



UNIVERSIDADE DE COIMBRA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
Departamento de Ciências da Terra

# NANOFÓSSEIS CALCÁRIOS DA PASSAGEM TOARCIANO-AALENIANO DO PERFIL DE SÃO GIÃO

André Correia Cortesão

MESTRADO EM GEOCIÊNCIAS, ÁREA DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOLOGIA DO  
PETRÓLEO

Setembro, 2016





**UNIVERSIDADE DE COIMBRA**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**Departamento de Ciências da Terra**

**NANOFÓSSEIS CALCÁRIOS DA PASSAGEM  
TOARCIANO-AALENIANO DO PERFIL DE SÃO GIÃO**

André Correia Cortesão

**MESTRADO EM GEOCIÊNCIAS, ÁREA DE ESPECIALIZAÇÃO EM  
GEOLOGIA DO PETRÓLEO**

**Orientadores científicos**

Prof.<sup>a</sup> Doutora Maria Helena Paiva Henriques,  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra  
Prof.<sup>a</sup> Doutora Gatsby-Emperatriz López-Otálvaro,  
Universidad Nacional de Colombia/Centro de Geociências da Universidade de Coimbra

**Setembro, 2016**

## Resumo

O presente trabalho refere-se ao estudo da composição das associações de nanofósseis calcários registadas ao longo da passagem Jurássico Inferior-Jurássico Médio no perfil de São Gião, localizado no Setor Norte da Bacia Lusitânica (Portugal).

Para tal foram processadas nove amostras recolhidas ao longo das biozonas Aalensis (subzonas Mactra e Aalensis) do Toarciano inferior e Opalinum (subzonas Mactra e Aalensis) do Aaleniano inferior, tendo-se identificado e classificado, no total, 2754 espécimes, cujo estado de conservação é geralmente moderado, pertencentes a 3 ordens, 8 famílias, 14 géneros e 63 espécies.

A composição das associações de nanofósseis é dominada por representantes da família Watznaueriaceae, sendo *Lotharingius* e *Discorhabdus*, os géneros mais bem representados, e *Lotharingius sigillatus* e *Lotharingius contractus* as espécies que apresentam maior abundância relativa.

Do ponto de vista biostratigráfico, a presença de *Retecapsa incompta* permitiu o reconhecimento das subzonas NJ8a (Domínio Boreal) e NJT8a no Toarciano superior (Biozona Aalensis); a primeira ocorrência de representantes de *Watznaueria britannica* permitiu o reconhecimento das biozonas NJ9 (Domínio Boreal) e NJT9 (Domínio Tétisiano) no Aaleniano inferior (Biozona Opalinum). A espécie *Lotharingius contractus*, cuja primeira ocorrência define a base da Subzona NJ8b no Domínio Boreal, encontra-se presente ao longo de todo o perfil, o que anula o seu valor estratigráfico para o perfil de São Gião. Além destes, outros bioeventos, também com carácter local, puderam ser reconhecidos: a primeira ocorrência de *Watznaueria fossacincta* e de *Retecapsa incompta* no Toarciano superior, a primeira ocorrência de *Carinolithus cantaluppii* e um decréscimo na abundância de representantes do Género *Biscutum* no Aaleniano inferior.

Do ponto de vista paleoecológico, a composição das associações é diversa e típica de ambientes de plataforma marinha, com predominância de espécies que prosperam na parte superior da zona fótica. Essencialmente cosmopolitas, as associações refletem afinidades, quer com o Domínio Boreal quer com o Domínio Tétisiano, embora a influência deste último seja mais evidente, não registando variações significativas na sua composição ao longo do intervalo estratigráfico analisado que permitam reconhecer o chamado “Comptum cooling event”, reconhecido em outras bacias do Hemisfério Norte.

**Palavras-chave:** Nanofósseis calcários, Toarciano-Aaleniano, Bacia Lusitânica, Biostratigrafia, Paleoecologia.

**Abstract**

This work presents the results regarding the study of the composition of the calcareous nannofossils assemblages' recorded in the Lower-Middle Jurassic transition of the São Gião section, located in the northern Lusitanian Basin (Portugal).

Nine samples were collected throughout the Aalensis Zone (Mactra and Aalensis subzones) of the upper Toarcian and the Opalinum Zone (Opalinum and Comptum subzones) of the lower Aalenian. A total of 2754 moderately preserved specimens were identified and classified corresponding to 3 orders, 8 families, 14 genera and 63 species.

The nannofossil assemblages are dominated by representatives of the Family Watznaueriaceae, being *Lotharingius* and *Discorhabdus* the most represented genera; *Lotharingius sigillatus* and *Lotharingius contractus* are the species displaying higher relative abundance.

From a biostratigraphic point of view, the record of *Retecapsa incompta* has enabled the recognition of the NJ8a (Boreal Realm) and NJT8a (Tethyan Realm) subzones in the upper Toarcian (Aalensis Biozone); the first occurrence of *Watznaueria britannica*, has allowed the recognition of the NJ9 (Boreal Realm) and NJT9 (Tethyan Realm) in the lower Aalenian (Opalinum Biozone). The first occurrence of *Lotharingius contractus* defines the base of the NJ8b Subzone (Boreal Realm), but it shows a continuous record in the studied section thus representing a useless index for the São Gião section. Other bioevents displaying local value were also recognized: the first occurrence of *Watznaueria fossacincta* and *Retecapsa incompta* in the upper Toarcian, the first occurrence of *Carinolithus cantaluppii* and a decrease in the relative abundance of the Genus *Biscutum* in the lower Aalenian.

From a paleoecological point of view, the assemblages' composition is diverse and typical of marine platform environments, including mainly species preferring the upper photic zone. Mostly cosmopolitan, the assemblages reflect affinities with both the Boreal and the Tethyan realms, the last one being more marked. Throughout the studied stratigraphic interval no significant changes in the assemblages' composition were detected, which could support the so-called "Comptum cooling event" recognized in other North Hemisphere basins.

**Key words:** Calcareous Nannofossils, Toarcian-Aalenian, Lusitanian Basin, Biostratigraphy, Paleoecology.

## **Agradecimentos**

*Durante a realização deste trabalho cruzei-me com muitas pessoas que, de múltiplas formas, foram importantes para a sua concretização.*

*Agradeço, em primeiro lugar, aos meus pais, que me deram a possibilidade e todas as condições e apoio para poder concluir com êxito uma segunda licenciatura e um segundo mestrado.*

*Em segundo lugar, agradeço à Professora Maria Helena Henriques, que conheci logo no primeiro ano de Geologia, e que me deu a conhecer a importância dos nanofósseis calcários para o aprofundamento do conhecimento do Jurássico de Portugal. Agradeço-lhe também todo o empenho que colocou para o sucesso deste trabalho.*

*Gostaria de igualmente expressar a minha gratidão à Professora Gatsby López Otálvaro pela disponibilidade, apesar da longa distância que nos separa, em introduzir-me no mundo dos nanofósseis calcários e em ensinar-me a conhecê-los e a utilizá-los.*

*Agradeço ao Professor Rui Pena dos Reis que, desde a minha entrada em Geologia, me proporcionou muitas aprendizagens enquanto membro da sua equipa e com quem partilhei conversas descontraídas mas sábias.*

*Aos meus colegas do Laboratório de Geologia Sedimentar e Registo Fóssil, Sílvia, Nei, Laura, Gustavo e Marisa, com quem vivi muitos momentos que se transformarão em boas memórias no futuro, um sincero obrigado. Mais do que um espaço de trabalho, no laboratório construí verdadeiras amizades e conheci quem passou a preencher um cantinho especial na minha vida.*

*Agradeço também a todos os meus colegas de Mestrado, com quem passei excelentes momentos, graças a um fantástico espírito de grupo que se formou entre todos, assim como a todos os colegas de vários anos, com quem tive o prazer de me cruzar.*

*Agradeço ainda a todos os professores e aos funcionários que, pela sua amabilidade, me fizeram gostar tanto de ter passado estes 4 anos no Departamento de Ciências da Terra.*

*Um obrigado a todos.*

*Este trabalho teve o apoio de fundos FEDER através do Programa Operacional Factores de Competitividade – COMPETE e de fundos nacionais através da FCT no quadro do projecto UID/Multi00073/2013. O trabalho laboratorial foi apoiado pelo Consórcio Petrobras-Galp-Partex de Portugal.*

## Índice

Resumo.....	i
Abstract.....	ii
Agradecimentos .....	iii
Índice de figuras.....	vii
Índice de tabelas .....	x
Lista de anexos .....	x
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>2</b>
1.1. Introdução aos nanofósseis calcários .....	2
1.2. Evolução e registo fóssil.....	5
1.3. Importância dos nanofósseis calcários para a Geologia do Petróleo.....	8
1.4. Objetivos .....	11
<b>2. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO.....</b>	<b>14</b>
2.1. Enquadramento geral da Bacia Lusitânica.....	14
2.2. Enquadramento geográfico e geológico do perfil de São Gião.....	20
2.2.1 Localização .....	20
2.2.2. Descrição do perfil de São Gião .....	21
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>27</b>
3.1. Trabalho de campo.....	27
3.2. Trabalho de laboratório .....	29
3.3. Trabalho de gabinete .....	32
3.3.1. Determinação taxonómica de espécimes .....	32
3.3.2. Determinação do estado de preservação .....	33
3.3.3. Determinação da abundância.....	34
<b>4. COMPOSIÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES .....</b>	<b>37</b>
4.1. Análise tafonómica.....	37
4.2. Taxonomia.....	39
<b>5. BIOSTRATIGRAFIA.....</b>	<b>68</b>
5.1. Os Domínios Boreal e Tétisiano .....	68
5.2. Escalas biostratigráficas de referência para o Jurássico.....	71
5.3. Associações de nanofósseis calcários do perfil de São Gião.....	73
5.4. Bioeventos .....	78
5.5. Considerações Biostratigráficas .....	81
5.6. Unidades Biostratigráficas .....	84

<b>6. PALEOECOLOGIA .....</b>	<b>88</b>
<b>6.1. Composição das associações .....</b>	<b>88</b>
<b>6.2. O Registo de Nanofósseis Calcários e o “Comptum cooling event” .....</b>	<b>95</b>
<b>7. CONCLUSÕES.....</b>	<b>98</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>102</b>
<b>ESTAMPA 1 .....</b>	<b>112</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>115</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 1.1</b> – Representação esquemática de um cocolitoforídeo (modificado de Armstrong & Brasier, 2005). .....	<b>4</b>
<b>Figura 1.2</b> – Representação esquemática de uma cocosfera, de várias morfologias de cocólitos e seus constituintes (modificado de Armstrong & Brasier, 2005). .....	<b>5</b>
<b>Figura 1.3</b> – Evolução na diversidade dos nanofósseis calcários ao longo do tempo geológico. PETM – Máximo Térmico do Paleocénico-Eocénico; K/T – Cretácico-Terciário; J/C- Jurássico-Cretácico; T/J – Triássico-Jurássico. (adaptado de Bown <i>et al.</i> , 2004).....	<b>7</b>
<b>Figura 1.4</b> – Exemplificação da monitorização biostratigráfica ( <i>biosteering</i> ) em segmentos horizontais de furos (Antunes <i>et al.</i> , 2004). .....	<b>11</b>
<b>Figura 2.1</b> – Paleogeografia esquemática com a localização da Bacia Lusitânica no contexto de dois domínios, Tétis e Atlântico, durante a passagem Jurássico Inferior-Jurássico Médio (modificado de Deep Time Maps™). .....	<b>14</b>
<b>Figura 2.2</b> – Localização da Bacia Lusitânica entre as bacias Ceno-Mesozóica da Margem Ocidental Ibérica (modificado de Alves, 2006). .....	<b>15</b>
<b>Figura 2.3</b> – Quadro litostratigráfico do Mesozóico da Bacia Lusitânica (adaptado de Pena dos Reis <i>et al.</i> , 2011).....	<b>16</b>
<b>Figura 2.4</b> – Localização do perfil de São Gião enquadrado no contexto do Jurássico Inferior e Médio da Bacia Lusitânica (modificado de Kullberg, 2000 e de Figueiredo, 2009). Apresenta-se a divisão da Bacia em três setores segundo Ribeiro <i>et al.</i> (1996). .....	<b>21</b>
<b>Figura 2.5</b> – Quadro litostratigráfico das unidades do Jurássico Inferior e Médio da Bacia Lusitânica com destaque para a Formação de Póvoa da Lomba e para o perfil de São Gião (adaptado de Azerêdo <i>et al.</i> , 2003). .....	<b>22</b>
<b>Figura 2.7</b> – Excerto da Carta Geológica 19-A com a localização do perfil de São Gião e respetiva legenda para as unidades litostratigráficas jurássicas representadas (modificado de Barbosa <i>et al.</i> , 2008). .....	<b>24</b>
<b>Figura 2.8</b> - Perfil estratigráfico de São Gião (modificado de Henriques & Canales, 2013), exibindo-se o aspeto no campo dos materiais amostrados: níveis margo-calcários da Subzona Aalensis (a) e da Subzona Opalinum (c). Mostram--se igualmente os materiais que registam o limite Toarciano-Aaleniano (b). .....	<b>25</b>
<b>Figura 3.1</b> - Aspeto geral do afloramento de São Gião. ....	<b>27</b>
<b>Figura 3.2</b> - Recolha de amostra no perfil de São Gião. ....	<b>28</b>
<b>Figura 3.3</b> - Etapas da preparação de lâminas para observação microscópica de nanofósseis calcários. a) Amostras recolhidas no campo; b) Moagem das	

amostras; c) Conservação e catalogação das amostras reduzidas a pó; d) Pesagem de 1 g de sedimento; e) Diluição e homogeneização do sedimento em tubo de ensaio; f) Repouso da amostra em porta-tubos de ensaio; g) Colocação da suspensão em lamela; h) Distribuição da suspensão pela lamela com a ajuda de um palito; i) Secagem da suspensão na lamela; j) Aplicação da lamela na lâmina com a resina de Entellan®; k) Limpeza com papel absorvente de excesso de resina; i) Conjunto de lâminas secas, prontas para observação ao microscópio. .... 31

**Figura 3.4** - Identificação dos nanofósseis calcários: a) Microscópio ótico Leica DM750P com ampliação de 1000x; b) Pormenor da colocação da lâmina na platina do microscópio. .... 32

**Figura 4.1** - Distribuição vertical do estado de preservação das amostras ao longo do perfil de São Gião, correlacionados com a respetiva abundância total e relativa da espécie *Thoracosphaera* sp. .... 38

**Figura 4.2** - Representação esquemática das características morfológicas do Género *Crepidolithus* (modificado de Prins, 1969). .... 40

**Figura 4.3** - Representação esquemática das características morfológicas do Género *Tubirhabdus* (modificado de Prins, 1969). .... 42

**Figura 4.4** - Fotografia de microscópio eletrónico da espécie-tipo do Género *Zerugrhabdotus* (*Z. erectus*) (modificado de Bown & Cooper, 1998). .... 43

**Figura 4.5** – Representação esquemática das características morfológicas do Género *Axopodorhabdus* (modificado de Prins, 1969). .... 44

**Figura 4.6** - Representação esquemática das características morfológicas do Género *Biscutum* (modificado de Prins, 1969). .... 45

**Figura 4.7** - Representação esquemática das características morfológicas do Género *Discorhabdus* (modificado de Prins, 1969). .... 48

**Figura 4.8** - Representação esquemática das características morfológicas do Género *Similiscutum* (modificado de de Kaenel & Bergen, 1993). .... 50

**Figura 4.9** - Representação esquemática das características morfológicas do Género *Carinolithus* (modificado de Prins, 1969). .... 52

**Figura 4.10** - Representação esquemática das características morfológicas do Género *Retecapsa* (retirado de Lambert, 1987). .... 54

**Figura 4.11** - Representação esquemática das características morfológicas do Género *Lotharingius* (modificado de Prins, 1969). .... 55

**Figura 4.12** - Representação esquemática das características morfológicas do Género *Watznaueria* (retirado de Reinhardt, 1964). .... 61

<b>Figura 4.13</b> - Representação esquemática das características morfológicas do Género <i>Bussonius</i> (retirado de de Kaenel & Bergen, 1993).....	<b>63</b>
<b>Figura 4.14</b> - Representação esquemática das características morfológicas do Género <i>Schizosphaerella</i> (retirado de Deflandre & Dangeard, 1938). .....	<b>65</b>
<b>Figura 4.15</b> - Representação esquemática das características morfológicas do Género <i>Thoracosphaera</i> (retirado de Kampter, 1927). .....	<b>66</b>
<b>Figura 5.1</b> – A localização da Bacia Lusitânica entre os Domínios Boreal e Tétisiano durante a passagem Jurássico Inferior-Jurássico Médio. (modificado de Deep Time Maps™). .....	<b>70</b>
<b>Figura 5.2</b> – Escalas biostratigráficas de referência de nanofósseis calcários, para o Domínio Boreal (Bown & Cooper, 1998) e para o Domínio Tétisiano (Mattioli & Erba, 1999) correlacionadas com a escala estabelecida com base em amonites (Baseado em Gradstein <i>et al.</i> , 2012).....	<b>72</b>
<b>Figura 5.3</b> – Distribuição estratigráfica dos nanofósseis calcários da passagem Toarciano-Aaleniano no perfil de São Gião. ....	<b>74</b>
<b>Figura 5.4</b> – Unidades biostratigráficas e principais bioeventos reconhecidos com base no registo de nanofósseis calcários ao longo do perfil de São Gião. ....	<b>86</b>
<b>Figura 6.1</b> – Abundâncias relativas das famílias (A) e géneros (B) de nanofósseis identificados ao longo do intervalo Toarciano-Aaleniano no perfil de São Gião. ..	<b>93</b>
<b>Figura 6.2</b> – Distribuição da abundância relativa das espécies pelas quatro Subzonas registadas ao longo do intervalo Toarciano-Aaleniano do perfil de São Gião. ....	<b>94</b>
<b>Figura 6.3</b> – Distribuição da riqueza de espécies e abundâncias relativas das amostras e dos géneros mais representativos registados ao longo do intervalo Toarciano-Aaleniano do perfil de São Gião. ....	<b>95</b>

**Índice de tabelas**

**Tabela 3.1** – Classificação do estado de preservação dos nanofósseis (modificado de Roth, 1983)..... **34**

**Tabela 3.2** – Classificação da abundância relativa de espécimes de cocólitos encontrados (adaptado de Concheryo & Wise, 2001). ..... **35**

**Lista de anexos**

**Anexo I** - Quadro resumo com a contabilização do número de exemplares das espécies registadas ao longo do perfil de São Gião.....**117**

**Anexo II** - Quadro resumo com os valores da abundância relativa para cada espécie registada ao longo do perfil de São Gião.....**117**

# **Capítulo 1. Introdução**

---

## **1. INTRODUÇÃO**

Neste capítulo apresenta-se uma breve introdução ao tema dos nanofósseis calcários, que inclui uma descrição das características principais deste grupo de pequenos microfósseis (1.1), da sua evolução ao longo do tempo geológico (1.2), bem como da sua utilidade para a Geologia, concretamente enquanto ferramenta correntemente utilizada em estudos estratigráficos associados à indústria dos hidrocarbonetos (1.3), que se pretendeu objetivar (em 1.4) recorrendo ao estudo do seu registo num perfil estratigráfico de referência para a passagem Jurássico Inferior-Jurássico Médio na Bacia Lusitânica (São Gião), para o qual já se estabeleceram escalas biostratigráficas baseadas em outros grupos de fósseis (amonites e foraminíferos bentónicos).

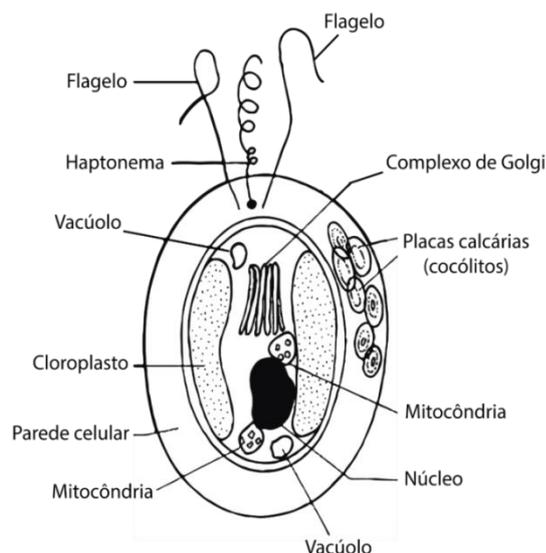
### **1.1. Introdução aos nanofósseis calcários**

Os nanofósseis calcários constituem um grupo de fósseis que, entre outros, fazem parte do objeto de estudo da Micropaleontologia. A Micropaleontologia é o ramo da Paleontologia que estuda o passado da vida da Terra através dos registos fósseis de organismos de dimensões reduzidas, os microfósseis. Os microfósseis constituem um amplo grupo que se pode subdividir em microfósseis com revestimento inorgânico e aqueles com revestimento orgânico. Os primeiros incluem os microfósseis calcários, como os foraminíferos, os nanofósseis calcários (aqui estudados) e os ostracodos, os microfósseis fosfatados como os conodontes e os microfósseis siliciosos de que fazem parte as diatomáceas, os radiolários e os dinoflagelados. Os microfósseis com revestimento orgânico incluem os pólenes e esporos que, juntamente com outros grupos orgânicos, formam o objeto de estudo de uma outra disciplina, a Palinologia.

Os nanofósseis calcários são então apenas um de vários grupos de microfósseis estudados na Micropaleontologia. Estes diferenciam-se dos restantes pelo seu revestimento inorgânico (carbonato de cálcio) e, sobretudo, pelas suas reduzidas dimensões. Normalmente possuem dimensões inferiores a 30  $\mu\text{m}$ , podendo atingir até 63  $\mu\text{m}$ , limite que separa os microfósseis dos nanofósseis. Este valor provém da definição do termo nanofóssil estabelecida por Lohman em 1904 para o nanoplâncton, como o plâncton que não é apanhado na rede mais fina utilizada na captura do plâncton, ou seja, de dimensões inferiores a 63  $\mu\text{m}$  (Molina, 2004). Fora do âmbito do presente trabalho mas ainda dentro da classificação de nanofósseis entram também os dinoflagelados e os pólenes e esporos referidos anteriormente.

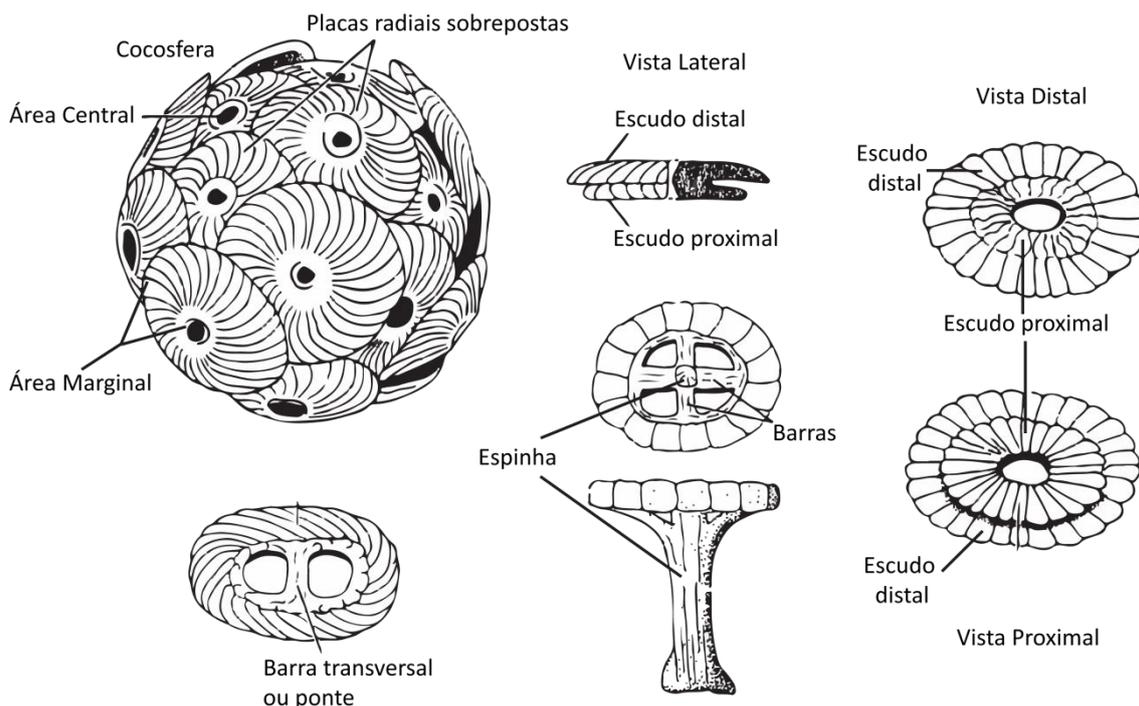
O grupo dos nanofósseis, apesar de restrito, pode ainda apresentar uma ampla diversidade de organismos, desde espículas de ascídias, calcisferas (dinoflagelados calcários) e ainda foraminíferos de reduzidas dimensões (normalmente indivíduos juvenis) (Bown & Cooper, 1998). No entanto, a sua esmagadora maioria pertence ao grupo dos Cocolitóforos classificados dentro da Divisão Haptophyta, algas unicelulares essencialmente marinhas com dois flagelos e um haptonema. Estes Cocolitóforos, descobertos por Ehrenberg em 1836, constituem, juntamente com as Diatomáceas, a maior parte da composição do fitoplâncton marinho atualmente existente (Seyve, 1990). Para além dos Cocolitóforos existe ainda um grupo de nanofósseis normalmente designados de nanólitos que, apesar de se assumir que se terão originado também a partir das algas, as suas afinidades biológicas são muito incertas devido à falta de análogos existentes na atualidade (Bown & Cooper, 1998, Molina, 2004).

Os Cocolitóforos, tal como as algas haptófitas, são marinhos e vivem na zona fótica (até cerca de 200 m de profundidade) pois necessitam de luz solar para o seu metabolismo. São caracterizados por uma célula eucariótica vegetal com uma parede celular constituída por um exosqueleto de placas, dois flagelos e um terceiro entre estes dois, designado de haptonema (Fig. 1.1). O interior da célula inclui vários organelos, nos quais se destaca a existência de cloroplastos de coloração dourada-acastanhada proporcionando a fotossíntese, um núcleo individualizado onde se encontra o material genético, mitocôndrias com a missão de produzir energia para a célula, e ainda o complexo de Golgi, que consiste num conjunto de vesículas interligadas onde se realizam vários processos de biossíntese, entre os quais a produção a partir de estímulos da luz de placas calcárias de reduzidas dimensões (2-25  $\mu\text{m}$ ) que revestem a parede da célula e que se designam por cocólitos, nome dado pela primeira vez por Huxley em meados do séc. XIX. Ao conjunto dos cocólitos que rodeia a parede da célula dá-se o nome de cocosfera.



**Figura 1.1** – Representação esquemática de um cocolitoforídeo (modificado de Armstrong & Brasier, 2005).

Ora, são estes cocólitos que quando o organismo perece se transformam em elementos fossilizados e que se podem então conservar nos sedimentos dos fundos marinhos. Assim, é a partir da morfologia destas pequenas placas calcárias que revestem as paredes celulares dos Cocolitóforos (atuais e passados), que se estabelece a sua classificação. De acordo com observações realizadas através de microscopia electrónica, constatou-se que os cocólitos, se podem diferenciar em Holococólitos, constituídos apenas por cristais iguais de calcite arranjados numa ordem regular, e Heterococólitos, normalmente de maiores dimensões e constituídos por elementos calcíticos diferenciados que, juntos, formam uma estrutura rígida. Os Holococólitos normalmente não ocorrem no registo sedimentar devido à sua frágil estrutura, desintegrando-se logo após a sua desassociação do organismo, sendo portanto os Heterococólitos o grupo representado nesse registo (Armstrong & Brasier, 2005). Estes podem apresentar morfologias variadas, mas normalmente apresentam-se como a sobreposição de 2 discos elípticos constituídos por escudos de elementos calcíticos dispostos radialmente, em torno de uma área central (que pode surgir fechada) contendo também ela diferentes estruturas. O disco distal (mais distante do organismo) apresenta-se mais convexo, com uma arquitetura mais proeminente, muitas vezes acompanhada de uma espinha, e é normalmente maior do que o proximal (mais próximo do organismo), que se apresenta mais côncavo (Fig. 1.2).



**Figura 1.2** – Representação esquemática de uma cocosfera, de várias morfologias de cocólitos e seus constituintes (modificado de Armstrong & Brasier, 2005).

Quando vistos ao microscópio petrográfico ótico, tal como aconteceu no presente trabalho, as estruturas dos cocólitos apresentam-se bem mais simples do que na realidade são, pois em vez de uma visualização 3D apenas se obtém uma visão planar (2D) dos mesmos. Ainda assim, a análise do comportamento óptico dos cristais que os compõem permite a sua classificação. Estes apresentam diferenças entre os vários grupos, que se reflectem na chamada figura de interferência que se obtém quando se observa a lâmina contendo os cocólitos em nicóis cruzados.

## 1.2. Evolução e registo fóssil

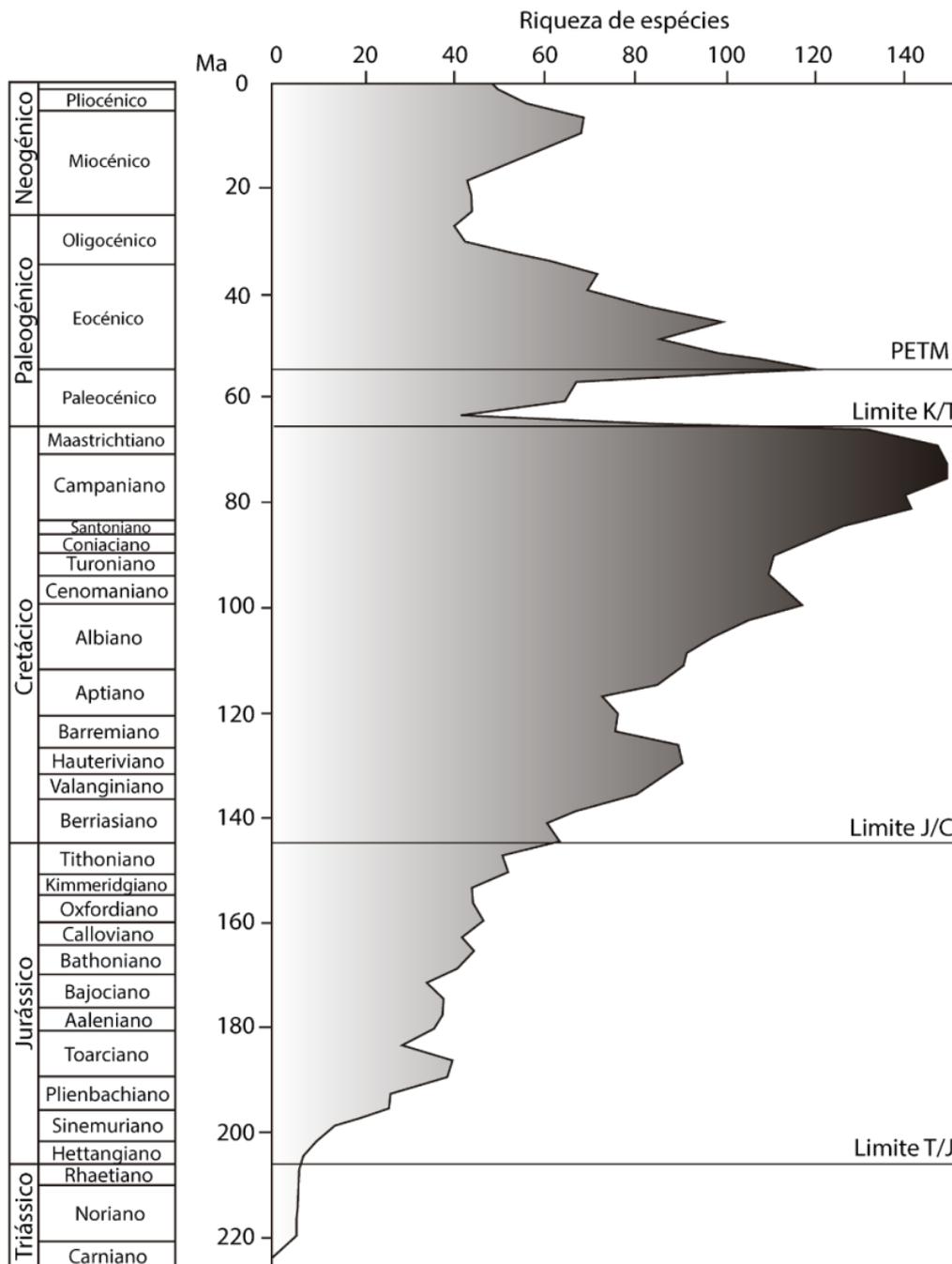
Os Cocolitóforos e o nanoplâncton calcário associado (nanofósseis calcários) são os organismos calcificadores mais abundantes que habitam atualmente no planeta, com um registo fóssil igualmente impressionante, constituindo talvez o grupo fóssil mais abundante e estratigraficamente mais completo (Bown *et al.*, 2004) (Fig.1.3).

Existem trabalhos que referem ocorrências de nanofósseis calcários ainda no Paleozóico, embora esses trabalhos levantem muitas dúvidas. No entanto, aqueles amplamente aceites, referem que os seus primeiros verdadeiros representantes surgiram apenas durante o período Triássico, mais concretamente no Carniano (~225 M.a. - Triássico Superior) tendo sido encontrados em afloramentos do Sul dos Alpes

(Bown & Cooper, 1998). Essas primeiras formas encontradas consistiam fundamentalmente de estruturas simples que se incluem no grupo dos *incertae sedis* como calcisferas, tendo também surgido no Noriano os primeiros cocólitos propriamente ditos, de pequenas dimensões e com morfologias simples, através dos géneros *Crucirhabdus* e *Archaeozygodiscus* (Bown & Cooper, *op. cit.*). Durante o Triássico a sua abundância e diversidade eram bastante reduzidas estando restringidos às baixas latitudes (Molina, 2004). No limite Triássico-Jurássico ocorreu uma extinção significativa que eliminou muitos dos grupos até então existentes. Seguidamente, durante o início do Jurássico ocorre um período de expansão e diversificação do nanoplâncton que ocupam todos os ambientes marinhos (Bown & Cooper, 1998), possivelmente relacionado com a geodinâmica da altura, com a separação dos continentes do supercontinente Pangeia, o que possibilitou a colonização de muitos novos nichos ecológicos marinhos e conduziu ao estabelecimento dos Cocolitóforos como o grupo dominante dentro dos nanofósseis (Bown & Cooper, *op. cit.*). Nesta altura e apesar da abundância e diversidade não serem muito elevados (Molina, 2004), os Cocolitóforos diversificam-se bastante com o número de espécies a passar de três no Rhaetiano (Triássico final) para mais de cinquenta durante o Toarciano, tendo no Pliensbachiano surgido seis grandes grupos, dos quais todos os grupos mais recentes do Mesozóico derivam (Bown, 1987). Após esta explosão radiativa no Jurássico, a diversidade e abundância dos nanofósseis calcários continua a aumentar de forma relativamente contínua durante o Cretácico, com um aumento enorme durante o Santoniano, atingindo um máximo durante o Maastrichtiano. É durante o período Cretácico que os estudos de nanofósseis calcários estão mais desenvolvidos, devido a esta abundância e diversidade e também devido ao facto de a maioria dos reservatórios de hidrocarbonetos que foram objeto de estudo serem dessa idade.

A razão para a rápida evolução deste grupo de microfósseis parece ser o seu tipo de reprodução assexuada, podendo assim uma espécie mutante com algum novo carácter diferenciador reproduzir-se de forma bastante rápida antes se darem trocas genéticas com as demais espécies, o que permite explicar o surgimento de novas espécies sem aparentemente existir uma evolução gradual a partir dos seus antecessores (Molina, 2004). A extinção em massa do limite Cretácico/Paleogénico afetou de forma severa as associações de nanofósseis, tendo-se extinguido cerca de 90% das espécies, que foram substituídas pelas Diatomáceas como o grupo dominante de nanoplâncton (Amrstrong & Brasier, 2005). No entanto, durante o Paleocénico recuperam, retomando novamente a sua importância no Eocénico Inferior

a Médio. Desde então têm vindo a sofrer um decréscimo paulatino, registando-se uma diminuição clara no Oligocénico, contrariada por um importante aumento durante o Miocénico, mas voltando a decrescer no Pleistocénico (Molina, 2004). Até à atualidade têm vindo a crescer em diversidade e abundância, retomando a sua dominância em águas temperadas e tropicais, no entanto sem nunca atingir a dominância que alcançaram durante o Mesozóico (Armstrong & Brasier, *op. cit.*).



**Figura 1.3** – Evolução na diversidade dos nanofósseis calcários ao longo do tempo geológico. PETM – Máximo Térmico do Paleocénico-Eocénico; K/T – Cretácico-Terciário; J/C- Jurássico-Cretácico; T/J – Triássico-Jurássico. (adaptado de Bown *et al.*, 2004).

### **1.3. Importância dos nanofósseis calcários para a Geologia do Petróleo**

Para além do claro interesse científico que se reconhece no estudo do nanoplâncton calcário do Mesozóico, sobretudo no Jurássico, para o aprofundamento do conhecimento, ainda muito incompleto, sobre as floras de nanofósseis calcários daquele intervalo estratigráfico, este grupo de microfósseis é objeto de interesse particular na Geologia do Petróleo. De facto, e à semelhança do que acontece com outros grupos de microfósseis estudados na Micropaléontologia, os nanofósseis têm também grande relevância na datação dos sedimentos marinhos provenientes de sondagens devido ao seu valor biostratigráfico, apresentando características próprias que os tornam particularmente úteis nas atividades de exploração da indústria dos hidrocarbonetos.

Apesar de terem sido descobertos ainda no séc. XIX, os primeiros trabalhos sobre nanofósseis resumiam-se a descrições morfológicas dos achados. De facto, foi apenas passado quase um século após a sua descoberta que se começou a perceber a utilidade do estudo dos nanofósseis calcários, através do trabalho pioneiro de Bramlette & Riedel (1954). Este trabalho demonstra, pela primeira vez, o valor dos nanofósseis calcários em estudos biostratigráficos, indicando a possibilidade de utilizar estes fósseis em correlações à escala global para sedimentos do Cenozóico. A partir daqui, e com o advento dos programas internacionais de perfuração dos fundos oceânicos que se desenvolvem desde 1968 (DSDP-Deep Sea Drilling Project e ODP-Ocean Drilling Program), foi produzida uma enorme quantidade de dados que permitiram consolidar a utilidade dos nanofósseis como elementos de correlação biostratigráfica. Neste contexto, surgiram diversos trabalhos com o propósito de estabelecer zonamentos biostratigráficos com base nos nanofósseis calcários, entre os quais os de Stradner (1963), Martini (1971), Bukri (1973), Barnard & Hay (1974) e Thierstein (1976) (Molina, 2004). A maioria destes trabalhos centrava-se no Cenozóico, pela maior quantidade de informação disponível, conseguindo-se atingir uma resolução biostratigráfica entre sessenta mil a um milhão de anos. Mais recentemente surgem os trabalhos de Bown & Cooper (1998) e Mattioli & Erba (1999) que servem ainda hoje de referência e que vêm cimentar o valor biostratigráfico deste grupo de microfósseis.

