioclásticos e não bioclásticos), incluindo diferentes tipos de bioclastos e oncólitos/oólitos. Neste sentido, o reconhecimento da representatividade de cada um destes componentes nos afloramentos analisados na Bacia Lusitânica permitiu compreender as relações e intensidades dos agentes energéticos responsáveis pelas alterações tafonómicas registadas nas associações de fósseis analisadas. Através desta compreensão, foi possível refinar as relações espaciais de distribuição das petrofácies e tafofácies e respetivas associações nos modelos teóricos 2D de distribuição de tafofácies para os depósitos de coquinas da Formação Amaral e nos modelos 3D dos sistemas deposicionais para cada setor estudado.

Do ponto de vista paleontológico e paleoambiental, Choffat (1901) caracteriza o “Corálico do Amaral” como uma unidade composta por depósitos carbonatados de pequena profundidade (calcários intraclásticos, calcários dolomíticos, calcários oolíticos e conglomerados calcários com intercalações de calcários recifais), representada por biofácies ricas em fragmentos de equinóides, bivalves, estromatoporídeos, espículas de espongiários e microfauna (foraminíferos, algas e ostracodos), e relacionada com ambientes intermareais a infralitorâneos com influências marinhas francas. Leinfelder et al. (2004) reconhecem a diversidade faunística dos recifes da Formação Amaral, bem como as implicações paleoambientais da respetiva distribuição no contexto das plataformas carbonatadas mistas do Jurássico Superior de Portugal. Os autores afirmam ainda que a estratigrafia de sequências parece ser o único método passível de permitir a conceção de modelos deposicionais para este intervalo na Bacia Lusitânica (Leinfelder, 1993, 1994, 2001; Leinfelder et al., 1993a, 1993b, 1996). Contudo, tal implica ter em consideração as diferentes áreas-fonte e a estruturação da bacia; a não consideração destes parâmetros, poderá conduzir a interpretações paleoambientais que tendem a definir unidades litoestratigráficas distintas para depósitos que, na verdade, correspondem a variações laterais da mesma unidade. É o caso, por exemplo, dos Calcários de Ota, aqui considerados como equivalentes da Formação Amaral.

Assim, pode definir-se a Formação Amaral como composta por depósitos formados por concentrações de elementos que refletem distintos mecanismos de alteração tafonómica (fragmentados, recristalizados, micritizados, entre outros), nomeadamente: bivalves, gastrópodes, equinodermas (espículas de equinóides e corpo central), corais, estromatoporídeos, espongiários e microfósseis (foraminíferos, algas e ostracodos). Neste contexto, e tendo em conta o modelo de distribuição paleoambiental de petrofácies de coquinas estabelecido por Garcia et al. (2020), é possível relacionar a Formação Amaral com ambientes lagunares, de laguna-barreira e marinho-distais.

A correlação da Formação Amaral com outras unidades estabelecidas para o Jurássico Superior da Bacia Lusitânica é complexa e controversa. Com a presente investigação, é possível reconhecer associações diferenciadas de elementos conservados da Formação Amaral ao longo da Bacia Lusitânica, que se referem aos distintos ambientes deposicionais acima referidos (Fig. 83 e Fig. 84).

A distribuição espacial das tafofácies e das petrofácies correspondentes constituem um importante contributo na fundamentação de modelos teóricos de distribuição de tafofácies e de modelos 3D dos sistemas deposicionais, bem como

na melhoria da capacidade preditiva na prospecção de depósitos de coquinas enquanto alvo para o estudo e compreensão de depósitos análogos de coquinas ao pré-sal brasileiro (Fig. 82).

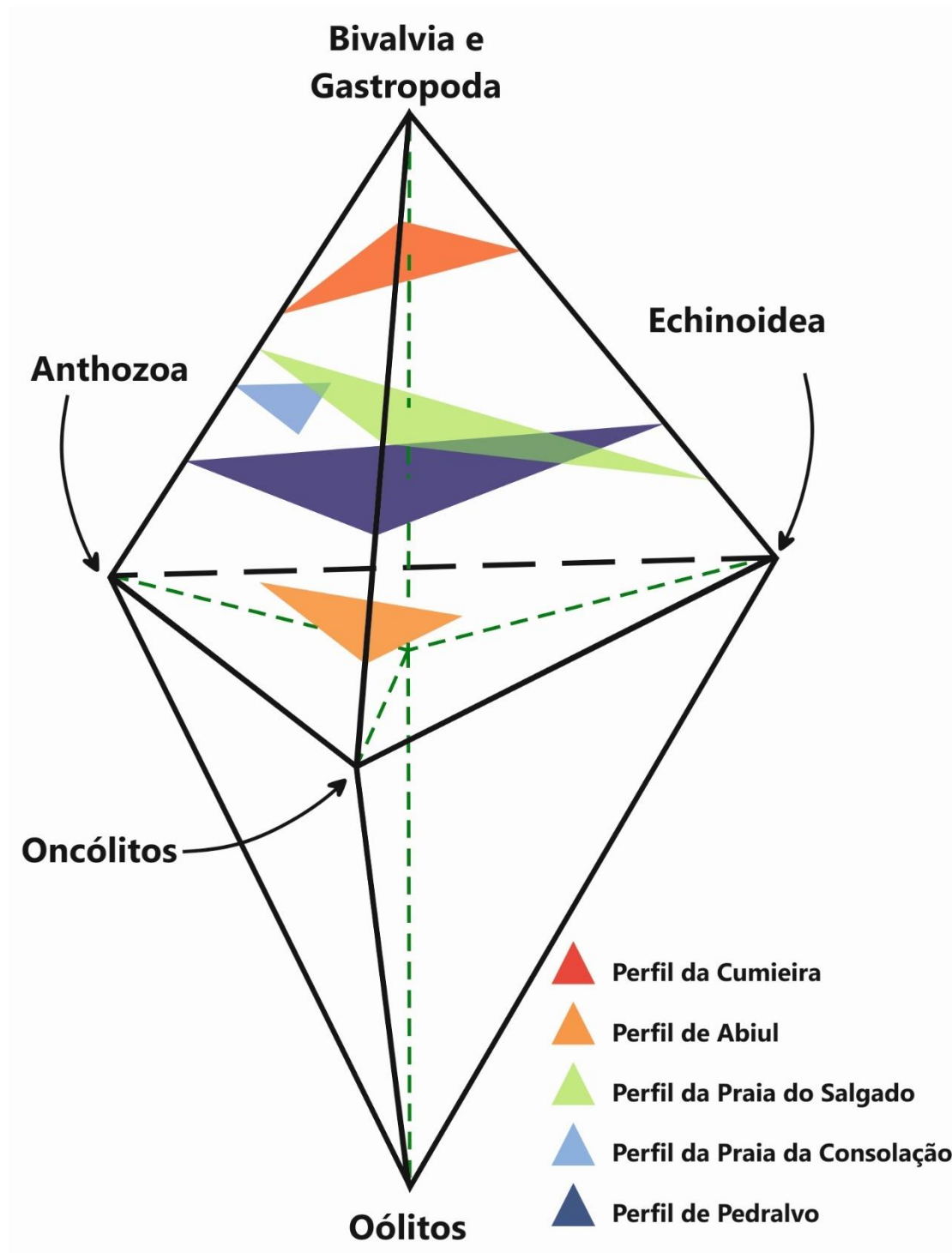


Figura 83 - Diagrama bipiramidal com as associações diferenciadas de elementos conservados da Formação Amaral ao longo da Bacia Lusitânica para cada perfil estratigráfico estudado.

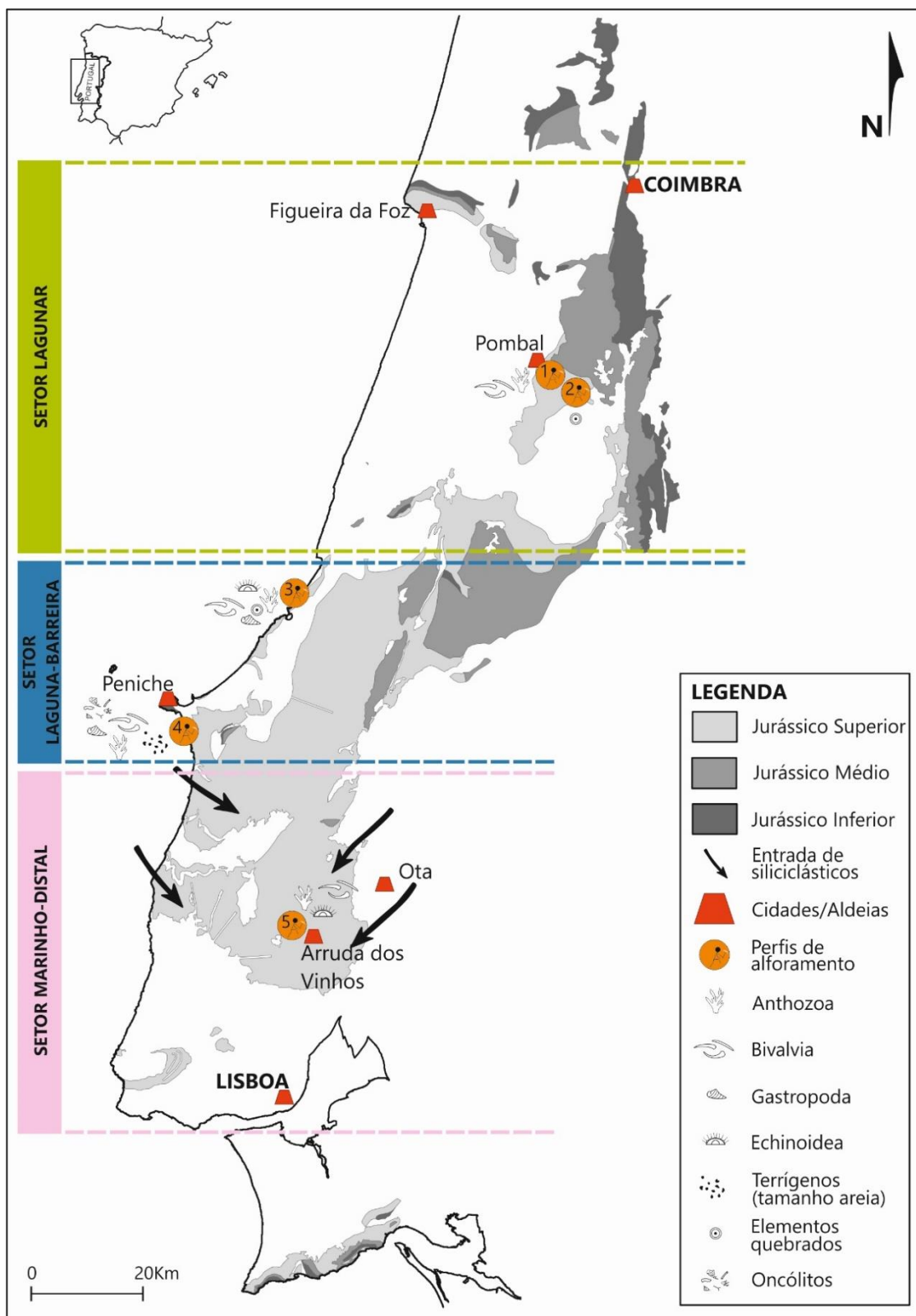


Figura 84 - Distribuição dos perfis de afloramentos descritos e amostrados (1 - Perfil da Cumieira, 2 - Perfil de Abiul, 3 - Perfil da Praia do Salgado, 4 - Perfil da Praia da Consolação, 5 - Perfil de Pedralvo), inseridos nos três setores deposicionais/paleogeográficos definidos para o intervalo Kimmeridgiano-Tithoniano da Bacia Lusitânica.

