

**UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**



**Paleotipologias diagenéticas em formações  
carbonatadas do Jurássico Médio da Bacia Lusitânica:  
análise multiscala e aplicações à caracterização de  
reservatórios**

**Nuno Manuel Ferreira Inês**

**MESTRADO EM GEOLOGIA**

**Área de Especialização: Estratigrafia, Sedimentologia e Paleontologia**

**2010**



**UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**



**Paleotipologias diagenéticas em formações  
carbonatadas do Jurássico Médio da Bacia Lusitânica:  
análise multiscala e aplicações à caracterização de  
reservatórios**

**Nuno Manuel Ferreira Inês**

**Dissertação orientada pela Professora Doutora  
Ana Cristina Costa Neves dos Santos Azerêdo**

**MESTRADO EM GEOLOGIA**

**Área de Especialização: Estratigrafia, Sedimentologia e Paleontologia**

**2010**



Aos meus Pais, sempre.  
Ao meu extraordinário Irmão e a todos os Sábios do Maciço Calcário Estremenho.  
A Deus e ao meu grande amigo Jesus.

*“Entender o passado, enamorando o presente, de forma a compreender o futuro”*



# ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 2: ENQUADRAMENTOS .....	5
2.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO GERAL DA BACIA LUSITÂNICA .....	7
2.2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO GERAL DA BACIA LUSITÂNICA .....	8
2.2.1. GÉNESE E ESTRUTURAÇÃO INICIAL DA BACIA LUSITÂNICA.....	8
2.2.2. ENQUADRAMENTO PALEOGEOGRÁFICO DA BACIA LUSITÂNICA .....	9
2.2.3. LIMITES GEOLÓGICOS DA BACIA LUSITÂNICA .....	9
2.2.4. PREENCHIMENTO DA BACIA LUSITÂNICA AO LONGO DO MESOZÓICO .....	9
2.2.4.1. Do Triásico Superior à Base do Jurássico Inferior .....	11
2.2.4.2. Jurássico Inferior e passagem Jurássico Inferior – Jurássico Médio .....	12
2.2.4.3. Passagem do Aaleniano Superior /Bajociano ao Caloviano.....	15
2.2.4.4. Jurássico Médio na Bacia Lusitânica .....	15
2.2.4.5. Jurássico Superior.....	16
2.3. JURÁSSICO MÉDIO DO MACIÇO CALCÁRIO ESTREMENHO.....	18
2.3.1. DO TOPO DO BAJOCIANO INFERIOR AO BAJOCIANO SUPERIOR .....	18
2.3.2. DO BATONIANO INFERIOR AO CALOVIANO .....	20
2.3.2.1. Formação de Serra de Aire .....	20
2.3.2.2. Formação de Santo António-Candeeiros .....	21
2.4. LOCAIS DE ESTUDO .....	27
CAPÍTULO 3: METODOLOGIA DE ESTUDO:	
MÉTODOS, TÉCNICAS, CLASSIFICAÇÕES E CRITÉRIOS .....	33
3.1. METODOLOGIA DE ESTUDO .....	35
3.2. TRABALHO DE CAMPO .....	36
3.3. ESTUDO EM AMOSTRA DE MÃO .....	36
3.3.1. CRITÉRIOS QUALIFICATIVOS PARA A CLASSIFICAÇÃO DO ASPECTO DA ROCHA EM SUPERFÍCIE FRESCA .....	36
3.3.2. ESCALAS DE CORES PADRÃO DEFINIDAS PARA OS CALCÁRIOS E DOLOMITOS DO MACIÇO CALCÁRIO ESTREMENHO ESTUDADOS.....	38
3.3.3. CLASSIFICAÇÕES UTILIZADAS EM AMOSTRA DE MÃO .....	39
3.3.3.1. Classificação da distribuição granulométrica das partículas .....	39
3.3.3.2. Classificação da calibragem das partículas .....	39
3.4. MÉTODOS E TÉCNICAS LABORATORIAIS .....	40
3.4.1. SELECÇÃO DAS AMOSTRAS DOS VÁRIOS LITÓTIPOS A ANALISAR .....	41
3.4.2. TRATAMENTO LABORATORIAL DAS RESPECTIVAS AMOSTRAS SELECIONADAS .....	41
3.4.3. CORTE DAS TALISCAS.....	41
3.4.3.1. Material necessário para realização do ensaio.....	41
3.4.3.2. Procedimento para a realização das taliscas .....	41
3.4.4. REALIZAÇÃO DE LÂMINAS DELGADAS NORMAIS .....	41
3.4.4.1. Material necessário para realização do ensaio.....	42
3.4.4.2. Procedimento para a realização das lâminas delgadas .....	42
3.4.4.3. Procedimento para a realização do corte do “conjunto” de forma a obter uma espessura de rocha de $\pm 0,5$ mm .....	42
3.4.4.4. Procedimento para a realização do desbaste das lâminas de forma a obter a espessura final das lâminas delgadas.....	43

3.4.4.5. Procedimento para a colocação das lamelas sobre as lâminas .....	43
3.4.4.6. Metodologia para a elaboração da cola necessária para a aderência das lâminas de vidro às taliscas .....	44
3.4.5. MÉTODO DO AZUL CERES.....	44
3.4.5.1. Material necessário para realização do ensaio.....	44
3.4.5.2. Procedimento para a aplicação da solução de “Azul Ceres” em taliscas de rochas carbonatadas.....	45
3.4.5.3. Procedimento para a realização da solução de “Azul Ceres” .....	45
3.4.6. MÉTODO DA COLORAÇÃO SELECTIVA .....	46
3.4.6.1. Material necessário para realização do método.....	46
3.4.6. 2. Realização do ácido clorídrico a 36%.....	46
3.4.6. 3. Realização do ácido clorídrico a 1.5%.....	47
3.4.6.4. Realização das soluções de alizarina vermelha-S e do ferro-cianeto de potássio .....	47
3.4.6.5. Coloração das lâminas não cobertas.....	47
3.4.7. MÉTODO DA DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE RELATIVA DAS ROCHAS POR SATURAÇÃO EM ÁGUA .....	48
3.4.7.1. Material necessário para o ensaio.....	48
3.4.7.2. Procedimento para a realização do ensaio.....	48
3.4.7.3. Modo de funcionamento da câmara e da bomba de vácuo.....	49
3.4.7.4. Modo de funcionamento da balança analítica de precisão .....	50
3.5. ESTUDO PETROGRÁFICO .....	51
3.5.1. CLASSIFICAÇÕES COMPOSICIONAIS E TEXTURAS APLICADAS.....	51
3.5.2. TERMINOLOGIA DO TIPO DE PADRÃO E MORFOLOGIA DOS CIMENTOS.....	55
3.5.3. CLASSIFICAÇÕES DO TIPO DE POROSIDADE.....	56
3.5.4. TERMINOLOGIAS PARA AS ESTRUTURAS DE DISSOLUÇÃO COM PRESSÃO .....	58
3.5.5. CLASSIFICAÇÃO DA PERMEABILIDADE.....	59
3.5.6. TIPOS DE RESERVATÓRIOS CARBONATADOS .....	59
<b>CAPÍTULO 4:PROBLEMÁTICA EM ESTUDO E SUA IMPORTÂNCIA CIENTÍFICA/ECONÓMICA.....</b>	<b>61</b>
4.1. DEFINIÇÃO DE DIAGÉNESE.....	63
4.1.1. AS TRÊS FASES PRINCIPAIS DA DIAGÉNESE .....	64
4.1.2. IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DA DIAGÉNESE .....	66
4.2. ROCHAS CARBONATADAS.....	66
4.2.1. IMPORTÂNCIA CIENTÍFICA E ECONÓMICA DO ESTUDO DAS ROCHAS CARBONATADAS.....	66
4.2.2. A DIAGÉNESE NAS ROCHAS CARBONATADAS.....	66
4.2.3. DESAFIOS ACTUAIS E FUTUROS NO ESTUDO DAS ROCHAS CARBONATADAS .	67
4.2.4. IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DA DIAGÉNESE NAS ROCHAS CARBONATADAS....	68
4.3. PROCESSOS DIAGENÉTICOS NAS ROCHAS CARBONATADAS.....	68
4.3.1. A COMPACTAÇÃO .....	68
4.3.2. A DISSOLUÇÃO.....	69
4.3.3. A CIMENTAÇÃO.....	70
4.3.4. A MICRITIZAÇÃO.....	71
4.3.5. O NEOMORFISMO/ RECRISTALIZAÇÃO .....	71
4.3.6. A DOLOMITIZAÇÃO .....	72
4.3.7. A DESDOLOMITIZAÇÃO.....	75
4.4. AMBIENTES DIAGENÉTICOS NAS ROCHAS CARBONATADAS .....	77
4.4.1. O AMBIENTE METEÓRICO .....	77
4.4.1.1. O ambiente meteórico vadoso .....	78



4.4.1.2. O ambiente meteórico freático .....	78
4.4.1.3. Zonas de mistura.....	79
4.4.2. O AMBIENTE MARINHO FREÁTICO .....	79
4.4.2.1 O ambiente marinho pouco profundo.....	79
4.4.2.2.O ambiente marinho profundo.....	80
4.4.3. O AMBIENTE DE SOTERRAMENTO.....	81
4.5. SISTEMA PETROLÍFERO .....	83
4.5.1. ROCHAS GERADORAS .....	83
4.5.2. MIGRAÇÃO DOS HIDROCARBONETOS.....	83
4.5.3. ARMADILHAS.....	84
4.5.3.1. Armadilhas estruturais.....	84
4.5.3.2. Armadilhas estratigráficas .....	84
4.5.3.3. Armadilhas mistas .....	85
4.5.4. SELOS .....	85
4.5.5. ROCHAS RESERVATÓRIO .....	87
4.5.5.1. Reservatórios em rochas carbonatadas .....	87
4.5.5.2. Tipo de reservatórios carbonatados .....	88
4.6. PROPRIEDADES DAS ROCHAS COM RELEVÂNCIA PARA O ESTUDO DE RESERVATÓRIOS.....	88
4.6.1. DEFINIÇÃO DE POROSIDADE .....	88
4.6.1.1. A porosidade nas rochas carbonatadas .....	89
4.6.1.2.Importância do estudo da porosidade em rochas carbonatadas .....	90
4.6.2. PERMEABILIDADE NAS ROCHAS .....	91
4.6.2.1. O Estudo da permeabilidade nas rochas carbonatadas .....	91
4.6.2.2.Importância do estudo da permeabilidade .....	92
CAPÍTULO 5: APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	93
5.1. MOINHOS DO ALTO DA SERRA.....	96
5.1.1. AMOSTRA AS-0 .....	96
5.1.1.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	96
5.1.1.2. Descrição petrográfica.....	96
5.1.2. AMOSTRA AS-1 .....	98
5.1.2.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	98
5.1.2.2. Descrição petrográfica.....	99
5.1.3. AMOSTRA AS-2 .....	101
5.1.3.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	101
5.1.3.2. Descrição petrográfica.....	101
5.2. ESTAÇÃO DO PARQUE EÓLICO .....	103
5.2.1. AMOSTRA AS-3 .....	103
5.2.1.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	103
5.2.1.2. Descrição petrográfica.....	103
5.2.2. AMOSTRA AS-3A .....	105
5.2.2.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	105
5.2.2.2. Descrição petrográfica.....	105
5.2.3. AMOSTRA AS-4 .....	107
5.2.3.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	107
5.2.3.2. Descrição petrográfica.....	107
5.2.4. AMOSTRA AS-4A .....	110
5.2.4.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	110
5.2.4.2. Descrição petrográfica.....	110
5.3. CONDE.....	112

5.3.1. AMOSTRA CONDE-3.....	112
5.3.1.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	112
5.3.1.2. Descrição petrográfica.....	113
5.3.2. AMOSTRA CONDE-5.....	115
5.3.2.1 Descrição macroscale/mesoscale.....	115
5.3.2.2 Descrição petrográfica.....	115
5.3.3. AMOSTRA CD-B.....	116
5.3.3.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	116
5.3.3.2. Descrição petrográfica.....	117
5.4. CHÃ.....	119
5.4.1. AMOSTRA CH-EXTRA.....	119
5.4.1.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	119
5.4.1.2. Descrição petrográfica.....	119
5.4.2. AMOSTRA CH- 0.....	121
5.4.2.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	121
5.4.2.2. Descrição petrográfica.....	121
5.4.3. AMOSTRA CH-1.....	123
5.4.3.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	123
5.4.3.2. Descrição petrográfica.....	123
5.4.4. AMOSTRA CH-2.....	126
5.4.4.1 Descrição macroscale/mesoscale.....	126
5.4.4.2. Descrição petrográfica.....	126
5.4.1. CAB.GORDA B.....	128
5.4.1. AMOSTRA CAB.GORDA B.....	128
5.4.1.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	128
5.4.1.2. Descrição petrográfica.....	128
5.4.2. AMOSTRA CAB.GORDA -5.....	130
5.4.2.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	130
5.4.2.2. Descrição petrográfica.....	130
5.5. CANDEIROS.....	132
5.5.1. AMOSTRA CAND-2.....	132
5.5.1.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	132
5.5.1.2. Descrição petrográfica.....	132
5.6 - Portela das Cruzes.....	134
5.6.1. AMOSTRA PORTELA DAS CRUZES – A.....	134
5.6.1.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	134
5.6.2. AMOSTRA ABRIGO (PORTELA DAS CRUZES – B).....	134
5.6.2.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	134
5.7. SALGUEIRA (SAL).....	135
5.7.1. AMOSTRA SAL.1B.....	135
5.7.1.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	135
5.7.2. AMOSTRA SAL.1.....	136
5.7.2.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	136
5.7.2.2. Descrição petrográfica.....	137
5.7.3. AMOSTRA SAL-5.....	139
5.7.3.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	139
5.7.3.2. Descrição petrográfica.....	139
5.7.4. AMOSTRA SAL-6.....	141
5.7.4.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	141
5.7.4.2. Descrição petrográfica.....	141

5.7.5. AMOSTRA SAL.E.....	143
5.7.5.1. Descrição macrosala/mesoscala.....	143
5.8. VALE VENTOS .....	144
5.8.1. AMOSTRA VALE VENTOS-0 .....	144
5.8.1.1. Descrição macrosala/mesoscala.....	144
5.8.1.2. Descrição petrográfica.....	144
5.9. MENDIGA (M,ME).....	146
5.9.1. AMOSTRA ME-50. ....	146
5.8.1.1. Descrição macrosala/mesoscala.....	146
5.9.1.2. Descrição petrográfica.....	146
5.9.2. AMOSTRA M-48.....	148
5.9.2.1. Descrição macrosala/mesoscala.....	148
5.9.2.2. Descrição petrográfica.....	148
5.10. MARINHA DA MENDIGA (MA).....	150
5.10.1. AMOSTRA MA .....	150
5.10.1.1. Descrição macrosala/mesoscala.....	150
5.10.1.2. Descrição petrográfica.....	151
5.10.2. AMOSTRA MA-17 .....	152
5.10.2.1. Descrição macrosala/mesoscala.....	152
5.10.2.2. Descrição petrográfica.....	152
5.11. CODAÇAL.....	154
5.11.1. AMOSTRA S36-20 .....	154
5.11.1.1. Descrição macrosala/mesoscala.....	154
5.11.1.2. Descrição petrográfica.....	154
5.11.2. AMOSTRA S36-23 .....	156
5.11.2.1. Descrição macrosala/mesoscala.....	156
5.11.2.2. Descrição petrográfica.....	157
5.11.3. AMOSTRA S36-26 .....	159
5.11.3.1. Descrição macrosala/mesoscala.....	159
5.11.3.2. Descrição petrográfica.....	159
5.12. S87 – ESPINHEIRA S. BENTO.....	161
5.12.1. AMOSTRA S87-2 .....	161
5.12.1.1. Descrição macrosala/mesoscala.....	161
5.12.2. AMOSTRA S87-4 .....	162
5.11.2.1. Descrição macrosala/mesoscala.....	162
5.12.2.2. Descrição petrográfica.....	162
5.12.3. AMOSTRA S87-5 .....	164
5.12.3.1. Descrição macrosala/mesoscala.....	164
5.12.4. AMOSTRA S87-6 .....	164
5.12.4.1. Descrição macrosala/mesoscala.....	164
5.12.5. AMOSTRA S87-8 .....	165
5.12.5.2. Descrição macrosala/mesoscala.....	165
5.12.6. AMOSTRA S87-11 .....	165
5.12.6.1. Descrição macrosala/mesoscala.....	165
5.11.7. AMOSTRA S87-13 .....	166
5.12.7.1. Descrição macrosala/mesoscala.....	166
5.12.7.2. Descrição petrográfica.....	166
5.12.8. AMOSTRA S87-14 .....	167
5.12.8.1. Descrição macrosala/mesoscala.....	167
5.13. VALE FLORIDO .....	169

5.13.1. AMOSTRA V.F.1. ....	169
5.13.1.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	169
5.13.1.2. Descrição petrográfica.....	169
5.13.2. AMOSTRA V.F.2. ....	171
5.13.2.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	171
5.13.3. AMOSTRA V.F.3. ....	171
5.13.3.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	171
5.14. S13 .....	172
5.14.1. AMOSTRA S13-3 .....	172
5.14.1.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	172
5.14.2. AMOSTRA S13-4 .....	172
5.14.2.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	172
5.14.2.2. Descrição petrográfica.....	173
5.14.3. AMOSTRA S13-5 .....	174
5.14.3.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	174
5.14.4. AMOSTRA S13-6.....	175
5.14.4.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	175
5.14.4.2. Descrição petrográfica.....	175
5.14.5. AMOSTRA S13-8.....	177
5.14.5.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	177
5.14.6. AMOSTRA S13-11 .....	177
5.14.6.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	177
5.14.7. AMOSTRA S13-13 .....	178
5.14.7.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	178
5.14.8. AMOSTRA S13-16.....	179
5.14.8.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	179
5.14.9. AMOSTRA S13-19 .....	179
5.14.9.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	179
5.14.9.2. Descrição petrográfica.....	180
5.14.10. AMOSTRA S13-20.....	181
5.14.10.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	181
5.14.11. AMOSTRA S13-21 .....	182
5.14.11.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	182
5.14.12. AMOSTRA S13-22.....	182
5.14.12.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	182
5.14.13. AMOSTRA S13-23 .....	183
5.14.13.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	183
5.14.14. AMOSTRA S13-24.....	183
5.14.14.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	183
5.14.15. AMOSTRA S13-25 .....	183
5.14.15.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	183
5.14.16. AMOSTRA S13-27 .....	184
5.14.16.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	184
5.15. S14.....	185
5.15.1. AMOSTRA S14-19 .....	185
5.15.1.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	185
5.15.1.2. Descrição petrográfica.....	185
5.15.2. AMOSTRA S14-23 .....	187
5.15.2.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	187
5.15.3. AMOSTRA S14-24.....	188

5.15.3.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	188
5.15.3.2. Descrição petrográfica.....	188
5.16. CORTICAL.....	190
5.16.1. AMOSTRA COR-D.....	190
5.16.1.1. Descrição macroscale/mesoscale.....	190
5.16.1.2. Descrição petrográfica.....	190
CAPÍTULO 6: DISCUSSÃO E CONCLUSÕES.....	195
6.1. DISCUSSÃO.....	197
6.2. CONCLUSÕES.....	200
6.3. BIBLIOGRAFIA.....	203



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> Mapa geológico simplificado da Bacia Lusitânica (retirado de Azerêdo, 2007), com indicação da localização da área em estudo. ....	7
<b>Figura 2.2.</b> Localização dos limites da Bacia Lusitânica e falhas que controlaram a evolução mesozóica da Bacia. Divisão da Bacia em Sectores: (1) segundo Rasmussen <i>et al.</i> , 1998 e Stapel <i>et al.</i> , 1996; (2) segundo Ribeiro <i>et al.</i> , 1996(adapt. Kullberg, 2000). ....	10
<b>Figura 2.3.</b> Síntese litostratigráfica com proposta de uniformização da respectiva nomenclatura, para o Triásico, Jurássico Inferior e Médio da Bacia Lusitânica (retirada de Azerêdo <i>et al.</i> , 2003). ....	11
<b>Figura 2.4.</b> Distribuição estratigráfica, com valor regional, das principais espécies de foraminíferos bentónicos identificadas nas séries de meio marinho interno do Jurássico Médio da Bacia Lusitânica, integrando elementos de: Manuppella <i>et al.</i> (1985), Azerêdo (1993,1995,1999), Manuppella & Azerêdo (1996), Martins (1998a), Azerêdo <i>et al.</i> (2000,2002a); consideraram-se também, os dados relativos a Santiago do Cacém (Manuppella, 1983) e abundância da ocorrência das espécies de foraminíferos em questão (retirado de Azerêdo <i>et al.</i> , 2003). ....	16
<b>Figura 2.5.</b> Esquema geral e informal da litostratigrafia da Bacia Lusitânica (adapt.GPEP, 1986), com indicação simplificada dos paleo-ambientes e das tendências eustáticas e tectónicas predominantes em cada intervalo, a par dos principais eventos geodinâmicos condicionadores da evolução da bacia ( <i>in</i> Pimentel, 2005- modificado de Kulberg, 2000). ....	17
<b>Figura 2.6.</b> Unidades litostratigráficas formais para o Jurássico Inferior e Médio do Maciço Calcário Estremenho (segundo Azerêdo, 2007). ....	18
<b>Figura 2.7.</b> Coluna litostratigráfica sintética da Formação de Chão das Pias, estando assinalados os principais 12marcadores considerados (retirada de Azerêdo, 2007). ....	19
<b>Figura 2.8.</b> Representação esquemática da evolução do complexo de barreira, durante o Jurássico Médio (segundo Azerêdo, 1993,1998). ....	23
<b>Figura 2.9.</b> Colunas litostratigráficas sintéticas das Formações de Serra de Aire e de Santo António-Candeeiros, com indicação dos principais marcadores considerados (retiradas de Azerêdo, 2007). ....	24
<b>Figura 2.10.</b> Diagrama regional simplificado das séries do Maciço Calcário Estremenho, que ilustram as principais fases evolutivas da rampa carbonatada que caracterizava a bacia, no Jurássico Médio (adaptado de Azerêdo, 1998). ....	25
<b>Figura 2.11.</b> Reconstituição dos paleoambientes sedimentares, propostos para as diversas litofácies e suas associações, no quadro de um sistema de rampa carbonatada (segundo Azerêdo, 1993). ....	25
<b>Figura 2.12.</b> Carta geológica e litológica do Maciço Calcário Estremenho (retirada de Manuppella <i>et al.</i> , 1985). ....	27
<b>Figura 2.13.</b> Enquadramento geográfico das amostras em estudo, com indicação da localização dos afloramentos já anteriormente estudados por Azerêdo (1993) e dos três novos afloramentos seleccionados ( <i>in</i> GoogleEarth, 2010). ....	28
<b>Figura 2.14.</b> Mapa de fácies (Dogger) correspondente a parte da folha 27-A (Vila de Ourém), a SW de Alvados-Minde, seg. Azerêdo (1993) <i>in</i> Pimentel (2005)). Base geológica: carta 1:50 000, S.G.P.; baseada em Manuppella <i>et al.</i> , 1985). ....	29
<b>Figura 2.15.</b> Mapa de fácies (Dogger) correspondente à folha 27-C (Torres Novas), a SW de Alvados-Minde, seg. Azerêdo (1993) <i>in</i> Pimentel (2005)). Base geológica: carta 1:50 000, S.G.P.; baseada em Manuppella <i>et al.</i> , 1985). ....	29

<b>Figura 2.16.</b> Mapa de fácies (Dogger) correspondente à folha 26-D (Caldas da Rainha) a SW de Alvados-Minde, seg. Azerêdo (1993) <i>in</i> Pimentel (2005)). Base geológica: carta 1:50 000, S.G.P.; baseada em Manuppella <i>et al.</i> , 1985). .....	30
<b>Figura 2.17.</b> Simbologia dos mapas de fácies apresentados anteriormente nas figuras 2.14., 2.15., 2.16. (a SW de Alvados-Minde, seg. Azerêdo (1993) <i>in</i> Pimentel (2005)). .....	31
<b>Figura 3.1.</b> Alguns exemplos de tipos de distribuição granulométrica de partículas sedimentares, segundo Suguio (2003). .....	39
<b>Figura 3.2.</b> Exemplos padrão para a classificação da calibragem - figura retirada dos apontamentos da Cadeira de Sedimentologia (2004/2005) do Curso de Geologia da GeoFCUL. ....	40
<b>Figura 3.3.</b> Bomba de vácuo e respectiva câmara de vácuo. ....	49
<b>Figura 3.4.</b> Balança analítica de Precisão. ....	50
<b>Figura 3.5.</b> Classificação textural de Dunham (1962), retirada de Ahr (2008). ....	51
<b>Figura 3.6.</b> Classificação composicional de Folk (1959, 1962), retirada de Adams & Mackenzie (1994). ....	52
<b>Figura 3.7.</b> Classificação textural de calcários recifais, segundo Embry & Klovan (1971) e James (1974b), retirada de Ahr (2008). ....	52
<b>Figura 3.8.</b> Classificação de calcários revista de Wright, retirada de Wright (1992).....	53
<b>Figura 3.9.</b> Os principais grupos texturais, as relações entre estes e a correspondência entre grupos texturais e os principais processos que influenciam as texturais dos calcários (retirada de Wright, 1992). ....	53
<b>Figura 3.10.</b> Classificação para “Laminar Fenestral Fabrics”. LF-A e LFB fabrics, segundo Muller Jungbluth & Toschek (1969), retirada de Flügel (1982). ....	54
<b>Figura 3.11.</b> Classificação dos tipos de fabrics em dolomitos, segundo Friedman (1965). ....	54
<b>Figura 3.12.</b> Tipos de cimentos carbonatados, principais características e génese (adap.Flügel, 1982; Tucker, 1988; Wright, 2002 <i>in</i> Pimentel, 2005).....	55
<b>Figura 3.13.</b> Classificação modificada dos tipos porosidade em rochas carbonatadas de Choquette & Pray (1970) <i>in</i> Flügel (1982).....	56
<b>Figura 3.14.</b> Classificação da porosidade dos carbonatos segundo Lucia (1983), retirada de Ahr (2008). ....	57
<b>Figura 3.15.</b> Classificação do tipo de génese de porosidade em rochas carbonatadas, segundo Ahr (2008). ....	57
<b>Figura 3.16.</b> Classificação ternária da porosidade através aplicação de um diagrama ternário, segundo Kopaska-Merkel & Mann (1993), retirada de Flügel (2004). ....	57
<b>Figura 3.17.</b> Terminologias <i>para as estruturas de dissolução com pressão</i> , propostas por Flügel (2004). ....	58
<b>Figura 3.18.</b> Classificação qualitativa da porosidade segundo Gomes & Alves (2007). ....	59
<b>Figura 4.1.</b> Processos que afectam a porosidade das rochas durante o soterramento e, mais tarde durante o seu reerguimento por ocorrência de telodiagénese; retirado de Wright (2002), baseado em várias fontes. ....	65
<b>Figura 4.2.</b> Terminologia do tipo de fabrics que ocorrem em carbonatos recristalizados, segundo Friedman (1965), retirada de Flügel (2004). ....	71
<b>Figura 4.3.</b> Diagrama que ilustra as marcas/produtos devidos à ocorrência e desenvolvimento do neomorfismo ao longo da evolução diagenética de uma rocha carbonatada, adaptado de Folk (1965) e retirado de Ahr (2008). ....	72
<b>Figura 4.4.</b> Esquema ilustrando os diferentes tipos de cimentos precipitados ao longo da evolução diagenética de uma rocha, de acordo com ambiente diagenético em que se encontram, retirado de Ahr (2008). ....	80
<b>Figura 4.5.</b> Esquema de uma plataforma carbonatada ilustrando a relação entre ambientes, tipos de cimento e processos diagenéticos gerais (adap. De Parker & Sellwood, 1994 e Wright, 2002., <i>in</i> Pimentel, 2005). 82	



<b>Figura 5.1.</b> Escalas utilizadas nas descrições a micro/meso/macroskala .....	95
<b>Figura 5.2.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra AS-0. ....	98
<b>Figura 5.3.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra AS-1. ....	100
<b>Figura 5.4.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra AS-2. ....	102
<b>Figura 5.5.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra AS-3. ....	104
<b>Figura 5.6.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra AS-3A. ....	107
<b>Figura 5.7.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra AS-4. ....	109
<b>Figura 5.8.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra AS-4A. ....	112
<b>Figura 5.9.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra Conde-3. ....	114
<b>Figura 5.10.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra Conde-5.....	116
<b>Figura 5.11.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra Cd-B. ....	118
<b>Figura 5.12.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra Ch-extra. ....	120
<b>Figura 5.13.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra Ch-0. ....	23
<b>Figura 5.14.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra Ch-1. ....	125
<b>Figura 5.15.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra Ch-2. ....	127
<b>Figura 5.16.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra Cabeça Gorda-B. ....	129
<b>Figura 5.17.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra Cabeça Gorda-5. ....	131
<b>Figura 5.18.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra Cand-2. ....	133
<b>Figura 5.19.</b> Expressão macromorfológica da amostra Portela das Cruzes. ....	135
<b>Figura 5.20.</b> Expressão macromorfológica das amostras Sal.1b e Sal.1. ....	138
<b>Figura 5.21.</b> Expressão micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra Sal.1. ....	138
<b>Figura 5.22.</b> Expressão macromorfológica e micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra Sal.5. ....	141
<b>Figura 5.23.</b> Expressão macromorfológica e micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra Sal.6. ....	143

<b>Figura 5.24.</b> Expressão macromorfológica da amostra Sal-E. ....	143
<b>Figura 5.25.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra Vale de Ventos-0. ....	145
<b>Figura 5.26.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra ME-50. ....	147
<b>Figura 5.27.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra M-48. ....	149
<b>Figura 5.28.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra MA. ....	152
<b>Figura 5.29.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra MA-17. ....	153
<b>Figura 5.30.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra S36-20. ....	156
<b>Figura 5.31.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra S36-23. ....	158
<b>Figura 5.32.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra S36-23. ....	161
<b>Figura 5.33.</b> Expressão micromorfológica e cronológica da amostra S87-4. ....	163
<b>Figura 5.34.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra S87-13. ....	167
<b>Figura 5.35.</b> Expressão macromorfológica das amostras correspondentes a sondagem S-87. ....	168
<b>Figura 5.36.</b> Fotografias macro e micromorfológicas tiradas à amostra V.F.1. ....	170
<b>Figura 5.37.</b> Fotografia macromorfológica tirada sobre uma superfície fresca, seca, sem polimento à amostra V.F.2. ....	171
<b>Figura 5.38.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra S-13-4. ....	174
<b>Figura 5.39.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra S-13-6. ....	177
<b>Figura 5.40.</b> Fotografias macromorfológicas das amostras S13-3, S13-5, S13-8 e S13-11. ....	178
<b>Figura 5.41.</b> Fotografias macromorfológicas tiradas à amostra S13-13, S13-16. ....	179
<b>Figura 5.42.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra S-13-19. ....	181
<b>Figura 5.43.</b> Expressão macromorfológica de amostras correspondentes a sondagem S13. ....	184
<b>Figura 5.44.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra S-14-19. ....	186
<b>Figura 5.45.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra S-14-23. ....	187
<b>Figura 5.46.</b> Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra S-14-24. ....	189
<b>Figura 5.47.</b> Expressão micromorfológica em nicóis paralelos e em nicóis cruzados da amostra Cor-d. ....	192

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 2.1.</b> Litofácies reconhecidas no Jurássico Médio do Maciço Calcário Estremenho, com respectiva interpretação paleoambiental (adapt. Azerêdo, 1993,1998). .....	26
<b>Tabela 3.1.</b> Critérios qualificativos adoptados para definir o aspecto da rocha em superfície fresca. ....	36
<b>Tabela 3.2.</b> Critérios qualificativos adoptados para definir a escala de grandeza dos veios presentes nas rochas em análise, baseada na sua espessura. ....	36
<b>Tabela 3.3.</b> Classificação dos veios da rocha, baseada na sua constituição. ....	37
<b>Tabela 3.4.</b> Critérios qualificativos adoptados para definir a escala de das fracturas, baseada na sua espessura. .	37
<b>Tabela 3.5.</b> Critérios qualificativos adoptados para definir a escala relativa de partículas alteradas e/ou ferruginizadas em cada amostra, baseada na percentagem de partículas ferruginizadas. ....	37
<b>Tabela 3.6.</b> Classificação granulométrica utilizada para a descrição em amostra de mão. ....	38
<b>Tabela 3.7.</b> Escala qualificativa para a classificação dos brancos do Maciço Calcário Estremenho em amostra seca. ....	38
<b>Tabela 3.8.</b> Escala qualificativa para a classificação dos cremes do Maciço Calcário Estremenho em amostra seca. ....	38
<b>Tabela 3.9.</b> Escala qualificativa para a classificação das cores padrão para os Dolomitos do Maciço Calcário Estremenho em amostra seca. ....	39
<b>Tabela 3.10.</b> Classificação qualitativa da porosidade, segundo Ahr (2008). ....	58
<b>Tabela 3.11.</b> Tipos de reservatórios controlados por diagénese segundo Flügel (2004).....	59
<b>Tabela 5.1.</b> Resultados obtidos pela aplicação de diferentes classificações .....	192



## AGRADECIMENTOS

A vida é feita de momentos, de pequenos segundos, em que temos de decidir se nos acomodamos à vida ou saltamos de braços abertos para ela sem medo de viver – de mãos dadas, com a minha consciência, saltei para esta caminhada, “a realização do Mestrado em Geologia – Especialidade em Estratigrafia, Sedimentologia e Paleontologia”, cheia de momentos de prazer, loucura, paixão, amizade, dificuldades, obstáculos e claro muita vida.

Para a minha manutenção e conclusão desta caminhada foram imprescindíveis certos apoios e colaboração de diversas pessoas e entidades, que de forma directa ou indirecta, foram imprescindíveis para a realização final deste trabalho. Como tal, o meu muito obrigado:

À Professora Ana Cristina Azerêdo: pelo seu apoio incondicional, compreensão, acompanhamento e orientação académica, vital para a realização deste trabalho.

À Professora Maria Cristina Cabral e ao Professor Nuno Pimentel: pela sua amizade, entusiasmo e encorajamento a por mãos à obra.

Ao Professor Fernando Marques e ao Doutor Eric Font: pela sua disponibilidade e esclarecimentos nalguns dos métodos aplicados.

Ao Professor Silvério Prates: pelas palavras sábias.

Ao Professor Nuno Leal: pela sua inconfundível maneira de olhar a vida e aquilo que nos rodeia.

Ao senhor Alberto Verde pela sua paciência e apoio técnico na realização das diversas metodologias.

Ao senhor João Veiga: pela suas palavras sábias e apoio em momentos críticos.

Ao senhor José Luís: pelo despertar para o estudo de reservatórios carbonatados de fluidos, em 2005. Quando num dia de verão, ao sabor do vento, dois apaixonados pela “Pedra” numa pedreira fantástica (PM2-Grupo Mocapor) do Maciço Calcário Estremenho, no cruzamento de várias ideias sobre vários aspectos geológicos, industriais e económicos, surgiu uma ideia/pensamento que levou à concepção da minha primeira abordagem sobre reservatórios carbonatados de fluidos.

Ao senhor Manuel Pinheiro: pelo despertar para a Geologia no ano 2000, pela amizade e por facultar o acesso às pedreiras e ao laboratório do Grupo Parapedra.

Aos Mestres João Carlos Silva e Sandro Gomes pela amizade, ensinamentos e por me demonstrarem que a vida é feita de paixões e de loucuras cheias de vida.

A todos os meus colegas de Mestrado, em especial ao Bruno Pereira, João Carvalho e ao meu grande companheiro Pedro Santos.

A todos os meus amigos, em especial deixo uma vénia e um sorriso a: Ana Costa, Bernardo Almeida, Dilson Lazary, Dália Santos, Dénis Andrade, Hugo Moreira, Marco Roxo, Maria Roque, Olegário Santos, Sofia Amorim e à Lauri .

Ao pessoal das pedreiras do Maciço Calcário Estremenho e ao pessoal da velha guarda das cantinas.

Ao Departamento de Geologia e Centro de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, em particular através do Convénio Universidade de Lisboa – Petrobras (em representação do Consórcio Petrobras/Galp/Partex), pelas condições logísticas e apoio financeiro para a realização da Tese.



## RESUMO

**Palavras-chave:** Jurássico Médio; Bacia Lusitânica; litótipos carbonatados; análise multiescala; diagénese; porosidade.

O presente trabalho consistiu na realização duma análise multiescala de vários litótipos carbonatados seleccionados, originários de 15 locais diferentes e referentes a formações de meio marinho interno do Jurássico Médio da parte sul do Maciço Calcário Estremenho, localizado no sector central da Bacia Lusitânica.

Esta análise tem como principal objectivo criar uma articulação sólida entre os estudos realizados à macroscale/mesoscale e à microscale, visando principalmente uma caracterização petrográfica pormenorizada, em especial das características que têm significado em termos de porosidade e de permeabilidade, de modo a ser possível aferir o papel da diagénese na definição de reservatórios carbonatados. Para tal, aplicaram-se diversas técnicas às mesmas amostras, para obter dados comparativos e testar a adequação de cada método aos objectivos definidos.

O estudo centrou-se na caracterização diagenética de cada litótipo, visando principalmente composição e textura, litofácies, génese e tipos de porosidade, apreciação qualitativa preliminar da permeabilidade. Em função dos dados, identificou-se o tipo de reservatórios presentes.

Verificou-se que: os reservatórios presentes na área de estudo são essencialmente controlados por diagénese, correspondendo normalmente a reservatórios diagenéticos e a reservatórios dolomíticos, e a armadilhas estratigráficas; a génese de porosidade é em geral devida à actuação de processos diagenéticos; a porosidade não colmatada corresponde a porosidade secundária, é em geral pobre/razoável; os processos diagenéticos mais importantes para a geração da porosidade são compactação, dolomitização, dissolução e desdolomitização; a permeabilidade na globalidade das amostras é baixa/nula.





## ABSTRACT

**Keywords:** Middle Jurassic; Lusitanian Basin; carbonate lithotypes; multiscale analysis; diagenesis; porosity.

The present work corresponds to a multiscale analysis of several carbonate lithotypes from 15 different locations, referring to inner marine formations from the Middle Jurassic of the southern part of the Maciço Calcário Estremenho region, in the central sector of the Lusitanian Basin.

This analysis is mainly aimed at building up a solid articulation between the macroscale/mesoscale study and the microscale studies, allowing a detailed petrographic characterization, especially focused on the features that are more meaningful as regards to porosity and permeability. This, in turn, allows evaluation of the role of diagenesis in the definition of carbonate reservoirs. For these purposes, several techniques have been applied to the same samples, in order to obtain comparative data and to test which method applies better to the different objectives.

The study focused in the diagenetic characterization of each lithotype, mainly targeting composition and texture, lithofacies, genesis and porosity types and preliminary qualitative assessment of permeability. Depending on the data, the types of reservoirs have been identified.

The results show that: the reservoirs of the study area are essentially controlled by diagenesis, mostly corresponding to diagenetic reservoirs and dolomitic reservoirs, and to stratigraphic traps; the generation of porosity is due to the development of diagenetic processes; the non-filled porosity corresponds to secondary porosity, which is usually poor/fair; the most important diagenetic processes for the generation of this porosity are compaction, dolomitization, dissolution and dedolomitization; the permeability is usually low/null.



# **CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO**



## Introdução

Este trabalho surge na sequência de múltiplos trabalhos realizados nas formações carbonatadas do Jurássico da Bacia Lusitânica (BL), por diferentes autores, em particular, os realizados pelos investigadores do Departamento de Geologia e do Centro de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, que visaram principalmente o aprofundamento da compreensão da evolução estratigráfica e paleoambiental da Bacia.

A área abrangida por este estudo corresponde à parte sul do Maciço Calcário Estremenho (MCE), situado no sector central da BL, onde ocorre grande parte dos afloramentos do Jurássico Médio, dos quais foram seleccionados locais representativos das diversas litofácies já conhecidas e definidas (Azerêdo, 1993) e utilizadas amostras correspondentes. As amostras utilizadas para a realização deste estudo provêm, concretamente, de duas fontes: amostras previamente existentes e oriundas do trabalho de Tese de Doutoramento da Professora Ana Azerêdo da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (seleccionadas e cedidas pela mesma, para a realização do presente trabalho), e amostras resultantes de três novas recolhas, realizadas nos afloramentos Chã, Estação do Parque Eólico e Moinhos do Alto da Serra, situados na zona sudoeste da Serra dos Candeeiros, no Maciço Calcário Estremenho, locais onde se entendeu necessário reforçar o número de amostras para a realização de um estudo mais detalhado a multiescala.

O estudo consistiu na realização duma análise multiescala dos vários litótipos correspondentes às amostras seleccionadas, de forma a criar uma articulação sólida entre os estudos realizados à mesoescala (em amostra de mão) e os resultantes da observação à microescala (de vários tipos de lâminas), derivadas da aplicação de várias técnicas/métodos (descritos no item 3.4. do capítulo 3), com vista à caracterização petrográfica e diagenética pormenorizada, em especial, das características que têm significado em termos de porosidade e de permeabilidade. Esta análise, por sua vez, possibilitou *a posteriori* a realização de uma correlação entre esses dados qualitativos (obtidos dessa articulação sólida meso/microescala), com os dados quantitativos adquiridos pela aplicação do método da porosidade relativa estimada por saturação em água (pormenorização no item 3.4.7 do capítulo 3). Assim, é possível fazer uma análise comparativa dos diferentes resultados obtidos pelas diversas técnicas/métodos e aprofundar os conhecimentos ao nível do desenvolvimento diferencial ou não da porosidade e, numa primeira aproximação, da permeabilidade de cada litótipo, consoante a sua variação geográfica na área em estudo. Outro objectivo é a aferição do papel da diagénese na definição de reservatórios carbonatados, no caso, em rochas do Jurássico Médio português da BL.

Para tentarmos alcançar os objectivos definidos, foi concretizado o seguinte plano de trabalho:

- Estudo de macro/mesoescala de amostras de mão dos diferentes litótipos seleccionados, com vista à caracterização petrográfica e diagenética pormenorizada, em particular da porosidade e, quando aplicável, da provável permeabilidade.
- Elaboração de escalas de cor e de tabelas de critérios qualificativos especificamente adaptados a este tipo de estudo em amostra de mão, de modo a

caracterizar e a avaliar de forma concisa todos os aspectos que têm significado em termos de porosidade e de permeabilidade de cada um dos litótipos em análise e, assim, criar uma articulação sólida entre as observações feitas à meso e à microescala, possibilitando *a posteriori* a realização de correlações entre as descrições realizadas às duas escalas.

- Identificação, no conjunto das amostras em estudo, daquelas com maior significado e potencial em termos de paleoporosidade e de paleopermeabilidade, com vista à análise comparada destes aspectos mediante a aplicação de diversas técnicas laboratoriais.

- Teste prático de todos os procedimentos correspondentes às diferentes técnicas e métodos aplicados às amostras seleccionadas (consultar capítulo 3), tendo como objectivo o conhecimento dos mesmos e a elaboração/adaptação de protocolos laboratoriais detalhados para a sua aplicação a este tipo de rochas.

- Análise comparativa dos resultados obtidos pelas diversas técnicas e métodos aplicados à meso/microescala, de modo a ser possível aferir a relação existente entre a qualidade dos resultados obtidos (por cada técnica e/ou método em termos de porosidade) e a variação do tipo de litótipo analisado, e permitir também aferir: quais as vantagens e desvantagens da aplicação de cada uma destas técnicas e/ou métodos para este estudo e qual a variação de qualidade dos resultados obtidos, consoante o tipo de litótipo analisado.

- Avaliação em cada litótipo da importância de variações verticais e horizontais de fácies, granulometria, calibragem, forma das partículas e do tipo de contacto entre elas, da morfologia/dimensão e distribuição dos bioclastos, da dimensão e distribuição das estruturas sedimentares identificadas; tentar relacionar estas observações com os ambientes deposicionais e resultados obtidos para cada litótipo. Em suma, procurar salientar a maior e/ou a menor importância de cada um dos factores enunciados no entendimento e percepção da porosidade e da permeabilidade de cada litótipo e na realização de uma análise específica que permita uma caracterização diagenética e petrofísica de detalhe de reservatórios carbonatados.

- Identificação dos possíveis interesses didácticos, científicos, económicos, entre outros, exemplificados pelas amostras em análise.

- Enquadramento dos resultados obtidos, com os conhecimentos pré-existentes sobre as formações estudadas, com o objectivo de contribuir para uma cada vez melhor integração interdisciplinar de conhecimentos de pormenor, de forma a caracterizar cada vez melhor séries estudadas, dos pontos de vista quer científico, quer económico.

## **CAPÍTULO 2: ENQUADRAMENTOS**

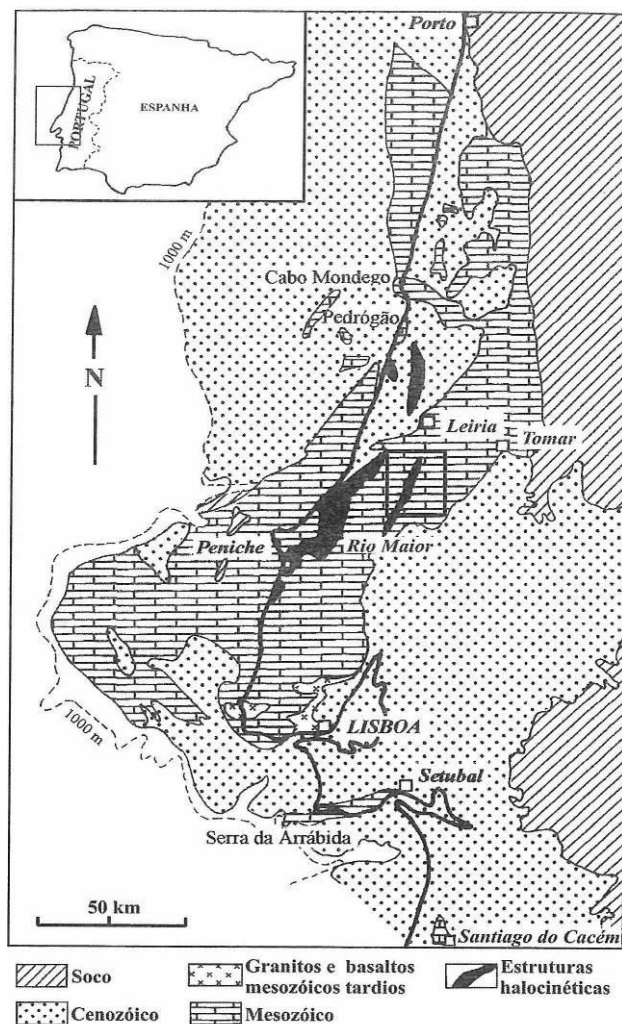




## 2.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO GERAL DA BACIA LUSITÂNICA

A Bacia Lusitânica pertence à zona Sudoeste da Península Ibérica, mais precisamente à região centro-oeste do território de Portugal. Esta bacia apresenta cerca de 23,000Km<sup>2</sup> de área emersa, que se estende desde a região de Aveiro até à serra da Arrábida, contendo ainda, uma pequena área aflorante na região de Santiago do Cacém (por exemplo, Azerêdo, 1993; Pereira, 2002).

A BL dispõe-se ao longo de uma faixa alongada de orientação NNE-SSW (**Fig. 2.1.**), com uma extensão de aproximadamente 250-300Km e uma largura de cerca de 100-150Km, incluindo área imersa (Azerêdo, 1993).



**Figura 2.1.** Mapa geológico simplificado da Bacia Lusitânica ( retirado de Azerêdo, 2007). A área em estudo no Maciço Calcário Estremenho está assinalada pelo retângulo.

## 2.2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO GERAL DA BACIA LUSITÂNICA

### 2.2.1. GÉNESE E ESTRUTURAÇÃO INICIAL DA BACIA LUSITÂNICA

No Jurássico Inferior, o bloco de litosfera continental correspondente à Ibéria, embora ainda não estivesse totalmente destacado das massas continentais que viriam a constituir a África e a Eurásia (que nessa altura, formavam o super-continente Pangea), começou a movimentar-se de modo semi-independente, ou seja, ora movendo-se solidariamente com um, ora com outro destes super-continentes e/ou até mesmo movendo-se independentemente, rodando em torno de um eixo vertical (Terrinha *et al.*, 2005). Estas movimentações iniciais foram motivadas pelo afastamento precoce de África e posterior da Eurásia em relação à América do Norte, que levaram à ocorrência de adelgaçamento da margem oeste da Ibéria e ao seu afundamento sob os mares da época e à formação da margem continental a Oeste e, conseqüentemente, da BL. Deste adelgaçamento resultou o início da formação do Oceano Atlântico e de uma margem continental passiva em que, inicialmente, o fundo dos mares que cobriam a margem ibérica ocidental e margem oriental norte-americana era constituído por litosfera continental, em constante adelgaçamento (Terrinha *et al.*, 2005). Segundo Wilson *et al.*, (1989), a ruptura/separação total entre a placa ibérica e a norte-americana estaria completa no Albiano.

Inicialmente instala-se um fosso alongado de orientação NNE-SSW, que é primeiramente preenchido por materiais aluvio-fluviais e posteriormente pelos restantes sedimentos que constituem a série mesozóica (abordada em detalhe no item 2.3.3.1.). Segundo Ribeiro *et al.*, (1979), ocorrem dois episódios compressivos importantes antes da deposição dos primeiros sedimentos da BL sobre o Soco Varisco, no Triásico Superior, uma vez que estes sedimentos não apresentam quaisquer evidências de deformação, provocada por esses episódios. O primeiro episódio, com uma direcção de compressão N-S, originou falhas tardi-variscas, com dois sistemas conjugados; um composto, essencialmente por desligamentos esquerdos de direcção NNE-SSW a ENE-WSW e outro composto, por desligamentos direitos NNW-SSE a NW-SE. O segundo episódio, com direcção sub-perpendicular ao anterior, terá formado uma importante zona de cisalhamento nos granitos da Berlenga e activado a falha Porto-Tomar como inversa entre o final da Orogenia Varisca e o Triásico.

A BL apresenta dois estilos tectónicos dominantes, um caracterizado por falhas e outro por estruturas halocinéticas, que se orientam preferencialmente segundo a direcção NNE-SSW e, secundariamente, NE-SW, orientações estas que reflectem as direcções de fracturação tardi-hercínicas do soco (embora ocorram famílias menores de outras direcções). A actividade tectónica da BL, esteve sobretudo ligada à reactivação desses acidentes do Soco Varisco, manifestada em falhas e estruturas halocinéticas, sendo a distribuição dessas principais estruturas influenciada de forma determinante pela espessura diferencial do complexo evaporítico da **Formação de Dagorda**, na base da coluna sedimentar do Mesozóico (Ribeiro *et al.*, 1979; Wilson *et al.*, 1989, in Azerêdo, 1993)

Os episódios compressivos da Orogenia Alpina induziram à ocorrência de uma inversão tectónica, que levou a ocorrência da elevação e subsequente exposição de grande parte das formações mesozóicas (e.g. Azerêdo, 2005).

Sintetizando:

A gênese e estruturação inicial da BL no Triásico Superior está relacionada com a primeira fase de “rifting”, associada à fragmentação da Pangea, à formação do Proto-Oceano Atlântico e à posterior abertura do Atlântico Norte (e.g. Azerêdo *et al.*, 2003).