O valor biostratigráfico dos nanofósseis calcários, juntamente com a sua ampla distribuição paleogeográfica, a existência de diversas espécies índice e a facilidade de poderem ser recuperados e preparados em laboratório são características que partilham com outros grupos de microfósseis (como os foraminíferos) bastante úteis na

indústria dos hidrocarbonetos. Mas além disso, possuem algumas vantagens intrínsecas que a seguir se enumeram e descrevem:

1) Facilidade na preparação de amostras: as lâminas de nanofósseis calcários são preparadas de forma muito expedita (Ver Capítulo 3 – Metodologia), podendo ser realizadas na própria embarcação que realiza a perfuração e recuperação do sedimento. De facto, com um laboratório simples é possível com apenas 1 g de sedimento e um microscópio petrográfico obter-se resultados preliminares *in situ*. Esta facilidade permite o emprego desta técnica em instituições e empresas petrolíferas com baixos custos e rapidez de execução;

2) As dimensões diminutas dos nanofósseis calcários contribuem para a sua conservação por inteiro, minimizando alterações na sua estrutura e composição, o que facilita a sua identificação e classificação, além de resistirem moderadamente aos efeitos diagenéticos quando são feitas sondagens com perfurações mesmo em rochas fraturadas;

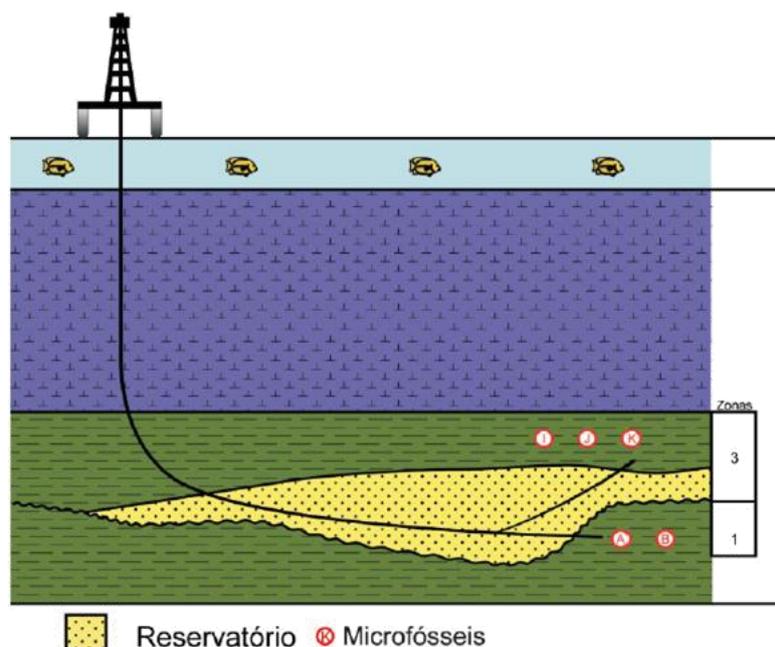
3) A sua grande abundância, decorrente do seu curto ciclo de vida, com duração entre 4 a 10 dias em águas tropicais, a presença de cerca de  $10^4$  indivíduos por litro de água e o facto da maioria dos cocólitos atingirem o fundo marinho (cerca de 92%) conduz à formação de grandes concentrações de nanofósseis nos sedimentos marinhos (entre  $10^9$  a  $10^{12}$  nanofósseis por  $\text{cm}^3$  de sedimento) (Honjo, 1976);

4) As elevadas taxas de evolução deste grupo, em que representantes com rápida diversificação biológica ocorrem geralmente associados a exemplares cosmopolitas fornece excelentes indicadores para a datação de rochas e correlação entre poços (Alves & Wanderley, 2003).

Existem, no entanto, algumas limitações quanto à utilização dos nanofósseis calcários em estudos biostratigráficos. Uma das dificuldades está relacionada com a sistemática deste grupo que se baseia fundamentalmente na fenética, ou seja, na morfologia e estrutura dos cocólitos (Bown & Cooper, 1998). Uma outra dificuldade taxonómica prende-se com o facto de estes organismos poderem apresentar acentuado dimorfismo (Lohman em 1902 foi o primeiro a reconhecê-lo), ou seja, um mesmo organismo pode produzir cocólitos com diferentes morfologias, bem como produzir tipos diferentes consoante o estágio do seu ciclo de vida (Panera, 2010). Outra questão prende-se com as suas diminutas dimensões o que, para além de dificultar a classificação, levanta ainda problemas de índole tafonómica e metodológica, já que os cocólitos, depois de desagregados do organismo, podem

percorrer grandes distâncias lateralmente (até 130 km) enquanto se vão afundando na coluna de água, podendo dar origem a associações com elementos alóctones (Honjo, 1976). A questão da preservação, nomeadamente a dissolução, é também de ter em conta tanto na deposição como na diagénese, tendo a posição do nível de compensação de carbonato na coluna de água um papel primordial na preservação ou dissolução do nanoplâncton calcário. Esta posição depende de vários fatores ambientais, tais como a temperatura, a pressão, a salinidade e a concentração de carbonato de cálcio dissolvida no meio (Panera, 2010). Apesar disto e do seu pequeno tamanho, os nanofósseis calcários, que biomineralizam calcite de baixo teor magnésiano, são tidos como significativamente mais resistentes à dissolução do que outros organismos planctónicos de parede calcária, tais como os foraminíferos e os pterópodes (Honjo, 1977).

Para além da sua aplicabilidade como ferramenta de correlação estratigráfica e datação de testemunhos de sondagens, os estudos de nanofósseis calcários podem ainda permitir o reconhecimento de inconformidades e o *biosteering*. A identificação de inconformidades pode ser reconhecida através da sua biostratigrafia que proporciona uma imediata precisão de biohorizontes em contexto global. Com dados biostratigráficos de boa qualidade é possível caracterizar cronostratigraficamente possíveis eventos de inconformidades possibilitando o dimensionamento de hiatos por comparação com biozonas padrão e a escala do tempo geológico, o que se revela particularmente útil na delimitação de sequências e de possíveis armadilhas estratigráficas (Alves & Wanderley, 2003). Atualmente são perfurados poços na horizontal com o intuito de melhorar a produção de petróleo, havendo a necessidade de se monitorizar o furo com o máximo de precisão. Uma das técnicas que permitem guiar com êxito os furos até ao reservatório é o denominado *biosteering* (Fig. 1.4). Esta consiste no acompanhamento biostratigráfico de segmentos horizontais de poços de produção através da identificação estratigráfica de um eventual desvio da trajetória horizontal do furo em relação ao reservatório. A orientação desse desvio é conseguida através do conhecimento das associações registadas nas amostras que se vão obtendo a partir da perfuração, possibilitando a correção em tempo real da trajetória do furo em direção ao objetivo (Antunes *et al.*, 2004).



**Figura 1.4** – Exemplificação da monitorização biostratigráfica (*biosteering*) em segmentos horizontais de furos (Antunes *et al.*, 2004).

Os nanofósseis calcários podem ainda ser utilizados na realização de interpretações paleoecológicas, paleoceanográficas e paleoclimáticas. De facto, a partir dos anos 1980 os nanofósseis calcários têm sido vistos cada vez mais como uma ferramenta de grande interesse para decifrar estas questões, resultando em trabalhos de investigação que os utilizam como importantes pistas na determinação da temperatura da superfície da água do mar, da disponibilidade de nutrientes, na quantificação da produtividade primária e ainda na tentativa de compreender o papel desempenhado por estes organismos no ciclo global do carbono, especialmente durante o Cretácico (Mutterlose, 2005).

#### 1.4. Objetivos

Com o trabalho aqui apresentado pretende-se contribuir para o aprofundar do conhecimento sobre os nanofósseis calcários da passagem Jurássico Inferior-Jurássico Médio (Toarciano superior-Aaleniano inferior) a partir das suas associações registadas ao longo do perfil de São Gião, localizado no Setor Norte da Bacia Lusitânica.

A partir do estudo das associações de nanofósseis calcários identificadas nas amostras recolhidas ao longo do perfil, pretende-se

- 1) Reconhecer unidades biostratigráficas estabelecidas para o nanoplâncton calcário, bem calibradas com a escala biostratigráfica padrão já existente

baseada no registo de *Ammonoidea*, que se encontra bem definida em São Gião (Henriques, 1992);

- 2) Para tal, serão identificados os representantes de nanofósseis calcários que integram as associações registadas no perfil, bem como analisadas as respetivas distribuições estratigráficas;
- 3) Correlacionar as unidades biostratigráficas reconhecidas com as escalas biostratigráficas de referência estabelecidas para os Domínios Boreal e Tétisiano, mormente com os trabalhos de Bown & Cooper (1998) e de Mattioli & Erba (1999);
- 4) Analisar a composição das associações registadas e inferir as condições paleoecológicas a que terão estado sujeitas as associações originais, bem como determinar as suas afinidades com as associações típicas dos Domínios Boreal e Tétisiano;
- 5) Avaliar, a partir da análise da composição das associações de nanofósseis registados, a ocorrência, ou não, de eventos de extinção reconhecidos em outras bacias para a Subzona Comptum (o “Comptum cooling event”), até agora não detetado na Bacia Lusitânica, a partir do estudo, quer das associações de *Ammonoidea*, quer das associações de foraminíferos bentónicos (Henriques & Canales, 2013).

Assim, com a realização do presente trabalho pretende-se contribuir para aprofundar o conhecimento em micropaleontologia de nanofósseis calcários registados em unidades do Jurássico da Bacia Lusitânica, fósseis que constituem uma importante ferramenta de trabalho quer para estudos académicos quer para trabalhos aplicados à indústria dos hidrocarbonetos.

## **Capítulo 2. Enquadramento geográfico e geológico**

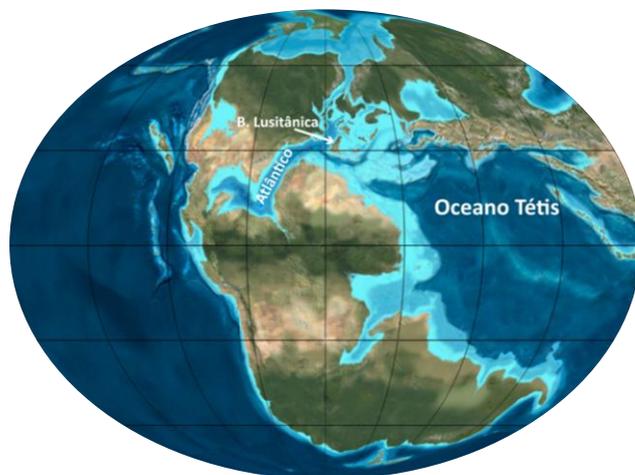
---

## 2. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO

Neste capítulo apresenta-se uma síntese dos enquadramentos geográfico e geológico da Bacia Lusitânica, assim como das principais etapas do seu enchimento sedimentar (em 2.1). Refere-se, igualmente, a localização e enquadramento estratigráfico do perfil de São Gião, bem como a sua descrição (em 2.2.).

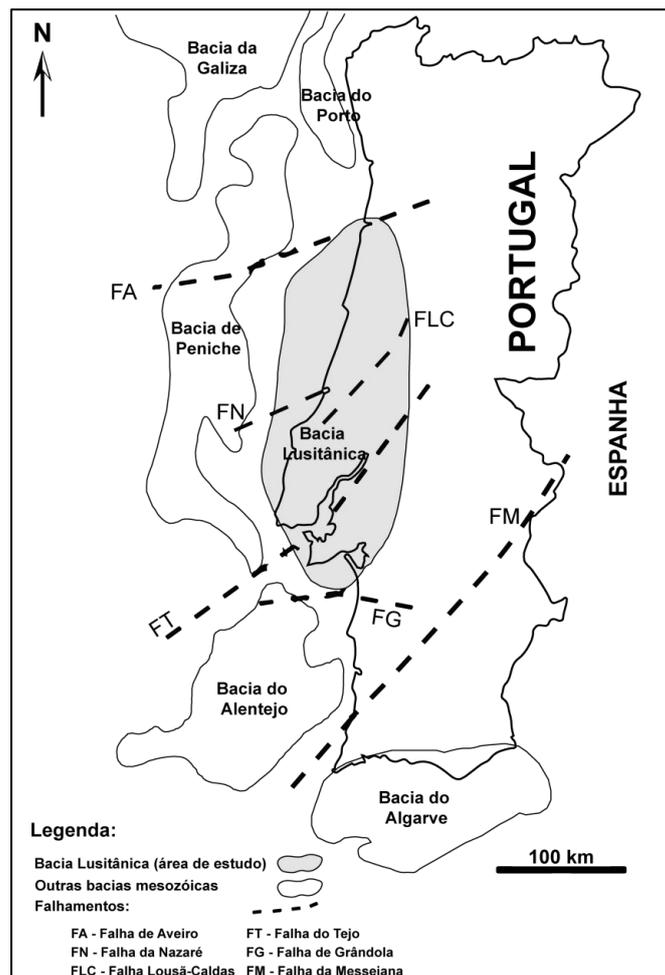
### 2.1. Enquadramento geral da Bacia Lusitânica

Os estudos dos nanofósseis calcários realizados no âmbito do presente trabalho foram desenvolvidos a partir de amostragem realizada numa bacia sedimentar Ceno-Mesozóica, a Bacia Lusitânica. Esta localiza-se na Margem Ocidental Ibérica, uma margem continental do tipo atlântico de rift não vulcânica (Azerêdo *et al.*, 2003; Kullberg *et al.*, 2013), e faz parte de um conjunto de bacias que se enquadram no contexto de fragmentação da Pangeia, durante as fases de *rifting* dos finais do Triássico-Jurássico Inferior (Ribeiro *et al.*, 1979; Kullberg *et al.*, 2013) (Fig. 2.2). A génese da Bacia Lusitânica está, assim, associada à abertura do Atlântico Norte, em contexto tectónico distensivo. Segundo Pena dos Reis *et al.* (2010), esta bacia peri-atlântica, por ter sido originada num domínio tétisiano, partilha com ambos os oceanos (Atlântico e Tétis), alguns dos controlos e características tectono-sedimentares (Fig.2.1). Com uma orientação NE-SW, é maioritariamente uma bacia *onshore* (cerca de 2/3 aflora na área continental emersa e 1/3 encontra-se imersa, na plataforma continental; Kullberg *et al.*, 2013), estendendo-se por cerca de 300 km de comprimento e 150 km de largura (Azerêdo *et al.*, 2003). Apresenta uma cobertura sedimentar de cerca de 5 km de espessura de sedimentos (Ribeiro *et al.*, 1979; Wilson, 1988), sobretudo de idade jurássica, que abrange o intervalo Triássico Superior-Cretácico Superior, e cobertura terciária (Azerêdo *et al.*, 2003).



**Figura 2.1** – Paleogeografia esquemática com a localização da Bacia Lusitânica no contexto de dois domínios, Tétis e Atlântico, durante a passagem Jurássico Inferior-Jurássico Médio (modificado de Deep Time Maps™).

A bacia é delimitada a Este pelo Maciço Hespérico, dando-se este contacto por falha (faixa de cisalhamento Porto-Tomar); a Sul de Tomar pelas falhas de Arrife – Vale Inferior do Tejo) com uma orientação SW-NE; a SE pela falha de Setúbal-Pinhal Novo. A Oeste, o seu limite é apenas representado pelos *horsts* do soco aflorantes nos ilhéus das Berlengas e Farilhões (Azerêdo *et al.*, *op. cit.*). A faixa de cisalhamento Porto-Coimbra-Tomar, orientada NNW-SSE, possui uma geometria geral subvertical e normal. Ao longo deste rebordo oriental, na faixa interna da bacia, desenvolve-se um corredor estrutural com orientação meridiana e largura entre os 5-15 km, que se estende desde poucos quilómetros a Norte de Coimbra até Tomar. Este corredor apresenta uma série de estruturas em *horst* e *graben*, delimitadas por falhas com geometria essencialmente lítrica, com acomodação distensiva E-W (Kullberg *et al.*, 2013). Pelo facto de apresentar tão boa qualidade e quantidade de afloramentos, tem sido alvo, ao longo dos tempos, de muitos estudos conduzidos por geólogos especialistas de variados domínios, muitos deles ligados à indústria do petróleo, servindo de bacia análoga (e.g., Pena dos Reis & Pimentel, 2014; Pimentel & Pena dos Reis, 2016).



**Figura 2.2** – Localização da Bacia Lusitânica entre as bacias Cenozoica da Margem Ocidental Ibérica (modificado de Alves, 2006).

A génese e a conseqüente estruturação da Bacia Lusitânica encontram-se intimamente ligadas à primeira fase de *rifting* (Triássico-Sinemuriano) constituindo o primeiro registo de vários episódios de *rifting* (Pinheiro *et al.*, 1996, Kullberg *et al.*, 2013). Associados a cada uma destas fases, surgem grandes conjuntos de depósitos de sedimentos, constituindo as designadas sequências limitadas por descontinuidades – SLD (UBS em inglês) –, que permitem uma interpretação generalizada dos grandes acontecimentos e transformações geodinâmicas que afetaram a Bacia Lusitânica (Wilson, 1988; Wilson *et al.*, 1989; Pena dos Reis *et al.*, 1992; Cunha, 1992; Pena dos Reis *et al.*, 2011).

Ora, ao longo do Mesozóico, é possível compartimentar a evolução da bacia em 5 grandes etapas de enchimento sedimentar (Fig. 2.3), correspondentes às já mencionadas SLD e que seguidamente se descrevem, com maior ênfase na primeira (SLD1), dado o enfoque do presente trabalho nela incidir: Triássico Superior – Calloviano (SLD1); Oxfordiano – Berriasiano (SLD2); Valanginiano – Aptiano inferior (SLD3) (Wilson, 1988; Wilson *et al.*, 1989); Aptiano superior – Campaniano inferior (SLD4); Campaniano superior – Maastrichtiano (SLD5) (Cunha, 1992). Associada à fragmentação da Pangeia por estiramento crustal surge a primeira fase de *rifting* no Triássico Superior, ajudada pela existência de estruturas antigas (fraturas e falhas do final da orogenia varisca) (Wilson, 1988; Pinheiro *et al.*, 1996).

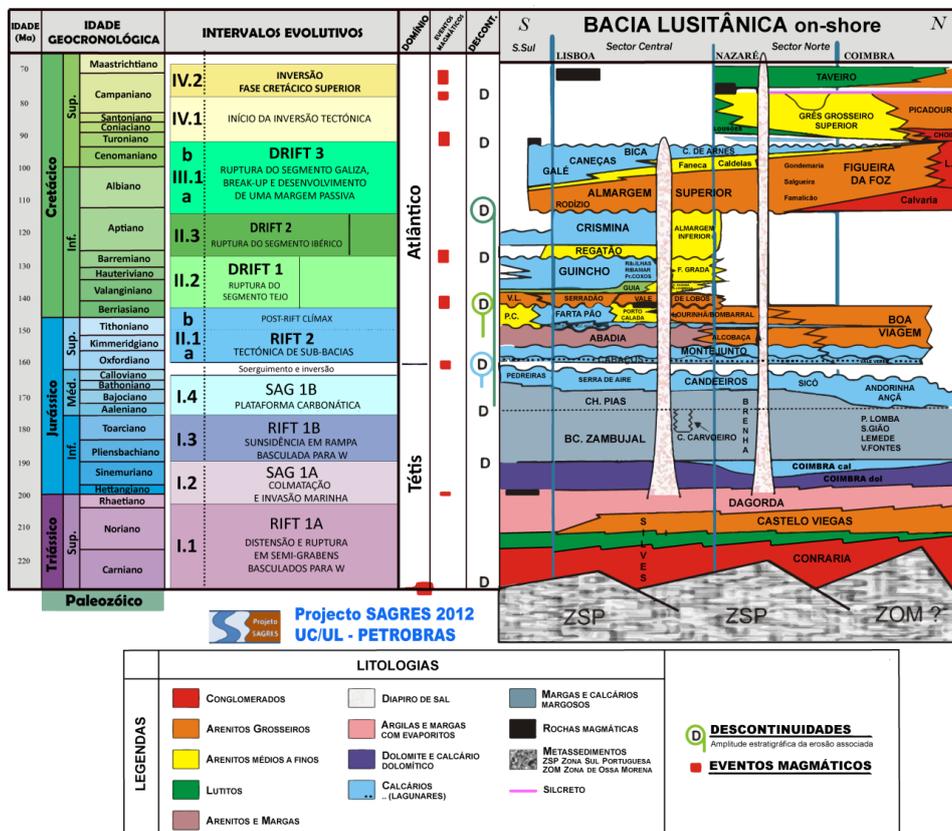


Figura 2.3 – Quadro litostratigráfico do Mesozóico da Bacia Lusitânica (adaptado de Pena dos Reis *et al.*, 2011).

Os sedimentos depositados e que materializam o contexto geodinâmico deste período constituem a SLD1. Estes, durante o Triássico, depositaram-se num contexto tectónico ativo de falhamentos normais e reativação de acidentes do soco produzindo um sistema de *grabens* e *semi-grabens* que condicionou a sedimentação. Esta apresenta inicialmente um cariz aluvio-fluvial com conglomerados, arenitos e pelitos vermelhos que passam lateral e superiormente a sedimentos pelítico-carbonatados e evaporíticos, abrangendo já o Jurássico Inferior (Palain, 1976, Azerêdo *et al.*, 2003). Nesta altura (Hettangiano), registam-se as primeiras fácies de influência marinha. Primeiro com uma sedimentação de depósitos lutíticos com abundante gesso e halite, generalizada na bacia com depósitos areníticos finos e dolomitos (Pena dos Reis *et al.*, 2008), testemunhando o carácter litoral, lagunar e de planície de inundação de maré, e mimetizando as condições climáticas que se observam nos atuais ambientes de *sabkha* (Azerêdo *et al.*, 2003). Depois, com uma sedimentação de cariz marinho mais vincado, de fácies carbonatas cada vez mais profundas até ao Toarciano que mostram uma progressiva abertura da bacia ao meio marinho. Esta progressão para NW faz-se a partir de uma sedimentação rasa, de baixa energia que evolui para uma rampa carbonatada homoclinal, representada por uma série margo-calcária monótona e rítmica (Pliensbachiano-Toarciano), cuja configuração sedimentológica sugere uma paleogeografia controlada por um mar epicontinental, sustentada por uma rampa carbonatada de suave inclinação para NW (Duarte, 1997; Duarte & Soares, 2002). Toda esta sedimentação (Toarciano-Aaleniano inferior) é materializada por uma alternância margo-calcária, de características hemipelágicas.

No Aaleniano reconhece-se uma descontinuidade, com hiato deposicional de cerca de 1 Ma (correspondente à Biozona Murchisonae, Henriques, 1992), registando evidências de instabilidade tectónica, como figuras erosivas, *slumps* e *debris-flows* submarinos (Azerêdo *et al.*, 2003; Pena dos Reis *et al.*, 2011).

No final do Aaleniano e com a passagem para o Bajociano acentua-se gradualmente a tendência regressiva, com ocorrência cada vez mais significativa de fácies de pequena/média profundidade a E/SE e retração das fácies mais externas para W/NW, definindo-se uma rampa carbonatada em plena progradação (Mouterde *et al.*, 1979; Azerêdo *et al.*, 2003). A partir do Bajociano, o sistema deposicional de rampa carbonatada não vai apenas manter-se mas também evoluir para uma rampa de alta energia, adquirindo a sua máxima expressão no Bathoniano-Calloviano, com carbonatos de ambiente transicional, perimareal e margino-marinho confinado (Azerêdo *et al.*, *op. cit.*). É possível então dizer que, durante o Jurássico Médio, a sedimentação teve lugar em plataforma carbonatada correspondente à rampa externa

de águas relativamente profundas. Era caracterizada por fácies de meio marinho externo, mas com um progressivo decréscimo do espaço de acomodação (Duarte, 1997; Azerêdo *et al.*, 2003).

Este primeiro enchimento sedimentar (SLD1) é limitado superiormente por uma importante descontinuidade de âmbito bacinal, associada a uma lacuna estratigráfica que afeta o Calloviano superior e o Oxfordiano inferior, sugerindo uma significativa descida do nível do mar, simultânea com a etapa de elevação térmica que antecede nova fase de *rifting* expondo a plataforma (Pena dos Reis *et al.*, 1992; Soares *et al.*, 1993; Azerêdo *et al.*, 2003; Pena dos Reis *et al.*, 2011).

Com esta nova fase de *rifting*, materializa-se o segundo grande pacote sedimentar, a SLD2 (Oxfordiano-Berriasiano), correspondente ao Jurássico superior. Ao longo deste período, os sedimentos depositados sofreram a influência duma subsidência controlada quer por falhamentos, quer pela halocinese, traduzindo-se numa sedimentação mista, carbonatada-siliciclástica (Wilson, 1988; Rasmussen *et al.*, 1998). Durante este período, a evolução tectono-sedimentar pode ser dividida em 3 sub-etapas (Pena dos Reis *et al.*, 1996). A primeira (Oxfordiano médio) está associada à instalação do *rifting*, responsável por uma inundação generalizada da bacia, materializada em depósitos essencialmente carbonatados de cariz lacustre e marinhos rasos (Wilson, 1988; Pena dos Reis *et al.*, 2011). A segunda etapa (Oxfordiano final – Kimmeridgiano superior) é marcada pelo clímax extensional da fase de *rifting*, produzindo condições de máxima subsidência. Neste contexto geodinâmico de grande subsidência, a bacia diferencia-se em várias sub-bacias com um intenso influxo siliciclástico. Juntamente com uma fase de *rifting* tardio (terceira etapa - Kimmeridgiano superior, Titoniano e Berriasiano - interpretado como um período de subsidência térmica, devido a variações eustáticas), reconhece-se uma progradação dos sistemas siliciclásticos com enchimento significativo da bacia e redução da dominância das fácies carbonatadas até então predominantes (Pena dos Reis *et al.*, *op. cit.*). Estes sistemas vão-se prolongando pelo início do Cretácico (até ao Berriasiano), entroncando depois, durante a passagem Berriasiano superior-Valanginiano inferior, numa descontinuidade com valor angular e regional (Rey *et al.*, 2006; Pena dos Reis *et al.*, 2008), resultante de um episódio estruturante, também relacionado com uma acentuada queda do nível do mar (Pena dos Reis *et al.*, 1992) que marca a passagem para a SLD3.

Durante a deposição da SLD3, até à descontinuidade intra-Aptiana, a bacia estruturava-se num setor central deprimido, limitado por semi-*grabens*, sendo o registo

do depocentro constituído sobretudo por carbonatos marinhos de plataforma (a Sul), que passam lateralmente a sedimentos siliciclásticos de sistema de transição e continentais (a Norte) (Pena dos Reis *et al.*, *op.cit.*), não existindo registo no setor mais setentrional da bacia (a Norte do paralelo de Peniche/Caldas da Rainha) (Cunha & Reis, 1995; Rey *et al.*, 2006).

Aquando da transição Aptiano-Albiano (início da SLD4) um importante evento tectónico cria uma superfície erosiva à escala da bacia, sendo também reconhecida em muitas outras bacias da Europa Ocidental, quer de domínio tétisiano quer boreal, bem como da margem conjugada norte-americana. Esta importante descontinuidade marca, com a criação de crosta oceânica a ocidente, uma transição do contexto geodinâmico da bacia, de *rift* para margem passiva (Dinis *et al.*, 2008), contribuindo para a rotação anti-horária da Placa Ibérica, e mais tarde (Aptiano), para o acentuar do fecho do Golfo de Biscaia (Pena dos Reis *et al.*, 2011) com as consequentes modificações no regime de sedimentação. Deste importante acontecimento resulta a deposição em toda a Bacia Lusitânica de sedimentos areníticos e conglomeráticos fluviais (Rey *et al.*, 2006) que se prolongam até ao Cenomaniano (Dinis, 1999). No final do Cenomaniano, ocorre uma importante transgressão (Cenomaniano-Turoniano), originando a maior extensão marinha ocorrida na Bacia Lusitânica durante o Cretácico (Pena dos Reis *et al.*, 2011), que atinge porções do setor meridional, tais como as regiões do Baixo Mondego com fácies marinhos de plataforma aberta (Dinis *et al.*, 2008). Depois deste período de máxima transgressão marinha seguiu-se uma descida eustática que levou à progradação e posterior incisão de materiais essencialmente fluviais (Pena dos Reis *et al.*, 1992; Pena dos Reis *et al.*, 2011), cujo início é representado por materiais areno-lutíticos de sistemas de transição (Pena dos Reis *et al.*, 1992). No topo da sequência SLD4, já no Campaniano, regista-se um espesso silcreto, traduzindo uma meteorização tropical durante um período longo (Pena dos Reis *et al.*, *op.cit.*; Cunha & Reis, 1995; Rey *et al.*, 2006; Dinis *et al.*, 2008).

A etapa de enchimento correspondente à SLD 5 encontra-se restringida ao setor setentrional da orla meso-cenozóica, com maior registo expresso nas regiões do Baixo Mondego e Aveiro (Kullberg *et al.*, 2013) e marca uma mudança no contexto geodinâmico atuante. A Norte da Placa Ibérica a formação de crosta oceânica interrompe-se com o início do fecho do Golfo de Biscaia, e a Sul a Ibéria acreciona-se com a placa africana movendo-se em conjunto com a Ibérica (Dinis *et al.*, 2008; Pena dos Reis *et al.*, 1992). Esta geodinâmica decorre da intensificação da compressão pirenaica N-S (Dinis *et al.*, 2008, Kullberg *et al.*, 2013) no âmbito da Orogenia Alpina. Devido a este contexto, é desencadeada uma intensa atividade tectónica, ígnea e

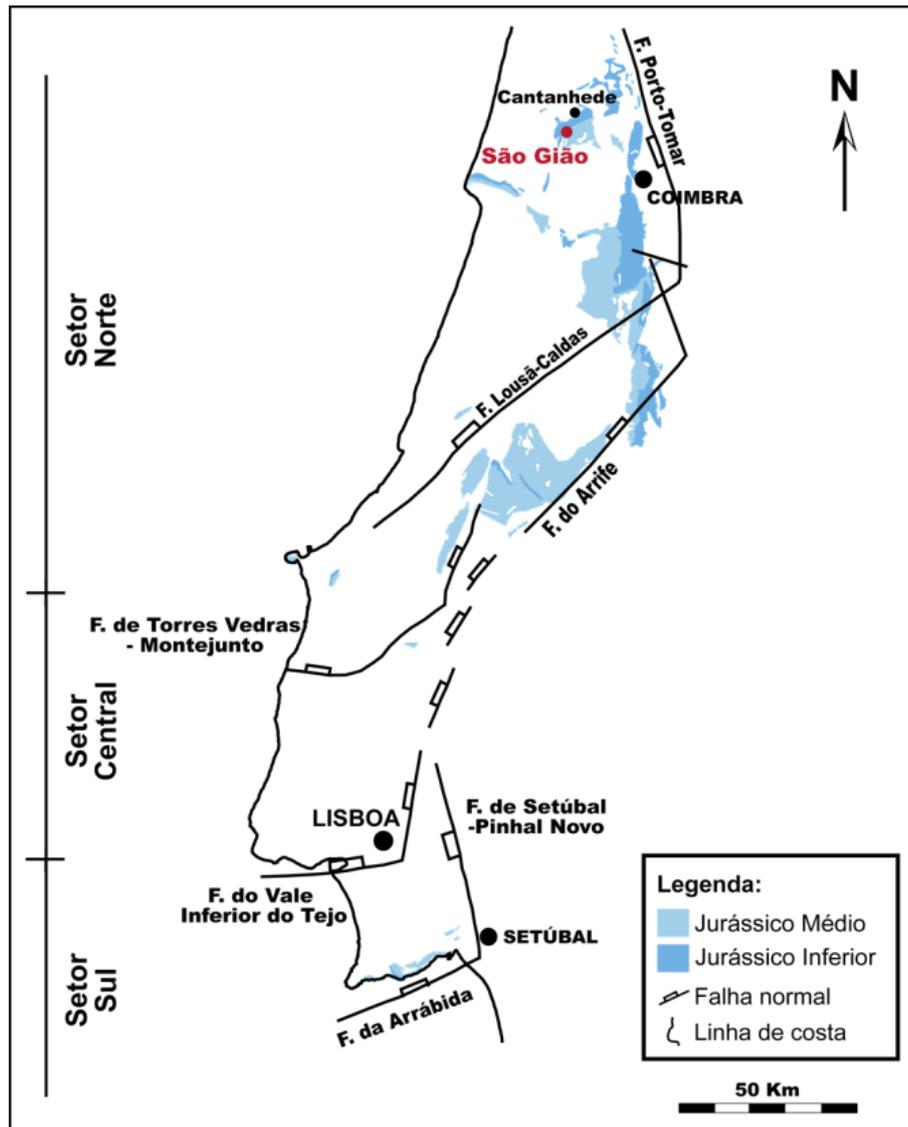
diapírica, particularmente a Sul do paralelo de Nazaré e no *offshore* (Pena dos Reis *et al.*, 2011). Esta atividade teve influência no tipo de sedimentação resultante, caracterizada pela formação de uma rede de drenagem fluvial para NW (Cunha & Reis, 1995; Dinis *et al.*, 2008). Assim, pode afirmar-se que esta última etapa marca o início do fenómeno de inversão tectónica na Bacia Lusitânica, que tem a sua máxima expressão no Miocénico superior (Pena dos Reis *et al.*, 2011). No Cenozóico, partindo desta etapa de inversão da bacia, separam-se duas bacias, a bacia do Mondego a Norte e a bacia do Tejo a Sul.

## **2.2. Enquadramento geográfico e geológico do perfil de São Gião**

O Jurássico Inferior e Médio da Bacia Lusitânica aflora em três grandes setores que mostram um expressivo enchimento carbonatado, alternando por vezes com sucessões rítmicas de margas e calcários (Soares *et al.*, 1993; Duarte, 1997). Um está localizado na região de Figueira da Foz – Cantanhede (Setor Norte da Bacia, a Norte da falha de Lousã-Caldas) com uma sedimentação rica em cefalópodes (Duarte, 1997). Outro situa-se na região do Maciço Calcário Estremenho (setor Central delimitado pelas falhas de Nazaré a Norte e do Arrife e do Vale Inferior do Tejo a Sul) com abundante fauna nectónica que passa a nectónica e bentónica já no Toarciano (Azerêdo *et al.*, 2003). Por último, no setor Sul da Bacia, a Sul da Falha do Vale Inferior do Tejo (região de Tomar-Serra da Arrábida), de expressão muito condensada, composto por fácies bioclásticas muito ricas em macrofauna bentónica de águas pouco profundas (Duarte, 1997) (Fig.2.4).

### **2.2.1 Localização**

O perfil de São Gião, situado na região de Figueira da Foz-Cantanhede (setor Norte da Bacia Lusitânica), localiza-se a cerca de 5 km a SSW da cidade de Cantanhede no distrito de Coimbra, a uma altitude de 100 m e tem as seguintes coordenadas: 40°18'12,63"N; 8°37'17,58"W (Fig. 2.4). A base do perfil situa-se a cerca de 650 m a SSE do vértice geodésico de São Gião (Henriques, 1992; Henriques & Canales, 2013).



**Figura 2.4** – Localização do perfil de São Gião enquadrado no contexto do Jurássico Inferior e Médio da Bacia Lusitânica (modificado de Kullberg, 2000 e de Figueiredo, 2009). Apresenta-se a divisão da Bacia em três setores segundo Ribeiro *et al.* (1996).

### 2.2.2. Descrição do perfil de São Gião

O perfil estudado constitui um afloramento de referência da transição Jurássico Inferior – Jurássico Médio para a Bacia Lusitânica (Henriques, 1992; Goy *et al.*, 1996; Azerêdo *et al.*, 2003). Isto deve-se ao facto de ser uma das poucas zonas na Europa onde este intervalo temporal encontra um registo tão expandido (cerca de 45 m), exibindo excelentes condições de exposição e sendo de fácil acesso (Henriques & Canales, 2013). Também o seu rico conteúdo fóssilífero, nomeadamente o registo de associações de amonóides, permite o reconhecimento das unidades biostratigráficas padrão para o intervalo de tempo relativo à passagem Toarciano-Aaleniano – biozonas Aalensis (subzonas Mactra e Aalensis) e Opalinum (subzonas Opalinum e Comptum),

bem como fundamentar reconstruções paleobiogeográficas do Tétis Ocidental (Sandoval *et al.*, 2012b). Para além dos trabalhos sobre paleontologia de amonóides (Mouterde *et al.*, 1979; Caloo-Fortier, 1985; Henriques, 1992), o perfil de São Gião foi já igualmente objeto de estudos micropaleontológicos, nomeadamente sobre foraminíferos bentónicos (Magno, 2010; Henriques & Canales, 2013) e de nanofósseis calcários, embora este último grupo tenha sido estudado de forma muito preliminar (Henriques & Perilli, 2000).

O perfil de São Gião posiciona-se na base da unidade formalizada em Azerêdo *et al.* (2003) como Formação de Póvoa da Lomba (Toarciano superior-Aaleniano) (figs. 2.5 e 2.6), inicialmente designada por Calcários margosos da Póvoa da Lomba na Carta Geológica 19-A à escala 1/50 000 de Cantanhede (fig. 2.7) (Barbosa *et al.*, 1988; 2008) e depois como Membro de Póvoa da Lomba (Rocha *et al.*, 1996). Esta unidade contacta com a unidade subjacente da Formação de São Gião formalizada em Duarte & Soares (2002) através de um contacto que define, devido a erosão diferencial, uma pequena costeira de traçado levemente arqueado, observável em toda a sua extensão, até à localidade de Póvoa da Lomba (Henriques, 1992). Segundo Barbosa *et al.* (1988, 2008), a Formação de Póvoa da Lomba apenas tem significado efetivo na região de Coimbra-Cantanhede; no entanto, ela surge também descrita para a zona de Sicó (Rabaçal, a Sul de Coimbra) (Azerêdo *et al.*, 2003).

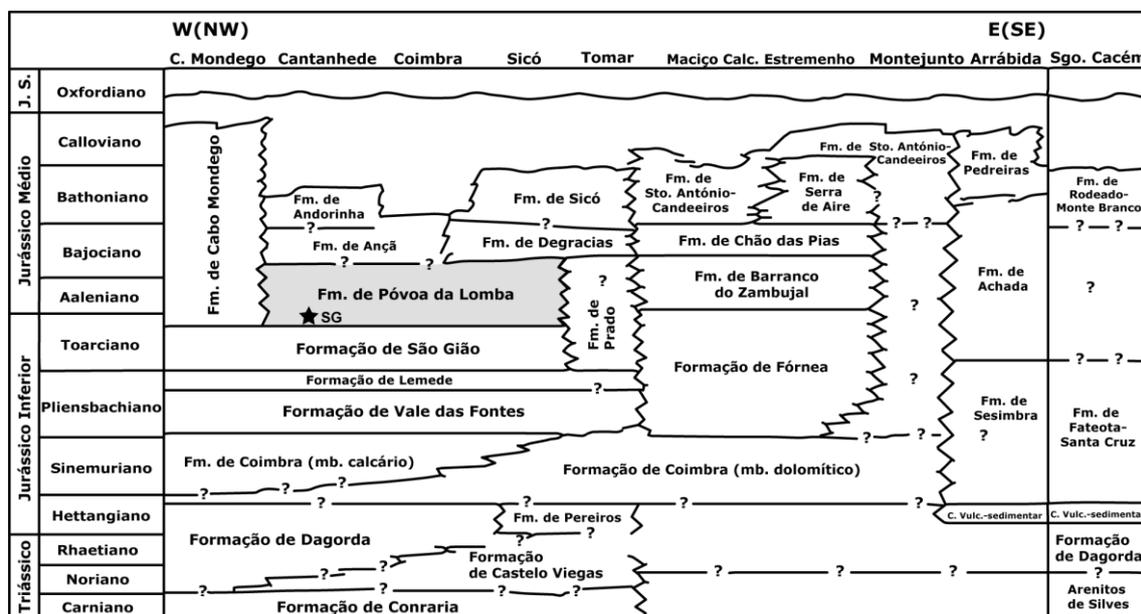
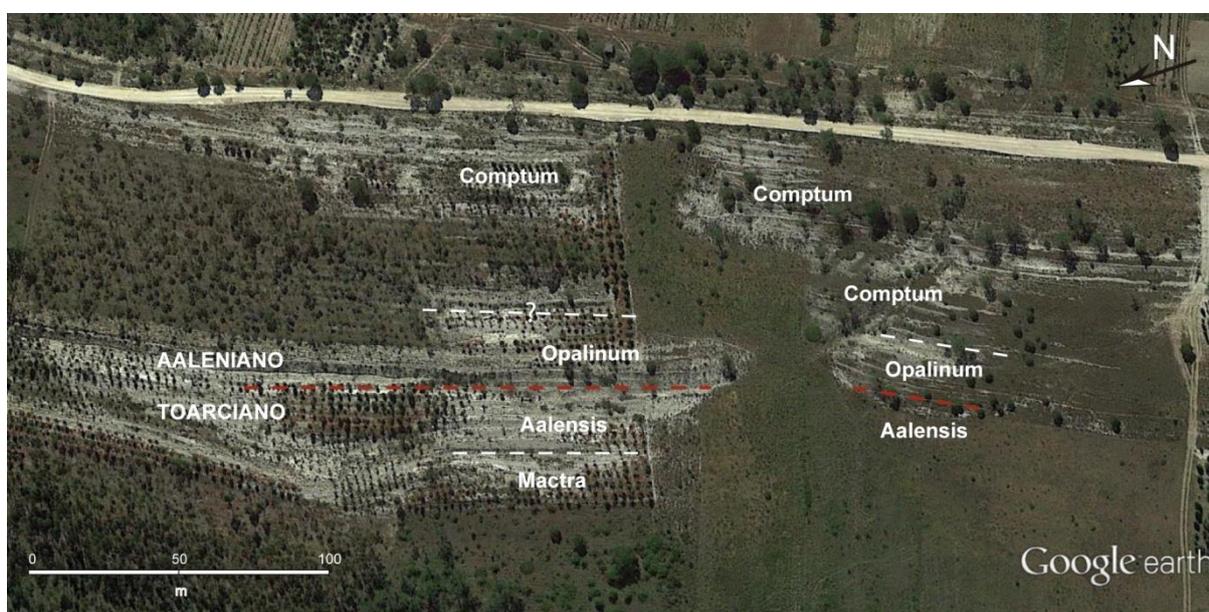


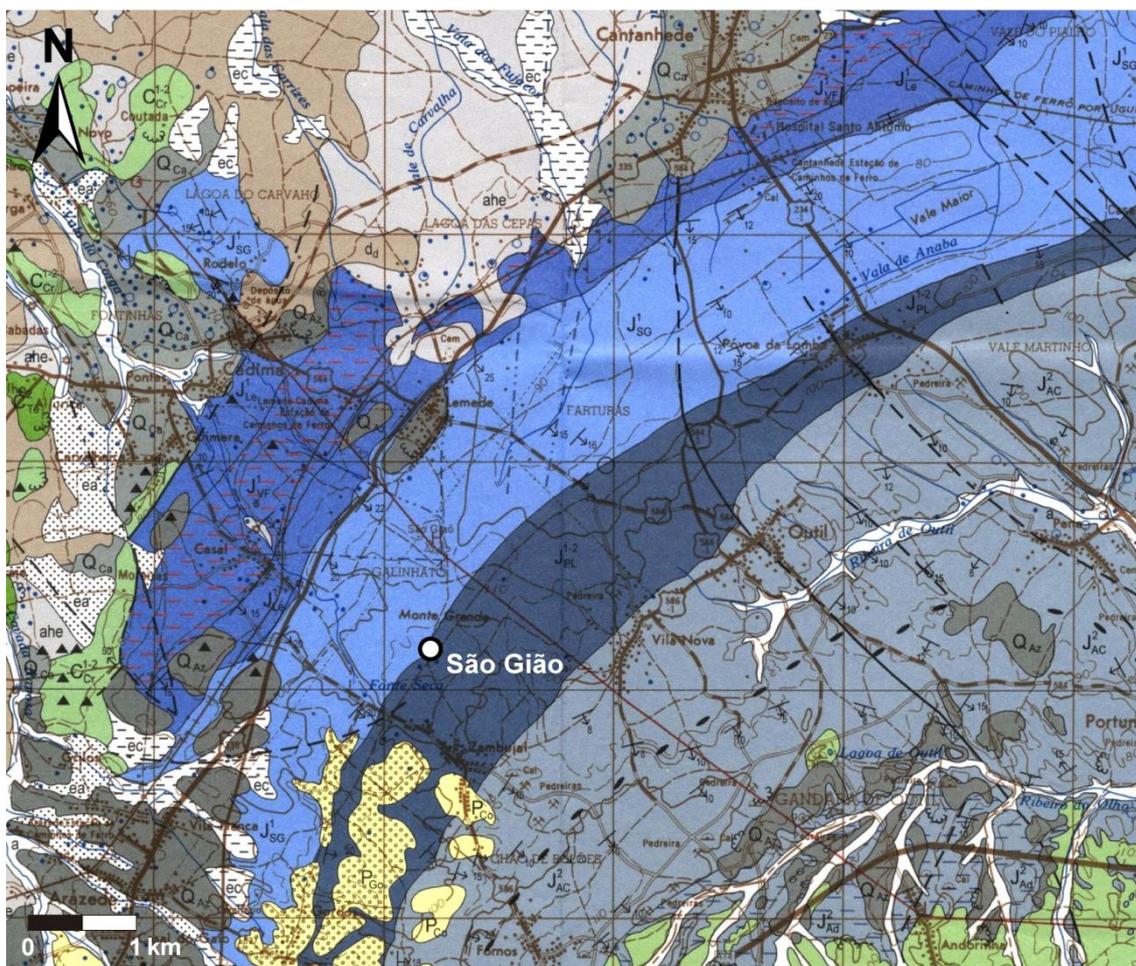
Figura 2.5 – Quadro litostratigráfico das unidades do Jurássico Inferior e Médio da Bacia Lusitânica com destaque para a Formação de Póvoa da Lomba e para o perfil de São Gião (adaptado de Azerêdo *et al.*, 2003).