Reservatórios análogos 7.3.

O estudo de reservatórios análogos (de afloramento) consiste na aplicação de modelos geológicos ideais/teóricos, tanto do ponto de vista genético (Modelo Geológico Conceitual e Modelo de Evolução Estratigráfica dos Sistemas Depositionais) e teórico (Modelos Teóricos de Distribuição de Fácies), como do ponto de vista da modelação geocelular multiescalar 3D de propriedades.

A representatividade de análogos de afloramentos, relativamente a cada tipologia de fácies presente nos reservatórios análogos em subsuperfície, está em grande parte relacionada com a utilização de distintas ferramentas de aquisição de dados. Estes dados, diante da integração de abordagens multiescalares, conduzem finalmente a modelos multiescalares e multivariáveis de propriedades tafonômicas, petrológicas, faciológicas e permo-porosas (Uhlein et al., 2020), fornecendo maior fiabilidade aos modelos geocelulares multiescalares 3D de propriedades permo-porosas.

Assim, a partir da análise dos depósitos da Formação Morro do Chaves foi concebida uma metodologia que permite classificar fácies coquinóides, bem como elaborar um modelo teórico de distribuição daquelas num contexto deposicional de plataforma mista. Pretendeu-se, a partir do estudo de uma unidade análoga (Formação Amaral), validar a classificação e o modelo teórico de distribuição de fácies de coquinas, e assim contribuir para fundamentar uma melhor predição da qualidade de reservatórios de coquinas, tanto para o pré-sal brasileiro, quanto para qualquer outro reservatório de coquinas mono ou pluriespecífico. Em consequência, a indústria de hidrocarbonetos dispõe agora de uma classificação de fácies consistente, que pode ser aplicada numa ampla variedade de tipologias de reservatórios coquinóides.

Desta forma, o presente trabalho permite atingir importantes níveis de compreensão na caracterização de análogos relativamente a um dos seus aspectos mais relevantes: o entendimento das distribuições das distintas petrofácies/tafofácies dentro de modelos estratigráficos evolutivos de bacias sedimentares análogas em diferentes continentes, mas com histórias genético-evolutivas semelhantes.

A análise integrada de reservatórios análogos (Formação Morro do Chaves e Amaral), apresentada nesta tese através da caracterização de petrofácies e das associações de petrofácies por ambientes deposicionais para coquinas (Fig. 42 e Fig. 49), teve em consideração os conceitos da Tafonomia Evolutiva (Fernández-

López, 1984b), a intensidade dos processos diagenéticos, a contribuição terrígena e o tipo e a intensidade dos agentes energéticos. A caracterização da relação entre os processos, os constituintes e os agentes energéticos, materializados num sistema integrado de classificação de petrofácies, contribui para uma melhor definição das propriedades permo-porosas destes dois importantes reservatórios análogos ao pré-sal do Brasil.

8.

Conclusões

8.

Conclusões

Os estudos realizados na coquinas da Formação Morro do Chaves (Bacia Sergipe-Alagoas, NE Brasil) e da Formação Amaral (Bacia Lusitânica, Portugal) desenvolvidos no presente trabalho permitem reconhecer a relevância da utilização dos conhecimentos do domínio da tafonomia evolutiva para a compreensão da gênese dos depósitos de coquinas. Com base neles, foram identificados os distintos processos/mecanismos tafonômicos que originaram as petrofácies/tafófácies que foram reconhecidas naquelas unidades.

As interpretações dos processos bioestratinômicos e fóssil-diagenéticos inerentes à alteração tafonômica permitiu a elaboração de uma classificação de fácies, a predição espacial de fácies de coquinas em qualquer reservatório análogo, bem como a conceção de modelos teóricos de distribuição de fácies em contexto de plataforma mista.

Para a Formação Morro do Chaves foram definidas fácies distintas, de acordo com os seus aspetos composicionais, texturais e tafonômicos, levando à identificação de dez tafófácies e quatro litofácies, o que permitiu a definição de 36 petrofácies com base nos tipos e intensidades dos processos sedimentares e tafonômicos identificados. Entre essas, cinco fácies resultam de processos fóssil-diagenéticos intensos, que levaram à substituição quase total dos constituintes originais. Tais dados, aliados à geometria dos corpos sedimentares, reconhecidos em afloramentos, bem como às suas variações laterais e verticais, apoiaram a conceção de um modelo de evolução estratigráfica dos sistemas deposicionais de coquinas da Formação Morro do Chaves, que ilustra as distribuições espaciais e temporais das petrofácies identificadas.

A análise das petrofácies e tafófácies das coquinas para a análise das propriedades multiescalares da formação através da Metodologia CAMURES permitiu o desenvolvimento de um modelo teórico de evolução das coquinas que reflete a subida e descida do nível de base num ambiente lacustre a marinho restrito. A distribuição espacial e temporal das petrofácies permite a identificação de distintos ambientes deposicionais, afetados pela ação das ondas normais e de

tempestade e pelas descargas fluviais normais e de cheia, esta última responsável pelo acarreo dos sedimentos terrígenos para o sistema carbonatado.

A metodologia subjacente à classificação de coquinas proposta para a Formação Morro do Chaves (Garcia et al., 2020) é válida para a Formação Amaral, com as adaptações necessárias decorrentes das características particulares das petrofácies reconhecidas nesta última, que exibem maior diversidade do registo fóssil e que são condicionadas por tectónica regional e pela ocorrência mais frequente de eventos transgressivos. Assim, as particularidades das fácies descritas para a Formação Amaral levaram a um refinamento da classificação de fácies para depósitos de coquinas.

Para a Formação Amaral foram definidas fácies distintas, de acordo com os seus aspetos composicionais, texturais e tafonómicos, que resultaram na identificação de dez tafofácies e quatro litofácies, o que permitiu a definição de 84 petrofácies com base nos tipos e intensidades dos processos sedimentares e tafonómicos identificados e na diversidade de seus constituintes. Entre essas, cinco fácies resultam de processos fóssil-diagenéticos intensos, que levaram à substituição quase total dos constituintes originais. Tais dados, aliados às variações laterais e verticais, em cada afloramento em particular e nos afloramentos em conjunto, apoiaram a conceção de modelos paleoambientais dos depósitos de coquinas da Formação Amaral que ilustram a distribuição espacial das sequências deposicionais identificadas por setor (lagunar, laguna-barreira e marinho-distal).

A análise das petrofácies e das tafofácies das coquinas da Formação Amaral permitiu o desenvolvimento de modelos teóricos para a evolução das mesmas, em função dos contextos paleogeográficos e estruturais, intensidade dos agentes energéticos e da diversidade fossilífera. Estes refletem a subida e descida do nível de base, identificadas através das interpretações dos ciclos TR nos perfis estudados, em contexto de ambiente marinho com a configuração de um golfo. A distribuição das petrofácies permite igualmente a identificação de distintos ambientes deposicionais, afetados pela ação das ondas normais e de tempestade e pelas descargas fluviais normais e de cheia, esta última responsável pelo acarreo dos sedimentos terrígenos para o sistema carbonatado. Além disso, decorrente da complexidade tectónica da Bacia Lusitânica e do seu intenso diapirismo salífero diferencial, aquela distribuição também reflete a heterogeneidade da plataforma, que assume dois tipos distintos: contínua (e.g. plataforma de Pombal para SW e plataforma das Berlengas para E-SE) e isolada (e.g. plataforma de Ota).

A distribuição de cada petrofácies/tafófácies nos ciclos TR e os seus posicionamentos nos respetivos Tratos de Sistemas Depositionais registados durante a evolução dos depósitos de coquinas permitirá o melhor entendimento da distribuição das propriedades petrofísicas dos reservatórios de coquinas, a diferentes escalas (de petrografia de lâminas delgada a interpretação de linhas sísmicas). Estas abordagens multidisciplinares e multiescalares, desenvolvidas de forma sistémica, tal como sugerido pela Metodologia CAMURES, quando aplicadas na construção de modelos genéticos evolutivos em afloramentos análogos de reservatórios de hidrocarbonetos, oferece maior segurança na construção de modelos 3D de propriedades petrofísicas dos respetivos análogos em profundidade. E, nesse sentido, assumem grande valor para a análise das zonas reservatório no quadro da exploração de hidrocarbonetos, permitindo contribuir para a diminuição do grau de incerteza inerente a esta atividade.

9.

Considerações finais

9.

Considerações finais

As metodologias concebidas e aplicadas no presente estudo permitiram compreender e mapear a distribuição de fácies de coquinas em dois contextos paleogeográficos distintos, através da análise tafonômica dos constituintes fósseis presentes em cada fácies - e que resultaram da atuação de diferentes agentes físicos (ondas e correntes fluviais) -, bem como através da aplicação da Metodologia CAMURES - que possibilita a extensão do uso de modelos ideais, construídos a partir de afloramentos e furos de sondagem.