### 2.2.2. ENQUADRAMENTO PALEOGEOGRÁFICO DA BACIA LUSITÂNICA

No início do Mesozóico, a placa ibérica situava-se entre o Proto-Oceano Atlântico e o mar de Tétis, formados na sequência da fragmentação da Pangea durante o Triásico (Azerêdo, 1993).

Esta placa estaria então situada, em latitudes mais a Sul da posição actual, cerca dos 20°N; com o decorrer do tempo geológico, ocorre deslocação para N da placa ibérica, levando a que no Batoniano ela se encontrasse aproximadamente, cerca dos 25°N, numa faixa climática subtropical (Dercourt *et al.*, 1985, *in* Azerêdo, 1993 e Pereira, 2002).

A posição actual da placa ibérica é devida principalmente a dois factores, segundo Ribeiro *et al.* (1979): progressiva migração para norte durante o Mesozóico, das massas continentais resultantes da fragmentação da Pangea no Triásico e posterior rotação anti-horária da placa ibérica no início do Cretácico, com abertura da Baía da Biscaia.

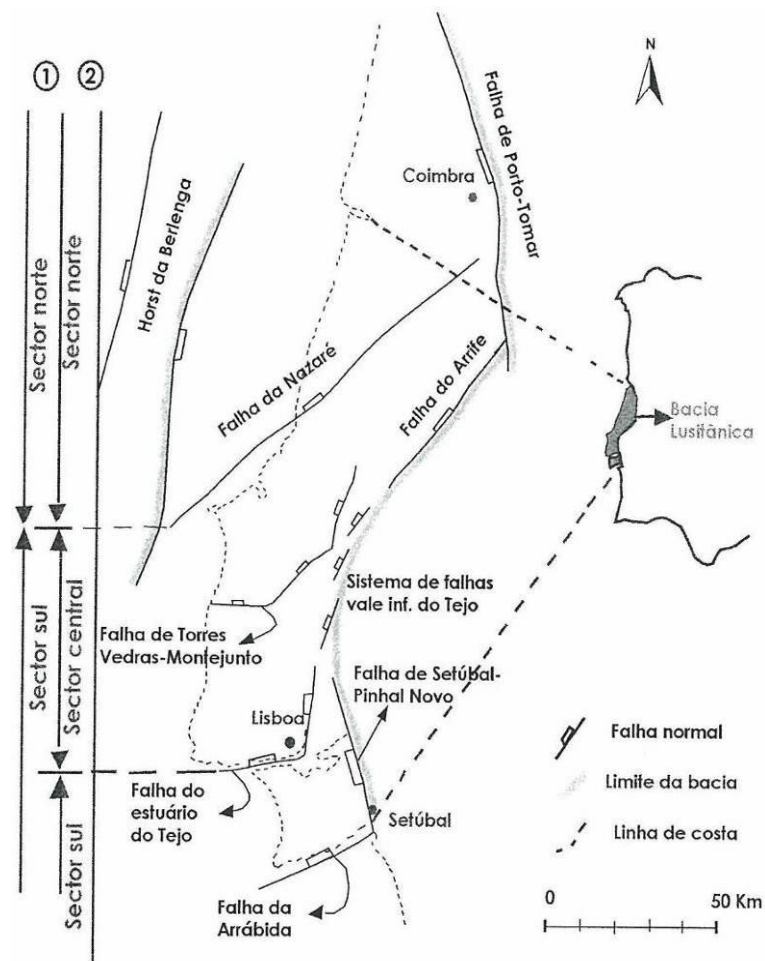
### 2.2.3. LIMITES GEOLÓGICOS DA BACIA LUSITÂNICA

A BL é delimitada a leste, pelo Maciço Hespérico (Soco Paleozóico), com o qual contacta por falha (Falha de Porto-Tomar); para sul de Tomar, o limite inflecte para SW (Falhas de Arrife-Vale inferior do Tejo) e, inflecte de novo para SE (Falha de Setúbal-Pinhal Novo) pelas coberturas Terciárias das bacias Tejo e Sado; a Oeste, o limite físico da bacia está, actualmente, representado pelos horsts de soco aflorantes nos ilhéus das Berlengas e Farilhões (e.g. Ribeiro *et al.* 1996).

Para a estruturação da BL são fundamentais as falhas com direcção variando entre E-W a NE-SW, como são exemplo as falhas da Nazaré e do Arrife que dividem a bacia em diferentes sectores tectono-estratigráficos (**Fig.2.2.**) e, mais a Sul, a falha da Arrábida, provável limite meridional da BL (Ribeiro *et al.*, 1996, *in* Kullberg, 2005).

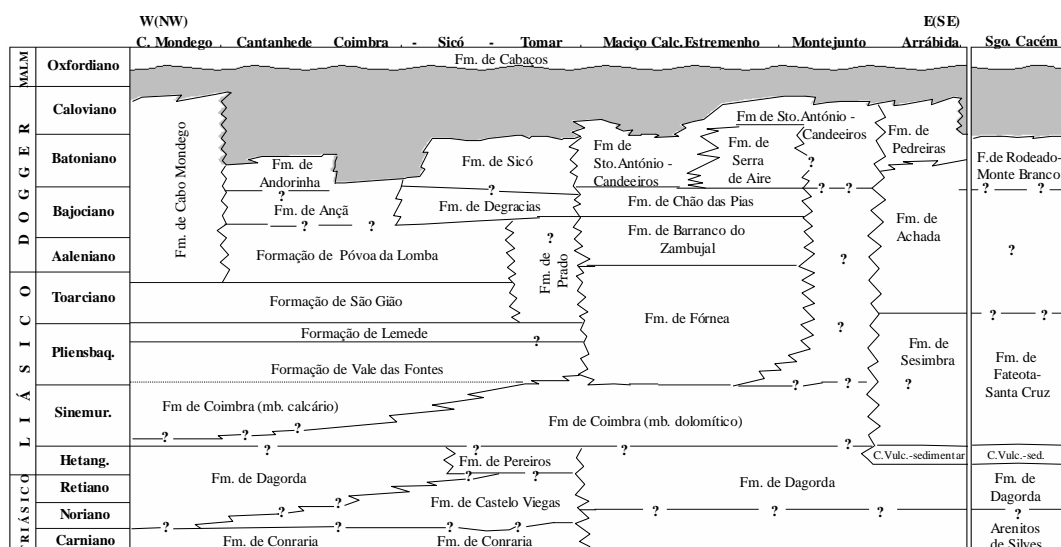
### 2.2.4. PREENCHIMENTO DA BACIA LUSITÂNICA AO LONGO DO MESOZÓICO

A BL é constituída por uma série mesozóica, que abrange na sua globalidade o intervalo que vai do Triásico Superior ao Cretácico Superior, sobretudo composta por sedimentos de idade jurássica, com posterior cobertura terciária. Contudo, a colmatação da BL estaria completa no Cenomaniano, com a sedimentação posterior a processar-se para além da margem passiva. Esta bacia apresenta uma espessura máxima de cerca de 5.000 metros nas suas zonas centrais (e.g. Ribeiro *et al.* 1979), em contraste com os cerca de 500 a 1000 metros registados nos bordos da mesma, em que, os acarreios sedimentares para a Bacia eram provenientes fundamentalmente de duas áreas, uma situada a Este, correspondente ao Maciço Ibérico e outra zona situada a Oeste, da qual, os ilhéus das Berlengas e Farilhões são actualmente o seu único testemunho. Esta sucessão litostratigráfica é inferiormente delimitada por uma inconformidade entre as formações ante-mesozóicas e triásicas (e.g. Azerêdo, 2005).



**Figura.2.2.** Localização dos limites da Bacia Lusitânica e falhas que controlaram a evolução mesozóica da Bacia. Divisão da Bacia em Sectores: (1) segundo Rasmussen *et al.*, 1998 e Stapel *et al.*, 1996; (2) segundo Ribeiro *et al.*, 1996 (adapt. Kullberg, 2000).

Seguidamente apresenta-se uma síntese geral do preenchimento da BL durante o intervalo Triásico Superior – Jurássico Superior, com destaque para o Jurássico Inferior e Médio, seguindo sobretudo a descrição contida em Azerêdo *et al.* (2003) (**Fig.2.3**). No caso das Formações do Jurássico Médio correspondentes ao MCE, nomeadamente as de idade posterior ao topo do Bajociano inferior, as mesmas serão abordadas em detalhe no ponto 2.3., uma vez que fazem parte integrante da problemática em estudo.



**Figura 2.3.** Síntese litostratigráfica com proposta de uniformização da respectiva nomenclatura, para o Triásico, Jurássico Inferior e Médio da Bacia Lusitânica (retirada de Azerêdo *et al.*, 2003).

#### 2.2.4.1. Do Triásico Superior à Base do Jurássico Inferior

O preenchimento da BL inicia-se no Triásico Superior com a deposição dos primeiros sedimentos, contemporâneos dos estágios iniciais da formação da Bacia, tratando-se estes de sedimentos (sin-“rifting”) que se depositaram directamente sobre o soco Varisco. Estes sedimentos são essencialmente de natureza aluvio-fluvial e apresentam espessuras variáveis. São sobretudo constituídos por conglomerados, arenitos e pelitos vermelhos, que são os principais constituintes dos “Grés de Silves”, os quais passam, lateralmente e superiormente, a sedimentos pelítico-carbonatados e evaporíticos, conhecidos pela designação de **Formação de Dagorda**; em certos locais, ocorrem ainda passagens laterais desta para uma formação de natureza mais calcária, designada por **Formação de Pereiros** (e.g. Azerêdo *et al.*, 2003).

O “**Grupo dos Grés de Silves**” segundo Rocha *et al.* (1990, in Azerêdo *et al.*, 2003) é constituído pelas seguintes formações: **Formação de Conraria**, **Formação de Castelo Viegas** e **Formação de Pereiros**. A **Formação de Conraria** (Carniano-Norianano) e a **Formação de Castelo Viegas** (Norianano-Retiano), correspondem aos termos A1, A2 e B1 de Palain (1976, in Azerêdo *et al.*, 2003), e são constituídas essencialmente por sedimentos aluvio fluviais e margino-litorais siliciclásticos vermelhos de espessura variável (máxima 350 metros) depositados em ambiente marinho pouco profundo, sendo sobrepostas pela **Formação de Dagorda** e/ou pelo seu equivalente lateral, a **Formação de Pereiros** (Soares *et al.*, 1993, in Azerêdo *et al.*, 2003).

A **Formação de Dagorda** (Retiano-Hetangiano) é constituída por uma espessa série de sedimentos (superior a 600 m), constituída por uma alternância de argilitos e evaporitos (halite, gesso/anidrite), que termina normalmente com termo bastante característico, os “Dolomitos em Plaquetas”. Esta Formação foi depositada em ambiente lagunar e/ou de planície de inundação de maré de pouca profundidade, em clima quente e seco, fazendo lembrar os actuais ambientes de *sabkha*, num período de forte subsidência (Azerêdo *et al.*, 2003).

Devido às propriedades intrínsecas dos materiais que a compõem esta Formação, nomeadamente: densidade, plasticidade e viscosidade, estes materiais quando expostos a situações de compressão, poderem migrar verticalmente e/ou horizontalmente, o que torna difícil estimar a sua espessura original. Estes materiais são considerados os principais responsáveis pela tectónica-salina e pelas estruturas halocinéticas existentes em toda a BL, como por exemplo: os núcleos salinos perfurantes, afundamento das bacias devido à migração lateral de sal, vales tifónicos (como por exemplo: Fonte da Bica-Porto de Mós; Óbidos-Caldas da Rainha) formados pela erosão dos materiais desta formação, que ascenderam ao longo de falhas e/ou perfuraram estruturas anticlinais; em que, os bordos, são normalmente definidos por falhas, que põem em contacto as margas da Dagorda e os calcários do Jurássico, podendo ocorrer relevos positivos associados, constituídos por dolomitos e doleritos.

Segundo Kullberg (2000 *in* Pimentel, 2005), estes materiais, em determinadas situações, levaram à reactivação de acidentes do soco e formação de estruturas halocinéticas com direcções tardi-hercínicas e são também favoráveis à instalação de descolamentos associados às falhas lítricas e ao estiramento na proximidade das falhas do soco, durante a distensão mesozóica.

Nas regiões da Arrábida e de Santiago de Cacém, esta sucessão, termina com o Complexo Vulcano-Sedimentar, que apresenta uma espessura de 50-70 m na Arrábida e cerca de 100m em Santiago de Cacém, segundo Azerêdo *et al.*, (2003).

A **Formação de Pereiros** (Hetangiano-Sinemuriano inferior) corresponde aos termos B2, C1 e C2 de Palain (1976, *in* Azerêdo *et al.*, 2003). O primeiro termo é materializado por um conjunto de camadas centimétricas constituídas por litótipos carbonatados (calcários e dolomitos), com uma importante fase detrítica, enquanto o segundo (C1) apresenta um carácter gresoso e/ou de carácter lenticular, com cerca de 10 metros de espessura. O terceiro termo (C2) é composto por um conjunto bastante heterogéneo de litofácies, que vão desde fácies areníticas a dolomíticas, com macrofauna de moluscos restrita, com cerca de 50 metros de espessura e características de ambientes lagunares e peri-costeiros. Esta formação marca uma ténue invasão marinha da BL (Azerêdo *et al.*, 2003).

## 2.2.4.2. Jurássico Inferior e passagem Jurássico Inferior – Jurássico Médio

### 2.2.4.2.1. Do Sinemuriano superior ao Toarciano

Na base do Jurássico Inferior ocorre a invasão gradual da BL pelo mar, ocorrendo a deposição da **Formação de Coimbra** (Sinemuriano inferior e superior), em ambiente de rampa carbonatada de baixa energia, que marca o acentuar da ténue invasão marinha da Bacia, verificada anteriormente na deposição da **Formação de Pereiros** (Duarte, 2005).

Esta formação é constituída por dois membros: um membro dolomítico constituído por dolomitos e dolomitos calcários pouco fossilíferos na base, formados em ambiente de pouca profundidade e um segundo membro calcário constituído por calcários interstratificados com níveis centimétricos de margas. A delimitação entre os dois membros traduz uma fase de acentuado aprofundamento da sedimentação, (Azerêdo *et al.*, 2003).

Segundo Rocha *et al.* (1990 *in* Azerêdo *et al.*, 2003), na região de Tomar, a ocorrência de dolomitização leva ao desaparecimento de todo o membro calcário.

Na base do membro calcário (“**Calcários de S. Miguel**” de Soares *et al.*, 1985 *in* Azerêdo *et al.*, 2003) registaram-se os primeiros amonóides (*Asteroceratídeos*), que marcam a base do Sinemuriano superior. No topo do Sinemuriano (*Biozona*

*Raricostatum*), na parte ocidental da BL, nas regiões de S. Pedro de Moel e de Montemor-o-Velho, desenvolveram-se alguns horizontes de margas betuminosas, intercaladas numa série margo-calcária alternante, muito rica em elementos neotónicos e planctónicos, correspondente à **Formação de Água de Madeiros** (Duarte e Soares, 2002; Duarte, 2005), testemunhando assim, a primeira, grande abertura da bacia ao meio marinho, com a instalação de uma rampa carbonatada homoclinal inclinada para ocidente (Azerêdo *et al.*, 2003).

Na região da Arrábida neste intervalo, inicia-se a deposição da **Formação de Sesimbra** (Sinemuriano inferior?-Toarciano inferior), com cerca de 110m de espessura e totalmente dolomítica até ao Pliensbaquiano inferior (“**Dolomitos de Sesimbra**”, equivalente lateral da **Formação de Coimbra**). Os “**Dolomitos de Sesimbra**” são constituídos por uma alternância de leitos com pelóides, intraclastos e crostas microbiano-algais, evidenciando um ambiente margino-marinho, inter a supramarés, o resto da Formação corresponde a margas e calcários dolomíticos.

Na região de Santiago do Cacém, no mesmo período, deposita-se um equivalente lateral, a **Formação de Fateota-Santa Cruz**, que apresenta cerca de 100m de espessura e é predominantemente dolomítica na base, passando para o topo a argilo-dolomítica e que assenta sobre o complexo vulcano-sedimentar (Manuppella, 1983., *in* Azerêdo *et al.*, 2003).

O topo da **Formação de Coimbra** marca uma importante descontinuidade sedimentar, que antecede uma espessa série margo-calcária, abrangendo, de forma generalizada (excepto sectores de Peniche e de Tomar), as seguintes Formações: a **Formação Vale de Fontes** (Pliensbaquiano), **Formação de Lemedede** (Pliensbaquiano superior – base Toarciano) e a **Formação de São Gião** (Toarciano) e **Formação de Póvoa da Lomba** (topo do Toarciano -Aaleniano) (Duarte & Soares, 2002).

A **Formação de Vale de Fontes** é constituída por três membros diferenciáveis. Da base para o topo temos a seguinte sequência: margas e calcários com *Uptonia* e *Pentacrinus* (26 m); margas e calcários grumosos alternantes com margas betuminosas (29 m) e Margo-calcários com níveis betuminosos (35m). Esta Formação exhibe variações de espessura e importantes variações laterais de fácies ao longo da bacia (Duarte & Soares, 2002).

Por sua vez, a **Formação de Lemedede** é constituída por um conjunto de alternâncias margo-calcárias decimétricas regulares, com um claro domínio carbonatado e com macrofauna abundante, nomeadamente, com concentrações elevadas de amonites, belemnites, branquiópodes e bivalves; apresenta também, pequenas variações laterais de fácies na bacia. Ambas as formações foram depositadas já com uma abertura acentuada da rampa carbonatada ao meio marinho (Soares *et al.*, 1993).

A **Formação de São Gião** é constituída por fácies calco-margosas e com grandes variações sedimentológicas e faunísticas, tanto lateralmente como verticalmente, com cerca 100 m em Alvaiázere, contra 220 m de espessura máxima em Coimbra (Azerêdo *et al.*, 2003).

#### 2.2.4.2.2. Do topo do Toarciano ao Aaleniano

Na passagem do Jurássico Inferior para o Jurássico Médio depositou-se, sobre as Formações abordadas anteriormente, a **Formação de Póvoa da Lomba** (topo do Toarciano -Aaleniano), depositada já em claro domínio carbonatado e tendencialmente regressivo, que apresenta fácies “mud mounds” com espongiários siliciosos (Duarte 1997; Duarte *et al.*, 2001). Neste período existe um incremento da diferenciação rampa proximal /rampa distal. Esta diferenciação está associada a uma fase tectónica, iniciada durante o início do Toarciano inferior, que é responsável pelo levantamento de blocos

localizados a ocidente (Berlengas-Farilhões) e pelas modificações e restrições físicas e ecológicas verificadas no ambiente marinho do Jurássico Inferior, que leva à ocorrência de uma grande variação de fácies em todos os domínios da Bacia (Duarte, 1997; Azerêdo *et al.*, 2003).

Estas restrições físicas de decréscimo de espaço disponível, verificadas durante a passagem Toarciano-Aaleniano, estão bem demonstradas no Maciço Calcário Estremenho, em que passamos de camadas finas a médias (centimétricas a decimétricas) de margas, calcários margosos e calcários micríticos, em geral, muito fossilíferos (incluindo as fácies de “mounds” de espongiários; Duarte *et al.* 2001) e com bioturbação, da **Formação de Fórnea** (Pliensbaquiano a Aaleniano basal), para uma alternância rítmica de camadas centimétricas a decimétricas de margas, calcários margosos e calcários argilosos de cores acinzentadas a cremes na parte inferior da **Formação de Barranco do Zambujal** (Aaleniano inferior - Bajociano inferior), Azerêdo (2007).

A **Formação de Barranco do Zambujal** torna-se progressivamente mais calcária, com camadas mais espessas, decimétricas a métricas, para o topo e contém fauna nectónica e bentónica, por vezes concentrada em superfícies endurecidas. Esta formação é constituída por fácies típicas de meio marinho aberto, mas em regime batidecrescente, com a natureza hemipelágica das unidades inferiores a dar lugar a depósitos de rampa externa a intermédia, nomeadamente: micrites/pelmicrites, por vezes bioturbadas, com bivalves pelágicos, braquiópodes, belemnóides e amonóides. É também evidente, nesta Formação, intensa bioturbação, nomeadamente os icnotipos *Zoophycos* e *Chondrites* e uma diminuição da abundância e diversidade da fauna de amonites para o topo da unidade, podendo ocorrer esporadicamente micronódulos siliciosos no topo da mesma (Azerêdo, 2007). Ambas as formações anteriores correspondem a fácies margo-calcárias de meio marinho aberto, geradas em rampa externa, e que apresentam espessuras da ordem dos 220-250m cada (Azerêdo, 2007).

Neste intervalo, na região de Sesimbra, inicia-se a deposição da **Formação da Achada** (Toarciano inferior a Batoniano médio (?)), sobrejacente à **Formação de Sesimbra**, com uma espessura de cerca de 250 metros. Trata-se de uma unidade predominantemente dolomítica, com intercalações margosas dolomíticas, por vezes com níveis de calcários oolíticos, depositada em condições de meio margino-marinho pouco profundo e confinado.

Na região do Cabo Mondego e pontualmente mais a sul, na região do Baleal, neste intervalo, processava-se a sedimentação distal (actual litoral e “offshore”), dispendo-se ao longo de depocentros segundo um eixo NE/SW, aproximadamente perpendicular à polaridade das fácies. Ocorre assim deposição de séries de bacia /rampa externa, compostas por margas e calcários argilosos e margosos com abundante macrofauna, correspondentes à **Formação de Cabo Mondego** (sensu Azerêdo e tal., 2003), datada topo do Toarciano(?) ao Caloviano (ver em detalhe, em Azerêdo *et al.*, 2003). Esta formação depositou-se em ambiente calmo contínuo, típico de ambiente marinho externo, pontualmente perturbado por episódios de deformação sin-sedimentar e ressedimentação gravítica, evidenciados pela existência de calciturbiditos e de “debris-flows”. Estas ocorrências revelam um aumento localizado do declive da rampa distal, que terá sido tectonicamente induzido, por flexão da parte distal da estrutura, provavelmente do tipo “hangingwal”, condicionada por reactivação de acidentes tardi-hercínicos com direcções NNE-SSW e NE-SW (Azerêdo, 1988,1993,1998; Watkinson, 1989, in Azerêdo *et al.*, 2003).



Sintetizando:

A base do Jurássico Médio na BL é globalmente caracterizada por fácies de meio marinho externo, mas ocorre um progressivo decréscimo do espaço de acomodação, traduzido pela ocorrência cada vez mais significativa de fácies de pequena a média profundidade, a E/SE, e uma retracção das fácies mais externas para W/NW, começando assim, a existir um incremento da diferenciação rampa proximal /rampa distal em toda a BL (Azerêdo *et al.*, 2003).

#### 2.2.4.3. Passagem do Aaleniano Superior /Bajociano ao Caloviano

Na passagem do Aaleniano Superior/Bajociano para o Batoniano, nos sectores de Cantanhede e de Degracias-Rabaçal, observa-se a transição de calcários micríticos com amonóides e nódulos siliciosos (especialmente em Degracias), correspondentes à sucessão das seguintes formações: **Formação de Póvoa da Lomba, Formação de Ançã e Formação de Degracias**, para calcários bioclásticos a oolíticos correspondentes às Formações de **Andorinha e de Sicó** do Batoniano, que são típicas fácies carbonatadas de rampa interna (Azerêdo *et al.*, 2003). Na região de Sicó-Tomar-Ansião a sucessão correspondente a este intervalo é diferente da observada nos sectores de Cantanhede e de Degracias-Rabaçal, sendo composta, da base para o topo, pela **Formação de Prado, Formação de Degracias e Formação de Sicó** (Azerêdo *et al.*, 2003).

Na região de Santiago do Cacém foi reconhecido em sondagens, o equivalente lateral destas duas últimas Formações, a **Formação de Rodeado-Monte Branco**, também ela uma fácies típica de rampa interna (Azerêdo *et al.*, 2003).

Na região de Sesimbra, sobrejacente à **Formação da Achada** depositou-se também uma fácies típica de rampa interna, a **Formação de Pedreiras** (Batoniano Superior-Caloviano Inferior), que ostenta uma grande variação lateral de espessura, que passa de cerca de 250 metros a Este (na região da Arrábida) a cerca 50 metros a Oeste (na região da Azóia) (Kullberg *et al.*, 2006). Neste intervalo, na região correspondente ao MCE, deposita-se em continuidade sedimentar à **Formação de Barranco do Zambujal: a Formação de Chão das Pias, a Formação de Santo António-Candeeiros e a Formação de Serra Aire**. Estas Formações são abordadas em detalhe no item 2.3.

#### 2.2.4.4. Jurássico Médio na Bacia Lusitânica

Trata-se de uma fase de construção sedimentar progradante e agradante, caracterizada pelo enchimento carbonatado ocorrido durante Bajociano e o Batoniano na BL.

Ao longo do Bajociano, acentuou-se, de forma gradual, a tendência regressiva da BL, demonstrada pelo aparecimento cada vez mais significativo de fácies de pequena profundidade a E/SE. Segundo Azerêdo (2005,2007), na passagem Bajociano-Batoniano, na zona leste da BL, ocorrem depósitos pedogénicos, correspondentes a ambientes margino-marinhos e de laguna confinada, que passam lateralmente e superiormente a calcários oobioclásticos, o que sugere um panorama paleoambiental constituído por uma zona pericontinental a Este, passando a margino-marinha, com planícies de marés muito progradantes para Oeste, bordejadas por baixios arenosos inframareais.

Durante o Batoniano a taxa de subida relativa da coluna de água tende a equilibrar a taxa de sedimentação na rampa interna, o que leva ao atenuar da

progradação do sistema e ao incremento contemporâneo da componente de agradação, que se torna dominante. Devido a essas condições, geram-se ambientes do tipo: ilhas-barreira, que levam à deposição de espessas séries de calcários de alta energia (corpos arenosos carbonatados e biostromas, abordados em detalhe seguidamente neste item, e no 2.3.), lagunares e perimareais (**Fig.2.8. e 2.11.**); com diversos macro e microfósseis, em que se destacam os foraminíferos bentônicos, que são os principais marcadores biostratigráficos (**Fig.2.4.**) (Azerêdo, 1993,1998,2005,2007;Azerêdo *et al.*, 2003).

O início do Caloviano é marcado por uma variação transgressiva relativa do sistema, com subsequente retorno às condições de subida relativa mais lenta do nível do mar, que permitiu a recuperação da sedimentação de pequena profundidade e o preenchimento do espaço disponível, verificando-se assim, uma tendência novamente progradante da série (**Fig.2.8.**). Esta diminuição da coluna de água relaciona-se já com os processos geradores da descontinuidade bacinal Jurássico Médio-Jurássico Superior (Azerêdo, 2005,2007). A passagem Jurássico Médio-Jurássico Superior é caracterizada, por uma importante lacuna estratigráfica, que afecta toda a BL, pelo menos, no intervalo Caloviano terminal-Oxfordiano, que é marcada em vários pontos da Bacia por discordâncias angulares, carsificação e laterização. No caso, do MCE é demonstrada pelo contacto discordante entre o Batoniano e o Jurássico Superior, observável por exemplo no afloramento de Casal Vale de Ventos, faltando portanto, todo o Caloviano (Azerêdo, 1993).

Aaleniano-Bajociano inferior	Bajociano superior	Batoniano inferior	Batoniano superior	Caloviano inferior	Caloviano superior	CRONOSTRATIGRAFIA		
							<i>Lucasella gr. minoricensis-biozonorum</i>	FORAMINÍFEROS
							<i>Amijiella cf. amiji</i>	
							<i>Paravaulvina complicata</i>	
							<i>Aizonella cuvillieri</i>	
							<i>Mesoendothyra croatica</i>	
							<i>Valvulina lugeoni</i>	
							<i>Spiraloconulus giganteus</i>	
							<i>Trocholina gigantea e T. gr. gigantea-elongata</i>	
							<i>Pseudocyclamina maynci</i>	
							<i>Meyendorffina bathonica</i>	
							<i>Chablaisia chablaisensis</i>	
							<i>Praekurnubia crusei</i>	

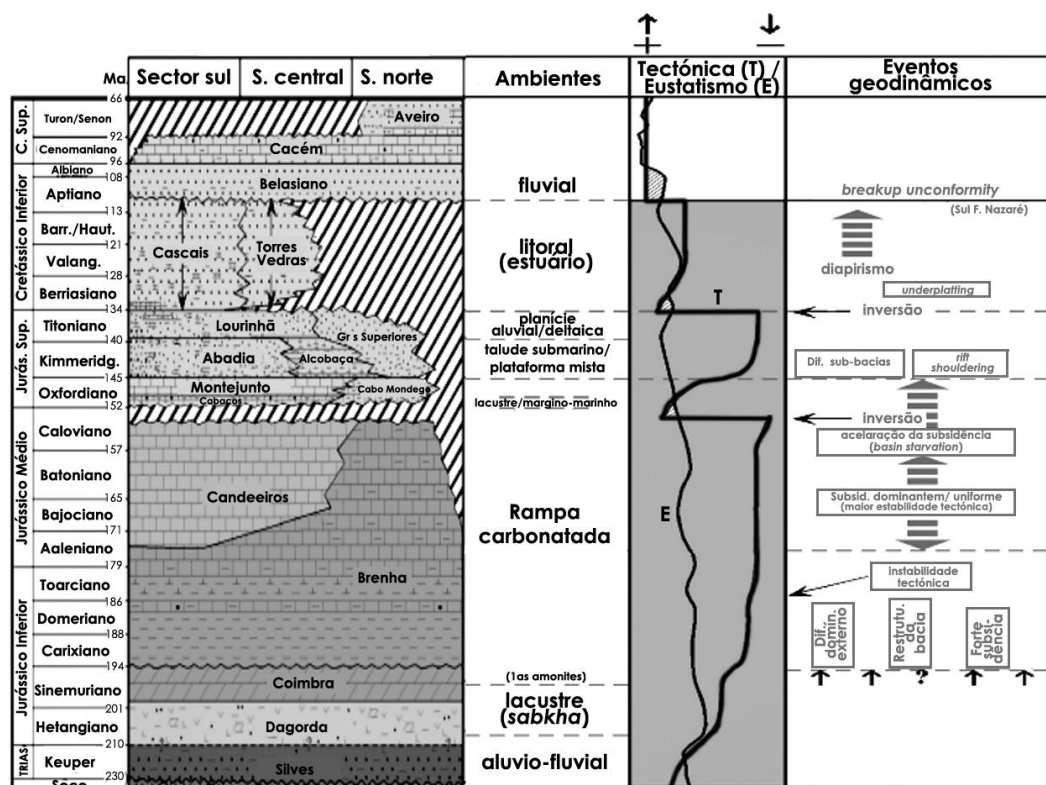
**Figura 2.4.** Distribuição estratigráfica, com valor regional, das principais espécies de foraminíferos bentônicos identificadas nas séries de meio marinho interno do Jurássico Médio da Bacia Lusitânica, integrando elementos de: Manuppela *et al.* (1985), Azerêdo (1993,1995,1999), Manupella & Azerêdo (1996), Martins (1998a), Azerêdo *et al.* (2000,2002a); consideraram-se também, os dados relativos a Santiago do Cacém (Manupella, 1983). Traço espesso: ocorrência abundante a muito frequente; traço fino: ocorrência pouco frequente/rara (retirado de Azerêdo *et al.*, 2003).

#### 2.2.4.5. Jurássico Superior

No Jurássico Superior ocorre subsidência variável na BL, controlada pela actividade das falhas e pela halocinese, resultando dessa subsidência uma deposição em sistemas mistos carbonatados e siliciclásticos, em que os primeiros sedimentos depositados correspondem a fácies margino-marinhas lacustres, mais concretamente a **Formação de Cabaços** do Oxfordiano Médio, da qual a variável informal definida (por

Choffat) no MCE é - as **Camadas de Valverde (Fig.2.5.)**. É constituída por diversas litofácies, nomeadamente: calcários lacustres betuminosos, com níveis abundantes de lignite, calcretos, margo-calcários lacustres a laguno-marinhos, sobrepostas pelos calcários micríticos e bioclásticos, com esporádicos acarreios argilosos, da **Formação do Montejunto** do Oxfordiano médio a superior (e.g. Azerêdo, 1993).

No Kimmeridgiano inferior inicia-se uma deposição tipicamente terrígena por toda a BL, que termina no Cretácico, testemunhando a principal fase de rifting, que levou à abertura oceânica. Neste andar, ocorrem também fácies carbonatadas, incluindo recifais, o que revela a ocorrência de diferenciação da BL em sub-bacias (e.g. Azerêdo, 1993; Wilson *et al.* 1989; Leinfelder, 1993). Este conjunto de sedimentos corresponde à **Formação da Abadia** e ao seu equivalente lateral, a **Formação de Alcobaça**. A **Formação da Abadia** é predominantemente siliciclástica, depositada em sistema de talude submarino, constituída por margas com intercalações de arenitos e conglomerados, com raros níveis calcários e com presença de faunas de amonites. A sua base, por vezes em algumas zonas da Bacia forma um nítido *onlap* sobre a **Formação Montejunto**, enquanto que a **Formação de Alcobaça** corresponde a um ambiente de plataforma mista siliciclástica-carbonatada de pequena profundidade (Wilson *et al.* 1989; Leinfelder, 1993). A série do Jurássico Superior culmina com uma predominância de Formações siliciclásticas, com a deposição da **Formação da Lourinhã** (Titoniano), constituída por unidades essencialmente detríticas salobras a marinhas de pequena profundidade, e pelo seu equivalente lateral no sector Norte da BL os “ Grés Superiores” ( Kimmeridgiano-Titoniano) depositados em sistema fluvial meandrizado, numa planície aluvial/deltaica ( e.g. Wilson *et al.* 1989).

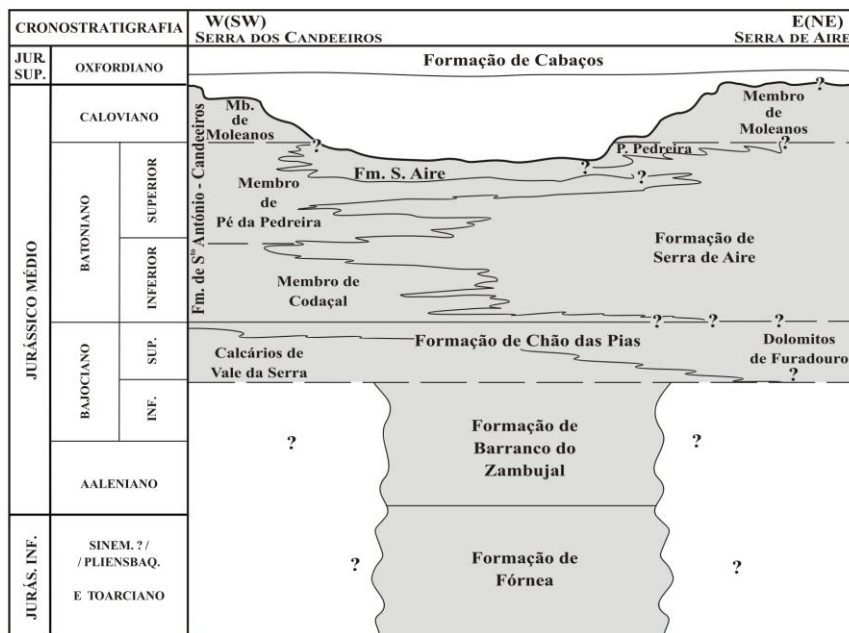


**Figura 2.5.** Esquema geral e informal da litostratigrafia da Bacia Lusitânica (adapt.GPEP, 1986), com indicação simplificada dos paleo-ambientes e das tendências eustáticas e tectónicas predominantes em cada intervalo, a par dos principais eventos geodinâmicos condicionadores da evolução da bacia ( *in* Pimentel, 2005- modificado de Kulberg, 2000).

### 2.3. JURÁSSICO MÉDIO DO MACIÇO CALCÁRIO ESTREMENHO

Para esta região foram formalmente definidas 5 Formações, para o Jurássico Médio, por Azerêdo (2007): **Formação da Fórnea**, **Formação de Barranco do Zambujal** (abordadas anteriormente, no ponto b2) do item 2.2.3.), **Formação de Chão das Pias** (subdividida em 2 Membros), **Formação de Serra de Aire** e a **Formação de Santo António-Candeeiros** (subdividida em 3 Membros) (Fig.2.6., 2.7., 2.8., 2.9., 2.10., 2.11.). As três últimas Formações enumeradas serão seguidamente abordadas em pormenor, uma vez que dizem respeito ao presente trabalho, devido ao facto de as amostras focadas neste estudo corresponderem a camadas integrantes das mesmas.

A descrição apresentada é baseada na descrição feita por Azerêdo (2007).



**Figura 2.6.** Unidades litostratigráficas formais para o Jurássico Inferior e Médio do Maciço Calcário Estremenho (segundo Azerêdo, 2007).

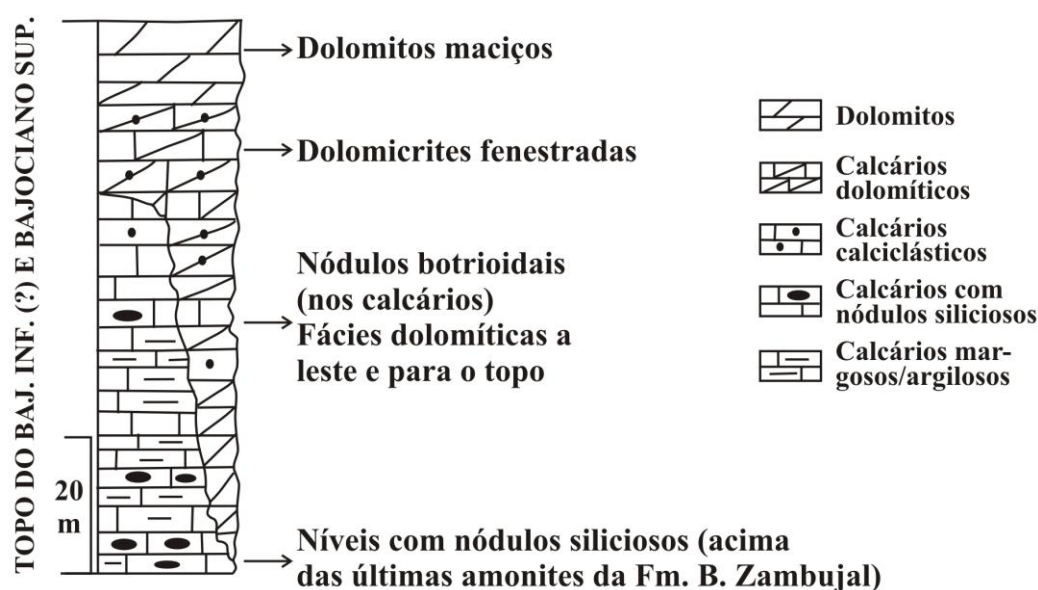
#### 2.3.1. DO TOPO DO BAJOCIANO INFERIOR AO BAJOCIANO SUPERIOR

No Maciço Calcário Estremenho sucede-se em continuidade sedimentar à **Formação de Barranco do Zambujal** a **Formação de Chão das Pias**, de idade atribuída ao Bajociano inferior a superior, com cerca de 50-60 metros de espessura, podendo atingir cerca de 80 metros na zona leste (constituída exclusivamente por fácies dolomíticas) do MCE (Fig.2.7.). Devido às variações de fácies que apresenta, esta formação foi dividida em dois membros: um Membro essencialmente calcário, os “**Calcários de Vale da Serra**”, e um Membro dolomítico, os “**Dolomitos de Furadouro**” (Azerêdo, 2007).

O Membro calcário é datado do Bajociano superior, embora a datação do limite inferior não seja taxativa. É composto por calcários levemente argilosos ou margosos, amarelo-acinzentados, de camadas decimétricas, por vezes com interleitos centimétricos de aspecto folhetado, que se tornam progressivamente mais compactos para o topo; concomitantemente, ocorre um gradual incremento da ocorrência de calcários e de calcários dolomíticos calciclásticos (Azerêdo, 2007). A base deste Membro corresponde a um intervalo (nível calcário) com cerca de 10 a 15 metros, com presença de grandes nódulos siliciosos de forma e dimensão (milimétrica a decimétrica) variável (Azerêdo *et al*, 2003; Azerêdo, 2007). A cerca de 40 metros do topo exibe um nível com nódulos

maiores, botrioidais (Machado e Manupella, 1998, *in* Azerêdo, 2007). Na globalidade, a parte inferior da sucessão dos “*Calcários de Vale da Serra*” corresponde a micrites e biomicrites de textura “mudstone” e “wackestone” com fragmentos de crinóides e de equinóides, entre outros bioclastos de granulometria fina.

No topo deste Membro verifica-se: uma passagem gradual a calcários intrapelmicríticos e biopelmicríticos de textura “wacke-packstone”, mais compactos e com fragmentos de ostracodos e filamentos, por vezes bioturbados; intercalações de intrabiomicrites “packstone” com oóides ressedimentados. Observam-se também, no topo deste Membro, níveis centimétricos de aspecto laminar formados por laminações de “silte” bioclástico, e calcários calciclásticos de textura “packstone-grainstone”, por vezes dolomitizados (Azerêdo, 2007).



**Figura 2.7.** Coluna litostratigráfica sintética da Formação de Chão das Pias, estando assinalados os principais marcadores considerados (retirada de Azerêdo, 2007).

O Membro dolomítico é datado do Bajociano superior (podendo, localmente, corresponder ao Batoniano basal (?)), com uma geometria em bisel, diminuindo de espessura de Este para Oeste, por meio de um contacto diacrónico com a componente calcária da Formação. Este membro é formado essencialmente por dolomitos maciços, com níveis intercalares de dolomitos calcários e de calcários dolomíticos. Estas intercalações de calcários dolomíticos correspondem a calcários intraclásticos e oobioclásticos com dolomitização mais ou menos pervasiva, nos quais se observam: raros textularídeos e frequentes intercalações de dolomicrites oncolíticas e fenestradas para o topo. Para o topo, este membro é mais rico em microfósseis (foraminíferos) não reconhecidos nos níveis inferiores (Azerêdo, 2007).

De uma forma geral, os dolomitos deste Membro apresentam, normalmente, intensa porosidade moldada e/ou cavernosa e carsificação, e correspondem a dolomicrites e dolosparites, com texturas cristalinas essencialmente do tipo planar subédrica e euédrica, sendo visíveis, por vezes, fantasmas de elementos figurados carbonatados (Azerêdo, 2007).

### 2.3.2. DO BATONIANO INFERIOR AO CALOVIANO

Neste período depositam-se a **Formação de Santo António-Candeeiros** e a **Formação de Serra Aire** (Fig.2.9 e a tabela 2.1.).

#### 2.3.2.1. Formação de Serra de Aire

A **Formação de Serra de Aire** abrange todo o Batoniano, na sua globalidade apresenta uma espessura máxima de cerca 350-400 metros, e é caracterizada por calcários lagunares e perimareais, formados em áreas protegidas antebarrreira, com diferentes litofácies predominantemente micríticas, que ocorrem com diferentes graus de abundância e com modos sequenciais diversos ao longo de toda a unidade, e que permitem diferenciar esta Formação em três grandes conjuntos verticalmente (Azerêdo, 2007).

O primeiro conjunto, correspondente à base desta formação, apresenta cerca de 50m de espessura e é, em geral, caracterizado por sequências cíclicas de: calcários e calcários dolomíticos micríticos (cremes e rosados), em camadas decimétricas, frequentemente fenestrados, com grãos argilo-ferruginosos, intercalados por leitos/lenticulas pelóidico-intraclásticos-oncolíticos, correspondentes a “wacke-packstones” com cimentos vadosos; dolomicrites laminares, em níveis milimétricos a centimétricos, frequentemente encarniçados e/ou acastanhados, geralmente formando crostas onduladas, ocorrendo, em certos locais, níveis pedogénicos centimétricos a decimétricos e raras paleo-superfícies de carsificação pouco marcada (Azerêdo, 2007).

Este conjunto é caracterizado pelo seguinte conteúdo fossilífero: gastrópodes, bivalves, ostracodos, esporádicos fragmentos de equinodermes, alguns textularídeos, raras carófitas, Porostromata. Os microfósseis não são muito abundantes nem muito diversificados (Azerêdo, 2007). Uma das características desta sucessão inferior é a presença de pegadas de dinossauros (Azerêdo, 2007).

O segundo conjunto apresenta uma espessura superior a 150m e engloba a restante parte inferior e a intermédia da Formação, sendo composto por camadas de espessura média a grande (40-50cm a métricas), correspondentes a calcários micríticos compactos, geralmente fenestrados e/ou oncolitizados, com cores frequentemente claras, integrando “wacke-packstone”, “wackestones” a “floatstones” com oncóides e clastos revestidos que podem atingir os 2cm de dimensão, nódulos algais/cianobactérias e grãos ferruginizados (Azerêdo, 2007). Neste conjunto ocorrem também intercalações de calcários oolítico/bioclásticos/calcioclásticos, normalmente esbranquiçados, em leitos finos de base irregular, com e sem gradação ou laminação oblíqua, podendo também, ocorrer localmente leitos microconglomeráticos com clastos escuros, de espessura centimétrica e lateralmente descontínuos, com intraclastos e clastos ferruginosos e/ou negros, apresentando imbricação e/ou gradação positiva imperfeitas, verificando-se, por vezes, a presença de pequenas bolsadas irregulares de clastos escuros, no seio de níveis micríticos (Azerêdo, 2007).

A organização sequencial em ciclotemas peritidais é a característica que distingue a parte inferior da Formação da superior (Azerêdo, 2007). Quanto ao conteúdo fossilífero, este conjunto é caracterizado por: foraminíferos bentónicos (sobretudo grandes bentónicos), miliolídeos e textularídeos, Porostromata, ostracodos, fragmentos de dasicladáceas, gastrópodes e de forma mais irregular pela presença de bivalves,

catetídeos, coraliários solitários, branquiópodes, estromatoporídeos, serpulídeos e por vezes bioturbação (Azerêdo, 2007).

A datação deste limite inferior é conferida pela primeira ocorrência do foraminífero *Alzonella cuvillieri* BERNIER & NEUMMAN, espécie que indica o Batoniano e que no caso da BL (segundo Manupella *et al.*, 1985; Azerêdo, 1993,1999; Martins,1998; *in* Azerêdo 2007), indica o Batoniano inferior. A parte superior data do Batoniano superior pela presença de *Meyendorffina bathonica*.

O conjunto superior exhibe uma espessura superior a 150m, em que predominam as litofácies lagunares sobre as peritidais, denotando-se um decréscimo dos calcários fenestrados e oncosparíticos e da sua organização em ciclos, tornando-se mais comuns os calcários micríticos fossilíferos com oncóides, nódulos “algais” e presença de laivos ferruginosos (marca característica). Estes calcários são geralmente biomicríticos ou pelmicríticos, de cores claras, brancos, cremes e acinzentados, por vezes intercalados por níveis menos frequentes de calcários com pelóides, intraclastos e bioclastos oncolitizados, incluindo estromatoporídeos oncolitizados. O topo deste terceiro conjunto na parte ocidental MCE é claramente dominado por fácies lagunares, enquanto na parte oriental (Planalto de Fátima/S.Mamede), parece existir ainda um domínio das fácies peritidais sobre as lagunares (Watkinson, 1989, *in* Azerêdo, 2007). O conteúdo fossilífero consiste em: diversos foraminíferos bentónicos (sobretudo grandes bentónicos), miliolídeos e textularídeos, Porostromata, gastrópodes, fragmentos de bivalves e de ostracodos, raras secções de dasicladáceas e de carófitas.

O limite superior desta Formação corresponde à desconformidade entre o Jurássico Médio e o Jurássico Superior, sendo de referir que a zona restrita correspondente ao MCE oriental é marcada pela paraconformidade definida pelo contraste litológico com os calcários calciclásticos do termo superior da **Formação de Santo António-Candeeiros** (Azerêdo, 2007). A **Formação de Serra de Aire** interdigita-se segundo contornos bastante variáveis com a **Formação de Santo António-Candeeiros** (Azerêdo, 2007).

### 2.3.2.2. Formação de Santo António-Candeeiros

A **Formação de Santo António-Candeeiros** é composta por uma espessa sucessão de mais de 500m de calcários oolíticos e bioclásticos com estratificação oblíqua de vários tipos, calcários intra/lito/bioclásticos maciços ou gradados, calcários intrapelóidicos, biostromas de coraliários e algas, indicadores de condições deposicionais dominadas por hidrodinamismo elevado. Estes depósitos constituem, na sua maioria, corpos arenosos empilhados, reconhecendo-se alguns ciclotemas subtidais e sedimentos episódicos descontínuos.

Devido às litofácies, a algumas associações presentes em certos afloramentos distantes entre si e ao diacronismo existente, segundo Azerêdo (2007), em termos litostratigráficos, esta Formação está dividida em três membros, nomeadamente: o **Membro de Codaçal** e o **Membro de Pé da Pedreira** (fácies carbonatadas típicas de rampa interna, correspondentes a calcários de alta energia, gerados num paleoambiente de ilhas-barreira) e ainda o **Membro de Moleanos**.

O conteúdo fossilífero característico inclui diversos macro e microfósseis, tais como: equinóides, coraliários, catetídeos, estromatoporídeos, briozoários, moluscos e branquiópodes, foraminíferos, algas e ostracodos, etc. Para o topo desta Formação, no Caloviano, estas litofácies são intercaladas por calcários compactos com branquiópodes abundantes, amonóides, belemnóides e “filamentos” (Azerêdo, 2007).

O **Membro de Codaçal** é datado do Batoniano inferior (pela presença de *Alzonella cuvillieri*), com uma espessura média da ordem de 50-60 m, embora a espessura aumente de Este para Oeste, até cerca de 70-80 m. Este Membro é constituído por calcários bioclásticos, e oobioclásticos, esporadicamente dolomitizados, na sua maioria materializados em conjuntos possantes de estratificação mal definida, mais raramente em camadas de espessura média; têm normalmente cor branca, creme e/ou, mais raramente, amarelada e formam frequentemente níveis bimodais-biosparites, oosparites e oobiosparites “grainstone” a “rudstone”, ocorrendo também intraclastos, litoclastos, pelóides e oncóides. Exibe diversas estruturas sedimentares macroscópicas, nomeadamente: “laminações/estratificação oblíqua de diversas escalas e tipos (feixes tabulares e enconchados centimétricos a métricos, “ripples”, etc); laminação paralela com granulotriagem; “hardgrounds” e níveis de aspecto maciço” (Azerêdo, 2007).

Este Membro é caracterizado também pela ocorrência de biostromas de coraliários e algas, que formam níveis de espessura variável da ordem dos 15-20 a 70-80cm, que se intercalam e interdigitam com as restantes litofácies, sendo a textura dominante “bafflestone”, raramente “framestone” e ocorrem diversos organismos associados, como equinodermes, gastrópodes, serpulídeos e estromatoporídeos. Estes calcários sobrepõem-se aos termos dolomíticos e micríticos do topo da formação de Chão das Pias, enquanto que o seu limite superior é assinalado por uma passagem diacrónica à formação de Serra de Aire, havendo interdigitação entre as duas unidades (Azerêdo, 2007).

O **Membro de Pé da Pedreira** é datado do Batoniano pela presença das últimas ocorrências de *Alzonella cuvillieri* na parte inferior da unidade e de *Meyendorffina bathonica*. A base deste Membro, na zona do Pé da Pedreira, apresenta espessura de cerca 40 m, e constitui uma unidade lenticular biselada de Oeste para Este, no seio de calcários micríticos da Formação de Serra de Aire, com os quais localmente se interdigita. A espessura total deste Membro é variável, mas os níveis parcialmente equivalentes aos da zona tipo e superiores representam certamente mais de 150m (Azerêdo, 2007).