Em Coimbra, a unidade é correlativa, em parte, dos Calcários de Pedrulha (Soares *et al.*, 1985), onde é essencialmente de idade aaleniana, apresentando cerca

de 55 m de espessura de calcários margosos e margas, com micritos e biomicritos a biomicrosparitos (*packstones* a *grainstones*) para o topo. Em Cantanhede (São Gião) a unidade apresenta-se mais margosa do que em Coimbra. A Sul de Coimbra (Rabaçal) apresenta-se como um conjunto inferior mais margoso e localmente rico em amonites que passa superiormente a outro mais micrítico, por vezes biodetrítico, rico em *Zoophycos*. A Formação de Póvoa da Lomba corresponde lateralmente à parte inferior da Formação de Cabo Mondego na zona da Figueira da Foz (Oeste da bacia), à parte superior da Formação do Prado para Este (zona de Tomar) e ainda ao topo da Formação de Fórnea/base da Formação de Barranco de Zambujal que aflora no Sudeste da bacia (zona do Maciço Calcário Estremenho) (Henriques & Canales, 2013).



**Figura 2.6** – Vista aérea do perfil de São Gião com a delimitação das diferentes subzonas nele reconhecidas (modificado de GOOGLE. Google Earth. Version 7. 2015 Disponível em: <https://www.google.com/earth/> Acesso: 22 de Agosto de 2016).



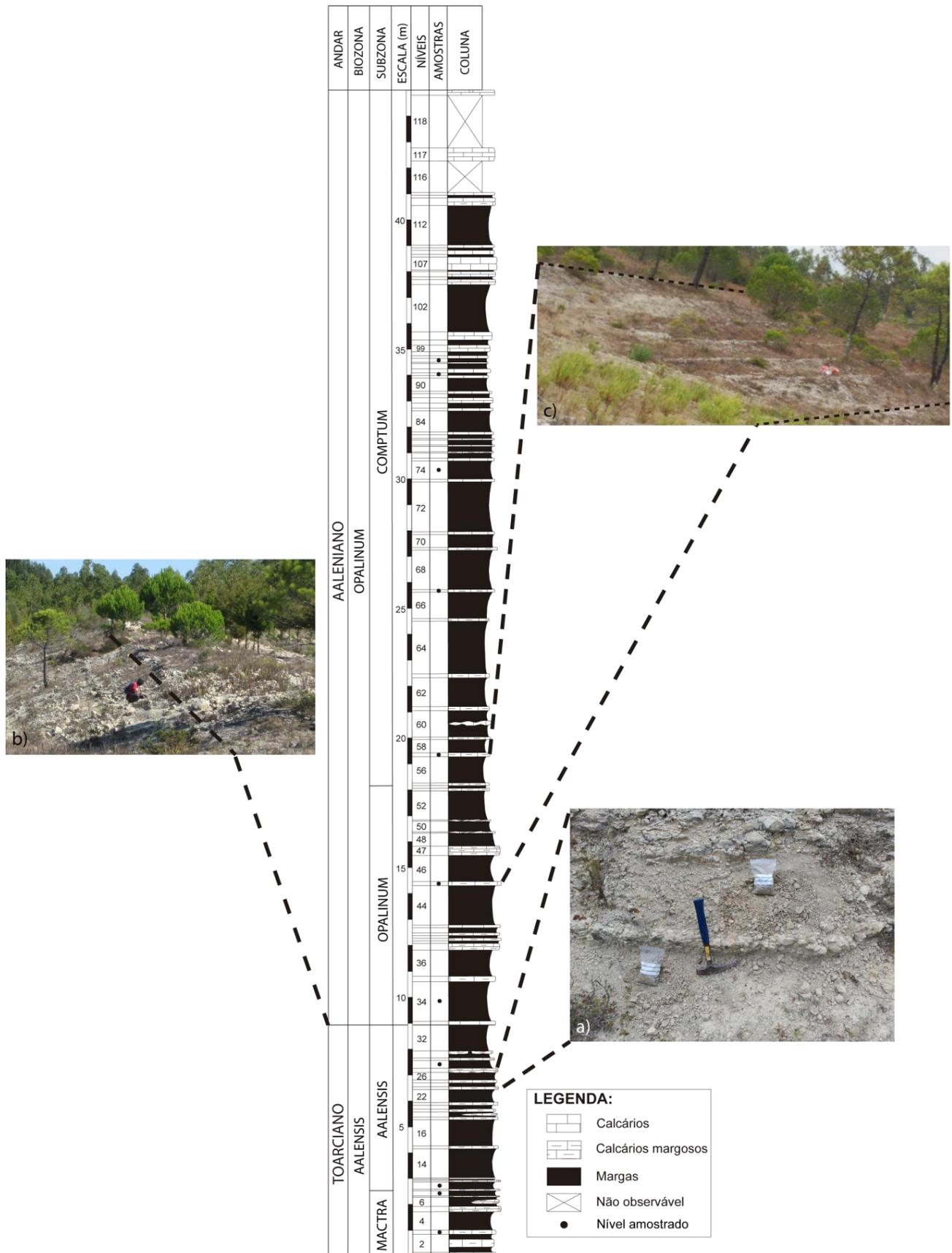
**LEGENDA:**

Jurássico				
Inferior			Médio	
Carixiano inf.- Domeriano inf.	Domeriano sup. - base do Toarciano	Toarciano	Toarciano sup. a Bajociano inf.	Bajociano -Batoniano



**Figura 2.7** – Excerto da Carta Geológica 19-A com a localização do perfil de São João e respetiva legenda para as unidades litostratigráficas jurássicas representadas (modificado de Barbosa *et al.*, 2008).

O perfil é composto por calcários margosos de cor acinzentada, mais ou menos compactos, cujas espessuras das camadas regulares variam entre 0,1 m e 0,3 m, alternando com camadas margosas de cor cinzenta de maior expressão vertical, organizados em unidades que mostram uma tendência batidecrescente para o topo do perfil, interpretados como tendo sido depositados em ambiente marinho de plataforma externa (Henriques & Canales, *op. cit.*). Na figura 2.8 representa-se a coluna estratigráfica do perfil estudado (São João), e assinala-se a localização da amostragem realizada, cujo processamento posterior se encontra descrito no capítulo seguinte.



**Figura 2.8** - Perfil estratigráfico de São Gião (modificado de Henriques & Canales, 2013), exibindo-se o aspeto no campo dos materiais amostrados: níveis margo-calcários da Subzona Aalensis (a) e da Subzona Opalinum (c). Mostram--se igualmente os materiais que registam o limite Toarciano-Aaleniano (b).

## **Capítulo 3. Metodología**

---

### 3. METODOLOGIA

A metodologia aplicada no presente estudo é a usualmente utilizada em trabalhos de micropaleontologia, tendo em conta a especificidade dos nanofósseis calcários. As várias etapas percorridas podem dividir-se em 3 tipos: o trabalho de campo, com a recolha das amostras no perfil analisado (descrito em 3.1), o trabalho de laboratório, com a preparação das lâminas para observação ao microscópio (descrito em 3.2) e, finalmente, o trabalho de gabinete, que envolve a identificação, descrição e classificação dos espécimes de nanofósseis reconhecidos nas lâminas (descrito em 3.3).

#### 3.1. Trabalho de campo

No âmbito da realização do trabalho apresentado procedeu-se ao reconhecimento do perfil de São Gião (Fig. 3.1) e à recolha de amostras para processamento posterior (Fig. 3.2). Foram recolhidas 40 amostras ao longo do perfil, tendo em conta as unidades biostratigráficas estabelecidas com base em associações de *Ammonoidea* (Henriques, 1992; Henriques & Canales, 2013). Foram tidas em conta as condicionantes do terreno (nomeadamente a proliferação de vegetação e a consequente formação de solo que poderia causar contaminações), de forma a colher apenas material fresco removendo, para tal, com a ajuda de um martelo de geólogo, o material mais superficial resultante de alteração (Fig. 3.2.).



**Figura 3.1** - Aspeto geral do afloramento de São Gião.

Para cada nível amostrado recolheu-se cerca que 400 g de sedimento, que foi devidamente embalado e catalogado com a sigla SG (correspondente a São Gião), seguida de numeração correspondente à camada amostrada conforme numeração utilizada por Henriques (1992).

A recolha das amostras foi feita em camadas de margas e calcários margosos, por serem aquelas litologias as que geralmente apresentam nanofósseis mais bem preservados, assim como uma maior abundância de espécies, quando comparadas com litologias puramente calcárias (López-Otálvaro, 2012).



**Figura 3.2** - Recolha de amostra no perfil de São Gião.

Os nanofósseis encontram-se tipicamente presentes em quantidade de milhões de espécimes por grama de sedimento amostrado, logo a quantidade de amostra necessária para estudar este grupo de fósseis é bastante reduzida. Segundo Bown & Young (1998b), para amostras retiradas de tarolos de sondagem, por exemplo, são apenas necessários alguns  $\text{mm}^3$  e com uma quantidade de cerca de  $3 \text{ cm}^3$  consegue-se material em quantidade mais do que suficiente para o seu estudo, mesmo tendo em conta eventuais perdas durante as operações de preparação das amostras (pesagens, transferência entre recipientes, limpezas e outras pré-preparações). Com uma maior quantidade recolhida, é possível realizar outros estudos, quer de outros grupos de microfósseis quer até geoquímicos, bem como o estudo de isótopos estáveis e de conteúdo em carbono orgânico, por exemplo (Bown & Young, *op. cit.*). Assim, a quantidade que foi recolhida no âmbito do presente estudo, por ser excessiva, poderá servir para trabalhos ulteriores sobre outros grupos de microfósseis, encontrando-se

este material devidamente arquivado no Laboratório de Geologia Sedimentar e Registo Fóssil do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra.

### **3.2. Trabalho de laboratório**

O estudo de nanofósseis para a observação ao microscópio ótico tem um cariz geralmente expedito. Este grupo ocorre numa ampla variedade de litologias e a sua preparação é simples e rápida. As suas reduzidas dimensões permitem que a quantidade de amostra recolhida para o seu estudo seja bastante diminuta (poucos gramas). No entanto, este facto, aparentemente facilitador e desejado, traz consigo alguns problemas que é necessário ter em conta quando se realiza um estudo com fósseis destas dimensões. De entre eles, destaca-se a fácil contaminação das amostras. Para as evitar deve-se ter o cuidado, quando se procede à preparação das lâminas, de ter todo o equipamento e mãos sempre devidamente limpos. Durante a extração da amostra do local onde estão arquivados deve apenas retirar-se o material que não se encontra em contacto com as bordas do recipiente. Outro requisito é a necessidade imperiosa da utilização de instrumentos óticos de observação adequados - os microscópios (Bown & Young *op. cit.*).

Existem várias descrições sobre procedimentos para a preparação de lâminas de nanofósseis (*e.g.*, Hay, 1977; Lord, 1982; Perch-Nielsen, 1985). Em Bown & Young (1998b) é feita uma síntese das diferentes técnicas aplicadas por estes e por outros autores. No presente estudo, seguiu-se o método proposto por Antunes (1997).

Assim, das 40 amostras recolhidas, seleccionaram-se 9, removendo do estudo algumas das amostras das camadas mais calcárias, por serem aquelas que contém pouca concentração de nanofósseis quando comparadas com as camadas mais margosas.

O material utilizado para processamento laboratorial de cada amostra foi: 1 g de sedimento, cadinho de porcelana, almofariz, tubo de ensaio, balança analítica, vareta de vidro, água de pH básico, esguicho, álcool, porta tubos de ensaio, desfloculante, lâmina, lamela, placa de aquecimento, pipeta, resina de Entellan®, palito e material de catalogação da amostra. As etapas de preparação de lâminas para o estudo dos nanofósseis ao microscópio utilizadas descrevem-se seguidamente, estando, algumas delas, reproduzidas na figura 3.3:

- 1) Mói-se uma pequena porção de amostra, num almofariz de aço, reduzindo-a a pó;
- 2) Pesa-se 1 g de sedimento numa balança analítica;

- 3) Coloca-se essa quantidade de sedimento dentro de um tubo de ensaio;
- 4) Junta-se um pouco de água para desagregar o sedimento, com a ajuda de uma vareta de vidro;
- 5) Junta-se novamente água até encher o tubo de ensaio, e com a vareta de vidro homogeneiza-se a solução;
- 6) Coloca-se a amostra em repouso, num porta-tubos de ensaio durante 7 minutos, para que as partículas de maiores dimensões se depositem no fundo do tubo. Se as partículas se depositarem muito rapidamente e a solução se apresentar muito floculada deve-se adicionar um desfloculante (como hexametáfosfato de sódio, mais conhecido pela marca comercial *Calgon*), tornar a homogeneizar a solução e esperar novamente 7 minutos;
- 7) Coloca-se uma lamela sobre uma placa aquecedora para posterior secagem da suspensão. Deve-se colocar a placa a uma temperatura não muito elevada (inferior a 60° C) por forma a evitar acidentes;
- 8) Colocam-se cerca de 3 gotas da suspensão na lamela, previamente aquecida, com a ajuda de um conta-gotas/pipeta;
- 9) Com um objeto de haste fina e superfície plana (por exemplo: palito) esfrega-se a suspensão na lamela de modo a espalhá-la de forma uniforme na superfície na lamela, tendo cuidado para que a suspensão não extravase os seus limites;
- 10) Espera-se até que a água seque totalmente. Na ausência de uma placa aquecedora, a secagem da água da suspensão pode ser efetuada com a utilização de uma lâmpada acesa;
- 11) Espalha-se a resina de Entellan® (ou bálsamo do Canadá) sobre a lâmina. Utilizou-se a resina de Entellan® já que não é tão viscosa como o bálsamo do Canadá, não sendo portanto necessário proceder ao seu aquecimento para que fique mais fluida. Para a realização de estudos que envolvam a movimentação de nanofósseis deve-se utilizar óleo de silicone para a visualização poder ser feita a partir de diferentes ângulos;
- 12) Coloca-se a lamela sobre a lâmina, no local onde a resina foi espalhada, de modo a que a suspensão de sedimento fique em contacto com a resina. Deve evitar-se a formação de bolhas de ar que se poderão formar e que reduzirão a qualidade da posterior visualização da lâmina ao microscópio. Isto pode ser conseguido através do leve pressionar da lamela, com a ajuda de um pequeno objeto (por exemplo: palito);
- 13) Retira-se, com a ajuda de papel absorvente, o excesso de resina, que normalmente se poderá acumular na interface lâmina-lamela. Poderá usar-se um pouco de álcool para facilitar a remoção deste material indesejável, e

proceder-se mesmo a uma leve raspagem para eliminação do material excedente;

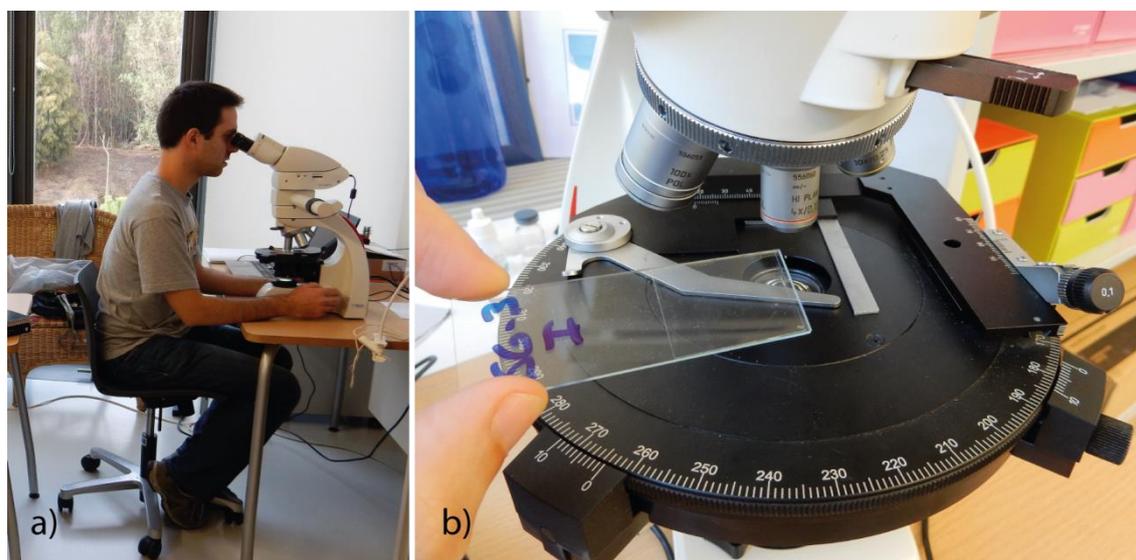
- 14) Por fim, identifica-se a lâmina com a sigla apropriada, de acordo com a amostra a que se refere, para posterior utilização aquando da observação dos nanofósseis ao microscópio.



**Figura 3.3** - Etapas da preparação de lâminas para observação microscópica de nanofósseis calcários. a) Amostras recolhidas no campo; b) Moagem das amostras; c) Conservação e catalogação das amostras reduzidas a pó; d) Pesagem de 1 g de sedimento; e) Diluição e homogeneização do sedimento em tubo de ensaio; f) Repouso da amostra em porta-tubos de ensaio; g) Colocação da suspensão em lamela; h) Distribuição da suspensão pela lamela com a ajuda de um palito; i) Secagem da suspensão na lamela; j) Aplicação da lamela na lâmina com a resina de Entellan®; k) Limpeza com papel absorvente de excesso de resina; l) Conjunto de lâminas secas, prontas para observação ao microscópio.

### 3.3. Trabalho de gabinete

Findas as etapas anteriores, procedeu-se ao trabalho de identificação, descrição e classificação dos espécimes encontrados nas lâminas produzidas a partir das amostras recolhidas no perfil de São Gião (3.1.1), bem como à determinação do estado de preservação dos espécimes estudados (3.3.2) e da respetiva abundância (3.3.3). Nesta fase foi utilizado um microscópio óptico, modelo Leica DM750P, com luz polarizada, lâmina de gesso e platina giratória, com capacidade de aumento de 1000x, equipamento disponível no Laboratório de Geologia Sedimentar e Registo Fóssil do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra. As fotografias tiradas através do campo de visão do microscópio foram obtidas a partir de uma câmara digital de modelo Leica ICC50, que se acopla ao microscópio, e com a ajuda de *software* apropriado do fabricante que permite a conexão a um computador (Fig. 3.4).



**Figura 3.4** - Identificação dos nanofósseis calcários: a) Microscópio ótico Leica DM750P com ampliação de 1000x; b) Pormenor da colocação da lâmina na platina do microscópio.

#### 3.3.1. Determinação taxonómica de espécimes

Para a identificação e classificação dos espécimes utilizou-se como base a compilação de trabalhos presente em Bown & Cooper (1998) que serve, como os próprios autores referem, de guia prático para estudos biostratigráficos com nanofósseis calcários. Foram também usadas outras referências como Mattioli (1996), Mattioli & Erba (1999), Giraud (2009), Sandoval *et al.* (2012a) e Aguado (2008). Para além destas, a biblioteca *online* Nannotax3, publicada pela INA (International Nannoplankton Association), constituiu uma boa base de apoio nesta etapa.

### 3.3.2. Determinação do estado de preservação

Em qualquer estudo paleontológico, é importante a análise do estado de preservação dos espécimes, o que é válido também para o caso dos nanofósseis calcários, que podem apresentar diferentes estados de conservação. Estes apresentam maior resistência aos processos tafonómicos do que os representantes de outros grupos, como por exemplo, os foraminíferos planctónicos (Roth & Thierstein, 1972). Isto acontece devido à distribuição do Mg na calcite que, na maioria dos cocólitos, ocorre de uma forma mais homogénea que nos foraminíferos, visto que muitos heterococólitos idênticos são produzidos de forma contínua ao longo do ciclo de vida do organismo.

Os esqueletos calcíticos destes microfósseis são afetados pela dissolução e pela recristalização de calcite secundária. Estes constituem os principais processos que afetam a sua preservação, podendo ambos ocorrer na mesma amostra e em diferentes graus (Roth & Thierstein, *op. cit.*). Estes processos podem alterar a composição das associações, pois afetam em diferente grau, diferentes espécies. Assim, é importante analisar o estado de preservação dos nanofósseis, o que permite avaliar a representatividade dos dados obtidos.

Existem três tipos de avaliação do estado de preservação dos nanofósseis calcários, sendo dois de natureza semiquantitativa. Um baseia-se numa escala de corrosão e recristalização apresentada pelos nanofósseis, e outro baseia-se na diversidade de espécies, ou seja, no número total de espécies identificadas (Roth, 1983). Tal como refere Bown & Young (1998b), existem ainda alguns índices de preservação de carácter quantitativo, propostos por alguns autores, nomeadamente Matsuoka (1990) e Roth & Krumbach (1986). Para a caracterização do estado de conservação, o esquema introduzido por Roth & Thierstein (1972) e modificado por Roth (1983) é amplamente usado para trabalhos do mesmo âmbito daquele que aqui se apresenta. Esta caracterização semiquantitativa da preservação é feita através da identificação ao microscópio ótico dos indícios de corrosão (*etching*) e recristalização (*overgrowth*) que os nanofósseis apresentam, assim como através do reconhecimento da conservação da sua área central. A partir daí, estes são classificados consoante o grau de maior ou menor preservação. No presente trabalho foram adaptadas as categorias utilizadas em estudos decorrentes de campanhas de sondagens marinhas como os do projecto ODP (Ocean Drilling Project), concretamente as que se referem no trabalho de Concheryo & Wise (2001). As categorias de preservação das lâminas que foram usadas são as que se apresentam na tabela 3.1.

Para a contabilização dos cocólitos, consideraram-se também aqueles que se encontravam fragmentados, desde que o fragmento fosse superior a 50% do cocólito e que se conseguisse proceder à sua identificação ao nível da espécie. Os fragmentos inferiores a 50% foram descartados.

**Tabela 3.1** – Classificação do estado de preservação dos nanofósseis (modificado de Roth, 1983).

<b>Estado de preservação</b>	<b>Descrição</b>
3 – Preservação Boa	Sem sinais de corrosão nem recristalização. Todas as estruturas, particularmente a zona central, encontram-se conservadas, podendo ser feita a identificação dos exemplares ao nível de espécie.
2 – Preservação Moderada	Muitos cocólitos mostram limites serrados; estruturas delicadas são parcialmente afetadas por dissolução, mas encontram-se geralmente preservadas. A maioria dos espécimes pode ser identificada ao nível de espécie.
1 – Preservação Pobre	Espécies mais delicadas foram maioritariamente dissolvidas; estruturas centrais delicadas de muitas espécies são destruídas; são comuns irregularidades nos limites de placas. Muitos espécimes não são identificados ao nível de espécie.
0 – Preservação Muito Pobre	Apenas se encontram espécies resistentes à dissolução; formas mais delicadas são muito raras; fragmentos de nanofósseis abundantes e estruturas centrais destruídas. Os espécimes não podem ser identificados ao nível de espécie.

### 3.3.3. Determinação da abundância

Para uma contagem do número de espécimes por amostra, 300 indivíduos é um valor que gera um bom compromisso entre o tempo despendido e a representatividade necessária (Bown & Young, 1988b). Segundo Thierstein *et al.* (1977), a realização de trezentas contagens permite a identificação, com uma probabilidade de 95%, de táxones cuja abundância relativa seja de 1 % da população total. Se forem feitas 500 contagens, essa probabilidade aumenta para valores superiores a 99%, tendo-se este autor baseado nos trabalhos de Crow *et al.* (1960).

Também outros autores referem as mesmas contabilizações para o mesmo grau de confiança, como por exemplo Deninson & Hay (1967), que realizaram um estudo sobre amostragem binomial (utilizando métodos estatísticos), em que é possível determinar graficamente o número de contagens necessárias tendo em conta a abundância relativa de um táxone e o nível de confiança associado. Assim, para o presente trabalho optou-se por realizar 300 contagens por amostra. Este número permite muitas vezes a identificação de novas espécies que possam ter sido negligenciadas num primeiro reconhecimento, já que força a identificação de cada indivíduo encontrado. Para além desta contabilização, procedeu-se igualmente à contagem do número de campos de visão (CdV) necessários para se obter as 300 contagens referidas, o que permite fornecer uma medida aproximada da abundância de nanofósseis por amostra (Bown & Young, 1998b).

As contagens realizadas serviram para a determinação de abundâncias relativas. A abundância relativa expressa-se na percentagem de cada espécie de cocólito relativamente à totalidade de cocólitos encontrados para cada amostra. Seguiu-se, depois, a metodologia aplicada por Concheryo & Wise (2001) para a classificação da abundância relativa em diferentes categorias, tendo por base o número de campos de visão necessários para a sua identificação, expressando-se essa abundância em termos de número de espécimes por campo de visão. As categorias desta classificação encontram-se na tabela 3.2.

**Tabela 3.2** – Classificação da abundância relativa de espécimes de cocólitos encontrados (adaptado de Concheryo & Wise, 2001).

<b>Abundância Relativa</b>	<b>Descrição</b>
A – Abundante	1-10 espécimes por campo de visão
C - Comum	1 espécime por 2-10 campos de visão
I – Incomum	1 espécime por 11-50 campos de visão
R - Raro	1 espécime por 51-200 campos de visão
MR – Muito raro	1 espécime por 201 ou mais campos de visão

A análise da composição das associações de nanofósseis calcários do perfil de São Gião, do ponto de vista tafonómico e do ponto de vista taxonómico, é apresentada no capítulo que se segue.

## **Capítulo 4. Composição das associações**

---

## **4. COMPOSIÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES**

Nas associações de nanofósseis calcários registadas na passagem Toarciano-Aaleniano do perfil de São Gião foram identificados um total de 2754 espécimes correspondentes a 3 ordens, 8 famílias, 14 géneros e 63 espécies nas 9 amostras analisadas. No presente capítulo apresentam-se os resultados obtidos a partir da análise tafonómica dos espécimes que integram as associações registadas (em 4.1), bem como a descrição taxonómica em microscópio ótico das espécies de nanofósseis identificadas nas amostras estudadas (em 4.2).

### **4.1. Análise tafonómica**

A análise do estado de preservação dos espécimes reconhecidos nas amostras é essencial para fundamentar interpretações biostratigráficas, bem como para avaliar eventuais variações na abundância e composição das associações registadas ao longo de um intervalo estratigráfico. Assim, os espécimes recuperados de todas as amostras estudadas no presente trabalho foram objeto de análise relativamente respetivo estado de preservação, recorrendo-se a uma classificação de base qualitativa estruturada em 4 níveis crescentes de preservação: 0-Muito Pobre; 1-Pobre; 2- Moderada; 3- Boa (ver ponto 3.3). De uma forma geral, pode afirmar-se que as amostras estudadas no presente trabalho apresentam estados de preservação moderados, pelo que a composição das associações nelas registadas não terão sido afetadas e representam a composição das associações originais. Num total de 2754 espécimes reconhecidos, todos os exemplares foram classificados a nível genérico, cerca de 3,7% foram classificados com cf., 6,2% com aff. e 16,7%, deixados em nomenclatura aberta.

Comparou-se o estado de preservação dos espécimes analisados com as litologias dos níveis estratigráficos amostrados. As amostras com menor grau de preservação dos seus espécimes, classificadas como Pobres (1), foram recolhidas em litologias com maior teor de carbonato de cálcio, nomeadamente em margas-calcárias (Amostras SG3, SG45 e SG57); em contrapartida, as amostras que apresentam espécimes com estados de preservação moderados e bons referem-se a níveis com litologias margosas com menor proporção de carbonato.

Nas amostras exibindo baixos graus de preservação (SG3, SG45 e SG57) verificou-se grande incidência de nanofósseis calcários fragmentados em resultado de processos de alteração mecânica, bem como de espécimes com a área central não conservada, em virtude da atuação de processos químicos de dissolução, o que dificultou a sua classificação. A curva obtida para a abundância relativa em nanofósseis

calcários, que foi calculada contabilizando o número de nanofósseis identificado pelo número de campos visuais analisados para cada amostra ( $\frac{\text{número de nanofósseis}}{\text{número de campos visuais}}$ ), apresenta um comportamento concordante com a curva da preservação, denotando a forte contribuição que o estado de preservação dos espécimes de uma amostra tem nos resultados obtidos para as variações das abundâncias dos nanofósseis calcários (Fig. 4.1).

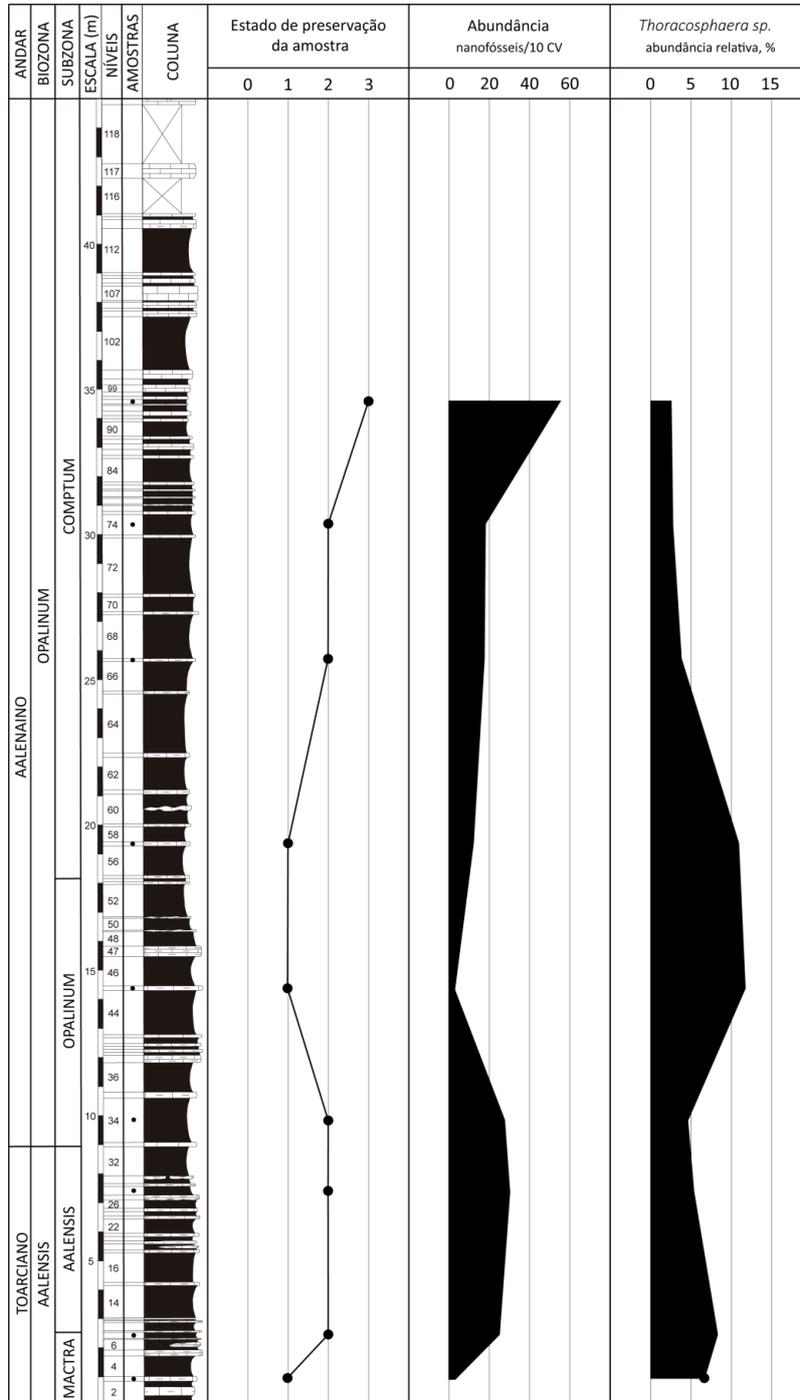


Figura 4.1 - Distribuição vertical do estado de preservação das amostras ao longo do perfil de São Gião, correlacionados com a respectiva abundância total e relativa da espécie Thoracosphaera sp..

## 4.2. Taxonomia

A classificação utilizada para os nanofósseis calcários mesozóicos até aos trabalhos de Perch-Nielsen (1985) não seguia uma norma comum (Young & Bown, 1997). Os autores até então utilizavam nos seus trabalhos uma sistemática baseada na ordem alfabética dos géneros e espécies. Isto acontecia por não existir consenso sobre a atribuição de espécies a um dado género, surgindo então diversas classificações nas categorias taxonómicas superiores. Assim, a classificação por ordem alfabética das espécies facilitava a sua identificação/localização em cada trabalho. Com os trabalhos que se seguiram (Bown, 1987, Bown & Young, 1997, Young & Bown, 1997, Bown & Cooper, 1989 e Jordan & Kleijne, 1994) chegou-se a uma classificação mais coerente e aceite pelos cientistas para a elaboração de listagens taxonómicas para este grupo de nanofósseis.

A síntese taxonómica a seguir apresentada, que inclui a descrição das espécies de nanofósseis identificadas em microscópio ótico nas amostras estudadas, baseia-se fundamentalmente nos trabalhos de sistemática e critérios taxonómicos anteriormente já referidos, bem como nos trabalhos mais recentes de Young & Bown (2003) e Jordan *et al.* (2004). Os espécimes mais representativos dos táxones identificados são ilustrados nas estampas que compõem o Anexo I. A caracterização dos géneros reconhecidos é complementada com ilustrações, e é feita com base nas descrições originais (Figs. 4.2 a 4.15). Os intervalos estratigráficos atribuídos para cada espécie fundamentam-se nos dados da base Nannotax3 (Young *et al.*, 2014), que remetem maioritariamente para o trabalho de Bown & Cooper (1998), válidos para o domínio boreal, bem como no trabalho de Mattioli & Erba (1999), que se refere ao domínio tétisiano.

Reino **CHROMISTA** Cavalier-Smith, 1981

Divisão **HAPTOPHYTA** Hibberd 1972 ex Edvardsen & Eikrem in Edvardsen *et al.* 2000

Classe **PRYMNESIOPHYCEAE** Hibberd, 1976 emendado por Cavalier-Smith in Cavalier-Smith *et al.* 1996

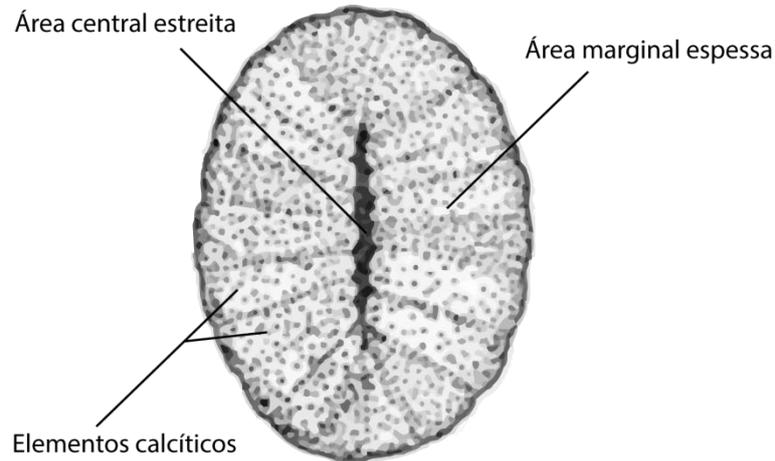
Subclasse **PRYMNESIOPHYCIDAE** Cavalier-Smith, 1986

Ordem **Eiffellithales** Rood, Hay & Barnard, 1971

Família **Chiastozygaceae** Rood, Hay & Barnard, 1973 emendado por Varol & Girgis, 1994

## Género *Crepidolithus* Noël, 1965

**Descrição:** Grande cocólito elítico, formando um disco massivo, mais ou menos inchado, em forma de bloco. A área marginal é constituída por uma série de elementos elevados de calcite romboédricos colocados verticalmente e dispostos lado a lado, pousando numa superfície horizontal de calcite lamelar.



**Figura 4.2** - Representação esquemática das características morfológicas do Género *Crepidolithus* (modificado de Prins, 1969).

### *Crepidolithus crassus* (Deflandre *in* Deflandre & Fert, 1954) Noël, 1965

Estampa 1, Figura 1.

**Descrição:** Grande cocólito (5-8  $\mu\text{m}$ ) elítico, espesso e em forma de bloco com a área marginal ampla e a área central muito estreita, de forma lenticular, alinhada com o eixo maior da elipse e apresentando-se vazia de qualquer estrutura.

**Diagnóstico:** Cocólito espesso com área central lenticular muito estreita.

**Discussão:** Distingue-se de *C. plienschachensis* pelas suas maiores dimensões e pela ausência de estruturas na área central.

#### **Sinonímia:**

1998 *Crepidolithus crassus*; Bown & Cooper, estampa 4.9, fig. 1-2.

2008 *Crepidolithus crassus*; Aguado *et al.*, fig. 5.11-12.

2012a *Crepidolithus crassus*; Sandoval *et al.*, fig. 9.49-50.

**Intervalo Estratigráfico:** NJ4b (Plienschachiano) – NJ17b (Tithoniano)

### *Crepidolithus cf. impontus*

**Descrição:** Grande cocólito (5-8  $\mu\text{m}$ ) elítico, com área marginal estreita formada por dois escudos, com área central bastante larga e desprovida de qualquer estrutura.