Os modelos geológicos resultantes, relativos às formações Morro do Chaves (Bacia Sergipe-Alagoas, NE Brasil) e Amaral (Bacia Lusitânica, Portugal), sustentaram a construção de modelos teóricos de depósitos de coquinas em banco e em plataforma que permitem prever a distribuição espacial das fácies em outros reservatórios análogos de hidrocarbonetos em coquinas do pré-sal do Brasil. Contudo, a utilização de tais modelos teóricos em outros depósitos de coquinas requer um adequado ajustamento aos aspectos estruturais, estratigráficos e petrográficos-petrofísicos do análogo; só assim poderão ter a robustez e fiabilidade necessárias a procedimentos de simulação com menor grau de incerteza.

Mas o presente estudo permitiu também pôr em evidência a dificuldade no estabelecimento de correlações estratigráficas entre a Formação Amaral e outras unidades definidas para o Jurássico Superior na Bacia Lusitânica, em função da existência de distintas interpretações estratigráficas, paleoambientais e paleogeográficas, que resultam na proliferação de um elevado número de unidades litoestratigráficas, eventualmente correspondentes a variações laterais da Formação Amaral. Tal poderá ser precisado se, à semelhança do que foi realizado para a Formação Morro do Chaves, se proceder à aplicação de outras ferramentas (e.g. palinologia, espectrometria de *gamma-ray*, petrografia, petrofísica, *Laser Scanning*, radar de penetração no solo-GPR, entre outras) aos depósitos da Formação Amaral.

Na verdade, durante o desenvolvimento do presente estudo, foram analisados outros afloramentos do Jurássico Superior, alguns dos quais poderão ser correlacionáveis com a Formação Amaral, pertinentes para o desenvolvimento de futuros trabalhos, nomeadamente: Figueira da Foz, Soure, Freixianda, São Martinho do Porto, Salir do Porto, Praia de São Bernardino, Bombarral, Cadaval, Praia de Santa Cruz, Foz do Sizandro, Torres Vedras, Portela do Sol, Trancoso de Cima, Figueira do Guincho, Malveira da Serra e Praia da Adraga.

A análise aprofundada daqueles registos, à luz do modelo geológico concebido para a Formação Amaral, vai permitir ampliá-lo e detalhá-lo, bem como localizar, na Bacia Lusitânica, previsivelmente no offshore da plataforma, as fácies de coquinas reconhecidas na Bacia Sergipe-Alagoas e no pré-sal brasileiro.

10.

**Referências
bibliográficas**

10.

Referências bibliográficas

- Abbink, O. A., Van Konijnenburg-Van Cittert, J. H. A., & Visscher, H. (2004). A sporomorph ecogroup model for the Northwest European Jurassic - Lower Cretaceous: concepts and framework. *Geologie en Mijnbouw*, 83(1), 17-38. <https://doi.org/10.1017/S0016774600020436>
- Agada, S., Chen, F., Geiger, S., Toigulova, G., Agar, S., Benson, G., Shekhar, R., Hehmeyer, O., Amour, F., Mutti, M., Christ, N., & Immenhauser, A. (2013). *Deciphering the fundamental controls of flow in carbonates using numerical well-testing, production optimisation, and 3D high-resolution outcrop analogues for fractured carbonate reservoirs*. EAGE Annual Conference & Exhibition Incorporating SPE Europec, London, United Kingdom.
- Aigner, T. (1985). *Storm Depositional Systems. Dynamic Stratigraphy in Modern and Ancient Shallow-Marine Sequences*. Springer-Verlag.
- 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.
- Alfred, W. (1912). Die Entstehung der Kontinente. *Geologische Rundschau*, 3, 276-292.
- Alvin, K. L. (1982). Cheirolepidiaceae: Biology, structure and paleoecology. In T. N. Taylor, & T. Delevoryas (Eds.), *Gymnosperms: Paleozoic and Mesozoic. Review of Palaeobotany and Palynology*, 37(1 and 2), 71-98. [https://doi.org/10.1016/0034-6667\(82\)90038-0](https://doi.org/10.1016/0034-6667(82)90038-0)
- Anderson, J. M., Anderson, H. M., & Cleal, C. J. (2007). *Brief History of the Gymnosperms: Classification, Biodiversity, Phytogeography and Ecology*. Strelitzia 20. South African National Biodiversity Institute, Pretoria.
- Antonioli, L., Dino, R., & Gallo, V. (2004). Palinologia de amostras da Pedreira Atol, Formação Coqueiro Seco, Membro do Chaves, Bacia de Sergipe-Alagoas (NE), Brasil. In T. L. Dutra, P. A. Souza, & R. Iannuzzi (Eds.), *Anais da XI Reunião de Paleobotânicos e Palinólogos* (pp. 5). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

- Antonioli, L., Dino, R., & Gallo, V. (2009). Palinomorfos barremianos e peixes associados em sedimentos da Formação Morro do Chaves, Bacia de Sergipe-Alagoas, Nordeste do Brasil. In V. Gallo, & H. M. A. Silva (Eds.), *XXI Congresso Brasileiro de Paleontologia: A paleontologia e os eventos globais. Sociedade Brasileira de Paleontologia* (pp. 22). Belém.
- Arai, M. (2009). Paleogeografia do Atlântico Sul no Aptiano: um novo modelo a partir de dados micropaleontológicos recentes. In E. J. Milani, P. V. Zalán, A. R. Spadini, D. L. Machado-Junior, E. F. F. Silva, G. J. S. Terra, G. V. Bueno, H. D. Rangel, I. O. Carmo, J. M. Stica, M. Arai, R. L. M. Azevedo, R. P. C. Pozzi, R. L. Antunes, & S. M. C. Anjos (Eds.), *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, *17*(2), 331-351.
- Arcucci, A., Prámparo, M. B., Codorniú, L., Giordano, G., Castillo-Elías, G., Puebla, G., Mego, N., Gómez, M. A., & Bustos-Escalona, E. (2015). Biotic assemblages from Early Cretaceous lacustrine systems in the San Luis Basin, mid-western Argentina. *Boletín Geológico y Minero*, *126*(1), 109-128.
- Azambuja Filho, N. C., de Arienti, L. M., & Mello, M. R. (1998). *Sedimentological and geochemical evidence of high frequency climatic cycles controlling the deposition of source and reservoir rocks in Lower Cretaceous rift lake of the Sergipe-Alagoas Basin, Brazil*. Extended Abstract of the AAPG Annual Convention, Salt Lake City. Online version at: <http://www.searchanddiscovery.com/abstracts/html/1998/annual/abstracts/038.htm> (accessed 08/02/2018)
- Azevedo, R. L. M. (2004). Paleoceanografia e a evolução do Atlântico Sul no Albiano. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, *12*(2), 231-249.
- Baird, G. C., & Brett, C. E. (1983). Regional variation and paleontology of two coral beds in the Middle Devonian Hamilton Group of western New York. *Journal of Paleontology*, *25*(1), 417-446.
- Batten, D. J. (1996). Palynofacies and palaeoenvironmental interpretation. In J. Jansonius, & D. C. McGregor (Eds.), *Palynology: principles and applications*, *3*(Chapter 26 A), 1011-1064. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation.
- Bellian, J. A., Kerans, C., & Jennette, D. C. (2005). Digital outcrop models: applications of terrestrial scanning lidar technology in stratigraphic modeling. *Journal of Sedimentary Research*, *75*(2), 166-76.

- Brett, C. E., & Baird, G. C. (1986). Comparative Taphonomy: A Key to Paleoenvironmental Interpretation Based on Fossil Preservation. *PALAIOS*, 1, 207-227.
- Brett, C. E., & Speyer, S. E. (1996). Taphofacies. In D. E. Briggs, & P. R. Crowther (Eds.), *Palaeobiology. A synthesis*, (pp. 258-263). Blackwell Science, London.
- Caixeta, J. M., Ferreira, T., Machado, D. L., Teixeira, J. L., & Romeiro, M. T. (2014). *Albian Rift Systems in the Northeastern Brazilian Margin: An Example of Rifting in Hyper-Extended Continental Crust*. AAPG ICE 2014 - Istanbul - TurkeyAt: Istanbul - TurkeyVolume: Extended Abstracts DOI: 10.13140/RG.2.1.3300.9769
- Campos Neto, O. P., Souza-Lima, W., & Cruz, F. E. (2007). Bacia Seripe-Alagoas. In E. J. Milani, A. R. Spadini, G. J. S. Terra, E. F. F. Silva, G. V. Bueno, H. D. Rangel, J. M. Stica, M. Arai, O. G. S. Junior, P. V. Zalán, R. L. M. Azevedo, S. T. Freitas, & S. M. C. Anjos (Eds.), *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, 15(2), 405-415.
- Capelesso, E. W., & Malabarba, M. C. S. L. (2012). Primeiro registro de dinossauro Theropoda da Formação Morro do Chaves, Bacia Sergipe-Alagoas. In C. L. C. Frankenberg (Ed.), *XIII Salão de Iniciação Científica da PUCRS*. Porto Alegre.
- Castro, J. C. (2006). Evolução dos conhecimentos sobre as coquinas-reservatório da Formação Lagoa Feia no trend Badejo-Linguado-Pampo, Bacia de Campos. São Paulo, UNESP, *Geociências*, 25, 175-186.
- Catuneanu, O., Galloway, W. E., Kendall, C. G. St. C., Miall, A. D., Posamentier, H. W., Strasser, A., & Tucker, M. E. (2011). Sequence stratigraphy: methodology and nomenclature. *Newsl. Stratigr.*, 44(3), 173-245.
- Cavalier-Smith, T., & Chao, E. E. (2004). Protalveolate phylogeny and systematics and the origins of Sporozoa and dinoflagellates (phylum Myzozoa nom. nov.). *European Journal of Protistology*, 40, 185-212. <https://doi.org/10.1016/j.ejop.2004.01.002>.
- Chaboureau, A-C., Guillocheau, F., Robin, C., Rohais, S., Moulin, M., & Aslanian, D. (2013). Paleogeographic evolution of central segment of the South Atlantic during Early Cretaceous times: Paleotopographic and geodynamic implications. *Tectonophysics*, 604, 191-223. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.08.025>