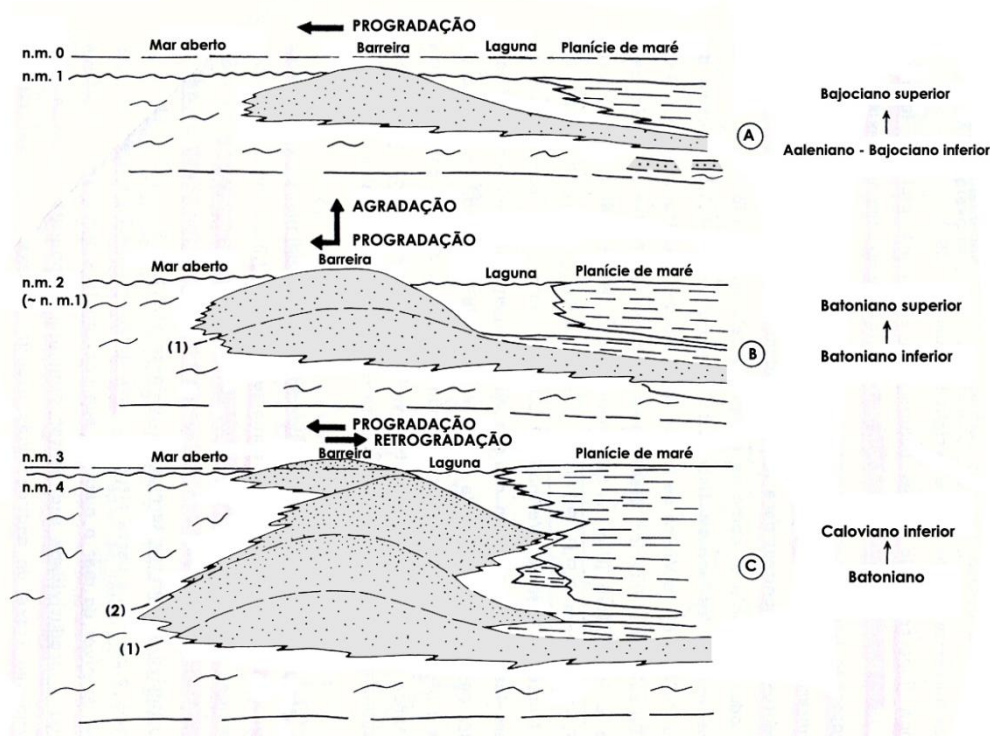
Este membro é essencialmente constituído por: oo/bio/intra/pelsparites “grainstone” a “rudstone”, raramente “pack-grainstones”, geralmente em camadas de espessura métrica, às vezes intercaladas por níveis descontínuos menos espessos, de biopelintramicrites “packstone”. São frequentes, neste Membro, níveis de granulometria grosseira muito ricos em bioclastos, que incluem equinóides, crinóides, copraliários, algas, moluscos e etc; em certos casos, estes níveis bioacumulados correspondem a biostromas, que podem atingir 3m de espessura (Cabeça Veada); noutros estes níveis bioclásticos grosseiros correspondem a tempestitos, de base erosiva e sequência sedimentar típica (Azerêdo, 1993,2006., *in*, Azerêdo 2007; Pimentel, 2005). Este Membro exhibe diversas estruturas sedimentares macroscópicas, nomeadamente: estratificação oblíqua e laminar e enconchada, laminação paralela e horizontal, superfícies de erosão e de reactivação intraformacionais, níveis superiormente delimitados por superfícies bioperfuradas ou irregularmente erodidas (“hardgrounds” e “firmgrounds”), níveis correspondentes a sequências tempestíficas e conjuntos mediamente espessos, com bioturbação intensa, organizados em ciclotemas subtidais (Azerêdo, 2007; Pimentel, 2005).

O **Membro de Moleanos** é datado do Caloviano, devido à ausência de *Meyendorffina bathonica* desde a base e à presença de amonites do Caloviano inferior, Biozonas Bullatus e Gracilis. Esta unidade tem uma espessura de cerca de 150m, podendo atingir 180-200m, e é constituída por calcários clásticos (“rudstones”, “grainstones” e “packstones” oolíticos/bioclásticos/oncolíticos/litoclásticos),



normalmente de cor branca ou creme, com intercalações de calcários muito fossilíferos (biostromas de coraliários e algas, lumachelas de branquiópodes) e de calcários pelmicríticos com bioturbação, “filamentos” e amonóides (Azerêdo, 2007).

A base deste Membro com cerca de 20-40m, corresponde a alternâncias de calcários oolíticos bem calibrados e calciclásticos mais grosseiros, por vezes, com base erosiva e granulotriagem nítida e com presença de bivalves, equinóides, gastrópodes, coraliários, braquiópodes, foraminíferos (menos diversificados do que nos depósitos batonianos), podendo ocorrer alguns níveis intercalares pelóidicos, com bioturbação e “hardgrounds”. Em posição estratigráfica superior, com cerca de 35-40m de espessura, sucedem-se a estes calcários da base, calcários compactos, pelbiomicríticos, com oncóides dispersos e com macrofauna por vezes abundante, que inclui particularmente braquiópodes (que formam horizontes lumachélicos), bivalves (por vezes associados às lumachelas), gastrópodes, amonóides, belemnóides, coraliários, catéteos, foraminíferos hialinos, “filamentos” e ostracodos (Azerêdo, 2007).

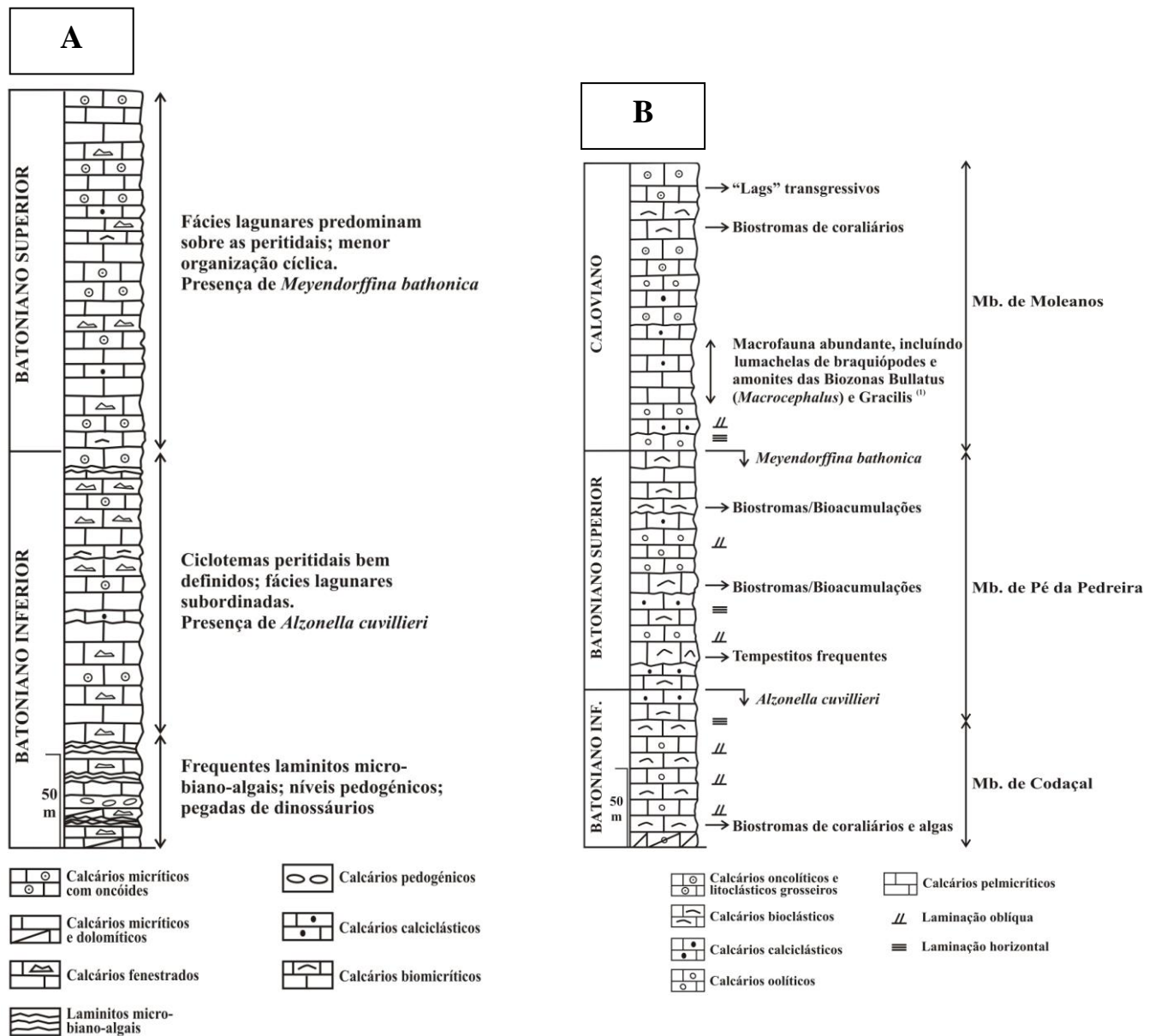


**Figura 2.8.** Representação esquemática da evolução do complexo de barreira, durante o Jurássico Médio. Legenda: A - a seguir às fácies de rampa externa do Aaleniano-Bajociano começaram-se a desenvolver pequenos baixios de sedimentação mais energética, no Bajociano superior, que pronunciaram o início da progradação rápida, para W, de fácies de rampa interna, com o nível do mar em descida relativa; B - no Batoniano inferior, continua a existir progradação da barreira, mas gradualmente a sedimentação passa a equilibrar a variação do nível do mar, e a componente de agradação vertical, passa a dominar; C - no Caloviano inferior há um episódio de rápida retrogradação, com redução drástica das fácies de ante-barreira e subida do nível do mar, seguida de uma nova fase progradante (segundo Azerêdo, 1993, 1998).

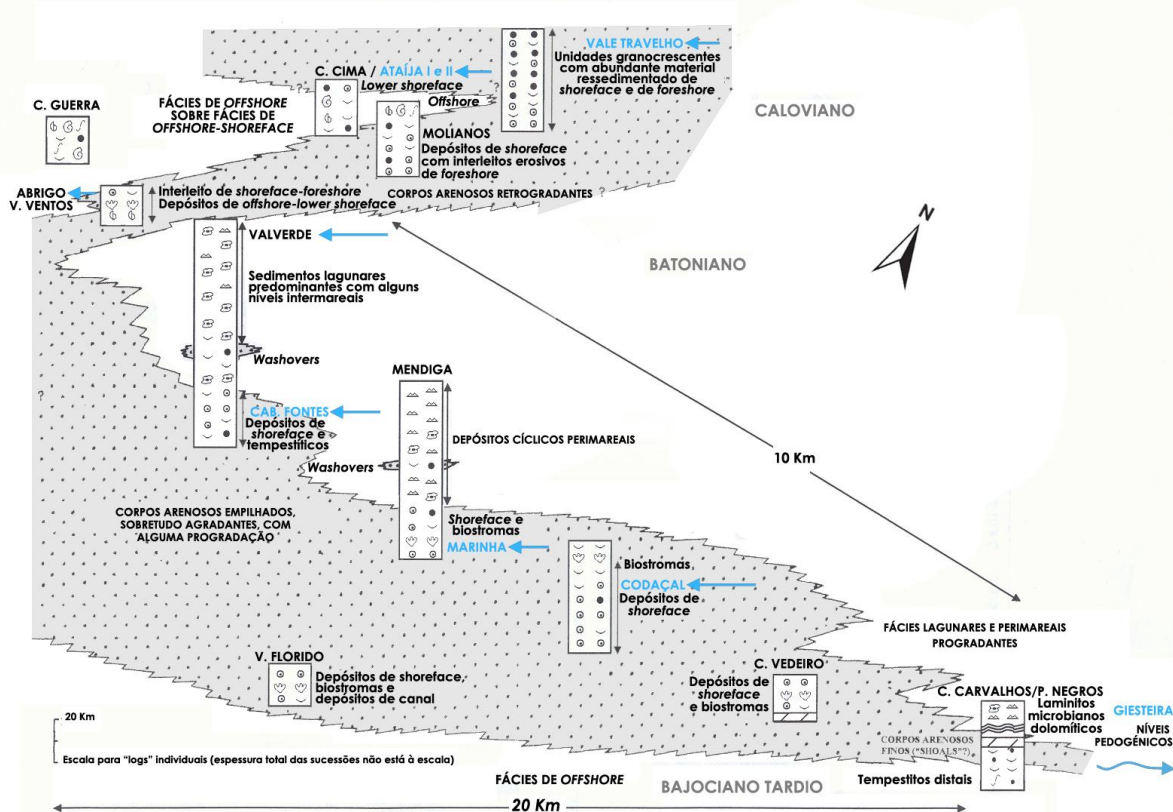
Para a parte superior do membro (> 100m) a sucessão volta a apresentar níveis maciços de calcários calciclásticos esbranquiçados e de granulometria variável (oóides, pelóides, bioclastos, oncóides e grandes litoclastos) mas, tendencialmente, em arranjo sequencial granulocrescente e estratocrescente (“grainstones” a “rudstones”). Os elementos figurados carbonatados característicos dos níveis mais grosseiros são

predominantemente: os litoclastos, que correspondem por vezes a fragmentos de “beach-rock” e de “hardgrounds”, e oncóides, que podem atingir dimensões centimétricas e conter coraliários no seu núcleo (Azerêdo, 2007). O conteúdo fossilífero inclui: coraliários “fasciculares” solitários, equinóides, crinóides, braquiópodes, catetídeos, gastrópodes, algas, foraminíferos e ostracodos (Azerêdo, 2007).

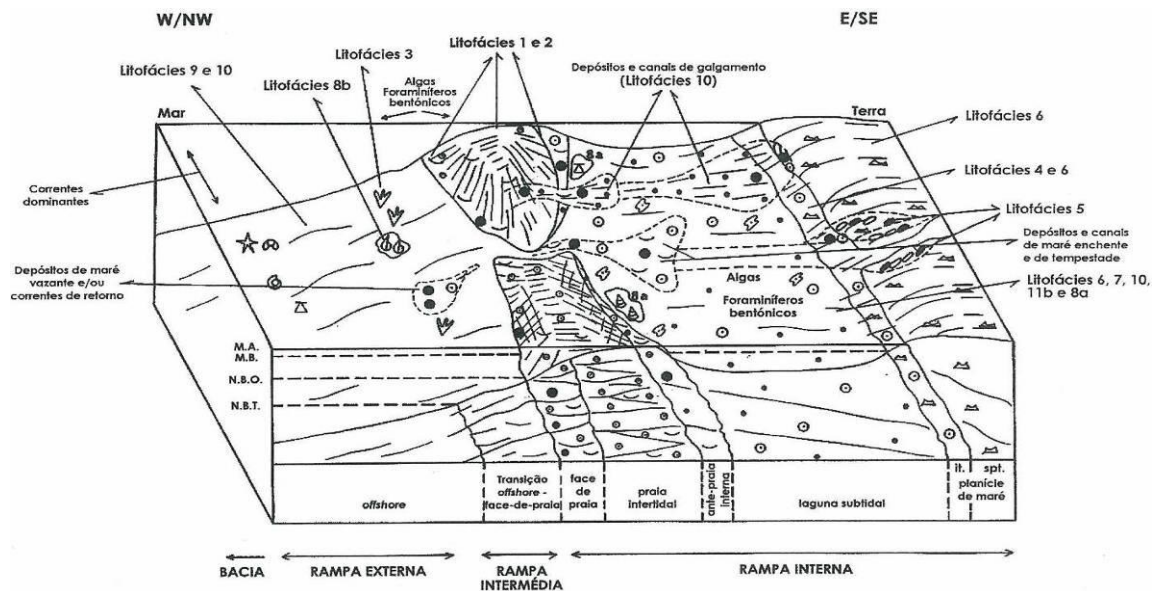
Na região ocidental do MCE, o membro de Moleanos contacta normalmente por falha com a Formação de Serra de Aire; na região oriental, o contacto é quase sempre normal (Azerêdo, 2007).



**Figura 2.9. A** – Coluna litostratigráfica sintética da Formação de Serra de Aire, assinalados os principais marcadores considerados. **Figura 2.9. B** – Coluna litostratigráfica sintética da Formação de Santo António-Candeieiros, assinalados os principais marcadores considerados, ambas as figuras foram retiradas de Azerêdo, (2007).



**Figura 2.10.** Diagrama regional, simplificado das séries do Maciço Calcário Estremenho (que tipificam as sucessões de rampa interna a intermédia em toda a Bacia Lusitânica, do Bajociano superior ao Caloviano, mostrando a dinâmica de padrões de fácies e a sua interpretação). Estas séries ilustram as principais fases evolutivas da rampa carbonatada que caracterizava a bacia, no Jurássico Médio (adaptado de Azerêdo, 1998).



**Figura 2.11.** Reconstituição dos paleoambientes sedimentares, propostos para as diversas litofácies e suas associações, no quadro de um sistema de rampa carbonatada (o declive está exagerado, de modo a evidenciar os diferentes subambientes de rampa interna segundo Azerêdo (1993).

**Tabela 2.1. Litofácies reconhecidas no Jurássico Médio do Maciço Calcário Estremenho, com respectiva interpretação paleoambiental (adapt. Azerêdo, 1993,1998).**

<b>Litofácies</b>	<b>Descrição dos Ambientes</b>	<b>Classificação</b>
<b>1</b> - Grainstones oolíticos e bio-intraclásticos com estratificação oblíqua.	Barreira (face de praia e praia s.s.); washovers; canais de maré (?).	<b>Rampa Interna</b>
<b>2</b> - Rudstones, Grainstones e Packstones bioclásticos/oncolíticos/litoclásticos.	Barreira (transição offshore/face de praia inf. até praia s.s.); washovers.	<b>Rampa Intermédia e Interna.</b>
<b>3</b> - Biolititos de Coraliários e Algas.	Barreira (transição offshore/face de praia inferior); transição barreira interna - laguna?.	<b>Rampa Intermédia e Interna</b>
<b>4</b> - Rudstones e Packstones oncolíticos com fenestrae e pseudofenestrae.	Laguna – planície de maré; canais de maré.	<b>Rampa Interna</b>
<b>5</b> - Microconglomerados com clastos micríticos e clastos negros.	Planície de maré (intertidal superior a supratidal).	<b>Rampa Interna</b>
<b>6</b> - Mudstones e Wackestones com fenestrae e laminações.	Laguna – planície de maré.	<b>Rampa Interna</b>
<b>7</b> - Floatstones, Wackestones e Mudstones com nódulos algais/oncóides e ferruginização.	Laguna e canais de maré (?).	<b>Rampa Interna</b>
<b>8</b> - Coraliários lumachélicos: <b>8a</b> - “Lumachelas” de Gastrópodes/ Lamelibrânquios; <b>8b</b> - “Lumachelas” de Braquiópodes.	<b>8a</b> - Laguna; <b>8b</b> - Barreira (transição offshore/face-de-praia inferior).	<b>Rampa Interna</b> <b>Rampa Intermédia a Interna</b>
<b>9</b> - Mudstones, Wackestones e Packstones bioclásticos: <b>9a</b> - Calcários compactos; <b>9b</b> - Calcários, calcários margo-argilosos e margas.	Marinho externo; transição offshore-barreira	<b>Bacia/Rampa Externa a Intermédia</b>
<b>10</b> - Packstones indeferenciados	Transição offshore-barreira; laguna; washovers	<b>Rampa Externa a Intermédia</b>
<b>11</b> - Dolomitos / Calcários dolomíticos: <b>11a</b> - Dolosparites;  <b>11b</b> - Dolomicrites e dolomicrites laminares.	<b>11a</b> - Baixios (?), Barreira (?);  <b>11b</b> - Laguna e planície de maré ( intertidal superior a supratidal)	<b>Rampa Intermédia a Interna</b> <b>Rampa Interna</b>



## 2.4. LOCAIS DE ESTUDO

A área abrangida por este estudo corresponde à parte sul do MCE, situado no sector central da BL (Fig.2.12.), onde se localizam grande parte dos afloramentos jurássicos, dos quais foram seleccionadas amostras para o presente trabalho.

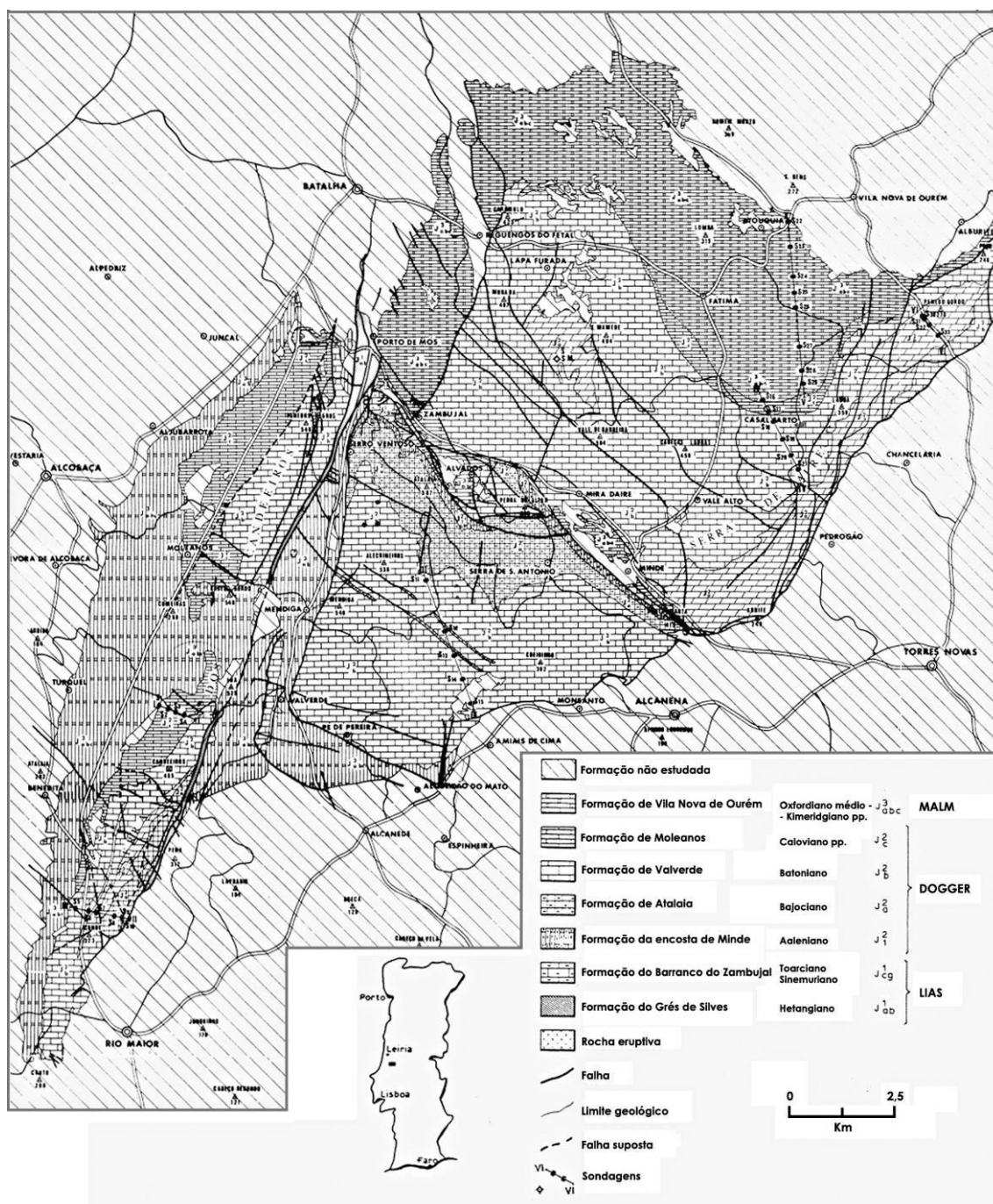


Figura 2.12. Carta geológica e litológica do Maciço Calcário Estremenho (retirada de Manuppella *et al.*, 1985).



**Figura 2.13.** Enquadramento geográfico das amostras em estudo. **2.13.A.**–sector sul da área em estudo; **2.13.B.** – sector central e nordeste. O amarelo, estão representados os afloramentos já anteriormente estudados por Azerêdo (1993). A azul, estão marcados os três novos afloramentos seleccionados (in GoogleEarth, 2010).

O MCE corresponde a um conjunto de relevos essencialmente calcários situados no centro-oeste de Portugal, que apresenta uma forma em losango, alongada na direcção NE-SW, sendo as zonas elevadas constituídas essencialmente por formações do Jurássico Médio (Azerêdo, 1993); é abrangido por quatro Folhas da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000, que são as de: Vila Nova de Ourém (27-A), Torres Novas (27-C), Alcobaça (26-B) e Caldas da Rainha (26-D).

O MCE é constituído por três subunidades elevadas, nomeadamente: a Serra dos Candeeiros; o Planalto de Santo António; a Serra de Aire e Planalto de São Mamede, separadas por dois corredores deprimidos, correspondentes aos poljes de Alvados, Minde e da Mendiga. Os locais estudados no presente trabalho estão localizados a S/SW do alinhamento tectónico de Porto de Mós-Alvados-Minde.

As principais unidades morfo-estruturais no MCE são, segundo Azerêdo, 1993:

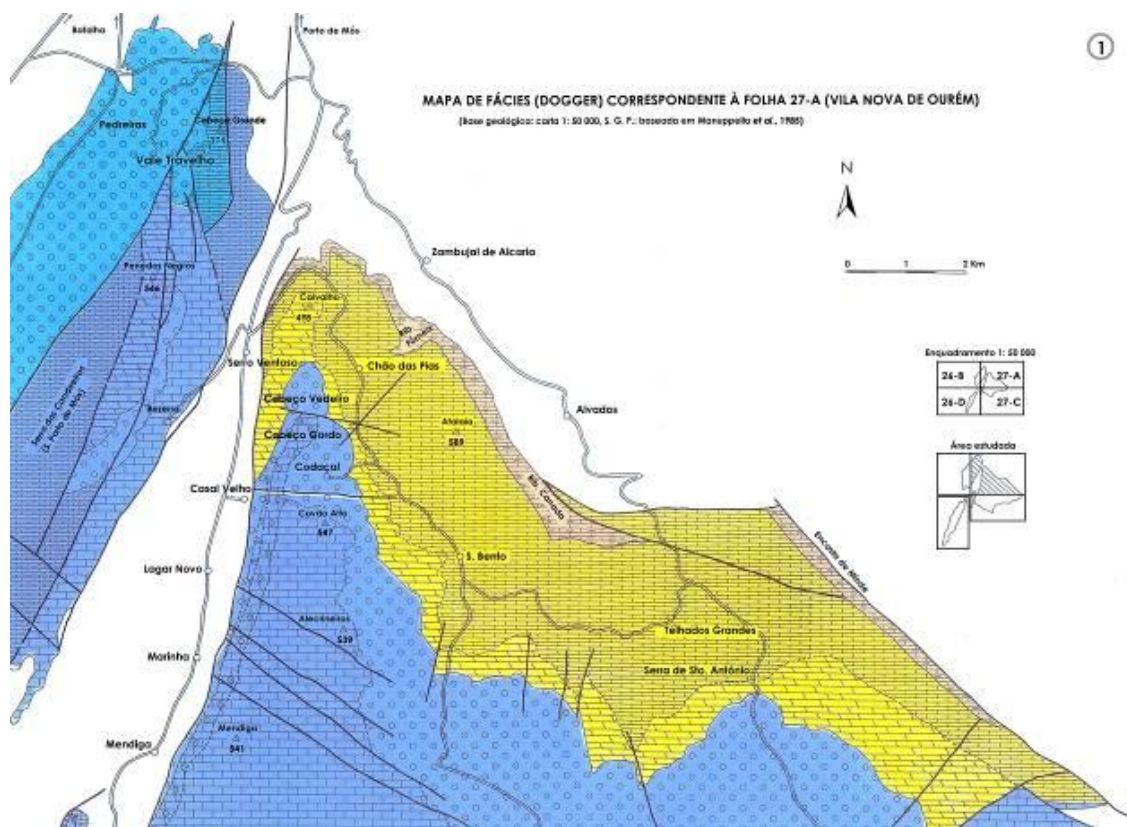
- A ocidente: relevos antifomas de orientação NE-SW da Serra dos Candeeiros e da Serra de Porto de Mós, bordejados a W pela planície de Benedita-Moleanos-Aljubarrota e a E pelo vale tifónico Rio Maior-Porto de Mós-Batalha;
- Centro Sul: planaltos das Serras de Santo António, delimitadas a NE por cortejo de acidentes tectónicos de orientação NW-SE, com a depressão de Alvados-Minde incluída, e a W pelo graben de Serro Ventoso-Mendiga-Valverde;
- Centro Norte: Serra de Aire (bordo sudeste) e o planalto de Fátima-São Mamede, ladeado a NE pela Bacia de Ourém, que separa o MCE do Maciço de Sicó-Alvaiázere. Os afloramentos nos quais foram recolhidas as amostras para este estudo, correspondem às unidades morfo-estruturais ocidente e centro sul.

A área em estudo foi subdividida em três sectores:

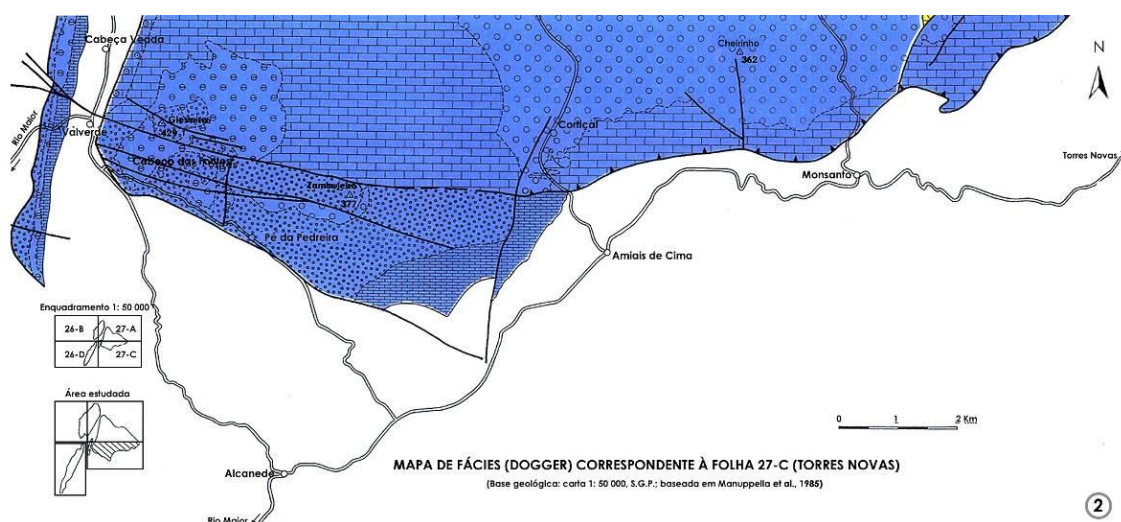
- ao sector sul correspondem os seguintes afloramentos: Moinhos do Alto da Serra, Estação do Parque Eólico, Conde, Chã, Cabeça- Gorda e Candeeiros (**Fig.2.13.A.**);
- ao sector central correspondem os seguintes afloramentos: Portela das Cruzes, Abrigo, Salgueira e Vale ventos-0 (**Fig.2.13.B.**).



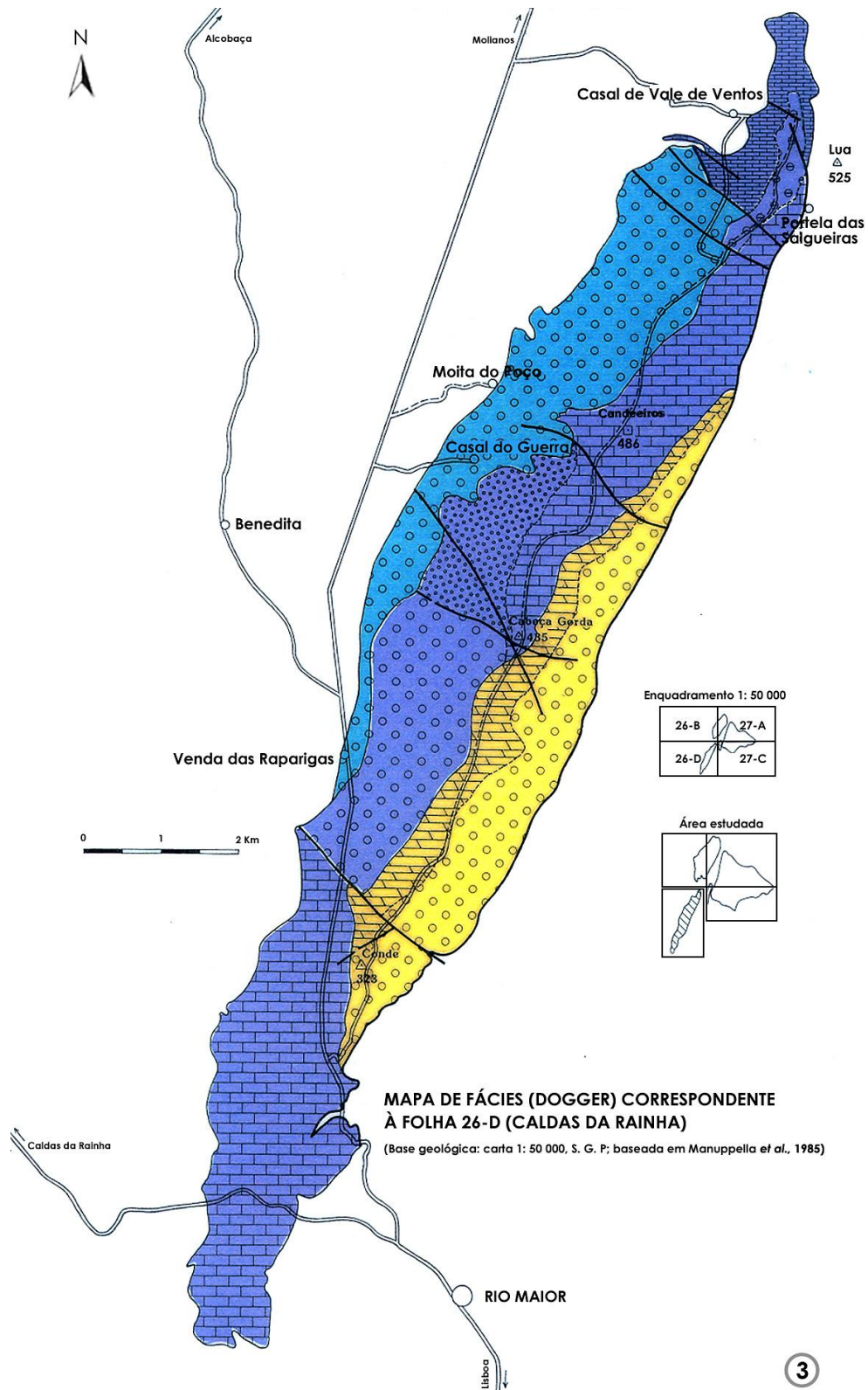
- ao sector nordeste correspondem os seguintes afloramentos: Mendiga, Marinha da Mendiga, Vale Florido e as sondagens S-13,S-14, S14, S36 (Codaçal) e S-87 (Fig.2.13.B.).



**Figura 2.14.** Mapa de fácies (Dogger) correspondente a parte da folha 27-A (Vila de Ourém), a SW de Alvados-Minde, seg. Azerêdo (1993) *in* Pimentel (2005)). Base geológica: carta 1:50 000, S.G.P.; baseada em Manuppella *et al.* , 1985).



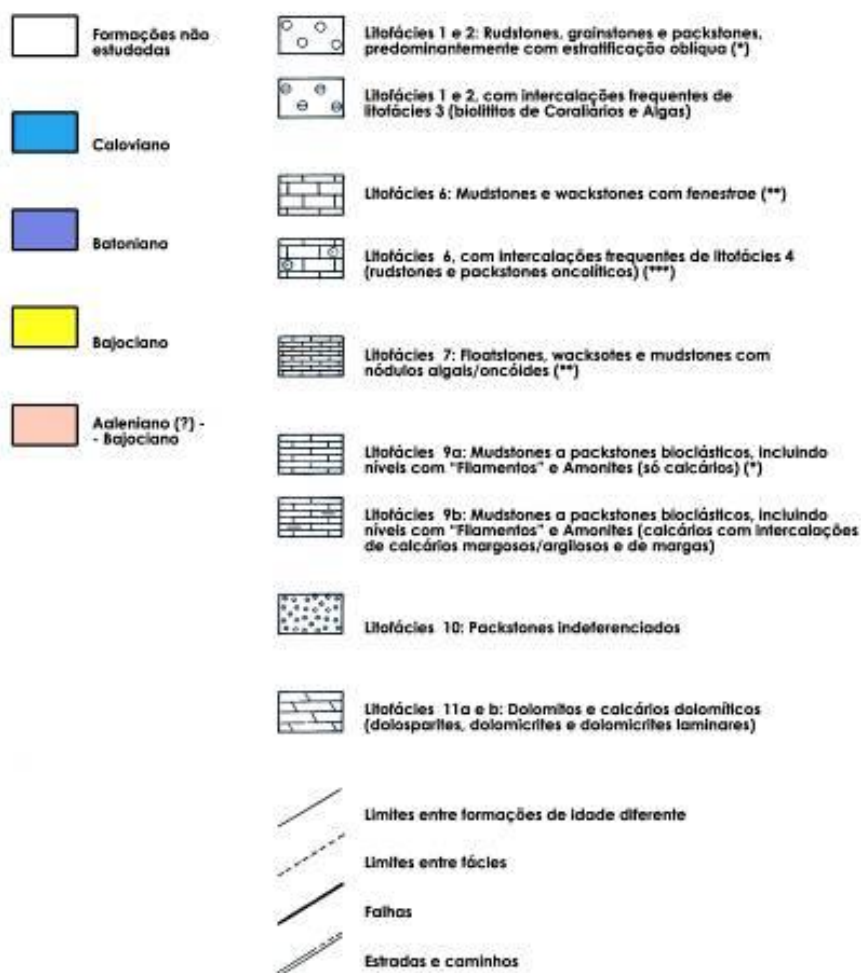
**Figura 2.15.** Mapa de fácies (Dogger) correspondente à folha 27-C (Torres Novas), a SW de Alvados-Minde, seg. Azerêdo (1993) *in* Pimentel (2005)). Base geológica: carta 1:50 000, S.G.P.; baseada em Manuppella *et al.* , 1985).



**Figura 2.16.** Mapa de fácies (Dogger) correspondente à folha 26-D (Caldas da Rainha) a SW de Alvados-Minde, seg. Azerêdo (1993) *in* Pimentel (2005)). Base geológica: carta 1:50 000, S.G.P.; baseada em Manuppella *et al.*, 1985).



## MAPA DE FÁCIES SIMBOLOGIA



### OBSERVAÇÕES:

(\*) Ocorrência pouco frequente de litofácies 8b ("Lumachelas" de Braquiópodes)

(\*\*) Ocorrência relativamente frequente de litofácies 8a ("Lumachelas" de Gastrópodes/Lamelibrânquios)

(\*\*\*) Ocorrência pontual de litofácies 5 (microconglomeradas com clastos micríticos e clastos negros)

**Figura 2.17.** Simbologia dos mapas de fácies apresentados anteriormente nas figuras 2.14., 2.15., 2.16. (a SW de Alvados-Minde, seg. Azerêdo (1993) in Pimentel (2005)).

A localização geográfica exacta dos diversos afloramentos e sondagens de onde provieram as amostras estudadas está indicada na figura 2.13. As figuras 2.14., 2.15. e 2.16. correspondem aos mapas de fácies e idades de Azerêdo (1993) para a região. A figura 2.17 representa a simbologia usada nos mapas de fácies apresentados nas figuras anteriores.



**CAPÍTULO 3: METODOLOGIA DE ESTUDO:**  
**MÉTODOS, TÉCNICAS, CLASSIFICAÇÕES E**  
**CRITÉRIOS**



Neste trabalho optou-se por uma metodologia predominantemente experimental, em que se aplicaram diferentes técnicas ao leque de rochas seleccionadas (bem reconhecidas) da colecção de amostras da Tese da Professora Ana Azerêdo e às amostras de rocha posteriormente colhidas nas saídas de campo realizadas, sendo a pesquisa e a realização de novas colheitas uma componente secundária, complementar ao estudo a realizar.

### 3.1.METODOLOGIA DE ESTUDO

O trabalho experimental e o estudo analítico repartiram-se pelas seguintes fases:

- Selecção de amostras provenientes da colecção de amostras da Tese de Doutoramento da Professora Ana Azerêdo do GeoFCUL - seleccionaram-se 98 amostras.

- Realização de reconhecimentos sumários de campo, com recolha de amostragem complementar de 11 amostras.

- Elaboração de critérios qualificativos adaptados ao tipo específico de estudo em amostra de mão, que possibilitem a caracterização e a análise de forma concisa de todos os aspectos que têm significado em termos de porosidade e de permeabilidade de cada um dos litótipos em análise a esta escala.

- Elaboração/criação de escalas de cores para a identificação a mesoscala dos calcários e dolomitos do Maciço Calcário Estremenho.

- Estudo a mesoscala (em amostra de mão) das amostras seleccionadas, com particular ênfase para a identificação das características que em especial têm significado em termos de *paleoporosidade* e de *paleopermeabilidade*. Este estudo visou principalmente a identificação e caracterização dos seguintes aspectos: cor, composição, textura, evidências de porosidade, fracturação, estruturas sedimentares e processos diagenéticos, com posterior selecção das 37 amostras com maior significado potencial em termos de paleoporosidade e de paleopermeabilidade, com vista à sua preparação e tratamento laboratorial específico;

- Tratamento laboratorial das amostras seleccionadas para o estudo de pormenor. O procedimento seguido foi o seguinte:

- Corte de 4 taliscas de cada amostra para a realização nas secções seleccionadas para análise.

- Impregnação de 37 taliscas com “Azul Ceres” e posterior realização das respectivas lâminas delgadas que apoiaram o estudo microscópico.

- Realização de 33 lâminas não cobertas por lamela para posterior aplicação da técnica de coloração selectiva e obtenção de lâminas coradas para a observação petrográfica.

- Aplicação do método da porosidade relativa estimada por saturação em água a 36 amostras.

- Estudo a microescala, mediante análise microscópica das lâminas delgadas obtidas pelas diferentes técnicas e métodos aplicados, focalizada no estudo das características petrográficas, em especial das que têm significado em termos de porosidade e de permeabilidade.

### 3.2. TRABALHO DE CAMPO

Dos reconhecimentos de campo realizados, resultou a recolha de amostragem complementar; mais concretamente de 11 amostras, referentes a três novos locais na serra dos Candeeiros, na zona Sul do MCE, mais precisamente nos afloramentos Chã, Estação do Parque Eólico e Moinhos do Alto da Serra, onde o conhecimento prévio indicava ser necessário a realização de um estudo mais detalhado para a visada comparação multiscala.

### 3.3. ESTUDO EM AMOSTRA DE MÃO

Os estudos realizados em amostra de mão abrangeram a totalidade das amostras (109) e seguiram os critérios, escalas e classificações seguidamente expostas ao longo deste item.

#### 3.3.1. CRITÉRIOS QUALIFICATIVOS PARA A CLASSIFICAÇÃO DO ASPECTO DA ROCHA EM SUPERFÍCIE FRESCA

Para a realização do estudo a esta escala, foram definidos alguns critérios qualitativos, que permitem caracterizar de modo conciso as diversas amostras em estudo e uniformizar conceitos ao longo das várias análises/descrições efectuadas ao longo do trabalho; assim, é possível realizar uma análise comparativa e posterior interpretação e correlação dos vários resultados obtidos.

Estes critérios têm como principal finalidade criar uma maior articulação entre as observações de campo e as descrições laboratoriais dos diversos litótipos, criando-se assim uma maior simbiose entre as análises realizadas a meso e a microescala e podendo contribuir, igualmente, para melhorar e facilitar a comunicação prática nestas matérias entre geólogos e outros profissionais.

**Tabela 3.1. Critérios qualificativos adoptados para definir o aspecto da rocha em superfície fresca.**

Designação	Símbolos	Avaliação no terreno/ em amostra de mão
Muito resistente	R1	Rocha muito resistente, sem quaisquer evidências de alteração e sem rugosidade ao tacto. Para partir é necessário mais de um golpe de martelo.
Resistente	R2	Rocha resistente que normalmente parte com um golpe forte do martelo, baixa rugosidade ao tacto e com formação incipiente de pó na superfície fresca. Pode apresentar ou não evidências de alteração nas imediações das descontinuidades presentes.
Moderadamente resistente	R3	Rocha fácil de partir com o martelo, com rugosidade ao tacto e com formação evidente de pó de pedra na superfície fresca. Pode apresentar ou não evidências de alteração.
Baixa resistência	R4	Rochas desagregam-se facilmente com pequenos golpes do martelo.
Muito baixa resistência	R5	Pode ser partida com dificuldade com as mãos.

**Tabela 3.2. Critérios qualificativos adoptados para definir a escala de grandeza dos veios presentes nas rochas em análise, baseada na sua espessura.**

Designação	Símbolos	Avaliação no terreno /em amostra de mão
Veios muito grosseiros	VMG	>5mm
Veios grosseiros	VG	2-5mm

Veios médios	VM	1-2mm
Veios finos	VF	0,5-1mm
Micro -veios	MV	<0,5mm

**Tabela 3.3. Classificação dos veios da rocha, baseada na sua constituição.**

Designação	Símbolos	Avaliação no terreno/ em amostra de mão
Veios de calcite incolor	VPCC	Veios preenchidos por calcite “tipo cristal”.
Veios de calcite acinzentada	VPCA	Veios preenchidos por calcite acinzentada.
Veios com evidências claras da ocorrência de ferruginização e alteração	VPCF	Veios com evidências claras da ocorrência de ferruginização e alteração, levando-os a apresentar cores amareladas a alaranjadas – avermelhadas.
Veios avermelhados e/ou com películas vermelhas	VPCP	Veios normalmente com as características apresentadas VPCF + películas vermelhas nos bordos do veio. Estes veios apresentam uma clara gradação vertical da alteração da cor ao longo da sua amplitude, que passa de um amarelo-alaranjado (em cerca de 85% da sua espessura) a um vermelho intenso em cerca de 15% da sua espessura, na sua parte mais periférica (formando uma fina película).
Veios com evidências de dissolução	VED	Veios com evidências de dissolução, podendo estar parcialmente ou totalmente dissolvidos.

Na descrição dos veios, sempre que possível, incluir-se-á a sua irregularidade, continuidade, fracturação e preenchimento. Nos casos em que ocorra mais do que uma geração de veios, tentar-se-á compreender a sua cronologia e correlacioná-la com a evolução diagenética ocorrida em cada litótipo.

**Tabela 3.4. Critérios qualificativos adoptados para definir a escala de das fracturas, baseada na sua espessura.**

Designação	Símbolos	Avaliação no terreno/em amostra de mão
Fracturas muito grandes	FI	>5mm
Grandes fracturas	FII	2-5mm
Médias fracturas	FIII	1-2mm
Pequenas fracturas	FIV	0,5-1mm
Microfracturas	FV	<0,5mm

Na descrição das fracturas, sempre que possível, tentar-se-á abordar a sua irregularidade, rugosidade e continuidade. Nas situações em que ocorra mais do que uma geração de fracturas tentar-se-á correlacionar essas diferentes gerações com a evolução diagenética observada no litótipo em análise.

Nos casos em que se justifique, abordar-se-á o grau de preenchimento das fracturas e tipo de material de preenchimento.

**Tabela 3.5. Critérios qualificativos adoptados para definir a escala relativa de partículas alteradas e/ou ferruginizadas em cada amostra, baseada na percentagem de partículas ferruginizadas.**

Designação	Símbolos	Aspectos associados e suas percentagens padrão
Elevada	EFP	> 70% de partículas ferruginizadas e/ou alteradas
Frequente	FFP	45 - 70% de partículas ferruginizadas e/ou alteradas
Moderada	MFP	25 - 45% de partículas ferruginizadas e/ou alteradas
Baixa	BFP	10 - 25% de partículas ferruginizadas e/ou alteradas
Incipiente	IFP	< 10% de partículas ferruginizadas e/ou alteradas

**Tabela 3.6. Classificação granulométrica utilizada para a descrição em amostra de mão.**

Designação das partículas	Símbolos	Avaliação em amostra de mão
Grosseira	GG	Partículas com dimensão > 2mm.
Média	GM	Partículas entre com dimensão entre 0,5mm-2mm.
Fina	GF	Partículas com dimensão <0,5mm.

### 3.3.2. ESCALAS DE CORES PADRÃO DEFINIDAS PARA OS CALCÁRIOS E DOLOMITOS DO MACIÇO CALCÁRIO ESTREMENHO ESTUDADOS

Estas escalas têm com principal objectivo uniformizar a classificação da “cor” atribuída a cada amostra ao longo das várias descrições efectuadas no trabalho, permitindo ainda em certos casos correlacionar a cor da amostra com a sua natureza e aspectos diagenéticos actuantes.

Uma boa descrição/interpretação e caracterização das variações verticais e laterais da cor entre as várias camadas de um afloramento e/ou entre vários afloramentos, pode auxiliar na compreensão da actuação diferencial ou não dos fenómenos de alteração de outros processos diagenéticos actuantes a mesoscala e, assim, dar uma noção mais precisa da origem dessa cor.

A utilização desta escala, acompanhada por uma boa descrição à macroskala/mesoskala, permite reduzir a margem de erro na identificação de cada litótipo nas campanhas de campo. Não se utilizaram as cores de Munsell®, devido à falta de correspondência entre as cores das amostras e as cores presentes na classificação de Munsell®; Soil color charts (1975 Edition).

**Tabela 3.7. Escala qualificativa para a classificação dos brancos do Maciço Calcário Estremenho em amostra seca.**

Cor Padrão	Descrição	Amostra Padrão
Branco puro	Branco tipo cal e/ou flocos de neve.	S87 - 11
Branco levemente creme a amarelado	Branco levemente creme a amarelado, podendo apresentar um amarelado de fundo bem evidente.	S87 - 4

**Tabela 3.8. Escala qualificativa para a classificação dos cremes do Maciço Calcário Estremenho em amostra seca.**

Cor padrão	Descrição	Amostra Padrão
Creme claro	Creme claro, similar à cor de baunilha.	V.F.1
Creme esbranquiçado	Creme claro esbranquiçado, podendo apresentar manchas e/ou zonas brancas associadas.	SAL.E
Creme	Creme acinzentado, podendo apresentar leves tons amarelados e/ou alaranjados claros associados.	V.Ventos-0
Creme amarelado claro levemente acinzentado e/ou de esbranquiçado de fundo	Creme claro levemente amarelado, similar ao creme claro de um café expresso cremoso.	SAL.1
Creme acastanhado claro a creme acastanhado escuro	Associados leves tons de cinzento e/ou alaranjados de fundo.	SAL.5



**Tabela 3.9. Escala qualificativa para a classificação das cores padrão para os Dolomitos do Maciço Calcário Estremenho em amostra seca.**

Cor padrão	Descrição	Amostra Padrão
Cinzeno claro levemente acastanhado	Típico de alteração diagenética (creme cristal friável).	Ch2
Cinzeno acastanhado claro a creme levemente amarelado	Aspecto açucarado	Ch1
Creme rosado/alaranjado claro	Similar ao rosa de abóbora	S13-14
Rosa/Paleo-rosa	Rosa a um vermelho de tijolo burro mal cozido.	S13-24
Paleo – vermelho	Similar ao vermelho <i>terra rossa</i> e/ou tipo tijolo burro bem cozido	ChExtra

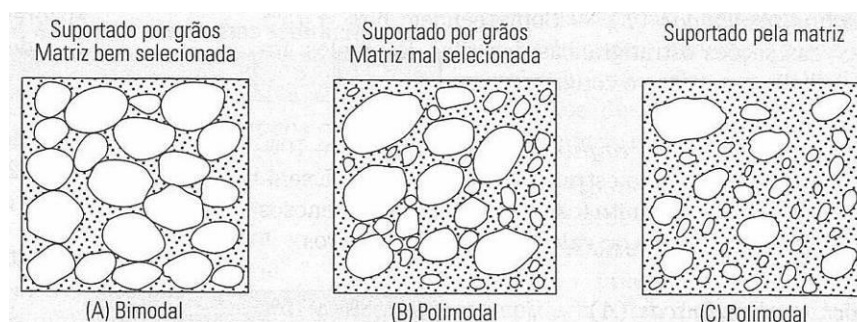
### 3.3.3. CLASSIFICAÇÕES UTILIZADAS EM AMOSTRA DE MÃO

A terminologia seguidamente apresentada justifica-se pelo facto de todas as descrições realizadas macroscale/mesoscale abordarem aspectos como: granulometria, grau de selecção, forma, arredondamento e arranjo espacial das partículas.