**Diagnóstico:** Os dois escudos visíveis em nicóis cruzados são separados por uma descontinuidade ótica a negro.

**Discussão:** Converte com as características de *C. impontus*, mas não se observou, talvez devido a processos de dissolução, a estrutura em ponte que liga a área marginal no eixo menor da elipse que caracteriza a espécie.

***Crepidolithus plienschachensis*** Crux, 1985 emendado por Bown, 1987

Estampa 1, Figura 2.

**Descrição:** Grande cocólito (5-8  $\mu\text{m}$ ) loxólito, elítico com uma área marginal ampla e uma área central com uma abertura estreita lenticular alinhada com o eixo maior da elipse que é atravessada por uma espinha.

**Diagnóstico:** *Crepidolithus* com uma estrutura presente na área central.

**Discussão:** Distingue-se de *C. crassus* pela presença de uma espinha na sua área central.

**Sinonímia:**

1987 *Crepidolithus plienschachensis*; Crux, estampa 11, fig. 22-23.

**Intervalo Estratigráfico:** NJ3 (Sinemuriano) – NJ5a (Plienschachiano)

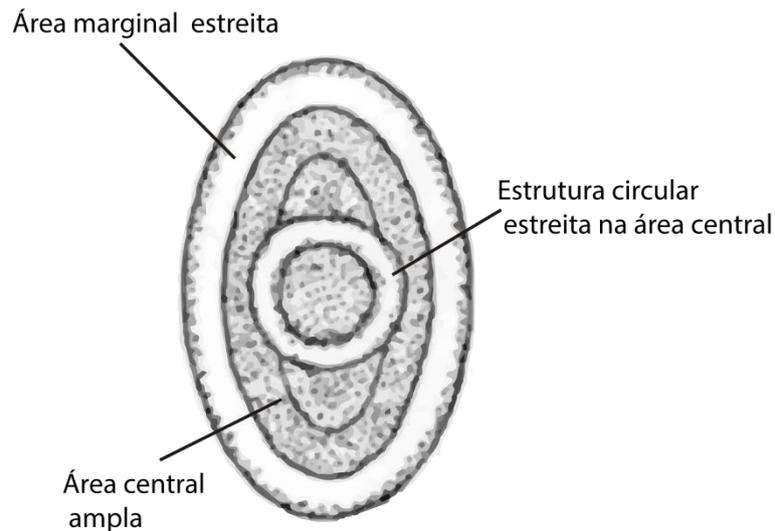
***Crepidolithus* aff. *timorensis***

**Descrição:** Pequeno *Crepidolithus* (3-4  $\mu\text{m}$ ), elítico, espesso, com área marginal ampla e área central reduzida, formada por abertura central muito reduzida alinhada com eixo maior da elipse, sem estrutura visível.

**Discussão:** Similar a *Crepidolithus crassus* mas com dimensões reduzidas, e diferente de *Crepidolithus timorensis* (Kristan-Tollmann, 1988) (Bown in Bown & Cooper, 1998), por não apresentar estrutura em espinha na área central.

**Género *Tubirhabdus*** Prins ex Rood, Hay & Barnard, 1973

**Descrição:** Cocólito loxólito muito elítico e estreito com área marginal constituída por dois escudos estreitos separados por descontinuidade ótica visível em nicóis cruzados e com uma área central muito ampla contendo uma estrutura central aberta em forma circular a oval na posição do eixo menor da elipse.



**Figura 4.3** - Representação esquemática das características morfológicas do Género *Tubirhabdus* (modificado de Prins, 1969).

### ***Tubirhabdus patulus* Prins ex Rood, Hay & Barnard, 1973**

Estampa 1, Figura 3.

**Descrição:** Cocólito loxólito muito elítico e estreito de pequenas dimensões (4-5  $\mu\text{m}$ ) com área marginal constituída por dois escudos estreitos e com uma área central muito ampla contendo uma estrutura em forma circular a oval na posição do eixo menor da elipse.

**Diagnóstico:** Cocólito pequeno com a presença de uma estrutura circular no centro da área central.

**Discussão:** Os dois escudos são separados por uma descontinuidade ótica visível em nicóis cruzados. Espécie tipo do género *Tubirhabdus*.

#### **Sinonímia:**

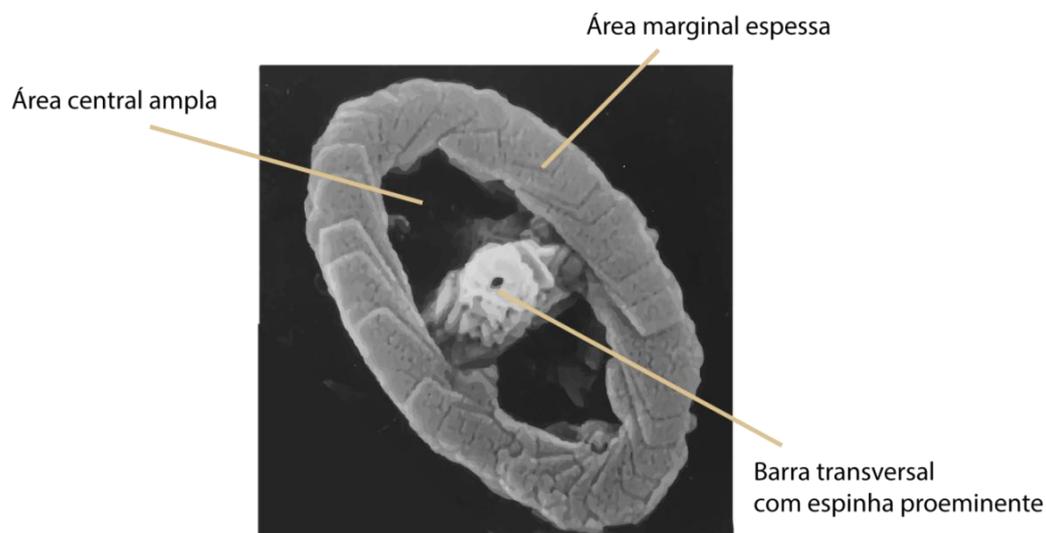
2007 *Tubirhabdus patulus*; Oliveira *et al.*, fig. 6.P-Q

2008 *Tubirhabdus patulus*; Aguado *et al.*, fig. 5.35-36.

**Intervalo Estratigráfico:** NJ3 (Sinemuriano) – NJ17b (Tithoniano)

### **Género *Zeugrhabdotus* Reinhardt, 1965**

**Descrição:** Cocólito loxólito elítico com área marginal relativamente espessa, com área central ampla contendo uma estrutura em ponte no eixo menor da elipse, que pode conter uma espinha. A dimensão do escudo proximal pode ser variável podendo produzir imagens unicíclicas ou bicíclicas em nicóis cruzados. Em condições de preservação excecional podem ser visíveis barras laterais na área central.



**Figura 4.4** - Fotografia de microscópio eletrônico da espécie-tipo do Género *Zeugrhabdotus* (*Z. erectus*) (modificado de Bown & Cooper, 1998).

### ***Zeugrhabdotus embergeri*** (Noël, 1959) Perch-Nielsen, 1984

Estampa1, Figura 4.

**Descrição:** Grande cocólito (7-8  $\mu\text{m}$ ) elítico com área marginal espessa e robusta formada por dois escudos separados por clara descontinuidade ótica. A área central estreita é, em grande parte, ocupada por uma ponte desenvolvida e robusta localizada no eixo menor da elipse e encaixando na área marginal.

**Diagnóstico:** *Zeugrhabdotus* grande com escudos interno amplo e bem birrefringente .

**Discussão:** Apresenta-se muito birrefringente. Segundo Perch-Nielsen (1984) surge muitas vezes recristalizado, mesmo em amostras em que este fenómeno não é comum.

#### **Sinonímia:**

1985 *Zeugrhabdotus embergeri*; Perch-Nielsen, fig. 6.9-10.

2011 *Zeugrhabdotus embergeri*; Ballent *et al.*, fig. 2.25.

**Intervalo estratigráfico:** NJ17a (Tithoniano) - Maastrichtiano superior

### ***Zeugrhabdotus erectus*** (Deflandre *in* Deflandre & Fert, 1954) Reinhardt, 1965

Estampa 1, Figura 5.

**Descrição:** Pequeno cocólito (3-4  $\mu\text{m}$ ) elítico com área marginal relativamente espessa onde normalmente não são visíveis os seus dois escudos devido à pequena dimensão do escudo proximal. A área central é ampla, contendo no centro uma ponte alinhada com o eixo menor, e uma pequena espinha

**Diagnóstico:** Muito pequeno, com a ocorrência de dois pontos birrefringentes na posição da ponte.

**Discussão:** Apresenta-se pouco birrefringente à exceção da ponte referida.

**Sinonímia:**

2008 *Zeugrhabdotus erectus*: Aguado *et al.*, fig. 5.46-47.

2011 *Zeugrhabdotus erectus*; Ballent *et al.*, fig. 2.21.

2012a *Zeugrhabdotus erectus*; Sandoval *et al.*, fig.10.28.

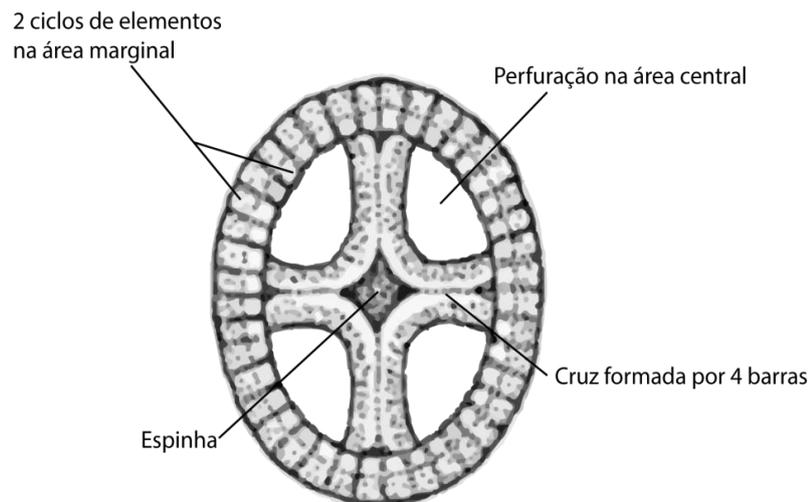
**Intervalo estratigráfico:** Pliensbachiano- Maastrichtiano superior

Ordem **Podorhabdales** Rood, Hay & Barnard, 1971

Família **Axopodorhabdacea**

**Género *Axopodorhabdus*** Wind & Wise *in* Wise & Wind, 1977

**Descrição:** Cocólito elítico com área marginal estreita formada por dois ciclos de elementos calcíticos, com estrutura central com uma espinha translúcida e constituída por quatro barras alinhadas com os eixos principais da elipse.



**Figura 4.5** – Representação esquemática das características morfológicas do Género *Axopodorhabdus* (modificado de Prins, 1969).

***Axopodorhabdus atavus*** (Grün *et al.*, 1974) Bown, 1987

Estampa 1, Figura 6.

**Descrição:** Cocólito elítico, médio-grande (5-7  $\mu\text{m}$ ), com área marginal estreita, formada por dois ciclos com um sulco mediano. Apresenta uma estrutura central com uma espinha translúcida constituída por quatro barras alinhadas com os eixos maior e menor do cocólito que produzem quatro grandes perfurações triangulares.

**Diagnóstico:** Presença de cruz e de escudo interno bem refringente, contrariamente ao externo. As estruturas apresentam-se estriadas.

**Sinonímia:**

1987 *Axopodorhabdus atavus*; Bown, estampa 14, fig. 21.

1998 *Axopodorhabdus atavus*; Bown & Cooper, estampa 4.14, fig. 11-12

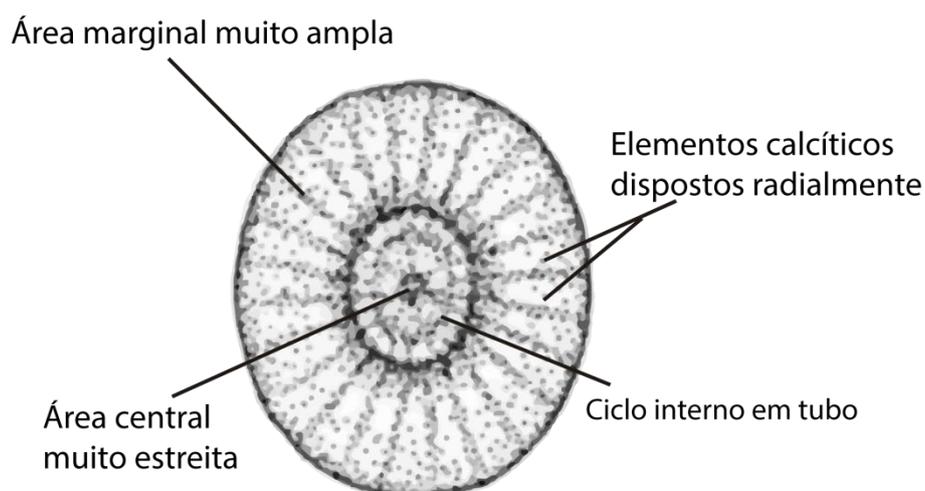
2007 *Axopodorhabdus atavus*; Oliveira et al., fig. 1.

**Intervalo estratigráfico:** Pliensbachiano superior-Thitoniano inferior

Família **Biscutaceae** Black, 1971

**Género Biscutum** Black in Black & Barnes, 1959

**Descrição:** Cocolito placólito radiado (elementos marginais radialmente não imbricados) geralmente pequeno a médio (3-5  $\mu\text{m}$ ), elítico a subcircular, com escudos amplos imediatamente sobrepostos um no outro, com simetria bilateral, notando-se as estrias das placas que os compõem. O escudo distal apresenta-se pouco birrefringente quando comparado com o proximal bem birrefringente. Pode ou não conter um ciclo interno em forma de tubo. A área central é normalmente pequena, podendo ser vazia ou preenchida por estruturas granulares.



**Figura 4.6** - Representação esquemática das características morfológicas do Género *Biscutum* (modificado de Prins, 1969).

***Biscutum cf. dubium***

**Descrição:** Cocólito elítico de reduzidas dimensões (2  $\mu\text{m}$ ) formado por dois escudos proximamente encaixados. O escudo distal é pouco maior do que o escudo proximal. A área central, relativamente aberta, é normalmente preenchida com microcristais granulares e com espinha central.

**Discussão:** Aproxima-se de *B. dubium*, mas não se observaram, devido às suas reduzidas dimensões, as estruturas centrais.

***Biscutum finchii*** Crux, 1984

Estampa 1, Figura 7.

**Descrição:** Cocólito elítico de grandes dimensões (5-8  $\mu\text{m}$ ) de escudos amplos. O escudo proximal é grande e muito birrefringente e o escudo distal apenas um pouco maior e pouco birrefringente, apresentando uma área central ampla e quadrada (em nicóis cruzados, vista proximal), sem estrutura central definida, apenas pontuada com pequenos grânulos de calcite.

**Diagnóstico:** *Biscutum* grande com área central quadrada.

**Sinonímia:**

1987 *Biscutum finchii*; Bown estampa 13, fig. 21-22.

2004 *Biscutum finchii*; Mattioli *et al.*, fig. 4-J.

**Intervalo estratigráfico:** NJ5b (Pliensbachiano) – NJ6 (Toarciano)

***Biscutum cf. finchii***

**Descrição:** *Biscutum* de grandes dimensões (similar a *B. finchii*) com escudos amplos.

**Discussão:** Por se encontrar fragmentado, não foi possível a observação da estrutura central neste cocólito, o que impossibilita a sua identificação como *Biscutum finchii*.

***Biscutum grande*** Bown, 1987

Estampa 1, Figura 8.

**Descrição:** Cocólito elítico e estreito, de grandes dimensões (6-7  $\mu\text{m}$ ), com um escudo distal grande e um proximal mais pequeno. O escudo distal é constituído por dois ciclos de elementos calcíticos. O disco externo do escudo distal e o escudo proximal apresentam-se pouco birrefringentes, contrariamente ao disco interno do escudo distal, que surge como um anel muito birrefringente. A área central elíptica apresenta-se ampla com uma estreita barra alinhada com o eixo menor da elipse.

**Sinonímia:**

1987 *Biscutum grande*; Bown, estampa 13, fig. 23.

2004 *Biscutum grande*; Mattioli *et al.*, fig. 4-E.

**Intervalo estratigráfico:** NJ5b (Pliensbachiano) – NJ6 (Toarciano)

***Biscutum cf. grande***

**Descrição:** Cocólito estreito de grandes dimensões (similar a *Biscutum grande*).

**Discussão:** Por se encontrar fragmentado, não foi possível a observação da estrutura central neste cocólito, o que impossibilita a sua identificação como *Biscutum grande*.

***Biscutum intermedium*** Bown, 1987

**Descrição:** Cocólito elítico de dimensões médias a grandes (5-8  $\mu\text{m}$ ), com escudo distal amplo e escudo proximal diminuto. O escudo distal é formado por dois ciclos de elementos calcíticos apresentando-se o disco externo mais largo e pouco birrefringente e o interno estreito e muito birrefringente, o que produz um anel em volta da área central. A área central apresenta-se elítica, muito ampla e com uma ponte robusta alinhada 20° com o eixo menor da elipse no sentido dos ponteiros do relógio.

**Diagnóstico:** *Biscutum* com área central bastante ampla e vazia de estruturas.

**Discussão:** A estrutura em ponte, que caracteriza *B. intermedium*, não foi reconhecida nos exemplares estudados, sendo a sua classificação baseada nos exemplares figurados em Mattioli *et al.* (2004).

**Sinonímia:**

1987 *Biscutum intermedium*; Bown, estampa 13, fig. 26-28.

1998 *Biscutum intermedium*; Bown & Cooper, estampa 4.12, fig. 17-18.

2004 *Biscutum intermedium*; Mattioli *et al.*, fig. 4-F.

**Intervalo estratigráfico:** NJ8a (Toarciano) – NJ12a (Calloviano)

***Biscutum novum*** (Goy *in* Goy *et al.*, 1979) Bown, 1987

Estampa 1, Figura 9.

**Descrição:** Cocólito elítico de pequenas dimensões (3-5  $\mu\text{m}$ ) com dois escudos unicíclicos e estriados na área marginal. O escudo distal apresenta-se maior do que o escudo proximal. A área central pequena apresenta-se sem estrutura definida, apenas pontuada com pequenos grânulos de calcite que, por vezes, formam uma delgada espinha na zona central.

**Diagnóstico:** Pequeno *Biscutum* com escudos unicíclicos (igualmente birrefringentes) e estriados.

**Descrição:** Em nicóis cruzados apresenta grandes semelhanças com *Biscutum fichii*, mas as dimensões, quer do cocólito quer da área central, são reduzidas. A delgada espinha da zona central raramente é visível devido provavelmente a fenómenos de preservação. Difere do concêntrico *Discorhabdus ignotus* pela sua forma elíptica.

**Sinonímia:**

1998 *Biscutum novum*; Bown & Cooper, estampa 4.12, fig. 19.

2004 *Biscutum novum*; Mattioli *et al.*, fig. 4-H.

**Intervalo estratigráfico:** Pliensbachiano – Bathoniano superior

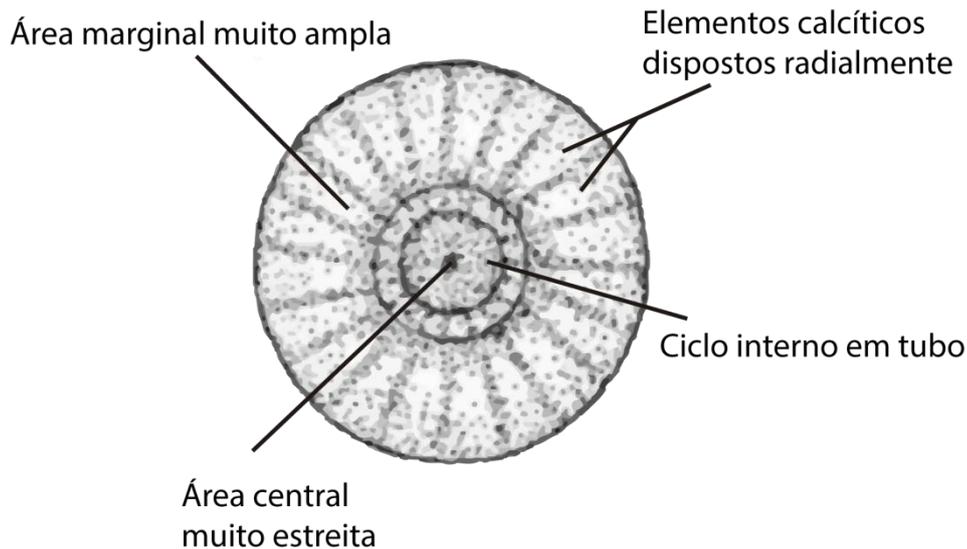
### ***Biscutum cf. novum***

**Descrição:** Cocólito de pequenas dimensões (similar a *Biscutum novum*).

**Discussão:** As dimensões muito reduzidas dos exemplares analisados não permitem a sua inclusão na espécie *Biscutum novum*.

### **Género *Discorhabdus* Noël, 1965**

**Descrição:** Cocólito de base circular, composta de dois simples escudos sobrepostos e perfurados no centro, permitindo a passagem de uma espinha. O escudo distal é construído a partir de uma série de lamelas calcíticas radialmente dispostas, produzindo uma superfície contínua. O escudo proximal, mais pequeno, é formado pelo mesmo número de placas radiais, planas, mais finas e também radialmente dispostas. O escudo proximal, convexo, forma uma base sólida perfurada apenas no centro pela espinha. Distingue-se do género *Biscutum* por ser circular contrariamente àquele, que é elítico.



**Figura 4.7** - Representação esquemática das características morfológicas do Género *Discorhabdus* (modificado de Prins, 1969).

### ***Discorhabdus criotus* Bown, 1987**

Estampa 1, Figura 10.

**Descrição:** Cocólito circular, de dimensão média (4-5  $\mu\text{m}$ ), com o escudo distal maior que o proximal. O escudo distal é constituído por dois ciclos de elementos calcíticos. O ciclo exterior, muito amplo, apresenta-se muito pouco birrefringente, contrariamente ao ciclo interior, bem pequeno e birrefringente, formando uma estrutura em anel com quatro isogiras. A área central, praticamente fechada, é formada por uma pequena depressão ou poro.

**Diagnóstico:** Área marginal ampla e pouco birrefringente com pequena área central birrefringente.

**Sinonímia:**

2012 *Discorhabdus criotus*; López-Otálvaro *et al.*, fig. 2a.

2012a *Discorhabdus criotus*; Sandoval *et al.*, fig. 10.25-30.

2015 *Discorhabdus criotus*; Suchéras-Marx *et al.*, estampa 1, fig. 5.

**Intervalo estratigráfico:** NJ7 (Toarciano) – NJ15a (Oxfordiano)

***Discorhabdus ignotus*** (Górka, 1957) Perch-Nielsen, 1968

Estampa 1, Figura 11.

**Descrição:** Cocólito circular, pequeno a médio (inferior a 5  $\mu\text{m}$ ), com ambos os escudos externo (maior) e interno (um pouco mais pequeno) pouco birrefringentes mas visíveis. A área central, de reduzidas dimensões, é formada por uma pequena depressão que ocasionalmente não se encontra centrada, dando origem a uma aparência assimétrica.

**Diagnóstico:** *Discorhabdus* de pequenas dimensões (<5  $\mu\text{m}$ ) e pouco birrefringente.

**Discussão:** Distingue-se de *D. striatus* pelo seu menor tamanho e menor birrefringência. Difere de *B. novum* pela sua forma concêntrica, ao contrário daquele, que exhibe forma elíptica.

**Sinonímia:**

2012 *Discorhabdus ignotus*; López-Otálvaro *et al.*, fig. 2a.

2012a *Discorhabdus ignotus*; Sandoval *et al.*, fig. 10.35-36.

**Intervalo estratigráfico:** Pliensbachiano – Maastrichtiano superior

***Discorhabdus striatus*** Moshkovitz & Ehrlich, 1976

Estampa 1, Figura 12.

**Descrição:** Cocólito médio a grande (> 5  $\mu\text{m}$ ) de forma circular com o escudo distal amplo e o escudo proximal, um pouco menor, ambos com elevada birrefringência desde a área marginal até à área central. Esta, formada por uma pequena depressão, apresenta-se muito pequena/fechada.

**Diagnóstico:** *Discorhabdus* de grandes dimensões (>5  $\mu\text{m}$ ) e pouco birrefringente.

**Discussão:** Distingue-se de *D. ignotus* pela sua elevada birrefringência e maiores dimensões.

**Sinonímia:**

1998 *Discorhabdus striatus*; Bown & Cooper, estampa 4.12, fig. 26-27.

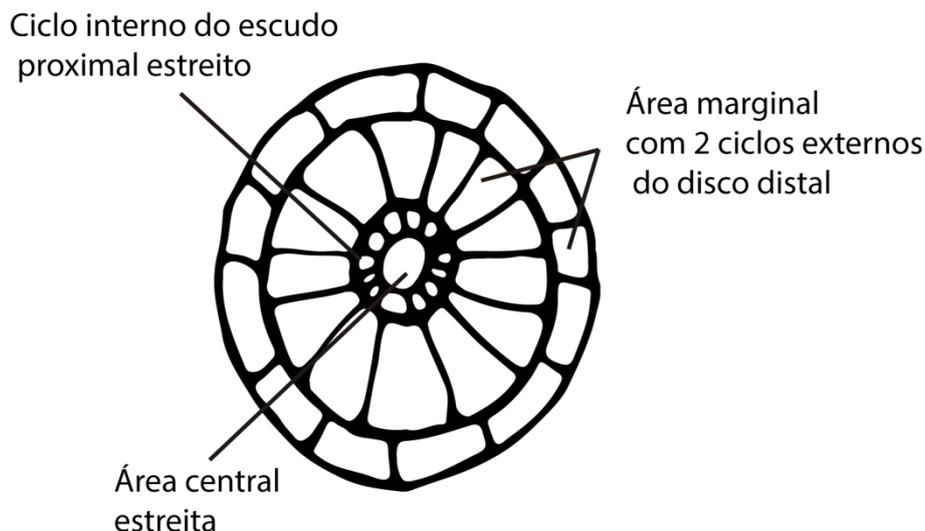
2012 *Discorhabdus striatus*; López-Otálvaro *et al.*, fig. 2a.

2012a *Discorhabdus striatus*; Sandoval et al., fig. 10.37-40.

**Intervalo estratigráfico:** NJ7 (Toarciano) – NJ15a (Oxfordiano)

### **Género *Similiscutum* de Kaenel & Bergen, 1993**

**Descrição:** Cocólito placólito elítico a subcircular formado por dois amplos escudos subhorizontais justapostos. O escudo proximal é construído por elementos que possuem uma extensão até próxima da margem interna da área marginal, chegando a formar um ciclo proximal separado. Assim, a área marginal mostra uma figura de extinção bicíclica, com um ciclo interno estreito mais birrefringente (como um pequeno anel brilhante) e um ciclo externo largo e pouco birrefringente. O escudo distal apresenta-se unicíclico. A área central é pequena, podendo ser aberta, com uma grande variedade de estruturas em cruz. Os géneros *Discorhabdus* e *Biscutum* distinguem-se deste género pelos padrões de extinção unicíclico das suas áreas marginais, e pelos seus escudos planos e unicíclicos, que não mostram extensão proximal ou distal que se reflita numa diferença de birrefringência da margem até à área central. Pode ser observada uma pequena espinha distal.



**Figura 4.8** - Representação esquemática das características morfológicas do Género *Similiscutum* (modificado de de Kaenel & Bergen, 1993).

### ***Similiscutum cruciulus* de Kaenel & Bergen, 1993**

Estampa 2, Figura 1.

**Descrição:** Cocólito placólito pequeno a médio (3-5  $\mu\text{m}$ ), subcircular, composto por dois largos escudos sub-horizontais justapostos. O escudo proximal apresenta-se bicíclico, com a parte mais interna (mais estreita) separada do ciclo mais externo (mais largo) por uma sutura vincada. Os elementos da área marginal apresentam uma zona mais externa, pouco birrefringente e mais larga, e uma zona mais interna (mais

estreita) bem mais birrefringente. A área central é composta por uma pequena abertura com uma estrutura delicada em cruz, crescendo no centro e formando um nódulo. Os elementos desta estrutura central são pouco birrefringentes.

**Diagnóstico:** Cocólito pequeno com pequena área central muito birrefringente, contrariamente à área marginal, maior e pouco birrefringente.

**Discussão:** Distingue-se de *S. precarium* pela sua forma circular.

**Sinonímia:**

1993 *Similiscutum cruciulus*; de Kaenel & Bergen, estampa 2, fig. 5-11.

2004 *Similiscutum cruciulus*; Mattioli *et al.*, fig. 4-A.

**Intervalo estratigráfico:** NJ5a – Aaleniano

### ***Similiscutum precarium* de Kaenel & Bergen, 1993**

**Descrição:** Cocólito placólito pequeno a médio (4-5  $\mu\text{m}$ ), elítico e com escudo distal amplo (maior que o proximal). Apresenta uma imagem bicíclica da área marginal, sendo o ciclo mais interno estreito e muito birrefringente, e o ciclo externo mais largo e pouco birrefringente. A área central apresenta-se com uma abertura pequena contendo uma cruz axial, e uma frágil espinha distal no centro.

**Diagnóstico:** *Similiscutum* pequeno e elítico, com área central pequena e com escudo envolvente birrefringente.

**Discussão:** Devido à sua elipticidade, distingue-se de *S. cruciulus*, que é mais circular. Os elementos da área central apresentam-se fracamente birrefringentes.

**Sinonímia:**

1993 *Similiscutum precarium*; de Kaenel & Bergen, estampa 2, fig.12-15.

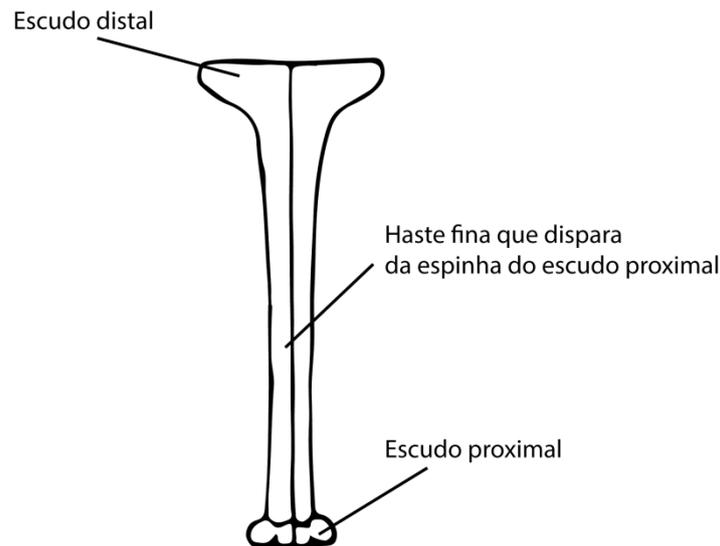
2004 *Similiscutum precarium*; Mattioli *et al.*, fig. 4-D.

**Intervalo estratigráfico:** Sinemuriano superior – Pliensbachiano superior

Família **Calyculaceae** Noël, 1973

### **Género *Carinolithus* Prins in Grün *et al.*, 1974**

**Descrição:** Cocólito com um pequeno escudo proximal (unicíclico) circular a subcircular, formado por elementos não imbricados em forma de cunha que radiam a partir de uma abertura central, com um escudo distal em forma de espinha construído por elementos verticais extremamente alongados, produzindo uma haste que dispara distalmente criando uma superfície distal plana. Normalmente é visto em vista lateral.



**Figura 4.9** - Representação esquemática das características morfológicas do Género *Carinolithus* (modificado de Prins, 1969).

### ***Carinolithus cantaluppii*** Cobianchi, 1990

Estampa 2, Figura 2.

**Descrição:** Cocólito alongado em forma de trompete com pequeno escudo proximal (2-3  $\mu\text{m}$ ), subcircular a circular, com escudo distal alongado, que se vai alargando bastante e de forma brusca a partir de média distância da haste alongada, cujo diâmetro é próximo/pouco maior do que o disco proximal (3-4  $\mu\text{m}$ ). O seu comprimento total ronda os 10  $\mu\text{m}$ , quando observado em vista lateral.

**Diagnóstico:** Cocólito em forma de trompete que se vai alargando até à sua extremidade.

**Discussão:** Distingue-se de *C. superbus* pelo alargamento do escudo distal e de *C. magharensis* pela localização do ponto onde se alarga o escudo distal, começando esse alargamento bem mais próximo do escudo proximal.

#### **Sinonímia:**

1996 *Carinolithus cantaluppii*; Mattioli, fig. 2.5.

2012a *Carinolithus cantaluppii*; Sandoval *et al.*, fig. 11.8-10.

2015 *Carinolithus cantaluppii*; Ferreira *et al.*, estampa 1, fig. 12.

**Intervalo estratigráfico:** Toarciano inferior – Aaleniano inferior

### ***Carinolithus magharensis*** (Moshkovitz & Ehrlich, 1976) Bown, 1987

Estampa 2, Figura 3.

**Descrição:** Cocólito em forma de trompete com escudo proximal diminuto (1-2  $\mu\text{m}$ ), de forma circular a subcircular, a partir do qual um escudo distal muito fino, alongado em forma de haste que dispara para a sua extremidade distal, formando uma

estrutura hexagonal com raio de 4-5  $\mu\text{m}$ . Esta estrutura é apenas visível em vista frontal. O seu comprimento total atinge 7-8  $\mu\text{m}$ .

**Diagnóstico:** Cocólito em forma de trompete alongado com estrutura ampla (hexagonal) na sua ponta distal.

**Discussão:** Diverge de outros *Carinolithus* pela haste muito fina. Distingue-se de *C. superbus* pelo escudo distal amplo (hexagonal) e de *C. cantaluppii* por o alargamento do disco distal ocorrer de forma brusca.

**Sinonímia:**

1998 *Carinolithus magharensis*; Bown & Cooper, estampa 4.13, fig. 6-9.

2008 *Carinolithus magharensis*: Aguado *et al.*, fig. 5.19.

**Intervalo estratigráfico:** NJ8a (Toarciano superior) – NJ10 (Bajociano)

***Carinolithus cf. magharensis***

**Descrição:** Espécime similar a *C. magharensis*, com a haste muito fina e uma estrutura semelhante à estrutura hexagonal que, contudo, se apresenta bastante degradada, parecendo tratar-se de um grão de calcite.

***Carinolithus superbus*** (Deflandre in Deflandre & Fert, 1954) Prins in Grün *et al.*, 1974

Estampa 2., Figura 4.

**Descrição:** Cocólito alongado em forma de trompete com pequeno escudo proximal (2-3  $\mu\text{m}$ ), subcircular a circular e com escudo distal alongado, que dispara verticalmente produzindo uma haste bastante alongada, com um diâmetro próximo/pouco maior do que o do disco proximal (3-4  $\mu\text{m}$ ). O seu comprimento total ronda os 10  $\mu\text{m}$ , quando observado de vista lateral.

**Diagnóstico:** Cocólito em forma de trompete comprido.

**Discussão:** Distingue-se de outros *Carinolithus* por apresentar um alargamento gradual do escudo distal.

**Sinonímia:**

1998 *Carinolithus superbus*; Bown & Cooper, estampa 4.13, fig. 6-9.

1997 *Carinolithus superbus*; Bown, estampa 14, fig.15-16.

2012a *Carinolithus superbus*; Sandoval *et al.*, fig. 11.12-13,19-21.

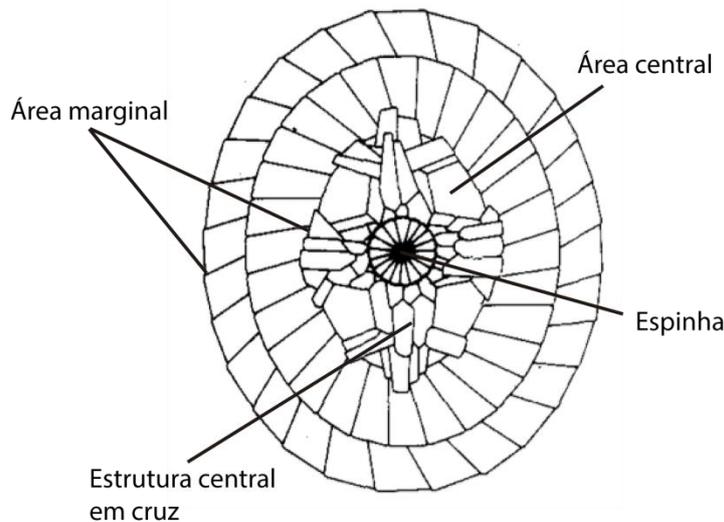
**Intervalo estratigráfico:** NJ6 (Toarciano) – NJ10 (Bajociano)

***Carinolithus cf. superbus***

**Descrição:** Espécime que se assemelha a *C. superbus*, no entanto apenas se identificou o escudo distal com haste alongada.

Família **Cretarhabdaceae** Bown, 1987

**Género *Retecapsa*, Black, 1971**



**Figura 4.10** - Representação esquemática das características morfológicas do Género *Retecapsa* (retirado de Lambert, 1987).

**Descrição:** Cocólito elítico com área marginal preenchida por escudo distal contendo dois ciclos de elementos calcíticos. A área central, ampla, é ocupada por quatro barras massivas estriadas alinhadas com os eixos principais da elipse, mais dois pares de barras não estriadas produzindo oito espaços abertos. O centro é elevado, sólido, com ou sem uma pequena espinha.

***Retecapsa incompta*** Bown & Cooper, 1989

Estampa 2, Figura 5.

**Descrição:** Cocólito elítico pequeno a médio (4-5  $\mu\text{m}$ ), com área marginal composta por escudo distal e com pelo menos dois ciclos de elementos não radiados juntos por suturas radiais. O ciclo mais periférico apresenta-se estreito, contrariamente ao ciclo mais interno, que se apresenta largo. A área central é composta por quatro braços robustos alinhados com os eixos principais da elipse perfazendo uma cruz. Estes braços apresentam extinção mediana, produzida por um pequeno sulco que conduz ao centro da cruz, onde ocorre uma pequena espinha. Não apresenta barras laterais como as restantes espécies deste género.

**Diagnóstico:** Pequeno *Retecapsa* com uma estrutura em cruz com extinção mediana na área central.

**Discussão:** Foram encontrados raros exemplares no intervalo estudado.

**Sinonímia:**

1989 *Retecapsa incompta*; Bown & Cooper, fig. 26-29.

1998 *Retecapsa incompta*; Bown & Cooper, estampa 4.13, fig. 21.

2008 *Retecapsa incompta*; Aguado, fig. 10.33-34.

2015 *Retecapsa incompta*; Suchéras-Marx, fig. 2.13.

**Intervalo estratigráfico:** NJ8a (Toarciano superior) – Oxfordiano médio

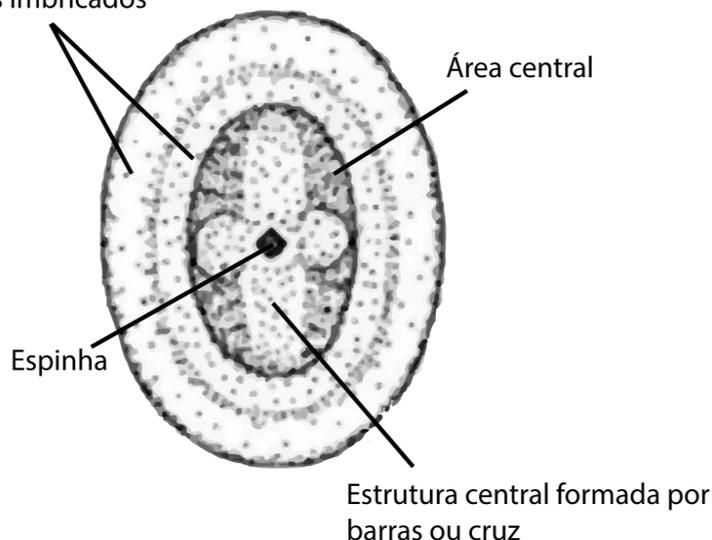
Ordem **Watznauriales** Bown, 1987

Família Watznaueriaceae Rood, Hay & Barnard, 1971

### **Género Lotharingius** Noël, 1973

**Descrição:** Cocólitos placólitos imbricados de forma elíptica a subcircular com área marginal composta por dois largos escudos imbricados bem birrefringentes. O escudo distal apresenta-se ligeiramente maior que o proximal, sendo constituído por dois ciclos justapostos. O ciclo interno (mais estreito) é geralmente mais proeminente do que o externo (mais largo). A área central é normalmente ocupada por duas barras localizadas sobre os eixos principais da elipse, podendo ser completada com barras radiais. No centro ergue-se uma espinha oca.