- Chinellato, G. F., Vidal, A. C., Kuroda, M. C., & Basilici, G. (2018). A taphofacies model for coquina sedimentation in lakes (Lower Cretaceous, Morro do Chaves Formation, NE Brazil), *Cretaceous Research*, *85*, 1-19. doi: 10.1016/j.cretres.2017.12.005
- Choffat, P. (1885). *Recueil de monographies stratigraphiques sur le Système Crétacique du Portugal. Première étude. Contrées de Cintra, Bella set de Lisbonne*. Mem. Sec. Trab. Geol. Port., Lisboa.
- Choffat, P. (1885-1888). *Description de la faune jurassique de Portugal. Mollusques lamellibranches, 2.^a ordre, Asiphonidae, 2eme livraison*. Mem. Dir. Trab. Geol. Port., Lisboa.
- Choffat, P. (1887). Recherches sur les terrains secondaires au Sud de Sado. *Com. Com. Trab. Geol. Port.*, Lisboa, *1*, 222-312.
- Choffat, P. (1893a). *Contributions a la connaissance géologique des sources minéro-thermales des aires mésozoïques du Portugal*. Imprensa Nacional, Lisboa.
- Choffat, P. (1893b). *Description de la faune jurassique du Portugal. Classe des Céphalopodes, 1^{ère} série: Ammonites du Lusitanien de la contrée de Torres Vedras*. Mem. Dir. Trab. Geol. Port., Lisboa.
- Choffat, P. (1901). Limite entre le Jurassique et le Crétacique. Notice Préliminaire. Extrait du Bulletin de la Société Belge de Géologie de Paléontologie et D'Hydrologie. Tome XV, *Mémoires*, 111-140.
- Choffat, P. (1914). Rapports de géologie économique. 3: Les recherches d'hydrocarbures dans l'Estramadure portugaise (résumé). *Com. Com. Serv. Géol. Portugal*, t. X: 159-185.
- Choquette, P. W., & Pray, L. C. (1970). Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, *54*(2), 207-250.
- Christensen, T. (1994) Typification of the Class Name Chlorophyceae. In T. Christensen (Ed.), *Taxon, International Association for Plant Taxonomy*, *43*(2), 245-246. <https://doi.org/10.2307/1222882>

- Corbett, P. W. M., Wang, H., Câmara, R. N., Tavares, A. C., Almeida, L. F. B., Perosi, F., Machado, A., Jiang, Z., Jingsheng, M., & Bagueira, R. (2017). Using the porosity exponent (m) and pore-scale resistivity modelling to understand pore fabric types in coquinas (Barremian-Aptian) of the Morro do Chaves Formation, NE Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, *88*, 628-647. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.08.032>
- Cruz, L. R. (2008). *Caracterização tectono-estratigráfica da sequência transicional na sub-bacia de Sergipe* [Doctoral dissertation, Universidade Federal do Rio Grande do Norte]. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Natal.
- De Ros, L. F., & Goldberg, K. (2007). *Reservoir petrofacies: a tool for quality characterization and prediction*. AAPG Annual Convention, Long Beach, California, EUA
- Dettmann, M. E., & Clifford, H. T. (1992). Phylogeny and biogeography of Ruffordia, Mohria and Anemia (Schizaeaceae) and Ceratopteris (Pteridaceae): Evidence from in situ and dispersed spores. *Alcheringa: An Australasian Journal of Palaeontology*, *16*(4), 269-314. <https://doi.org/10.1080/03115519208619111>
- Dietze, V., Cresta, S., Martire, L., & Pavia, G. (2017). Ammonites, taphonomical analysis and biostratigraphy of the Aalenian (Middle Jurassic) from Capo San Vigilio (Lake Garda, N Italy). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, *284*, 161-206.
- Dunham, R. J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In W. E. Ham (Ed.), Classification of carbonate rocks. Tulsa, *AAPG Memoir*, *1*, 108-122.
- Embry, A. F., & Johannessen, E. P. (1993). T-R sequence stratigraphy, facies analysis and reservoir distribution in the uppermost Triassic-Lower Jurassic succession, Western Sverdrup Basin, Arctic Canada. In T. O. Vorren, E. Bergsager, O. A. Dahl-Stamnes, E. Holter, B. Johansen, E. Lie, & T. B. Lund (Eds.), *Norwegian Petroleum Society Special Publications, Elsevier*, *2*, 121-146.
- Fabuel-Perez, I., Hodgetts, D., & Redfern, J. (2010). Integration of digital outcrop models (DOMs) and high resolution sedimentology – workflow and implications for geological modelling: Oukaimeden Sandstone Formation, High Atlas (Morocco). *Petroleum Geoscience*, *16*, 133-154. doi: 10.1144/1354-079309-820

- Fernández-López, S. (1984a). Criterios elementales de reelaboración tafonómica em ammonites de La Cordillera Ibérica. *Acta Geológica Hispánica*, 19(2), 105-116.
- Fernández-López, S. (1984b). Nuevas perspectivas de la tafonomia evolutiva: tafosistemas y asociaciones conservadas. *Estudios geol.*, Madrid, 40, 215-224.
- Fernández-López, S. (1988). *Bioestratigrafía y biocronología: su desarrollo histórico. Curso de conferencias sobre historia de la paleontología.* (pp. 185-215). Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Historia de la Ciencia, Historia de la Paleontología.
- Fernández-López, S. (1991). Taphonomic concepts for a theoretical biochronology. *Revista Española de Paleontología*, 6(1), 37-49.
- Fernández-López, S. (1994). *Comunicaciones de las X Jornadas de Paleontología* (pp. 250). Madrid, Sociedad Española de Paleontología. ISBN 84-600-9050-7
- Fernández-López, S. (1997). Ammonites, taphonomic cycles and stratigraphic cycles in carbonate epicontinental plataforms. Ammonites, ciclos tafonómicos y ciclos estratigráficos en plataformas epicontinentales carbonáticas. Servicio de Publicaciones. Universidad Complutense, Madrid. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 23, 95-136.
- Fernández-López, S. (2000). *Temas de tafonomía.* Departamento de Paleontología, Faculdade de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid.
- Fernández-López, S. (2007). Ammonoid taphonomy, palaeoenvironments and sequence stratigraphy at the Bajocian/Bathonian boundary on the Bas Auran area (Subalpine Basin, south-eastern France). *Lethaia*, 40(4), 377-391. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3931.2007.00036.x>
- Fernández-López, S., & Jalvo, Y. F. (2002). The limit between biostratinomy and fossildiagenesis. Current Topics on Taphonomy and Fossilization. In M. De Renzi, M. V. P. Alonso, M. Belinchón, E. Peñalver, P. Montoya, & A. Márquez-Aliaga (Eds.), *Current topics on taphonomy and fossilization. International Conference Taphos* (pp. 27-36). Valencia.

- Fernández-López, S., Jalvo, Y. F., & Alcalá, L. (2002). Accumulation: taphonomic concept and other palaeontological uses. In M. De Renzi, M. V. P. Alonso, M. Belinchón, E. Peñalver, P. Montoya, & A. Márquez-Aliaga (Eds.), *Current topics on taphonomy and fossilization. International Conference Taphos* (pp. 37-47). Valencia.
- Fernández-López, S., & Meléndez, G. (1994). Abrasion surfaces on inner moulds of ammonites as palaeobathymetric indicators. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, *110*, 29–42.
- Fernández-López, S. R., & Meléndez, G. (2004). Fossilization of ammonites and sedimentary events in deep environments of carbonate platform (highest middle to lowest Upper Oxfordian, Iberian Range, Spain). *Rivista Italiana Paleontologia Stratigrafia*, *110*, 219-229.
- Ferreira, G. S., & Langer, M. C. (2013). A pelomedusoid (Testudines, Pleurodira) plastron from the Lower Cretaceous of Alagoas, Brazil. *Cretaceous Research*, *46*, 267-271. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2013.10.001>
- Ferreira, T. S., Caixeta, J. M., Rigoti, C. A. (2011). *The diachronous Aptian-Cenomanian rifting controlled by basement inheritance along the Brazilian northeastern margin: Gondwana 14, abstracts volume*. Búzios, Rio de Janeiro, Brazil.
- Folk, R. L. (1959). Practical Petrographic Classification of Limestones¹. *AAPG Bulletin*, *43*(1), 1-38.
- Folk, R. L. (1962). Spectral subdivision of limestones types. In: Ham WE (ed) *Classification of carbonate rocks - A Symposium*, American Association of Petroleum, Tulsa, *Geologists Memoir*, *1*, 62-84.
- Fürsich, F. T. (1978). The influence of faunal condensation and mixing on the preservation of fossil communities. *Lethaia*, *11*, 243-250.
- Fürsich, F. T., Werner, W., & Schneider, S. (2009). Autochthonous to parautochthonous bivalve concentrations within transgressive marginal marine strata of the Upper Jurassic of Portugal. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, *89*, 161-190. <https://doi.org/10.1007/s12549-009-0008-2>
- Fürsich, F. T., & Oschmann, W. (1993). Shell beds as tool in basin analysis: The Jurassic of Kachchh, western India. *Journal of the Geology Society*, *150*, 169-185.