Estes factores são indispensáveis para qualquer geólogo começar a conceber e a desenvolver uma noção sobre a génese, desenvolvimento e distribuição dos poros dentro de uma rocha, ao longo das várias fases da sua história geológica. O entendimento/compreensão da génese e da distribuição dos poros numa rocha, constitui uma ferramenta de extrema importância para a prospecção de fluidos e/ou reconhecimento de barreiras de permeabilidade, que podem controlar a precipitação e acumulação de determinados tipos de minérios.

#### 3.3.3.1. Classificação da distribuição granulométrica das partículas

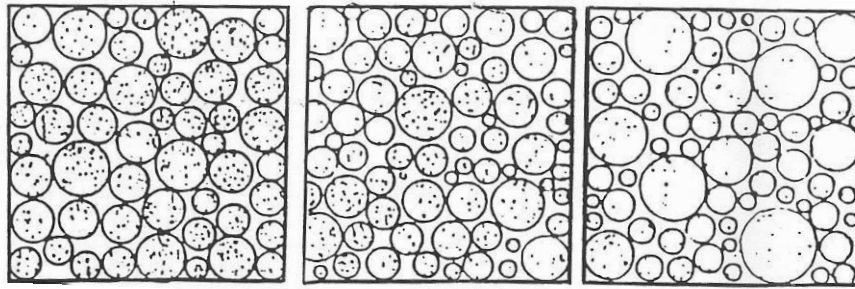
A distribuição granulométrica das partículas sedimentares em cada amostra foi classificada de acordo com os seguintes padrões: unimodal, bimodal e polimodal (Suguio, 2003). Observar a figura 3.1.



**Figura 3.1.** Alguns exemplos de tipos de distribuição granulométrica de partículas sedimentares, segundo Suguio (2003).

#### 3.3.3.2. Classificação da calibragem das partículas

A calibragem das partículas sedimentares em cada amostra foi classificada de acordo com os seguintes tipos-padrão: boa, moderada e má. Observar a figura 3.2.



**Figura 3.2.** Exemplos padrão para a classificação da calibragem, em que da esquerda para a direita temos: boa calibragem, moderada calibragem e má calibragem; figura retirada dos apontamentos da Cadeira de Sedimentologia (2004/2005) do Curso de Geologia da GeoFCUL.

### 3.4. MÉTODOS E TÉCNICAS LABORATORIAIS

Neste item apresentam-se em estilo de protocolo laboratorial todas as técnicas e métodos aplicados às diferentes amostras seleccionadas para este estudo. Todos os procedimentos descritos nos protocolos laboratoriais, embora baseados na literatura da especialidade, foram testados e ajustados de forma prática, através da aplicação dos mesmos em diversas etapas, nem sempre exequíveis à primeira tentativa, tendo sofrido aperfeiçoamentos constantes até a sua formulação final, seguidamente apresentada. A realização dos mesmos teve como principal objectivo melhorar e aperfeiçoar a aplicação de cada uma das técnicas/métodos utilizados e facilitar a sua futura replicação em materiais semelhantes. Por esta razão, considerou-se útil incluir aqui a descrição dos vários procedimentos, com pormenor suficiente para que um leitor potencialmente interessado encontrasse resumido o conjunto dos passos práticos necessários à efectivação destas abordagens específicas.

O tratamento laboratorial incluiu: a execução de cinco taliscas por cada amostra, com vista à realização de: lâminas delgadas normais, lâminas delgadas não cobertas por lamela, a impregnação com “Azul Ceres” de uma talisca por cada uma das amostras seleccionadas para posterior obtenção de lâminas delgadas, aplicação à quarta talisca de cada amostra seleccionada do método da porosidade relativa estimada por saturação em água.

Todas as técnicas, métodos e protocolos laboratoriais foram realizados sob supervisão da Professora Doutora Ana Azerêdo. Os métodos analisados nos itens 3.4.2., 3.4.3., 3.4.4., 3.4.5., 3.4.6., deste item, foram realizados no laboratório de tratamento de Rochas do GeoFCUL, sob supervisão da referida Professora e do Técnico de laboratório, Senhor Alberto Verde; no método 3.4.5, existiu ainda numa fase inicial, a colaboração da aluna Rita Caldas (estudante do GeoFCUL). O método analisado no ponto 3.4.7. foi realizado no laboratório de Mecânica dos Solos do GeoFCUL, segundo orientação do Professor Fernando Marques e da Professora Ana Azerêdo, com a participação da Técnica de Laboratório Sandra Pereira.

### 3.4.1. SELECÇÃO DAS AMOSTRAS DOS VÁRIOS LITÓTIPOS A ANALISAR

Na selecção e recolha de cada amostra tiveram-se em consideração os seguintes aspectos:

- As amostras serem representativas do caso em estudo.
- Referenciar todas as amostras seleccionadas com a respectiva origem e orientação.
- As amostras recolhidas/seleccionadas não terem indícios de meteorização e/ou alteração.

### 3.4.2. TRATAMENTO LABORATORIAL DAS RESPECTIVAS AMOSTRAS SELECIONADAS

Antes da realização de qualquer técnica/método neste trabalho, tiveram-se em consideração os seguintes aspectos:

- Verificar se existiam impurezas nas amostras.
- Selecção em cada amostra das zonas e secções para análise.
- Armazenamento das mesmas de forma a conservar a sua representação e evitar contaminações.

### 3.4.3. CORTE DAS TALISCAS

#### 3.4.3.1. Material necessário para realização do ensaio

<ul style="list-style-type: none"> <li>Etiquetas de identificação;</li> <li>1Fato impermeável;</li> <li>1Lapiseira de marcação de amostras;</li> <li>1Lavatório e/ou torneira com água corrente;</li> <li>1Máquina de corte de pedra;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1Pistola de ar;</li> <li>1Par galochas;</li> <li>Moldes padrão de comprimento/largura e espessura das amostras;</li> <li>Sacos de armazenamento.</li> </ul>
--	--

#### 3.4.3.2. Procedimento para a realização das taliscas

- Selecção em cada amostra das zonas para análise.
- Cortar a amostra de maneira a adquirirem-se 4 taliscas de dimensão (comprimento /largura/ espessura) que permita a realização das respectivas lâminas delgadas. As medidas padrão de uma talisca são aproximadamente as seguintes:  $\pm 3,2\text{cm}$  de comprimento,  $\pm 2,2\text{cm}$  de largura e  $2,0\text{cm}$  de espessura.
- Lavar e secar as taliscas.
- Identificar as respectivas taliscas e seus respectivos detritos.
- Armazenamento das respectivas amostras e detritos em local apropriado.

### 3.4.4. REALIZAÇÃO DE LÂMINAS DELGADAS NORMAIS

A realização das lâminas delgadas normais “standard” tem como principal objectivo a caracterização petrográfica, mineralógica e diagenética detalhada, em particular, em termos de porosidade e da conectividade da permeabilidade.

O termo “conjunto”, refere-se ao conjunto composto pela talisca e a lâmina de vidro adjacente. A lâmina é colada à talisca com auxílio de uma cola própria para o efeito.

### 3.4.4.1. Material necessário para realização do ensaio

Acetona;	Lamelas;
Amostras padrão de acomodação;	Máquina de desbaste;
Amostrador cilíndrico de desbaste;	Máquina de corte de conjuntos;
Bálsamo do Canadá;	Massa silicone;
Borracha;	Papel de limpeza de laboratório;
1-Canivete;	Peso;
Cilindro de suporte de acomodação e desbaste das taliscas;	Placa de aquecimento;
Cola para a realização de lâminas;	Prato diamante;
Disco de polimento;	Prato de esmeril;
Elástico;	Prensa de pressão;
1-Espátula de madeira;	1-Peclise;
Esponja;	1-Tambor com água normal;
Lâminas de vidro;	1-Tambor de esmeril.

### 3.4.4.2. Procedimento para a realização das lâminas delgadas

- Polir a face escolhida para análise de cada talisca, na máquina de desbaste com recurso ao disco diamante.
- Polir as taliscas na máquina de desbaste, com recurso ao prato de esmeril e ao amostrador cilíndrico de polimento de acerto de superfícies.
- Lavar e secar as taliscas.
- Colocar as taliscas em análise na placa de aquecimento, no mínimo 15 minutos.
- Referenciar as lâminas de vidro do lado fusco, com as correspondentes referências das taliscas em análise.
- Realização da cola de acordo com o procedimento descrito no item 3.4.4.8.2.
- Aplicar a cola sobre a superfície polida em análise de cada talisca, com o auxílio da vareta de mistura.
- Colocar a talisca com a cola sobre uma superfície plana com a respectiva superfície em análise voltada para cima e aderir o lado fusco da lâmina de vidro previamente referenciada.
- Colocar o “conjunto” na prensa de pressão entre 3 a 6 horas, a uma temperatura de pressão ( $\pm 200$ ) e colocar cola sobre a referência da lâmina em análise;
- Tirar o conjunto da prensa de pressão e proceder a limpeza da superfície inferior da lâmina, para tal, deve-se utilizar acetona e um canivete.

### 3.4.4.3. Procedimento para a realização do corte do “conjunto” de forma a obter uma espessura de rocha de $\pm 0,5$ mm

Colocar o “conjunto” obtido no final do item anterior no portador de amostras da máquina de corte, de forma a obter uma espessura de rocha de  $\pm 0,5$  mm sobre a lâmina de vidro; para tal, utiliza-se um dedo para fazer pressão sobre o “conjunto” de encontro à superfície de aderência do portador de amostras, devendo-se somente retirar esse auxílio quando se tem a certeza de que a aderência está consumada pela força do vácuo.

Na colocação dos “conjuntos” no portador de amostras, deve-se ter o cuidado de começar a colocar os respectivos “conjuntos” pela parte inferior esquerda do portador, e de seleccionar e colocar inicialmente os conjuntos que apresentem uma

maior distância entre o final da talisca e superfície final da lâmina de vidro aderente à talisca.

- Rodar o portador de amostras para a proximidade do disco de corte e fechar a tampa de protecção, e ao mesmo tempo, segurar com a outra mão o portador de amostras, de forma a este não estar em contacto com disco de corte.
- Ligar a água da máquina de corte e posteriormente o disco da máquina.
- Ajustar devagar e firmemente o portador de amostras ao disco de corte, retirar o dedo de auxílio só quando sentir o início do corte.
- No fim da realização do corte do conjunto, desliga-se a máquina de corte e roda-se o portador de amostras para a posição inicial e retira-se as respectivas lâminas do portador de amostras.
- Lavar as lâminas sob água sob pressão e proceder à sua limpeza com recurso ao papel de laboratório e verificar se as lâminas não estão danificadas.

#### **3.4.4.4. Procedimento para a realização do desbaste das lâminas de forma a obter a espessura final das lâminas delgadas**

- Colocar o prato de esmeril e o tambor de esmeril na máquina de desbaste.
- Limpar bem as lâminas obtidas no ponto anterior com papel de laboratório e acetona, em especial a sua base e colocá-las nas devidas posições no amostrador cilíndrico de desbaste.
- Colocar o amostrador cilíndrico de desbaste de lâminas sobre o prato esmeril da máquina de desbaste.
- Ligar a máquina de desbaste com uma velocidade inicial de  $\pm 10$  RPM, aumentando logo de seguida para uma velocidade de 80 RPM. O processo de desbaste tem uma duração de cerca de 20 minutos, dependendo da natureza litológica e das características da amostra.
- Desligar a máquina de desbaste e retirar o amostrador cilíndrico para a bancada com o ar ainda ligado, desligando-se posteriormente o ar da máquina de desbaste; retirar as lâminas do amostrador com o auxílio de água sob pressão e proceder à limpeza das mesmas.
- Medição da espessura das lâminas com a utilização do peclise de modo a verificar se apresentam a espessura pretendida, que se deve situar entre os 33-34 $\mu$ m (rocha + lâmina + lamela). Em geral uma lâmina delgada deve apresentar uma fina película de rocha de cerca de 30 $\mu$ m.

#### **3.4.4.5. Procedimento para a colocação das lamelas sobre as lâminas**

- Colocar as lâminas obtidas anteriormente sobre uma placa aquecida, com a superfície em análise voltada para cima, colocando-se de seguida uma gota de *bálsamo do Canadá* sobre a zona central da fina secção de rocha obtida, com o auxílio da uma seringa de vidro.
- Cobrir a fina secção de rocha com uma lamela de vidro, devendo esta ser colocada primeiramente sobre uma das extremidades da lâmina, com um ângulo de, aproximadamente, 45 graus.
- Verificar se o *bálsamo do Canadá* se vai espalhando homogeneamente pela totalidade da lamela e eliminar as bolhas de ar com o auxílio da espátula de madeira, empurrando-as das zonas centrais para o exterior.
- Centrar a lamela: para tal, com o dedo indicador da mão esquerda a segura-se a lâmina e com espátula de madeira na mão direita centra-se a lamela.

- Retirar os excessos de cola com acetona.
- Lavar todo o material utilizado com acetona.

### 3.4.4.6. Metodologia para a elaboração da cola necessária para a aderência das lâminas de vidro às taliscas

#### 3.4.4.6.1. Material necessário para realização do ensaio

Acetona;	Resina Epofix Resin (UN-no:3082);
Copo de vidro de mistura;	Seringas de medição de plástico;
Endurecedor Epofix Hardenar (UN-no:2259);	Suporte de madeira do copo de vidro;
Papel de limpeza;	Vareta de mistura.

#### 3.4.4.6.2. Procedimento para a realização da cola

- Colocar 5ml de resina Epofix Resin (UN-no:3082) num copo de vidro de mistura, com o auxílio de uma seringa.
- Adicionar 1ml de endurecedor Epofix Hardenar (UN-no:2259).
- Misturar a solução obtida durante  $\pm 2$  minutos com o auxílio da vareta de vidro.
- Limpar todo o material utilizado com acetona.

### 3.4.5. MÉTODO DO AZUL CERES

A realização deste método tem como principal objectivo a impregnação de uma talisca de cada amostra seleccionada com “Azul Ceres”, para posterior realização de lâminas, que visam a subsequente caracterização e identificação dos vários tipos de porosidade e aferição da conectividade entre os poros, estimando-se, em percentagem, a porosidade relativa em cada lâmina.

Como objectivo secundário, as lâminas pré-impregnadas podem também ser usadas para a caracterização petrográfica, mineralógica e diagenética.

Para a realização deste método consultaram-se dois protocolos preexistentes: o primeiro proveniente da Universidade Federal do Rio Grande do Sul do Brasil e o segundo descrito em Tucker(1988): “*impregnation technique for the production of epoxy resin pore casts*” (técnica de impregnação para a produção de moldes de poros em resina).

O método seguidamente apresentado não segue rigorosamente nenhum dos dois protocolos anteriormente citados; trata-se de um método adaptado aos litótipos em estudo, melhorado durante as várias fases de aplicação do mesmo.

#### 3.4.5.1. Material necessário para realização do ensaio

Acetona;	1 Goblé de 600ml;
Álcool Etilico;	1 Goblé de 300ml;
Azul Ceres (Oracet blue 2R(C.I.61110)	1 Marcador de amostras;
1Balança digital;	Papel absorvente;
Bomba de vácuo;	Resina Epofix Resin (UN-no:3082);
Câmara de vácuo;	2 Seringas;
1Canivete;	1Tabuleiro com os recipientes de impregnação;
Etiquetas;	1 Tabuleiro de inox da bomba de vácuo;
1Folha branca;	1Vareta de vidro;
Endurecedor (Epofix Hardenar (UN-no:2259);	1 Placa de Aquecimento

Referência do “Azul Ceres” utilizado para a aplicação do método: Oracet blue 2R (C.I.61110) indicator for titration in non – aqueous solvents ; Reag.ph Eur(Merck).

### **3.4.5.2. Procedimento para a aplicação da solução de “Azul Ceres” em taliscas de rochas carbonatadas**

- Verificar se as superfícies das taliscas previamente realizadas estão devidamente planas e lisas; nos casos em que não se verifique tal premissa, estas devem ser primeiramente polidas no disco de diamante antes de iniciar o passo seguinte.
- Colocar as taliscas a secar 24h numa estufa a 60 graus.
- Retirar as taliscas da estufa e colocá-las a aquecer durante 30 minutos na placa de aquecimento, com a superfície da talisca em análise para cima.
- Pôr as referências correspondentes às taliscas em análise em cada um dos recipientes de impregnação.
- Colocar uma folha branca sobre o tabuleiro de inox da bomba de vácuo e distribuir uniformemente os recipientes de impregnação pela chapa.

### **3.4.5.3. Procedimento para a realização da solução de “Azul Ceres”**

- Verificar se a balança digital está calibrada.
- Tarar o goblé.
- Colocar 4g de Azul Ceres no goblé.
- Colocar 122,5ml de resina dentro do goblé com o auxílio de uma seringa.
- Mexer a mistura a solução obtida durante, aproximadamente, 1 minuto.
- Colocar a solução na placa de aquecimento a 60 graus e mexer em intervalos de 5 minutos, até que o azul fique totalmente diluído e se obtenha uma mistura homogênea; seguidamente retira-se o goblé da placa de aquecimento.
- Adicionar 17,5 ml de endurecedor e 60ml de álcool etílico a essa solução, devendo-se de seguida mexer a solução com a vareta de vidro durante cerca de um minuto, obtendo-se assim a solução de “Azul Ceres”.
- Colocar um pouco da solução obtida de “Azul Ceres” dentro de cada um dos recipientes de impregnação.
- Colocar as taliscas com a superfície de análise voltada para baixo, dentro dos correspondentes recipientes de impregnação.
- Cobrir as taliscas com a solução de azul.
- Cerca de 3 minutos depois, nas taliscas em que a solução de “Azul Ceres” desceu abaixo da sua superfície superior, volta-se a colocar mais solução de “Azul Ceres”. Este procedimento deve ser repetido 3 vezes e não deve demorar mais de 10 minutos.
- Colocar as etiquetas correspondentes a cada talisca.
- Colocar o tabuleiro com as respectivas taliscas na câmara de vácuo e ligar a bomba de vácuo no botão “on”.
- Deixar a câmara de vácuo ganhar pressão até uma posição em que o manómetro estabilize (normalmente, acontece perto 26 kPa) e aguardar cerca de um minuto nessa posição, de seguida desliga-se a bomba de vácuo, e aguarda-se que a pressão na câmara de vácuo baixe até perto dos 20 kPa, nessa altura, volta-se a ligar a bomba de vácuo, e deixa-se que o ponteiro do manómetro da pressão volte a subir e estabilizar mais uma vez (perto de  $\pm 26$  kPa), voltando-se a aguardar um minuto nessa posição e desliga-se a bomba vácuo novamente. Este processo deve ser repetido quatro

vezes durante 30 minutos. Aquando da realização da terceira vez, deve-se libertar a totalidade do ar existente na câmara de vácuo, antes de repetir o processo.

- Deixar as taliscas na câmara de vácuo durante um período de 3 a 6 horas.
- Retirar as taliscas da bomba de vácuo e colocá-las 24 horas numa estufa a 80 graus.
- Tirar as taliscas da estufa e colocá-las 24 horas a temperatura ambiente.
- Retirar as taliscas do interior dos recipientes de impregnação.
- Retirar a massa azul envolvente das taliscas com o auxílio de um canivete, devendo-se ter o cuidado de não riscar a superfície em estudo.
- Polir suavemente a superfície escolhida para a realização da lâmina delgada.
- Realizar as lâminas correspondentes às respectivas taliscas de acordo com o descrito no método de realização de lâminas delgadas.

### 3.4.6. MÉTODO DA COLORAÇÃO SELECTIVA

A realização deste método tem como principal objectivo a coloração selectiva de lâminas delgadas, não cobertas por lamela, com vista à diferenciação mineralógica expedita dos carbonatos em análise microscópica; como finalidade secundária, podem ser usadas para a caracterização petrográfica, mineralógica e diagenética.

Para a realização deste método seguiu-se o protocolo de Dickson apresentado em Tucker (1988), tendo sido feitas pequenas adaptações com o decorrer das várias fases de aplicação do método ao longo do trabalho; grande parte delas devidas, principalmente, à natureza dos litótipos e à fracturação apresentada pelos mesmos.

#### 3.4.6.1. Material necessário para realização do método

Água destilada;	1 Litro de ácido clorídrico (HCl) puro;
Alizarina vermelha-s	Luvas;
1 Balança digital de prato;	1 Marcador;
1 Balança analítica;	1 Mascara de protecção;
2 Balões volumétricos de 200ml;	Papel de limpeza de laboratório;
1 Balão volumétrico de 100ml;	1 Pipeta graduada de 20ml;
1 Balão volumétrico de 500ml graduado;	1 Pipeta graduada de 3ml;
1 Bata de laboratório;	1 Pinça;
2 Copos de precipitação de 20ml;	1 Pompete;
1 Copo de precipitação de 2000ml;	2 Provetas de 100ml;
1 Cronómetro;	Ferro-cianeto de potássio;
1 Espátula pequena;	3 Recipientes de coloração de lâminas;
1 Espátula grande;	1 Recipiente de secagem de lâminas;
1 Frasco de vidro $\pm$ 1000ml;	1 Secador;
1 Funil;	4 Tinas pequenas;
1 Garafa de esguicho com água destilada;	1 Vareta de vidro.
Lâminas não cobertas;	

#### 3.4.6.2. Realização do ácido clorídrico a 36%

- Colocar 36ml de ácido clorídrico puro numa proveta de 100ml e adicionar água destilada até se obter 100ml.
- Passar a solução obtida na proveta para um balão volumétrico de 100ml e identificar o respectivo balão.
- Colocar 500ml de água destilada num copo de precipitação de 2000ml.
- Adicionar a solução obtida anteriormente aos 500ml de água destilada no copo de precipitação de 2000ml e agitar toda a solução com uma vareta de vidro.



- Adicionar água destilada até se obter 1000ml e agitar toda a solução até ficar homogênea, obtendo-se assim o HCL a 36%.
- Colocar a solução HCL 36% obtida num frasco de vidro de  $\pm$  1 litro devidamente identificado.

### **3.4.6.3. Realização do ácido clorídrico a 1.5%**

- Identificar duas provetas de 100ml, uma com o número 1 e outra com o número 2.
- Colocar 1.5ml de ácido clorídrico puro na proveta 1 e adicionar água destilada até se obter 100ml de solução.
- Colocar 1.5ml de ácido clorídrico puro na proveta 2 e adicionar água destilada até se obter 100ml de solução.

### **3.4.6.4. Realização das soluções de alizarina vermelha-S e do ferro-cianeto de potássio**

- Pesar os copos de precipitação 20 ml na balança digital de prato e registrar os seus pesos.
- Verificar se a balança analítica está calibrada.
- Colocar o peso de um dos copos de precipitação 20ml na balança analítica e adicionar 0,2g de alizarina vermelha-S.
- Colocar o peso do segundo copo de precipitação de 20ml na balança analítica e adicionar 2g de ferro-cianeto de potássio.
- Colocar os 0,2g de alizarina vermelha-S num primeiro balão volumétrico de 200ml (com o auxílio de um funil) e adicionar os 100ml de ácido clorídrico a 1.5% contidos na proveta número 1. Agitar toda a solução até esta ficar totalmente homogênea, obtendo-se assim a solução final de *alizarina*.
- Colocar os 2g de ferro-cianeto de potássio num segundo balão volumétrico de 200ml e adicionar os 100ml de ácido clorídrico a 1.5% contidos na proveta número 2. Agitar toda a solução até ficar totalmente homogênea, obtendo-se assim a solução final de ferro-cianeto de potássio.
- Identificar os respectivos balões volumétricos de 200ml.

### **3.4.6.5. Coloração das lâminas não cobertas**

- Colocar num balão volumétrico de 500ml graduado as soluções finais de alizarina e de ferro-cianeto de potássio, numa proporção de 3 para 2, respectivamente, e agitar toda a solução até ficar totalmente homogênea. Neste estudo, utilizaram-se as seguintes proporções para a coloração das lâminas não cobertas: 90ml de alizarina e 60ml de ferro-cianeto de potássio para a obtenção da solução final pretendida.
- Colocar 3 recipientes individuais de plástico dispostos linearmente numa bancada de laboratório em que, primeiramente, deve ser colocado um recipiente A com ácido HCL a 36%, seguido de um recipiente B com a solução obtida anteriormente e um recipiente C com água destilada.
- Colocar a lâmina não coberta com o auxílio de uma pinça submersa durante  $\pm$  20 segundos dentro do recipiente A.
- No fim desses  $\pm$  20 segundos, passa-se automaticamente, a lâmina para o recipiente B e deve-se mantê-la submersa nessa solução durante  $\pm$  40 segundos.

- No fim desses  $\pm 40$  segundos, passa-se a lâmina rapidamente por água destilada;

- Seguidamente, a lâmina corada deve ser colocada num recipiente de secagem e seca com o auxílio de um secador. Deve-se ter o cuidado, aquando da secagem das lâminas coradas com o secador, deste não estar numa potência muito elevada e não se exercer o sentido de secagem sempre no mesmo sentido.

### 3.4.7. MÉTODO DA DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE RELATIVA DAS ROCHAS POR SATURAÇÃO EM ÁGUA

A aplicação deste método teve como objectivo a obtenção por saturação em água de um valor de porosidade relativa para cada amostra seleccionada para este estudo. O procedimento seguido baseou-se nas indicações dos Professores Silvério Prates e Fernando Marques (GeoFCUL).

#### 3.4.7.1. Material necessário para o ensaio

Água destilada;	1 Folha de papel;
1 Bomba de vácuo;	1 Pano;
1 Balança digital de prato;	1 Pano de secagem rápida;
1 Balança analítica de precisão com quatro casas decimais;	1 Pega;
1 Banca pequena;	1 Pinça;
2 Copos de precipitação grandes;	1 Rolo de fio de nylon;
1 Copo de precipitação pequeno;	1 Tesoura;
1 Excicador;	1 Tina de plástico;
1 Lapiseira;	1-Termómetro.

#### 3.4.7.2. Procedimento para a realização do ensaio

- Colocam-se as taliscas de cada amostra a secar na estufa a 105°C.  
 - Consoante o tamanho das taliscas a analisar estipula-se um tamanho padrão (bitola) para os fios de nylon, e corta-se o número de fios correspondente ao número de taliscas a analisar.

- Pesar todos os fios de nylon na balança analítica de quatro casas decimais.

- Antes de se proceder à pesagem de cada talisca, estas devem ser colocadas no interior de um excicador com sílica gel, devendo deixar-se a torneira do excicador um pouco aberta (as taliscas devem ficar aí expostas durante o tempo necessário para arrefecerem ( $\pm 30$  minutos), de modo a atingirem uma temperatura que permita o seu manuseamento).

- Pesar as taliscas com fio de nylon primeiramente na balança digital de prato (e retirar o respectivo peso).

- Atar os fios de nylon às respectivas amostras a analisar.

- Pesar as taliscas na balança analítica de precisão (**Fig.3.4.**).

- Colocar as taliscas na tina (amostrador da câmara de vácuo). As taliscas contidas dentro da tina não devem estar em contacto entre si, nem devem tocar nas paredes da mesma;

- Medir a temperatura da água destilada com um termómetro.

- Encher a tina de água destilada até cerca de metade do tamanho da altura das taliscas em análise.

- Levantar as taliscas a vácuo na câmara de vácuo (3 vezes seguidas) (**Fig.3.3. e**

**3.4.**) Para tal, deve-se proceder do seguinte modo: verificar se a torneira A está fechada; ligar a bomba de vácuo e abrir logo de seguida a torneira B ( $\pm 3$  voltas); verificar se o manómetro da pressão de vácuo começa a aumentar, quando ele atingir um valor em que estabilize, automaticamente observa-se normalmente a saída intensa de bolhas de ar das taliscas em análise, deixa-se exercer vácuo durante um determinado período de tempo, nunca superior 5 minutos (dado que água destilada contida na tina na câmara de vácuo começa a ferver), desligando-se de seguida a bomba de vácuo e aguarda-se que o manómetro da pressão baixe até 0,6 bar, volta-se a ligar a bomba e repete-se o processo 3 vezes.

Para desligar a bomba de vácuo deve-se proceder da seguinte maneira; fechar o botão B e desligar automaticamente a bomba de vácuo.

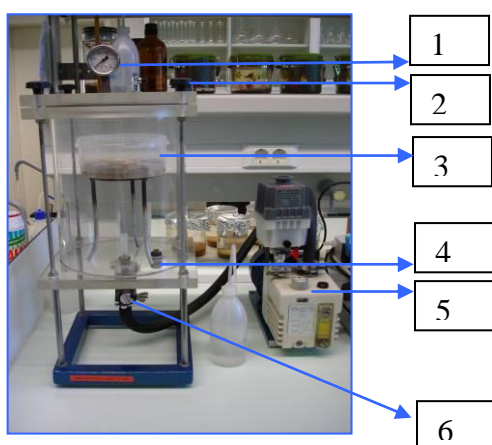
- No fim de se ter submetido as taliscas a vácuo três vezes seguidas, paramos a bomba de vácuo e retira-se a tina para fora e volta-se a colocar em água destilada, mas desta vez de maneira a que as taliscas fiquem totalmente submersas (a superfície de água destilada a cima das taliscas submersas deve corresponder a cerca 4cm) e volta-se de novo a levar as taliscas a vácuo, três vezes seguidas, com o objectivo central de saturar todos os poros existentes nas amostras. Nesta última fase, dá-se a particularidade de existir um intervalo de cerca de 18-24 horas entre a segunda fase de saturação e a terceira, o que leva a que o manómetro da pressão recomece do zero, nesta última fase. O ensaio dá-se por realizado quando as amostras em análise deixam de libertar bolhas de ar.

- Tirar o excesso de água das taliscas em análise, antes de realizar as respectivas pesagens na balança de precisão.

- Pesas as taliscas saturadas emersas com recurso à balança analítica de precisão.

- Pesas as taliscas saturadas imersas (em suspensão) em água destilada com recurso à balança analítica de precisão, à banca e a um copo de precipitação pequeno com água destilada.

### 3.4.7.3. Modo de funcionamento da câmara e da bomba de vácuo



**Figura 3.3.** Bomba de vácuo e respectiva câmara de vácuo.

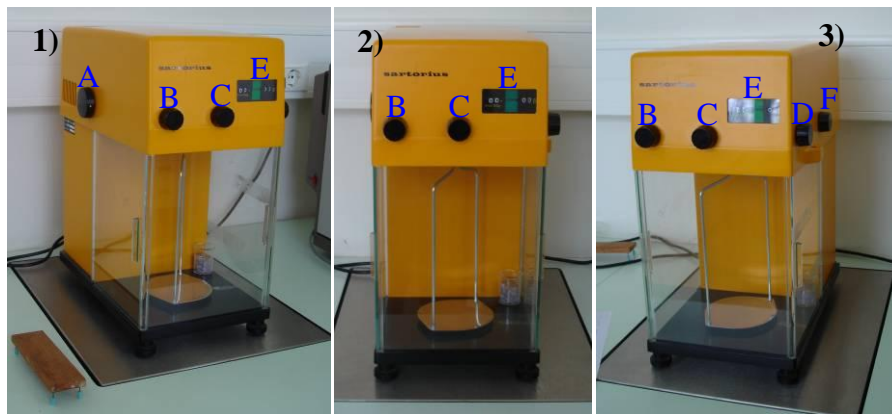
#### Legenda da Figura 3.3.:

- 1 – Manómetro da Pressão da câmara de vácuo;
- 2 – Parafusos de Selagem da câmara de vácuo;
- 3 – Tina com as taliscas em análise
- 4 – Torneira A, de fecho e de abertura total de ar na câmara de vácuo
- Botão 5 – Bomba de vácuo;
- Botão 6 – Torneira B, de controlo de ar durante as várias fases de saturação na câmara de vácuo.

- Abrir a câmara de vácuo e ter em atenção a orientação dos parafusos.
- Colocar a tampa da câmara de vácuo em cima de um copo de precipitação.

- Colocar a tina com as taliscas em análise em cima do tripé da câmara de vácuo.
- Fechar a torneira A (rodar para o lado direito).
- Fechar a torneira B (rodar para o lado direito).
- Fechar a tampa câmara de vácuo, para tal recorre-se à utilização dos respectivos parafusos (não é necessário apertar em excesso, sendo sim de vital importância colocá-los nas suas respectivas posições iniciais).
- Ligar a bomba de vácuo no botão “ON” e abrir a torneira B de imediato e dar  $\pm 3$  voltas.
- Esperar até que a pressão na câmara de vácuo atingia 98 bar e verificar se a água entra em ebulição (quando a água começar a ferver, deve-se fechar a torneira B e desligar a bomba de vácuo de imediato).
- Esperar que a pressão baixe até 0,5 bar e repetir o procedimento.
- Para terminar o ensaio e retirar a tina com as respectivas amostras câmara de vácuo, deve-se proceder do seguinte modo: desligar a bomba de vácuo e seguidamente abrir a torneira A lentamente, até se libertar a totalidade do ar existente na câmara de vácuo.

#### 3.4.7.4. Modo de funcionamento da balança analítica de precisão



##### Legenda da Figura 3.4.:

- Botão A – Ligar e desligar a balança;
- Botão B – Rodar até que se coloque o peso obtido na balança digital;
- Botão C – Rodar até que se coloque o peso obtido na balança digital;
- Botão D – Rodar até a seta preta coincidir com o risco luminoso e obtermos o peso final, com as respectivas quatro casas decimais;
- Botão E – Ecrã de leitura dos pesos obtidos;
- Botão F – Calibrar a balança.

**Figura 3.4.** Balança analítica de Precisão; 1) – Vista lateral esquerda; 2) – Vista frontal; 3) – Vista lateral direita.

- Antes de iniciar o procedimento de pesagem de qualquer talisca, deve-se verificar se a balança analítica está calibrada.
- Pesar primeiramente cada talisca na balança digital e registar o respectivo peso obtido.
- Colocar a talisca em análise na balança analítica (somente se o peso for inferior a 160 gramas), com ela desligada e fechar devidamente as portas da balança.
- Colocar o peso aproximado obtido na balança digital na balança analítica recorrendo aos botões B, C.
- Ligar a balança analítica (rodar o botão A um quarto de volta para baixo e verificar se acende de imediato uma luz amarela e verificar se aparece a escala de peso

no monitor digital E da balança) e acertar o peso, de forma a obter o peso real da talisca, para tal utiliza-se o botão D de maneira a fazer coincidir a seta preta com o risco luminoso.

- Travar a balança com recurso ao botão A.
- Tirar os pesos da balança analítica com recurso aos botões B, C, D, ou seja, por tudo a zero.
- Tirar a talisca anteriormente pesada do interior da balança analítica e fechar as portas da mesma e calibrar a balança.

### 3.5. ESTUDO PETROGRÁFICO

O estudo petrográfico visa a caracterização petrográfica e diagenética de pormenor de cada litótipo em análise, visando a identificação das principais evidências que têm significado em termos de paleoporosidade e de paleopermeabilidade e aferição do papel da diagénese na definição de reservatórios carbonatados. Este estudo incidiu principalmente na descrição em detalhe dos aspectos texturais e na caracterização pormenorizada dos padrões e tipos de cimentos presentes e suas relações cronológicas com os ambientes e processos diagenéticos.

Ao nível das biofácies apenas se identificaram os principais grupos presentes e em cada amostra fez-se uma avaliação dos bioclastos quanto à sua morfologia, tamanho e distribuição, características relevantes em termos de porosidade e de permeabilidade da rocha.

O estudo microscópico foi realizado com base na análise de três tipos diferentes de lâminas delgadas: 37 lâminas delgadas normais; 37 lâminas impregnadas de Azul Ceres; 33 lâminas não cobertas posteriormente coradas por coloração selectiva; no conjunto, foram estudadas 107 lâminas delgadas (das 37 amostras seleccionadas para o estudo petrográfico de detalhe). As técnicas e métodos aplicados, que possibilitaram a obtenção dos três diferentes tipos de lâminas delgadas que apoiaram este estudo petrográfico, estão explicados em detalhe no item 3.4. deste capítulo.

Esta análise petrográfica foi realizada com lupa binocular do fabricante **Leica**, modelo **Wild Heerbrug** e microscópio do fabricante **Leica**, modelo **DMLSP**. Elaborou-se também um arquivo fotográfico, com máquina digital cyber-shot DSC-P100.

#### 3.5.1. CLASSIFICAÇÕES COMPOSICIONAIS E TEXTURAIS APLICADAS

As rochas carbonatadas analisadas neste estudo foram definidas e classificadas de acordo com as seguintes classificações: classificação textural de Dunham (1962); classificação composicional de Folk (1959, 1962); classificação de calcários revista de Wright (1992); classificação textural de calcários recifais, baseada em Embry & Klovan (1971) and James (1974b); classificação para “Laminar Fenestral Fabrics” segundo Muller Jungbluth & Toschek; classificação dos tipos de fabrics em dolomitos, segundo Friedman (1965); classificação dos tipos de cimentos carbonatados.

Todas estas classificações são apresentadas nas figuras: 3.5., 3.6., 3.7., 3.8., 3.9., 3.10., 3.11. e 3.12.

Depositional Texture Recognizable					Depositional Texture Not Recognizable (Subdivide according to classifications designed to bear on physical texture or diagenesis.)
Original Components Not Bound Together During Deposition				Original components were bound together during deposition, as shown by intergrown skeletal matter, lamination contrary to gravity, or sediment-floored cavities that are roofed over by organic or questionably organic matter and are too large to be interslices.	
Contains mud (particles of clay and fine silt size, less than 20 microns)		Grain-supported			
Mud-supported		Grain-supported			
Less than 10 percent grains	More than 10 percent grains	More than * 10 percent mud	Less than * 10 percent mud		
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Crystalline Carbonate

\* Modification of original Dunham classification by changing percent mud from 1 to 10%

Figura 3.5. Classificação textural de Dunham (1962), retirada de Ahr (2008).

volumetric allochem composition	>10% allochems		<10% allochems		Undisturbed reef and bioherm rocks	
	Sparry calcite > Micrite	Micrite > Sparry calcite	1-10% allochems	<1% allochems		
> 25% Intraclasts	INTRASPARITE	INTRAMICRITE	Intraclasts INTRACLAST-BEARING MICRITE	MICRITE, or if sparry patches present DISMICRITE	BIOLITHITE	
> 25% Ooids	OOSPARITE	OOMICRITE				Ooids OOID-BEARING MICRITE
< 25% Intraclasts Volume ratio, bioclasts: peloids	> 3:1	BIOSPARITE				BIOMICRITE
	3:1 to 1:3	BIOPELSPARITE				BIOPELMICRITE
< 1:3	PELSPARITE	PELMICRITE	Peloids PELOID-BEARING MICRITE			

Figura 3.6. Classificação composicional de Folk (1959, 1962), retirada de Adams & Mackenzie (1994).

Allochthonous		Autochthonous		
Original components not organically bound during deposition		Original components organically bound during deposition		
> 10% grains > 2 mm				
Matrix supported	Supported by >2 mm component	By organisms that act as baffles	By organisms that encrust and bind	By organisms that build a rigid framework
Floatstone	Rudstone	Bafflestone	Bindstone	Framestone

Figura 3.7. Classificação textural de calcários recifais, segundo Embry & Klovan (1971) e James (1974b), retirada de Ahr (2008).



DEPOSITIONAL		BIOLOGICAL			DIAGENETIC					
Matrix-supported (clay & silt grade)		Grain-supported		In situ organisms			Non-obliterative		Obliterative	
<10% grains	>10% grains	with matrix	no matrix	Encrusting binding organisms	Organisms acted to baffle	Rigid organisms dominant	Main component is cement	Many grain contacts as microstylolites	Most grain contacts are microstylolites	Crystals > 10µm
Calci-mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Bafflestone	Framestone	Cementstone	Condensed grainstone	Fitted grainstone	Sparstone
	Floatstone	Rudstone							Crystals < 10µm	
		Grains > 2 mm							Microsparstone	

Figura 3.8. Classificação de calcários revista de Wright, retirada de Wright (1992).

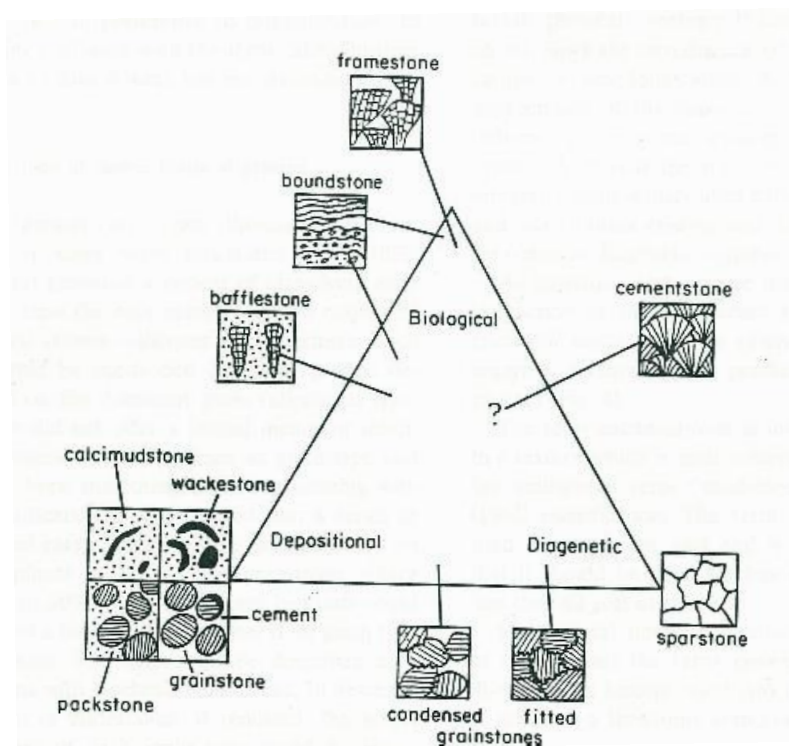
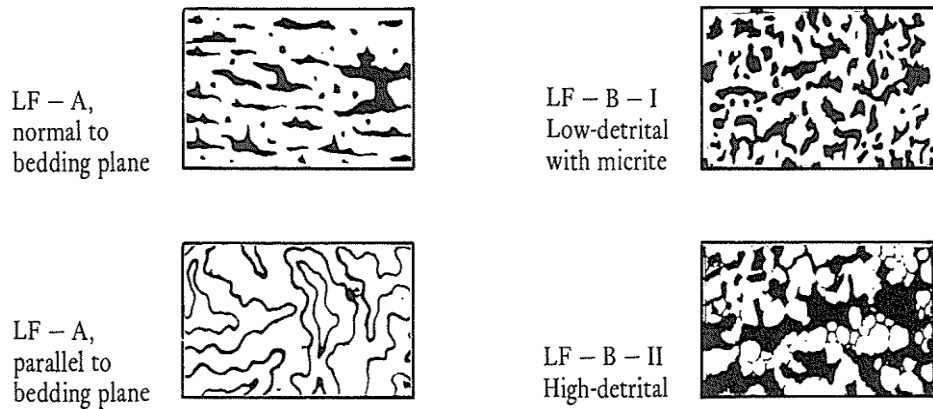
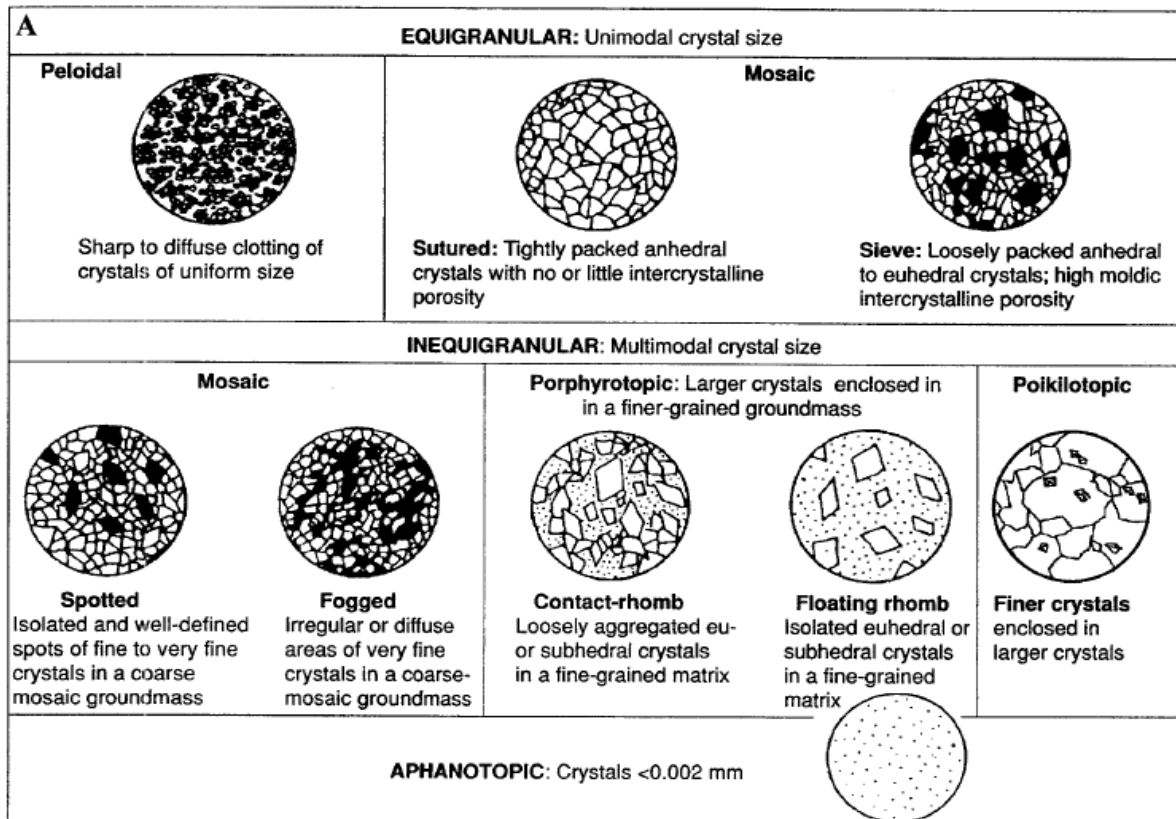


Figura 3.9. Os principais grupos texturais, as relações entre estes e a correspondência entre grupos texturais e os principais processos que influenciam as texturais dos calcários (retirada de Wright, 1992).

## LAMINAR FENESTRAL FABRICS



**Figura 3.10.** Classificação para “Laminar Fenestral Fabrics”. LF-A e LFB fabrics. Áreas escuras = esparite dentro dos poros; Áreas brancas = matriz micrítica. Segundo Muller Jungbluth & Toschek(1969), retirada de Flügel (1982).