Área marginal com 2 ciclos de elementos imbricados



**Figura 4.11** - Representação esquemática das características morfológicas do Género *Lotharingius* (modificado de Prins, 1969).

### ***Lotharingius barozii*** Noël, 1973, emendado por Goy, 1979

Estampa 2, Figura 6.

**Descrição:** *Lotharingius* pequeno a médio (3-4  $\mu\text{m}$ ), de forma elíptica e área marginal estreitas. O ciclo interno do escudo distal apresenta-se proeminente. A área central, ampla, surge com uma delgada cruz alinhada com os eixos principais da elipse, e com pequenas barras radiais. A barra transversal que compõe a cruz mostra um desvio do eixo menor da elipse.

**Diagnóstico:** *Lotharingius* marcadamente elítico com os escudos pouco proeminentes.

**Discussão:** Distingue-se de outras espécies deste género pelo proeminente ciclo interno do disco distal, pela forma bem estreita da elipse e pela estrutura central. A estrutura central raramente foi observada.

**Sinonímia:**

1998 *Lotharingius barozii*; Bown & Cooper, estampa 4.15, fig. 11.

1999 *Lotharingius barozii*; Mattioli, fig. 1.4.

2015 *Lotharingius barozii*; Suchéras-Marx, fig. 2.13.

2015 *Lotharingius barozii*; Ferreira *et al.*, estampa 1, fig. 9.

**Intervalo estratigráfico:** Toarciano inferior - Aaleniano

***Lotharingius cf. barozii***

**Descrição:** Espécimes com área marginal e central semelhantes às de *L. barozii* onde não foi possível observar a estrutura da área central.

***Lotharingius contractus*** Bown & Cooper, 1989

Estampa 2, Figura 7.

**Descrição:** *Lotharingius* médio a grande (5-7  $\mu\text{m}$ ), subcircular a elítico, com área marginal composta por dois largos escudos e uma área central muito pequena. O escudo distal apresenta dois ciclos de elementos (sendo o externo maior) bem birrefringentes. A área central, subcircular apresenta-se preenchida por uma cruz orientada com os eixos principais da elipse.

**Diagnóstico:** *Lotharingius* grande com cruz numa apertada área central.

**Discussão:** Distingue-se de outras espécies de *Lotharingius* pelo seu grande tamanho, área central subcircular e de reduzidas dimensões (maior em *L. crucicentralis* e *L. aff. contractus*), e pela presença de uma estrutura central em cruz.

**Sinonímia:**

1996 *Watznaueria colacicchii*; Mattioli

1998 *Lotharingius contractus*; Bown & Cooper, estampa 4.15, fig. 12-15.

2012a *Watznaueria colacicchii*; Sandoval *et al.*, fig. 11.37-38.

2015 *Watznaueria contracta*; Suchéras-Marx., fig. 2.18.

**Intervalo estratigráfico:** NJ8b (Aaleniano) – NJ12a (Calloviano)

***Lotharingius aff. contractus***

Estampa 2, Figura 8.

**Descrição:** *Lotharingius* muito semelhante a *L. contractus*, de tamanho médio a grande (5-7  $\mu\text{m}$ ) e forma subcircular a elíptica, apresentando uma pequena área central subcircular preenchida por uma cruz orientada com os eixos principais da elipse.

**Discussão:** A área central apresenta-se maior do que em *L. contractus*.

**Sinonímia:**

- 1996 *Watzanueria colacichii*; Mattioli, fig. 1.8.
- 2012a *Watzanueria contracta*; Sandoval *et al.*, fig. 11.43-44.
- 2015 *Watzanueria colacichii*; Suchéras-Marx., fig. 2.17.
- 2015 *Watzanueria aff. contracta*; Suchéras-Marx., fig. 2.19.
- 2015 *Watzanueria colacichii*; Ferreira *et al.*, estampa 1, fig. 8.

***Lotharingius cf. contractus***

**Descrição:** Espécimes com tamanho, área marginal e central similares aos de *L. contractus*, mas onde não foi possível observar a estrutura da área central.

***Lotharingius crucicentralis*** (Medd, 1971) Grün and Zweili, 1980

Estampa 2, Figura 9.

**Descrição:** *Lotharingius* grande (6-8  $\mu\text{m}$ ), elítico, com área marginal composta por dois largos escudos e uma área central elíptica e larga. O escudo distal apresenta dois ciclos de elementos (sendo o externo maior) bem birrefringentes. A área central apresenta-se preenchida por uma proeminente cruz orientada com os eixos principais da elipse, observando-se o seu encaixe nos escudos do cocólito.

**Diagnóstico:** *Lotharingius* com área central grande, elíptica e com uma estrutura proeminente em cruz no seu interior.

**Discussão:** Distingue-se de outras espécies de *Lotharingius* pelo seu grande tamanho (maior que *L. aff. crucicentralis*), pela grande dimensão e forma elítica da área central (maior do que em *L. contractus* e *L. aff. contractus*) e pela presença de uma estrutura central proeminente em cruz.

**Sinonímia:**

- 1998 *Lotharingius crucicentralis*; Bown & Cooper, estampa 4.15, fig. 16-17.
- 2008 *Lotharingius crucicentralis*; Aguado *et al.*, fig. 5.26.
- 2012a *Lotharingius crucicentralis*; Sandoval *et al.*, fig. 11.32-34.
- 2015 *Lotharingius crucicentralis*; Ferreira *et al.*, estampa 1, fig. 1.

**Intervalo estratigráfico:** Toarciano inferior – NJ15a (Oxfordiano)

***Lotharingius aff. crucicentralis***

Estampa 2, Figura 10.

**Descrição:** *Lotharingius* de tamanho médio (5-6  $\mu\text{m}$ ), de forma elíptica e com ampla área central com uma cruz nos eixos principais da elipse.

**Discussão:** As suas características assemelham-se bastante às de *L. crucicentralis*, mas apresenta menores dimensões. Diferencia-se de *L. contractus* e de *L. aff. contractus* por ser bem mais elítico.

**Sinonímia:**

2015 *Watzanueria aff. contracta*; Suchéras-Marx., estampa1. fig. 20.

***Lotharingius cf. crucicentralis***

**Descrição:** Espécimes com tamanho, área marginal e central similares aos de *L. contractus*, mas onde não foi possível observar a estrutura na área central (cruz) nem os entalhes desta no escudo na área marginal que caracterizam *L. crucicentralis*.

***Lotharingius frodoi* Mattioli, 1996**

Estampa 2, Figura 11.

**Descrição:** Cocólito de forma elíptica e de tamanho médio (4-5  $\mu\text{m}$ ), com área marginal constituída por escudos (sendo o distal um pouco maior). O escudo distal é composto por dois ciclos de elementos calcíticos de largura similar. A área central, pequena e elítica, apresenta uma barra no eixo menor da elipse, contendo possivelmente no centro uma espinha.

**Diagnóstico:** *Lotharingius* com dois pontos brilhantes alinhados com o eixo menor da elipse (nicóis cruzados).

**Sinonímia:**

1996 *Lotharingius frodoi*; Mattioli, fig. 1.2, estampa1, fig. 1.

**Intervalo estratigráfico:** Pliensbachiano - Kimmeridgiano

***Lotharingius cf. frodoi***

**Descrição:** Espécimes com tamanho, área marginal e central similares aos de *L. frodoi*, mas onde não foi possível observar nem a estrutura da área central (barra) nem a presença dos dois pontos birrefringentes dela indicativa e que caracterizam a espécie *L. frodoi*.

***Lotharingius hauffii* Grün and Zweili in Grün et al., 1974**

Estampa 3, Figura 1.

**Descrição:** Pequeno *Lotharingius* (3  $\mu\text{m}$ ) de forma subcircular a elítica, com área marginal composta de dois escudos amplos (o distal um pouco maior que o proximal) e com área central muito reduzida. Esta área central é constituída por uma cruz composta por quatro barras e suporta uma espinha alta e oca.

**Diagnóstico:** *Lotharingius* muito pequeno, circular e com área central pequena.

**Discussão:** No microscópio ótico a espécie foi identificada através das suas reduzidas dimensões (geral e da abertura central) e pela presença de um pequeno ponto birrefringente isolado em posição central.

**Sinonímia:**

1998 *Lotharingius hauffii*; Bown & Cooper, estampa 4.15, fig. 19-20.

2012a *Lotharingius hauffi*; Sandoval *et al.*, fig. 11.25-27.  
2015 *Lotharingius hauffi* Ferreira *et al.*, estampa 1, fig. 3.

**Intervalo estratigráfico:** Pliensbachiano superior – NJ12a (Calloviano)

### ***Lotharingius cf. hauffii***

**Descrição:** As reduzidas dimensões e a não observação clara da área central impede a classificação como *L. hauffii*.

***Lotharingius sigillatus*** (Stradner, 1961) Prins in Grün *et al.*, 1974

Estampa 3, Figura 2.

**Descrição:** *Lotharingius* de dimensões médias a grandes (4-7  $\mu\text{m}$ ), elítico, com uma área marginal composta por dois escudos largos justapostos. O escudo distal é ligeiramente maior e apresenta dois ciclos de elementos; o escudo proximal, ligeiramente menor, apresenta um ciclo de elementos. A área central varia em tamanho mas é normalmente ampla, com forma elíptica, e é atravessada na posição do eixo maior da elipse por uma barra longitudinal mais espessa no centro que se alonga nas extremidades. No eixo menor a espécie é representada por uma pequena barra fracamente desenvolvida que não foi observada. No local de intersecção das duas barras ocorre uma espinha oca.

**Diagnóstico:** *Lotharingius* grande atravessado por proeminente barra longitudinal.

**Discussão:** Distingue-se de outras espécies de *Lotharingius* por apresentar apenas uma barra longitudinal bem visível. Em muitos casos, apenas se observou esta estrutura com a ajuda do compensador de gesso.

#### **Sinonímia:**

2008 *Lotharingius sigillatus*; Aguado *et al.*, fig. 5.29-30.  
2012a *Lotharingius sigillatus*; Sandoval *et al.*, fig. 10.29-31.  
2015 *Lotharingius sigillatus*; Ferreira *et al.*, estampa 1, fig. 4.

**Intervalo estratigráfico:** Pliensbachiano superior – NJ15a (Oxfordiano)

### ***Lotharingius cf. sigillatus***

**Descrição:** Espécimes com tamanho, área marginal e central similares aos de *L. sigillatus*, nos quais não foi possível observar a estrutura da área central.

***Lotharingius umbriensis* Mattioli 1996**

Estampa 3, Figura 3.

**Descrição:** *Lotharingius* relativamente pequeno (3-4  $\mu\text{m}$ ), de forma subcircular e composto por dois escudos justapostos. O escudo distal, com dois ciclos de elementos, possui dimensões superiores às do escudo proximal, com um ciclo. A área central desta espécie é muito reduzida, subcircular e apresenta uma pequena cruz alinhada com os eixos do cocólito.

**Diagnóstico:** Pequeno *Lotharingius* circular com uma estrutura em cruz na área central.

**Discussão:** Distingue-se da espécie *L. hauffii* pelas suas maiores dimensões e pela presença de uma cruz nítida no interior da pequena área central, da espécie de *L. contractus* pelas suas menores dimensões, podendo tratar-se portanto de uma espécie intermédia entre as duas, e ainda de *L. frodoi* pela sua forma mais circular.

**Sinonímia:**

1996 *Lotharingius umbriensis*; Mattioli, fig. 1.9.

2015 *Lotharingius umbriensis*; Ferreira *et al.*, estampa 1, fig. 7.

**Intervalo estratigráfico:** Pliensbachiano - Aaleniano

***Lotharingius cf. umbriensis* Mattioli 1996**

**Descrição:** Cocólito identificado com tamanho, área marginal e central similares a *L. umbriensis*, onde não foi possível observar com clareza a estrutura contida na área central.

***Lotharingius velatus* Bown & Cooper, 1989**

Estampa 3, Figura 4.

**Descrição:** *Lotharingius* de dimensão média a grande (5-6  $\mu\text{m}$ ) e forma subcircular a pouco elítica, constituído por uma área marginal formada por dois escudos justapostos. O escudo distal é ligeiramente maior e apresenta dois ciclos de elementos; o escudo proximal, ligeiramente menor, apresenta um ciclo de elementos. A área central é bastante ampla, com forma subcircular a elítica, apresentando-se preenchida por uma placa de textura granular. A área central apresenta-se escura, pontilhada com pequenos pontos birrefringentes (grânulos da placa), contrariamente à área marginal, que é bem birrefringente.

**Diagnóstico:** *Lotharingius* com área central muito ampla sem estrutura central definida.

**Discussão:** Distingue-se de outros *Lotharingius* devido à grande abertura da área central despojada de estruturas como barras ou cruz.

**Sinonímia:**

- 1989 *Lotharingius velatus*; Bown & Cooper, fig. 13.
- 2008 *Lotharingius velatus*; Aguado *et al.*, fig. 5.31-32.
- 2012a *Lotharingius velatus*; Sandoval *et al.*, fig. 10.36.
- 2015 *Lotharingius velatus*; Ferreira *et al.*, estampa 1, fig. 5.

**Intervalo estratigráfico:** Toarciano inferior – NJ12a (Calloviano)

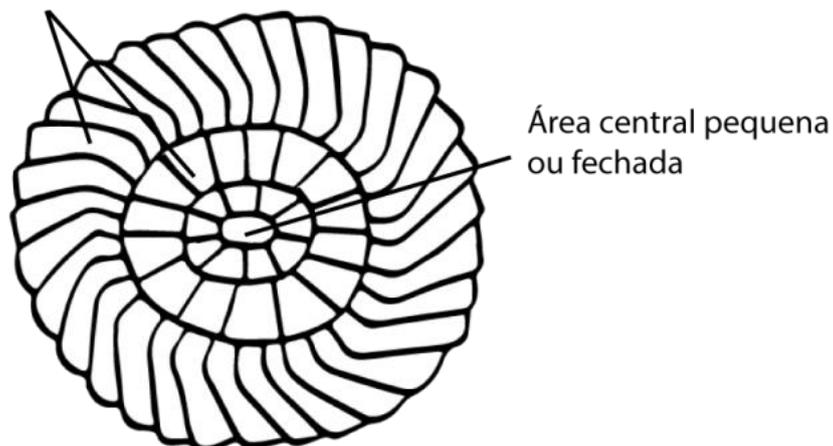
***Lotharingius cf. velatus* Bown & Cooper, 1989**

**Descrição:** Cocólito com tamanho mais reduzido (4  $\mu\text{m}$ ), área marginal e central similares a *L. velatus* onde não foi possível observar com clareza a estrutura contida na área central.

**Género *Watznaueria* Reinhardt, 1964**

**Descrição:** Cocólitos placólitos imbricados de forma elítica a subcircular. A área marginal é composta por dois largos escudos imbricados (o distal de maiores dimensões que o proximal), apresentando uma cruz quando em extinção (formando quatro isogiras em nicóis cruzados). Diferencia-se do género *Lotharingius* pela descontinuidade mais marcada entre os ciclos interno (mais proeminente) e externo do escudo distal e pelas características da área central. A área central é inexistente ou muito reduzida, podendo suportar estruturas quando presente.

Área marginal com ciclos de elementos imbricados



**Figura 4.12** - Representação esquemática das características morfológicas do Género *Watznaueria* (retirado de Reinhardt, 1964).

***Watznaueria britannica*** (Stradner, 1963) Reinhardt, 1964

Estampa 3, Figura 5.

**Descrição:** Cocólito de dimensões variáveis (4-8  $\mu\text{m}$ ), de forma elíptica, com a área marginal constituída por dois discos justapostos. O escudo distal possui dimensões superiores às do disco proximal. O ciclo interno de elementos do disco distal apresenta-se espesso e bem nítido. A área central apresenta-se muito reduzida, com uma com forma elíptica, sendo atravessada por uma ponte robusta conjunta que liga os dois lados da área marginal na posição do eixo menor da elipse.

**Diagnóstico:** *Watznaueria* com uma barra na sua estreita área central alinhada com o eixo menor da elipse.

**Discussão:** Foram identificados pouco exemplares desta espécie. Em vários, apenas se observou a sua barra distintiva quando se inseriu o compensador de gesso.

**Sinonímia:**

1998 *Watznaueria britannica*; Bown & Cooper, estampa 4.15, fig. 25-26.

2006 *Watznaueria britannica* morfotipo B; Giraud et al., fig. 1b.

2006 *Watznaueria britannica* morfotipo E; Giraud et al., fig. 1h.

2008 *Watznaueria britannica*; Aguado et al., fig. 5.44-45.

2009 *Watznaueria britannica*; Giraud., fig. 3.13-19.

2015 *Watznaueria britannica*; Suchéras-Marx et al., fig. 2.21-22.

**Intervalo estratigráfico:** Aaleniano – UC1a (Cenomaniano)

***Watznaueria cf. britannica***

**Descrição:** Cocólito com tamanho, área marginal e central similares a *W. britannica*, onde não foi possível observar na área central a estrutura em ponte na posição do eixo menor da elipse.

***Watznaueria fossacincta*** (Black, 1971) Bown in Bown & Cooper, 1989

Estampa 3, Figura 6.

**Descrição:** *Watznaueria* de dimensões média a grande (5-6  $\mu\text{m}$ ) e com a área marginal constituída por dois discos justapostos. O disco distal apresenta-se com dimensões superiores às do disco proximal. O ciclo interno do disco distal apresenta-se espesso e bem nítido, marginalmente à área central. Esta, de forma elítica e estreita, não apresenta qualquer estrutura.

**Diagnóstico:** *Watznaueria* com discos internos proeminentes e com área central aberta e despojada de qualquer estrutura.

**Sinonímia:**

1998 *Watznaueria fossacincta*; Bown & Cooper, estampa 4.15, fig. 27.

2015 *Watznaueria fossacincta*; Suchéras-Marx et al., fig. 2.16.

2015 *Watznaueria fossacincta*; Ferreira *et al.*, estampa 1, fig. 9.

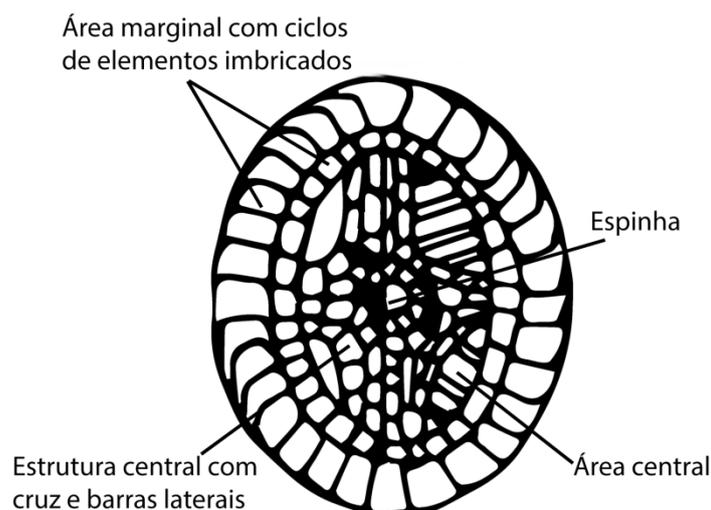
**Intervalo estratigráfico:** Toarciano inferior-Maastrichtiano superior

### ***Watznaueria cf. fossacincta***

**Descrição:** Cocólito com tamanho e áreas marginal e central similares aos de *W. fossacincta*, no qual não foi possível observar a área central.

### **Género *Bussonius* Goy, 1979**

**Descrição:** Cocólito placólito elítico com a área marginal composta por três escudos justapostos, cada um, com um ciclo de elementos calcíticos. No ciclo mais distal, a série de elementos encontra-se inclinada. A área central elítica e ampla apresenta um sistema de estruturas alinhadas com os eixos principais da elipse, formando uma cruz com uma espinha localizada no seu centro. A presença de barras radiais completa esta estrutura.



**Figura 4.13** - Representação esquemática das características morfológicas do Género *Bussonius* (retirado de de Kaenel & Bergen, 1993).

### ***Bussonius leufuensis* Bown & Kielbowicz *in* Bown, 1987**

Estampa 3, Figura 7.

**Descrição:** *Bussonius* elítico de dimensão média-grande (6  $\mu\text{m}$ ), com área marginal constituída por três largos escudos de dimensão equivalente. O escudo mais distal apresenta-se da mesma dimensão dos dois mais proximais, mas pode aparecer inclusive mais pequeno. Surge a inclinar para o interior, com o disco intermédio a inclinar para o exterior. A área central elítica e ampla apresenta estrutura em cruz, alinhada com os eixos principais da elipse, suportando uma espinha no seu centro.

**Diagnóstico:** *Bussonius* de grandes dimensões atravessado por uma cruz proeminente na sua área central.

**Discussão:** Distingue-se da espécie *B. prinsii* pelo seu tamanho maior e pela espessura mais fina e plana do escudo distal.

**Sinonímia:**

1987 *Bussonius leufuensis*; Bown, estampa 16, fig. 11.

2012a *Bussonius prinsii*; Sandoval *et al.*, fig. 10.35.

2015 *Bussonius leufuensis*; Ferreira *et al.*, estampa 2, fig. 4.

**Intervalo estratigráfico:** Pliensbachiano superior – Toarciano

***Bussonius cf. leufuensis***

**Descrição:** Cocólito com área marginal e central semelhantes a *Bussonius leufuensis*, onde não foi possível observar a estrutura contida na área central.

***Bussonius prinsii*** (Noël, 1973) Goy in Goy *et al.*, 1979

Estampa 3, Figura 8.

**Descrição:** *Bussonius* pequeno a médio (3-5  $\mu\text{m}$ ), de forma estreitamente elítica, com área marginal fina constituída por 3 escudos, sendo o escudo distal o mais largo. Os escudos, intermédio e proximal, são mais finos, muitas vezes parecendo apenas um só. A área central elítica e ampla apresenta estrutura em cruz suportando uma elevada espinha ao centro. O eixo menor pode não aparecer alinhado com a posição do eixo menor da elipse.

**Discussão:** Esta espécie é semelhante a *L. barozzii* (tamanho e estrutura) podendo-se com ela confundir, sobretudo se os escudos distais de *B. prinsii* se apresentarem como parecendo um só.

**Sinonímia:**

1998 *Bussonius prinsii*; Bown & Cooper, estampa 4.15, fig. 1.

2008 *Bussonius prinsii*; Aguado *et al.*, fig. 5.9.

2015 *Bussonius prinsii*; Ferreira *et al.*, estampa 2, fig. 3.

**Intervalo estratigráfico:** NJ5a (Pliensbachiano) – NJ8b (Bajociano)

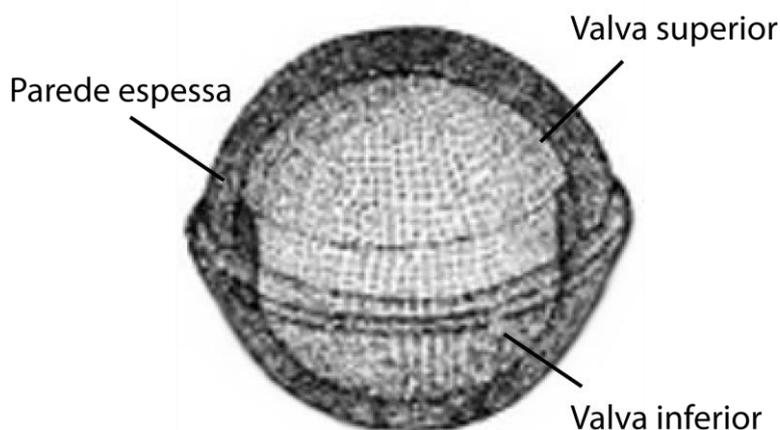
***Bussonius cf. prinsii***

**Descrição:** Cocólito com área marginal e central semelhantes a *Bussonius prinsii* onde não foi possível observar a estrutura contida na área central.

Família **Schizosphaerellaceae** Deflandre, 1959

**Género *Schizosphaerella*** Deflandre & Dangeard, 1938

**Descrição:** Nanofóssil não-cocólito caracterizado por uma forma globular de grandes dimensões (10-30  $\mu\text{m}$ ) composta por duas valvas sub-esféricas com uma parede complexa constituída pelo intercrescimento de uma pequena lamela calcítica em forma de paralelogramo.



**Figura 4.14** - Representação esquemática das características morfológicas do Género *Schizosphaerella* (retirado de Deflandre & Dangeard, 1938).

***Schizosphaerella* sp.**

Estampa 1, Figura 9.

**Descrição:** Os espécimes identificados deste género foram todos classificados como *Schizosphaerella* sp.. Consistem em nanofósseis de forma sub-esférica de grandes dimensões (10-12  $\mu\text{m}$ ) com uma parede espessa possuindo um arranjo geométrico de cristais equidimensionais. A parede apresenta-se mais birrefringente do que o interior.

**Diagnóstico:** Não-cocólito de muito grandes dimensões de forma circular apresentando parede espessa.

**Sinonímia:**

1998 *Schizosphaerella punctulata*; Bown & Cooper, estampa 4.15, fig. 1.

2008 *Schizosphaerella punctulata*; Aguado *et al.*, fig. 5.42.

2012a *Schizosphaerella punctulata*; Sandoval *et al.*, fig. 10.22.

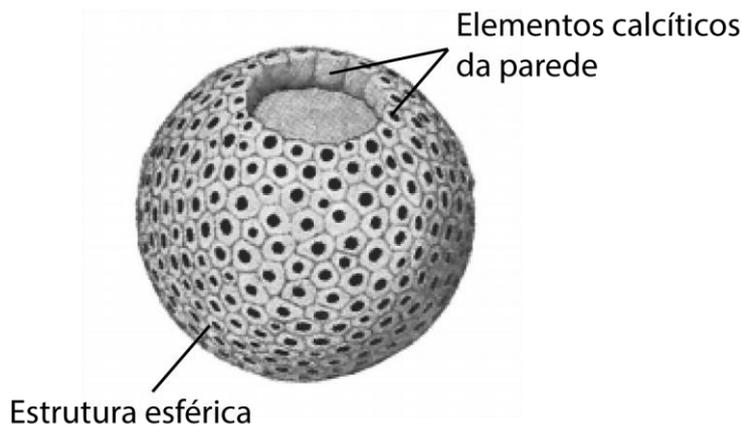
2015 *Schizosphaerella* sp.; Suchéras-Marx *et al.*, fig. 2.1.

**Intervalo estratigráfico:** NJ1 (Hettangiano) - Kimmeridgiano

Família **Thoracosphaeraceae** Schiller, 1930

**Género *Thoracosphaera*** Kampter, 1927

**Descrição:** Nanofóssil não-cocólito caracterizado por uma estrutura esférica de grandes dimensões (10-20  $\mu\text{m}$ ). Esta apresenta uma parede formada por cristais calcíticos orientados paralelamente ao eixo vertical da esfera, que muitas vezes se apresentam aleatoriamente dispostos.



**Figura 4.15** - Representação esquemática das características morfológicas do Género *Thoracosphaera* (retirado de Kampter, 1927).

***Thoracosphaera* sp.**

Estampa 3, Figura 9.

**Descrição:** Os espécimes identificados deste género foram todos classificados como *Thoracosphaera* sp., constituindo normalmente fragmentos da calcisfera original de grandes dimensões (10  $\mu\text{m}$ ), formados por elementos de calcite orientados de forma aleatória.

**Diagnóstico:** Estrutura de grandes dimensões sem forma definida (fragmentos) apresentando um padrão granulado.

**Discussão:** Apenas foram encontrados fragmentos do não-cocólito original.

**Sinonímia:**

1998 *Thoracosphaera* sp.; Bown & Cooper, estampa 6.15, fig. 15.

**Intervalo estratigráfico:** Triássico (mais abundante) mas encontrada ao longo de todo o Mesozóico.

A análise da distribuição estratigráfica dos táxones agora descritos permitiu reconhecer unidades biostratigráficas baseadas em nanofósseis calcários para o perfil de São Gião, que se apresentam e caracterizam no capítulo seguinte.

## **Capítulo 5. Biostratigrafía**

---

## **5. BIOSTRATIGRAFIA**

Neste capítulo apresentam-se e caracterizam-se, para os Domínios Boreal e Tétisiano (5.1), as escalas biostratigráficas estabelecidas para o Período Jurássico com base no registo de nanofósseis calcários (5.2). Além disso, descrevem-se as associações de nanofósseis calcários (em 5.3) e os bioeventos (em 5.4) registadas na passagem Toarciano-Aaleniano do perfil de São Gião, e discute-se o seu valor biostratigráfico (em 5.5), o que permitiu o reconhecimento de unidades biostratigráficas com base naquele grupo de microfósseis correlativas das unidades estabelecidas para os Domínios Boreal e Tétisiano (em 5.6).

### **5.1. Os Domínios Boreal e Tétisiano**

Os nanofósseis calcários são particularmente adequados para estudos biostratigráficos devido à sua abundância, ao seu modo de vida planctónico, às elevadas taxas de evolução que apresentam e por serem cosmopolitas, ocorrendo em grande parte dos ambientes marinhos em torno do globo (Bown & Cooper, 1998). As suas reduzidas dimensões permitem que o seu estudo seja relativamente fácil e acessível já que, para o fazer, são apenas necessárias pequenas quantidades de sedimento, facto da maior relevância em contextos de análise de bacias com interesse para a indústria de exploração de hidrocarbonetos. O potencial biostratigráfico destes microfósseis foi admitido nos anos 50 do séc. XX, na sequência de estudos desenvolvidos para o Cenozóico (Bramlette & Riedel, 1954), que permitiram a Martini (1971) o estabelecimento de escalas biostratigráficas de referência (Bown & Cooper, 1998). Com a criação dos programas DSDP (Deep Sea Drilling Project, 1968-1983), ODP (Ocean Drilling Project, 1985-2003) e, mais recentemente, dos projetos IODP (Integrated Ocean Drilling Project, 2003-2013) e International Ocean Discovery Program (2013-atualidade), que vieram dar continuidade aos anteriores, o seu valor biostratigráfico foi reforçado. Como exemplo, para o Cenozóico, foi possível estabelecer escalas biostratigráficas com resoluções entre sessenta mil a um milhão de anos (Bown & Cooper, 1998).

Para o Mesozóico os estudos biostratigráficos, com base em nanofósseis, têm-se processado de forma mais lenta, devido à menor quantidade e qualidade da informação obtida. Mesmo assim, a biozonação do Cretácico encontra-se bem mais avançada que a do Jurássico, muito graças aos estudos efetuados com base nos programas DSDP e ODP. Para o Jurássico, os estudos surgiram mais tarde, registando um grande incremento nos últimos anos do século XX, com os trabalhos de

Bown *et al.* (1988), Cobianchi (1992), de Kaenel & Bergen (1993), de Kaenel *et al.* (1996), Bown & Cooper (1998) e Mattioli & Erba (1999).

O reconhecimento da existência de diferentes províncias paleogeográficas no Jurássico provém de trabalhos já muito antigos. Bown & Cooper (1998) referem o trabalho pioneiro de Neumayr (1883), no qual o autor distingue diversas áreas geográficas com diferentes faunas de invertebrados marinhos, que se diferenciam da mesma forma no que respeita à distribuição geográfica de outros grupos fósseis. Nos anos 50, Arkell (1956b) define quatro províncias paleogeográficas diferentes para a Europa - o Noroeste da Europa, a cadeia montanhosa do Jura, a província Alpina-Mediterrânea e a Rússia - para as quais o autor considerava ser necessário o estabelecimento, por parte dos estratígrafos europeus, de escalas biostratigráficas de referência e correlacionáveis entre as várias regiões. No mesmo ano, o autor publica o tratado *Jurassic Geology of the World*, onde distingue três províncias faunísticas com base na distribuição global do registo de *Ammonoidea*: Domínio Boreal, Domínio Tétisiano e Domínio Pacífico (Arkell, 1956a). Mais tarde, Hallam (1975) considera apenas a existência dos Domínios Boreal e Tétisiano, com o primeiro a corresponder à porção mais setentrional do Hemisfério Norte e o segundo correspondendo ao resto do globo. O limite entre ambos situar-se-ia aproximadamente ao nível da cadeia Alpina. O Domínio Boreal para o Jurássico encontra-se bem definido através de fósseis de amonites e belemnites, sendo definido para outros grupos pela ausência de fauna/flora tétisiana ao invés das suas associações específicas. O Domínio Tétisiano apresenta, em geral, faunas com maior diversidade que o Boreal (Hallam, 1975). As causas para esta diferenciação em províncias no Jurássico são ainda hoje objeto de intenso debate, admitindo-se como possíveis explicações para o facto, variações nos gradientes de temperatura, existência de barreiras físicas (massas de terra), bem como diferenças nas profundidades dos fundos marinhos e na salinidade (Bown & Cooper, 1988).

A distribuição global das nanofloras é ainda pouco conhecida, estando a maioria da informação compilada restrita a estudos feitos no continente europeu. Através dos projetos de exploração marinha profunda (DSDP, ODP e IODP) foi possível reunir uma maior quantidade de informação relativamente aos sedimentos do Jurássico (e de outros intervalos de tempo) em zonas outrora com escassos estudos, nomeadamente o Oceano Índico e porções do Atlântico, porém limitando-se muitas vezes ao Jurássico Médio e Superior. Apesar do conjunto de dados se apresentar ainda muito limitado, eles permitem fundamentar a existência de provincialismo durante o Jurássico, com nanofloras do Domínio Tétisiano a apresentarem

composições diferentes daquelas encontradas para o norte da Europa, afetadas ao Domínio Boreal (Bown & Cooper, 1998).

Durante o Jurássico, concretamente durante o intervalo de tempo focado no presente trabalho (Toarciano superior-Aaleniano inferior), a Bacia Lusitânica localizava-se justamente entre aquelas duas províncias paleogeográficas. A Ibéria estava rodeada por plataformas marinhas de baixa profundidade no Mar de Tétis a Este, e pelo proto-Atlântico a Oeste e Norte, estando, deste modo, sujeita à influência das correntes oceânicas quentes provenientes do Domínio Tétisiano e das correntes mais frias oriundas do Domínio Boreal (Ferreira *et al.*, 2015) (Fig. 5.1). Assim, é expectável que as associações de nanofósseis calcários da passagem Toarciano-Aaleniano da Bacia Lusitânica incluam representantes característicos de ambas as províncias, carecendo o seu estudo biostratigráfico de balizas temporais de referência já estabelecidas, quer para o Domínio Boreal, quer para o Domínio Tétisiano.



**Figura 5.1** – A localização da Bacia Lusitânica entre os Domínios Boreal e Tétisiano durante a passagem Jurássico Inferior-Jurássico Médio. (modificado de Deep Time Maps™).

## **5.2. Escalas biostratigráficas de referência para o Jurássico**

Os primeiros estudos sobre nanofósseis do Jurássico não envolviam preocupações biostratigráficas, resumindo-se maioritariamente à descrição e taxonomia das associações identificadas (Deflandre, 1938, 1939, 1952, 1954 e Noel, 1956, 1958, 1965, 1973, conforme Bown & Cooper, 1998). Os primeiros trabalhos com o propósito de elaborar escalas de valor biostratigráfico surgem mais tarde, com o trabalho de Bronnimann (1955). Nesse trabalho, em que utiliza apenas *Nannoconus* (um grupo dentro dos nanofósseis calcários), o autor propõe apenas três zonas para o intervalo Jurássico superior-Cretácico inferior com base em amostras de Cuba, sendo a única zona do Jurássico caracterizada pela grande ocorrência de uma dada espécie de *Nannoconus*. Um pouco mais tarde, Stradner (1963), pioneiro na percepção da importância estratigráfica dos nanofósseis calcários do Jurássico, estabeleceu cinco biozonas para o Período Jurássico, com base na ocorrência de associações de nanofósseis calcários, limitadas pelas primeiras ocorrências de representantes dessas mesmas associações. Prins (1969) apresenta uma zonação, baseada em estudos de amostras de Inglaterra, França, e Alemanha. Este trabalho produziu uma escala com quatro zonas e cinco subzonas definidas com base nos mesmos critérios usados por Stradner (ocorrências de associações de nanofósseis). Barnard & Hay (1974) estabelecem uma escala biostratigráfica padrão para o Jurássico constituída por vinte e duas zonas correlacionadas com a escala zonal de *Ammonoidea* válida na altura. Entretanto, vão surgindo cada vez mais trabalhos neste âmbito, numa primeira fase com estudos maioritariamente baseados em perfis do Nordeste da Europa, que posteriormente se vão estendendo a outras zonas do Atlântico, e até do Pacífico, graças aos programas integrados de estudos dos fundos oceânicos (DSDP, ODP), que culminam em dois trabalhos que propõem escalas biostratigráficas referência para cada um dos Domínios: o trabalho de Bown & Cooper (1998), que refina a escala construída por Bown *et al.* (1988) para o Domínio Boreal, e o trabalho de Mattioli & Erba (1999) para o Domínio Tétisiano (Fig. 5.2).

Andar	Amonites Boreal	Nanofósseis Calcários							
		Boreal		Tétis					
Calloviano	lamberti	NJ13	<i>Stephanolithion bigotti</i> ▲	NJT12					
	athleta								
	coronatum								
	jason	NJ12b							
	calloviense								
	koenigi								
Bathoniano	herveyi	NJ12a	<i>Pseudoconus enigma</i> ▼	NJT11					
	discus								
	orbis	NJ11	<i>Ansulasphaera helvetica</i> ▲						
	hodsoni								
	morrissi								
	subcontractus								
progracilis	NJ10	<i>Pseudoconus enigma</i> ▲	NJT10b						
zigzag									
Bajociano	parkisoni	NJ10	<i>Stephanolithion speciosum</i> ▲	NJT10a	<i>Carinolithus superbus</i> ▼				
	garantiana								
	niortense								
	subfurcatum	NJ9	<i>Watznaueria britannica</i> ▲			NJT9	<i>Watznaueria manivittae</i> ▲		
	humphriesianum								
	propinquans								
Aaleniano	laeviuscula	NJ8b	<i>Lotharingius contractus</i> ▲	NJT8c	<i>Cyclagelosphaera margerelli</i> ▲				
	discites								
	concaum	NJ8a	<i>Retecapsa incompta</i> ▲			NJT8b	<i>Watznaueria contracta</i> ▲		
	bradfordensis								
	murchisonae								
	opalinum								
Toarciano	aalensis	NJ7	<i>Discorhabdus striatus</i> ▲	NJT8a	<i>Retecapsa incompta</i> ▲				
	levesquei								
	thouarsense	NJ6	<i>Carinolithus superbus</i> ▲			NJT7b	<i>Discorhabdus criotus</i> ▲		
	variabilis								
	bifrons								
	falciferum								
Pliensbachiano	tenuicostatum	NJ5b	<i>Crepidolithus impontus</i> ▲	NJT7a	<i>Discorhabdus striatus</i> ▲				
	spinatum								
	margaritatus	NJ5a	<i>Lotharingius hauffii</i> ▲			NJT6	<i>Carinolithus superbus</i> ▲		
	davoei								
	ibex	NJ4b	<i>Parhabdololithus robustus</i> ▼					NJT5b	<i>Lotharingius sigillatus</i> ▲
	jamesoni								
Sinemuriano	raricostatum	NJ4a	<i>Similiscutum cruciulus</i> ▼	NJT5a	<i>Lotharingius hauffii</i> ▲				
	oxynoyum								
	obtusum	NJ3	<i>Crepidolithus crassus</i> ▲			NJT4b	<i>Parhabdololithus robustus</i> ▼		
	turneri								
	semicostatum	NJ2b	<i>Parhabdololithus marthae</i> ▼					NJT4a	<i>Similiscutum cruciulus</i> ▼
	bucklandi								
Hettangiano	angulata	NJ2a	<i>Crepidolithus crassus</i> ▲	NJT3b	<i>Mitrolithus lenticularis</i> ▲				
	liasicus								
	planorbis	NJ1	<i>Schizosphaerella punctulata</i> ▲			NJT3a	<i>Crepidolithus pliensbachensis</i> ▲		
	NJ1	<i>Schizosphaerella punctulata</i> ▲	NJT2b					<i>Mitrolithus elegans</i> ▲	
	NJ1	<i>Schizosphaerella punctulata</i> ▲		NJT2a	<i>Parhabdololithus liasicus</i> ▲				
	NJ1	<i>Schizosphaerella punctulata</i> ▲				NJT1	<i>Schizosphaerella punctulata</i> ▲		

Legenda: —▲ Primeira ocorrência  
 —▼ Última ocorrência

**Figura 5.2** – Escalas biostratigráficas de referência de nanofósseis calcários, para o Domínio Boreal (Bown & Cooper, 1998) e para o Domínio Tétisiano (Mattioli & Erba, 1999) correlacionadas com a escala estabelecida com base em amonites (Baseado em Gradstein *et al.*, 2012).