- Gallo, V. (2009). A paleoictiofauna marinha das bacias marginais brasileiras. In V. Gallo, & H. M. A. Silva (Eds.), *XXI Congresso Brasileiro de Paleontologia: A paleontologia e os eventos globais* (pp. 266). Sociedade Brasileira de Paleontologia, Belém.
- Gallo, V., Silva, H. M. A., Ramos, R. R. C., Petra, R., & Romano, P. S. R. (2009a). A tartaruga Pleurodira mais antiga do Brasil. In V. Gallo, & H. M. A. Silva (Eds.), *XXI Congresso Brasileiro de Paleontologia: A paleontologia e os eventos globais* (pp. 180). Sociedade Brasileira de Paleontologia, Belém.
- Gallo, V., Silva, H. M. A., Petra, R., Ramos, R. R. C., Massa, R. S., Pagnoncelli, D., & Antonioli, L. (2009b). Novas ocorrências de †Mawsoniidae (Sarcopterygii, Actinistia) na Formação Morro do Chaves, Cretáceo Inferior da Bacia de Sergipe-Alagoas, NE do Brasil. In V. Gallo, & H. M. A. Silva (Eds.), *XXI Congresso Brasileiro de Paleontologia: A paleontologia e os eventos globais* (pp. 178-179). Sociedade Brasileira de Paleontologia, Belém.
- Gallo, V., Carvalho, M. S. S., & Santos, H. R. S. (2010). New occurrence of †Mawsoniidae (Sarcopterygii, Actinistia) in the Morro do Chaves Formation, Lower Cretaceous of the Sergipe-Alagoas Basin, Northeastern Brazil. In H. T. Costi (Ed.), *A Paleontologia no Brasil: eventos globais*, Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais, 5(2), 195-205.
- Galloway, W. E. (1989). Genetic stratigraphic sequences in basin analysis, I. Architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 73, 125-142.
- Garcia, A. J. V. (1992). *Estratigrafia, sedimentação e diagênese dos arenitos da Formação Serraria, Cretáceo Inferior da Bacia de Sergipe-Alagoas, Nordeste do Brasil* [Doctoral dissertation, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS]. Porto Alegre, Brasil.
- Garcia, A. J. V., & Eastwood, M. E. (1981). Um procedimento gráfico para descrição de perfis estratigráficos. *Atas do III Simpósio de Geologia Regional*, Curitiba, Paraná, 2, 1-13.
- Garcia, A. J. V., Paim, P. S. G., Lopes, R. da C., Faccini, U. F., & Lavina, E. L. C. (2003). Capítulo 2 - Análogos de Reservatórios - Caracterização de reservatórios: uma análise integrada. In P. S. G. Paim, U. F. Faccini, & R. G. Netto (Eds.), *Geometria, arquitetura e heterogeneidades de corpos sedimentares - Estudo de casos*, 1, 26-37. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, RS, Brasil. ISBN: 85-7431-205-3

- Garcia, A. J. V., Pimentel, N. L. V., Reis, R. P., & Silva, L. T. (2004). *Roteiro estratigráfico e petrológico da Bacia Lusitânica, enfoque petrolífero* (pp. 89). Field-trip for PETROBRAS, Dep. Ciências da Terra, Univ. Coimbra.
- Garcia, A. J. V., Goldberg, K., Alves, T., Armelenti, G., Wiederkehr, F., Nowatzki, A., Oliveira, R., Vargas, J., & Borba, C. (2005). Projeto: Padrões texturais e composicionais da diagênese em reservatórios clásticos da Bacia Sergipe-Alagoas, Nordeste do Brasil.
- Garcia, A. J. V., Pimentel, N., & Pena dos Reis, R. (2010b). Projeto Atlantis: "Modelo Geológico Evolutivo para os Riftes Marinhos do Jurássico da Bacia Lusitânica (Portugal). Relatório Final, *PETROBRAS-UFS/FAPESE-UC/IPN-UL/FFCUL*.
- Garcia, A. J. V., Pereira, F. C., Dantas, D. R., Moura, F. P., Rocha, L. M., Araujo, W. B., Figueiredo, S. A., Dantas, M. V., & Weidmann, G. (2011). Caracterização Multiescalar em Reservatórios Carbonáticos Análogos da Bacia Sergipe-Alagoas. (CAMNURES-CARBONATO) Etapa 1: Projeto Carapeba; UFS, FAPESE, *Petrobras – Rede CARMOD*. Relatório Parcial 1 (Inédito).
- Garcia, A. J. V., Pereira, F. C., Araújo, W. B., Rocha, L. M., Ribeiro, D. D. M., Leal, F. P. M., & Correia, G. L. (2014). Caracterização multiescalar de reservatórios carbonáticos análogos em afloramentos da Bacia de Sergipe-Alagoas, NE do Brasil. In O. C. P. Neto, (Ed.), *Boletim Técnico da Petrobras, Petrobras*, Rio de Janeiro, 22(1), 51-82.
- Garcia, A. J. V., Ribeiro, D. D. M., Figueiredo, S. A. S. T., Dantas, M. V. S., Oliveira, I. C., Santos, K. A. L., & Garcia, G. G. (2015a). *3D Modeling of carbonate reservoir analogue outcrops using Camures methodology, Sergipe-Alagoas Basin (SEAL), NE, Brazil*. AAPG Annual Convention & Exhibition, Denver. ACE. Online version at: http://www.searchanddiscovery.com/documents/2015/41631vasconcellos/ndx_vasconcellos.pdf (accessed 08/02/2018)
- Garcia, G. G. (2012). *Análise do conteúdo palinológico da Formação Morro do Chaves, Bacia de Sergipe-Alagoas e seu significado bioestratigráfico e paleoambiental* [Graduate thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. <http://hdl.handle.net/10183/132375>
- Garcia, G. G. (2016). *Análise palinológica em folhelhos da Formação Morro do Chaves e implicações na evolução paleogeográfica da fase rifte da Bacia de Sergipe-Alagoas* [Masters's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. <http://hdl.handle.net/10183/134664>

- Garcia, G. G., Silva, R. C., Rangel, C. V. G. T., Garcia, A. J. V. (2010a). *As sedimentações carbon áticas e mistas das formações Morro do Chaves e Riachuelo na Bacia de Sergipe-Alagoas*. 45º Congresso Brasileiro de Geologia. Belém, Brazil. <http://www.sbgeo.org.br/home/pages/44>
- Garcia, G. G., Souza, P. A., Premaor, E., Garcia, A. J. V., & Pontes, N. V. (2013). Novos dados palinológicos da Formação Morro do Chaves (Cretáceo Inferior da Bacia de Sergipe-Alagoas). In A. M. Ribeiro, C. C. Lana, F. Abdala, J. C. Coimbra, J. Leme, M. J. Garcia (Eds.), *Paleontologia em Destaque: boletim informativo da Sociedade Brasileira de Paleontologia* (pp. 125). Gráfica Editora Pallotti, Gramado.
- Garcia, G. G., Melo, T. M. S., Garcia, A. J. V., Dantas, M. V. S., Santos, K. A. L., Figueiredo, S. A. S. T., & Rocha, L. L. (2015b). *Atributos permo-porosos e tafonômicos das coquinas da Formação Morro do Chaves, Cretáceo Inferior, Bacia de Sergipe-Alagoas, Brasil*. Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 8.
- Garcia, G. G., Garcia, A. J. V., & Henriques, M. H. P. (2018). Palynology of the Morro do Chaves Formation (Lower Cretaceous), Sergipe Alagoas Basin, NE Brazil: paleoenvironmental implications for the early history of the South Atlantic. *Cretaceous Research*, 90, 7-20. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2018.03.029>
- Garcia, G. G., Campos, M. F., Henriques, M. H., Pena dos Reis, R., & Garcia, A. J. V. (2019). As Coquinas da Formação Amaral da Bacia Lusitânica (Kimmeridgiano; Portugal): uma abordagem multidisciplinar. In P. Fialho, & R. Silva (Eds.), *Livro de Resumos do Paleo Fall Meeting*, 1, pp. 9. ISBN: 978-972-778-124-9
- Garcia, G. G., Henriques, M. H., Garcia, A. J. V., & Dantas, M. V. S. (2020). Petrofacies and taphofacies analyses of coquinas as a tool for the establishment of a stratigraphic evolution model of the Morro do Chaves Formation (Sergipe-Alagoas Basin, NE Brazil). *Facies*, 67, 4. <https://doi.org/10.1007/s10347-020-00614-9>
- Goldring, R. (1991). *Fossils in the field. Information potential and analysis*. Longman Scientific & Technical. Harlow: Longman; New York: John Wiley.
- Golonka, J., Ross, M. I., & Scotese, C. R. (1994). Phanerozoic Paleogeographic and Paleoclimatic modeling maps. In PANGEA: Global Environments and Resources. Canadian Society of Petroleum Geologists. *Memoir*, 17, 1-48.

- Guy-Ohlson, D. (1996). Prasinophycean algae. In J. Jansonius, & D. C. McGregor (Eds.), *Palynology: principles and applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Tulsa 1: 181-189.
- Herrero, C., & Canales, M. L. (2002). Taphonomic processes in selected Lower and Middle Jurassic foraminifera from the Iberian Range and Basque-Cantabrian Basin (Spain). *Journal of Foraminiferal Research*, 32, 22-42.
- Hill, G. (1988). *The Sedimentology and Lithostratigraphy of the Upper Jurassic Lourinhã Formation, Lusitanian Basin, Portugal* [Doctoral dissertation, Open Univ.] Milton Keynes.
- Holz, M., & Simões, M. G. (2002) *Elementos fundamentais de tafonomia* (pp. 231) Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS. ISBN 85-7025-618-3
- Huggenberger, P., & Aigner, T. (1999). Introduction to the special issue on aquifer-sedimentology: problems, perspectives and modern approaches. *Sedimentary Geology*, 129(3-4), 179-186. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(99\)00101-3](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(99)00101-3)
- Karagodin, Yu. N. (1975). Relações mútuas entre os complexos cíclicos sedimentares em seções de bacias contendo petróleo e gás. *Dokl. Akad. Nauk. SSSR*, 220, 1414-1416. (traduzido do russo por FUCS, A.)
- Kidwell, S. M. (1985). Paleobiological and sedimentological implications of fossil concentrations. *Nature*, 318, 457-460.
- Kidwell, S. M., Fürsich, F. T., & Aigner, T. (1986). Conceptual framework for the analysis and classification of fossil concentrations. *PALAIOS*, 1(3), 228. doi: 10.2307/3514687
- Kidwell, S. M., & Bosence, D. W. J. (1991) Taphonomy and time-averaging of marine shelly faunas. In P. A. Allison, & D. E. G. Briggs (Eds.), *Taphonomy: releasing the data locked in fossil record*, (pp. 115-209) New York, Plenum Press.
- Kinoshita, E. M. (2007). *Modelagem sísmica-geométrica de Fácies dos Carbonatos lacustres do Mb Morro do Chaves, Bacia de Sergipe-Alagoas* [Master's thesis, Universidade Federal do Paraná] Curitiba.