**Figura 3.11.** Classificação dos tipos de fabrics em dolomitos, segundo Friedman (1965). Retirada de Flügel (2004).



### 3.5.2. TERMINOLOGIA DO TIPO DE PADRÃO E MORFOLOGIA DOS CIMENTOS

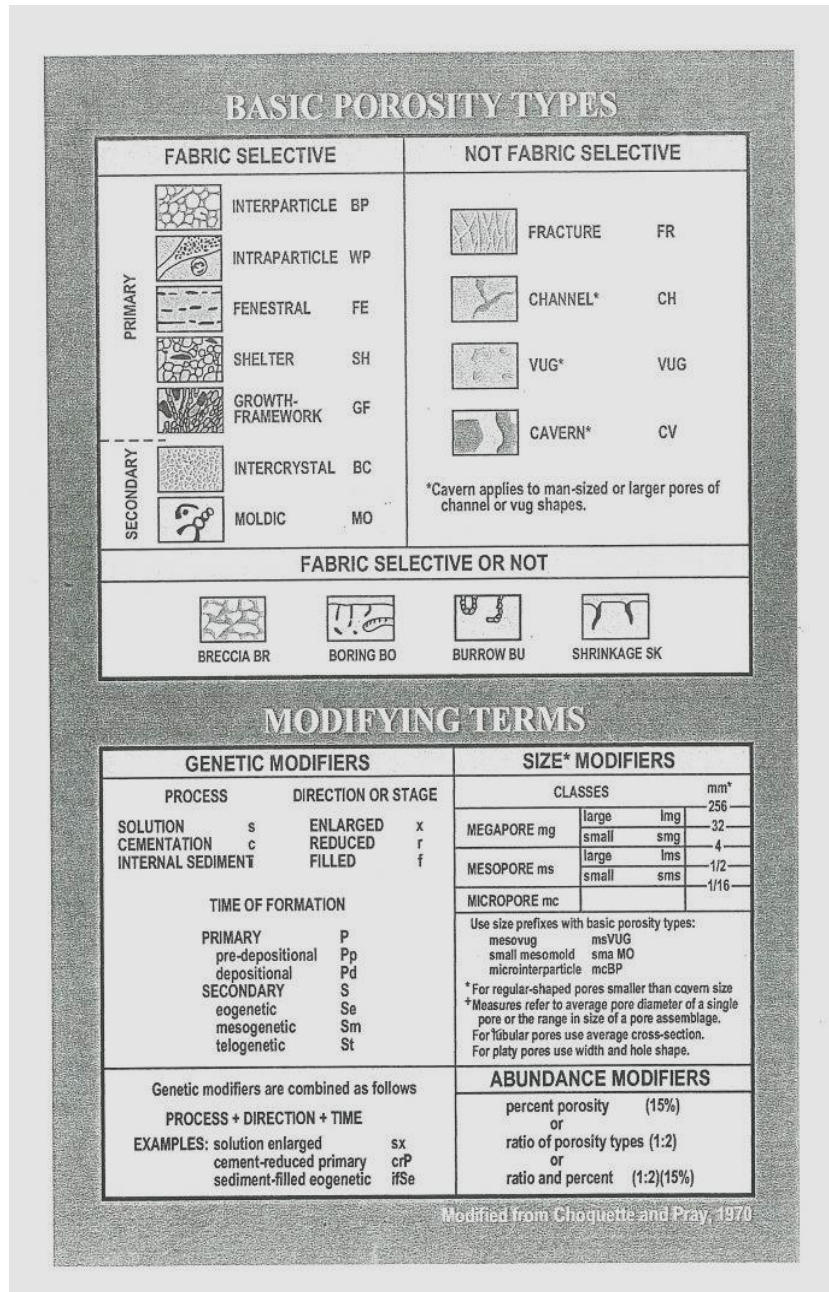
Tipo de Fabric	Autor Bibliografia importante	Fabricis diagenéticos do cimento		
		Definição importante	Génese	Sinónimos   Termos aproximados
<b>Fibroso</b> ( <i>Fibrous</i> )	Friedman, 1964, 1968; Wolf, 1965; Gervitz & Fiedman, 1966; Purser, 1969; Germann, 1968; Shinn, 1969; Zankl, 1971; Mountjoy & Walls, 1977; Dravis, 1979	Fibras alongadas e finas (~10µm x 300 µm), com o eixo maior perpendicular às paredes do poro ou superfície de um grão.	Normalmente corresponde à cimentação inicial sin-sedimentar. Típico da zona marinha freática	Acicular ( <i>Acicular</i> ); Fibroso radial ( <i>Radial fibrous</i> ); Circumgranular isópaco ( <i>Circumgranular isopachous</i> ); CASO PARTICULAR: Fibroso radiaxial ( <i>Radiaxial fibrous</i> ) - calcite fibrosa de neoformação com extinção ondulosa (Bathurst, 1959, 1971; Kendal & Tucker, 1973)
<b>Laminar</b> ( <i>Bladed</i> )	Choquette & James, 1987	Cristais de forma laminar alongados (~20µm, comprimento/largura<10).	Comuns em ambientes marinhos freáticos e de mistura com águas meteóricas. Também pode ocorrer como cimento meteórico ou de enterramento (cimentação sin-sedimentar ou pós-enterramento)	Prismático ( <i>Prismatic</i> ); Colunar ( <i>Columnar</i> )
<b>Equicristalino</b> ( <i>Equant</i> )	Folk, 1962; Bricker, 1971; Harris, Kendal & Lerche, 1985; Hird & Tucker, 1988	Cristais com dimensão igual entre si (~100 µm). Podem representar secções transversais de cimentos prismáticos ou colunares.	Formam-se em ambientes freáticos meteóricos ou freáticos de enterramento.	Blocky (usado para cristais de granularidade mais grosseira); Sparite (s. l.)
<b>Granular</b> ( <i>Granular</i> )	Bathurst, 1958, 1975; Bricker, 1971; Harris, Kendal & Lerche, 1985	Cristais anédricos a subédricos (>10 µm a 60 µm), normalmente sem orientação preferencial e com tamanhos ligeiramente diferentes.	Geralmente forma-se depois da litificação do sedimento, após compactação em ambiente sub-marinho ou sub-aéreo (cimentação pós-enterramento).	Blocky (usado para cristais de granularidade mais grosseira); Sparite (s. l.); Microsparite (para cristais entre 10 e 80 µm)
<b>Drúsico</b> ( <i>Drusic</i> )	Bathurst, 1958, 1975; Friedman, 1968; Schneider, 1977	Cimento típico de preenchimento de poros: cristais anédricos a subédricos (>10 µm) que vão crescendo segundo o eixo-c, bem como em dimensão, em direcção ao centro do poro. Os limites dos cristais são planares.	Existem em todos os tipos de ambientes, sendo comuns na cimentação pós-enterramento.	Sparite drúsica
<b>Sintáxico</b> ( <i>Syntaxial</i> )	Orme & Brown, 1963; Evamy & Shearman, 1965, 1969; Meyers, 1974; Neugebauer & Ruhrmann, 1978; Burgess, 1979	Cristais grosseiros e limpidos de sparite desenvolvidos em continuidade óptica com grãos ou cimento anterior. Comum em equinodermes, podendo ocorrer em corais, moluscos e foraminíferos.	Podem-se formar em ambiente marinho, meteórico, de mistura ou de enterramento. Os cimentos sintáxicos sin-sedimentares são turvos e com inclusões, enquanto os de enterramento são límpidos.	Sobrecrescimento sintáxico ( <i>Syntaxial overgrowth</i> ); Epitáxico ( <i>Epitaxial</i> )
<b>Mosaico</b> ( <i>Mosaic</i> )	Elf-Aquitaine, 1975	Cristais equicristalinos grosseiros (~300 µm) e límpidos de sparite, com clivagem bem visível, em conjuntos que formam um padrão em mosaico	Típico de ambiente de enterramento.	Espático ( <i>Sparry</i> ); Mosaico equicristalino ( <i>Equant blocky mosaic</i> )
<b>Poiquilotópico</b> ( <i>Poikilotopic</i> )	Elf-Aquitaine, 1975	Cristais sparíticos de grandes dimensões (podendo atingir vários milímetros) e que envolvem vários grãos.	Formam-se em ambiente freático, normalmente típico de ambiente de enterramento.	
<b>Micrítico</b> ( <i>Micrite</i> )	Alexanderson, 1969; Purser, 1969; Dunham, 1971; Folk, 1971; Bathurst, 1975;	Cristais de dimensão <4 µm ou < 10 µm, formando vasa Pode formar envelopes ou pontes ligando grãos.	Ambiente marinho freático, Cimento inicial sin-sedimentar (calcite magnesiana - HMC, criptocristalina).	Microcristalino ( <i>Microcrystalline</i> ); Criptocristalino (calcite criptocristalina)
<b>Peiódico</b> ( <i>Peiodial</i> )	Alexanderson, 1972; Macintyre, 1977; Reid, 1987; Marshall & Davies, 1981; Sun & Wright, 1989	Partículas de dimensão 20µm a 250µm formando aglomerados micríticos esféricos a subesféricos de cristais HMC, de dimensão 0.2 a 2 µm.	Cimentação sin-sedimentar. Abundante em recifes e montículos recifais. Associado a actividade microbiana e estruturas estromatolíticas e a pedogénese.	Micrite grumosa ( <i>Clotted micrite</i> )
<b>Ponte</b> ( <i>Bridge</i> )	Purser, 1969; Bricker, 1971; Wright, 1983	Estreita faixa de cimento micrítico ligando dois clastos.	Comum em ambiente vadoso e pedogénico. Pode formar-se noutras condições por acção microbiana.	
<b>Menisco</b> ( <i>Meniscus</i> )	Dunham, 1971; Longman, 1980; Meyers, 1987; Hillgartner et al., 2001	Cristais sparíticos ou micro-criptocristalinos de aragonite ou HMC, preenchendo parcialmente poros intergranulares, com contornos côncavos.	Típico de ambiente vadoso (supratidal e intertidal). Podem ocorrer em ambiente subtidal, se associado a estruturas microbianas.	
<b>Pendente</b> ( <i>Pendant</i> )	Purser, 1969; Bernoulli & Wagner, 1971; Bricker, 1971; Bechstadt, 1975	Cimento pendendo apenas de um dos bordos dos grãos (em disposição gravítica).	Típico de ambiente vadoso. Esporadicamente em ambiente intertidal e zona supratidal (Purser & Loreu, 1973). Indica polaridade.	Estalactítico ( <i>Dripstone</i> ); Drúsico Microstalactítico ( <i>Microstalactitic druse</i> , Purser, 1969); Gravítico (Gravitational, Muller, 1971); Microtravertino (Microsinter, Sander, 1936)

Figura 3.12. Tipos de cimentos carbonatados, principais características e génese (adap. Flügel, 1982; Tucker, 1988; Wright, 2002 in Pimentel, 2005).

### 3.5.3. CLASSIFICAÇÕES DO TIPO DE POROSIDADE

Recorreu-se à classificação modificada da porosidade em rochas carbonatadas de Choquette & Pray (1970) para classificar os diferentes tipos de porosidade presentes em cada amostra. Introduziu-se a esta classificação ao longo deste trabalho os termos: WPs (porosidade secundária interpartícula), WC (porosidade intracristalina). Aplicou-se também a classificação da porosidade dos carbonatos segundo Lucia (1983) e a classificação qualitativa da porosidade, segundo Ahr (2008).

Para a classificação da gênese da porosidade recorreu-se às seguintes classificações: Ahr (2008), Kopaska-Merkel & Mann (1993).



**Figura 3.13.** Classificação modificada dos tipos porosidade em rochas carbonatadas de Choquette & Pray (1970) in Flügel (1982).

		Interparticle (P)			Vuggy (V)	
		Particle size			Connection	
		Fine (F) < 20 $\mu$	Medium (M) 20–100 $\mu$	Large (L) > 100 $\mu$	Through interparticle Pores separate (S)	Through other VUG5 touching (T)
Porosity	No (n)					
	Yes (y)	$P_d$ > 70 psia	$P_d$ 70–15 psia	$P_d$ < 15 psia	Porosity (%)	

Figura 3.14. Classificação da porosidade dos carbonatos segundo Lucia (1983), retirada de Ahr (2008).

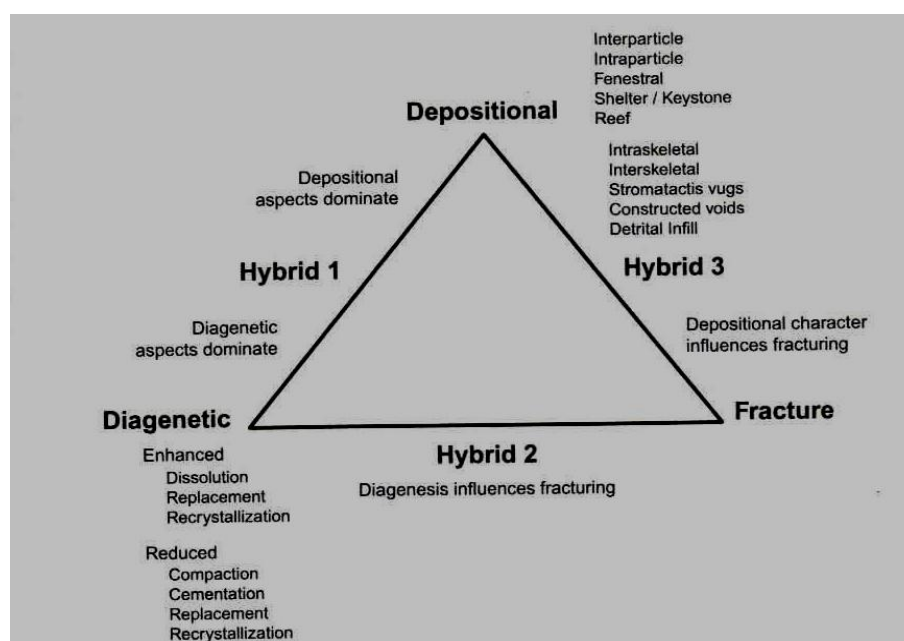


Figura 3.15. Classificação do tipo de gênese de porosidade em rochas carbonatadas, segundo Ahr (2008).

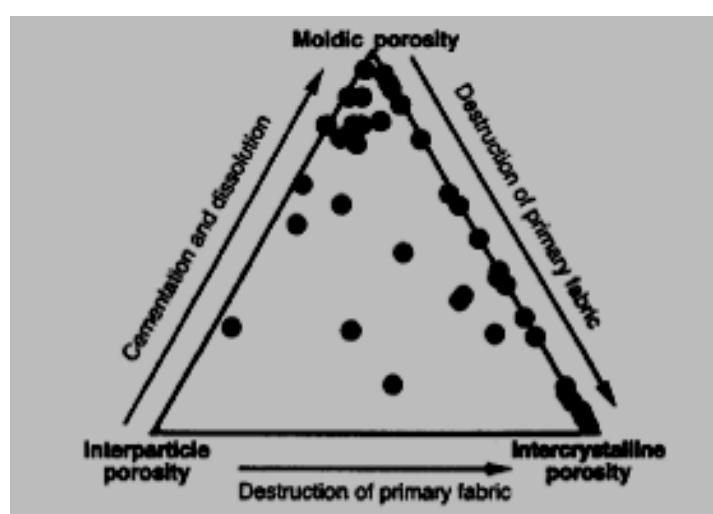


Figura 3.16. Classificação ternária da porosidade através aplicação de um diagrama ternário segundo, Kopaska-Merkel & Mann (1993), retirada de Flügel (2004).

Tabela 3.10. Classificação qualitativa da porosidade, segundo Ahr (2008).

Porosidade	Descrição qualitativa
$\leq 5\%$	Pobre
10%	Razoável
15%	Boa
$\geq 20\%$	Excelente

Neste trabalho considerou-se a porosidade como: pobre (0-5 %); razoável (5-10%); boa (10-15%); boa/excelente (15-20%) e excelente (> 20%).

### 3.5.4. TERMINOLOGIAS PARA AS ESTRUTURAS DE DISSOLUÇÃO COM PRESSÃO

Quanto às terminologias para as estruturas de dissolução com pressão seguiu-se a proposta de Flügel (2004). Observar a figura 3.17.

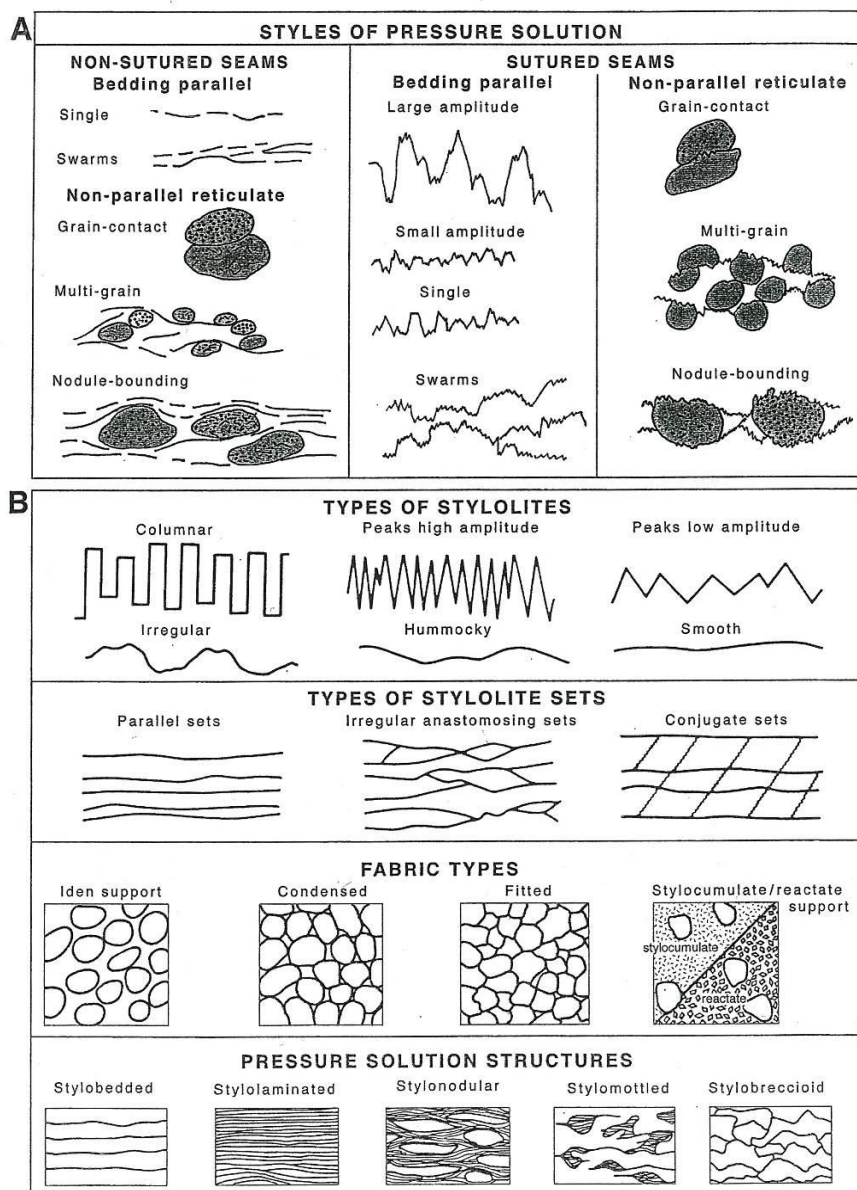
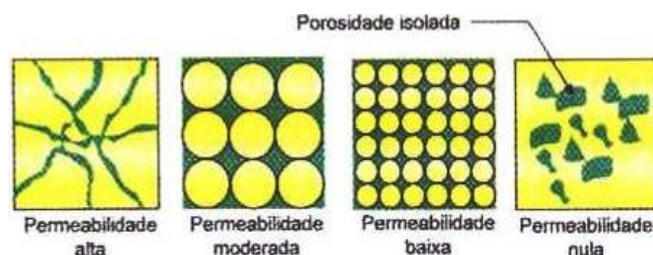


Figura 3.17. Terminologias para as estruturas de dissolução com pressão, propostas por Flügel (2004).



### 3.5.5. CLASSIFICAÇÃO DA PERMEABILIDADE

Para o estudo da permeabilidade neste trabalho recorreu-se ao estudo petrográfico e a classificação qualificativa da permeabilidade segundo a classificação de Gomes & Alves (**Fig.3.18.**). A permeabilidade segundo esta classificação é classificada como: permeabilidade alta, permeabilidade moderada, permeabilidade baixa, permeabilidade nula. Tentar-se-á fazer também uma avaliação qualitativa da permeabilidade horizontal e vertical e das suas variações.



**Figura 3.18.** Classificação qualitativa da porosidade segundo Gomes & Alves (2007).

### 3.5.6. TIPOS DE RESERVATÓRIOS CARBONATADOS

Os reservatórios carbonatados podem ser classificados de diferentes formas. As classificações mais utilizadas são as que se referem a seguir.

Segundo Ahr (2008) os reservatórios carbonatados podem ser classificados como: reservatórios carbonatados deposicionais, reservatórios carbonatos diagenéticos e reservatórios carbonatados fracturados. Flügel (2004) divide os reservatórios carbonatados em 2 classes: à primeira classe correspondem os reservatórios que não são controlados por diagénese, enquanto que a segunda abrange todos os reservatórios carbonatados que são controlados diageneticamente. Esta segunda encontra-se subdividida em 5 tipos diferentes (ver, **tabela 3.11.**)

**Tabela 3.11.** Tipos de reservatórios controlados por diagénese segundo Flügel (2004).

Tipo	Descrição
1	Reservatórios relacionados com dissolução superficial em discontinuidades subaéreas
2	Reservatórios cárnicos
3	Reservatórios dolomíticos
4	Reservatórios fracturados
5	Reservatórios associados à migração de hidrocarbonetos



**CAPÍTULO 4:PROBLEMÁTICA EM ESTUDO E  
SUA IMPORTÂNCIA CIENTÍFICA/ECONÓMICA**





#### 4.1. DEFINIÇÃO DE DIAGÉNESE

A diagénese é um conjunto de processos que modificam os sedimentos logo após a sua deposição e que os transforma de forma progressiva em rocha compacta, e que abrange todas as modificações e transformações sofridas logo após o soterramento até ao início do metamorfismo incipiente com elevadas temperaturas e pressões. É um processo que decorre num ambiente termodinâmico que, no ciclo petrogenético, se coloca a meio caminho entre a sedimentação e o metamorfismo; na fronteira entre os processos exógenos e endógenos (Galopim de Carvalho, 2003).

De uma forma geral a diagénese ocorre quando os minerais constituintes dos sedimentos/rochas se tornam instáveis, devido à ocorrência de modificações das condições físicas e/ou químicas do meio em que estão inseridos e de que fazem parte integrante, passando aqueles, a partir desse momento a estar à procura de novas condições de equilíbrio.

A ocorrência da diagénese depende de factores intrínsecos e extrínsecos ao próprio sedimento. Os factores intrínsecos são: a composição mineralógica, a textura, a porosidade, a permeabilidade, a composição química do fluido intersticial deposicional primário, conteúdo em argila e tipo de matéria orgânica presente. Os factores extrínsecos são: a pressão, a temperatura e o fluxo, quantidade e quimismo dos fluidos diagenéticos secundários existentes nos poros da rocha.

A pressão é um factor determinante para o movimento dos fluidos circulantes existentes numa bacia sedimentar e conseqüentemente para o tipo processos diagenéticos que ocorrem contemporaneamente a esse movimento. Existem três tipos de pressões a que os sedimentos podem estar submetidos numa bacia, nomeadamente: a pressão litostática que é devida ao peso das camadas de rocha posteriormente depositadas, a pressão hidrostática e a pressão de “**poro**”, que corresponde à pressão que é exercida pelos fluidos no interior dos poros da rocha.

A temperatura é um factor determinante para o tipo de reacções ocorridas durante a evolução diagenética de uma rocha, uma vez que viabiliza a ocorrência de determinado tipo de reacções, resultantes da interacção do fluido intersticial com as partículas constituintes da rocha. Trata-se de um factor que funciona usualmente como catalizador dessas reacções e que aumenta com a profundidade devido ao gradiente geotérmico.

Os fluidos intersticiais condicionam o tipo de processos diagenéticos actuantes e sua distribuição, e afectam determinantemente a taxa a que ocorrem as reacções diagenéticas (Flügel, 2004), devido principalmente ao seu quimismo, fluxo, quantidade e o tempo de residência dos mesmos no interior da rocha. Estes fluidos, de uma maneira geral, sofrem alterações significativas da sua composição química ao longo do soterramento (Tucker, 1990).

O fluido mais comum existente nos espaços intersticiais de uma rocha é a água, que, de uma forma geral, evolui química e isotopicamente durante o soterramento, tornando-se cada vez mais ácida e corrosiva, promovendo essencialmente a ocorrência de dissolução das partículas constituintes da rocha.

Um factor muito importante associado a estas águas intersticiais é a salinidade, que influencia bastante as propriedades químicas das águas circundantes; por exemplo, águas com salinidade elevada alteram o pH das soluções existentes e/ou circundantes e, conseqüentemente, alteram também a solubilidade da calcite e de certos tipos de cimentos presentes.

A eficiência dos processos diagenéticos, além de depender de todas as condicionantes anteriormente abordadas, depende essencialmente da existência ou não de estabilidade da composição mineralógica dos sedimentos e das rochas.

#### **4.1.1. AS TRÊS FASES PRINCIPAIS DA DIAGÉNESE**

A diagénese é subdividida em três fases principais: a eodiagéne, a mesodiagéne e a telodiagéne (**Fig.4.1.**).

##### **4.1.1.1. A eodiagéne**

A eodiagéne ocorre perto da superfície e é uma fase caracterizada pelo facto de os processos diagenéticos actuantes ocorrerem durante um intervalo de tempo relativamente curto, num período de tempo compreendido entre a deposição dos sedimentos e o seu soterramento (Flügel, 2004).

O limite superior da zona activa da eodiagéne corresponde à interface subaérea ou subaquática, enquanto que o seu limite inferior situa-se na zona/área onde as águas meteóricas provenientes da superfície e/ou águas marinhas deixam de circular pela gravidade e/ou por convecção (Flügel, 2004).

Nesta fase, os minerais mineralogicamente instáveis constituintes do sedimento sofrem modificações e transformações acentuadas, que podem levar à criação de porosidade, principalmente devido à ocorrência de dissolução (nomeadamente da aragonite e da calcite com elevado teor em magnésio) ou dolomitização e/ou até a colmatação da porosidade por cimentação.

É uma fase que, em geral, exhibe a presença de influências orgânicas, como perfuração, bioturbação, penetração de raízes, decomposição da matéria orgânica.

A porosidade nesta fase é normalmente moderada a elevada.

##### **4.1.1.2. A mesodiagéne**

Corresponde ao enterramento profundo e às modificações e transformações ocorridas durante esse período, devido à ocorrência de determinados processos diagenéticos, que se desenvolvem bastante longe das zonas de influência dos processos relacionados com a superfície.

A ocorrência dos processos diagenéticos nesta fase é muito influenciada tanto ao nível da sua ocorrência como da sua distribuição pela: extensão e distribuição das alterações ocorridas na eodiagéne, quimismo dos fluidos existentes no interior dos poros da rocha, tempo de residência e regime de fluxo desses fluidos, condições de temperatura e pressão (que podem levar à degradação termal de hidrocarbonetos e ao fluxo lento de fluidos bacinais durante o soterramento progressivo).

Trata-se de uma etapa diagenética caracterizada fundamentalmente pela destruição da porosidade e da permeabilidade, principalmente por compactação e cimentação. Podem existir situações em que há geração de porosidade nesta fase, devido a ocorrência de dolomitização e/ou a geração de fracturação durante a compactação da rocha durante o soterramento.

O limite entre a eodiagénesse e a mesodiagénesse não é preciso em termos de profundidade de soterramento e de temperatura.

#### 4.1.1.3. A telodiagénesse

O termo telodiagénesse refere-se ao soerguimento de rochas há muito soterradas e mineralogicamente estáveis às condições de soterramento, para a superfície e/ou para zonas próximas dela, passando estas a ser automaticamente afectadas por processos derivados da superfície, como a meteorização física e química, em que o principal agente é a água meteórica. Este reerguimento está normalmente associado à ocorrência de descontinuidades geológicas nas sequências estratigráficas (Flügel, 2004).

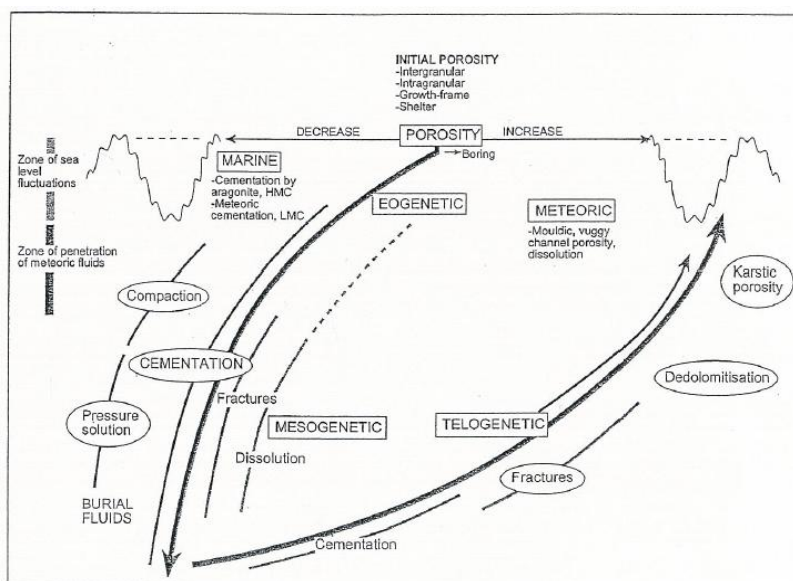
A meteorização física ocorre principalmente por: expansão e contracção de origem térmica, crescimento de cristais no interior da rocha, dilatação devida a descompressão e actividade biológica.

A meteorização química (decomposição de minerais quer por dissolução, quer por transformação noutros minerais) ocorre por: dissolução e carbonatação, hidratação, hidrólise e carbonatação, oxidação e/ou influências biológicas na meteorização química/meteorização bioquímica (Cabral, 2004).

Nas situações em que as rochas que sofreram telodiagénesse não chegam à superfície, mas estão conectadas com ela por descontinuidades no maciço rochoso, ocorre geralmente carsificação das mesmas (Flügel, 2004).

Os principais factores que controlam a ocorrência e distribuição das modificações e transformações ocorridas nesta fase são: a composição mineralógica da rocha, o grau de fracturação da rocha (como por exemplo: a presença de falhas e/ou descontinuidades geológicas que se estendam até à, ou próximo da superfície, permitindo a percolação de fluidos e servindo como condutores de água meteórica), o gradiente hidráulico (que depende do grau de emersão das rochas em relação ao nível do mar), o grau de perda de porosidade e permeabilidade durante a eodiagénesse e mesogénese, a presença ou ausência de espessas camadas de argilas e/ou outras rochas impermeáveis que dificultem a infiltração de água meteórica, a duração da exposição, o clima e a temperatura à superfície.

Os principais tipos de porosidade observados são a porosidade cavernosa, por brechificação e de fractura (**Fig.3.13.**).



**Figura 4.1.** Processos que afectam a porosidade das rochas durante o soterramento e, mais tarde durante o seu reerguimento por ocorrência de telodiagénesse; retirado de Wright (2002), baseado em várias fontes.

#### **4.1.2. IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DA DIAGÉNESE**

O estudo das modificações e transformações ocorridas durante a evolução diagenética de um sedimento ao longo da sua história geológica, ajuda a entender qual foi o processo deposicional e a natureza do ambiente deposicional desse sedimento e quais os processos diagenéticos actuantes ao longo desse período, uma vez que, quase todos os sedimentos acabam por sofrer um conjunto de transformações físicas, químicas e biológicas, mais ou menos acentuadas, posteriormente à sua deposição e durante a sua evolução diagenética, a menos que sejam destruídos prematuramente.

### **4.2. ROCHAS CARBONATADAS**

Os carbonatos formam-se, principalmente, em ambientes marinhos pouco profundos ou costeiros e em ambientes continentais áridos, como por exemplo bacias evaporíticas, lagos e desertos, por precipitação de  $\text{CaCO}_3$  (Gomes & Alves, 2007).

A grande maioria das rochas carbonatadas que se formaram no passado geológico tiveram origem em ambientes marinhos pouco profundos e, como tal, possuem na sua constituição uma enorme variedade de partículas mineralógicas e biológicas das mais variadas origens e apresentam certas propriedades intrínsecas como a porosidade e a permeabilidade.

#### **4.2.1. IMPORTÂNCIA CIENTÍFICA E ECONÓMICA DO ESTUDO DAS ROCHAS CARBONATADAS**

O estudo das rochas carbonatadas tem tido nos últimos anos uma atenção especial por parte da comunidade científica e económica, devido à sua diversidade de origem, ao seu registo geológico (que documenta a evolução paleogeográfica/paleoambiental da crosta terrestre), ao seu potencial como rochas geradoras e reservatório de hidrocarbonetos, ao seu importante conteúdo em reservas de água subterrânea e, por vezes, à ocorrência de depósitos de minerais metálicos associados.

Do ponto de vista da exploração de hidrocarbonetos, estas rochas constituem 40% das rochas reservatório de hidrocarbonetos que existem em todo o mundo (Gomes & Alves, 2007). Estima-se que a produção actual de hidrocarbonetos em todo o mundo, neste tipo de reservatórios, corresponda a uma percentagem que varia entre 40% - 60% da produção total de hidrocarbonetos (Flügel, 2004).

Estas rochas constituem também um recurso de extrema importância em termos de matéria prima para as indústrias da transformação de calcários/ dolomitos, para a obtenção de diversificados tipos produtos, que tem como destino principal a indústria do vidro, agrícola, química e/ou o ramo da construção civil e etc.

#### **4.2.2. A DIAGÉNESE NAS ROCHAS CARBONATADAS**

A diagénese nas rochas carbonatadas em geral altera a porosidade inicial, através da acção de vários tipos de processos diagenéticos, que podem ocorrer de forma independente e/ou de forma híbrida e que podem levar ao aumento e/ou à redução da porosidade primária das mesmas durante a sua evolução diagenética numa bacia sedimentar (Ahr, 2008).

As rochas carbonatadas sofrem diagénese, praticamente, logo desde o momento da sua deposição, devido a serem constituídas na sua grande maioria por minerais de calcite, dolomite e aragonite, que são minerais metastáveis muito susceptíveis à ocorrência de alterações durante a evolução diagenética. Esta susceptibilidade deve-se ao facto de estes minerais serem muito solúveis, principalmente na presença de águas meteóricas e/ou águas de mistura (resultantes da mistura entre águas meteóricas e marinhas).

Nestas rochas faz-se normalmente a distinção entre diagénese precoce e diagénese tardia, em que o termo diagénese precoce refere-se à diagénese que ocorre imediatamente após a deposição da rocha e/ou logo depois do seu soterramento, enquanto que o termo diagénese tardia refere-se à ocorrência de diagénese muito depois da deposição do sedimento, quando o sedimento já se encontra compactado em rocha e sofre principalmente a actuação de processos derivados do soterramento (Flügel, 2004).

O maior ou menor desenvolvimento da diagénese nestas rochas depende essencialmente: da estabilidade mineralógica, do tamanho das partículas e da sua microestrutura, do quimismo dos fluidos (incluído quantidade e fluxo dos mesmos e tempo de residência no interior da rocha), da porosidade, da permeabilidade, da quantidade de argila e interacção com substâncias orgânicas.

Em geral, a diagénese carbonatada é muito limitada pela presença ou migração de hidrocarbonetos e/ou outro tipo de fluidos, uma vez que, se os poros deixam de estar totalmente preenchidos por substâncias reactivas, isso leva a que a ocorrência das reacções água/rocha fique restrita à saturação residual de água existente (correspondente às películas que revestem as paredes dos poros).

As principais marcas/produtos resultantes da ocorrência de diagénese ao longo da evolução diagenética destas rochas estão relacionados com os diferentes tipos de processos e de ambientes diagenéticos actuantes (temas a abordar nos itens 4.3. e 4.4. deste capítulo). As principais marcas/produtos em geral são: a compactação, a ocorrência de dissolução e precipitação/formação de diferentes tipos e associações de cimentos carbonatados, formação de porosidade secundária específica de cada um dos ambientes e dos processos actuantes durante essa evolução, sendo esta porosidade caracterizada por novos tipos de poros (Ahr, 2008).

#### **4.2.3. DESAFIOS ACTUAIS E FUTUROS NO ESTUDO DAS ROCHAS CARBONATADAS**

Um dos grandes desafios da actualidade para os geocientistas/investigadores que estudam as rochas carbonatadas é tentar decifrar o enigma da geração e evolução do espaço poroso e da sua interconectividade ao longo da evolução diagenética, de forma a ser possível compreender os fenómenos/processos que levam à sua geração, desenvolvimento, distribuição, preservação. Associado a esta problemática está o estudo da génese de determinadas barreiras à permeabilidade e a percepção de quanto elas afectam o comportamento dos fluidos no interior dos reservatórios e das armadilhas.

Estes estudos permitem decifrar de maneira cada vez mais detalhada as relações espaciais entre as rochas geradoras, reservatórios e selos, que nem sempre são fáceis de estabelecer, uma vez que a distribuição dos poros e/ou canais de poros no interior destas rochas é geralmente muito mais complexa do que a observada nas rochas siliciclásticas, o que faz com que as correlações realizadas ao longo de várias camadas, bem como a previsão das potencialidades hidráulicas das mesmas, seja uma tarefa bastante difícil (Gomes & Alves, 2007).

#### 4.2.4. IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DA DIAGÊNESE NAS ROCHAS CARBONATADAS

O estudo da problemática da diagênese nas rochas carbonatadas é fundamental para a realização de uma análise precisa ao nível da porosidade e da permeabilidade de uma rocha e da sua evolução ao longo da história geológica. Esta análise possibilita por exemplo, *a posteriori*, a classificação ou não das rochas como potenciais reservatórios de hidrocarbonetos.

Um estudo de pormenor da diagênese permite ordenar e indicar o tempo relativo da ocorrência dos processos diagenéticos ao longo da evolução diagenética de uma rocha carbonatada e avaliar a sua relação com as várias fases e ambientes diagenéticos, de forma a estimar a importância da ocorrência dos mesmos na preservação, geração ou redução da porosidade e da permeabilidade, que são duas propriedades fundamentais para a avaliação tanto das rochas reservatório como das rochas selo de uma armadilha de um sistema petrolífero (Flügel, 2004).

#### 4.3. PROCESSOS DIAGENÉTICOS NAS ROCHAS CARBONATADAS

Os principais processos diagenéticos que actuam nas rochas carbonatadas são: a compactação, a dissolução, a micritização, o neomorfismo/recristalização, dolomitização e desdolomitização.

##### 4.3.1. A COMPACTAÇÃO

É um processo que pode ser mecânico ou químico, que leva à redução do volume das camadas, à ocorrência de modificações/transformações do empacotamento intergranular e à redução da porosidade e da permeabilidade das rochas carbonatadas, devido ao aumento da pressão litostática e da temperatura durante o soterramento (Flügel, 2004). Este processo, em geral, leva ao aumento da tortuosidade dos canais porosos e do número de estrangulamentos existentes nesses canais.

A ocorrência de compactação é controlada, geralmente, por factores intrínsecos e extrínsecos à própria rocha, que influenciam de forma determinante o grau de compactação verificado. Os factores intrínsecos são: a forma/geometria e tipo de empacotamento das partículas constituintes da rocha, conteúdo em argila e/ou margas que diminuam a porosidade/permeabilidade da rocha e a ocorrência de cimentação precoce. Tanto o conteúdo em argila como a cimentação precoce são factores que podem inibir a ocorrência deste processo. Os factores extrínsecos são: pressão litostática, temperatura, pressão e composição química da água e/ou de outros fluidos existentes no interior dos poros da rocha (Flügel, 2004).

Segundo Flügel (2004), a compactação pode ser subdividida em três etapas principais:

- a primeira etapa corresponde à deposição das partículas sedimentares, desidratação, mudanças na densidade de empacotamento e redução da porosidade para 75-80% da porosidade original;
- a segunda etapa é caracterizada principalmente pela ocorrência de desidratação da vasa carbonatada, reorientação dos grãos e redução da porosidade para cerca de 40%;
- a terceira etapa é caracterizada pela ocorrência de solução sob pressão e de deformação plástica das partículas constituintes da rocha.

A compactação mecânica é caracterizada principalmente pela redução do volume da rocha carbonatada por processos inteiramente físicos durante o soterramento, que actuam logo após a deposição do sedimento. Trata-se de uma compactação que ocorre até determinados níveis de compressão, em que as suas principais evidências/ produtos são o desenvolvimento de orientação, rotação, deslizamento e deformação das partículas, contactos lineares e pontuais entre partículas, fracturação primária (intra e interpartículas) e a presença de fragmentos de equinodermes fracturados e/ou comprimidos contra outras partículas e/ou de envelopes micríticos fracturados ou deslocados.

Após a compactação mecânica, muitos sedimentos estão sujeitos à compactação química, que é caracterizada pela redução acentuada do volume da rocha, controlada total ou parcialmente por processos de dissolução devidos ao incremento de pressão litostática durante o soterramento, ocorrendo, geralmente, sob condições de soterramento profundo.

A compactação química é controlada pela: profundidade de enterramento, carga litostática, geometria e tamanho das superfícies das partículas, composição química dos fluidos existentes nos poros e pela pressão tectónica que pode levar à formação de estilólitos tectonicamente controlados que, normalmente, estão associados a fracturas e contribuem para uma redução acentuada da espessura da camadas e a mudanças acentuadas da textura original das mesmas (Flügel, 2004).

A principal evidência/produto da compactação química é o desenvolvimento de estruturas de dissolução com pressão (**Fig.3.17.**).

#### **4.3.2. A DISSOLUÇÃO**

É um processo que resulta da presença e/ou da passagem no espaço poroso de uma rocha carbonatada de fluidos subsaturados em relação ao carbonato. Quanto maior for subsaturação desses fluidos relativamente ao carbonato, mais eficaz vai ser a dissolução das partículas e dos cimentos da rocha, o que, conseqüentemente, leva à génese de porosidade secundária e ao aumento da porosidade inicial da rocha (Flügel, 2004).

Trata-se de um processo que leva à ocorrência de modificações/transformações acentuadas na textura, porosidade e permeabilidade das rochas carbonatadas devido a estas serem muito susceptíveis à dissolução, por serem constituídas por minerais metastáveis como a calcite, dolomite e aragonite.

É um processo particularmente eficaz: em ambientes meteóricos quando em contacto com águas meteóricas, águas salinas, águas de zonas de mistura e/ou em águas profundas e frias existentes no fundo do mar (Flügel, 2004), e em ambientes de soterramento devido ao aumento da solubilidade entre os contactos entre partículas provocado pelo profundidade e acréscimo da pressão, em que a recristalização do material assim libertado ocorre nas zonas de menor pressão.

Os produtos/marcas diagénéticas deste processo são: geração de porosidade secundária do tipo moldada, em canal, podendo também ocorrer associada a este processo porosidade secundária do tipo de fractura, vacuolar e cavernosa (Tucker, 1990). Em ambientes profundos podem-se gerar faixas de estilólitos que podem reduzir a espessura original das rochas até cerca de 40%.

### 4.3.3. A CIMENTAÇÃO

É um processo que consiste no preenchimento do espaço poroso pré-existente nas rochas carbonatadas por precipitação de cimento carbonatado, que pode apresentar diferentes mineralogias e tipos de fabrics (dependendo da razão Mg/Ca), cimento este que vai unir as várias partículas constituintes da rocha (**Fig.3.12.**).

Este preenchimento ocorre devido à existência de substâncias em suspensão nos fluidos que circulam através dos poros das rochas, e que aí se acumulam e precipitam, podendo ou não colmatar esses espaços por completo, reduzindo assim drasticamente a porosidade e a permeabilidade da rocha. Este preenchimento é tanto mais eficaz quanto maior for a sobressaturação dos fluidos existentes nos poros em relação ao mineral precipitado (Flügel, 2004).

Os principais cimentos precipitados nestas rochas correspondem a cristais de: calcite, aragonite, dolomite, podendo também ocorrer a presença de cristais de gesso, anidrite, hematite e, mais raramente, com carácter mais local, pode ocorrer a precipitação de pirite, clorite e quartzo.

Os factores que controlam a ocorrência de cimentação são: a composição dos fluidos contidos no interior dos poros, a porosidade inicial (nomeadamente o seu tamanho, geometria e conectividade), a permeabilidade, a taxa de fluxo da água através dos poros, o grau de sobressaturação dos fluidos existentes nos poros em relação ao mineral precipitado, a salinidade das soluções em relação Mg/Ca, a mineralogia do substrato, a taxa de precipitação, a composição da matéria orgânica contida dentro e/ou entre as partículas e a actividade dos micro-organismos mediante a precipitação de carbonato (Flügel, 2004).

Segundo Flügel (2004), a precipitação de cimentos carbonatados pode ser descrita basicamente como uma sucessão de três fases: a primeira correspondente a sobressaturação do fluido existente dentro do espaço poroso; a segunda a nucleação (que é controlada pela mineralogia dos substratos) e terceira ao crescimento de cristais, que depende da presença de iões suficientes e da porosidade e permeabilidade da rocha. Os cimentos precipitados dividem-se de uma forma geral em duas categorias com base na sua morfologia: a primeira categoria corresponde, geralmente, aos cimentos precoces (existindo excepções) que tendem a contornar a superfície dos poros de maneira contínua e/ou descontínua, como por exemplo os cimentos: fibrosos, menisco, peloidais, laminar, sparite prismática, poligonal etc. A segunda categoria engloba todos os cimentos que tendem a preencher completamente os poros, em que a sua forma característica de crescimento é em mosaico de cristais, em consequência do seu crescimento competitivo. Estes cimentos são em geral cimentos precipitados posteriormente aos da primeira categoria, durante uma fase mais avançada da evolução diagenética de rocha.

Os cimentos podem apresentar os seguintes fabrics: *isopachous*, *circumgranular*, *gravitational*, *crusts*, *splays*, *botryoids*, *drusy mosaic*, *equant mosaic*, *granular mosaic*, *syntaxial echinoderm over-growth* (Tucker, 1990).

Os mosaicos formados pela precipitação de cristais são normalmente classificados como: *equant spar equicrystalline mosaic*, quando o tamanho dos cristais é semelhante; *equant spar drusy mosaic*, quando o tamanho dos cristais vai aumentando progressivamente desde as paredes do poro até o centro da cavidade; e *poikilotopic spar* para os casos em que os cristais são tão grandes que englobam grãos.



#### 4.3.4. A MICRITIZAÇÃO

É um processo que consiste no preenchimento dos espaços vazios existentes nas partículas carbonatadas e/ou no revestimento destas por micrite. Ocorre normalmente por duas vias: posteriormente às microperfurações realizadas por certos organismos, como cianofíceas e fungos, nas partículas carbonatadas, em que após o desaparecimento desses organismos, essas microperfurações são foco de preenchimento por micrite; ou devido à dissolução parcial dos fragmentos orgânicos em águas frias, em que se produz uma micrite composta por lamelas herdadas da concha original, com porosidade desenvolvida (Azerêdo, 1993).

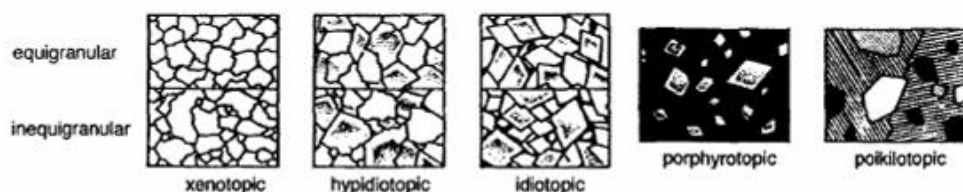
O termo bioturbação refere-se à perfuração/retrabalhamento e mistura dos sedimentos por organismos.

#### 4.3.5. O NEOMORFISMO/ RECRISTALIZAÇÃO

É o processo pelo qual dois minerais com a mesma composição química mas cristalograficamente diferentes se substituem um ao outro, quer por substituição ou por recristalização, em que ocorre uma mudança na textura, podendo ou não existir mudanças na mineralogia.

O termo recristalização refere-se especificamente às mudanças do tamanho, forma e orientação do cristal, sem mudança de mineralogia. A recristalização é em parte dependente do conteúdo em argila, uma vez que uma percentagem > 2%, pode inibir a sua ocorrência (Flügel, 2004).

A recristalização pode apresentar diferentes tipos de fabrics em carbonatos, segundo Friedman (1965, *in* Flügel, 2004) (Fig.4.2.).



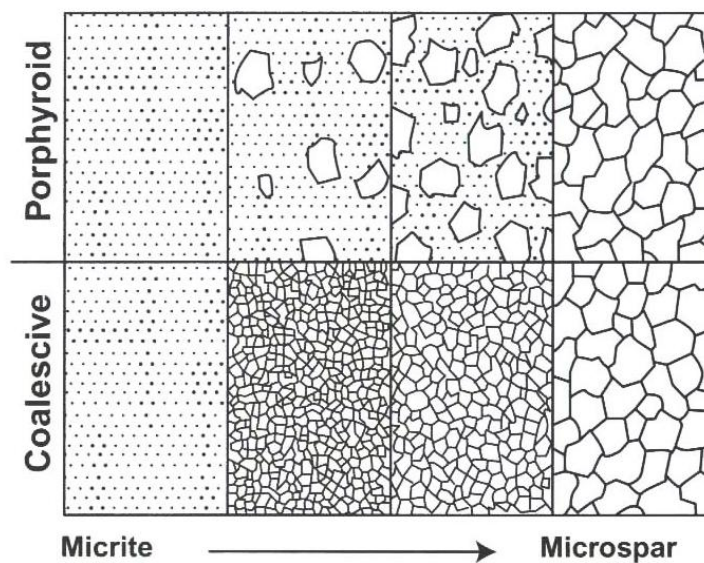
**Figura 4.2.** Terminologia do tipo de fabrics que ocorrem em carbonatos recristalizados, segundo Friedman (1965), retirada de Flügel (2004).

O neomorfismo/recristalização é um processo usual nas rochas carbonatadas, que ocorre com diferentes intensidades, sendo de uma forma geral um processo diferencial e localizado, que pode levar à diminuição da porosidade. A sua ocorrência em intensidades elevadas leva à ausência quase total das texturas deposicionais e a uma baixa preservação textural dos elementos aloquímicos constituintes da rocha.

É um processo que ocorre principalmente na presença de água, através da ocorrência de dissolução seguida de reprecipitação do mesmo mineral e/ou dum seu polimorfo. Um bom exemplo da ocorrência deste processo nestas rochas é a transformação da aragonite e da calcite com alto teor em magnésio em calcite com baixo teor em magnésio, sendo esta uma das transformações diagenéticas mais importantes nas rochas carbonatadas, uma vez que tem um papel importante no controle e desenvolvimento das propriedades petrofísicas e na sua percentagem de ocorrência bem como na sua composição geoquímica (Flügel, 2004). A substituição de aragonite por calcite envolve a dissolução gradual do cristal de aragonite e a precipitação de calcite, surgindo normalmente diferenças no tamanho e na preservação do cristal.

Folk (1965) introduziu os termos: neomorfismo agradante, neomorfismo coalescente e neomorfismo diminutivo, que permitem diferenciar as diferentes formas de ocorrência dos processos relacionados com o neomorfismo (Flügel, 2004).

As principais marcas/produtos diagenéticos da ocorrência de neomorfismo/recristalização são: desigualdade na distribuição do tamanho dos cristais, cristais estes que se apresentam predominantemente curvos nas interfaces entre eles, a presença de cristais grandes em associação com cristais menores; a ocorrência de ampliação ou diminuição do cristal original; a presença de áreas mais escuras no interior dos cristais (que são relíquias de micrite preexistente em calcários recristalizados); a presença de estruturas de foraminíferos cuja parte central foi substituída por calcite grosseira; as partes internas de algas totalmente substituídas por calcite; a matriz micrítica totalmente alterada por recristalização *aggrading*; a passagem de micrite a microsparite; a presença de pseudosparite; a passagem de microsparite para esparite grosseira, etc (Fig.4.3.).



**Figura 4.3.** Diagrama que ilustra as marcas/produtos devidos à ocorrência e desenvolvimento do neomorfismo ao longo da evolução diagenética de uma rocha carbonatada, adaptado de Folk (1965) e retirado de Ahr (2008).

#### 4.3.6. A DOLOMITIZAÇÃO

O termo dolomitização refere-se ao processo pelo qual um mineral é substituído por outro de composição química diferente, mais concretamente a substituição da calcite por dolomite. É processo pelo qual um calcário e/ou o sedimento precursor é completamente ou parcialmente substituído por dolomite, podendo essa substituição ocorrer de modo pervasivo ou selectivo (*sensu* Murray & Lucia, 1967; Silby, 1982 *in* Azerêdo., 1993). É, em geral, um processo diferencial e localizado que por norma leva ao aumento da porosidade das rochas carbonatadas durante a diagénese (Adams *et al.* 1984) e (Mackenzie & Adams, 1994).

A presença de dolomite nas rochas carbonatadas é devida principalmente a este processo de substituição de calcite por dolomite, apesar de também poder ocorrer como cimento nas mesmas, mas mais raramente.

É um processo diagenético que tanto pode ocorrer durante a diagénese precoce como durante a diagénese tardia. Na diagénese precoce dá-se principalmente por precipitação e crescimento de cimentos laminares em forma de aros em torno das

partículas, normalmente em ambiente inter-supratidal e/ou subtidal, enquanto que na diagénese tardia está geralmente relacionada com o soterramento profundo de calcários (Flügel, 2004).

As condições básicas para a ocorrência de dolomitização são, de acordo com Morrow, 1982a; Machel & Mountjoy, 1986 *in* Azerêdo (1993) são: a disponibilização suficiente de  $Mg^{2+}$  e de  $CO_3^{2-}$  e /ou de  $HCO_3^-$ ; manutenção, por um longo período de tempo, de um mecanismo hidrológico que possibilite o influxo daqueles iões e a exportação de  $Ca^{2+}$  (eficácia do sistema de circulação); existência de sedimento carbonatado com uma determinada composição, porosidade e permeabilidade, entre outros aspectos, susceptível de sofrer dolomitização. Existem vários modelos propostos, por exemplo por Morrow (1982b), Hardie (1987), Tucker (1990), entre outros, que tentam explicar este fenómeno e as condições necessárias para ele ocorrer (Azerêdo, 1993).

Os principais factores determinantes no modo como se processa a dolomitização de um calcário de acordo com Sibley e Gregg (1987), *in* Azerêdo (1993) são: o estado de saturação do fluido dolomitizante; a mineralogia e dimensão dos cristais constituintes do material posto em contacto com o fluido (solução); a temperatura a que se dá a reacção. Nos casos, em que o fluido é sobressaturado em relação à dolomite, vai ocorrer a substituição da calcite e da aragonite que constituem as partículas e do cimento original da rocha, por dolomite.

Os cimentos mais finos constituem um substrato mais propício ao desenvolvimento de cristais de dolomite do que os mais grosseiros, devido àqueles apresentarem uma cristalinidade mais fina e um maior número de núcleos, sendo assim mais facilmente activados por esta transformação mineralógica, ao contrário dos mais grosseiros, que podem levar ou não à ocorrência de dolomitização pervasiva, consoante a natureza original da rocha (Azerêdo, 1993).

Os clastos constituídos por cristais mais grosseiros, como por exemplo os bioclastos, vão apresentar pontos de cristalização mais espaçados do que os clastos formados por cristais menores, como por exemplo os oóides. A probabilidade de acontecer substituição mimética é maior no último tipo de partículas (fragmentos de equinodermes são excepção a esta regra).