### **5.3. Associações de nanofósseis calcários do perfil de São Gião**

No total das 9 amostras estudadas para o presente trabalho identificaram-se e classificaram-se 2754 exemplares correspondentes a 3 ordens, 8 famílias, 14 géneros e 63 espécies (Fig. 5.3). Para o cálculo de abundâncias relativas não foram tidas em conta os espécimes cuja classificação foi deixada em nomenclatura aberta, à exceção dos não-cocólitos *Schizosphaerella* sp., *Thoracospharera* sp. e ainda das espécies classificadas como aff. que representam mais do que 1% do número total de espécimes. Assim, o número de espécimes utilizado nesses cálculos foi de 2159. A sua distribuição estratigráfica ao longo do intervalo estudado no presente trabalho está representada na Fig. 5.3, caracterizando-se, de seguida, para cada unidade biostratigráfica estabelecida com base nos representantes de *Ammonoidea* (Henriques, 1992), a composição das associações registadas.



### Subzona Mactra (Biozona Aalensis, Toarciano superior)

A Subzona Mactra foi definida através de fósseis de *Ammonoidea*, concretamente pela presença de representantes de *Pleydellia mactra* (Dumortier) associados a várias espécies de *Cotteswoldia* (Henriques, 1992; Henriques & Canales, 2013) e estende-se no perfil de São Gião desde a camada SG1 até à camada SG8 (Fig. 2.7).

Na Subzona Mactra foram estudadas duas amostras recolhidas nas camadas SG3 e SG8 (Fig. 2.7), tendo-se identificado 50 espécies pertencentes a 13 géneros, 6 famílias e 3 ordens. O género mais abundante é *Lotharingius* (56,1% de abundância relativa), seguido de *Discorhabdus* (11,9%). O género *Lotharingius* está representado neste intervalo estratigráfico por todas as espécies encontradas no perfil, sendo *Lotharingius sigillatus* (11,3%) a espécie mais representativa; *L. barozii* apresenta 1,9% e *L. frodoi* é a espécie menos representativa, com valores de abundância relativa inferiores a 0,9%. É de salientar a elevada abundância relativa de *Lotharingius* sp. (13,4%), possivelmente relacionada com o estado de conservação pobre das amostras desta subzona, particularmente evidente na amostra SG3. É ainda de realçar a ocorrência de representantes dos géneros de não-cocólitos *Thoracosphaera* e *Schizosphaerella* com abundâncias relativas de 7,5% e 5,3%, respetivamente.

Na amostra SG3 foram identificadas 41 espécies e na amostra SG8 identificaram-se 39 espécies. As espécies identificadas nesta subzona são: *Crepidolithus crassus*, *Crepidolithus* cf. *imponatus*, *Crepidolithus plienschbachensis*, *Tubirhabdus patulus*, *Tubirhabdus* sp., *Zeugrhabdotus erectus*, *Biscutum finchii*, *Biscutum* cf. *finchii*, *Biscutum* cf. *grande*, *Biscutum intermedium*, *Biscutum novum*, *Biscutum* cf. *novum*, *Biscutum* sp., *Discorhabdus criotus*, *Discorhabdus ignotus*, *Discorhabdus striatus*, *Discorhabdus* sp., *Similiscutum cruciulus*, *Carinolithus magharensis*, *Carinolithus* cf. *magharensis*, *Carinolithus superbus*, *Carinolithus* sp., *Lotharingius barozii*, *Lotharingius* cf. *barozii*, *Lotharingius contractus*, *Lotharingius* aff. *contractus*, *Lotharingius* cf. *contractus* *Lotharingius crucicentralis*, *Lotharingius* aff. *crucicentralis*, *Lotharingius* cf. *crucicentralis*, *Lotharingius frodoi*, *Lotharingius* cf. *frodoi*, *Lotharingius hauffii*, *Lotharingius* cf. *hauffii* *Lotharingius sigillatus*, *Lotharingius* cf. *sigillatus*, *Lotharingius* cf. *umbriensis*, *Lotharingius velatus*, *Lotharingius* cf. *velatus*, *Lotharingius* sp., *Watznaueria fossacincta*, *Watznaueria* cf. *fossacincta* *Bussonius leufuensis*, *Bussonius* cf. *leufuensis*, *Bussonius prinsii*, *Bussonius* cf. *prinsii*, *Bussonius* sp., *Schizosphaerella* sp. e *Thoracosphaera* sp..

### **Subzona Aalensis (Biozona Aalensis, Toarciano superior)**

A Subzona Aalensis foi definida com base na ocorrência de *Pleydellia aalensis* (Zieten), coincidindo a sua base com a primeira ocorrência deste fóssil índice (Henriques, 1992; Henriques & Canales, 2013). As camadas no perfil de São Gião correspondentes a esta Subzona estendem-se desde a camada SG9 até à camada SG32 (Fig. 2.7).

Na Subzona Aalensis foi recolhida e estudada apenas uma amostra localizada na camada SG28 (Fig. 2.7), na qual se identificaram 35 espécies, pertencentes a 13 géneros, 8 famílias e 3 ordens. O género mais representado para este intervalo estratigráfico é novamente *Lotharingius* (abundância relativa de 48,8%), representado nesta biozona por todas as espécies identificadas em todo o perfil estudado, seguido dos géneros *Discorhabdus* (13,2%) e *Bussonius* (11,6%). A espécie mais abundante na associação é *Lotharingius sigillatus* (13,3%), surgindo como menos representada a espécie *L. frodoi* (1,1%). Outras espécies também com abundâncias relativas altas incluem *Bussonius prinsii* (11,0%) e *Lotharingius contractus* (9,1%). É ainda de salientar a ocorrência de representantes do género *Thoracosphaera* com abundância relativa de 6,1%.

As espécies identificadas nesta subzona são: *Crepidolithus crassus*, *Tubirhabdus patulus*, *Zeugrhabdotus embergeri*, *Zeugrhabdotus erectus*, *Axopodorhabdus atavus*, *Biscutum finchii*, *Biscutum novum*, *Discorhabdus criotus*, *Discorhabdus ignotus*, *Discorhabdus striatus*, *Carinolithus superbus*, *Carinolithus cf. superbus*, *Carinolithus sp.*, *Retecapsa incompta*, *Lotharingius barozii*, *Lotharingius cf. barozii*, *Lotharingius contractus*, *Lotharingius aff. contractus*, *Lotharingius cf. contractus*, *Lotharingius crucicentralis*, *Lotharingius aff. crucicentralis*, *Lotharingius cf. crucicentralis*, *Lotharingius frodoi*, *Lotharingius cf. frodoi*, *Lotharingius hauffii*, *Lotharingius sigillatus*, *Lotharingius cf. sigillatus*, *Lotharingius umbriensis*, *Lotharingius velatus*, *Lotharingius sp.*, *Watznaueria fossacincta*, *Bussonius prinsii*, *Bussonius sp.*, *Schizosphaerella sp.* e *Thoracosphaera sp.*

### **Subzona Opalinum (Biozona Opalinum, Aaleniano inferior)**

A Subzona Opalinum foi definida com base na ocorrência de representantes de *Leioceras opalinum* (Reinecke), sendo o registo da primeira ocorrência desta espécie a base desta subzona (Henriques, 1992; Henriques & Canales, 2013). As camadas no perfil de São Gião correspondentes a esta subzona estendem-se desde a camada SG34 até à camada SG54 (Fig. 2.7).

Desta subzona foram obtidas e estudadas 2 amostras recolhidas nas camadas SG34 e SG45 (Fig. 2.7), nas quais foram identificadas 37 espécies, pertencentes a 12 géneros, 7 famílias e 3 ordens. O género mais representativo é *Lotharingius* (abundância relativa de 52,0%) seguido dos géneros *Discorhabdus* (14,3%) e *Biscutum* (8,8%). A espécie mais frequente na associação estudada é *Lotharingius sigillatus* com abundância relativa de 15,0%. Todas as espécies de *Lotharingius* registadas em todo o perfil também ocorrem nesta subzona, com as menos representativas apresentando valores próximos de 1%, de que são exemplo *L. barozii* (0,99%), *L. frodoi* (1,2%) e *L. velatus* (1,6%). Entre outras espécies abundantes igualmente registadas encontram-se *Biscutum novum*, *Discorhabdus ignotus* e *Lotharingius hauffii*, com abundâncias relativas de 8,5%, 7,7% e 6,9%, respetivamente. O género *Thoracosphaera* apresenta abundância relativa de 9,9%.

Identificaram-se 33 espécies na amostra SG34 e 28 na amostra SG45. As espécies identificadas nesta subzona são: *Tubirhabdus patulus*, *Zeugrhabdotus erectus*, *Axopodorhabdus atavus*, *Biscutum finchii*, *Biscutum novum*, *Biscutum* sp., *Discorhabdus criotus*, *Discorhabdus ignotus*, *Discorhabdus striatus*, *Discorhabdus* sp., *Similiscutum precarious*, *Carinolithus* cf. *magharensis*, *Carinolithus superbus*, *Carinolithus* sp., *Lotharingius barozii*, *Lotharingius* cf. *barozii*, *Lotharingius contractus*, *Lotharingius* aff. *contractus*, *Lotharingius* cf. *contractus*, *Lotharingius crucicentralis*, *Lotharingius* aff. *crucicentralis*, *Lotharingius* cf. *crucicentralis*, *Lotharingius frodoi*, *Lotharingius* cf. *frodoi*, *Lotharingius hauffii*, *Lotharingius sigillatus*, *Lotharingius* cf. *sigillatus*, *Lotharingius umbriensis*, *Lotharingius* cf. *umbriensis*, *Lotharingius velatus*, *Lotharingius* cf. *velatus*, *Watznaueria britannica*, *Watznaueria fossacincta*, *Bussonius prinsii*, *Bussonius* sp., *Schizosphaerella* sp. e *Thoracosphaera* sp..

### **Subzona Comptum (Biozona Opalinum, Aaleniano inferior)**

A Subzona Comptum foi definida com base na ocorrência de *Cypholloceras comptum* (Reinecke), cuja primeira ocorrência marca o limite inferior desta subzona (Henriques, 1992; Henriques & Canales, 2013). No perfil de São Gião as camadas correspondentes à Subzona Comptum estendem-se desde a camada SG55 até à camada SG119 (Fig. 2.7).

Da Subzona Comptum foram estudadas quatro amostras que se recolheram nas camadas SG57, SG67, SG74 e SG96 (Fig. 2.7). Neste intervalo estratigráfico, aumentou-se o número de amostras para análise por forma a dar consistência a eventuais variações na composição das associações registadas que permitissem discutir o chamado “Comptum cooling event”, bioevento reconhecido em outras bacias,

que não foi reconhecido na Bacia Lusitânica tendo em conta a composição das associações de amonites e de foraminíferos bentónicos no perfil de São Gião (Henriques & Canales, 2013 e referências aí contidas). Nesta subzona identificaram-se 45 espécies, referentes a 14 géneros, 8 famílias e 3 ordens.

O género mais representado para este intervalo estratigráfico é, de novo, *Lotharingius* (abundância relativa de 58,0%), seguido dos géneros *Discorhabdus* (12,6%), *Bussonius* (6,0%) e *Carinolithus* (5,1%). As espécies mais abundantes na associação são *Lotharingius sigillatus* (13,1%) e *Lotharingius contractus* (12,6%). Destas, as que se apresentam com menor abundância relativa são *Lotharingius frodoi* (1,2%) e *Lotharingius barozii* (1,92%). Outras espécies cujo registo é de salientar são, por ordem decrescente de abundância, *Bussonius prinsii*, *Discorhabdus striatus* e *Lotharingius umbriensis*, com valores de abundância relativa de 7,0%, 6,6% e 6,5% respetivamente. Destaca-se, ainda, o género *Thoracosphaera*, também com valores de abundância relativa de 6,5%.

Identificaram-se 32 espécies na amostra SG57, 39 na SG67, 37 na SG74 e 39 na amostra SG94. As espécies identificadas nesta subzona são: *Crepidolithus crassus*, *Crepidolithus aff. timorensis*, *Crepidolithus sp.*, *Tubirhabdus patulus*, *Zeugrhabdotus embergeri*, *Zeugrhabdotus erectus*, *Axopodorhabdus atavus*, *Biscutum finchii*, *Biscutum cf. finchii*, *Biscutum grande*, *Biscutum cf. grande*, *Biscutum intermedium*, *Biscutum novum*, *Discorhabdus criotus*, *Discorhabdus ignotus*, *Discorhabdus striatus*, *Discorhabdus sp.*, *Similiscutum precarium*, *Carinolithus cantaluppii*, *Carinolithus magharensis*, *Carinolithus superbus*, *Retecapsa incompta*, *Lotharingius barozii*, *Lotharingius cf. barozii*, *Lotharingius contractus*, *Lotharingius aff. contractus*, *Lotharingius cf. contractus*, *Lotharingius crucicentralis*, *Lotharingius aff. crucicentralis*, *Lotharingius cf. crucicentralis*, *Lotharingius frodoi*, *Lotharingius cf. frodoi*, *Lotharingius hauffii*, *Lotharingius cf. hauffii*, *Lotharingius sigillatus*, *Lotharingius cf. sigillatus*, *Lotharingius umbriensis*, *Lotharingius cf. umbriensis*, *Lotharingius velatus*, *Lotharingius cf. velatus*, *Watznaueria britannica*, *Watznaueria cf. britannica*, *Watznaueria fossacincta*, *Watznaueria cf. fossacincta*, *Watznaueria sp.*, *Bussonius leufuensis*, *Bussonius prinsii*, *Bussonius cf. prinsii*, *Bussonius sp.*, *Schizosphaerella sp.* e *Thoracosphaera sp.*

#### 5.4. Bioeventos

À semelhança do que já foi descrito para outros grupos fósseis (Henriques & Canales, 2013), ao longo do intervalo estratigráfico cujo registo em nanoplâncton calcário se descreveu anteriormente foram reconhecidos primeiras ocorrências de determinados táxones, bem como mudanças significativas na abundância relativa de

um ou mais táxones, que representam bioeventos com valor biostratigráfico, de momento, com carácter local (Canales *et al.*, 2010, Figueiredo & Guterres, 2012; Figueiredo *et al.*, 2010, 2014, Henriques & Canales, 2013 e Henriques *et al.*, 2016).

O reconhecimento destes bioeventos em associações de microfósseis é da maior importância, designadamente no âmbito das atividades de exploração de hidrocarbonetos, representando marcadores (*proxies*) adicionais que podem ser úteis na determinação de idades e na caracterização de ambientes deposicionais a partir da interpretação de sondagens (Canales *et al.*, 2010).

No presente estudo, a primeira ocorrência de alguns táxones e o decréscimo na abundância de outros podem representar bioeventos que, pelo menos a nível local, apresentam significado biostratigráfico.

#### **Primeira Ocorrência de *Watznaueria fossacincta* (Black, 1971) Bown *in* Bown & Cooper, 1989**

A primeira ocorrência de *Watznaueria fossacincta* foi reconhecida na amostra SG8 (Subzona Mactra, Toarciano superior). O seu registo apresenta um carácter relativamente contínuo ao longo do perfil (com exceção das amostras SG34 e SG96 onde não foi reconhecida), mas com valores baixos de abundância relativa (inferiores a 2%). No Domínio Tétisiano, a primeira ocorrência desta espécie é reconhecida mais cedo, no Toarciano inferior (Biozona NJT7) (Mattioli & Erba, 1999). Já no Domínio Boreal é referida pela primeira vez mais tardiamente, na Biozona NJ9, que corresponde à base do Bajociano (Bown & Cooper, 1998). Na Bacia Lusitânica o seu primeiro registo foi reconhecido, no perfil do Rabaçal, no Toarciano inferior na Biozona Levisoni correspondente a Biozona NJT7 (Ferreira *et al.*, 2015), tendo também sido registada a sua ocorrência, na mesma biozona, no perfil de Peniche (Mattioli *et al.*, 2013). De Kaenel *et al.* (1996) registaram esta primeira ocorrência no Toarciano superior de Marrocos. Em Neto *et al.* (2010) a primeira ocorrência de *W. fossacincta* está registada, no perfil do Cabo Mondego, mais tardiamente, na Biozona NJ9 (Biozona Concavum, Aaleniano superior). Na Cantábria, a sua primeira ocorrência foi reconhecida no Toarciano inferior (Biozona NJ6) (Tremolada *et al.*, 2009).

#### **Primeira Ocorrência de *Retecapsa incompta* Bown, 1987**

A primeira ocorrência de *Retecapsa incompta* foi registada na Subzona Aalensis, mas apresenta uma abundância relativamente baixa ao longo do perfil estudado, tendo-se obtido no total de toda a amostragem realizada apenas três exemplares (um na amostra SG28 da Subzona Aalensis e dois nas amostras SG67 e

SG74 da Subzona Comptum). Trata-se da espécie índice da Biozona NJ8a para o Domínio Boreal e da Biozona NJT8a para o Domínio Tétisiano, cuja base foi referida para o Toarciano superior (Bown & Cooper, 1998; Mattioli & Erba, 1999). Na Bacia Lusitânica, a primeira ocorrência está referida para o Toarciano superior (Biozona Aalensis, NJT8a) no perfil do Cabo Mondego e para o Toarciano médio (Biozona Gradata, base de NJT8a) no perfil de Brenha (Ferreira *et al.*, 2005), tendo sido registada na Biozona Gradata no perfil do Rabaçal (Perilli & Duarte, 2006). De Kaenel *et al.* (1996) também referem a primeira ocorrência da espécie na Biozona Levesquei na Bacia Lusitânica. A base dos perfis, quer no Cabo Mondego quer em São Gião, correspondem à base da Biozona Aalensis, pelo que não há registo estratigráfico anterior para determinar a base das biozonas NJ8a/NJT8a naquela posição paleogeográfica da bacia. Assim, a primeira ocorrência de *Retecapsa incompta* no perfil estudado tem carácter local, permitindo reconhecer as biozonas NJ8a/NJT8a, mas não podendo servir como critério plausível na definição dos respetivos limites inferiores. De Kaenel *et al.* (1996) também referem a primeira ocorrência da espécie na Biozona Aalensis em Marrocos, enquanto Aguado *et al.* (2008) e Sandoval *et al.*, (2008) a referem para o Aaleniano na Cordilheira Bética, em Água Larga (Biozona Concavum) e em Cerro de Mahoma (Biozona Bradfordensis), onde o seu registo é muito escasso, não tendo sido reconhecida no Toarciano (Sandoval *et al.*, 2012a).

#### **Primeira Ocorrência de *Watznaueria britannica* (Stradner, 1963) Reinhardt, 1964**

A primeira ocorrência de *Watznaueria britannica* foi registada na Subzona Opalinum (amostra SG34). A sua ocorrência é intermitente, sobretudo nas amostras dos níveis superiores do perfil, com valores de abundância muito reduzidos, sempre inferiores a 1% (no total identificaram-se 5 exemplares). Bown & Cooper (1998) referem a primeira ocorrência desta espécie para a base da Biozona NJ9 (Biozona Laeviuscula, Bajociano inferior), ou seja bem mais recente que o reconhecido no presente trabalho. Também no Domínio Tétisiano a espécie, definidora da Biozona NJT9) tem registo mais recente, nomeadamente na Biozona Concavum (Aaleniano superior) (Mattioli & Erba, 1999). Na Bacia Lusitânica há registos da sua primeira ocorrência na Biozona Discites, no Bajociano inferior (De Kaenel *et al.*, 1996) e na Biozona Bradfordensis, no Aaleniano médio (Neto *et al.*, 2010). Nas Béticas o primeiro registo da espécie foi reconhecido na Biozona Discites (Aguado *et al.*, 2008, Sandoval, *et al.*, 2008). Apenas Hamilton (1979) refere a sua ocorrência para registos mais antigos (Toarciano) para o perfil de Peniche na Bacia Lusitânica; no entanto, Mailliot *et al.* (2007) e Rocha *et al.*, (2016), que estudaram o mesmo perfil, não reconheceram a

ocorrência de *W. britannica*, e referem que a espécie identificada por Hamilton poderá tratar-se de um representante de *L. frodoii*, comum durante o Toarciano, que se encontra calcificado.

#### **Primeira Ocorrência de *Carinolithus cantaluppii* Cobianchi, 1990**

A primeira ocorrência da espécie foi reconhecida na Subzona Comptum, Aaleniano inferior (amostra SG96), onde se identificaram 3 exemplares bem preservados. Este evento é referido para o Domínio Tétisiano (Mattioli & Erba, 1999), com base nos trabalhos de Cobianchi (1992) e de Goy *et al.* (1994), que reconheceram a espécie na Subzona Opalinum em Fuentelsaz (GSSP do Aaleniano), não existindo registos da espécie no Domínio Boreal. Perilli & Duarte (2006) referem a primeira ocorrência da espécie no Toarciano inferior (Biozona Levisoni) em vários perfis da Bacia Lusitânica, e Sandoval *et al.* (2012a) reconhecem-na em vários perfis do Toarciano médio e superior da Cordilheira Bética.

#### **Decréscimo na Abundância do Género *Biscutum***

Entre os géneros mais representativos, o único que regista mudanças na abundância relativa é o género *Biscutum*, que reduz para metade os seus valores, de cerca de 6% nas Subzonas Mactra, Aalensis (Biozona Aalensis), e Opalinum (Biozona Opalinum) para valores próximos de 3% na Subzona Comptum (Biozona Opalinum). Um registo similar é reconhecido para o perfil de Cerro de Mahoma (Béticas), onde se observa um decréscimo da abundância de *Biscutum* entre as Biozonas Opalinum, Murchisonae e Bradfordensis, divergindo apenas no facto de essa diminuição ocorrer mais cedo, ainda na Subzona Opalinum (Aguado *et al.*, 2008). No mesmo trabalho e para o perfil de Agua Larga essa diminuição de abundância surge ainda no Toarciano (Biozona Aalensis). Este evento de diminuição de abundância foi também identificado em vários perfis da Bacia Lusitânica no Aaleniano médio (Perilli *et al.*, 2002).

### **5.5. Considerações Biostratigráficas**

Ao longo do intervalo estudado várias espécies apresentam um registo com carácter contínuo. *Zeugrhabdotus erectus* é uma espécie sempre presente em todas as amostras, com a sua abundância a diminuir para o topo da sucessão, de valores entre 2% a 4% para as primeiras três subzonas para valores sempre inferiores a 2% na Subzona Comptum. Duas espécies do género *Biscutum*, *B. finchii* e *B. novum*, a primeira com valores de abundância relativa sempre inferiores a 1% (à exceção da amostra SG28 onde atinge os 2%) apresentam igualmente um registo contínuo ao longo do perfil. O mesmo sucede com duas espécies de *Discorhabdus*, *D. criotus* e *D.*

*ignotus*; a espécie de *D. striatus* só não foi reconhecida na amostra SG57 (Subzona Comptum). A ocorrência de *D. criotus* e *D. striatus*, cuja primeira ocorrência caracteriza a base das biozonas NJ7 (Domínio Boreal) e NJT7b (Domínio Tétisiano), respectivamente, permite fundamentar a ampla distribuição vertical deste táxone, que se estende até, pelo menos, à Subzona Comptum. À exceção da amostra SG8 (Subzona Mactra), a espécie *Carinolithus superbus* também apresenta um registo persistente ao longo do perfil. Esta espécie apresenta uma abundância crescente ao longo do intervalo estudado, que se torna mais nítido na Subzona Comptum.

Quase todas as espécies de *Lotharingius* identificadas no presente trabalho ocorrem em cada uma das amostras analisadas (*L. barozii*, *L. contractus*, *L. aff. contractus*, *L. crucicentralis*, *L. aff. crucicentralis*, *L. frodoi*, *L. hauffi*, *L. sigillatus* e *L. umbriensis*), com exceção de *L. velatus*, que não foi reconhecida nas amostras SG45 e SG67. As espécies *L. barozii*, *L. crucicentralis*, *L. aff. crucicentralis*, *L. frodoi* e *L. velatus* apresentam uma distribuição contínua ao longo do perfil, mas com baixos valores de abundância relativa (inferiores a 5%). A espécie *L. hauffi* apresenta uma abundância crescente, de 1% na amostra SG3 (Subzona Mactra) até 7% na amostra SG45 (Subzona Opalinum), diminuindo depois para 3% na amostra SG96 (Subzona Comptum). A espécie *L. umbriensis* apresenta-se sempre com uma abundância relativa inferior a 5%, aumentando para 10% só na última amostra (SG96 na Subzona Comptum). A espécie *L. aff. contractus* apresenta uma tendência decrescente em termos de abundância, passando de cerca de 6% na amostra SG3 (Subzona Mactra) para 2% na amostra SG45 (Subzona Opalinum), exibindo uma tendência mais irregular na Subzona Comptum, com valores máximo de 5% na amostra SG67 e mínimo de 2% na amostra SG74. As espécies *L. sigillatus* e *L. contractus* também exibem um registo irregular ao longo do perfil, com a primeira a apresentar uma tendência crescente, de 7% na amostra SG3 (Subzona Mactra) até 17% na amostra SG34 (Subzona Opalinum), seguindo-se uma distribuição entre 6% na amostra SG67 (Subzona Comptum) e 15% na amostra SG74 (Subzona Comptum); a segunda apresenta um registo sempre irregular, variando entre 2% na amostra SG45 (Subzona Opalinum) até um máximo de 14% na amostra seguinte (SG57, Subzona Comptum).

A espécie *Bussonius prinsii* apresenta igualmente um registo contínuo e irregular, com um mínimo de 2% na amostra SG57 (Subzona Comptum) e um máximo de 10% na amostra SG28 (Subzona Aalensis).

Também os nanofósseis calcários não cocólitos identificados nas amostras estudadas apresentam um registo contínuo, com ambos os táxones a exibirem valores

baixos de abundância (inferiores a 4%) nas últimas três amostras da Subzona Comptum. A espécie *Schizosphaerella* sp. apresenta um registo com grande variação nos valores de abundâncias entre as amostras analisadas: desde 1% na amostra SG28 (Subzona Aalensis) até ao máximo de 9% na primeira amostra da Subzona Comptum (amostra SG57). A espécie de *Thoracosphaera* sp. apresenta-se mais abundante que a de *Schizosphaerella* sp., registando um máximo de 12% na amostra SG45 (Subzona Opalinum) e um mínimo de 3% nas amostras SG74 e SG 96 (Subzona Comptum).

Foram também registadas outras ocorrências esporádicas na amostragem analisada, tais como as de *Crepidolithus plienschachensis* na amostra SG3 (Subzona Mactra), com uma abundância muito reduzida (inferior a 1%) e representada apenas nesta amostra e somente através de um espécime. Bown & Cooper (1998) definiram a última ocorrência de representantes desta espécie como um bioevento de última ocorrência para a base de NJ4b (Bown & Cooper, 1998), mas a sua ocorrência em São Gião é mais tardia.

A espécie *Similiscutum cruciulus* foi registada na Subzona Mactra, porém o seu registo apenas foi reconhecido na amostra SG8 e com apenas dois espécimes. *Carinolithus magharensis* foi reconhecida nas amostras SG8 (Subzona Mactra), e nas amostras SG64 e SG74 (Subzona Comptum). Segundo Bown (1987) esta espécie está apenas referida para os Domínios Tétisiano e Pacífico. A sua abundância é muito reduzida (apenas um espécime por amostra), o que pode estar relacionado com a fragilidade da sua estrutura que facilmente se fragmenta, tornando difícil a sua preservação e identificação.

Registou-se a presença de *Bussonius leufuensis* nas amostras SG3 (Subzona Mactra) e SG67 (Subzona Comptum). Segundo Mattioli & Erba (1999) esta espécie foi reconhecida e é bastante comum no Toarciano do Domínio Tétisiano, tendo Bown (1987) reconhecido a espécie também no Toarciano da Argentina.

*Zeugrhabdotus embergeri* ocorre pela primeira vez amostra SG28 (Subzona Aalensis), mas apenas com um exemplar, e ocorre igualmente na amostra SG96 da Subzona Comptum (aqui com quatro exemplares), o que diverge substancialmente do que está publicado por outros autores, que consideram a espécie como índice para idades mais recentes. Bown & Cooper (1998) referem a sua primeira ocorrência na Biozona NJ17a para o Domínio Boreal e na Biozona NJT19b para o Domínio Tétisiano (limite Kimmeridgiano-Titoniano).

Na Subzona Opalinum reconheceu-se a primeira ocorrência de *Similiscutum precarium* (amostra SG45), que também se reconheceu na amostra SG96 (Subzona Comptum, Aaleniano inicial), embora com um registo bastante reduzido (3 espécimes). A primeira ocorrência desta espécie foi referida para a base do Pliensbachiano e a última ocorrência para o final daquele andar, na Biozona NJ4 (Bown & Cooper, 1998, de Kaenel & Bergen, 1993) para o DSDP 547B, localizado ao largo de Marrocos. Na Cordilheira Bética foi registada desde o Pliensbachiano até ao Toarciano (Biozona NJ5) em Jáen (Sandoval, 2012) e no Toarciano final do perfil de Cerro de Mahoma (Aguado *et al.*, 2008). A espécie foi também reconhecida em sedimentos do Bajociano inferior no perfil do Cabo Mondego (Bacia Lusitânica) e no perfil de Chaudon-Norante (Bacia Sub-alpina francesa) (Suchéras-Marx *et al.*, 2015).

*Biscutum grande* apresenta a sua primeira ocorrência na amostra SG67 (Subzona Comptum), tendo-se igualmente reconhecido na amostra SG74, em ambos os casos com um registo limitado a apenas 1 espécime em cada uma das amostras referidas. Esta espécie foi referida para o Pliensbachiano superior e para o limite Pliensbachiano-Toarciano, nunca se apresentando abundante, sendo característica do Domínio Tétisiano para o Toarciano, mas não ocorrendo no Domínio Boreal (Bown, 1987). Mattioli & Erba (1999) registaram a sua primeira ocorrência no Pliensbachiano superior da Itália Central, mantendo-se o seu registo estratigráfico durante todo o Toarciano e Aaleniano. Na Bacia Lusitânica a sua ocorrência está referida para a passagem Pliensbachiano superior-Toarciano inferior no GSSP do Toarciano de Peniche (Rocha *et al.*, 2016).

## 5.6. Unidades Biostratigráficas

As ocorrências e os eventos apresentados e discutidos nas secções anteriores permitem relacionar a distribuição estratigráfica das associações de nanoplâncton calcário da passagem Toarciano-Aaleniano com as escalas biozonais de referência.

Assim, no perfil de São Gião é possível reconhecer as biozonas NJ8a e NJ9 do Domínio Boreal e as biozonas NJT8a e NJT9 do Domínio Tétisiano (Fig. 5.4).

O limite entre a Biozona NJ7 (Domínio Boreal) ou NJTb (Domínio Tétisiano) e a Biozona NJ8 (Domínio Boreal) ou NJT8 (Domínio Tétisiano) é marcado pela primeira ocorrência de *Retecapsa incompta*. Esta espécie regista representantes nas amostras SG28, SG67 e SG74, isto é desde a Subzona Aalensis até à Subzona Comptum. Contudo, o seu limite inferior foi reconhecido na Bacia Lusitânica a partir do Toarciano médio (Biozona Gradata) nos perfis de Brenha e do Rabaçal (Ferreira *et al.*, 2005;

Perilli & Duarte, 2006). A não ocorrência de representantes da espécie logo na Subzona Mactra poderá dever-se provavelmente a razões tafonómicas e/ou paleoecológicas que só nova amostragem poderá ajudar a clarificar. A identificação, em todas as amostras ao longo do perfil estudado e com abundância relativa significativa, de representantes da espécie *Lotharingius contractus*, inviabiliza a sua utilização como fóssil índice no perfil de São Gião para o reconhecimento das subzonas NJ8b (no Domínio Boreal) e NJT8b (Domínio Tétisiano). Também não se reconheceu a presença de representantes de *Watznaueria contracta* nem de representantes de *Cyclagelosphaera margarelli*, espécies índice das subzonas NJT8b e NJT8c, respetivamente (Domínio Tétisiano). *Watznaueria contracta* foi apenas referida para o Domínio Tétisiano, mas a espécie pode estar intimamente relacionada com a espécie *Lotharingius contractus*, definida para o Domínio Boreal, também identificada neste trabalho, podendo tratar-se da mesma ou de algum morfotipo intermédio entre as duas, visto a Bacia Lusitânica, durante o Jurássico, se localizar sob influência dos dois domínios (Pena dos Reis *et al.*, 2010). Aliás, Bown & Cooper (1998) afirmaram que na Biozona NJ8 ocorrem formas de transição entre *Lotharingius* e *Watznaueria*, facto que em São Gião também se verifica através da presença de morfologias intermédias entre os dois táxones (*Lotharingius* aff. *contractus*, entre outras).

O limite entre a Biozona NJ8 (Domínio Boreal) ou NJT8 (Domínio Tétisiano) e a Biozona NJ9 (Domínio Boreal) e NJT9 (Domínio Tétisiano) é marcado pela primeira ocorrência de representantes da espécie *Watznaueria britannica*, que foi registada na amostra SG34 (Subzona Opalinum), o que significa que, pelo menos no perfil de São Gião, o limite inferior daquela unidade biostratigráfica é muito anterior ao que está estabelecido para as escalas biostratigráficas de referência, quer do Domínio Boreal, quer do Domínio Tétisiano. De facto, para o primeiro, esta espécie, e portanto a base da Biozona NJ9, apenas surge na Biozona Laeviuscula (Bajociano), estando definida para a Biozona Concavum (Aaleniano superior) no Domínio Tétisiano. Neto (2000), também reconhece o limite entre as biozonas NJ8 e NJ9 na Biozona Discites (Bajociano inferior) do perfil do Cabo Mondego (Bacia Lusitânica).

Só o estudo detalhado das associações de nanofósseis calcários em outros perfis da Bacia Lusitânica correlativos do de São Gião, utilizando critérios taxonómicos consistentes, poderá reforçar as conclusões biostratigráficas agora apresentadas.

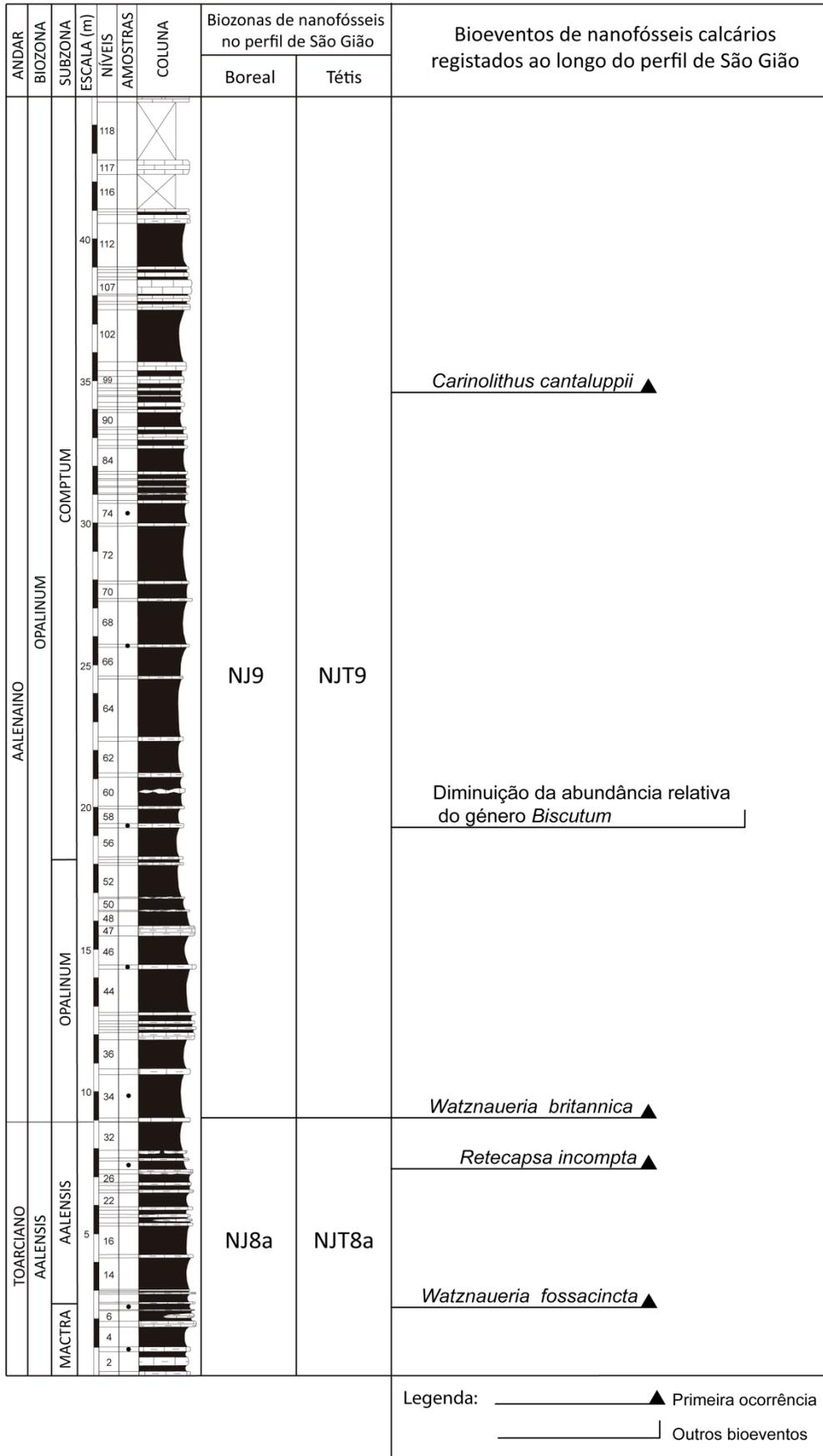


Figura 5.4 – Unidades biostratigráficas e principais bioeventos reconhecidos com base no registo de nanofósseis calcários ao longo do perfil de São Gião.

## **Capítulo 6. Paleoecología**

## 6. PALEOECOLOGIA

O estudo taxonómico do registo de nanofósseis calcários e a análise das associações reconhecidas ao longo da passagem Toarciana-Aaleniano do perfil de São Gião que se trataram nos capítulos anteriores (Capítulos 4 e 5), permitem apresentar e discutir aspetos de natureza paleoecológica, que se abordam no presente capítulo, designadamente os que se relacionam com a composição das associações e sua evolução ao longo do intervalo estratigráfico analisado (em 6.1), e que representam argumentos acerca do chamado “Comptum cooling event” baseados na análise do registo de microfósseis com modo de vida planctónico (em 6.2).

Para o estudo paleoecológico das associações de nanofósseis calcários realizaram-se cálculos de abundâncias relativas para os níveis taxonómicos de família, género e espécie, bem como de riqueza de espécies, que se apresentam seguidamente. Os resultados obtidos estão agrupados pelas quatro Subzonas de *Ammonoidea* reconhecidas no perfil (Mactra, Aalensis, Opalinum, Comptum). Ao nível de família e género utilizaram-se todos os táxones de espécies identificadas, incluindo os que foram deixados em nomenclatura aberta, que não foram considerados nos cálculos efetuados ao nível de espécie, que perfazem um total de 2754 exemplares. Nos cálculos ao nível específico apenas se consideraram os exemplares que permitiram a identificação inequívoca ao nível de espécie, assim como as espécies *Schizosphaerella* sp. e *Thoracospharera* sp., deixadas em nomenclatura aberta, e as espécies classificadas como *affinis* (aff.), pois representam mais do que 1% do número total de espécimes reconhecidos, perfazendo um total de 2159.

### 6.1. Composição das associações

Em termos de famílias, foram identificadas 8 pertencentes a 3 ordens de nanofósseis calcários. Para todo o perfil, o grupo taxonómico mais representativo é a família Watznaueriaceae com 63,5 % de abundância relativa. Esta família inclui os géneros reconhecidos no perfil de *Lotharingius* (o mais representativo), assim como de *Watznaueria* e *Bussonius*. Os valores mais elevados de abundância foram registados para a Subzona Comptum (66,6 %), com amostras a ultrapassarem os 70%, nomeadamente a amostra SG74 (73,2%). Esta família apresenta o valor mais baixo de abundância na Subzona Opalinum (58,1%), a atingir 45,3% na amostra SG45.

Este tipo de associações, onde predominam representantes da família Watznaueriaceae (através dos géneros *Lotharingius* e *Watznaueria*), é típico da passagem Jurássico Inferior-Jurássico Médio da Bacia Lusitânica, de acordo com

referências da literatura relativas a outros perfis (Perilli & Duarte, 2006; Mailliot *et al.*, 2007; Oliveira *et al.*, 2007; Rocha *et al.*, 2016), constatando-se maior prevalência de *Watznaueria* por substituição do género *Lotharingius* a partir do Aaleniano (Neto *et al.*, 2011; Suchéras-Marx *et al.*, 2015). O mesmo se verifica noutras bacias, tal como nas Béticas (Aguado *et al.*, 2008, Sandoval *et al.*, 2012a), onde a sua predominância é menos marcada, na Cantábria (Fráguas *et al.*, 2015) e em Itália (Mattioli 1996, Mattioli & Pittet, 2004). Aliás, a família Watznaueriaceae predomina nas associações de nanofósseis calcários de sedimentos marinhos desde o final do Pliensbachiano até ao final do Cretácico, tendo um carácter cosmopolita (Bown & Cooper, 1998).