- Kinoshita, E. M. (2010). Modelagem sísmica-geométrica de fácies dos carbonatos lacustres da Formação Morro do Chaves, Bacia de Sergipe-Alagoas. In E. J. Milani, P. V. Zalán, A. R. Spadini, D. L. M. Junior, E. F. F. Silva, G. J. S. Terra, G. V. Bueno, H. D. Rangel, I. O. Carmo, J. M. Stica, M. Arai, R. L. M. Azevedo, R. P. C. Pozzi, R. L. Antunes, & S. M. C. Anjos (Eds.), *Boletim de Geociências da Petrobras*, 18(2), 249-269.
- Korall, P., & Pryer, K. M. (2014). Global biogeography of scaly tree ferns (Cyatheaceae): evidence for Gondwanan vicariance and limited transoceanic dispersal. *Journal of Biogeography*, 41, 402-413. <https://doi.org/10.1111/jbi.12222>
- Kramer, K. U., & Green, P. S. (1990). Pteridophytes and Gymnosperms. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg* 1(1), pp. 404. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-02604-5>
- Kullberg, J. C. R. (2000). *Evolução Tectónica Mesozóica da Bacia Lusitaniana* [Doctoral dissertation, Universidade Nova Lisboa], Lisboa.
- Kullberg, J. C., Rocha, R. B., Soares, A. A., Rey, J., Terrinha, P., Callapez, P., & Martins, L. (2006). A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. In R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, & J. Kullberg (Eds.), *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria* (pp. 317-368). Universidade de Évora, Évora.
- 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, J. R., Alves, C., Mata, J., Madeira, J., Mateus, O., & Moreira, M. (2013). A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. In R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J. C. Kullberg (Eds.), *Geologia de Portugal – Geologia Meso-cenozóica de Portugal*, (2), 317-368. Livraria Escolar Editora.
- Large, M. F., & Braggins, J. E. (2004). Tree Ferns. *Timber Press*, Portland.
- Leinfelder, R. R. (1987). Multifactorial control of sedimentation patterns in an ocean marginal basin - The Lusitanian Basin (Portugal) during the Kimmeridgian and Tithonian. *Geol. Rdsch.*, 76, 599-651.
- Leinfelder, R. R. (1993). Upper Jurassic reefs and controlling factors - A preliminary report. *Profil*, 5, 1-45.
- Leinfelder, R. R. (1994). Distribution of Jurassic reef types: a mirror of structural and environmental changes during breakup of Pangea. In A. F. Embry, B. Beauchamp, & D. J. Glass (Eds.), *Pangea: global environments and resources*, (17, pp. 677-700). Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir.

- Leinfelder, R. R. (1997). *Coral reefs and carbonate platforms within a siliciclastic setting: General aspects and examples from the Late Jurassic of Portugal*. Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium, Panamá City, 2, 1737-1742.
- Leinfelder, R. R. (2001). Jurassic Reef Ecosystems. In G. D. Stanley jr. (Ed.), *The History and Sedimentology of Ancient Reef Systems* (pp 251-309). Plenum Press, New York.
- Leinfelder, R. R., Krautter, M., Nose, M., Ramalho, M. M., & Werner, W. (1993a). Siliceous sponge facies from Upper Jurassic of Portugal. *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, 189, 199-254.
- Leinfelder, R. R., Nose, M., Schmid, D. U., & Werner, W. (1993b). The importance of microbial crusts in Upper Jurassic reef information. *Facies*, 29, 195-230.
- Leinfelder, R. R., Werner, W., Nose, M., Schmid, D. U., Krautter, M., Latenser, R., Takacs, M., & Hartmann, D. (1996). Paleoecology, growth parameters and Dynamics of coral, sponge and microbolite reefs from the Late Jurassic. *Göttinger Arb. Geol. Paläont., Sb2*, 227-248.
- Leinfelder, R. R., Nose, M., Schmid, D., & Werner, W. (2004). Reefs and carbonate platforms in a mixed carbonate-siliciclastic setting. Examples from the Upper Jurassic (Kimmeridgian to Tithonian) of west-central Portugal. In L. V. Duarte, & M. H. Henriques (Eds.), *Field Trip Guidebook – Carboniferous and Jurassic Carbonate Platforms of Iberia. 23rd IAS Meeting of Sedimentology* (1, pp. 95-123). Sedimentology and Society, Coimbra, Portugal.
- Maffizzoni, A. F. (2000). *Paleoictiofauna da Formação Coqueiro Seco Aptiano Inferior do Estado de Alagoas Nordeste do Brasil* [Unpublished doctoral dissertation, Universidade Federal do Rio Grande do Sul].
- Martire, L., & Pavia, G. (1996). Taphonomic analysis of Bajocian ammonites from NW France (Calvados, Poitou). *GeoResearch Forum*, 1-2, 305-316.
- Milani, E. J., Rangel, H. D., Bueno, G. V., Stica, J. M., Winter, W. R., Caixeta, J. M., & Neto, O. C. P. (2007). Bacias Sedimentares Brasileiras - Cartas Estratigráficas - Introdução. In E. J. Milani, A. R. Spadini, G. J. S. Terra, E. F. F. Silva, G. V. Bueno, H. D. Rangel, J. M. Stica, M. Arai, O. G. S. Junior, P. V. Zalán, R. L. M. Azevedo, S. T. Freitas, S. M. C. Anjos (Eds.), *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, 15(2), 183-205.

- Motta, F. A., & Malabarba, M. C. S. L. (2011) Primeiro Registro de Pterossauro da Bacia Sergipe-Alagoas. In C. L. C. Frankenber (Ed.), *XII Salão de Iniciação Científica da PUCRS, Qual é o caminho da sustentabilidade energética*. Porto Alegre.
- Mouterde, R., Ramalho, M., Rocha, R. B., Ruget, C., & Tintant, H. (1971). Le Jurassique du Portugal. Esquisse stratigraphique et zonale. *Boletim da Sociedade Geológica de Portugal*, XVIII(1), 73-104.
- Mouterde, R., Rocha, R., & Ruget, C. (1981). *Le Jurassique au nord du Tage – Stratigraphique et paléobiogéographie. Groupe Français d'étude du Jurassique, excursion annuelle*, Portugal.
- Muniz, M. C. (2013). *Tectono-stratigraphic evolution of the Barremian-Aptian continental rift carbonates in Southern Campos Basin, Brazil* [Doctoral dissertation, Royal Holloway University of London].
- Nogueira, M. S., Lemos, V. B., Terra, & G. J. S. (2003). *As "coquinas" do membro Morro do Chaves, Cretáceo, Inferior da Bacia de Alagoas, e seu potencial para reservatório de petróleo*. 2º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo & Gás. CD-ROM.
- Paim, P. S. G., Garcia, A. J. V., Faccini, U. F., & Lavina, E. L. C. (2003). Capítulo 1 - GEOARQ, uma abordagem integrada e aplicada da geologia sedimentar. Introdução, In P. S. G. Paim, U. F. Faccini, & R. G. Netto (Eds.), *Geometria, arquitetura e heterogeneidades de corpos sedimentares - Estudo de casos, 1*, 15-25. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, RS, Brasil. ISBN: 85-7431-205-3
- Pavia, G., Defaveri, A., Maerten, L., Pavia, M., & Zunino, M. (2013). Ammonite taphonomy and stratigraphy of the Bajocian at Maizet, South of Caen (Calvados, NW France). *Comptes rendus Palevol*, 12, 137-148.
- Pena dos Reis, R. (2008). O papel do conceito de analogia na exploração de hidrocarbonetos. Exemplos da Bacia Lusitânica. *Memórias e Notícias*, 3 (Nova Série).
- Pena dos Reis, P. B., Trincão, P. R. P., Cunha, P. M. R. P., & Dinis, J. M. L. (1993). Resumo do estado actual de conhecimentos sobre o Jurássico Superior da Bacia Lusitânica. *Relatório Técnico-Científico BAG*.

- Pena dos Reis, R., Trincão, P., Cunha, P. P., & Dinis, J. L. (1995). Relatório final de execução do projecto "Estratigrafia sequencial e biostratigrafia do Jurássico Superior da Bacia Lusitânica". GPEP.
- Pena dos Reis, R. P., Dinis, J. L., Cunha, P. P., & Trincão, P. (1996). Upper Jurassic Sedimentary Infill and Tectonics of the Lusitanian Basin (Western Portugal). *GeoRes. Forum*, 1-2, 377-386.
- Pena dos Reis, R., Cunha, P. M. R., Dinis, J. L., & Trincão, P. (2000). Geologic evolution of Lusitanian Basin during Late Jurassic (Portugal). In R. L. Hall, & P. L. Smith (Ed.), *Advances in Jurassic research. GeoResearch Forum, Trans Tech Pub, Zurich*, 6, 345-356.
- Pena dos Reis, R., Pimentel, N., & Garcia, A. (2007). *Curso de Campo na Bacia Lusitânica (Portugal)* (2ª ed., pp. 154). Impressão e Soluções, Laboratório de imagem, LDA., Coimbra. ISBN: 978-989-20-0423-5
- Pena dos Reis, R. P., Pimentel, N. L., & Garcia, A. J. V. (2008a). The Lusitanian Basin (Portugal) - Lithostratigraphic and geodynamic correlation with other Portuguese and Moroccan Basins. Central Atlantic Conjugate Margins Conference, Halifax (NS, Canada).
- Pena dos Reis, R., Pimentel, N., & Bueno, G. (2008b). *III Curso de Campo na Bacia Lusitânica (Portugal)* (3ª ed., pp. 136). Impressão e Soluções, Laboratório de imagem, LDA., Coimbra. ISBN: 978-989-20-0423-5
- Pena dos Reis, R., Pimentel, N., & Garcia, A. (2009). The Evolution of the Atlantic Margin of Iberia as recorded in the Lusitanian Basin (Portugal). AAPG ICE, Rio de Janeiro.
- Pena dos Reis, R. B., Pimentel, N. L., & Garcia, A. J. V. (2010). A Bacia Lusitânica (Portugal): análise estratigráfica e evolução geodinâmica. *Boletim de Geociências da Petrobras: Bacia Lusitânica*. Rio de Janeiro, 19, 23-52.
- Pena dos Reis, R., & Henriques, M. H. (2018). "Geoheritage and advanced training for the oil industry: the Lusitanian Basin case-study (Portugal)". *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 102(8), 1413-1428. DOI: 10.1306/10181717238
- 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.