Os clastos cuja composição inicial é aragonítica ou calcítico-magnésiana, são mais facilmente dolomitizados (Azerêdo, 1993). Segundo Varol e Magaritz (1991), a dolomitização começa normalmente em torno das periferias dos bioclastos.

Nos casos em que o fluido não esteja muito sobressaturado, ocorrerá selectividade no processo, podendo essa selectividade apresentar vários graus e consequentemente, várias feições petrográficas.

O aumento da pressão e sobretudo da temperatura é favorável à precipitação de dolomite. A temperatura dos fluidos, segundo Gregg e Sibley (1984), influencia a forma dos cristais dolomíticos: temperaturas superiores 50°C provocam a formação de cristais anédricos, não planares, tipo mosaico xenotópico de Friedman (1965), enquanto que, temperaturas inferiores a esse valor parecem favorecer a formação de cristais planares, euédricos e subédricos do tipo mosaicos *idiotópico* e *hipidiotópico* de Friedman, *in* Azerêdo (1993).

Wanless (1979) defende que o crescimento de cristais de dolomite ocorre na maioria das vezes associado a “*non-seam solution*”.

Segundo os estudos de Varol e Matsumoto (2005), a dolomitização pode ocorrer durante o final da diagénese, até temperaturas na ordem dos 40 a 72°C.

Na natureza podem ocorrer diferentes texturas dolomíticas, que podem ser classificadas em: polimodal, planar-s; polimodal, planar-s; matriz dolomítica polimodal,

planar; dolomite planar-e; polimodal, não planar; unimodal, não planar? de acordo com a terminologia de Sibley & Gregg (1987), *in* Azerêdo (1993).

Os mosaicos do tipo unimodal resultam de um único evento de cristalização em núcleos homogeneamente distribuídos, combinados com taxas de crescimento cristalino uniformes, enquanto que os mosaicos do tipo polimodal resultam da distribuição heterogénea dos núcleos derivados de múltiplos períodos de cristalização, ou até de variações da taxa de crescimento no interior da rocha em reacção com o fluido dolomitizante (Azerêdo, 1993).

Os principais exemplos de produtos/marcas de dolomitização visíveis à vista desarmada e/ou simplesmente com o auxílio da lupa de Geólogo, segundo vários autores, são:

- Aspecto maciço de cor variada, que pode ir desde a branca amarelada acinzentada a creme, alaranjada, rosada a encarniçada.

- Aspecto sacaróide, em que por vezes é possível identificar fragmentos de coraliários e de equinodermes, grãos e moldes ferruginizados, preenchimentos irregulares de calcite e/ou argila, como por exemplo veios argilo-ferruginosos (Azerêdo, 1993).

- Evidências de porosidade grosseira a cavernosa importante, do tipo moldada e porosidade não selectiva em canal e/ou mais raramente do tipo fractura, vacuolar, cavernosa (Tucker, 1990). Estes poros podem estar abertos e/ou colmatados (Adams *et al.* (1984) e Azerêdo (1993), enquanto as fissuras quando presentes e no caso de se apresentarem preenchidas, encontram-se regularmente preenchidas por calcite e mais raramente por material argilo-ferruginoso.

Os principais produtos/marcas petrográficas de dolomitização numa rocha carbonatada segundo vários autores são:

- Matriz totalmente dolomitizada, na qual nenhum traço original da rocha é preservado, em que o que se observa, é um mosaico anédrico de cristais de dolomite, resultante da substituição completa de calcite por dolomite (Adams *et al.* 1984).

- Matriz parcialmente dolomitizada, na qual é possível: reconhecer partes da textura original; cristais romboédricos de dolomite esparsamente distribuídos e/ou aleatoriamente distribuídos, geralmente sob a forma de romboedros, podendo estes ser euédricos, ou não; a dolomite a substituir o cimento precursor calcítico; oóides totalmente substituídos, não mimeticamente, em que é possível a percepção da forma do grão, uma vez que os cristais de substituição são mais turvos do que os da matriz; oóides com a periferia ou a totalidade do córtex mimetizada (lamelas concêntricas); grãos com apenas substituição no núcleo (Azerêdo, 1993), (Mackenzie & Adams, 1994) e (Adams *et al.* 1984).

- Aglomerados de romboedros dolomíticos a contornarem os grãos micríticos de forma circular e concentrações de romboedros em faixas e tubulações separadas por micrite não afectada pelo processo (Azerêdo, 1993).

- Cristais de cristalinidade fina a média, constituindo um mosaico xenotópico, com cristais anédricos a subédricos de dolomite (Azerêdo, 1993).

- A presença de cristais romboédricos de dolomite de aspecto turvo e de cristais romboédricos zonados esparsamente distribuídos, em que a forma está claramente delineada pelo zonamento (de aspecto turvo também, com ou sem auréola periférica límpida) e de romboedros que se apresentam turvos no centro e límpidos na periferia (Azerêdo, 1993), (Mackenzie & Adams, 1994).

- Presença de cristais dolomíticos que exibem mudanças na cor original, passando a apresentar uma cor castanha escura, principalmente visíveis nas margens de alguns cristais (Adams *et al.* 1984).

- O recurso à catodoluminescência de dolomitos permite visualizar: a zonação de romboedros, em que as bandas não-luminescentes correspondem, em luz natural, às zonas mais límpidas do cristal e as luminescentes às zonas mais turvas; e situações em que a dolomite se apresenta não corada e com textura planar-s, excepto junto à fissura, onde ocorrem cristais euédricos (Azerêdo, 1993).

- A precipitação (localmente) de dolomite rica em ferro preferencialmente nas fracturas e/ou poros substituindo a calcite, podendo ocorrer substituição parcial e/ou total (Azerêdo, 1993).

- O preenchimento dos vacúolos (*Vugs*) por cristais de dolomite é normalmente caracterizado pelo crescimento de cristais dolomíticos nas paredes do *Vug*, envolvidos por películas mais brancas de dolomite e de fronteiras bem marcadas entre dolomite fina e grosseira (Varol & Magaritz, 1991). Segundo os mesmos autores, as inclusões de hábito fibroso ocorrem preferencialmente nas fracturas e nos *Vugs*, inclusões essas, que são incorporadas durante o crescimento dos cristais de dolomite; os *Vugs* que exibem cristais de dolomite de aspecto nublado, estão quase sempre conectados com microfracturas.

- Clastos com diferentes estádios de preservação e/ou somente representados pelos seus moldes. Quando os clastos estão substituídos por dolomite de cristalinidade média a grosseira, a textura original do carbonato fica obliterada, podendo-se casualmente preservar a forma mas não a estrutura dos aloquímicos (Azerêdo, 1993).

- Presença de bioclastos com diferentes graus de preservação da estrutura original, em que, como exemplo, podemos ter bioclastos substituídos de forma mimética perfeita (por exemplo: equinodermes) ou imperfeita (por exemplo: algas, moluscos, ostracodos) e moldes não preenchidos, circulares, interpretados como biomoldes (Azerêdo, 1993).

- Ocorrência de substituição mimética, que nos calcários dolomíticos/dolomitos pode levar a que sejam perceptíveis as formas dos pelóides, intraclastos e bioclastos a microfósseis (Varol & Magaritz, 1991).

- Os pelóides são, de uma maneira geral, as componentes que mais resistem a dolomitização total, sendo muitas vezes somente parcialmente substituídos por cristais de dolomite (Adams *et al.* 1984).

- Texturas “fantasma”, que se devem ao facto de, no sedimento inicial que foi dolomitizado, ainda ser possível visualizar na matriz totalmente substituída por dolomite, a forma dos elementos aloquímicos, nomeadamente correspondentes a pelóides, que resistem a essa massiva dolomitização, sendo apenas parcialmente substituídos.

#### **4.3.7. A DESDOLOMITIZAÇÃO**

É um processo que consiste na substituição da dolomite por calcite (Adams *et al.* 1984). Trata-se de um processo usual nas rochas carbonatadas que envolve soluções em que a relação  $Ca^{2+}/Mg^{2+}$  é elevada, levando à calcitização dos romboedros de dolomite, em que se dá a substituição da dolomite por calcite, o que leva a que grande parte dos cristais romboédricos dolomíticos da rocha inicial passem a ser de natureza calcítica (Azeredo, 1993). A desdolomitização ocorre normalmente próximo da superfície, sob a influência de águas meteóricas (devido a sua acção oxidante) e/ou devido a mistura de fluidos de composição diferente (Flügel, 2004). É um processo diagenético que tanto pode ocorrer durante a diagénese precoce como durante a diagénese tardia. A desdolomitização durante a diagénese precoce é devida principalmente: a instabilidade do dolomite e da calcite magnesiana que facilita a

substituição dos núcleos dos romboedros e dolomite por calcite, a recristalização perto da superfície em condições meteóricas (em que por exemplo; são visíveis romboedros exibindo calcite microcristalina com zonas zonadas de hematite) e a dissolução meteórica de romboedros com posterior preenchimento por cimentos granulares (Flügel, 2004).

A ocorrência de desdolomitização durante a diagénese tardia é controlada pela variação da salinidade da água presente nos poros da rocha durante o soterramento, estas variações da salinidade podem resultar: da instabilidade diagenética de calcite/dolomite ou da corrosão de romboedros zonados ao longo dos planos de clivagem, com formação de poros intracristalinos e mais tarde com crescimento de calcite sintáctica dentro desses poros.

As principais marcas/ produtos diagenéticos deste processo segundo vários autores são:

- Ocorrência de “áreas moldadas” correspondentes a antigos grandes romboedros de dolomite, substituídos por um mosaico de pequenos cristais de calcite, em que a matriz pode estar ou não, consoante o caso, fortemente marcada por desdolomitização (Adams *et al.*1984).

- A presença de romboedros desdolomitizados em que é visível no seu interior esparite grosseira.

- Romboedros de dolomite substituídos por mosaicos de pequenos cristais de calcite, podendo ou não esses romboedros exibir textura interna heterogénea.

- Bordos dos romboedros formados por calcite colunar e no interior por esparite grosseira de crescimento drúsico (mais ou menos equicristalina).

- Diluição dos contornos dos romboedros com preservação dos centros turvos (“textura grumosa”) (Azerêdo, 1993).

- Presença de inclusões de óxidos de ferro e biomoldes preenchidos por calcite posterior à dolomitização e delineados por cristais de dimensão inferior aos da matriz envolvente (Azerêdo, 1993).

- Precipitação de cimento calcítico, principalmente nos *Vugs* e nas fracturas e microfracturas existentes (Varol & Magaritz, 1991) e (Adams *et al.*1984).

- Fissuras preenchidas por calcite ferrosa (de coloração lilás) (Azerêdo, 1993);

- Inclusões por vezes de quartzo autigénico (Adams *et al.*1984).

A substituição do material preexistente pode ocorrer em duas situações: substituição de forma directa, no caso de estarmos perante um mosaico equicristalino e/ou por preenchimento após dissolução do romboedro dolomítico inicial, em que vamos ter um mosaico drúsico (Azerêdo, 1993).

Em suma, uma rocha carbonatada ao longo da sua evolução diagenética pode ser afectada mais do que uma vez por cada um destes processos diagenéticos anteriormente abordados.

#### 4.4. AMBIENTES DIAGENÉTICOS NAS ROCHAS CARBONATADAS

Os principais ambientes diagenéticos são: o meteórico, o marinho freático e o de soterramento profundo (**Fig.4.5.**).

Cada um destes ambientes é um sistema único, onde ocorrem determinados processos e/ou associações de processos diagenéticos específicos, que originam marcas/produtos específicos de cada ambiente. Estas marcas/produtos podem levar ao incremento e/ou à diminuição da porosidade e da permeabilidade das rochas (Flügel, 2004).

Estes ambientes passam, geralmente, vertical e lateralmente de uns para os outros ao longo da evolução diagenética de uma rocha, sob condições físicas e químicas que vão mudando gradualmente consoante os ambientes e os processos diagenéticos actuantes. Estas passagens são principalmente devidas à ocorrência de flutuações do nível do mar, movimentos tectónicos e/ou por aumento ou diminuição do soterramento (Flügel, 2004).

O estudo dos tipos de cimentos existentes em cada rocha carbonatada é de extrema importância, porque nos indica os vários ambientes e tipos processos que actuaram durante a evolução diagenética de uma rocha ao longo da sua história geológica, e ao mesmo tempo demonstram a relação existente entre cada ambiente e os produtos resultantes da actuação dos vários processos diagenéticos ocorridos. Trata-se de um estudo muitas vezes difícil, devido a existirem ambientes diagenéticos que, apesar de serem diferentes, por vezes formam tipos idênticos de cimentos precipitados, como é o caso da sparite drúsica, que tanto pode ocorrer em ambientes meteóricos como em ambientes de soterramento profundo (Flügel, 2004). Outro exemplo associado à problemática do estudo dos cimentos é a presença de cristais de calcite com elevado teor de ferro, que são normalmente comuns em ambientes de soterramento, mas também podem existir perto da superfície em condições anóxicas (Scholle e Halley, 1985, *in* Flügel, 2004).

##### 4.4.1. O AMBIENTE METEÓRICO

É um ambiente caracterizado pela ocorrência de uma grande variedade de modificações/transformações diagenéticas nas rochas, sendo estas principalmente devidas a uma série de reacções, governadas por factores intrínsecos e extrínsecos ao próprio sedimento carbonatado. Os factores intrínsecos são: a mineralogia, o tamanho das partículas, a porosidade e permeabilidade, enquanto que os extrínsecos são o clima, vegetação e tempo. Os dois factores com maior importância são o clima e a mineralogia. O clima e o quimismo/fluxo dos fluidos no interior das camadas são factores determinantes para a natureza e extensão da diagénese ocorrida.

Os principais processos diagenéticos que ocorrem neste ambiente são: a dissolução e a cimentação devido às águas meteóricas serem acidificadas pelo CO<sub>2</sub> da atmosfera e/ou do solo, o que vai permitir a dissolução dos carbonatos, principalmente da aragonite e da calcite com elevado teor em magnésio. Trata-se de ambiente que apresenta um alto potencial para modificar a porosidade tanto ao nível da sua destruição por cimentação como ao nível da sua geração por dissolução.

Nos casos em que os calcários, devido a ocorrência de telodiagénese, são expostos na superfície terrestre e/ou perto dela, são automaticamente submetidos à diagénese meteórica, envolvendo principalmente a ocorrência de dissolução do calcário, que pode originar carsificação e efeitos gerados nos solos (Tucker, 1990). A

carsificação altera profundamente a rocha e provoca a ocorrência de alta porosidade e a produção de uma solução que vai alterando progressivamente a rocha (Flügel, 2004).

Este ambiente está dividido em duas zonas: uma zona situada a acima dos lençóis de água, que corresponde ao ambiente meteórico vadoso e uma outra zona situada a abaixo do nível freático que corresponde ao ambiente meteórico freático. Estas zonas apresentam diferenças significativas entre si, nomeadamente no que diz respeito à circulação de água e aos processos diagenéticos actuantes e suas taxas de ocorrência.

#### **4.4.1.1. O ambiente meteórico vadoso**

Caracteriza-se pela interacção água/ar, devido ao espaço poroso existente nos sedimentos/rocha estar periodicamente preenchido por água doce ou ar, ou por ambos, devido às variações sazonais do nível freático.

Trata-se de uma zona que em geral apresenta fluxos difusos de água, que são chamados de fluxos de infiltração e/ou verticais, devido à sua drenagem ser feita sob influência da gravidade. A água nesta zona está normalmente concentrada/fixada por capilaridade às partículas constituintes da rocha.

Este ambiente está geralmente subdividido em duas subzonas, uma correspondente à parte superior, onde há maior interacção ar/sedimento, e a parte inferior, que corresponde à zona vadosa inferior e que se situa logo acima do lençol freático, a qual apresenta condições mais favoráveis à ocorrência mais eficiente e acentuada de determinados processos diagenéticos modificadores da porosidade como, por exemplo, cimentação, enquanto que a parte superior favorece a ocorrência de dissolução.

As marcas/produtos do ambiente vadoso em geral são: a remoção da aragonite, formação de porosidade do tipo moldada e precipitação dos seguintes tipos de cimento carbonatado: radial, menisco, fibroso, laminar, dente de cão, e crescimento de calcite microcristalina. Os fabricos típicos deste ambiente são o: gravitacional, circumgranular, syntaxial, drúsico e por vezes granular e equicristalino (Flügel, 2004).

A ocorrência de desdolomitização em ambiente vadoso pode levar à formação de calcite porosa, que pode levar a manutenção da porosidade e/ou até mesmo ao aumento da mesma.

#### **4.4.1.2. O ambiente meteórico freático**

É caracterizado por uma saturação permanente dos espaços porosos da rocha por água doce e pela ocorrência de cimentação rápida. Por norma, os cimentos precipitados neste ambiente apresentam baixos teores em magnésio, devido ao facto de a composição da água meteórica ter um baixo teor Mg/Ca, o que conseqüentemente leva à ocorrência de dissolução da aragonite e da calcite magnésiana e posterior cimentação por precipitação de calcite com baixo teor em magnésio (Flügel 2004).

O ambiente meteórico freático está dividido em duas zonas, devido principalmente às diferenças registadas no movimento da água no espaço poroso. A parte superior corresponde a zona activa, onde ocorre a circulação de água normalmente saturada em  $\text{CaCO}_3$ , enquanto que a parte inferior corresponde a uma zona de baixa circulação de água e com de condições de estagnação.

A zona estagnada é caracterizada pela ocorrência de uma baixa percentagem de cimentação e de dissolução, ocorrendo usualmente a estabilização da aragonite e da calcite com alto teor em magnésio e preservação da porosidade primária (Flügel 2004).



A migração da água no interior da rocha dá-se em geral lateralmente; no entanto, nalgumas situações, o fluxo pode ser direccionado, nomeadamente quando as rochas apresentam níveis mais porosos e/ou zonas fracturadas.

#### **4.4.1.3. Zonas de mistura**

Nos dois ambientes meteóricos referidos, podem existir zonas de mistura, resultantes da mistura de águas meteóricas e marinhas, que ocorrem geralmente em estratos ou camadas mais porosas e/ou permeáveis situadas próximas de zonas costeiras. Esta mistura é essencialmente devida à alta velocidade de descarga de fluxo do lençol de água oriundo das zonas continentais próximas do ambiente marinho (Flügel, 2004).

Esta mistura de águas de composição química diferente tem um elevado potencial ao nível da actividade geoquímica, funcionando como motor/acelador para a ocorrência de vários processos diagenéticos nessa área. Tem como principais marcas/produtos diagenéticos: a precipitação de aragonite e de cimento dolomítico, a ocorrência de dolomitização selectiva e/ou pervasiva das rochas, a precipitação de cimentos em menisco.

#### **Sintetizando**

Em suma, as marcas/produtos do ambiente meteórico em geral são: a precipitação de aragonite e de calcite magnésiana (em zonas de mistura), o desaparecimento gradual da aragonite por dissolução e/ou substituição desta por calcite, a substituição gradual da calcite com elevados teores em magnésio por calcite de baixo teor em magnésio, a precipitação de cimentos do tipo fibroso, menisco, ponte, drúsico, dente de cão, peloidal microcristalino, syntaxial e a ocorrência de porosidades do tipo vacuolar e moldada.

Os fabricos tipicamente presentes são: drúsico, granular, gravitacional, equicristalino e crescimento syntaxial (Flügel, 2004).

#### **4.4.2. O AMBIENTE MARINHO FREÁTICO**

É um ambiente que tem lugar em zonas margino-marinhas, águas rasas ou no fundo do mar e/ou logo um pouco abaixo do mesmo, em condições em que os poros da rocha estão preenchidos por água marinha (Flügel, 2004). Este ambiente é subdividido em dois domínios, um correspondente ao domínio marinho pouco profundo e outro correspondente ao domínio marinho profundo, podendo cada um destes domínios ser posteriormente subdividido em zonas distintas.

Como a maior parte dos carbonatos é depositado em ambientes marinhos, a diagénese começa quase automaticamente logo depois da sua deposição, devido aos poros estarem permanentemente saturados de água marinha.

##### **4.4.2.1 O ambiente marinho pouco profundo**

Corresponde a áreas de elevada actividade de correntes, onde a água é bombeada através dos sedimentos (por exemplo; em linhas de costa e margens carbonatadas). As águas deste ambiente apresentam-se em geral sobressaturadas em  $\text{CaCO}_3$ , e vão potenciar a ocorrência do processo de cimentação através da precipitação de aragonite e de calcite com elevado teor em magnésio. Estes dois minerais precipitados neste domínio têm um papel importante em toda a evolução diagenética de uma rocha carbonatada, uma vez que são minerais metastáveis e com elevado potencial

para gerar porosidade secundária ao longo evolução diagenética de rocha durante o ambiente de soterramento (Tucker, 1990).

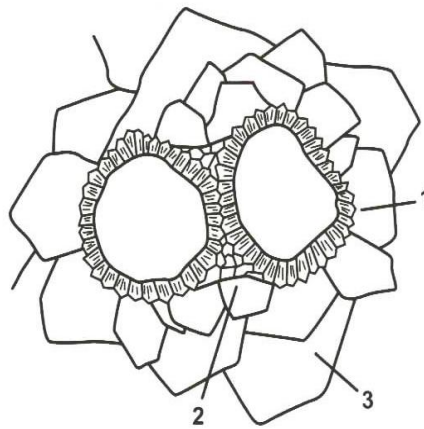
Neste domínio marinho pouco profundo é possível distinguir três zonas: a primeira correspondente ao ambiente marinho freático activo (zonas rasas), onde os poros estão constantemente a ser encharcados e ocorre cimentação rápida por aragonite (em franja) e calcite magnesiana e/ou presença de vários tipos de cimento (por exemplo; recifes); a segunda zona correspondente ao ambiente marinho freático estável, onde o movimento de fluidos é pobre, a micritização microbiana dos grãos é um fenómeno sempre presente e a cimentação é limitada (por exemplo; lagunas carbonatadas). A terceira zona corresponde ao ambiente marinho freático vadoso, onde a cimentação ocorre maioritariamente através da evaporação da água do mar podendo haver também efeitos microbianos (por exemplo: praias e zonas de rebentação) (Tucker, 1990).

#### 4.4.2.2.O ambiente marinho profundo

É caracterizado por presença de águas frias subsaturadas em  $\text{CaCO}_3$ , que levam à ocorrência de dissolução da aragonite e da calcite no talude continental, dependendo dos níveis de compensação dos dois minerais e da mineralogia do sedimento envolvente. É um domínio caracterizado pela ocorrência de micritização e de baixa sedimentação sin-sedimentar e de rara cimentação.

Em águas subsaturadas em relação ao  $\text{CaCO}_3$  ocorre dissolução forte da aragonite e da calcite.

As marcas/produtos do ambiente marinho freático são: cimento fibroso, acicular, botrioidal, radial, dente de cão e algum crescimento syntaxial. Os hardgrounds são os melhores indicadores de diagénese marinha.



1. MARINE PHREATIC – ISOPACHOUS RIM CEMENT
2. VADOSE – MENISCUS CEMENT
3. BLOCKY CALCITE – LATE BURIAL CEMENT

**Figura 4.4.** Esquema ilustrando os diferentes tipos de cimentos precipitados ao longo da evolução diagenética de uma rocha, de acordo com ambiente diagenético em que se encontram, retirado de Ahr (2008).

#### 4.4.3. O AMBIENTE DE SOTERRAMENTO

É um ambiente localizado a grandes profundidades, caracterizado pelo aumento progressivo da profundidade, da temperatura e da pressão devido a sobrecarga dos sedimentos posteriormente depositados, que levam ao aumento progressivo da pressão litostática com o soterramento, o que conseqüentemente provoca a ocorrência de modificações/transformações acentuadas nos sedimentos carbonatados neste ambiente.

Os principais processos diagenéticos actuantes neste ambiente são: a dissolução e a compactação, podendo também ocorrer cimentação e dolomitização. Estes processos operam num intervalo considerável de profundidade, pressão e temperatura, na presença de fluidos intersticiais que podem ter várias origens, fluxos e/ou composições químicas diferentes, e que levam à diminuição da espessura das camadas e à formação de texturas e de tipos de cimentos específicos neste ambiente.

A ocorrência de dissolução das partículas das rochas é uma fonte significativa de  $\text{CaCO}_3$  para a cimentação posterior e/ou dolomitização durante o soterramento. A dissolução sob pressão é devida, sobretudo, ao aumento da solubilidade do material resultante do aumento da força aplicada no contacto entre as partículas, devido à ocorrência de compactação.

A compactação, neste ambiente, de uma maneira geral, provoca a ocorrência de ruptura, achatamento e distorção das partículas e, ainda, a uma redução significativa da porosidade e da permeabilidade, juntamente com cimentação.

As morfologias dos cimentos precipitados neste ambiente são muito influenciadas pela natureza química dos fluidos presentes no subsolo, nomeadamente a sua quantidade em Ferro, dado que a presença elevada desse elemento leva a ocorrência de padrões de zonamento em alguns cristais.

A porosidade nas rochas carbonatadas de uma forma geral diminui com o aumento da profundidade, como resultado principalmente de compactação e de cimentação; no entanto, pode ser criada porosidade em profundidade através da dissolução e/ou até por compactação, devido à ocorrência de fracturas individuais e/ou famílias de fracturas (Flügel, 2004). Outros aspectos a ter em conta na avaliação das modificações tardias de porosidade por dissolução e cimentação são: a degradação térmica de hidrocarbonetos e o lento fluxo de fluidos conatos (fluidos basais) durante o soterramento progressivo (Flügel, 2004).

Os factores intrínsecos que controlam a diagénese em carbonatos neste ambiente, são: a mineralogia dos calcários, a textura, a taxa de remoção dos minerais metastáveis nas fases diagenéticas anteriores; os tipos de cimentos precipitados nas fases diagenéticas anteriores (cimentos esses que vão condicionar a acção da compactação em ambientes mais profundos), a geometria/distribuição e calibragem das partículas, o conteúdo em argila, a quantidade e natureza da fracção orgânica, a porosidade, a permeabilidade e a rigidez da rocha (Flügel, 2004).

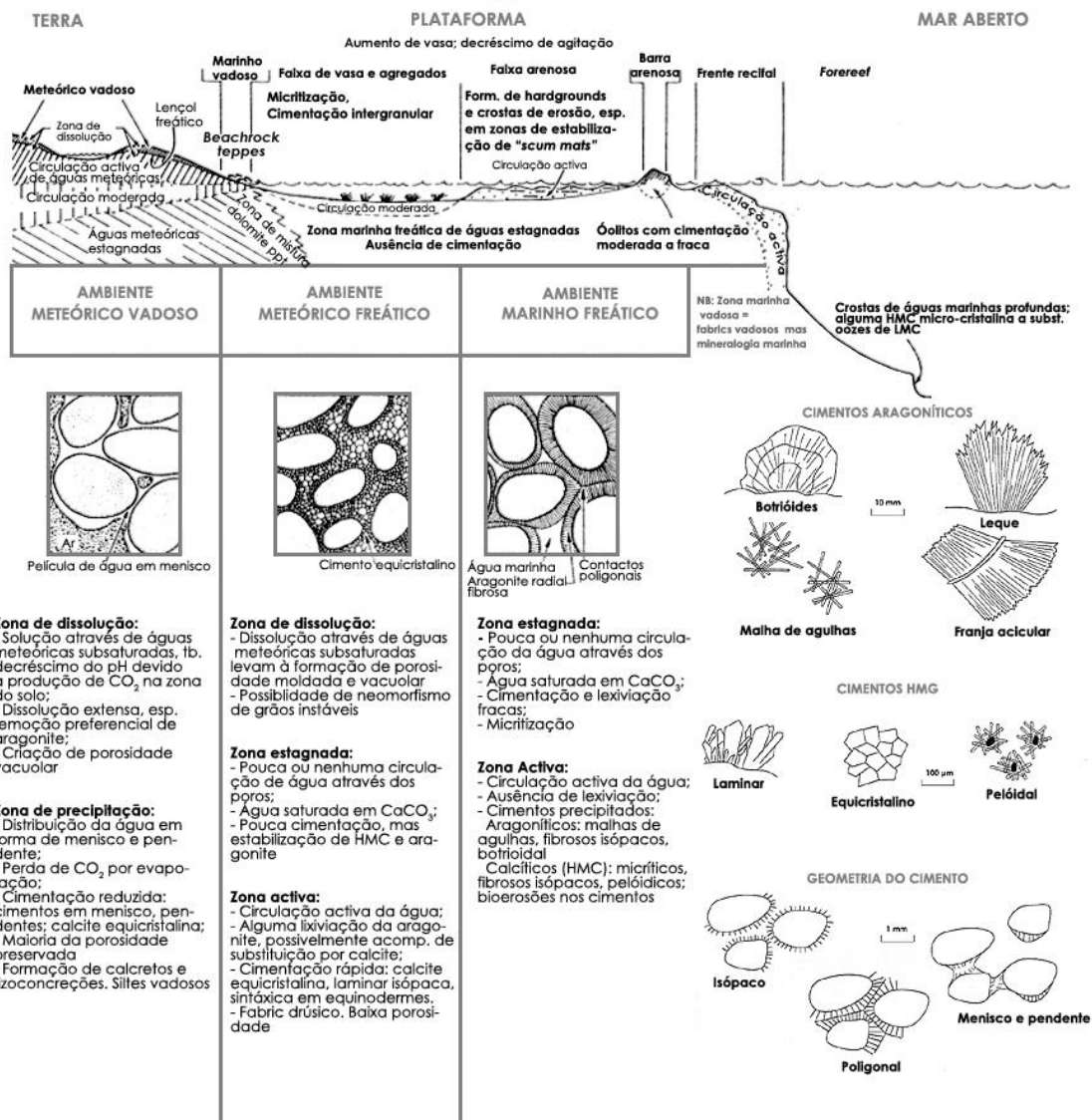
Os factores extrínsecos à própria rocha são: a pressão litostática, a pressão hidrostática, a pressão tectónica, a temperatura, o quimismo dos fluidos (quantidade, fluxo e tempo de residência) existentes no interior do espaço poroso. Estes fluidos sofrem normalmente alterações significativas da sua composição química ao longo do soterramento e afectam determinantemente a taxa a que ocorrem as reacções diagenéticas (Tucker, 1990) (Flügel, 2004).

As principais marcas/produtos resultantes da ocorrência dos processos diagenéticos neste ambiente são: o ajustamento das partículas, a perda do arranjo inicial das partículas, partículas com contactos suturados, partículas fracturadas, estruturas micríticas quebradas (acontece quando a aragonite é dissolvida antes), a dissolução e

calcitização da aragonite (quando a mesma não for removida durante a diagénese meteórica mais recente), estilólitos de vários tipos, a desidratação de minerais e a maturação da matéria orgânica com produção de hidrocarbonetos, etc. Este ambiente é em geral caracterizado pela presença de vários tipos de estruturas de pressão (Fig.3.17.).

Os principais tipos de cimento precipitados neste ambiente são: bloco, poiquilotópico, calcite em dente de cão, radial. Os tipos de fabrics característicos deste ambiente são: o mosaico drústico, mosaico equigranular, mosaico granular e syntaxial *overgrowth* (Flügel, 2004).

Em suma, o estudo de pormenor da evolução diagenética de uma rocha durante ambiente soterramento é vital para a avaliação e compreensão da porosidade e da permeabilidade da mesma (Flügel, 2004).



**Figura 4.5.** Esquema de uma plataforma carbonatada ilustrando a relação entre ambientes, tipos de cimento e processos diagenéticos gerais (adap. De Parker & Sellwood, 1994 e Wright, 2002., in Pimentel, 2005).

## 4.5. SISTEMA PETROLÍFERO

Um sistema petrolífero é composto por um conjunto de factores e processos que, numa bacia sedimentar, contribuem para a formação de acumulações de petróleo gerado por uma ou mais rochas geradoras. É caracterizado pela presença de uma rocha geradora, uma rocha reservatório e de uma armadilha de retenção tridimensional que impede a migração dos hidrocarbonetos rumo à superfície, levando à ocorrência de acumulações de hidrocarbonetos nos reservatórios.

As condições e factores necessários para a formação de um jazigo de petróleo são:

- Existência de uma bacia sedimentar com uma espessura suficiente de sedimentos.
- Ocorrência de subsidência da bacia.
- Presença de regime térmico.
- Existência de uma ou mais rochas geradoras. Uma rocha-geradora pode dar origem a múltiplos sistemas petrolíferos numa bacia.
- Existência de uma rocha reservatório com boa porosidade e permeabilidade.
- Existência de armadilha capaz de impedir a migração dos hidrocarbonetos até à superfície, mais antiga do que a geração e/ou a migração dos mesmos.

### 4.5.1. ROCHAS GERADORAS

São rochas cronológica e estruturalmente formadas antes das rochas que materializam os reservatórios e as armadilhas. São rochas ricas em matéria orgânica e de granularidade muito fina, que foram submetidas a temperaturas suficientemente elevadas para permitir a geração de hidrocarbonetos, com posterior migração para as rochas reservatório (Corrêa, 2003).

### 4.5.2. MIGRAÇÃO DOS HIDROCARBONETOS

Os hidrocarbonetos, após serem gerados na rocha geradora, iniciam a sua migração em busca de zonas de menor pressão até ficarem retidos numa armadilha; a inexistência de uma armadilha que se interponha no seu caminho durante a migração, permitirá o seu percurso continuado até se perderem através de exsudações, oxidação e/ou degradação bacteriana na superfície (Corrêa, 2003).

A migração dos hidrocarbonetos desde a rocha geradora até à armadilha é normalmente subdividida em duas etapas, nomeadamente, em migração primária e migração secundária. À migração primária corresponde a expulsão dos hidrocarbonetos da rocha geradora, enquanto que à migração secundária corresponde todo o percurso vertical e/ou horizontal dos hidrocarbonetos através de uma ou mais camadas de rochas mais porosas e permeáveis (muitas vezes por vias tortuosas) até serem interceptados por uma armadilha (Corrêa, 2003). Esta migração depende de determinados factores/condições favoráveis para a sua migração que, por norma, dependem de propriedades intrínsecas à própria rocha, como a porosidade e a permeabilidade (Thomas, 2001). As formas de migração têm várias explicações, consoante o tipo de acumulações existentes (Thomas, 2001). O destino da migração depende da eficiência da armadilha e/ou armadilhas que os hidrocarbonetos encontrarem durante a sua migração.

### 4.5.3. ARMADILHAS

No sentido em apreço, uma armadilha consiste numa estrutura geológica que apresenta uma configuração geométrica tridimensional capaz de impedir a migração dos hidrocarbonetos rumo à superfície e que, ao mesmo tempo, permite o armazenamento e acumulação dos hidrocarbonetos nas rochas reservatório; é composta por uma rocha reservatório e por uma ou mais rochas selo (Biddle & Wielchowsky, 1994).

O termo armadilha engloba todas as variantes de situações em que possa existir a concentração de hidrocarbonetos, nomeadamente: armadilhas estruturais, armadilhas estratigráficas, armadilhas mistas, armadilhas diagenéticas, armadilhas hidrodinâmicas e armadilhas hidrostáticas. Para a avaliação do nível da eficácia de uma armadilha é necessária uma análise de detalhe dos reservatórios e dos selos, dado que são parte integrante da mesma, uma vez que é a disposição geométrica dos reservatórios e dos selos que determina o tipo de armadilha presente (Biddle & Wielchowsky, 1994).

As armadilhas de hidrocarbonetos, além de terem diferentes origens, podem também apresentar características e dimensões muito heterogéneas, dependendo do grau de estruturação da bacia, da existência ou não de inter-relação entre elas e dos contactos que essas armadilhas propiciem entre as rochas geradoras e os reservatórios (Thomas, 2001).

As armadilhas podem ser divididas em três grandes categorias: **armadilhas estruturais, armadilhas estratigráficas e armadilhas mistas.**

#### 4.5.3.1. Armadilhas estruturais

São armadilhas que têm controle estrutural e que são o resultado das respostas das rochas que constituem as bacias aos esforços e deformações aplicadas, sendo nesse tipo que se enquadram as dobras e falhas. É normalmente este tipo de armadilhas que detém os maiores volumes de hidrocarbonetos que, de uma maneira geral, se situam nos maiores reservatórios existentes em dobras do tipo anticlinal ou em blocos falhados (Thomas, 2001).

As armadilhas estruturais podem ser subdivididas em sub-categorias, nomeadamente em: armadilhas associadas a dobras, armadilhas associadas a falhas, armadilhas associadas a intrusões e armadilhas mistas que exigem a combinação de elementos resultantes da combinação de dobras e falhas (Biddle & Wielchowsky, 1994).

#### 4.5.3.2. Armadilhas estratigráficas

As armadilhas estratigráficas não têm que ter uma relação directa com os esforços tectónicos actuantes nas bacias sedimentares em que se encontram (Thomas, 2001).

São armadilhas principalmente devidas a: variações de carácter sedimentológico, nomeadamente devido à existência de variações laterais e verticais de fácies nas camadas sedimentares que, conseqüentemente, levam à presença de variações verticais e laterais da porosidade e da permeabilidade; ocorrência de interdigitações laterais de níveis, camadas e/ou formações no interior de uma bacia e/ou devido às modificações/transformações devidas à ocorrência de processos diagenéticos após a deposição das camadas sedimentares na bacia.

As armadilhas estratigráficas são agrupadas em três sub-categorias: armadilhas estratigráficas deposicionais (primárias), armadilhas estratigráficas associadas a discordâncias (acima ou abaixo da discordância) e armadilhas estratigráficas secundárias (Biddle & Wielchowsky, 1994).

As armadilhas estratigráficas secundárias podem ser subdivididas em dois tipos: armadilhas estratigráficas pós-deposicionais e armadilhas estratigráficas associadas a aumento da porosidade.

As armadilhas estratigráficas pós-deposicionais resultam, obviamente, da alteração/transformação das rochas após a sua deposição. Estas modificações podem tanto originar rochas reservatório de boa qualidade, derivadas de rochas que inicialmente não eram reservatórios, como criar selos em antigos reservatórios, devido a perda de porosidade pela ocorrência de cimentação do espaço poroso.

As armadilhas estratigráficas associadas a aumento da porosidade estão normalmente relacionadas com a melhoria acentuada da qualidade do reservatório, devido à geração de porosidade secundária por dissolução e por dolomitização, que leva a um aumento da porosidade e de permeabilidade da rocha durante o soterramento.

Neste tipo de armadilhas a perda de porosidade das rochas não está apenas limitada à precipitação de cimentos diagenéticos, mas também à presença de asfaltos, “permafrost” e hidratos de gás (que são agentes que podem funcionar como selos para este tipo de armadilhas).

#### **4.5.3.3. Armadilhas mistas**

Correspondem àquelas situações em que as acumulações de hidrocarbonetos têm controle tanto de elementos estruturais como de elementos estratigráficos (Thomas, 2001).

#### **Sintetizando a globalidade das armadilhas:**

As armadilhas de uma maneira geral funcionam como barreiras à circulação de fluidos, tanto para águas como para hidrocarbonetos e/ou outro tipo de fluidos que migrem para outras camadas de rocha devido à pressão, ocorrendo migração secundária em direção à superfície, a qual só é “parada” pela interposição de armadilhas. Estas armadilhas podem também funcionar como barreiras de protecção de aquíferos subterrâneos à poluição superficial.

Do ponto de vista petrolífero, se numa bacia existem condições para a geração, migração e armazenamento de hidrocarbonetos num reservatório, para que ocorra uma acumulação é necessário que exista uma armadilha que se interponha no caminho da migração dos mesmos rumo à superfície, levando-os a ficarem armazenados na rocha reservatório (Corrêa, 2003). Em última instância, de nada vale uma bacia sedimentar estar dotada de rochas potencialmente geradoras e de bons reservatórios se não estiverem presentes armadilhas capazes de conter a migração dos hidrocarbonetos (Thomas, 2001).

#### **4.5.4. SELOS**

Uma rocha selo é uma rocha cujo espaço poroso é constituído por poros muito pequenos e com baixa conectividade entre eles o que, conseqüentemente, leva a que a porosidade e a permeabilidade dessa rocha sejam bastante baixas, não permitindo a passagem dos hidrocarbonetos adjacentes.

Qualquer litologia pode servir como um selo para a ocorrência de uma acumulação de hidrocarbonetos. A presença de um selo é um elemento vital para o sistema petrolífero, dado que a sua extensão geográfica define os limites de eficácia do sistema petrolífero (Biddle & Wielchowsky, 1994).

A eficiência das rochas selo depende da sua litologia, espessura, ductilidade, extensão, uniformidade e da evolução diagenética ao longo do tempo.

A uniformidade é um factor muito importante, uma vez que a existência de variabilidade lateral e/ou vertical de fácies das camadas carbonatadas que constituem os selos, representa um elevado risco de fuga dos fluidos e uma limitação a ter em conta para a análise da eficácia da armadilha (Biddle & Wielchowsky, 1994). A ductilidade é um factor que possibilita às rochas selo a manutenção da sua condição de selante, mesmo depois de serem submetidas a esforços derivados de compactação e/ou de deformações tectónicas (Biddle & Wielchowsky, 1994).

As rochas selo são em geral divididas em duas classes principais, nomeadamente em: selos regionais que impedem a migração de hidrocarbonetos e selos locais que limitam a acumulação (Biddle & Wielchowsky, 1994). Para o entendimento dos selos existentes num sistema petrolífero, o seu estudo deve-se primeiramente focalizar apenas nas superfícies impermeáveis que impedem e controlam a migração dos hidrocarbonetos para os reservatórios de maior volume (Biddle & Wielchowsky, 1994).

### **Alguns exemplos de selos em rochas carbonatadas**

- Selos originados pela presença de variações laterais e verticais de fácies e/ou pela ocorrência de interdigitações laterais de camadas diferentes.
- Selos originados pela ocorrência de processos diagenéticos ao longo da evolução diagenética de uma rocha carbonatada inserida numa sequência estratigráfica.
- Selos originados pela presença de rochas selo intercaladas numa sequência de rochas mais porosas e permeáveis.
- Selos originados pela justaposição de diferentes tipos de camadas constituídas por diferentes litótipos.
- Selos originados pela presença de falhas. As falhas podem criar ou modificar selos, devido a justaporem e/ou colocarem em contacto diferentes tipos de rocha com diferentes porosidades e permeabilidades, diferentes de cada lado do plano de falha. Podem também ocorrer selos originados por falhas que, apesar de cortarem a rocha selo, podem estar seladas pela presença de material pouco permeável arrastado para a zona de falha e/ou por ocorrência de cimentação preferencial ao longo da falha.

Em suma: os selos laterais de forma geral impedem a migração dos hidrocarbonetos para todos os lados da armadilha e estão normalmente associados a armadilhas estratigráficas, diagenéticas e/ou então são criados pela justaposição de diferentes tipos de litótipos de rocha (Jordan & Wilson, 1994).

### **Exemplos de algumas causas para a não eficiência dos selos**

- Presença de uma e/ou mais falhas não seladas que cortam o selo e que estão em contacto com rochas mais porosas e permeáveis (provocando assim vazamento dos hidrocarbonetos da armadilha).
- Presença de rede de fracturas não seladas ao longo da falha principal que corta o selo.
- Ocorrência de diagénese que pode levar à formação de porosidade secundária nos selos e/ou ao longo do plano de uma falha (principalmente dissolução).



#### 4.5.5. ROCHAS RESERVATÓRIO

As rochas reservatório podem ser de qualquer origem ou natureza, desde que apresentem a capacidade de armazenar fluidos (óleo, gás e/ou água) no seu espaço poroso. Para uma rocha carbonatada constituir um bom reservatório deve apresentar uma boa porosidade primária ou secundária e/ou de fractura, boa permeabilidade efectiva e um volume que permita acomodar uma grande quantidade de fluidos. Na maioria dos casos, estas rochas são mais extensas na realidade do que a área e/ou áreas correspondentes aos depósitos de fluidos nelas encontrados (Corrêa, 2003).

Um reservatório, para ser considerado comercialmente produtivo, deve apresentar as seguintes condições, segundo Corrêa (2003):

- A rocha reservatório deve apresentar uma porosidade suficiente para conter fluidos e ter uma boa permeabilidade capaz de permitir o deslocamento desses fluidos;
- Conter óleo ou gás em quantidades comerciais;
- Apresentar uma força natural para o deslocamento dos fluidos. A pressão de reservatório depende, normalmente, da profundidade, do peso das camadas geológicas superiores (*overburden*), da compactação das mesmas (a presença de camadas argilosas pode levar à ocorrência de pressões anormais) e da quantidade de sais dissolvidos na água de cada região (gradiente de pressão hidrostática).

Um bom reservatório tem de ter “ volume de hidrocarbonetos rentável para exploração” e acessibilidade, senão será considerado apenas uma reserva em vez de um recurso.

##### 4.5.5.1. Reservatórios em rochas carbonatadas

De uma forma geral, todas as rochas carbonatadas que exibam uma boa porosidade e permeabilidade são considerados bons reservatórios.

A porosidade nestes reservatórios varia com a textura, fabric, geometria das fracturas no reservatório rochoso e evolução diagenética (Ahr, 2008). A permeabilidade tem um papel vital nos reservatórios carbonatados, porque nos indica a capacidade que a rocha reservatório tem de transmitir fluidos dentro do reservatório propriamente dito e ao longo do canal de migração que liga o reservatório à rocha geradora (Jordan & Wilson, 1994).

No caso dos hidrocarbonetos, após estes serem gerados e terem migrado da rocha geradora, são posteriormente acumulados numa rocha reservatório que permita a sua entrada e sua acumulação (devido à presença de uma armadilha).

Na generalidade dos casos uma armadilha contém várias rochas reservatórios intercaladas com várias unidades que constituem os selos. A grande maioria das armadilhas raramente contém uma rocha reservatório homogénea, apresentando, em geral, variações laterais e verticais da porosidade e da permeabilidade.

Estas variações são devidas a processos deposicionais (porosidade primária herdada), a efeitos diagenéticos que podem levar à geração de porosidade secundária e/ou colmatação da porosidade primária e/ou por ocorrência de deformação tectónica que leva a ocorrência de fracturação. Ambas as últimas causas expostas podem levar a ocorrência de reservatórios de boa qualidade em carbonatos que inicialmente eram pouco porosos e impermeáveis. Por vezes, estas variações podem levar à presença de zonas não produtivas dentro da própria armadilha (Jordan & Wilson, 1994).

Os dolomitos, grainstones e boundstones são em geral os reservatórios carbonatados mais comuns para a exploração de hidrocarbonetos (Jordan & Wilson, 1994).

#### 4.5.5.2. Tipo de reservatórios carbonatados

Os reservatórios carbonatados podem ser classificados de várias formas. Segundo Ahr (2008), estes podem ser classificados como: reservatórios deposicionais, reservatórios diagenéticos e reservatórios fracturados. Segundo Flügel (2004): à primeira classe correspondem os reservatórios que não são controlados por diagênese, enquanto que a segunda classe abrange todos os tipos de reservatórios carbonatados que são controlados diageneticamente (ver, **tabela 3.11.**)

### 4.6. PROPRIEDADES DAS ROCHAS COM RELEVÂNCIA PARA O ESTUDO DE RESERVATÓRIOS

As propriedades mais importantes para determinar a qualidade do reservatório são a porosidade e a permeabilidade, que são duas variáveis que dependem fundamentalmente da textura, mineralogia, composição e fabric da rocha reservatório em análise (Ahr, 2008).

#### 4.6.1. DEFINIÇÃO DE POROSIDADE

É definida como sendo o volume de vazios existentes por volume de rocha e é geralmente representada pela letra grega phi ( $\Phi$ ) (Gomes & Alves, 2007).

Trata-se de um parâmetro que indica a quantidade de espaços vazios existentes nos interstícios de uma rocha, para um determinado volume de rocha em análise, podendo estes poros estar ou não interconectados entre si, e que define a capacidade de armazenamento de fluidos da rocha em estudo (Corrêa, 2003; Asquith & Krygowski, 2004; Ahr, 2008).

A porosidade obtém-se dividindo o volume da porção de rocha não sólida (poros ocupados por fluidos e/ou ar) pelo volume total da rocha, incluindo a parte sólida e não sólida (Gomes & Alves, 2007).

A porosidade de uma rocha é definida por:

$$\Phi = V_p/V_t,$$

$$\Phi = (V_p/V_t) \times 100,$$

Os valores típicos para a porosidade estão compreendidos entre os 5% e 30% (valores fora desta gama são considerados pouco comuns). Para uma rocha ser considerada um bom reservatório deve apresentar uma porosidade de cerca de 15% a 30% (Gomes & Alves, 2007).

O volume total ocupado por uma rocha reservatório é a soma do volume dos materiais sólidos (grãos, matriz, cimento) e do volume dos espaços vazios existentes entre eles. O volume de espaços vazios é normalmente denominado de volume poroso (Thomas, 2001).

O volume total da rocha é dado pela soma:

$$V_t = V_p + V_s$$

**Legenda:**  $V_t$  é o volume total da rocha;  $V_p$  é o volume poroso e  $V_s$  é o volume de sólidos.

**Porosidade absoluta:** é a razão entre o volume de todos os poros existentes nos interstícios da rocha (estando estes interconectados ou não entre si) e o volume da rocha.

**Porosidade efectiva:** é a razão entre o volume dos poros interconectados e o volume da rocha.

A porosidade efectiva indica o volume poroso conectado que existe no interior da rocha, que permite o fluxo de fluidos e que é capaz de transmitir fluidos. Esta porosidade indica também o volume de fluidos que pode ser extraído da rocha (Asquith & Krygowski, 2004). Trata-se de uma porosidade em geral devida à existência de interconectividade entre os poros da rocha, existência de fracturas e/ou devido a coexistência de ambas as situações.

O volume correspondente ao espaço poroso da rocha que está ocupado por água adsorvida às paredes dos poros da rocha, é excluído da definição de porosidade efectiva, sendo este incluído na definição de porosidade total (Asquith & Krygowski, 2004).

**Porosidade Residual:** corresponde a todos os poros não interconectados entre si e/ou isolados na rocha.

A porosidade é normalmente superior, quando estamos na presença de rochas constituídas por partículas/grãos bem calibrados, do que quando estamos na presença de rochas constituídas por grãos/partículas mal calibradas (Gomes & Alves, 2007).

#### 4.6.1.1. A porosidade nas rochas carbonatadas

A porosidade das rochas carbonatadas é caracterizada pela presença de poros no interior da rocha, que podem estar ou não interconectados entre si. Nos casos em que existe uma elevada interconectividade entre os poros, podem-se formar no interior destas rochas autênticos “canais de poros” mais porosos e permeáveis, por onde vai preferencialmente incidir a percolação de fluidos e/ou precipitação de minerais.

A porosidade nas rochas carbonatadas resulta de dois processos distintos: da preservação das condições primárias de deposição (porosidade primária) e/ou da criação de porosidade secundária por ocorrência processos diagenéticos durante a evolução diagenética (Jordan & Wilson, 1994).

À porosidade primária corresponde toda a porosidade que se desenvolve durante a fase pré-deposicional, como por exemplo, a porosidade do tipo intragranular em comparação de foraminíferos, corais e/ou em oóides e a porosidade do tipo intergranular desenvolvida durante a fase deposicional (Flügel, 2004).

A porosidade secundária presente nestas rochas pode-se formar e desenvolver em qualquer momento após a sua deposição. A sua génese depende, essencialmente, da composição mineralógica da rocha, da forma, tamanho, distribuição, calibragem das partículas, do empacotamento das partículas, do tamanho/forma/distribuição e interconectividade entre poros existentes (uma vez que quanto maior for a área em contacto com os fluidos, maior vai ser a reactividade); da temperatura, da pressão, do quimismo dos fluidos presentes (quantidade, tempo de residência) nos poros da rocha e dos tipos de ambientes e processos actuantes ao longo da evolução diagenética de rocha.