A segunda família mais representada no perfil estudado é a família Biscutaceae, que apresenta valores de abundância relativa globais para todo o perfil de 18,6%. Esta família regista os valores de abundância mais elevados para a Subzona Opalinum, atingindo 23,3 %, com o seu máximo a ser registado para a amostra SG45 (34,3%). Desta família fazem parte os géneros *Biscutum*, *Discorhabdus* e *Similiscutum*, reconhecidos no perfil. Mais de 80% dos espécimes identificados incluem-se nestas duas famílias (Watznaueriaceae e Biscutaceae). As restantes famílias de cocólitos representadas são Chiasozygaceae, Calyculaceae, Cretarhabdaceae e Axopodorhabdacea (que no total perfazem valores de abundância relativa de 7,9 %), as famílias dos não-cocólitos Schizosphaerellaceae e o género *Thoracosphaera*, que atingem 10,1% para o conjunto do perfil (Fig. 6.1).

*Lotharingius* é o género mais representativo de todo o perfil, que domina claramente as associações com 54,8 % de abundância relativa, variando entre 39,5% na amostra SG45 (Subzona Opalinum) e 66,2% na amostra SG57 (Subzona Comptum). O género *Discorhabdus* apresenta-se como o segundo mais representativo ao longo do perfil estudado com abundância relativa de 13,0 %, mantendo-se este valor estável (variando entre 12 e 14%) ao longo das quatro subzonas. Pontualmente, e contrariamente ao género *Lotharingius*, o género *Discorhabdus* apresenta maior abundância relativa na amostra SG45 (22,3%) e menor abundância na amostra SG57 (3,5%). Também das duas famílias dos géneros mais representativos surgem outros géneros com alguma representatividade. O género *Biscutum* (da família Biscutaceae tal como *Discorhabdus*) apresenta uma abundância relativa para todo o perfil de 5,9 %, com o seu máximo a ocorrer na amostra SG45, tal como o género *Discorhabdus*, com valores de 11,7%. Também, tal como *Discorhabdus*, o seu mínimo foi registado na amostra SG57 (2,3%). O género *Bussonius* (da família Watznaueriaceae tal como *Lotharingius*) é representativo de 6,2% de todas as associações registadas. O seu máximo ocorre na Subzona Aalensis, na amostra SG28 (11,6%) e o seu mínimo foi

registado Subzona Comptum, na amostra SG57 (1,0%). O género *Thoracosphaera* apresenta-se com uma abundância relativa global de 6,2%, variando de 11,7% na amostra SG45 da Subzona Opalinum (máximo) para 2,6% na amostra SG96 (Subzona Comptum). Todos estes géneros perfazem 86% de todas as associações registadas, sendo os restantes géneros representados individualmente por valores de abundância que não atingem os 5% de abundância relativa (Fig. 6.1).

Comparativamente a outros trabalhos publicados para a Bacia Lusitânica (Periili *et al.*, 2002; Neto *et al.*, 2010), no perfil de São Gião a associação de nanofósseis registada apresenta uma representatividade do género *Schizosphaerella* mais baixa; também nas Béticas (Aguado *et al.*, 2008, Sandoval *et al.*, 2012a) e na Cantábria a sua abundância relativa é elevada, chegando a ultrapassar os 50% (Tremolada *et al.*, 2005). Este táxone apresenta maior abundância em ambientes ricos em carbonatos e prospera em águas pouco profundas com condições oligotróficas e profunda nutriclina (Aguado *et al.*, 2008), contrariamente ao género *Lotharingius* interpretado, juntamente a família Biscutaceae (que inclui o segundo género mais abundante da associação, *Discorhabdus*) e com a espécie *Carinolithus superbus*, como táxones com preferência pela zona fótica superior e com condições meso-eutróficas (Ferreira *et al.*, 2015, Tremolada *et al.*, 2005; Fráguas *et al.*, 2012).

Nas amostras estudadas do perfil estudado foram identificadas 63 espécies (descritas no Capítulo 5), que ilustram a diversidade do registo em nanofósseis para a passagem Toarciano-Aaleniano no perfil de São Gião. No Anexo II representam-se o número de exemplares identificados por espécie para a globalidade do perfil, e o seu registo por amostra.

A espécie mais abundante para o perfil estudado é *Lotharingius sigillatus* com abundância relativa de 13,2%. Esta espécie regista variações de abundância significativas, nomeadamente na Subzona Comptum, onde apresentam os seus valores mínimos e máximos de abundância (de 8,0 % na amostra SG67 até 21,2 % na amostra SG74). A segunda espécie mais abundante no perfil é a espécie índice *Lotharingius contractus*, que apresenta um valor global de 9,7%, com o seu máximo de abundância a ser registado na Subzona Comptum (12,6 %) e o seu mínimo na Subzona Opalinum (5,2%). Esta apresenta, tal como as demais espécies do género *Lotharingius*, valores muito baixos de abundância relativa na amostra SG45 (Subzona Opalinum), à exceção de *L. hauffii*, que regista aí um valor de 9,1%, o seu máximo em todo o perfil. A terceira espécie mais representativa é a do não-cocólito *Thoracosphaera* sp., que representa 8,0% do total das associações. Apresenta o seu

máximo na amostra SG45 da Subzona Opalinum (14,23%), e o seu mínimo na amostra SG96 da Subzona Comptum (3,2%). *Bussonius prinsii* que, tal como *Lotharingius* e *Watznaueria* pertencem à família Watznaueriaceae, é outra espécie com uma representação significativa nas associações analisadas, com um valor global de 6,4% ao longo do intervalo estudado; apresenta um mínimo na amostra SG57 da Subzona Comptum (1,3%) de abundância relativa, atingindo o seu pico na amostra SG67 também na Subzona Comptum. As outras duas espécies com maior representatividade pertencem ao género *Discorhabdus* da família Biscutaceae. São elas *Discorhabdus ignotus* e *Discorhabdus striatus*. A primeira apresenta uma abundância global de 6,4%, com o seu mínimo a ser registado na amostra SG57 da Subzona Comptum (1,7%) e o seu máximo na amostra SG3 da Subzona Mactra (16,2%). Esta espécie, apesar de registar grandes variações na abundância, parece perder importância ao longo do perfil de São Gião. A segunda apresenta um registo muito mais regular, com uma tendência contrária relativamente a *D. ignotus*, não tendo sido reconhecida na amostra SG57 (onde as espécies deste género ocorrem em menor abundância) e tendo o seu máximo sido registado na amostra SG67 da Subzona Comptum (11,2%). Todas as outras espécies identificadas nas associações registadas apresentam valores globais de abundância relativa abaixo de 5% (Fig. 6.2 Anexo II- tabela abundâncias relativas).

A predominância de espécies nas associações registadas tais como *Carinolithus superbus*, que prosperam na parte superior da zona fótica, são consistentes com os indicadores paleoecológicos obtidos através da análise da composição das associações registadas de foraminíferos bentónicos para o perfil estudado, que são características de ambientes de plataforma carbonatada com águas quentes, com salinidade normal e boa oxigenação (Henriques & Canales, 2013; Canales *et al.*, 2014), propícias à proliferação das nanofloras.

A maioria das espécies registadas nas associações tem um cariz cosmopolita (78%); das restantes, verifica-se maior representatividade de espécies tétisianas (19%), comparativamente às espécies de afinidades boreais (3%). Desta forma, é possível enfatizar o carácter híbrido que a Bacia Lusitânica possui ao longo do intervalo Toarciano-Aaleniano que, pela sua posição paleogeográfica, regista associações de nanofloras influenciadas pelos dois domínios, o Boreal a Norte e o Tétisiano a SE, provavelmente com maior influência do último. A presença da espécie *Crepidolithus crassus*, típica das águas do Norte do Tétis, e de *Carinolithus superbus*, típica de águas do Sul do Tétis, indica a ocorrência de misturas de massas de água, na Bacia Lusitânica, durante o período estudado (Mattioli *et al.*, 2008; Ferreira *et al.*,

2008), bem como a fácil comunicação entre as diferentes bacias em torno da Ibéria e até com regiões com localização mais remota, já defendida por Andrade *et al.* (2016), a partir da análise do registo de braquiópodes.

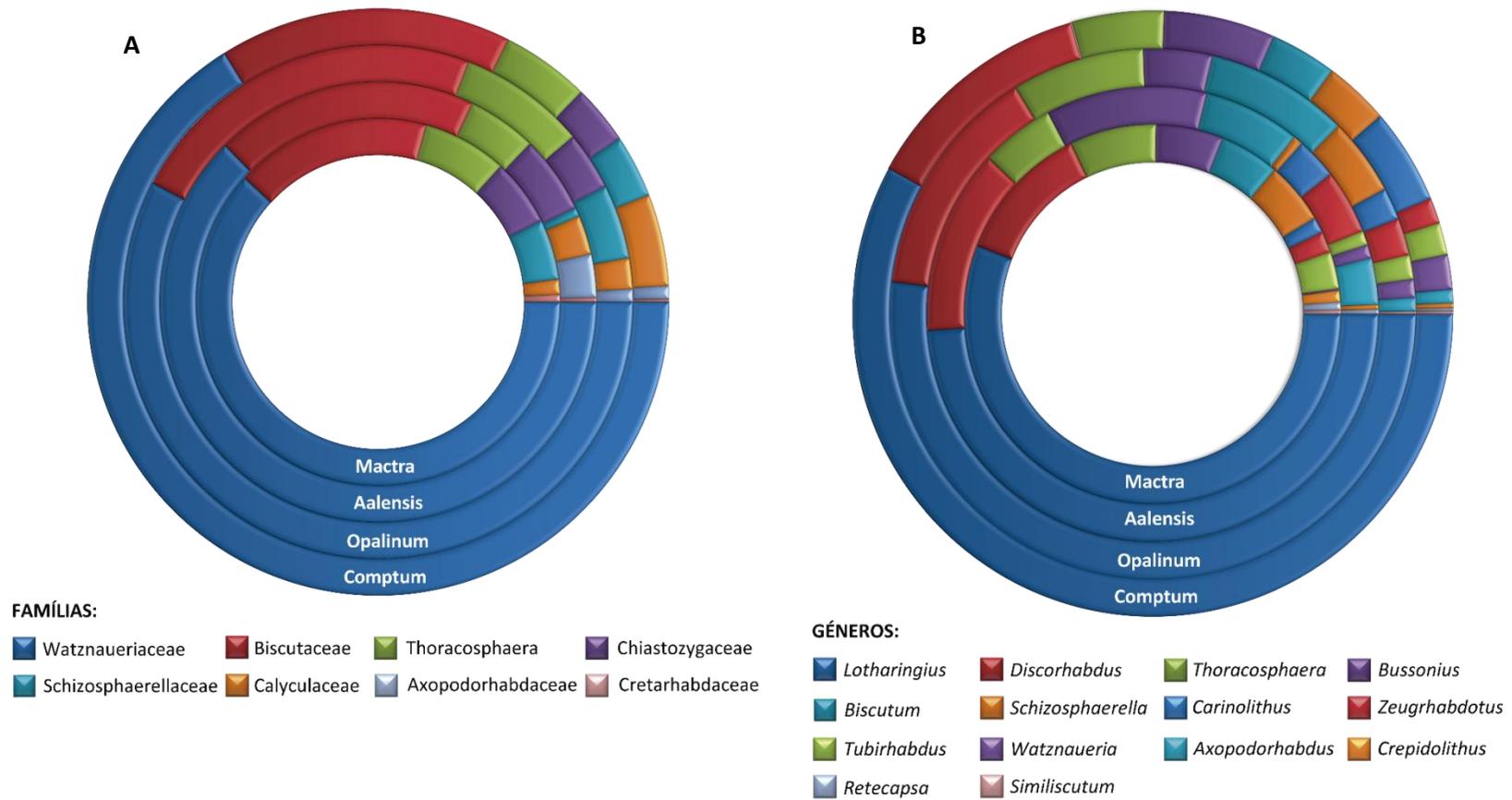


Figura 6.1 – Abundâncias relativas das famílias (A) e géneros (B) de nanofósseis identificados ao longo do intervalo Toarciano-Aaleniano no perfil de São Gião.

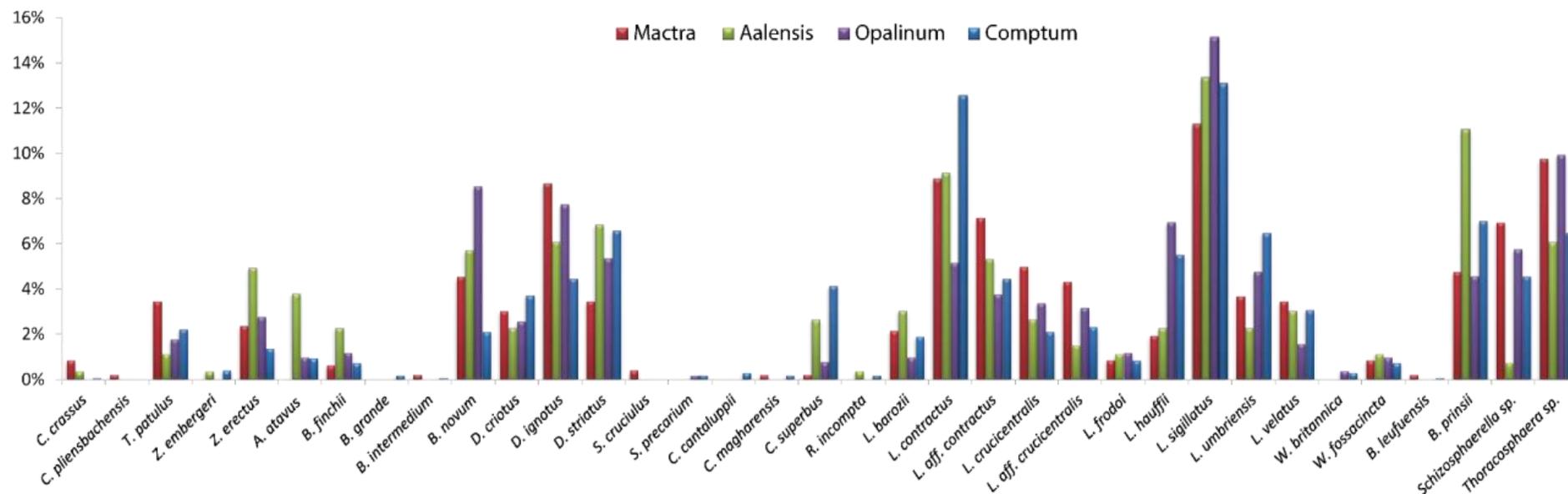


Figura 6.2 – Distribuição da abundância relativa das espécies pelas quatro Subzonas registradas ao longo do intervalo Toarciano-Aaleniano do perfil de São Gião.

## 6.2. O Registo de Nanofósseis Calcários e o “Comptum cooling event”

Price (2010), com base na análise das curvas de isótopos de carbono e oxigénio obtidas a partir de belemnites do Aaleniano-Bajociano da Ilha de Raasay na Escócia (Domínio Boreal), reconhece a existência de um período de arrefecimento durante a Subzona Comptum (“Comptum cooling event”). Baseando-se nos valores obtidos de  $\delta^{18}O$ , o autor propõe uma temperatura para a água do mar para o início do Aaleniano de 15-22°C, diminuindo para 7°C na Subzona Comptum. O mesmo autor, com base noutros trabalhos similares publicados para o Domínio Tetisiano, refere que este evento terá tido carácter global. Tais trabalhos, que foram desenvolvidos na Cordilheira Bética, apontam também para um possível evento de arrefecimento para a Subzona Comptum, correspondente a uma fase regressiva do nível do mar (Sandoval *et al.*, 2001b), que se expressa através de valores baixos de  $\delta^{13}C$  para os carbonatos do Toarciano final seguidos de uma excursão positiva de  $\delta^{13}C$  na Subzona Comptum (Sandoval *et al.*, 2008). O mesmo fenómeno foi também detetado para a Bacia Basco-Cantábrica, para a qual Gómez *et al.* (2009) propõem uma temperatura de 15,7°C, com base nos valores obtidos de  $\delta^{18}O_{bel}$ , e com base em fortes mudanças verificadas no registo das associações de foraminíferos e amonites. Contudo, na Bacia

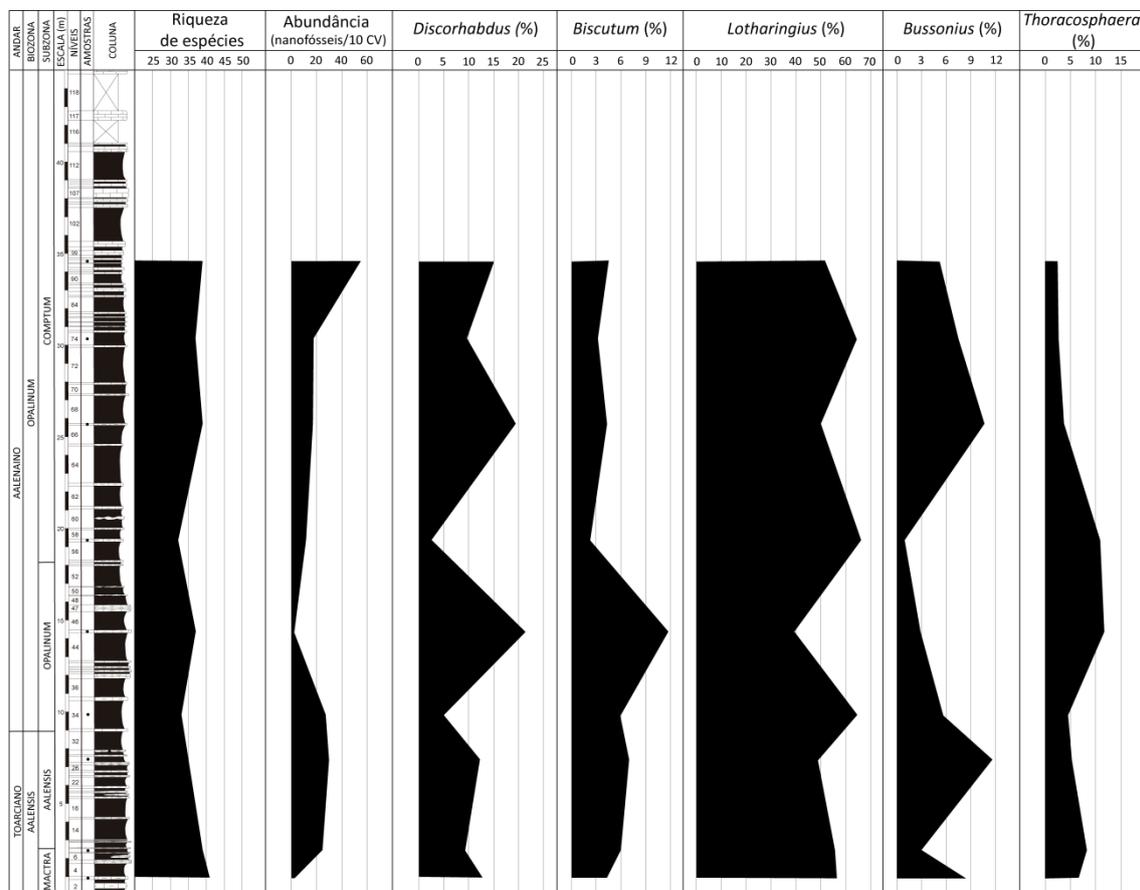


Figura 6.3 – Distribuição da riqueza de espécies e abundâncias relativas das amostras e dos géneros mais representativos registados ao longo do intervalo Toarciano-Aaleniano do perfil de São Gião.

Lusitânica e concretamente com base na análise do registo das associações de foraminíferos e amonites no perfil de São Gião, cujas associações não exibem variações significativas nas respectivas composições ao longo de todo o Aaleniano inferior, contrariam o carácter global do “Comptum cooling event” (Henriques & Canales, 2013).

Tendo em conta a composição das associações de nanofósseis registadas, não é igualmente detetável alterações significativas ao longo do perfil estudado. Na verdade, o número de espécies identificadas mantém-se constante ao longo do perfil, mesmo para a Subzona Comptum (Fig. 6.3). A riqueza de espécies varia entre 32 para a amostra SG57 (Subzona Comptum), e 41 espécies para a amostra SG3 (Subzona Aalensis). Mesmo registando-se o seu mais baixo valor na Subzona Comptum nas restantes amostras desta Subzona o número de espécies encontradas é elevado (entre 37 e 39). Todos estes valores indicam que neste ponto da Bacia deveriam ter existido boas condições paleoambientais para a manutenção desta diversidade de espécies encontrada.

Ao nível de género, *Lotharigius*, o mais abundante em todo o perfil estudado, mantém valores semelhantes de abundância relativa, mesmo na Subzona Comptum. Entre os demais géneros mais representativos das associações estudadas, o único que regista alguma variação significativa é *Biscutum*, que denota uma redução na sua abundância relativa na Subzona Comptum. Este género apresenta valores de cerca de 6% nas Subzonas Mactra, Aalensis, e Opalinum, que na Subzona Comptum de nunca atingem valores superiores a 3%.

Apesar de no GSSP do Aaleniano (Fuentelsaz-Cordilheira Ibérica) ter sido referida uma diminuição da abundância relativa das associações de nanofósseis ao longo da Subzona Comptum (Goy *et al.*, 1994), a análise da composição das associações de nanofósseis registadas ao longo do perfil de São Gião não conduz a tal conclusão. À semelhança dos indicadores obtidos para fósseis que representam modo de vida nectónico (amonites), e microfósseis com modo de vida bentónico (foraminíferos), também os nanofósseis calcários, com modo de vida planctónico, não manifestam variações na composição das respectivas associações ao longo da passagem Toarciano-Aaleniano no perfil de São Gião, contribuindo, assim, para refutar o carácter global do “Comptum cooling event”.

## **Capítulo 7. Conclusões**

---

## 7. CONCLUSÕES

O presente trabalho refere-se ao estudo da composição das associações de nanofósseis calcários registadas ao longo da passagem Jurássico Inferior-Jurássico Médio, concretamente para o intervalo Toarciano superior (Subzonas Mactra e Aalensis da Biozona Aalensis) - Aaleniano inferior (Subzonas Opalinum e Comptum da Biozona Opalinum) do perfil de São Gião, localizado no Setor Norte da Bacia Lusitânica. Ao longo deste intervalo estratigráfico foram recolhidas 9 amostras que possibilitaram o estudo das associações de nanofósseis calcários aí presentes. Da análise da composição das associações registadas resultou a identificação de 2754 exemplares, cujo estado de preservação se apresenta geralmente moderado, correspondentes a 3 ordens, 8 famílias, 14 géneros e 63 espécies de nanofósseis calcários.

Do ponto de vista taxonómico, Watznaueriaceae é a família mais bem representada e *Lotharingius* é o género mais abundante, representando cerca de 50% dos nanofósseis calcários identificadas, repartidos por 10 espécies, para além espécies identificadas por cf.. *Lotharingius sigillatus* e *Lotharingius contractus* são as espécies mais representativas do género, não só em termos globais mas também nas associações registadas ao longo de todo o perfil. O segundo género mais abundante nas associações é *Discorhabdus*, do qual se destacam as espécies *Discorhabdus ignotus* e *Discorhabdus striatus*. Estes dois géneros juntos perfazem mais de 2/3 das espécies reconhecidas ao longo da passagem Toarciano-Aaleniano do perfil de São Gião. Subordinadas a estes, mas ainda com algum relevo, cabe destacar os géneros *Thoracosphaera*, *Bussonius*, *Biscutum*, *Schizosphaerella* e *Carinolithus*. De forma mais rara ocorrem representantes dos géneros *Zeugrhabdotus*, *Tubirhabdus*, *Watznaueria*, *Axopodorhabdus*, *Crepidolithus*, *Retecapsa* e *Similiscutum*. Contudo, neste grupo mais escassamente representado no perfil, reconheceram-se espécies importantes do ponto de vista biostratigráfico, tais como *Retecapsa incompta* e *Watznaueria britannica*.

Ao longo do intervalo estudado foram reconhecidos alguns bioeventos com significado biostratigráfico local: a primeira ocorrência de *Watznaueria fossacincta* reconhecida na Subzona Mactra (Biozona Aalensis), a primeira ocorrência de *Retecapsa incompta* na Subzona Aalensis (Biozona Aalensis), a primeira ocorrência de *Watznaueria britannica*, espécie-índice da Biozona NJ9, que foi reconhecida na Subzona Opalinum (Biozona Opalinum), a primeira ocorrência de *Carinolithus cantaluppii* na Subzona Comptum (Biozona Opalinum), a ocorrência constante de

*Lotharingius contractus*, espécie-índice da Biozona NJ8, e ainda a diminuição da abundância do género *Biscutum* na Subzona Comptum (Biozona Opalinum).

Partindo da análise dos bioeventos, foi possível reconhecer unidades biostratigráficas com base em nanofósseis calcários, calibrada com a escala biostratigráfica de *Ammonoidea*. Assim, ao longo da passagem Toarciano-Aaleniano reconheceram-se as subzonas NJ8a da Biozona NJ8 (Domínio Boreal) correlacionável com a Subzona NJT8a da Biozona NJT8 (Domínio Tétisiano), a partir do registo de representantes da espécie *Retecapsa incompta*. Esta corresponde ao Toarciano inferior, concretamente às Subzonas Mactra e Aalensis do perfil de São Gião. A primeira ocorrência de representantes de *Watznaueria britannica*, que define a base da Biozona NJ9 (correlacionável com a NJT9 do Domínio Tétisiano), permitiu o reconhecimento daquelas biozonas nas subzonas Opalinum e Comptum da Biozona Opalinum (Aaleniano inferior).

A espécie *Lotharingius contractus*, cuja primeira ocorrência define a base da Biozona NJ8b no Domínio Boreal, encontra-se presente ao longo de todo o perfil, e assim sendo, contrariamente ao definido na escala biostratigráfica de Bown & Cooper (1998), esta espécie não tem valor estratigráfico no perfil de São Gião.

A base das biozonas NJ9/NJT9 em São Gião é estratigraficamente anterior (Biozona Concavum do Aaleniano superior) aos seus limites inferiores estabelecidos quer para o Domínio Boreal, onde a referem à Biozona Laeviuscula (Bown & Cooper, 1998), quer para o Domínio Tétisiano, onde é referida à Biozona Discites (Mattioli & Erba, 1999), em ambos os casos já no Bajociano inferior. O limite entre NJ8 e NJ9 é também referido para a Biozona Discites (Bajociano inferior) no perfil da Murtinheira (Bacia Lusitânica) por Neto *et al.* (2010) e para a Cordilheira Bética por Aguado *et al.* (2008).

No perfil de São Gião não foi possível reconhecer as subzonas NJT8b e NJT8c por ausência de registo das espécies índice do Domínio Tétisiano, *Watznaueria contracta* e *Cyclagelosphaera margarelli*, respetivamente. As diferenças entre *Watznaueria contracta* e *Lotharingius contractus* assentam em divergências na interpretação dos respetivos géneros por parte de diferentes autores que utilizam de critérios taxonómicos distintos na sua definição. Só o estudo detalhado das associações de nanofósseis calcários em outros perfis da Bacia Lusitânica correlativos do de São Gião, utilizando critérios taxonómicos objetivos e consistentes, poderá contribuir para uma melhor compreensão da linha evolutiva que parece relacionar

*Lotharingius* com *Watznaueria*, e dar maior sustentação aos resultados que, do ponto de vista biostratigráfico, foram obtidos no presente estudo.

Do ponto de vista paleoecológico, a composição das associações de nanofósseis é diversa e típica de ambientes de plataforma marinha, com predominância de espécies que prosperam na parte superior da zona fótica. As associações exibem carácter essencialmente cosmopolita, refletindo afinidades quer com o Domínio Boreal (e.g., *Lotharingius contractus*) quer com o Domínio Tétisiano (e.g., *Carinolithus cantaluppii*), embora a influência deste último seja mais evidente.

Ao longo do intervalo estratigráfico estudado não se registaram grandes variações na riqueza das associações, mantendo-se este índice sempre elevado e constante. A composição das associações também não refletiu variações significativas, não se tendo detetado quaisquer variações drásticas no aparecimento ou no desaparecimento de espécies durante a passagem Toarciano inferior-Aaleniano inferior, o que permite afirmar que chamado “Comptum cooling event”, registado em outras bacias do Hemisfério Norte, não parece ter afectado a Bacia Lusitânica.

Os resultados obtidos no presente trabalho ilustram o valor que as associações de nanofósseis calcários do Jurássico da Bacia Lusitânica representam do ponto de vista biostratigráfico, atendendo à posição paleogeográfica que ocupava, e que permite o estabelecimento de datações correlativas com as escalas estabelecidas quer para o Domínio Boreal quer para o Domínio Tétisiano. Apesar de se circunscrever a um único perfil, que constitui um perfil de referência para o Setor Norte da Bacia Lusitânica, as unidades biostratigráficas reconhecidas em São Gião com base no registo de nanofósseis complementam escalas correlativas já estabelecidas com outros grupos de fósseis e de microfósseis que se pretende ampliar para outros perfis da Bacia Lusitânica.

Os trabalhos sobre este grupo de microfósseis para o Jurássico da Bacia Lusitânica são escassos e, em muitos deles, não se referem nem os critérios utilizados para a classificação dos táxones neles referidos, nem se incluem figurações dos espécimes identificados. O estudo agora apresentado representa um primeiro contributo para a elaboração de uma escala biostratigráfica baseada em nanofósseis para o registo da passagem Jurássico inferior-Médio da Bacia Lusitânica, bem calibrada e válida quer para o Domínio Boreal quer para o Domínio Tétisiano, ferramenta de maior utilidade na interpretação de sondagens para a análise de bacias no âmbito da indústria dos hidrocarbonetos.

## **Capítulo 8. Referências bibliográficas**

---

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, T. M., Moita, C., Sandnes, F., Cunha, T., Monteiro, J. H. & Pinheiro, L. M., 2006**, “Mesozoic–Cenozoic evolution of North Atlantic continental slope basins: The Peniche basin, western Iberian margin”, *AAPG Bulletin*, 90, pp. 31–60.
- Alves, C. F. & Wanderley, M. D., 2003**, “Utilização dos nanofósseis calcários na indústria do petróleo”, *II Congresso Brasileiro de P. & D. em Petróleo e Gás*. Rio de Janeiro, 6 p.
- Andrade, B., L. V., García Joral, F., Goy, A. & Henriques, M. H., 2016**, “Palaeobiogeographic patterns of the brachiopod assemblages of the Iberian Subplate during the Late Toarcian - Early Aalenian (Jurassic)”, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 442, pp. 12-22.
- Antunes, R. L., 1997**. *Introdução ao estudo dos nanofósseis calcários*. Monografia série didáctica UFRJ, Rio de Janeiro, 115 p.
- Antunes, R. L., Shimabukuro, S., Oliveira, L. C. V., Zucatti da Rosa, A. L., Costa, S. O., Cunha, A. A. S. & Lima, F. H. O., 2004**, “Em busca da biostratigrafia de alta resolução – a performance de zonamento de nanofósseis calcários da Petrobras”. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 12, pp. 421-427.
- Arkell, W. S., 1956a**, *Jurassic Geology of the World*, Oliver and Boyd, Londres, 806 p.
- Arkell, W. S., 1956b**, “Standard of the European Jurassic”, *Bulletin of the Geological Society of America*, Washington, 57, pp. 1-34.
- Armstrong, H. & Brasier, M., 2005**, *Microfossils* (2ª.Eds.), Blackwell Publishing, Incorporated, Ltd., 304 p.
- Azerêdo, A. C., 1993**, *Jurássico Médio do Maciço Calcário Estremenho (Bacia Lusitânica): análise de fácies, micropaleontologia, paleogeografia*. Tese de Doutorado (não publicada), Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 366 p.
- Azerêdo, A. C., Duarte, L. V., Henriques, M. H. & Manuppella, G., 2003**, “Da dinâmica continental no Triásico aos mares do Jurássico Inferior e Médio.”, *Cadernos de Geologia de Portugal, Instituto Geológico e Mineiro*, Lisboa, 43 p.
- Barbosa, B., Soares, A. F., Rocha, R. B., Manupella, G. & Henriques, M. H., 1988**, “Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000. Notícia Explicativa da Folha 19-A, Cantanhede, (1ª Eds.)”, *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa, 60 p.
- Barbosa, B., Soares, A. F., Rocha, R. B., Manupella, G. & Henriques, M. H., 2008**, “Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000. Notícia Explicativa da Folha 19-A, Cantanhede, (2ª Eds.)”, *Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação*, Lisboa, 41 p.
- Barnard, T. & Hay, W., 1974**, “On Jurassic coccoliths: a tentative zonation of the Jurassic of Southern England and North France”, *Eclogae Geologicae Helveticae*, 67, pp. 563-585.

- Bown, P. R., 1987**, “Taxonomy, evolution and biostratigraphy of late Triassic and Lower Jurassic calcareous nannofossils”, *Special Papers in Palaeontology*, Oxford, 38, 118 p.
- Bown, P. R., 1998**, *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*, Chapman and Hall, Londres, 314 p.
- Bown, P. R. & Cooper, M. K. E., 1989**, “New calcareous nannofossils from the Jurassic”, *Journal of Micropalaeontology*, 8, pp. 91-96.
- Bown, P. R., Cooper, M. K. E., 1998**, “Jurassic” in: Bown, P.R. (Ed.), *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*, British Micropalaeontological Society Publication Series. Kluwer Academic Publishers, Cambridge, pp. 34-85.
- Bown, P. R., Cooper, M. K. E. & Lord, A. R., 1988**, “A calcareous nannofossil biozonation scheme for the early to mid-Mesozoic”, *Newsletters on Stratigraphy*, 20, pp. 91-114.
- Bown, P. R., Lees, J. A., Young & J R., 2004**, “Calcareous nannoplankton evolution and diversity through time” in: Thierstein, H. R., Young, J. R. (Eds.), *Coccolithophores: From molecular processes to global impact*, Springer, Berlin, pp. 481–508.
- Bown, P. R. & Young, J. R., 1997**, “Mesozoic calcareous nannofossil classification”, *Journal of Nannoplankton Research*, 19, pp. 21-36.
- Bown, P. R. & Young, J. R., 1998a**, “Introduction” in: Bown, P. R. (Ed.), *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*, British Micropalaeontological Society Publication Series. Kluwer Academic Publishers, Londres, pp. 16-28.
- Bown, P. R. & Young, J. R., 1998b**, “Techniques” in: Bown, P. R. (Ed.), *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*, British Micropalaeontological Society Publications Series, Kluwer Academic Publishers, Cambridge, pp. 16–28.
- Bramlette, M. N. & Riedel, W. R., 1954**, “Stratigraphic value of discoasters and some other microfossils related to recent coccolithophores”, *Journal of Paleontology*, 28, pp. 385-403.
- Bronnimann, P., 1955**, “Microfossils *incertae sedis* from the Upper Jurassic and Lower Cretaceous of Cuba”, *Micropaleontology*, 1, pp. 28-51.
- Caloo-Fortier, B., 1985**, “La ligne de suture élément de comparaison des genres *Pleydellia*, *Vacekia*, *Leioceras* (*Hildocerataceae*), Toarcien-Aalénien, S. Gião, Portugal” *Colloque CIEL. Cahiers de l’Institut Catholique de Lyon*, 14, pp. 231–253.
- Canales, M. L., Henriques, M. H., Figueiredo, V. L. and Guterres, H., 2010**, “Foraminifera from the Lower-Middle Jurassic of the Lusitanian Basin (Portugal) – biostratigraphic and palaeoecological significance”, in: Pena dos Reis, R. and Pimentel, N. (Eds.), *Rediscovering the Atlantic: new ideas for an old sea*, II Central & North Atlantic Conjugate Margins Conference Lisbon 2010, pp. 42-46.
- Cobianchi, M., 1992**, “Sinemurian-Early Bajocian calcareous nannofossil biostratigraphy of the Lombardy Basin (Southern Calcareous Alps; northern Italy)”, *Atti Ticinensi di Scienze della Terra*, 35, pp. 61-106.

- Concheryo, A. & Wise, S. W., 2001**, “Jurassic calcareous nanofossils from *prerift* sediments drilled during ODP Leg 173, Iberia Abyssal Plain, and their implications for rift tectonics” in: Beslier, M. O., Whitmarsh, R. B., Wallace, P. J., & Girardeau, J. (Eds.), *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 173, pp. 1-24.
- Crow, E. L., Davies, F. A. & Maxfield, M. W., 1960**, *Statistics manual*. Dover Publications, Inc Nova Iorque, 279 p.
- Cunha, P. P., 1992**, *Estratigrafia e sedimentologia dos depósitos do Cretácico Superior e Terciário de Portugal Central, a leste de Coimbra*. Tese de doutoramento (não publicada), Universidade de Coimbra, 262 p.
- Cunha, P. P. & Pena dos Reis, R., 1995**, “Cretaceous sedimentary and tectonic evolution of the northern sector of the Lusitanian Basin (Portugal)”, *Cretaceous Research*, 16, pp. 155–170.
- de Kaenel, E. & Bergen, J. A., 1993**, “New Early and Middle Jurassic coccolith taxa and biostratigraphy from the eastern proto-Atlantic (Morocco, Portugal and DSDP Site 547B)”, *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 86, pp. 861-907.
- de Kaenel, E., Bergen, J. A. & Perch-Nielsen, K., 1996**, “Jurassic calcareous nanofossil biostratigraphy of western Europe. Compilation of recent studies and calibration of bioeventos”, *Bulletin de la Sociere Geologique de France*. 1996, pp. 15-28.
- Deflandre, G. & Fert, C., 1954**, “Observations sur les coccolithophoridés actuels et fossiles en microscopie ordinaire et électronique”, *Annales de Paléontologie*, 40, pp. 115-176.
- Deninson, J. M. & Hay, W. W., 1967**, “Estimating the needed sampling area for subaquatic ecologic studies”, *Journal of Paleontology*, 41, 3, pp. 706-08.
- Dinis, J. L., 1999**, *Estratigrafia e sedimentologia da Formação de Figueira da Foz. Aptiano a Cenomaniano do sector norte da Bacia Lusitânica*. Tese de doutoramento (não publicada), Universidade de Coimbra, 381 p.
- Dinis, J. L., Rey, J., Cunha, P. P., Callapez, P. & Pena dos Reis, R., 2008**, “Stratigraphy and allogenic controls of the western Portugal Cretaceous: an updated synthesis”, *Cretaceous Research*, 29 (5-6), pp. 772-780.
- Duarte, L. V., 1997**, “Facies analysis and sequential evolution of the Toarcian-Lower Aalenian series in the Lusitanian Basin (Portugal)”, *Comunicações do Instituto. Geológico e Mineiro*, Lisboa, 83, pp. 65-94.
- Duarte, L. V. & Soares, A. F., 2002**, “Litostratigrafia das séries margo-calcárias do Jurássico inferior da Bacia Lusitânica (Portugal)” *Comunicações do Instituto. Geológico e Mineiro*, Lisboa, 89, pp. 115-134.
- Ferreira, J., Mattioli, E., Pittet, B., Cachão, M., Spangenberg, J., 2015**, “Palaeoecological insights on Toarcian and lower Aalenian calcareous nanofossils from the Lusitanian Basin (Portugal)”, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 436, pp. 245-262.

**Figueiredo, V. L., 2009**, *Foraminíferos da passagem Jurássico Inferior–Médio do Sector Central da Bacia Lusitânica: o perfil de Zambujal de Alcaria*, Tese de Mestrado (não publicada). Universidade de Coimbra, 87 p.

**Figueiredo, V., Canales, M. L. & Henriques, M. H., 2014**, “Foraminifera of the Toarcian-Aalenian boundary from the Lusitanian Basin (Portugal): a paleoecological analysis”, *Journal of Iberian Geology*, v. 40, no. 3, pp. 431-450.

**Figueiredo, V. & Guterres, H., 2012**, “Análise Quantitativa das Associações de Foraminíferos da Passagem Jurássico Inferior-Médio do Perfil de Maria Pares (Setor Norte da Bacia Lusitânica, Portugal) – Implicações Paleoecológicas”, in: Lopes, F. C., Andrade, A. I., Henriques, M. H., Ferreira-Quinta, M., Barata, M. T. & Pena dos Reis, R., (Eds.), *Para Conhecer a Terra, Memórias e Notícias de Geociências no Espaço Lusófono*, Imprensa da Universidade de Coimbra, pp. 151-159.

**Figueiredo, V. L., Henriques, M. H. and Canales, M. L., 2010**, “Foraminíferos da Passagem Jurássico Inferior – Médio do Sector Central da Bacia Lusitânica: o Perfil de Zambujal de Alcaria”, *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 19, pp. 207-234.

**Fráguas, A., Comas-Rengifo, M. J., Perilli, N., 2015**, “Calcareous nannofossil biostratigraphy of the Lower Jurassic in the Cantabrian Range (Northern Spain), Newsletters on Stratigraphy, Vol. 48, 2, pp. 179-199.