- Prámparo, M. B. (1990). Palynostratigraphy of the Lower Cretaceous of the San Luis Basin, Argentina. Its place in the Lower Cretaceous floral provinces pattern. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen, Stuttgart* 181, 247-258.
- Ramalho, M. M. (1971). Contribution à l'étude micropaléontologique et stratigraphique du Jurassique supérieur et du Crétace inférieur des environs de Lisbonne (Portugal). *Mem. Serv. Geol., Portugal Lisboa*, 19, 1-212.
- Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (1996). *Biologia Vegetal* (5th ed.). Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.
- Reolid, M. (2008). Taphonomic features of Lenticulina as a tool for paleoenvironmental interpretation of midshelf deposits of the Upper Jurassic (Prebetic Zone, southern Spain). *PALAIOS*, 23(7), 482-494. doi: <https://doi.org/10.2110/palo.2007.p07-032r>
- Ribeiro, A., Antunes, M. T., Ferreira, M. P., Rocha, R. B., Soares, A. F., Zbyszewski, G., Moitinho de Almeida, F., de Carcalho, D., & Monteiro, J. H. (1979). Introduction à la géologie générale du Portugal. *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa.
- Ribeiro, A., & Sanderson, D. (1996). SW Iberia, transpressional orogeny in the Variscides. In D. G. Gee, & H. J. Zeyen (Eds.), *Lithosphere dynamics, origin and evolution of continents*. Europrobe, Uppsala University.
- Riguetti, A. L., Dal'Bó, P. F., Borghi, L., & Mendes, M. (2020). Bioclastic accumulation in a lake rift basin: the Early Cretaceous coquinas of the Sergipe-Alagoas Basin, Brazil. *Journal of Sedimentary Research*, 90, 228-249. <http://dx.doi.org/10.2110/jsr.2020.11>
- Rocha, R. B., Marques, B. L., Kullberg, J. C., Caetano, P. C., Lopes, C., Soares, A. F., Duarte, L. V., Marques, J. F., & Gomes, C. R. (1996). The 1st and 2nd rifting phases of the Lusitanian Basin: stratigraphy, sequence analysis and sedimentar evolution. *Final Report C. E. C. Proj. MILUPOBAS*, Lisboa.
- Rodriguez, M., Abad, F., Rodriguez, L., Gaibor, J., Moran, M., & Verdezoto, A. (2015). *Application of modern reservoir characterization in mature fields to unravel hidden reserves*. SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Quito, Ecuador. doi: 10.2118/177195-MS

- Romano, P. S. R., Gallo, V., Antonioli, L., & Ramos, R. R. C. (2012). Novas informações sobre a tartaruga fóssil mais antiga do Brasil. In J. M. Sayão, E. V. Oliveira, K. O. Porpino, & P. S. R. Romano (Eds.), *Simpósio Brasileiro de Paleontologia de Vertebrados, Boletim de Resumos/Paleontologia em Destaque, Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Paleontologia* (pp. 60) Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Romano, P. S. R., Gallo, V., Ramos, R. R. C., & Antonioli, L. (2014). Atolchelys lepida, a newsidenecked turtle from the Early Cretaceous of Brazil and the age of crown Pleurodira. *Biology Letters*, *10*, 20140290. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2014.0290>
- Ruget-Perrot, C. (1961). Études Stratigraphiques sur le Dogger et le Malm Inférieur du Portugal au Nord du Tage – Bajocien, Bathonien, Callovien, Lusitanien. *Direção Geral de Minas e Serviços Geológicos, Serviços Geológicos de Portugal, Memória, 7* – nova série.
- Santos, B., Vieira, C. D. C., Silva, J. C., Lima, S. F. B., Garcia, G. G., Garcia, A. J. V., & Liparini, A. (2017). *Taxonomia e paleoecologia dos bivalves fósseis da Formação Morro do Chaves, Bacia Sergipe-Alagoas (Cretáceo Inferior)*. Anais do XIII Congresso de Ecologia, Viçosa. Online version at: <http://anais.ecologia2017.com.br/busca.htm?query=852> (accessed 08/02/2018)
- Schäfer, W. (1962). Aktuo-Paläontologie nach Studien in der Nordsee. *W. Kramer, Frankfurt am Mainz*.
- Schaller, H. (1969). Revisão estratigráfica da Bacia de Sergipe/Alagoas. In F. Carneiro, & J. M. Guimarães (Eds.), *Boletim Técnico da Petrobras*, *12*(1), 21-86.
- Seifert, H. (1963). Beiträge zur geologie der Serra da Arrábida in Portugal. *Geol. Jahrb.*, *81*, 277-344.
- Seilacher, A. (1985). The Jeram model: event condensation in a modern intertidal environmental. In U. Bayer, & A. Seilacher (Eds.), *Sedimentary and Evolutionary Cycles* (pp. 336-341). *Springer-Verlag*, Berlin.
- Simões, M. G., & Kowalewski, M. (1998). Shell Beds as Paleoecological Puzzles: a Case Study from the Upper Permian of the Paraná Basin, Brazil. *Facies*, *38*, 175-196.

- Soares, A. F., & Rocha, R. B. (1984). Algumas reflexões sobre a sedimentação Jurássica na Orla Meso-Cenozóica ocidental de Portugal. *Memórias e Notícias, Pub. Mus. Lab. Mineral. Geol.*, Universidade de Coimbra, *97*, 133-142.
- Speyer, S. E., & Brett, C. E. (1986). Trilobite taphonomy and Middle Devonian taphofacies. *PALAIOS*, *1*, 312-327.
- Speyer, S. E., & Brett, C. E. (1988). Taphofacies models for epeiric sea environments: Middle Paleozoic examples. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeocology*, *63*, 225-262.
- Speyer, S. E., & Brett, C. E. (1991). Taphonomic controls: background and episodic processes in fossil assemblage preservation. In P. A. Allison, & D. E. Briggs (Eds.), *Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record* (pp. 501-545). Topics in Geobiology, Plenum Press, New York.
- Tavares, A. C., Borghi, L., Corbett, P., Nobre-Lopes, J., & Câmara, R. (2015). Facies and depositional environments for the coquinas of the Morro do Chaves Formation, Sergipe-Alagoas Basin, defined by taphonomic and compositional criteria. *Brazilian Journal of Geology*, *45*(3), 415-429. <https://doi.org/10.1590/2317-488920150030211>
- Távora, V. A., Gallo, V., & Neto, I. L. A. N. (2013). Microfósseis marinhos da Formação Morro do Chaves (Barremiano superior), Bacia de Sergipe-Alagoas, Estado de Alagoas, nordeste do Brasil. In A. M. Ribeiro, C. C. Lana, F. Abdala, J. C. Coimbra, J. Leme, & M. J. Garcia (Eds.), *Paleontologia em Destaque: boletim informativo da Sociedade Brasileira de Paleontologia* (pp. 158). Gráfica Editora Pallotti, Gramado
- Teixeira, C., & Gonçalves, F. (1980). Introdução à Geologia de Portugal. *Instituto Nacional de Investigação Científica*, Lisboa.
- Thompson, D. L. (2013). *The stratigraphic architecture and depositional environments of non-marine carbonates from Barremian-Aptian pre-salt strata of the Brazilian continental margin* [Doctoral dissertation, Monash University].
- Thompson, D. L., Sitwell, J. D., & Hall, M. (2015). Lacustrine carbonate reservoirs from Early Cretaceous rift lakes of western Gondwana, pre-salt coquinas of Brazil and West Africa. *Gondwana Research*, *28*, 26-51. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.12.005>

- Torsvik, T. H., & Cocks, L. R. M. (2004). Earth geography from 400 to 250 million years: a palaeomagnetic, faunal and facies review. *Journal Geol. Soc. Lond.*, *161*, 555-572.
- Trevisan, L. (1971). Dicheiropollis, a pollen type from Lower Cretaceous sediments of Southern Tuscany (Italy). *Pollen et Spores*, *13*(4), 561-596.
- Tucker, M. E. (1991). Sedimentary Petrology. An Introduction to the origin of Sedimentary Rocks. *Blackwell Scientific Publications*.
- Uhlein, A., Freitas, A. R., Oliveira, A. R. S., Garcia, A. J. V., Gomes, F. B., Garcia, G. G., Santos, J. A. O., Côrtes, L. M. S., Dantas, M. V. S., Oliveira, M. C. F., Silva, M. O., Félix, M. F. S., Pires, P. H. C. E., Machado, R., Figueiredo, S. A. S. T., & Mendonça, T. K. (2020). Projeto Caracterização Multiescalar e Modelagem Diagenética Preditiva em Depósitos de Coquinas e Folhelhos Intercalados da Formação Morro do Chaves, Bacia Sergipe-Alagoas - Projeto "CAMURES-Diagênese". Relatório Técnico Final. *Rede CARMOD- Caracterização e Modelagem Geológica de Reservatórios*.
- Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments: *Journal of Geology*, *30*, 377-392.
- Wilson, R. C. L. (1979). A reconnaissance study of Upper Jurassic sediments of the Lusitanian Basin. *Ciências da Terra*, *5*, 53-85.
- Wilson, R. C. L. (1988). Mesozoic development of the Lusitanian Basin, Portugal. *Revista de la Sociedad Española de Geología*, *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 A. J. Tankard, & H. R. Balkwill (Ed.), *Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic margins, AAPG. Mem.*, *46*, 341-361.
- Zamora, S., Mayoral, E., Gámenez Vintaned, J. A., Bajo, S., & Espíez, E. (2008). The infaunal echinoid *Micraster*. Taphonomic pathways indicated by sclerozoan trace and body fossils from the Upper Cretaceous of northern Spain. *Geobios*, *41*, 15-29.

11.

Anexos

Anexo A

Anexo A - Artigo: GARCIA, G. G., GARCIA, A. J. V. & HENRIQUES, M. H. (2018) – “The palynological record of the Morro do Chaves Formation (Early Cretaceous of Sergipe Alagoas Basin, Northeastern Brazil): paleogeographical implications for the South Atlantic opening”, *Cretaceous Research*, 90, pp. 7-20 [DOI: 10.1016/j.cretres.2018.03.029].