É de particular importância para o desenvolvimento de porosidade secundária durante a mesodiagénesese e na telodiagénesese o grau de cimentação e dissolução ocorrido na eodiagénesese (Flügel, 2004). O tempo envolvido na génese da porosidade secundária através de processos diagenéticos é tremendamente longo, e é normalmente subdividido em três fases, nomeadamente: eodiagénesese, mesodiagénesese, e telodiagénesese (termos já abordados no início deste capítulo).

Os processos mais importantes para a geração de porosidade secundária são: dissolução, compactação, dolomitização e por vezes desdolomitização, processos estes, que melhoram significativamente as propriedades do reservatório. A grande maioria da

porosidade secundária é devida, principalmente, à ocorrência dos mecanismos relacionados com dissolução (Jordan & Wilson, 1994).

Os vários tipos de poros existentes nas rochas carbonatadas correspondem em geral, a um padrão subdividido em duas classes principais, nomeadamente em: fabric selectivo e fabric não selectivo (**Fig.3.13.**). De uma maneira geral os tipos de porosidade secundária dominam os reservatórios carbonatados, em oposição aos tipos de porosidade primária (**Fig.3.13.**).

Os pré-requisitos para a formação de porosidade secundária, segundo Flügel (2004) são:

- A existência de um fluido que seja subsaturado em relação ao carbonato e tenha a capacidade de transporte dos líquidos resultantes da dissolução precedente.
- A ocorrência de misturas de água com composições diferentes, que levam a dissolução dos cimentos pré-existentes.
- Presença de águas ácidas que provocam a ocorrência de dissolução.
- Maturação térmica da matéria orgânica relacionada com intrusões ígneas e metamorfismo térmico.
- A presença de argilas. O soterramento progressivo leva, em geral, à ocorrência de desidratação das argilas e, conseqüentemente, à formação de soluções diluídas que apresentam um menor grau de saturação em relação à fase precedente e que conduzem à ocorrência de dissolução.

Para uma boa compreensão e descrição da evolução da porosidade durante a evolução diagenética de uma rocha ao longo do tempo geológico é necessário identificar e estimar a quantidade dos diferentes tipos de poros e dos diferentes tipos de cimentos presentes na rocha.

De uma forma geral, a porosidade e a permeabilidade nos reservatórios carbonatados baixa progressivamente com o aumento da profundidade de enterramento ao longo da evolução diagenética, devido principalmente à ocorrência de cimentação, compactação e/ou pela combinação dos dois processos (Ahr, 2008). Outro factor que tem muita influência para a realização de uma interpretação correcta da variação da porosidade com a profundidade é a pressão da água no interior dos poros da rocha.

Os dolomitos têm, geralmente, uma porosidade média superior à observada nos calcários, devido às diferenças no tamanho, forma e arranjo dos cristais.

#### **4.6.1.2.Importância do estudo da porosidade em rochas carbonatadas**

O estudo da porosidade nas rochas carbonatadas é fundamental, dado que uma boa análise dos diferentes tipos de porosidade e do seu desenvolvimento indica a evolução diagenética dessa rocha e dos seus reservatórios ao longo da história geológica (Flügel, 2004).

Uma rocha carbonatada é susceptível de sofrer modificações e transformações a qualquer momento da sua evolução diagenética devido à ocorrência de processos diagenéticos, que podem renovar ou colmatar a porosidade pré-existente.

O entendimento da diagénese e da sua evolução, e sua relação com a porosidade é uma ferramenta necessária para qualquer o explorador que procure reservatórios carbonatados promissores de boa qualidade, uma vez que a porosidade tem grande influência no nível de saturação em hidrocarbonetos existente e na sua mobilidade no interior das rochas.

#### 4.6.2. PERMEABILIDADE NAS ROCHAS

A permeabilidade indica a capacidade que uma rocha tem de transmitir fluidos, ou seja, é uma propriedade que mostra a facilidade com que os fluidos existentes no interior de uma rocha podem fluir através dos poros da mesma (Lencastre, 1996; Corrêa, 2003; Asquith & Krygowski, 2004; Gomes & Alves, 2007; Ahr, 2008).

É uma propriedade que normalmente está relacionada com a porosidade, mas nem sempre depende dela. Geralmente uma boa permeabilidade é demonstrada pelo grau de interconectividade entre os espaços existentes no interior da rocha, em que, quanto maior for a quantidade de espaços vazios e a qualidade dos mesmos em termos de dimensão, forma e interconectividade, em geral maior vai ser a permeabilidade (Thomas, 2001; Asquith & Krygowski, 2004). A permeabilidade de uma rocha depende: da litologia, da textura, porosidade e das anisotropias presentes, etc.

A permeabilidade é geralmente representada pelo símbolo  $k$  e medida usando a lei de Darcy. A Permeabilidade de 0,1md é considerada mínima para a produção de petróleo. Os valores típicos dos reservatórios petrolíferos estão compreendidos entre os 5 e os 100 md (mili-darcy (1darcy=1000 md $\approx$ 1012 m<sup>2</sup>)) (Gomes & Alves, 2007).

A **permeabilidade absoluta** corresponde à capacidade que uma rocha tem de transmitir um único fluido, estando a rocha completamente saturada com esse fluido.

A **permeabilidade efectiva** refere-se à capacidade que uma rocha tem de transmitir um fluido na presença de outro fluido imiscível (Asquith & Krygowski, 2004).

A **permeabilidade relativa** é a relação entre a permeabilidade efectiva em relação a um fluido em saturação parcial numa rocha e a permeabilidade de saturação a 100% (permeabilidade absoluta)

A pressão capilar exercida nos poros da rocha serve muitas vezes para inibir o transporte de hidrocarbonetos, uma vez que a água da formação ocupa tanto o espaço existente no interior dos poros como o espaço existente nos canais porosos, o que pode levar ao bloqueamento e/ou à redução da capacidade dos outros líquidos presentes se moverem através da rocha.

##### 4.6.2.1. O Estudo da permeabilidade nas rochas carbonatadas

Para o estudo da permeabilidade nas rochas carbonatadas é fundamental determinar: os tipos de porosidades presentes, o grau de interconectividade entre os poros e sua distribuição. Este estudo deve ser sempre que possível complementado pela identificação e quantificação das anisotropias existentes e sua distribuição, de forma a permitir a avaliação detalhada da conectividade existente entre os poros, e assim permitir a estimativa das diferenças (caso existam) entre a permeabilidade vertical e horizontal (Vallejo, 2004).

A realização de uma boa análise dos factores anteriormente referidos permite entender qual o caminho que os fluidos percorrem no interior das rochas e identificar os “canais porosos” presentes, bem como avaliar o número de estrangulamentos existentes nesses canais e a sua tortuosidade, que são factores que afectam determinadamente o grau de mobilidade com que os fluidos se movem no interior da rocha reservatório (Gomes & Alves, 2007). Nos casos em que a interconectividade entre os poros é elevada podem resultar autênticos “canais porosos” no interior da rocha.

#### **4.6.2.2.Importância do estudo da permeabilidade**

O estudo da permeabilidade é importante na indústria petrolífera, uma vez que indica a taxa de recuperação dos hidrocarbonetos e permite quantificar as características hidráulicas da rocha-reservatório, em que quanto maior é a permeabilidade melhor é o reservatório (Gomes & Alves, 2007).

Trata-se de um parâmetro de tal maneira importante, que é bem demonstrado pelo seguinte exemplo: pode ser que uma determinada rocha carbonatada contenha uma quantidade apreciável de poros e que dentro desses poros se encontre uma quantidade considerável de hidrocarbonetos, mas não existe garantia que eles possam ser extraídos; para tal, é necessário que a rocha reservatório apresente uma boa permeabilidade que permita o fluxo dos mesmos através dela (Gomes & Alves, 2007).

Em suma: através do conhecimento da porosidade e da permeabilidade de uma rocha é possível determinar qual é a distribuição e quantidade de fluidos existentes no meio poroso e avaliar a capacidade que esses fluidos têm de se moverem no interior da rocha. Estas duas propriedades, juntamente com a saturação em água, permitem estimar a quantidade de fluidos que pode ser extraída de um determinado reservatório.

A existência de variações na porosidade e na permeabilidade podem também criar transições de fluidos entre os principais reservatórios e selos de uma armadilha, ao longo duma certa distância.

## **CAPÍTULO 5: APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS**





O presente capítulo é dedicado à apresentação sistemática pormenorizada dos dados resultantes do trabalho específico realizado.

Todas as 63 amostras seleccionadas para este estudo foram analisadas e descritas de forma pormenorizada à macro/mesocscala, sendo as respectivas descrições seguidamente apresentadas. Destas 63 amostras foram seleccionadas 37, para cada uma das quais foram efectuadas três taliscas, tendo em vista a realização do método da determinação da porosidade relativa das rochas por saturação em água (1 talisca), a obtenção de lâminas delgadas normais e de lâminas coradas por coloração selectiva (1 talisca) e de lâminas impregnadas com “Azul Ceres” (1 talisca), para a realização de um estudo específico de pormenor das características petrográficas, em especial das que têm significado em termos de paleoporosidade e de paleopermeabilidade. Os aspectos evidenciados pelos três tipos de lâminas são integrados na descrição petrográfica de cada amostra.

Todas as fotos apresentadas à macro/mesocscala são acompanhadas por uma escala de 2 cm, que está dividida em dois sectores (um branco e um preto) de 1cm cada (**Fig.5.1.A.**). As fotos obtidas na análise à microescala estão sempre acompanhadas de escalas, com 1mm de comprimento, independentemente da objectiva utilizada. (**Fig.5.1.B. e C.**)



**Figura 5.1.** Em **A** está representada a escala utilizada para as descrições efectuadas à macroescala/mesocscala; em **B** e **C** apresentam-se as escalas utilizadas para a descrição à microescala, correspondendo **B** a fotografias tiradas na objectiva **LEICA C PLAN 4x/0.10 POL**, enquanto que em **C** apresenta-se a escala utilizada para as fotografias tiradas na objectiva **LEICA C PLAN 10x/0.22 POL**. Pontualmente apresentam-se fotografias tiradas na objectiva **LEICA C PLAN 63x/0.75 POL**, em que a escala associada corresponde a  $\pm 0,3$ mm.

As expressões micromorfológicas apresentadas não são acompanhadas, na legenda, pela indicação do tipo de lâmina a partir da qual foi obtida a foto, uma vez que as respectivas lâminas apresentam características que facilmente as diferenciam: no caso das fotos tiradas sobre as lâminas obtidas a partir de taliscas nas quais foi aplicado o método do “Azul Ceres”, visualiza-se a resina azul a ocupar os espaços livres existentes (**Fig.5.2.A.**), enquanto que as fotos adquiridas durante a observação das lâminas nas quais foi aplicada a coloração selectiva, apresentam uma diferenciação evidente entre os cristais de sparite (de cor rosada) e cristais de dolomite (de cor branca).

Os resultados obtidos pela aplicação do método da determinação da porosidade relativa das rochas por saturação em água estão igualmente incluídos nas descrições petrográficas seguidamente apresentadas, mais precisamente no ponto número 10.

## 5.1. MOINHOS DO ALTO DA SERRA

### 5.1.1. AMOSTRA AS-0

#### 5.1.1.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: paleo-vermelho. Este padrão paleo-vermelho é somente alterado pela presença pontual de fracturas do tipo FIII e FIV de cor branca.

Cor da amostra húmida: mantém a mesma cor (**Fig.5.2.B.**).

Corresponde a um calcário dolomítico resistente, com recristalização evidente.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: não identificáveis.

Aspectos diagenéticos observados: fracturas do tipo FIII e FIV, com preenchimento de material de natureza calcítica. Estas fracturas apresentam evidências claras de dissolução e ferruginização, demonstradas pela ocorrência de variação na cor (que passa de branca a branca amarela ligeiramente alaranjada) e um aspecto microcavernoso, em que são evidentes mc/sms/lmsVUGS e sms/lmsCH aleatoriamente distribuídos no seio destas fracturas.

Pontualmente no seio das FIII parece ocorrer alguma dolomitização e recristalização.

**Processos diagenéticos observados:** dolomitização, compactação, cimentação, recristalização e dissolução.

#### 5.1.1.2. Descrição petrográfica

**1-**Composição e textura (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): cristalina, sparstone. Esta amostra sofreu dolomitização pervasiva, que leva a que nenhum traço da rocha original seja preservado, observando-se somente um mosaico de cristais de dolomite anédricos, resultante da substituição completa da calcite por dolomite que origina um fabric inequigranular porfirotópico em floating-rhomb.

A dolomite constituinte deste mosaico é de uma maneira geral muito turva, em que somente os cristais inequigranulares hipidiomórficos precipitados posteriormente e que preenchem a porosidade secundária apresentam um aspecto ligeiramente mais límpido. A presença de romboedros hipidiomórficos/idiotópicos encontra-se em geral associada a porosidade do tipo BP, VUGS e FR.

Observações complementares: presença de uma lmsFR posterior à dolomitização pervasiva da rocha (com uma largura média de 3mm (**Fig.5.2.B.**)), esta fractura apresenta rugosidade evidente e está preenchida por material de natureza essencialmente calcítica (material colapsado para o interior da mesma), que sofre posteriormente dolomitização selectiva esparsa e dissolução. Estes processos diagenéticos levam a geração de porosidade secundária do tipo sms/lms VUGS e porosidade MO (devido a presença de moldes circulares não totalmente preenchidos, que por vezes apresentam no seu interior (mais precisamente nos bordos) cristais dolomíticos que apresentam evidências de desdolomitização e precipitação incipiente de microcristais de microsparite e raros óxidos de ferro) no seio da fractura.

**2-**Litofácies (seg. Azerêdo, 1993,1998): 11.

**3-**EFOC identificáveis: não identificáveis.

**4-**Presença de óxidos de ferro: moderada a frequente (**Fig.5.2.C.**).

**5-**Fases de cimentação: C1 – dolomitização pervasiva que leva à formação de um mosaico de cristais dolomíticos xenomórficos/hipidiomórficos de aspecto turvo, C2 – precipitação de um mosaico de cristais dolomite hipidiomórficos maiores aos

anteriores, C3 – precipitação de cristais de dolomite xenotópicos/hipidiomórficos (no interior da fractura), C4 – precipitação de microsparite

**6-Ambientes diagenéticos identificáveis:** ambiente de soterramento.

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** dolomitização, compactação, dissolução, desdolomitização.

**8-Tipo de porosidade (Choquette & Pray, 1970):**

**8.1-Tempo de formação:** mesodiagéne e telodiagéne (?)

**8.2-Primária:** não identificável.

**8.3-Secundária:**  $\pm 10\%$ , principalmente do tipo sms/lmsVUG, smsFR e uma lmsFR.

**8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:**  $\pm 3\%$ , principalmente do tipo smsBC (pontual), lmsFR (pontual), sms/lmsMO e sms/lmsVUG (localizada associada a lmsFR) e mc/smsCH (pontual) (**Fig.5.2.A.**). É de registar o facto de localmente associado a lmsFR, a porosidade dar valores mais elevados.

**8.3.2-Estimativa da porosidade residual:**  $\pm 2\%$ , principalmente do tipo FR, em que associada a lmsFR e porosidade do tipo sms/lmsMO e CH associada a fractura lms.

**8.3.3-Estimativa da porosidade efectiva:**  $<1\%$  associada aos lms/smsCH, gerados no interior da lmsFR.

Observações complementares: existe um lmsCH com elevada continuidade, rugosidade e estrangulamento, uma vez que, lateralmente apresenta uma grande variação da sua largura, passando de muitas vezes de mcCH a smsCH sem perder a conectividade, conferindo assim, à rocha uma certa permeabilidade.

**9-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008):** pobre.

**10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água:** 1,46%.

**11-Classificação da porosidade segundo Lucia (1983):**

**11.1-Interpartícula (P):**  $\pm 1$  da classe 2, associada principalmente a zona exterior a fractura.

**11.2-Vuggy (V):**  $\pm 2\%$ , associada principalmente a zona da fractura.

**11.2.1-V (5):** 1-  $<2\%$ , principalmente do tipo sms/lmsMO e sms/lmsVUG.

**11.2.2-V (T):**  $<1\%$ , associada a porosidade FR e CH observada.

**11.3-Largura máxima dos cristais dolomite:** 0,14mm.

**11.4-Aspecto dos cristais:** essencialmente turvo, em que somente os romboedros precipitados posteriormente a primeira fase de dolomitização apresentam um aspecto mais hipidiomórfico e mais límpido.

**12-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993):** fora da zona da fractura é tipicamente no sentido da destruição do fabric primário com geração de porosidade intercrystalina. Na zona da fractura é no sentido da cimentação seguida de dissolução levando principalmente a geração de porosidade moldada.

**13-Classificação do tipo de géne da porosidade (Ahr, 2008):** híbrido 2.

**14-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves 2007):** baixa.

**15-Interpretação da evolução diagenética da rocha:**

1º:dolomitização pervasiva da amostra (C1), seguida da geração de cristais dolomíticos hipidiomórficos (C2).

2º:ocorrência de compactação e dissolução sob pressão que gera fracturação irregular do tipo mcFR. Estas fracturas estão preenchidas por cristais de dolomite em paliçada.

3º:crescimento de cimento poiquilotópico de dolomite.

4º: ocorrência de desdolomitização esparsa ao longo das fracturas inter e intracristalinas, seguida de precipitação moderada/frequente de óxidos de ferro.

5º: crescimento de cristais dolomíticos mais límpidos e de maiores dimensões (C3).

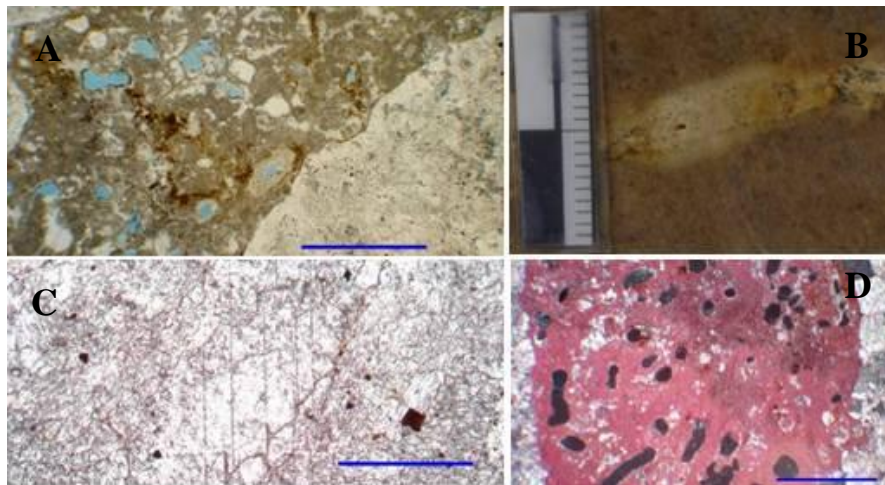
6º: ocorrência de compactação que gera a fractura lmsFR, que é posteriormente preenchida por material exterior colapsado para o seu interior (com EFC).

7º: ocorrência de dolomitização e dissolução do material existente dentro da fractura, seguida de desdolomitização e de precipitação de microsparite (C4) e óxidos de ferro.

#### 16-Tipo de reservatório:

Segundo Ahr (2008): diagenético, com influências claras de fracturação.

Segundo Flügel (2004): dolomítico a parcialmente fracturado.



**Figura 5.2.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra AS-0. **5.2.A.** – material colapsado de natureza calcítica que preenche a fractura lms e porosidade secundária associada à mesma; **5.2.B.** – fotografia macromorfológica tirada sobre uma secção em corte, húmida, sem polimento; **5.2.C.** – presença de cimento poiquilotópico e a precipitação tardia de óxidos de ferro; **5.2.D.** – ocorrência de dolomitização seguida de desdolomitização do material que preencheu a lmsFR. As escalas apresentadas nas figuras A, C e D.

### 5.1.2. AMOSTRA AS-1

#### 5.1.2.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: paleo-vermelho claro. Este padrão paleo-vermelho claro é somente alterado pela presença: pontual de micro-estilólitos suaves (isolados) e de pequena amplitude, com picos evidentes e com uma película ferruginizada de cor avermelhada associada e pela presença de fracturas FV perpendiculares à estratificação e preenchidas por material de cor branca cristal acinzentada e ainda pela presença de fracturas de segunda geração FI, FII e FIII sub-perpendiculares à estratificação e preenchidas por material cristalino de cor branca.

Cor da amostra húmida: mantém a mesma cor (**Fig.5.3.A.**).

Corresponde a um calcário dolomítico muito resistente.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: não identificáveis.

Aspectos diagenéticos observados: presença de micro-estilólitos, por vezes com evidências de dissolução, presença de 2 gerações de fracturas, com preenchimento de material de natureza calcítica.

**Processos diagenéticos observados:** dolomitização, compactação, cimentação e dissolução.

### 5.1.2.2. Descrição petrográfica

**1-Composição e textura** (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): cristalina, sparstone. Esta amostra sofreu dolomitização pervasiva, resultando um mosaico de cristais de dolomite anédrico, resultante da substituição completa da calcite por dolomite, que origina um fabric inequigranular porfirotóxico em floating-rhomb e uma textura fantasma (**Fig.5.3.D.**), em que somente se distinguem áreas circulares preenchidas por cristais irregulares xenomórficos a ligeiramente hipidiomórficos de dolomite.

Observações complementares: presença pontual de micro-estilólitos múltiplos irregulares perpendiculares a sub-perpendiculares (suaves e com picos de baixa amplitude (**Fig.5.3.C.**) e com baixa continuidade, regista-se também a presença muito rara de áreas moldadas correspondentes a antigos romboedros de dolomite (?).

**2-Litofácies** (seg. Azerêdo, 1993,1998): 11.

**3-EFOC identificáveis:** não identificáveis.

**4-Presença de óxidos de ferro:** moderada a frequente.

Observações complementares: formação de autênticos corredores de óxidos, em que alguns destes corredores estão associados aos micro-estilólitos. Existe esparsamente associada a estes corredores microporosidade não colmatada.

**5-Fases de cimentação:** C1 – dolomitização pervasiva da rocha, que origina um mosaico de cristais xenomórficos, C2 – precipitação de microsparite, C3 – cristais hipidiomórficos de dolomite (mais lípidos) em mosaico  $\pm$  regular, C4 – crescimento de dolomite poiquilotópica, C5 – cristais de microsparite de classe 3/2.

**6-Ambientes diagenéticos identificáveis:** ambiente de soterramento.

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** cimentação, dolomitização, dissolução, desdolomitização e compactação.

**8-Tipo de porosidade** (Choquette & Pray, 1970):

**8.1-Tempo de formação:** mesodiagénes e telodiagénes (?).

**8.2-Primária:** não identificável.

**8.3-Secundária:**  $\pm$  15%, principalmente do tipo sms/lmsVUG, mc/sms/lmsFR, mcWC e mcBC (**Fig.5.3.E. e F.**).

**8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:** <3%.

**8.3.2-Estimativa da porosidade residual:**  $\pm$  2-3%, do tipo mcWC, mcBC e alguma associada aos bordos das paredes das mcFR.

**8.3.3-Estimativa da porosidade efectiva:** <1%, derivada da conectividade por vezes estabelecida entre os poros mcWC, mcBC que geram mcCH e também devida a dissolução associada a superfícies micro-estilólíticas em que se pode gerar mc/smsCH.

**9-Classificação qualitativa da porosidade** (Ahr, 2008): pobre.

**10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água:** 1,35%.

**11-Classificação da porosidade segundo Lucia** (1983):

**11.1-Interpartícula (P):**  $\pm$  1%.

Observações: observa-se a presença de mcWC, que por vezes conecta com a porosidade mcBC gerando mcCH (com estrangulamentos e rugosidade elevada), que conferem alguma permeabilidade à rocha.

**11.2-Vuggy (V):** 1-2%.

**11.2.1-V (5):** não identificável.

**11.2.2-V (T):** <1-2%, mcFR e da conectividade estabelecida entre os poros mcWC, mcBC que geram mcCH.

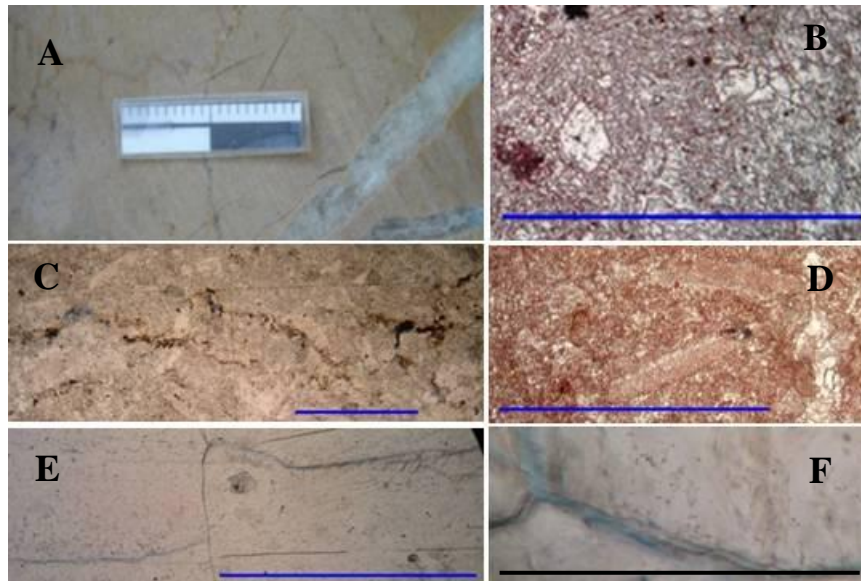
**11.3-Largura máxima dos cristais de dolomite:**  $\pm 0,25$  mm.

**11.4-Aspecto dos cristais:** turvo.

**12-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993):** no sentido da destruição do fabric primário com geração posterior de porosidade intercrystalina.

**13-Classificação do tipo de gênese da porosidade (Ahr, 2008):** híbrido 2.

**14-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007):** baixa.



**Figura 5.3.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra AS-1. **5.3.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre uma secção em corte, húmida, sem polimento. **5.3.B.** – romboedro de dolomite com evidências de fracturação interna e desdolomitização e precipitação de óxidos, sendo também evidente a alteração/corrosão dos bordos exteriores; **5.3.C.** – micro-estilólitos múltiplos perpendiculares a sub-perpendiculares (irregulares e com picos de baixa amplitude) e com precipitação de óxidos e de porosidade secundária associada; **5.3.D.** – textura fantasma; **5.3.E.** – fracturação intracrystalina que gera porosidade WC que conecta com mcBC, formando assim mcCH; **5.3.F.** – ampliação da porosidade mcBC, demonstrando assim a permeabilidade. As escalas apresentadas nas figuras B,C,D,E correspondem a 1mm, em F corresponde a  $\pm 0,3$ mm.

#### **15-Interpretação da evolução diagenética da rocha:**

1º:dolomitização pervasiva da rocha (C1).

2º:ocorrência de desdolomitização (frequente/ elevada) e dissolução que leva a precipitação de microsparite (C2) e a precipitação de óxidos ferro.

3º:ocorrência de compactação (que gera os microestilólitos e posteriormente a geração das fracturas sub-perpendiculares sms/lmsFR) acompanhada de um segunda fase de dolomitização, que leva ao preenchimento das fracturas e da porosidade anteriormente gerada por C3.

4º:crescimento de dolomite poiquilotópica (C4) seguida de ocorrência de compactação tardia que provoca a fracturação dos cristais de dolomite que preenchem as fracturas.

5º:ocorrência de uma segunda fase de desdolomitização (**Fig.5.3.B.**) que provoca por vezes a turvação de alguns dos cristais de dolomite que preenchem as fracturas e ainda a precipitação de óxidos e de microsparite (C5).

**16-Tipo de reservatório:**

Segundo Ahr (2008): diagenético

Segundo Flügel (2004): dolomítico a parcialmente fracturado.

**5.1.3. AMOSTRA AS-2****5.1.3.1. Descrição macroscala/mesoscala**

Cor da amostra seca: creme acastanhado claro. Este padrão é somente alterado pela presença de fracturas FV preenchidas por material de cor branca cristal acinzentada (**Fig.5.4.A.**).

Cor da amostra húmida: castanho acastanhado levemente escuro.

Corresponde a um calcário cristalino muito resistente.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: não identificáveis.

Aspectos diagenéticos observados: as fracturas pontualmente apresentam evidências de dissolução e de ferruginização associada.

**Processos diagenéticos observados:** dolomitização, compactação, cimentação e dissolução.

**5.1.3.2. Descrição petrográfica**

**1-Composição e textura** (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): esta rocha antes de sofrer dolomitização selectiva corresponderia provavelmente a uma pel/oo/bio/micrite, wackestone. A dolomitização selectiva afecta principalmente a fase de ligação e origina um fabric inequigranular porfirotopico do tipo peloidal a floating-rhomb.

**2-Litofácies** (seg. Azerêdo, 1993,1998): 9.

**3-EFOC identificáveis:** frequência moderada, em que os principais EFOC identificados foram: fragmentos de bivalves e de foraminíferos.

**4-Presença de óxidos de ferro:** frequência esparsa. Podem apresentar uma frequência frequente a elevada ao longo da segunda geração de fracturas (smsFR) (**Fig.5.4.B.**).

**6-Ambientes diagenéticos identificáveis:** ambiente freático pouco profundo e de soterramento.

**5-Fases de cimentação:** C1 – mosaico inequigranular de cristais xenotópicos/hipidotópicos de aspecto turvo, C2 – mosaico irregular de cristais de dolomite límpidos, C3 – mosaico dolomítico de aspecto mais límpido (hipidotópico), C4 – cristais de microsparite.

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** cimentação, dolomitização, compactação, dissolução e desdolomitização.

**8-Tipo de porosidade** (Choquette & Pray, 1970):

**8.1-Tempo de formação:** mesodiagénesese.

**8.2-Primária:** difícil de determinar devido a dolomitização, mas seria  $\pm$  10%, composta principalmente por porosidade do tipo BP e FE (devido a presença de pseudofenestrae).

**8.3-Secundária:**  $\pm$  7%, principalmente do tipo smsFR, smsVUG, smsBPs, smsWPs, smsBC e smsMO.

**8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:** <1%.

**8.3.2-Estimativa da porosidade residual:** associada a porosidade smsFR em que se observa no seu interior porosidade do tipo mcBC.



**8.3.4**-Estimativa da porosidade efectiva: nula.

**9**-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008): pobre.

**10**-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água: 3,04%.

**11**-Classificação da porosidade não colmatada segundo Lucia (1983):

**11.1**-Interpartícula (P): a totalidade da porosidade observada.

**11.2**-Vuggy (V): não identificável.

**11.2.1**- V (5): não identificável.

**11.2.2**-V (T): não identificável.

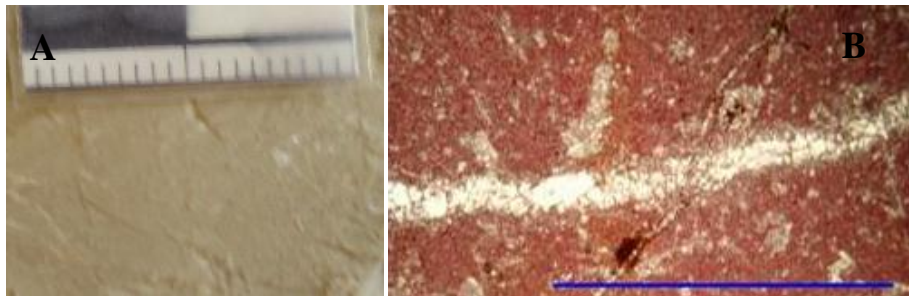
**11.3**- Largura máxima dos cristais:  $\pm 0,15\text{mm}$ .

**11.4**-Aspecto dos cristais de dolomite: essencialmente turvo, em que somente os cristais romboédricos que precipitaram juntos as fracturas apresentam um aspecto mais límpido.

**12**-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993): destruição do fabric primário em que se forma uma baixa percentagem de porosidade intercrystalina.

**13**-Classificação do tipo de génese da porosidade (Ahr, 2008): híbrido 2.

**14**-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007): nula.



**Figura 5.4** – Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra **AS-2**. **5.4.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre uma secção em superfície fresca, húmida, sem polimento. **5.4.B.** – precipitação de óxidos de ferro nos bordos das fracturas de segunda geração. A escala em na figura A corresponde 2cm, enquanto em B a 1mm.

**15**-Interpretação da evolução diagenética da rocha:

1º:ocorrência de dolomitização selectiva da amostra (C1). É de registar a presença de biomoldes e oomoldes, que estão preenchidos por cristais de dolomite; os pelóides são as partículas que mais resistem à dolomitização.

2º:ocorrência de compactação juntamente com dissolução sob pressão, que leva à formação de fracturas irregulares preenchidas por um mosaico de cristais de dolomite irregular (C2), seguido da formação pontual a esparsa de romboedros de dolomite (cortados pelas smsFR).

3º:ocorrência de compactação que leva à génese das smsFR (em que as mais finas são posteriores), preenchidas por um mosaico dolomítico de aspecto mais límpido (hipidotópico, C3) e formação de um pseudomicroestilólito irregular de baixa continuidade.

4º:ocorrência de desdolomitização e precipitação de microsparite (C4), e aumento do aspecto turvo dos cristais dolomite que preenchem as fracturas.

5º:ocorrência de dissolução com posterior precipitação de óxidos de ferro, principalmente ao longo das fracturas.

**16**-Tipo de reservatório:

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): dolomítico a parcialmente fracturado.



## 5.2. ESTAÇÃO DO PARQUE EÓLICO

### 5.2.1. AMOSTRA AS-3

#### 5.2.1.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: creme levemente amarelado. Este padrão creme levemente amarelado é somente alterado pela presença de fracturas FIV-FI preenchidas por material de cor branca cristal acinzentada ou pela presença de partículas circulares recristalizadas de cor branca acinzentada (que nos bordos apresentam por vezes uma cor branca).

Cor da amostra húmida: passa a um creme levemente amarelado de aspecto cristal (**Fig.5.5.A.**).

Corresponde a um calcário dolomítico cristalino secundário muito resistente, em que ainda é possível reconhecer partes da textura original, como: oóides, oncóides.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: observam-se os contornos, mas não é possível a sua identificação correcta a esta escala.

Aspectos diagenéticos observados: a rocha parece ter sofrido descompressão (telodiagénese incipiente (?)), que leva a abertura em bisel de algumas fracturas FIV não preenchidas (em que se observa a precipitação incipiente de óxidos de ferro). As fracturas FI pontualmente apresentarem bifurcação evidente. Observa-se a presença de partículas oncolitizadas.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, dolomitização, recristalização, compactação, cimentação, dissolução .

#### 5.2.1.2. Descrição petrográfica

**1-Composição e textura** (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): esta rocha, antes de sofrer dolomitização selectiva (**Fig.5.5.B.**), em que somente as partículas de natureza mais micrítica resistiram a dolomitização maciça, corresponderia provavelmente a uma oo/onco/intra/pelsparite, grainstone/rudstone. Corresponde actualmente a uma cementstone. A dolomitização origina um fabric inequigranular porfirotópico do tipo floating-rhomb.

**2-Litofácies** (seg. Azerêdo, 1993,1998): 11.

**3-EFOC identificáveis:** raros fragmentos de braquiópodes (?).

**4-Presença de óxidos de ferro:** frequência moderada, estando estes normalmente associados às paredes dos poros gerados por dissolução.

**5-Fases de cimentação:** C1 – mosaico inequigranular de cristais de dolomite (hipidiotópico de aspecto granular), C2 – mosaico drúsico de cristais de dolomite, C3 – grandes cristais de dolomite, C4 – cristais poiquilotópicos de dolomite, C5 – microsparite.

**6-Ambientes diagenéticos identificáveis:** ambiente freático marinho e de soterramento.

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** dolomitização, compactação (contactos pontuais entre as partículas), dissolução, cimentação, desdolomitização.

**8-Tipo de porosidade** (Choquette & Pray, 1970):

**8.1-Tempo de formação:** mesodiagénese e telodiagénese (?).

**8.2-Primária:** ± 10%, principalmente do tipo BC.

**8.3-Secundária:**  $\pm 25\%$ , principalmente do tipo MO e FR.

**8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:**  $\pm 5\%$ , principalmente do tipo smsMO, sms/mcBC e smsVUGS e alguns lmsVUGS e smsCH. Pode apresentar zonas localizadas onde a porosidade pode apresentar valores na casa dos  $\pm 6\%$  (**Fig.5.5.C.**).

**8.3.2-Estimativa da porosidade residual:**  $\pm 4-5\%$ .

**8.3.3-Estimativa da porosidade efectiva:**  $<1\%$ , devido a presença de raros smsCH.

**9-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008):** pobre.

**10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água:** 2.38%.

**11-Classificação da porosidade segundo Lucia (1983):**

**11.1-Interpartícula (P):**  $\pm 1-2\%$ , da classe 2 e 3.

**11.2-Vuggy (V):**  $\pm 2-4\%$ .

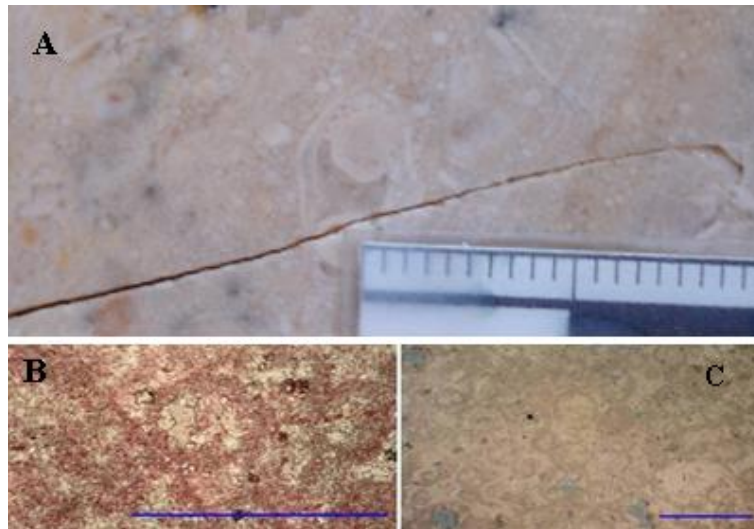
**11.2.1-V (5):**  $\pm 2-4\%$ , do tipo smsMO.

**11.2.2-V (T):** não identificável.

**11.3-Largura máxima dos cristais de dolomite:** 0,50mm (raros).

**11.4-Aspecto dos cristais:** a maioria apresenta turvo e que somente os mais tardios de forma mais euédrica apresentam um aspecto mais límpido.

**12-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993):** destruição do fabric primário em que ocorre cimentação seguida de dissolução e se forma principalmente porosidade moldada e uma pequena percentagem de porosidade intercrystalina.



**Figura 5.5.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra AS-3. **5.5.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre uma secção em corte, húmida, sem polimento. **5.5.B.** – dolomitização selectiva. **5.5.C.** – pormenor da porosidade não conectada associada a VUGS derivados de dissolução parcial de porosidade secundária MO. As escalas das figuras B e C equivalem a 1mm.

**13-Classificação do tipo de génese da porosidade (Ahr, 2008):** híbrido 1, com mais influências diagenéticas.

**14-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007):** baixa.

**15-Interpretação da evolução diagenética da rocha:**

1º:dolomitização selectiva da rocha e que leva a formação de C1.

2º: ocorrência de dissolução e de posterior cimentação dos poros gerados por um mosaico drúsico (por exemplo a preencher o interior dos oóides, parcialmente dissolvidos anteriormente, C2) de cristais de dolomite.

3º: ocorrência de compactação e de dissolução por pressão que leva a formação de um veios irregular preenchido por grandes cristais de dolomite (C3) e de cristais poiquilotópicos de dolomite (C4).

4º: ocorrência de desdolomitização que leva a precipitação dos óxidos de ferro e de microsparite (C5).

**16-Tipo de reservatório:**

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): dolomítico.

## 5.2.2. AMOSTRA AS-3A

### 5.2.2.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: creme levemente amarelado. Este padrão é somente alterado pela presença de áreas irregulares alongadas recristalizadas e pela presença de partículas oncolitizadas (de granularidade GF e GM).

Cor da amostra húmida: passa a um creme levemente amarelado de aspecto cristal (**Fig.5.6.A.**).

Corresponde a um calcário dolomítico cristalino secundário muito resistente, em que ainda é possível reconhecer (pela forma circular) a presença de partes textura original, provavelmente correspondentes a oóides, oncóides e bioclastos. Visualiza-se também que a rocha original apresentava uma alternância de níveis mais finos com leitões com características mais grosseiras.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: observam-se os contornos, mas não é possível a sua identificação correcta a esta escala.

Aspectos diagenéticos observados: zonas intensamente recristalizadas, em que por vezes se observa a presença de cristais romboedros de calcite ferrosa e presença rara/pontual de fracturas FV perpendiculares a estratificação, fracturas estas que parecem a aproveitar os bordos das zonas recristalizadas para o seu desenvolvimento.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, dolomitização, recristalização, compactação.

### 5.2.2.2. Descrição petrográfica

**1-Composição e textura** (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): esta rocha, antes de sofrer dolomitização selectiva/parcial, em que as partículas de natureza mais micrítica resistem à dolomitização, originado uma textura fantasma (**Fig.5.6.B.**), corresponderia provavelmente a uma oo/intra/pel/sparite, grainstone/rudstone. Corresponde actualmente a uma cementstone. A dolomitização origina um fabric inequigranular porfirotópico do tipo floating-rhomb.

**2-Litofácies** (seg. Azerêdo, 1993,1998): 11.

**3-EFOC identificáveis:** fragmentos de bivalves.

**4-Presença de óxidos de ferro:** esparsa, normalmente associados aos poros gerados por porosidade secundária.

**5-Fases de cimentação:** C1 – cimento inequigranular de cristais hipidiotópicos de dolomite; C2 – cimento em mosaico irregular; C3-cimento drúsico, C4 – cimento poiquilotópico, C5 – cimento microsparítico inequigranular.

**6-Ambientes diagenéticos identificáveis:** ambiente marinho freático e de soterramento.

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** cimentação, dolomitização, dissolução, compactação e desdolomitização.

**8-Tipo de porosidade (Choquette & Pray, 1970):**

**8.1-Tempo de formação:** mesodiagénes e telodiagénes (?).

**8.2-Primária:**  $\pm 12\%$ .

**8.3-Secundária:**  $\pm 25\%$ , WPs, mcFR e lmsFR, lmsVUGS (raros), sms/lmsBC.

**8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:**  $\pm 2\%$ . Podendo localmente apresentar valores da ordem dos 3%.

**8.3.2-Estimativa da porosidade residual:** a globalidade da porosidade absoluta não colmatada.

**8.3.3-Estimativa da porosidade efectiva:** não identificada.

**9-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008):** pobre.

**10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água:** 1,60%.

**11-Classificação da porosidade segundo Lucia (1983):**

**11.1-Interpartícula (P):**  $\pm 1,5- 2\%$ .

**11.2-Vuggy (V):**  $<1\%$ .

**11.2.1-V (5):** do lmsVUGS (raros).

**11.2.2-V (T):** não identificada.

**11.3-Largura máxima dos cristais de dolomite:** 0,4mm límpidos, mas com evidências de fracturação interna e com os bordos corroídos (**Fig.5.6.C.**).

**11.4-Aspecto dos cristais:** turvo.

**12-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993):** trata-se de um híbrido, que fica aproximadamente a meio caminho entre o sentido de cimentação e ocorrência de dissolução que leva a existência de porosidade MO e destruição do fabric primário que leva a formação de porosidade intercrystalina.

**13-Classificação do tipo de gênese da porosidade (Ahr, 2008):** híbrido 1 com predominância clara dos aspectos diagenéticos e algumas influências de híbrido 2.

**14-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007):** nula.

**15-Interpretação da evolução diagenética da rocha:**

1º:dolomitização selectiva da rocha (C1), seguida da ocorrência de dissolução e de posterior cimentação dos poros gerados por cristais de calcite em mosaico equigranular (C2) e por vezes em mosaico drúsico (C3) (por exemplo: intraclastos micríticos com porosidade WPs e oomoldada parcial colmatada).

2º:ocorrência de compactação e de dissolução sob pressão que gera duas gerações de fracturas lms (em que as mais finas são posteriores) e ocorrência de preenchimento das mesmas por C4 e fracturação intercrystalina dos cristais de dolomite.

3º:crescimento de cristais de dolomite poiquilotópica nas fracturas lms e posterior crescimento de grandes cristais límpidos de dolomite (C6).

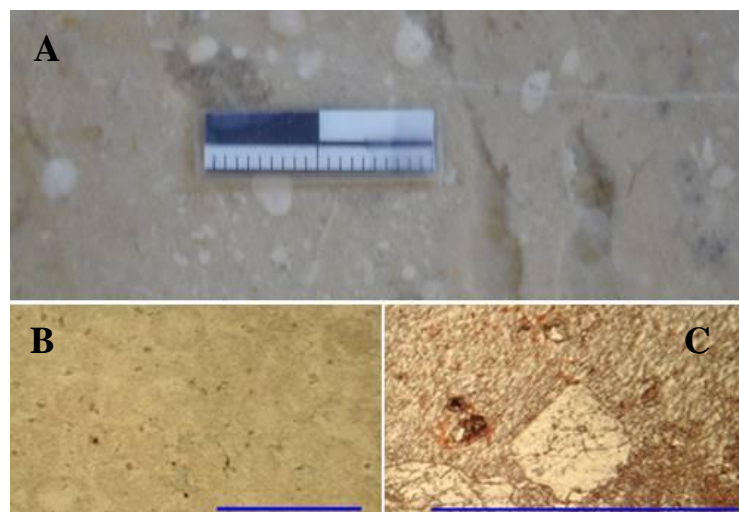
4º:desdolomitização dos romboedros de dolomite, que leva a ocorrência de microsparite (C7) e a precipitação de óxidos de ferro.

5º:ocorrência de ferruginização.

**16-Tipo de reservatório:**

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): dolomítico.



**Figura 5.6.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra AS-3A. **5.6.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre uma secção em corte, húmida, sem polimento. **5.6.B.** – textura fantasma. **5.6.C.** – pormenor de fracturação intercrystalina e corrosão dos bordos do romboedro de dolomite. As escalas das figuras B e C equivalem a 1mm.

### 5.2.3. AMOSTRA AS-4

#### 5.2.3.1. Descrição macroscala/mesoscala

Cor da amostra seca: branca levemente acastanhada de fundo.

Cor da amostra húmida: branca levemente amarelada (**Fig.5.7.A**).

Calcário oolítico muito resistente, distribuição polimodal, calibragem moderada a má, granularidade média a grosseira, em que são visíveis níveis de granularidade mais grosseira alternantes com níveis de granularidade mais fina, e evidenciando estes uma certa inclinação. Os níveis mais finos têm menos evidências de recristalização.

Corresponde a um onco/oo/intra/bio/sparite, grainstone/rudstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: não inidentificáveis.

Aspectos diagenéticos observados: partículas oncolitizadas (principalmente oóides), bolsas de partículas recristalizadas (?), partículas com interior recristalizado, baixa a moderada ferruginização dos EFC (dispersos aleatoriamente pela amostra, apresentando vários graus de alteração, de cor alaranjada), contactos pontuais entre as partículas e de pontual fracturação intrapartícula. Regista-se também a presença de fracturas FV, que demonstram evidências pontuais de ferruginização e de dissolução.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, dissolução, cimentação, recristalização e dolomitização da fase de ligação (?).

#### 5.2.3.2. Descrição petrográfica

1-Composição e textura (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): intra/onco/oo/bio/dolosparite, grainstone/rudstone. A dolomitização selectiva afecta principalmente a fase de ligação e o interior de algumas partículas (nomeadamente oncóides e corais) e que origina um fabric inequigranular porfirotópico do tipo floating-rhomb.

Observações complementares: observa-se uma certa variação vertical granulocrescente da granulometria em níveis alternantes (com variações da composição e da granulometria), que apresentam uma certa orientação/inclinação, demonstrando assim, a presença de estratificação oblíqua com granulotriagem associada.

De uma maneira geral a base desta lâmina apresenta uma granularidade inferior e uma menor contribuição oolítica e bioclástica, sendo também evidente um menor empacotamento e fracturação das partículas, contrastando assim com o topo, que apresenta uma composição mais intrabioclástica, em que a maioria das partículas se apresentam fracturadas. Entre os níveis mais grosseiros que constituem o topo desta amostra existe a presença de uma lenticula oolítica de pequena espessura e de granularidade mais fina. Regista-se a presença de uma superfície correspondente a uma hardground.

**2-Litofácies (seg. Azerêdo, 1993,1998): 1.**

**3-EFOC identificáveis:** fragmentos de bivalves, gastrópodes, porostromata, foraminíferos, corais e equinodermes (raros).

**4- Presença de óxidos de ferro:** frequência esparsa, associada a fracturas ou a dissolução tardia.

**5-Fases de cimentação:** C1 – dolomitização selectiva por cristais inequigranulares xenotópicos/hipidiotópicos de dolomite de granularidade fina e essencialmente turvos, C2 – precipitação de cristais de dolomite maiores que os anteriores e menos turvos em mosaico irregular, C3 – precipitação dos cristais idiotópicos/hipidiotópicos de dolomite, C4 – microsparite.

**6-Ambientes diagenéticos identificáveis:** ambiente marinho freático e ambiente de soterramento.

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** dolomitização, compactação, dissolução, cimentação e desdolomitização.

**8-Tipo de porosidade (Choquette & Pray, 1970):**

**8.1-Tempo de formação:** mesodiagénes e telodiagénes (?).

**8.2-Primária:**  $\pm 15\%$ . Principalmente do tipo BP.

**8.3-Secundária:**  $\pm 5-7\%$ . Principalmente do tipo mcFR irregulares de baixa continuidade em que normalmente aparecem associados óxidos de ferro. Nesta lâmina observa-se a presença acentuada de fracturação intrapartícula (**Fig.5.7.B.**).

**8.3.1-Tempo de Formação:** mesogénese e telodiagénes (?).

**8.3.2-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:**  $<1\%$ . Principalmente do tipo mcBC e mcWC.

**8.3.3-Estimativa da porosidade residual:** toda a porosidade absoluta observada.

**8.3.4-Estimativa da porosidade efectiva:** nula.

**9-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008):** pobre.

**10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água:** 1,14%.

**11-Classificação da porosidade segundo Lucia (1983):**

**11.1-Interpartícula (P):** a totalidade da porosidade absoluta não colmatada, em que os poros pertencem a classe 3 e 2.

**11.2-Vuggy (V):** não identificável.

**11.2.1- V (5):** não identificável.

**11.2.2-V (T):** não identificável.

**11.3-Largura máxima dos cristais de dolomite:** 0,4mm. Estes romboedros apresentam em geral um aspecto limpo (**Fig.5.7.C.**) e os bordos corroídos e fracturação intracristalina irregular. Existindo um em que a fracturação intercristalina

apresenta uma geometria similar a estilólitos isolados, com picos evidentes e presença pontual de precipitação de óxidos.

**11.4-Aspecto dos cristais:** a globalidade dos cristais apresenta um aspecto turvo, somente os associados a ultima fase de mais de precipitação apresentam um aspecto mais límpido.

**12-Classificação ternária da porosidade** (Kopaska-Merkel & Mann, 1993): destruição do fabric primário com posterior formação de porosidade intercrystalina.