**Gómez, J. J., Canales, M. L., Ureta, S. & Goy, A., 2009**, “Palaeoclimatic and biotic changes during the Aalenian (Middle Jurassic) at the southern Laurasian Seaway (Basque–Cantabrian Basin, northern Spain)”, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 275, pp. 14–27.

**Goy, A., Ureta, S., Arias, C., Canales, M. L., Garcia-Joral, F., Herrero, C., Martinez, G., & Perilli, N., 1994**, “The Fuentelsaz section (Iberian Range, Spain), a possible Stratotype for the base of the Aalenian Stage”, *Miscellanea del Servizio Geologico Nazionale*, 5, pp. 1–31.

**Goy, A., Ureta, S., Arias, C., Canales, M. L., García Joral, F., Herrero, C., Martínez, G. & Perilli, N., 1996**, “The Toarcian/Aalenian boundary at Fuentelsaz section” *Inf. Geol. Landesamt Baden-Württ*, 8, pp. 43–52.

**Hallam, A., 1975**, *Jurassic Environments*, Cambridge University Press, Cambridge, 269 p.

**Hamilton, G. B., 1979**, “Lower and Middle Jurassic calcareous nannofossils from Portugal.”, *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 72, pp. 1-18.

**Hay, W. W., 1977**, “Calcareous nannofossils” in: A.T.S. Ramsey (Eds.), *Oceanic Micropalaeontology*, Academic Press, London, 2, pp. 1055-1200.

**Henriques, M. H., 1992**, *Biostratigrafia e Paleontologia (Ammonoidea) do Aaleniano em Portugal (Sector Setentrional da Bacia Lusitânica)*. Tese de doutoramento (não publicada). Universidade de Coimbra, 301 p.

**Henriques, M. H. & Canales, M. L., 2013**, “Ammonite-benthic foraminifera turnovers across the Lower–Middle Jurassic transition in the Lusitanian Basin (Portugal)”, *Geobios*, 46, pp. 395–408.

- Henriques, M. H. & Perilli, N., 2000**, "Aalenian nannofossils of São Gião and Serra da Boa-Viagem sections (Lusitanian Basin Portugal): preliminary results", *Actas do I Congresso Ibérico de Paleontología/XVI Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología*, pp. 93–94.
- Honjo, S., 1976**, "Coccoliths: production, transportation and sedimentation", *Marine Micropaleontology*, 1, pp. 65-79.
- Honjo, S., 1977**, "Biogenic Carbonate Particles in the Ocean; Do they Dissolve in the Water Column?" in: N. R. Andresen y Malahoff (Eds.), *The Fate of Fossil Fuel CO<sub>2</sub> in the Oceans*, Plenum Publishing Corporation, Nova Iorque, pp. 269-294.
- Jordan, R. W., Cros, L. & Young, J. R., 2004**, "A revised classification scheme for living Haptophytes", *Micropaleontology*, 50, supplement 1, pp. 55-79.
- Jordan, R. W. & Kleijne, A., 1994**, "A classification system for living coccolithophorids" in: Winter, A. & Siesser, W. G, *Coccolithophores*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 83-105.
- Kamptner, E., 1927**, "Beitrag zur Kenntinis adriatischer Coccolithophoriden". *Archiv für Protistenkunde*, 58, pp. 173-184.
- Kullberg, J. C., 2000**, *Evolução tectónica mesozóica da Bacia Lusitaniana*. Tese de doutoramento (não publicada), Universidade Nova de Lisboa, 361 p.
- 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. & Nogueira, C. R., 2013**, "A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica", in: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J. C. Kullberg (Eds.), *Geologia de Portugal (Volume II – Geologia Mesozoica de Portugal)*, Lisboa, pp. 167- 347.
- Lambert, B., 1987**, "Nannofossils calcaires de l'Albien supérieur et du Vraconnien du Cameroun meridional", *Cahiers de Micropaleontology*, 2, pp. 33-45.
- López-Otálvaro, G.-E., Suchéras-Marx, B., Giraud, F., Mattioli, E. & Lécuyer, C., 2012**, "Discorhabdus as a key coccolith genus for paleoenvironmental reconstructions (Middle Jurassic, Lusitanian Basin): Biometry and taxonomic status", *Marine Micropaleontology*, 94-95, pp. 45-57.
- Lord, A., R., 1982**, *A Stratigraphical Index of Calcareous Nannofossils*, Ellis Horwood Limited, Chichester, 190 p.
- Magno, C., 2010**, *Foraminíferos do limite Jurássico inferior-médio do sector Norte da Bacia Lusitânica: o perfil de S. Gião*, Tese de Mestrado (não publicada), Universidade de Coimbra, 86 p.
- Martini, E., 1971**, "Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation" in Proceedings of the Second Planktonic Conference Roma 1970, (Ed. A. Forinacci), *Edizioni Tecnoscienza*, Roma, 2, pp. 739-785.
- Matsuoka, H., 1990**, "A new method to evaluate dissolution of calcium carbonate in deep sea sediments", *Transactions and Proceedings*, Palaeontological Society of Japan, 157, pp. 430-434.

- Mattioli, E. & Erba, E., 1999**, “Biostratigraphic synthesis of calcareous nannofossil events in the Tethyan Jurassic”, *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 105, pp. 343-376.
- Mattioli, E., & B. Pittet, 2004**, “Spatial and temporal distribution of calcareous nannofossils along a proximal-distal transect in the Umbria-Marche basin (Lower Jurassic; Italy)”, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 205, pp. 295–316.
- Mattioli, E., Pittet, B., Suan, G., Mailliot, S., 2008**, “Calcareous nanoplankton across Early Toarcian anoxic event: implications for palaeoceanography within the western Tethys”, *Palaeoceanography*, 23, 17 p.
- Mattioli, E., Plancq, J., Boussaha, M., Duarte, L. V. & Pittet, B., 2013**, “Calcareous nannofossil biostratigraphy: new data from the Lower Jurassic of the Lusitanian Basin”, *Comunicações Geológicas*, 100, Especial I, pp. 69-76.
- Molina, E., 2004**, “Micropaleontología. Coccolitofóridos y otros nanofósiles calcáreos” in: Molina, (Eds.), *Micropaleontología*. Pressas Universitarias de Zaragoza, pp. 325-340.
- Mouterde, R., Rocha, R. B., Ruget, C. & Tintant, H., 1979**, “Faciès, biostratigraphie et paléogéographie du Jurassique portugais”, *Ciências Terra (UNL)*, Lisboa, 5, pp. 29-52.
- Mutterlose, J., Bornemann, A. & Herrle, J., 2005**, “Mesozoic calcareous nannofossils - state of the art”, *Paläontologische Zeitschrift*, 79, pp. 113-133.
- Neto, K. S., 2010**, *Nanofósseis calcários da passagem Aaleniano-Bajociano do perfil do Cabo Mondego – Portugal (GSSP do Bajociano)*, Tese de Mestrado (não publicada), Universidade de Coimbra, 96 p.
- Palain, C., 1976**, “Une serie détritique terrigène. Les “Grès de Silves”: Trias et Lias inférieur du Portugal”, *Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa, 25, 377 p.
- Panera, J. P. P., 2010**, *Sistemática y biostratigrafía de los Nanofósiles Calcáreos del Cretácico del Sudeste de la Cuenca Austral, Santa Cruz, Argentina*, Tese de doutoramento, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidade Nacional de La Plata, 450 p.
- Pena dos Reis, R. P. B, Carrochano, A., Bernardes, C. A., Proença Cunha, P. M. R. R. & Dinis, J. M. L., 1992**, “O Meso-Cenozóico da Margem Atlântica Portuguesa”, *Guias de las excursiones geológicas - III Congreso Geológico de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología*, Ed. Universidad de Salamanca, pp. 115–138.
- Pena dos Reis, R., Dinis, J. L., Cunha, P. P. & Trincão, P., 1996**, “Upper Jurassic Sedimentary Infill and Tectonics of the Lusitanian Basin (Western Portugal)”, *GeoRes. Forum*, Zurich, 1-2, pp. 377-386.
- Pena dos Reis, R. & Pimentel, N., 2014**, “Analysis of the Petroleum Systems of the Lusitanian Basin (Western Iberian Margin) — A Tool for Deep Offshore Exploration”, in: Pindell, J., Horn, B., Rosen, N., Weimer, P., Dinkleman, M., Lowrie, A., Fillon, R., Granath, J. and Kennan, L., (Eds.), *Sedimentary Basins, Origin, Depositional Histories*

and *Petroleum Systems*, 33rd GCSSEPM Foundation Bob F. Perkins: Research Conference, pp. 228-255.

**Pena dos Reis, R. P., Pimentel, N. L. & Bueno, G. V. (Eds.), 2008**, “III Curso de Campo na Bacia Lusitânica (Portugal) – *Roteiro*”, Coimbra, 136 p.

**Pena dos Reis, R., Pimentel, N. & Garcia, A., 2010**, “A evolução da Bacia Lusitânica (Portugal) e dos sistemas petrolíferos associados”, *Revista Electrónica de Ciências da Terra*. Vol. 10, 4, pp. 1-4.

**Pena dos Reis, R. P., Pimentel, N. & Garcia, A. J., 2011**, “A Bacia Lusitânica (Portugal): análise estratigráfica e geodinâmica”, *Boletim de Geociências da Petrobras*, 19, 1/2, pp. 23-52.

**Perch-Nielsen, K., 1985**, “Mesozoic calcareous nannofossils”, in: Bolli, H. M., Saunders, J. B., Perch-Nielsen, K. (Eds.), *Plankton Stratigraphy*, 1, Cambridge University Press, pp. 329-426.

**Perilli, N. & Duarte, L. V., 2006**, “Toarcian nannobiohorizons from Lusitanian Basin (Portugal) and their calibration against ammonite zones”, *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 112, pp. 417-434.

**Perilli, N., Henriques, M. H. & Ureta, M., S., 2002**, “Aalenian calcareous nannofossil biohorizons of some sections, from Lusitanian Basin and Basque-Cantabrian Area”, *XVII Jorn. Soc. Esp. Paleontologia*, pp. 162-165.

**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*, Vol. 39 (3), pp. 305-326.

**Pinheiro, L. M., Wilson, R. C. L., Pena dos Reis, R. P., Whitmarsh, R. B. & Ribeiro, A., 1996**, “The western Iberia Margin: a geophysical and geological overview” in: Whitmarsh, R. B., Sawier, D. S., Klaus, A., Masson, D. G. (Eds.), *Proceedings of Oil Drilling Project, Scientific Results*, 149, pp. 3-23.

**Price, G., D., 2010**, “Carbon-isotope stratigraphy and temperature change during the Early-Middle Jurassic (Toarcian-Aalenian)”, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Raasey, Scotland, UK, 285, pp. 255–263.

**Prins, B., 1969**, “Evolution and Stratigraphy of coccolithinids from the Lower and Middle Lias”, *Proceedings of I Planktonic Conference*, Genebra, 2, pp. 547-558.

**Rasmussen, E. S., Lomholt, S., Andersen, C. & Vejbæk, O. V., 1998**, “Aspects of the structural evolution of the Lusitanian Basin in Portugal and the shelf and slope area offshore Portugal”. *Tectonophysics*, Elsevier 300, Amsterdão, pp. 199-225.

**Rey, J., Dinis, J. L., Callapez, P. & Cunha, P. P., 2006**, “Da rotura continental à margem passiva. Composição e evolução do Cretácico de Portugal”, *Cadernos de Geologia de Portugal*. INETI, Lisboa, 75 p.

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

Ribeiro, A., Silva, J. B., Cabral, J., Dias, R., Fonseca, P., Kullberg, M. C., Terrinha, P. & Kullberg, J. C., 1996, "Tectonics of the Lusitanian Basin", *Final Report, Proj. MILUPOBAS, Contract n° JOU-CT94-0348*, ICTE/GG/GeoFCUL, Lisboa, 126 p.

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

Roth, P. H., 1983, "Jurassic and Lower Cretaceous calcareous nannofossils in the western North Atlantic (Site 534): biostratigraphy, preservation, and some observations on biogeography and palaeoceanography", *Initial Reports of the DSDP*, 76, pp. 587-621.

Roth, P. H. & Krumbach, K. R., 1986, "Middle Cretaceous calcareous nannofossil biogeography and preservation in the Atlantic and Indian oceans: implications for palaeoceanography", *Marine Micropaleontology*, 10, pp. 235-266.

Roth, P. H. & Thierstein, H., 1972, "Calcareous nannoplankton: Leg 14 of the Deep Sea Drilling Project", *Initial Reports of the DSDP*, 14, pp. 421-485.

Sandoval, J., Bill, M., Aguado, R., O'Dogherty, L., Rivas, P., Morard A., Guex, J., 2012a, "The Toarcian in the Subbetic basin (southern Spain): Bio-events (ammonite and calcareous nannofossils) and carbon-isotope stratigraphy", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 342-343, pp. 40-63.

Sandoval, J., Henriques, M. H., Chandler, R. & Ureta, S., 2012b, "Latest Toarcian-earliest Bajocian (Jurassic) Grammocerotinae (*Hildoceratidae*, *Ammonitina*) of the western Tethys: their palaeobiogeographic and phylogenetic significance", *Geobios*, 45, pp.109–119.

Sandoval, J., Henriques, M. H., Ureta, M. S., Goy, A. & Rivas, P., 2001, "The Lias/Dogger boundary in Iberia: Betic and Iberian cordilleras and Lusitanian Basin", *Bulletin de la Société Géologique de France*, 172, pp. 18–21.

Seyve, C., 1990. *Introdução à micropaleontologia*, Elf Aquitaine Angola, Luanda, 225 p.

Soares, A. F., Marques, J. F. & Rocha, R. B., 1985, "Contribuição para o conhecimento geológico de Coimbra, *Memórias e Notícias*, Coimbra, 100, pp. 41-71.

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

Stoll, H. M., Ruiz-Encinar, J., Ignacio Garcia Alonso, J., Rosenthal, Y., Probert, I. & Klaas, C., 2001, "A first look at paleotemperature prospects from Mg in coccolith carbonate: Cleaning techniques and culture measurements", *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2, 13 p.

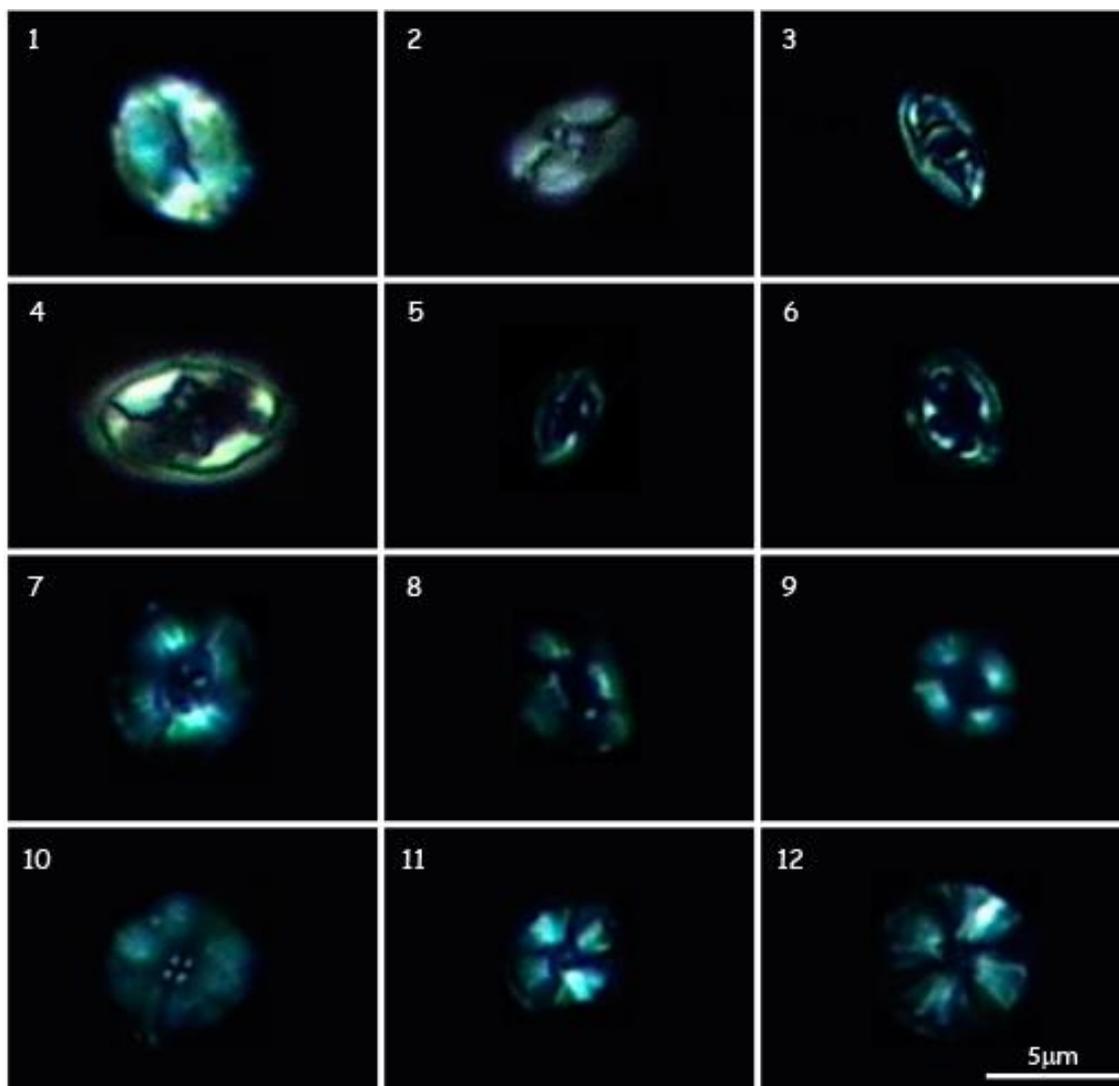
Stradner, H., 1963, "New contributions to Mesozoic stratigraphy by means of nannofossils", *Proceedings of the Sixth World Petroleum Congress*, Section I, Paper 4, pp. 167-183.

- Suchéras-Marx, B., Mattioli, E., Giraud, F., Escarguel, G., 2015**, “Paleoenvironmental and paleobiological origins of coccolithophorid genus *Watznaueria* emergence during the late Aalenian–early Bajocian, *Paleobiology*, Vol. 41, 3, pp. 415-435.
- Thierstein, H. R., Geitzenauer, K. R. & Molfino, B., 1977**, “Global synchronicity of Late Quaternary coccolith datum levels: validation by oxygen isotopes”, *Geology*, 5, pp. 400-404.
- Wilson, R. C. L., 1988**, “Mesozoic development of the Lusitanian Basin”, *Revista da Sociedade de Geologia da Espanha*, v. 1, 3-4, Portugal, pp. 393-407.
- Wilson, R. C. L., Hiscott, R. N., Willis, M. G. & Gradstein, F. M., 1989**, “The Lusitanian Basin of West Central Portugal: Mesozoic and Tertiary Tectonic, Stratigraphic, and Subsidence History” In: Tankard, A. J. & Balkwill, H. (Eds.), *Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic margins*, AAPG Memoir, 46, Tulsa, pp. 341-361.
- Young, J. R. & Bown, P. R. 1997**, “Higher classification of calcareous nannofossils”, *Journal of Nannoplankton Research*, 19 (1), pp. 15-20.
- Young, J. R., Bown P. R., Lees J. A. (Eds.), 2014**, *Nannotax3 website*, International Nannoplankton Association, URL: [http://http://ina.tmsoc.org/Nannotax3](http://ina.tmsoc.org/Nannotax3)
- Young, J. R., Geisen, M., Cros, L., Kleijne, A., Sprengel, C., Probert, I. & Stergaard, J. B., 2003**, “A guide to extant calcareous nannoplankton taxonomy”, *Journal of Nannoplankton Re-search*, Special Issue 1, pp. 1-125.

# **ESTAMPAS**

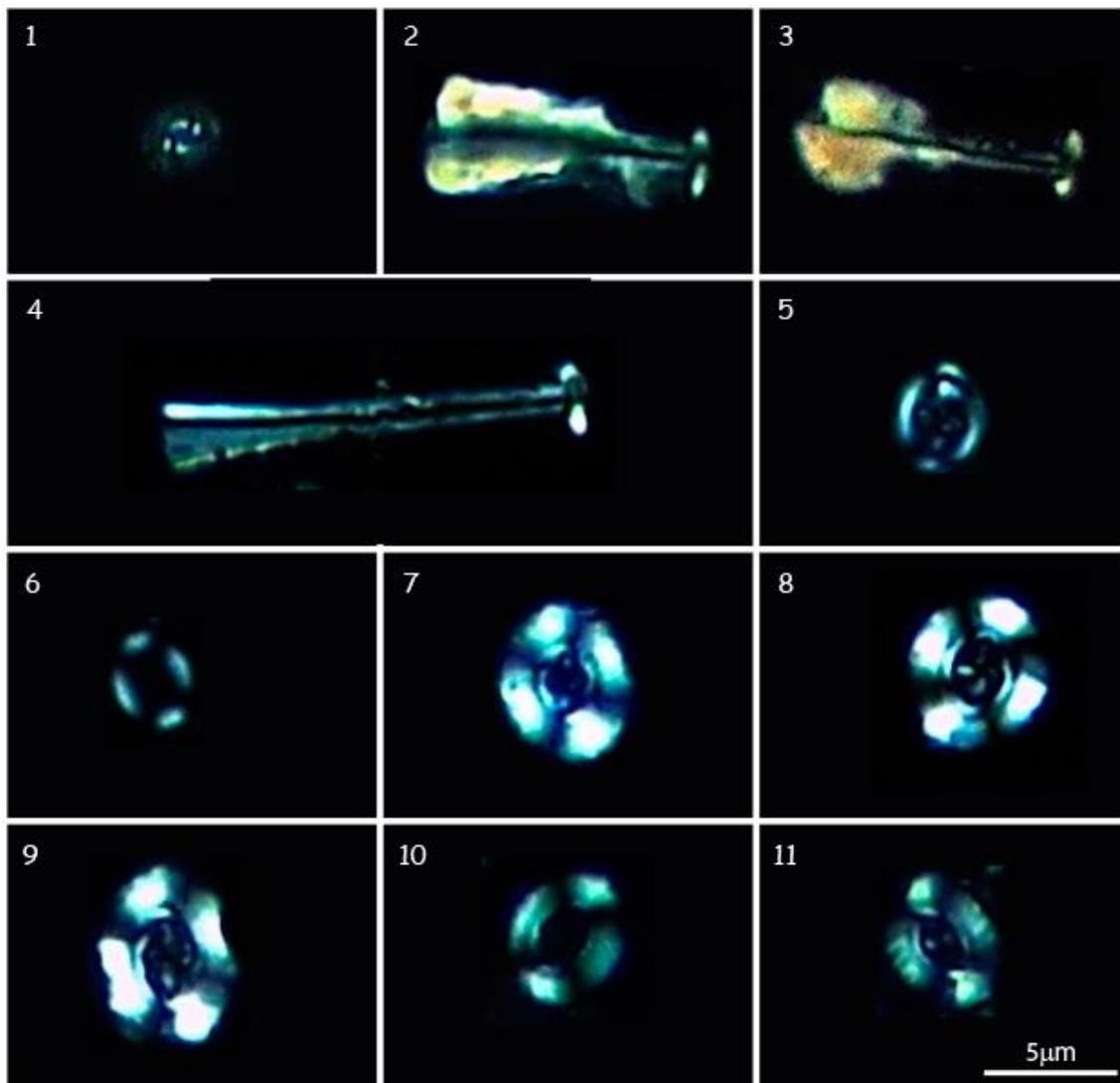
---

## ESTAMPA 1



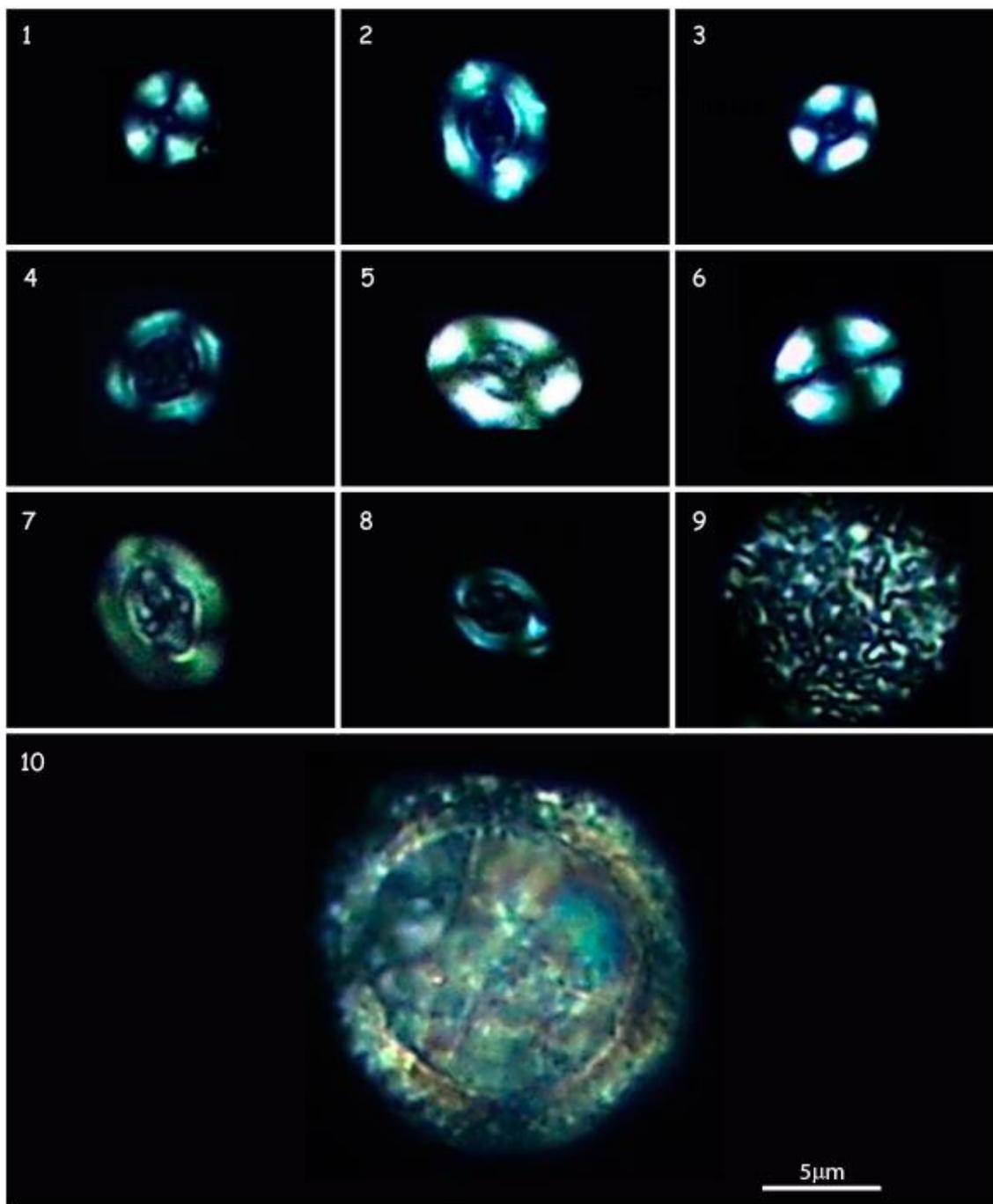
1-*Crepidolithus crassus* (amostra SG8); 2-*Crepidolithus plienschachensis* (SG3); 3-*Tubirhabdus patulus* (SG57); 4-*Zeugrhabdotus embergeri* (SG28); 5-*Zeugrhabdotus erectus* (SG3); 6-*Axopodorhabdus atavus* (SG67); 7-*Biscutum finchii* (SG28); 8-*Biscutum grande* (SG67); 9-*Biscutum novum* (SG8); 10-*Discorhabdus criotus* (SG8); 11-*Discorhabdus ignotus* (SG96); 12-*Discorhabdus striatus* (SG34).

ESTAMPA 2



1-*Similiscutum cruciulus* (SG8); 2-*Carinolithus cantaluppii* (SG96); 3-*Carinolithus magharensis* (SG8); 4-*Carinolithus superbus* (SG96); 5-*Retecapsa incompta* (SG67); 6-*Lotharingius barozii* (SG34); 7-*Lotharingius contractus* (SG34); 8-*Lotharingius* aff. *contractus* (SG96); 9-*Lotharingius crucicentralis* (SG67); 10-*Lotharingius* aff. *crucicentralis* (SG34); 11-*Lotharingius frodoi* (SG34).

## ESTAMPA 3



1-*Lotharingius hauffii* (SG67); 2-*Lotharingius sigillatus* (amostra SG34); 3-*Lotharingius umbriensis* (SG75); 4-*Lotharingius velatus* (SG34); 5-*Watznaueria britannica* (SG34); 6-*Watznaueria fossacincta* (SG8); 7-*Bussonius leufuensis* (SG67); 8-*Bussonius prinsii* (SG96); 9-*Thoracosphaera* sp.(SG96); 10 *Schizosphaerella* sp. (SG28).

# **ANEXOS**

---

Anexo I e II

Amostra	Biozona de Amonites	Subzona de Amonites	Biozona Nanofósseis - Boreal (Bown & Cooper, 1998)	Biozona Nanofósseis - Tétis (Mattioli & Erba, 1999)	Abundância da amostra	Nº Espécies	Preservação	Retecapsa incompta	Lotharingius contractus	Watznaueria britannica	Crepidolithus crassus	Crepidolithus cf. impontus	Crepidolithus piliensbachensis	Crepidolithus aff. timorensis	Crepidolithus sp.	Tubirhabdus patulus	Tubirhabdus sp.	Zeugrhabdotus embergeri	Zeugrhabdotus erectus	Axopodorhabdus atavus	Biscutum cf. dubium	Biscutum finchii	Biscutum cf. finchii	Biscutum grande	Biscutum cf. grande	Biscutum intermedium	Biscutum novum	Biscutum cf. novum	Biscutum sp.	Discorhabdus criotus	Discorhabdus ignotus	Discorhabdus striatus	Discorhabdus sp.	Similiscutum cruciulus	Similiscutum precarium	Carinolithus cantaluppii	Carinolithus magharensis	Carinolithus cf. magharensis	Carinolithus superbus	Carinolithus cf. superbus	Carinolithus sp.	Lotharingius barozii	Lotharingius cf. barozii	Lotharingius aff. contractus	Lotharingius cf. contractus	Lotharingius crucicentralis	Lotharingius aff. crucicentralis	Lotharingius cf. crucicentralis	Lotharingius frodoi	Lotharingius cf. frodoi	Lotharingius hauffii	Lotharingius cf. hauffii	Lotharingius sigillatus	Lotharingius cf. sigillatus	Lotharingius umbriferis	Lotharingius cf. umbriferis	Lotharingius velatus	Lotharingius cf. velatus	Lotharingius sp.	Watznaueria cf. britannica	Watznaueria fossacincta	Watznaueria cf. fossacincta	Watznaueria sp.	Bussosius leufjuensis	Bussosius cf. leufjuensis	Bussosius prinsii	Bussosius cf. prinsii	Bussosius sp.	Schizosphaerella sp.	Thoracosphaera sp.	Totais			
SG96	Opalinum	Comptum	NJ9	NJT9	55	39	B		21		1					13		4	1	5		1				1	10		2	8	12	22	8						15		9	3					11	1	9	5		2	1	9	1	21		30	1	13	1	32				1	1			15	1	8	8	312
SG74					18	37	M	1	31	1				1							5				3		1			2	4	3	11	15	4						15		5	3					5	4	4	10	2	1	1	11	47	1	10	3	8	56	1	2			22	1	3	8	306			
SG67					17	39	M	1	24						2					2		4	4			1	1	1	1	5	4	18	15	25	4						8		3	5	1	16		4	5	1	3		15	18		5	1			54	2	3	4	1	26	2	3	3	11	305				
SG57		Opalinum			Comptum	NJ9	NJT9	12	32	P		42	2			1		6								2				3	2	6	4		1								1	2	7	1	10		3	2		2	3	17	37	3	16		8	55	3	1	2		3				29	34	311			
SG45								3	37	P		6					3							9	4	1	3	1				28	3	10	32	21	6							3	4	1	1	7	1	5	3	1	2	3	23	25	1	11	2	1	29	5			6	3	8	36	309					
SG34								27	33	M		20	2					6						5	1			3					15		3	7	6	3									1	1	12	1	12	13	1	4	4	12	51	1	13		7	1	40				17		21	14	305			
SG28	Aalenis	Mactra	NJ8b	NJT8a	30			35	M	1	24		1					3		1	13	10		6				15			6	16	18								7	1	1	8	1	14	1	7	4	3	3	7	6	35	2	6		8	19	3			29	6	2	16	303							
SG8					25			39	M		28	4				9					7						1	1			1	13	2	10	6	13	2	2							2	3	3	15	2	9	12	1	2	11	6	31	2	10	1	9	23	4			1	7	1	1	22	25	303			
SG3					3			41	P		13		1	1			7	3		4							2			1		8	1	1	4	34	3									3	7	1	18	2	14	8	2	2	3	3	1	21	1	7	7	1	58		1	1	15	3	6	10	20	300		
<b>Totais:</b>					3	209	5	6	1	1	1	1	1	1	49	3	5	51	24	1	22	3	2	2	2	2	99	1	18	68	137	123	28	2	3	3	3	3	2	51	1	32	41	9	108	12	67	62	11	21	33	102	2	286	11	108	8	61	3	366	2	19	3	9	2	1	140	6	21	106	172	2754		

**Abundância da amostra** - número de nanofósseis identificado por 10 campos de visão

**Preservação da amostra:**

- B** - Boa
- M** - Moderada
- P** - Pobre
- MP** - Muito Pobre

Anexo I - Quadro resumo com a contabilização do número de exemplares das espécies registradas ao longo do perfil de São Gião.

Amostra	Biozona de Amonites	Subzona de Amonites	Biozona Nanofósseis - Boreal (Bown & Cooper, 1998)	Biozona Nanofósseis - Tétis (Mattioli & Erba, 1999)	Abundância da amostra	Nº Espécies	Preservação	Retecapsa incompta	Lotharingius contractus	Watznaueria britannica	Crepidolithus crassus	Crepidolithus cf. impontus	Crepidolithus piliensbachensis	Crepidolithus aff. timorensis	Crepidolithus sp.	Tubirhabdus patulus	Tubirhabdus sp.	Zeugrhabdotus embergeri	Zeugrhabdotus erectus	Axopodorhabdus atavus	Biscutum cf. dubium	Biscutum finchii	Biscutum cf. finchii	Biscutum grande	Biscutum cf. grande	Biscutum intermedium	Biscutum novum	Biscutum cf. novum	Biscutum sp.	Discorhabdus criotus	Discorhabdus ignotus	Discorhabdus striatus	Discorhabdus sp.	Similiscutum cruciulus	Similiscutum precarium	Carinolithus cantaluppii	Carinolithus magharensis	Carinolithus cf. magharensis	Carinolithus superbus	Carinolithus cf. superbus	Carinolithus sp.	Lotharingius barozii	Lotharingius cf. barozii	Lotharingius aff. contractus	Lotharingius cf. contractus	Lotharingius crucicentralis	Lotharingius aff. crucicentralis	Lotharingius cf. crucicentralis	Lotharingius frodoi	Lotharingius cf. frodoi	Lotharingius hauffii	Lotharingius cf. hauffii	Lotharingius sigillatus	Lotharingius cf. sigillatus	Lotharingius umbriferis	Lotharingius cf. umbriferis	Lotharingius velatus	Lotharingius cf. velatus	Lotharingius sp.	Watznaueria cf. britannica	Watznaueria fossacincta	Watznaueria cf. fossacincta	Watznaueria sp.	Bussosius leufjuensis	Bussosius cf. leufjuensis	Bussosius prinsii	Bussosius cf. prinsii	Bussosius sp.	Schizosphaerella sp.	Thoracosphaera sp.					
SG96	Opalinum	Comptum	NJ9	NJT9	55	39	B	6,7%	0,3%					4,2%	1,3%	0,3%	1,6%	0,3%	0,3%	1,6%	0,3%					0,3%	3,2%	0,6%	2,6%	3,8%	7,1%	2,6%						0,6%	1,0%			4,8%	2,9%	1,0%		3,5%	0,3%	2,9%	1,6%		0,6%	0,3%	2,9%	0,3%	6,7%					9,6%	0,3%	4,2%	0,3%	10,3%				0,3%	0,3%			4,8%	0,3%	2,6%	2,6%
SG74					18	37	M	0,3%	10,1%	0,3%						0,3%					1,6%				1,0%		0,3%			0,7%	1,3%	1,0%	3,6%	4,9%	1,3%						0,3%			4,9%	1,6%	1,0%		1,6%	1,3%	1,3%	3,3%	0,7%	0,3%	3,6%	15,4%	0,3%	3,3%	1,0%	2,6%	18,3%		0,3%			7,2%	0,3%	1,0%	2,6%							
SG67					17	39	M	0,3%	7,9%							0,7%					1,3%	1,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%		1,6%	1,3%	5,9%	4,9%	8,2%	1,3%									2,6%	1,0%	1,6%	0,3%	5,2%		1,3%	1,6%	0,3%	1,0%	4,9%	5,9%		1,6%	0,3%		17,7%	0,7%	1,0%	0,0%	1,3%	0,3%	8,5%	0,7%	1,0%	1,0%	3,6%					
SG57		Opalinum			Comptum	NJ9	NJT9	12	32	P	13,5%	0,6%			0,3%		1,9%								0,6%				1,0%	0,6%	1,9%	1,3%		0,3%											0,6%	2,3%	0,3%	3,2%		1,0%	0,6%		0,6%	1,0%	5,5%	11,9%	1,0%	5,1%		2,6%	17,7%	1,0%	0,3%	0,6%			1,0%	0,0%	1,3%	0,3%	10,9%				
SG45								3	37	P	1,9%				1,0%									2,9%	1,3%	0,3%	1,0%	0,3%				9,1%	1,0%	1,0%	3,2%	10,4%	6,8%	1,9%									1,0%	0,3%	0,3%	2,3%	0,3%	3,9%	0,3%	1,3%	7,4%	8,1%	0,3%	3,6%	0,6%	0,3%			1,9%	1,0%	2,6%	11,7%									
SG34								27	33	M	6,6%	0,7%			2,0%									1,6%	0,3%	1,0%	0,3%					4,9%		1,0%	2,3%	2,0%	1,0%												0,3%	0,3%	3,9%	0,3%	3,9%	0,3%	1,3%	3,9%	16,7%	0,3%	4,3%		2,3%	0,3%	13,1%					5,6%	0,0%	6,9%	4,6%				
SG28	Aalenis	Mactra	NJ8b	NJT8a	30			35	M	0,3%	7,9%	0,3%				1,0%	0,3%	4,3%	3,3%	2,0%								5,0%		2,0%	5,3%	5,9%												2,3%	0,3%	0,3%	2,6%	0,3%	4,6%	0,3%	2,3%	1,3%	1,0%	2,3%	2,0%	11,6%	0,7%	2,0%	2,6%	6,3%	1,0%			9,6%	2,0%	0,7%	5,3%								
SG8					25			39	M	9,2%	1,3%			3,0%							2,3%	0,3%	0,3%							0,3%	4,3%	0,7%	3,3%	2,0%	4,3%	0,7%	0,7%											0,7%	1,0%	1,0%	5,0%	0,7%	3,0%	4,0%	0,3%	0,7%	3,6%	2,0%	10,2%	0,7%	3,3%	0,3%	3,0%	7,6%	1,3%			0,3%	2,3%	0,3%	7,3%	8,3%			
SG3					3			41	P	4,3%		0,3%	0,3%				2,3%	1,0%		1,3%	1,0%			1,3%						0,3%		2,7%	0,3%	0,3%	1,3%	11,3%	1,0%											0,3%	0,3%	6,0%	0,7%	4,7%	2,7%	0,7%	0,7%	1,0%	0,3%	3,7%	0,1%	10,4%	0,4%	3,9%	0,3%	2,2%	0,1%	13,3%	0,1%	0,7%	0,1%	0,3%	5,0%	0,2%	0,8%	3,8%	6,2%
<b>Total:</b>					0,1%	7,6%	0,2%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,8%	0,1%	0,2%	1,9%	0,9%	0,0%	0,8%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,7%	2,5%	5,0%	4,5%	1,0%	1,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	1,9%	0,0%	1,2%	1,5%	0,3%	3,9%	0,4%	2,4%	2,3%	0,4%	0,8%	1,2%	3,7%	0,1%	10,4%	0,4%	3,9%	0,3%	2,2%	0,1%	13,3%	0,1%	0,7%	0,1%	0,3%	5,1%	0,2%	0,8%	3,8%	6,2%								

Anexo II - Quadro resumo com os valores da abundância relativa para cada espécie registrada ao longo do perfil de São Gião.