Y@n~j/6n±e İ»z@% çó oíðie+ áíð



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Cretaceous Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/CretRes



Palynology of the Morro do Chaves Formation (Lower Cretaceous), Sergipe Alagoas Basin, NE Brazil: Paleoenvironmental implications for the early history of the South Atlantic

Gustavo Gonçalves Garcia ^{a,*}, Antônio Jorge Vasconcellos Garcia ^b, Maria Helena Paiva Henriques ^a

^a Geosciences Centre of the University of Coimbra, Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra, Portugal
^b PROGEOLOGIA/NUPEG, Universidade Federal de Sergipe, Avenida Marechal Rondon S/n, 49100-000, São Cristóvão, Sergipe, Brazil



ARTICLE INFO

Article history:
 Received 11 October 2017
 Received in revised form 28 December 2017
 Accepted in revised form 29 March 2018
 Available online 4 April 2018

Keywords:
 Palynological record
 Morro do Chaves Coquina
 Sergipe Alagoas Basin
 NE Brazil
 Early Cretaceous
 South Atlantic opening

ABSTRACT

The break-up of Gondwana and the origin of related source rocks and reservoir intervals of the Brazilian coastal basins are being increasingly studied in the last decades. In this context the Sergipe-Alagoas Basin, which lies to the north of the Campos Basin hydrocarbon province, becomes relevant for the completeness of its depositional sequences. This paper presents, for the first time, the detailed palynological record from the Morro do Chaves Formation, located at the InterCement Quarry, near São Miguel dos Campos, Alagoas. The analysis of samples from the mudstone intervals of the unit mainly composed by coquinas has enabled new biostratigraphic, paleoenvironmental and paleogeographic interpretations of the evolution of the South Atlantic. The occurrence of the species *Dicheiropollis etruscus*, with a vertical distribution ranging from the Berriasian to the Barremian, supports the late Barremian age for the lowermost part of the Morro do Chaves Formation, traditionally interpreted as having been deposited in a lacustrine environment, close to herbaceous plants, surrounded by remote mountainous areas with arboreal vegetation. The occurrence of algae phycmata of the Class Prasinophyceae, associated with *Scenedesmus* and *Botryococcus*, organisms that tolerate some salinity in its uppermost part, together with other biotic and abiotic data, corroborate the possibility of relating the Morro do Chaves Formation to a marine and/or brackish depositional environment, which may have resulted from a marine flooding in the northern sector of the Sergipe-Alagoas Basin during Early Cretaceous times. The results of this work support a paleogeographic model characterized by an episodic input of Tethyan waters towards the north of the South American continent.

© 2018 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

The Sergipe-Alagoas Basin (NE Brazil), which lies to the north of the Campos Basin hydrocarbon province, provides the most complete onshore stratigraphic record directly related to all the evolutionary phases of the break-up of Gondwana and the opening of the South Atlantic. It is currently considered that the Sergipe-Alagoas is the main basin for analogue studies used for advanced training purposes by different universities, namely on hydrocarbon geology. Located in the central segment of the South Atlantic

(Chaboureaux et al., 2013), the Sergipe-Alagoas Basin includes the Perucaba (pre-rift), Coruripe (rift and post-rift), Sergipe and Piaçabuçu (drift) groups, deposited from the Late Jurassic to the Holocene (Campos Neto et al., 2007).

The Morro do Chaves Formation (Coruripe Group) is related to the final and transitional/post-rift phases of the basin, and is composed of bioclastic limestones (coquinas), alternating with dark green to black mudstones in distal positions, and with conglomeratic sandstones in proximal positions, mainly interpreted as having been deposited in lacustrine conditions (Azambuja Filho et al., 1998; Thompson et al., 2015; Tavares et al., 2015). However, paleontological studies developed during the last decade have described several taxa related to marine and brackish environments (Gallo, 2009; Gallo et al., 2009a, 2009b, 2010; Romano et al., 2012; Thompson, 2013, among others), mainly restricted to

* Corresponding author.
E-mail addresses: gustavogarciageo@hotmail.com (G.G. Garcia), garciageo@hotmail.com (A.J.V. Garcia), hhenriq@dct.uc.pt (M.H.P. Henriques).

<https://doi.org/10.1016/j.cretres.2018.03.029>
 0195-6671/© 2018 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Anexo B

Anexo B - Abundância dos táxones palinológicos identificados ao longo do perfil composto da Formação Morro do Chaves e correspondentes afinidades botânicas. (modificado de Garcia et al., 2018).

	Esporos						Grãos de pólen						Fungos			Algas						
	Aequitriradites spp.	Cicatricosisporites spp.	Cyathidites australis	Concavissimisporites spp.	Klukisporites scaberis	Pilosporites punctatus	Classopollis sp.	Dicliro pollis sp.	Equisetopollis etruscus	Equisetopollis subcircularis	Eucommidites spp.	Gnetaceapollenites spp.	Gnetaceapollenites jansonii	Inaperturopollenites spp.	Stellatopollis sp.	Diporisorites sp.	Undetermined spores	Botryococcus spp.	Scenedesmus spp.	Prasinophytaeae	Subtilisphaera spp.	TOTAL/NÍVEL
10485/10486																	11	2			13	
MCH-34																			2			2
10662/10663	9	3					7		1	1		3				5						29
10666/10667	5	1					3					5	1			2		5	2			24
MCH-30	2															1			5			8
10664/10665	1															1		3				5
10714/10715							1		1							10		47				59
10668/10669	1				1		1				2	1										6
10670/10671	2										4	1	2									9
10483/10484							9			2		2	1			5						19
10672/10673	4											2	1									7
MCH-20	5				1		3			2			5			4						20
MCH-10	2																					2
MCH-06	1	7		1			4	2	3	4			3									25
MCH-04	6											4										10
10676/10677									1											1		2
10658/10659	2	7			1				1		5	1	1	1		1						20
TOTAL/TÁXON	3	51	4	1	1	2	28	2	3	8	5	11	22	11	1	2	27	19	47	11	1	260
	Bryophyta	Schizaeaceae	Cyatheaceae	Schizaeaceae	Schizaeaceae	Filicopsida	Cheirolepidiaceae	Cheirolepidiaceae	Ephedraceae	Gnetopsida	Cheirolepidiaceae	Gnetopsida	Gnetopsida	Cheirolepidiaceae	Angiospermae	Fungi	Fungi	Chlorophyceae	Chlorophyceae	Prasinophytaeae	Dinoflagellate	

Anexo C - Artigo: Garcia, G.G., Henriques, M.H., Garcia, A.J.V., Dantas, M.V.S. (2020) – “Petrofacies and taphofacies analyses of coquinas as a tool for the establishment of a stratigraphic evolution model of the Morro do Chaves Formation (Sergipe-Alagoas Basin, NE Brazil)”, *Facies*, 67, 4 (2021). [DOI: <https://doi.org/10.1007/s10347-020-00614-9>].

Facies (2021) 67:4
<https://doi.org/10.1007/s10347-020-00614-9>

ORIGINAL ARTICLE



Petrofacies and taphofacies analyses of coquinas as a tool for the establishment of a stratigraphic evolution model of the Morro do Chaves Formation (Sergipe-Alagoas Basin, NE Brazil)

Gustavo Gonçalves Garcia^{1,2} • Maria Helena Henriques¹ • Antônio Jorge Vasconcellos Garcia² • M/Ercio Vinicius Santana Danta³

Received: 22 July 2020 / Accepted: 28 October 2020
 © Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2020

Abstract

Petrofacies and taphofacies defined for the Morro do Chaves Formation (Late Barremian/Early Aptian) outcropping in the Sergipe-Alagoas Basin (NE Brazil) enable the interpretation of the biostratigraphic and fossil-diagenetic processes that acted on the abundant bivalve shells and enclosing sediments. Such processes played an important role in the circulation of fluids within the coquina deposits and therefore on the resulting porosity–permeability of the rocks. Ten taphofacies and four lithofacies are recognized, allowing 36 petrofacies to be defined, based on the nature of the sedimentary and taphonomic processes. Five of these petrofacies are distinguished for those showing almost total replacement of the original constituents. The relationship between petrofacies with the geometry of sedimentary bodies and their lateral and vertical variations, forms the basis of a stratigraphic model for the depositional system of the coquinas of the Morro do Chaves Formation that reflects the spatial and temporal distribution of the identified petrofacies. The integration of the evolutionary taphonomic analysis of the unit with the analysis of multiscale properties through the CAMURES Methodology allowed us to develop a theoretical model for the alteration and modification of taphonomic elements and coquinas, which reflect the rise and fall of the relative base level in a lacustrine to the restricted marine setting. This model leads to more accurate identification and classification of coquina reservoir facies, as well as the delimitation of reservoir zones for 3D geocellular modeling and flow simulation of hydrocarbon-producing reservoirs, thus improving predictive analyses.

Keywords Coquina reservoirs · Evolutionary taphonomy · Late Barremian/Early Aptian · Sergipe-Alagoas Basin · NE Brazil

Introduction

The Brazilian Atlantic margin basins, namely the Santos and Campos basins (Castro 2006), include thick successions of carbonate rocks that comprise important hydrocarbon reservoirs in the pre-salt succession. The Sergipe-Alagoas Basin in northeastern Brazil contains the most complete stratigraphic record of the evolutionary stages of the eastern Brazilian margin basins (Campos et al. 2007). The Morro do

Chaves Formation in the Sergipe-Alagoas Basin includes the best outcrops of coquinas in Brazil and records the transition from the rift to the restricted marine phase of the passive margin evolution (Garcia et al. 2018). These coquinas have been the subject of several studies as analogues for coquina reservoirs in the Brazilian pre-salt successions, especially in terms of analysing their origin and the geodynamic control on their evolution (Kinoshita 2010; Thompson et al. 2015; Garcia et al. 2015a, 2018; Riguetti et al. 2020).

In a recent study, Chinellato et al. (2018) proposed a taphofacies model for the coquinas of the Morro do Chaves Formation, based on taphonomic, sedimentological and stratigraphic aspects, but framed within a classical approach to the taphonomic analysis of the recorded elements, hence emphasising biostratigraphic processes (sorting, fragmentation, abrasion, rounding and orientation of shells). Considering that this study was limited to

Electronic supplementary material The online version of this article (<https://doi.org/10.1007/s10347-020-00614-9>) contains supplementary material, which is available to authorized users.

✉ Gustavo Gonçalves Garcia
gustavogarciageo@hotmail.com

Extended author information available on the last page of the article