**13-Classificação do tipo de gênese da porosidade** (Ahr, 2008): híbrido 2.

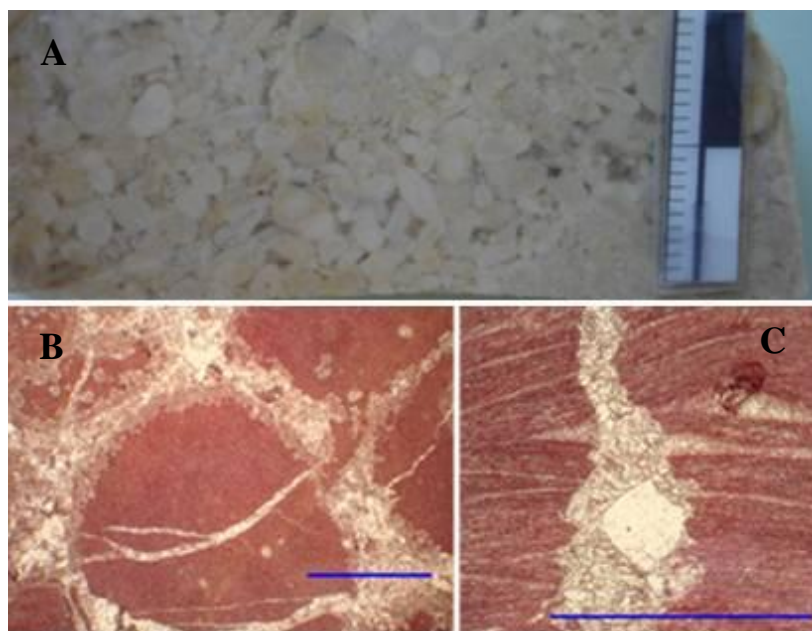
**14-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade** (Gomes & Alves, 2007): nula.

**15-Interpretação da evolução diagenética da rocha:**

1º: dolomitização selectiva da rocha, em que se observa a substituição da calcite por dolomite que leva a precipitação de C1 e a formação de fantasmas de oóides, e a ocorrência de corrosão de alguns bordos de intraclastos de natureza micritica.

2º: ocorrência de compactação associada a ocorrência de dissolução sob pressão seguida de cimentação C2 e de posteriormente de C3. Esta compactação gera principalmente um aumento do empacotamento em que são visíveis contactos pontuais a por vezes contactos suturados entre as partículas, fracturas sub-perpendiculares irregulares preenchidas por cristais de dolomite (C2) e ocorrência frequente de fracturação intrapartícula e intracrystalina.

3º: ocorrência de desdolomitização com posterior precipitação de microsparite (C4) e de óxidos de ferro.



**Figura 5.7** – Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra AS-4. **5.7.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre uma secção em corte, húmida, sem polimento; **5.7.B.** – pormenor de fracturação intrapartícula, preenchida por cristais de dolomite; **5.7.C.** – pormenor de um romboedro de dolomite de aspecto limpo. As escalas das figuras B e C equivalem 1mm.

**16-Tipo de reservatório:**

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): dolomítico a parcialmente fracturado.

## 5.2.4. AMOSTRA AS-4A

### 5.2.4.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: branca levemente creme de fundo.

Cor da amostra húmida: branca levemente creme amarelada (**Fig.5.8.A.**).

Calcário oolítico grosseiro muito resistente, distribuição praticamente bimodal, calibragem moderada, granularidade essencialmente grosseira, em que é visível a presença de níveis de granularidade mais grosseira alternantes com níveis de granularidade mais fina e evidenciando alguma inclinação.

Corresponde a um onco/oo/intra/bio/sparite, grainstone/rudstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: fragmentos de corais (?).

Aspectos diagenéticos observados: partículas oncolitizadas; pontuais bolsadas de partículas recristalizadas (?); partículas com interior recristalizado; rara ferruginização dos EFC, dispersos aleatoriamente pela amostra (apresentando um tom vermelho escuro a alaranjado) e presença de contactos pontuais entre as partículas e rara fracturação intragrão.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação e recristalização.

### 5.2.4.2. Descrição petrográfica

**1-**Composição e textura (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): intra/onco/oo/bio/dolosparite, grainstone/rudstone. A dolomitização selectiva afecta principalmente a fase de ligação e o interior de algumas partículas e origina um fabric inequigranular porfirotópico do tipo floating-rhomb.

Observações complementares: observa-se uma variação vertical da granulometria (a base apresenta uma menor contribuição oolítica), do empacotamento das partículas e da percentagem da fase de ligação presente. De forma geral o empacotamento e a percentagem da fase de ligação é menor no topo. A esta variação granulométrica está associada a presença de um nível mais fino (mais oolítico e menos biointraclástico) que apresenta uma certa inclinação, e orientação, demonstrando assim, juntamente com as variações verticais da granulometria, a presença de estratificação oblíqua com granulotriagem. Verifica-se também a presença de litoclastos angulosos/subangulosos de material oolítico (bem calibrados) e a presença de um clasto com revestimento micrítico-algal.

**2-**Litofácies (seg. Azerêdo, 1993,1998): 1.

**3-**EFOC identificáveis: abundância frequente, em que são identificáveis fragmentos de porostromata (morfotipo 2), corais solitários, gastrópodes, foraminíferos, bivalves e equinodermes.

**4-**Presença de óxidos de ferro: esparsa, associados aos bordos de alguns EFC e aos bordos dos romboedros (normalmente ao de forma mais euédrica) que estão a sofrer desdolomitização e por vezes às paredes das fracturas de segunda geração que se encontram dissolvidas.

**5-**Fases de cimentação: C1 – cimentação da rocha por cimento calcítico, posteriormente substituído por cimento dolomítico inequigranular de cristais hipidiotópicos turvos (**Fig.5.8.B.**), C2 – cimento em mosaico granular/ a drúsico constituído por cristais dolomíticos hipidiotópicos de maior dimensão e mais límpidos que os anteriormente precipitados; C3 – crescimento de cristais praticamente idiotópicos



de romboedros de dolomite (principalmente junto aos bordos e no interior de alguns EFC), C4 – cimento poiquilótópico e sintáxico, C5 – cimento microsparítico.

**6-Ambientes diagenéticos identificáveis:** ambiente marinho freático e ambiente de soterramento.

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** cimentação, dissolução, compactação, dolomitização e desdolomitização.

**8-Tipo de porosidade (Choquette & Pray, 1970):**

**8.1-Tempo de Formação:** mesodiagénes e telodiagénes (?).

**8.2-Primária:** ±18-20%, principalmente do tipo BP.

**8.3-Secundária:** ± 7-8%, principalmente do tipo WPs, MO, BC e FR.

**8.3.1-Tempo de formação:** mesogénes.

**8.3.2-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:** <2%, principalmente do tipo mcFr (**Fig.5.8.C.**), mcBC (que pode originar pontuais smsVUGS) mcWC (devida a fracturação dos cristais romboédricos de dolomite e presença de mcVUGS pontualmente dispersos no seu interior) e alguma WPs .

**8.3.3-Estimativa da porosidade residual:** ± 1%, principalmente dos tipos acima enunciados, tirando o caso da porosidade mcFR.

**8.3.4-Estimativa da porosidade efectiva:** ± 1%, principalmente do tipo mcFR.

Observações complementares: só a segunda geração de fracturas é que se apresenta preenchida.

**9-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008):** pobre.

**10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água:** 1,20%.

**11-Classificação da porosidade segundo Lucia (1983):**

**11.1-Interpartícula (P):** <1%, pertencentes às classes 2 e 3.

**11.2-Vuggy (V):** ±1%.

**11.2.1- V (5):** nula.

**11.2.2-V (T):** ±1%, associada às mcFR.

**11.3-Largura máxima dos cristais de dolomite:** 0,25mm.

**11.4-Aspecto dos cristais:** os cristais dolomíticos correspondentes à primeira fase de dolomitização (C1) apresentam um aspecto turvo, enquanto que os correspondentes às fases posteriores apresentam um aspecto mais limpo e têm maiores dimensões.

**12-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993):** no sentido da destruição do fabric primário com posterior formação de porosidade intercrystalina.

**13-Classificação do tipo de génes da porosidade (Ahr, 2008):** trata-se de um híbrido 2.

**14-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007):** baixa.

Observações complementares: do tipo mcFR.

**15-Interpretação da evolução diagenética da rocha:**

1º: ocorrência de dolomitização parcial da rocha (C1).

2º: ocorrência de dissolução e posterior cimentação dos espaços gerados pela segunda fase de dolomitização (C2), seguida da precipitação de pontual de C3 e C4.

3º: ocorrência de compactação que leva a um aumento do empacotamento das partículas e à presença de contactos pontuais entre as mesmas, e à génes de duas gerações de fracturas, que se apresentam preenchidas por cimento dolomítico em mosaico irregular. As fracturas de segunda geração sofrem dissolução, em que ocorre a

gênese de porosidade secundária não colmatada e a precipitação de óxidos de ferro. Esta compactação provoca também a fracturação intracristalina de alguns cristais de dolomite, a que também está associada a precipitação de alguns óxidos e de porosidade mcWC. Formação de cimento poiquilotópico e sintáxico (?).

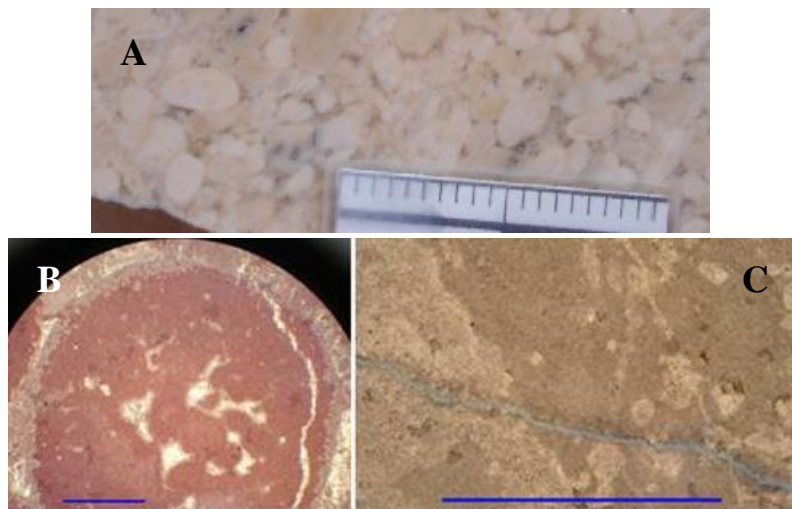
4º: ocorrência de desdolomitização incipiente que leva a precipitação de microsparite (C5), em geral entre os bordos dos cristais dolomíticos que estão sofrer desdolomitização.

5º: ocorrência de ferruginização tardia pontual, caracterizada por uma geometria em microlinhas de cor amarelada por vezes acastanhada chocolate perpendiculares as mcFR.

#### 16-Tipo de reservatório:

Segundo Ahr (2008): diagenético com influências de fracturação.

Segundo Flügel (2004): reservatório dolomítico a fracturado (com fracturação tardia, que gera a porosidade e a permeabilidade existentes).



**Figura 5.8.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra AS-4A. **5.8.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre uma secção em corte, húmida, sem polimento; **5.8.B.** – pormenor que evidencia a existência de duas fases iniciais de dolomitização; **5.8.C.** – porosidade FR. As escalas das figuras B e C equivalem a 1mm.

## 5.3.CONDE

### 5.3.1. AMOSTRA CONDE-3

#### 5.3.1.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: creme claro. Esta amostra lateralmente apresenta uma variação da cor, que passa de um creme a um creme amarelado.

Cor da amostra húmida: creme claro com um amarelado de fundo (**Fig.5.9.A.**).

Calcário oolítico fino resistente, com distribuição bimodal e calibragem boa.

Corresponde a um oo/pel/sparite (?), grainstone/ rudstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: não identificáveis a esta escala.

Aspectos diagenéticos observados: partículas oncolitizadas, esparsas partículas ferruginizadas, pontuais pequenas manchas irregulares – amarelo/avermelhadas (zonas dolomitizadas (?)) e pontuais áreas recristalizadas. Observa-se também evidências de

microporosidade intragranular (parece ter sido realizada por bioperfurações de animais (?)) e raros casos de porosidade moldada.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação e recristalização e dolomitização.

### 5.3.1.2. Descrição petrográfica

**1-Composição e textura** (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): oo/onco/intra/bio/pel/dolosparite, grainstone/rudstone. Esta rocha sofreu dolomitização parcial selectiva, que afecta principalmente o cimento preexistente e alguns EFC, levando à ocorrência de um fabric hipidiomórfico inequigranular porfirotópico do tipo floating-rhomb. Tratando-se de uma cementstone segundo a classificação de Wright.

Observações complementares: presença de estratificação oblíqua (com feixes  $\pm$  6-7mm de espessura) e de variação granulocrescente da granularidade. Verifica-se a presença de uma fissura de dissolução (que forma um autêntico canal poroso) associada a mudança vertical da granularidade. A base desta lâmina apresenta uma maior contribuição bioclástica e um empacotamento superior (traduzindo assim a ocorrência de variações energéticas).

**2-Litofácies** (seg. Azerêdo, 1993,1998): 1/2.

**3-EFOC identificáveis:** esparsa/moderada frequência de EFOC. Em que principais EFOC são: foraminíferos (*Valvulina lugeoni* e outros) porostromata (morfortipo 2) e raros gastrópodes e equinodermes.

**4-Presença de óxidos de ferro:** frequência esparsa, geralmente associada à ocorrência de dissolução dos EFC ou às paredes dos VUGS e/ou até mais raramente à porosidade secundária do tipo BC.

**5- Fases de cimentação:** C1 – cimento laminar; C2 – cimento equigranular; C3 – substituição dos cristais de calcite por cristais de dolomite hipidiotópicos/xenotópicos, C4 – cimento drúsico dolomítico, C5 – crescimento tardio de romboedros de dolomite quase idiotópicos, C6 – microsparite.

**6-Ambientes diagenéticos identificáveis:** ambiente marinho freático e ambiente de soterramento.

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** cimentação, compactação, dissolução, dolomitização, neomorfismo, desdolomitização.

**8-Tipo de porosidade** (Choquette & Pray, 1970):

**8.1-Tempo de formação:** mesodiagéneses.

**8.2-Primária:**  $\pm$  20-25%, principalmente do tipo BP.

**8.3-Secundária:**  $\pm$  10-16%.

**8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:**  $\pm$  7-9%, constituída principalmente por porosidade moldada parcial (lmsMO e smsMO), smsBC, lmsCH, lms e sms VUGS e smsFR.

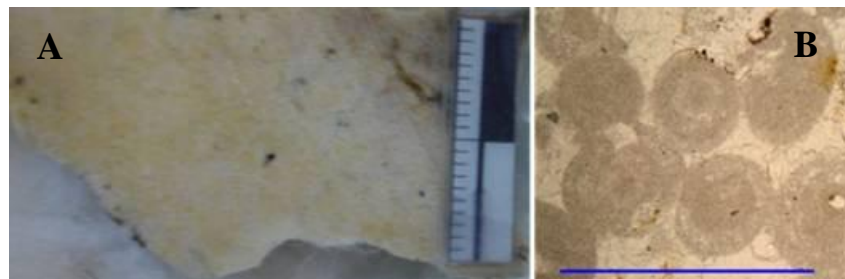
**8.3.2-Estimativa da porosidade residual:**  $\pm$  6-8%. Principalmente do tipo MO, VUG e BC.

**8.2.3-Estimativa da porosidade efectiva:**  $\pm$  1-2%. Principalmente devida a conectividade estabelecida entre os vários tipos de porosidade enumerados anteriormente.

Observações complementares: a porosidade apresenta uma grande variação vertical e horizontal da sua distribuição.

**9-Classificação qualitativa da porosidade** (Ahr, 2008): razoável.

**10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água:** não realizado.

**11- Classificação da porosidade segundo Lucia (1983):****11.1- Intercristal (P):** pertencentes à classe 1 e 2.**11.2- Vuggy (V):****11.2.1- V (5):** principalmente do tipo sms/lmsMO e smsBC.**11.2.2- V (T):** principalmente do tipo smsFR e lmsCH .**11.3- Largura máxima dos cristais de dolomite:** pode chegar 0,15mm.**11.4- Aspecto dos cristais:** apresentam de uma forma geral um aspecto turvo e a presença por vezes de uma banda mais clara na periferia.**12- Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993):** trata-se de um híbrido, com predominância do sentido da cimentação e dissolução que leva a gênese de porosidade moldada e a destruição do fabric primário, com a gênese de porosidade intercrystalina.**13- Classificação do tipo de gênese da porosidade (Ahr, 2008):** trata-se de um híbrido 1, com algumas influências de híbrido 2.**14- Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007):** nula a baixa.

**Figura 5.9.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra **Conde-3**. **5.9.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre uma secção em corte, húmida, sem polimento; **5.9.B.** – Contactos pontuais entre oóides, precipitação de óxidos de ferro e crescimento tardio de romboedros de dolomite. A escala da figura B equivale a 1mm.

**15- Interpretação da evolução diagenética da rocha:**

1º: crescimento de cimento laminar (C1) de cristais de calcite irregularmente distribuídos, seguido da cimentação da rocha por precipitação de cimento equigranular de cristais calcíticos (C2).

2º: ocorrência de compactação essencialmente mecânica que leva a um aumento do empacotamento e a ocorrência de contactos pontuais (**Fig.5.9.B.**) e a fracturação de algumas partículas.

3º: ocorrência de compactação química e de dolomitização selectiva (C3) seguida de dissolução, que leva à ocorrência de oóides com lamelas deslocadas e de dissolução que gera porosidade secundária, a qual posteriormente em grande parte é colmatada pela precipitação de cimento drúsico (C4). Crescimento tardio de romboedros de dolomite quase idiotópicos (C5).

4º: ocorrência de incipiente desdolomitização (C6) e precipitação de óxidos de ferro.

**16- Tipo de reservatório:**

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): parcialmente dolomíticos.

### 5.3.2. AMOSTRA CONDE-5

#### 5.3.2.1 Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: paleo-vermelho claro com tons alaranjados dispersos de aspecto cavernoso.

Cor da amostra húmida: paleo-vermelho ligeiramente mais escuro (Fig.5.10.A).

Calcário calciclástico parcialmente dolomitizado e muito resistente, com distribuição polimodal, calibragem moderada a má.

Corresponde a um oo/pel/dolosparite, grainstone/rudstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: não identificáveis a esta escala.

Aspectos diagenéticos observados: partículas ferruginizadas, porosidade cavernosa (por vezes com precipitação pontual irregular de calcite e/ou material argilo-ferruginoso), partículas com partes recristalizadas no seu interior de cor acinzentada cristal.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação e recristalização e dolomitização.

#### 5.3.2.2 Descrição petrográfica

1-Composição e textura (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): intra/oo/pel/dolosparite (?), cementstone. Esta rocha sofreu dolomitização selectiva, que origina um fabric dolomítico do tipo fogged. Os fragmentos de bioclastos e alguns calciclastos de natureza mais micrítica resistiram a essa dolomitização.

2-Litofácies (seg. Azerêdo, 1993,1998): 11.

3-EFOC identificáveis: frequência esparsa de EFOC. Os principais EFOC identificáveis são: corais, porostromata, equinodermes.

4-Presença de óxidos de ferro: moderada a frequente. Pontualmente formam-se manchas de óxidos associadas a ocorrência de dissolução e desdolomitização.

5-Fases de cimentação: C1 – dolomitização selectiva que origina um mosaico hipidiomórfico inequigranular, C2 – formação de grandes cristais romboédricos, C3 – precipitação de microsparite associada a desdolomitização dos romboedros.

6-Ambientes diagenéticos identificáveis: ambiente marinho e de soterramento.

7-Processos diagenéticos identificáveis: cimentação, dolomitização, compactação e desdolomitização.

8-Tipo de porosidade (Choquette & Pray, 1970):

8.1-Tempo de formação: mesodiagénesese.

8.2-Primária:  $\pm 20-25\%$ , principalmente do tipo BP.

8.3-Secundária:  $\pm 20\%$ . Principalmente do tipo smsBP, lms e smsVUG, lmsCH e porosidade moldada parcial

8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:  $\pm 11-13\%$  em média. Esta lâmina apresenta áreas em que a porosidade pode apresentar valores da ordem dos 15-18%.(Fig.5.10.B.).

8.3.2-Estimativa da porosidade residual:  $\pm 10-11\%$ .

8.3.1-Estimativa da porosidade efectiva:  $\pm 2\%$ , do tipo smsBC.

9- Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008): boa

10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água: 4,16%.

11-Classificação da porosidade segundo Lucia (1983):

11.1-Interpartícula (P):  $\pm 8-10\%$  da porosidade não colmatada, principalmente da classe 1, 2 e por geração de sms/lmsVUGS entre cristais.

**11.2-Vuggy (V):**  $\pm 3\%$ .

**11.2.1- V (5):**  $\pm 3\%$ , principalmente do tipo moldada.

**11.2.2-V (T):** não identificável

**11.3-Largura máxima dos cristais de dolomite:**  $\pm 0,35$  mm, constituídos por um mosaico irregular e com evidências claras de desdolomitização.

**11.4-Aspecto dos cristais:** em geral os cristais apresentam-se num meio-termo entre o turvo e o límpido.

**12-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993):** trata-se de um híbrido, com predominância do sentido da destruição do fabric primário, que leva a gênese de porosidade intercrystalina, sobre o sentido da cimentação e dissolução que leva a gênese de porosidade moldada.

**13-Classificação do tipo de gênese da porosidade (Ahr, 2008):** híbrido 1, com predominância clara dos aspectos diagenéticos.

**14-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007):** baixa.

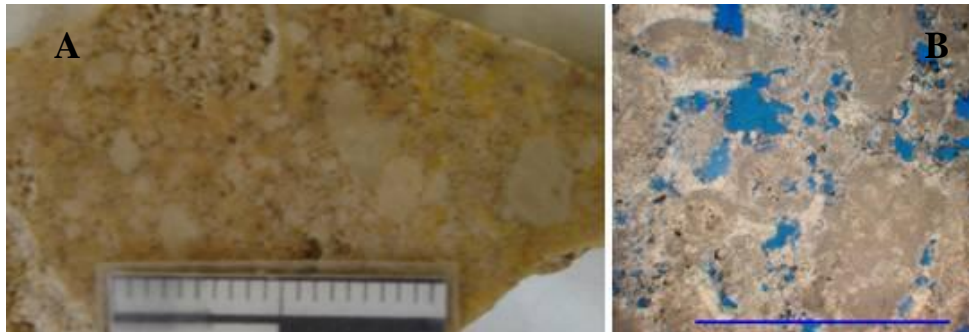
**15-Interpretação da evolução diagenética da rocha:**

1º:dolomitização da rocha (C1), com posterior formação de grandes cristais romboédricos (C2).

2º:ocorrência de dissolução, que origina a porosidade secundária não colmatada.

3º:ocorrência de compactação que gera mcFR irregulares com preenchimento de material argilo-ferruginoso.

4º:ocorrência de dissolução e desdolomitização dos romboedros que leva a precipitação de microsparite e a formação pontual de manchas localizadas de óxidos de ferro.



**Figura 5.10.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra **Conde-5**. **5.10.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre uma secção em corte, húmida, sem polimento; **5.10.B.** – pormenor das zonas de maior porosidade secundária não colmatada. A escala da figura B equivale a 1mm.

**16-Tipo de reservatório:**

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): dolomítico

### 5.3.3. AMOSTRA CD-B

#### 5.3.3.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: cinzento acastanhado claro levemente esbranquiçado.

Cor da amostra húmida: cinzento acastanhado levemente mais escuro (**Fig.5.11.A.**).

Corresponde a um dolomito.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: não identificáveis.

Aspectos diagenéticos observados: áreas parcialmente ferruginizadas e dissolvidas, pequenas manchas brancas de calcite (possivelmente derivadas de desdolomitização tardia (?)), fracturas FV, microporosidade e de porosidade cavernosa (sms/lmsVUG abundante (superior á amostra anterior) que dá um aspecto cavernoso-sacaróide a amostra.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, dolomitização, compactação e dissolução.

### 5.3.3.2. Descrição petrográfica

1-Composição e textura (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): cristalina, sparstone. Apresenta um fabric contact-rhomb, em que os cristais são essencialmente hipidiotópicos passando a idiotópicos na proximidade dos poros gerados por porosidade secundária. Esta amostra sofreu dolomitização pervasiva.

2-Litofácies (seg. Azerêdo, 1993,1998): 11.

3-EFOC identificáveis: não identificáveis.

4-Presença de óxidos de ferro: frequência pontual a esparsa, em geral associada aos poros gerados por porosidade secundária (em especial dos VUGS) e a desdolomitização tardia de alguns romboedros de dolomite, que leva a precipitação daqueles entre a interface de alguns cristais.

5-Fases de cimentação: C1 – dolomitização pervasiva originando um fabric de cristais hipidiomórficos inequigranulares, C2 – precipitação de cristais romboédricos inequigranulares idiotópicos de dolomite, C3 – crescimento de cimento em crosta a pontual botrioidal (**Fig.5.11.C.**), C4 – microsparite devida a ocorrência de desdolomitização.

6-Ambientes diagenéticos identificáveis: ambiente de soterramento e superficial tardio (?).

7-Processos diagenéticos identificáveis: cimentação, dolomitização, dissolução, desdolomitização.

8-Tipo de porosidade:

8.1-Tempo de formação: mesodiagéne e telodiagéne (?).

8.2-Primária: não identificável.

8.3-Secundária:  $\pm$  7-10%, existindo uma certa variação na sua distribuição.

8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada: em media  $\pm$  8%, principalmente do tipo VUG (smsVUG e lmsVUG), smsBC e pontuais smsCH. Podendo pontualmente chegar ao 10% (**Fig.5.11.B.**).

8.3.2-Estimativa da porosidade residual:  $\pm$  7 %.

8.3.3-Estimativa da porosidade efectiva:  $\pm$  1 %, principalmente devida a porosidade do tipo smsCH e a conectividade por vezes estabelecida entre estes tipos de poros e os poros do tipo smsBC e/ou VUGS.

9-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008): razoável.

10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água: 7,47%.

11-Classificação da porosidade segundo Lucia (1983):

11.1-Interpartícula (P):  $\pm$  5-6%, na sua maioria pertencente a classe 2 e 1.

11.2-Vuggy (V):  $\pm$  1-2%.



**11.2.1-** V (5):> 1,5 do tipo sms e lmsVUG.

**11.2.2-**V (T): <1%, do tipo smsCH (raros).

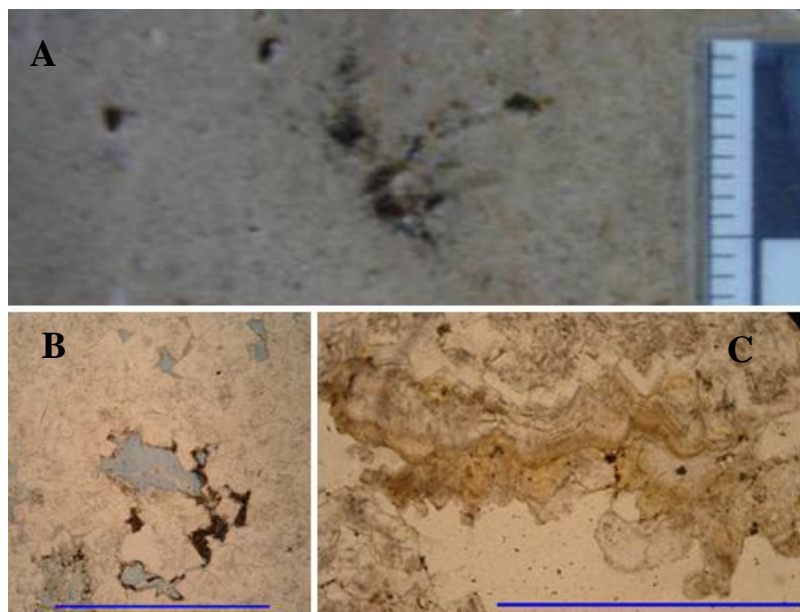
**11.3-**Largura máxima dos cristais de dolomite: 0,25mm.

**11.4-**Aspecto dos cristais: os correspondentes a C1 apresentam normalmente um aspecto turvo, enquanto que os correspondentes a C2, apresentam-se somente turvos nas partes centrais e limpos nas zonas periféricas (evidenciado assim um certo zonamento).

**12-**Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993): predominância do sentido da destruição da fabric primário e geração principalmente de porosidade intercrystalina.

**13-**Classificação do tipo de gênese da porosidade (Ahr, 2008): híbrido 1, com predominância dos aspectos diagenéticos.

**14-**Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007): baixa a nula.



**Figura 5.11** – Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra **Cd-B**. **5.11.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre uma secção em corte, húmida, sem polimento; **5.11.B.** – pormenor das zonas de maior porosidade secundária não colmatada e dos óxidos associados; **5.11.C.** -crescimento de cimento em crosta a botrioidal. As escalas das figuras B e C equivalem a 1mm.

**15-**Interpretação da evolução diagenética da rocha:

1º:dolomitização pervasiva (C1) e posterior ocorrência de dissolução.

2º:precipitação de cristais romboédricos inequigranulares idiotópicos/hipidiotópicos de dolomite, seguido pontualmente de crescimento de cimento em crosta a pontual botrioidal em alguns lmsVUGS (**Fig.5.11.C.**).

3º:ocorrência de microsparite devida a ocorrência de desdolomitização e precipitação de óxidos de ferro.

**16-**Tipo de reservatório:

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): dolomítico.



## 5.4. CHÃ

### 5.4.1. AMOSTRA CH-EXTRA

#### 5.4.1.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: paleo-vermelho/rosa. Este padrão paleo-vermelho é somente alterado pela presença de grandes áreas circulares (> 1cm) recristalizadas.

Cor da amostra húmida: rosa paleo-vermelho (**Fig.5.12.A.**).

Corresponde a um calcário dolomítico cristalino muito resistente.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: não identificáveis.

Aspectos diagenéticos observados: mc/sms/lmsVUGS e sms/lmsCH aleatoriamente distribuídos e que dão um aspecto cavernoso a rocha, partículas ferruginizadas e partículas recristalizadas (provavelmente correspondentes a fragmentos de corais).

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, dolomitização, recristalização e dissolução.

#### 5.4.1.2. Descrição petrográfica

**1-Composição e textura** (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): cristalina, cementstone. Esta amostra sofreu dolomitização pervasiva ( $\pm 98\%$  da rocha), em que somente pequenas áreas localizadas com composição mais micritica resistiram a esta dolomitização maciça. Esta dolomitização origina um mosaico polimodal em fabric contact-rhomb, constituído por cristais xenotópicos/hipidiotópicos e com presença de cristais idiotópicos (principalmente nas áreas próximas e/ou adjacentes dos VUGS).

Observações complementares: pontualmente é possível a percepção de formas circulares, “moldes”, em que os cristais interiores desses moldes são maiores e mais limpos, hipidiotópicos, que os da matriz envolvente. Estes moldes são normalmente delineados exteriormente por cristais de dimensão inferior aos da matriz (que materializam o molde). Provavelmente estes moldes correspondem a antigos EFC.

**2-Litofácies** (seg. Azerêdo, 1993,1998): 11.

**3-EFOC identificáveis:** não identificáveis.

**4-Presença de óxidos de ferro:** moderada a frequente, principalmente associados às paredes dos VUGS e CH.

**5-Fases de cimentação:** C1 – cristais dolomíticos inequigranulares xenotópicos/hipidiotópicos de dolomite, C2 – precipitação de cristais inequigranulares hipidiomórficos a idiotópicos de dolomite, C3 – microsparite.

**6-Ambientes diagenéticos identificáveis:** soterramento.

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** cimentação, compactação, dolomitização, dissolução, neomorfismo/recristalização e desdolomitização.

**8-Tipo de porosidade** (Choquette & Pray, 1970):

**8.1-Tempo de formação:** mesodiagénesese.

**8.2-Primária:**  $\pm 20\%$ , principalmente do tipo BP.

**8.3-Secundária:**  $\pm 15\%$ , principalmente do tipo BC, VUG, CH e FR.

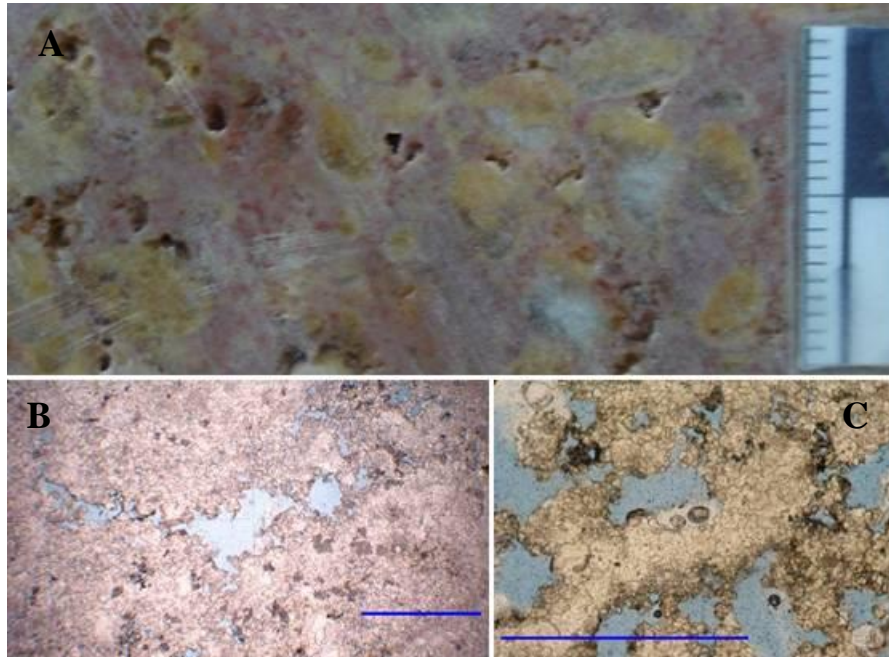
**8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:**  $\pm 5-7\%$ . Esta lâmina apresenta uma grande variação da porosidade, podendo apresentar pontualmente apresentar zonas localizadas com valores de porosidade da ordem dos  $\pm 10\%$ .

**8.3.2-Estimativa da porosidade residual:**  $\pm 3,5-4\%$ , devida a presença de poros smsBC e sms e lmsVUG.

**8.3.3**-Estimativa da porosidade efectiva:  $\pm 1,5$ -2%, devida principalmente a conectividade estabelecida entre poros do tipo smsBC com sms e lmsVUGS, formando por vezes pequenos corredores de porosidade do tipo sms/lmsCH que por vezes conectam com fracturas smsFR (raras), não preenchidas, conferindo assim a rocha alguma permeabilidade.

**9**-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008): razoável.

**10**-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água: 3,17%.



**Figura 5.12.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra **Ch-extra**. **5.12.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre uma secção em corte, húmida, sem polimento; **5.12.B.** – pormenor de uma das zonas localizadas com maior porosidade secundária; **5.12.C.** – pormenor das zonas localizadas com maior porosidade secundária não colmatada e dos óxidos associados. As escalas apresentadas nas figuras B e C equivalem a 1mm.

**11**-Classificação da porosidade segundo Lucia (1983):

**11.1**-Interpartícula (P):  $\pm 4\%$ , da classe 1 e 2 na sua maioria, sendo esta normalmente derivada de porosidade BC e de VUGS gerados pelo aumento desse tipo de porosidade

**11.2**-Vuggy (V):  $<1\%$ .

**11.2.1**- V (5): nula.

**11.2.2**- V (T):  $\pm 1\%$ , devida a presença de fracturas.

**11.3**-Largura máxima dos cristais de dolomite: 0,5mm.

**11.4**-Aspecto dos cristais: essencialmente turvo.

**12**- Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993): no sentido da destruição do fabric primário originando principalmente porosidade intercrystalina.

**13**-Classificação do tipo de génese da porosidade (Ahr, 2008): híbrido 1, com alguma influência deposicional e de fractura.

**14**-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007): baixa.

**15**-Interpretação da evolução diagenética da rocha:

1º: ocorrência de dolomitização pervasiva da rocha (C1), seguida de dissolução e precipitação de C2.

2º: ocorrência de compactação que leva à gênese das fracturas (smsFR) irregulares de baixa continuidade, seguida da ocorrência de dissolução tardia que gera a maioria da porosidade secundária não colmatada.

3º: ocorrência moderada de desdolomitização, que leva à precipitação de óxidos de ferro nos poros e à precipitação de microsparite nos bordos e nas interfaces entre cristais romboédricos de dolomite. Observam-se pontualmente romboedros de dolomite parcialmente substituídos por pequenos cristais de calcite, principalmente nos bordos e, pontualmente, nas zonas mais centrais.

4º: formação de pequenos laivos ferruginosos amarelados.

**16-Tipo de reservatório:**

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): dolomítico.

## 5.4.2. AMOSTRA CH- 0

### 5.4.2.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: creme claro.

Cor da amostra húmida: creme claro (**Fig.5.13.A.**).

Corresponde a um calcário muito resistente com distribuição polimodal das partículas e calibragem má.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: bivalves.

Aspectos diagenéticos observados: partículas oncolitizadas, partículas ferruginizadas, fractura FV (preenchidas) e áreas localizadas recristalizadas.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, dolomitização, recristalização, compactação e dissolução.

### 5.4.2.2. Descrição petrográfica

**1-Composição e textura** (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): intra/bio/pel/dolosparite, grainstone. Esta amostra sofreu dolomitização selectiva, que actuou principalmente sobre a fase de ligação e leva à ocorrência de um fabric inequigranular porfirótópico em contact-rhomb.

Observações complementares: romboedros de dolomite parcialmente substituídos por pequenos cristais de calcite principalmente nos bordos e pontualmente em zonas mais centrais.

**2-Litofácies** (seg. Azerêdo, 1993,1998): 2.

**3-EFOC identificáveis:** frequência moderada EFOC. Os EFOC presentes nesta lâmina são: secções de foraminíferos (**Fig.5.13.D.**), porostromata, equinodermes, gastrópodes e raros bivalves.

**4-Presença de óxidos de ferro:** frequência esparsa, associada em geral a dissolução a desdolomitização dos romboedros. Ocorre também a precipitação de óxidos de ferro no interior das partículas.

**5-Fases de cimentação:** C1 – dolomitização que origina um mosaico inequigranular xenotópico/hipidiomórfico de cristais de dolomite, C2 – precipitação de romboedros de dolomite idiotópicos/hipidiotópicos (**Fig.5.13.C e D.**), C3 – microsparite.

**6-Ambientes diagenéticos identificáveis:** ambiente marinho freático e ambiente de soterramento.

**7**-Processos diagenéticos identificáveis: cimentação, dissolução, dolomitização, neomorfismo/recristalização (?) e desdolomitização.

**8**-Tipo de porosidade (Choquette & Pray, 1970):

**8.1**-Tempo de formação: mesodiagéneses.

**8.2**-Primária:  $\pm 20\%$ , principalmente do tipo BP.

**8.3**-Secundária:  $\pm 12\%$ , principalmente do tipo WP, FR (**Fig.5.13.B.**), MO e BC.

**8.3.1**-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:  $\pm 2\%$ .

**8.3.2**-Estimativa da porosidade residual: a totalidade da porosidade absoluta.

**8.3.3**-Estimativa da porosidade efectiva: nula.

**9**-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008): pobre.

**10**-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água: 1,46%.

**11**- Classificação da porosidade segundo Lucia (1983):

**11.1**-Interpartícula (P):  $\pm 2\%$ , pertencentes principalmente a classe 1 e 2.

**11.2**-Vuggy (V): praticamente nula, ocorrendo somente um exemplar.

**11.2.1**- V (5): MO (exemplo único).

**11.2.2**- V (T): nula.

**11.3**-Largura máxima dos cristais dolomite:  $\pm 0,3\text{mm}$ .

**11.4**-Aspecto dos cristais: a globalidade apresenta um aspecto turvo. Pontualmente alguns cristais apresentam bandas. Existe também uma pequena percentagem de romboedros de aspecto mais límpido (normalmente tardios).

**12**-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993): ocorrência de destruição do fabric primário com geração essencialmente de porosidade intercrystalina.

**13**-Classificação do tipo de génese da porosidade (Ahr, 2008): híbrido 1, com predominância clara dos aspectos diagenéticos.

**14**-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007): nula.

**15**-Interpretação da evolução diagenética da rocha:

1º:cimentação inicial calcítica, e formação de figuras geopéticas (?), que nos indicam a polaridade.

2º:ocorrência de compactação (contactos pontuais e microfracturação) e dolomitização selectiva (C1).

3º:precipitação dos romboedros dolomíticos turvos praticamente hipidiotópicos/idiotópicos, por vezes com evidências de zonamento evidente (formação de romboedros de dolomite em torno de intraclastos micríticos), seguida de precipitação de romboedros idiotópicos/hipidiotópicos de dolomite de aspecto mais limpo.

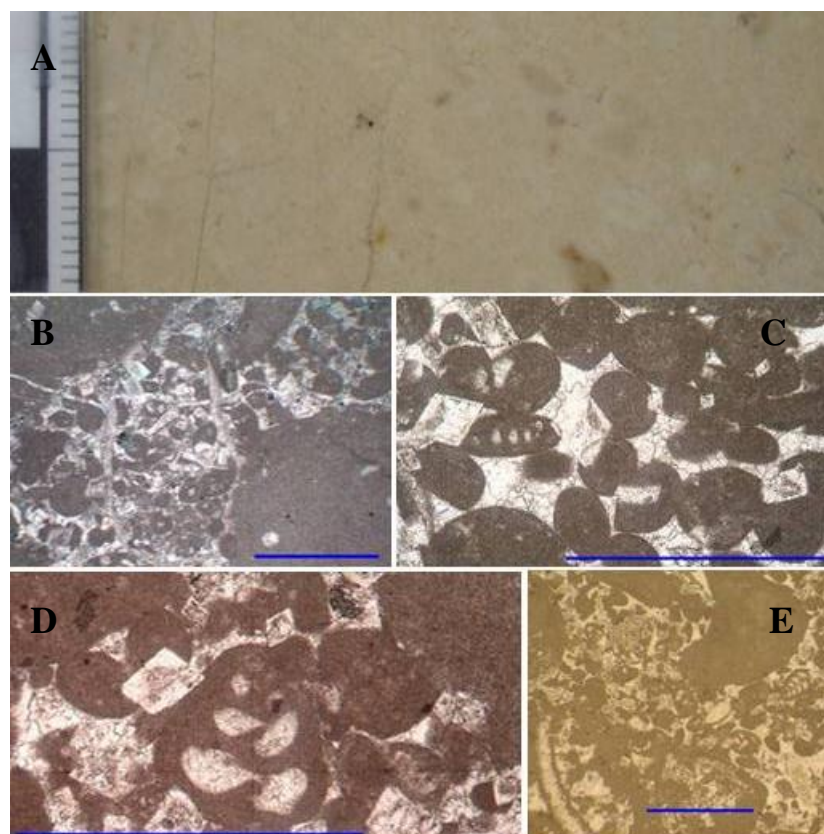
4º:ocorrência de compactação tardia que leva à génese de smsFR, que estão preenchidas por um mosaico dolomítico irregular (que corta os maiores cristais idiotópicos de dolomite) e que levou também à ocorrência de fracturação intracrystalina dos romboedros.

5º:ocorrência de dissolução e de desdolomitização associada, que provoca a génese de porosidade do tipo smsWC na zona central dos romboedros de dolomite e a precipitação de microsparite. Esta geração produz a maioria da porosidade não colmatada existente.

**16**-Tipo de reservatório:

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2008): dolomítico.



**Figura 5.13.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra **Ch-0**. **5.13.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre uma secção em corte, húmida, sem polimento; **5.13.B.** – smsFR posterior a precipitação C2, que corta lateralmente a rocha; **5.13.C e D.** – pormenor do crescimento de cristais romboédricos idiotópicos (com centros turvos evidentes); **5.13.E** – aspecto geral da lâmina, sendo evidente a presença de foraminíferos (também em C e em D). As escalas apresentadas nas figuras B,C,D e E equivalem a 1mm.

### 5.4.3. AMOSTRA CH-1

#### 5.4.3.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: creme acastanhado levemente amarelado.

Cor da amostra húmida: mantém a mesma cor (**Fig.5.14.A.**).

Corresponde a um calcário dolomítico cristalino muito resistente.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: não identificáveis.

Aspectos diagenéticos observados: mc/sms/lmsVUGS aleatoriamente distribuídos e que dão um aspecto cavernoso à rocha. Presença de partículas recristalizadas.

**Processos diagenéticos observados:** dolomitização, recristalização e dissolução.

#### 5.4.3.2. Descrição petrográfica

**1-Composição e textura** (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): cristalina, sparstone (**Fig.5.14.F.**), com um fabric inequigranular porfirotópico em contact-rhomb. Esta amostra sofreu dolomitização pervasiva ( $\pm 98\%$ ).

Observações complementares: presença de cristais romboédricos euédricos a subeuédricos de dolomite esparsamente distribuídos em áreas localizadas (no interior dos poros e/ou fissuras. Regista-se também a presença de inclusões fluidas e de moldes circulares não preenchidos, interpretados como oomoldes e/ou possíveis biomoldes (**Fig.5.14.B.**).

**2-Litofácies** (seg. Azerêdo, 1993,1998): 11.

**3-EFOC identificáveis:** não identificáveis.

**4-Presença de óxidos de ferro:** esparsa associada a porosidade secundária.

**5-Fases de cimentação:** C1 – cimento dolomítico de cristais xenotópicos/hipidotópicos (assemelhando-se a um mosaico granular), C2 – precipitação de cimento drúsico, seguido por precipitação de romboedros de dolomite hipidotópicos/idiotópicos de dolomite, C3 – precipitação de cimento dolomítico em paliçada nas fracturas, C4 – cristais de dolomite romboédricos mais limpos, C5 – cimento microsparítico.

**6-Ambientes diagenéticos identificáveis:** soterramento.

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** cimentação, dolomitização, dissolução, compactação e desdolomitização

**8-Tipo de porosidade** (Choquette & Pray, 1970):

**8.1-Tempo de formação:** mesodiagénesese.

**8.2-Primária:**não identificável.

**8.3-Secundária:**  $\pm 18-20\%$ , principalmente do tipo sms/lmsBC e MO, WPs e raras smsFR.

**8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:**  $\pm 9-10\%$  (**Fig.5.14.C,D e E**).

**8.3.2-Estimativa da porosidade residual:**  $\pm 7-8\%$ .

**8.3.3-Estimativa da porosidade efectiva:**  $\pm 1-2\%$ , devido a existência pontual de conectividade entre a porosidade do tipo BC que geram smsCH (**Fig. 5.14.**), por vezes ocorrência também de conectividade entre poros do tipo BC e VUG.

**9-Classificação qualitativa da porosidade** (Ahr, 2008): razoável

**10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água:** 7.96%.

**11-Classificação da porosidade segundo Lucia** (1983):

**11.1-Interpartícula (P):**  $\pm 6-7\%$ , pertencentes a classe 1 e 2.

**11.2-Vuggy (V):**  $\pm 2-3\%$ ,

**11.2.1 - V (5):**  $\pm 2-3\%$ , principalmente do tipo sms e lms VUGS e WPs.

**11.2.2-V (T):** nula

**11.3-Largura máxima dos cristais de dolomite:**  $\pm 0,3\text{mm}$ .

**11.4-Aspecto dos cristais:** a maioria apresenta um aspecto essencialmente turvo. Verifica-se a presença na periferia dos cristais hipidotópicos/idiotópicos de uma fina película mais límpida (de cor branco cristal), demonstrando assim zonamento. Alguns romboedros de dolomite pontualmente apresentam várias bandas alternantes, registando-se também a presença pontual/rara de romboedros mais limpos.

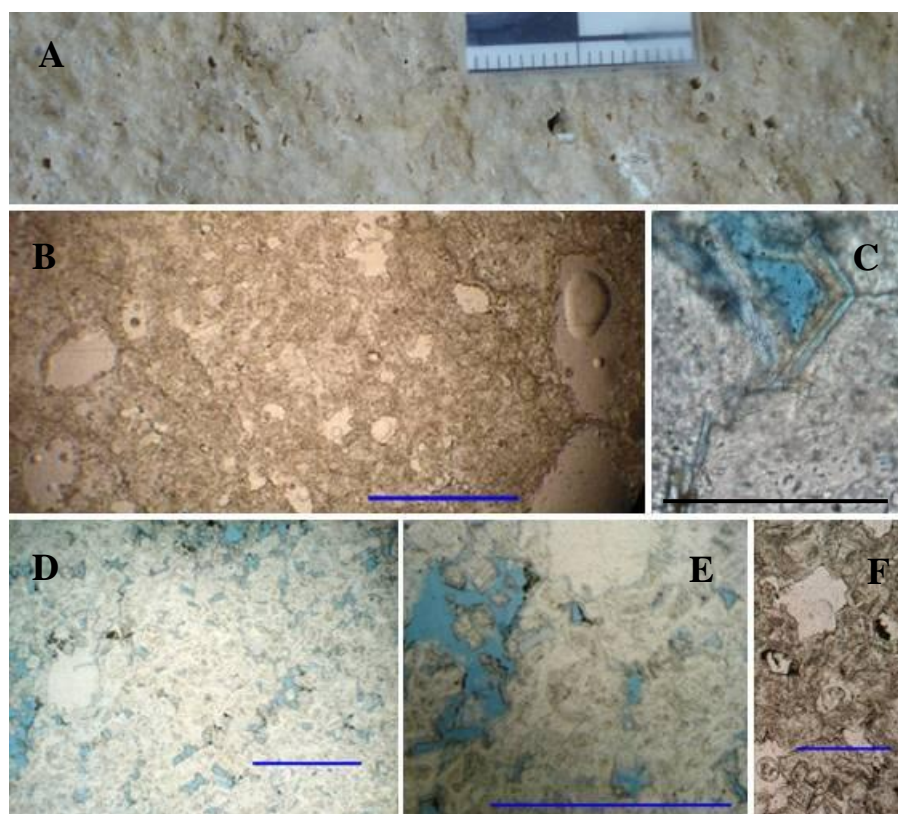
**12-Classificação ternária da porosidade** (Kopaska-Merkel & Mann, 1993): no sentido da destruição do fabric primário e geração de porosidade intercrystalina.

**13-Classificação do tipo de génese da porosidade** (Ahr, 2008): híbrido 1, com predominância clara dos efeitos diagenéticos, com algumas influências deposicionais e de fracturação.

**14-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade** (Gomes & Alves, 2007): baixa.



Observações complementares: a precipitação contínua de óxidos de ferro pode formar pequenas barreiras.



**Figura 5.14.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra **Ch-1**. **5.14.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre uma superfície fresca, seca, sem polimento; **5.14.B.** – oomoldes; **5.14.C** – pormenor da dissolução diferencial das várias bandas que compunham o romboedro de dolomite e porosidade secundária mcBC; **5.14. D.** - aspecto geral da porosidade apresentada nesta amostra; **5.14.E** – aspecto pormenorizado da porosidade apresentada nesta amostra e da precipitação de óxidos de ferro associada; **5.14.F** – pormenor do aspecto geral apresentado pela lâmina. As escalas apresentadas nas figuras B,D,E e F correspondem a 1mm, em C equivale a  $\pm 0,3$ mm.

### 15-Interpretação da evolução diagenética da rocha:

1º:ocorrência de dolomitização pervasiva da rocha, em que somente alguns EFC com composição mais micrítica conseguiram resistir a essa maciça dolomitização (C1).

2º:dissolução, que gera grande parte da porosidade secundária (BC, WC, WPs e VUGS) e que leva à formação de oomoldes, seguida de precipitação de C2 e de alguns óxidos de ferro.

3º:ocorrência de dissolução, que leva à formação de áreas moldadas e à diluição dos contornos dos romboedros (por vezes com preservação dos centros turvos).

4º:ocorrência de compactação e dissolução sob pressão que leva à ocorrência de fracturas, que não têm grande continuidade lateral e que estão preenchidas por cristais de dolomite em paliçada. Estes cristais são muito menos turvos de que os da matriz. Precipitação de cristais poiquilótópicos. Observa-se pontualmente junto às fracturas ocorrência de fracturação de alguns cristais romboédricos de dolomite turvos, por vezes observa-se alguma porosidade mcWP.

5º: crescimento de cristais de dolomite romboédricos mais límpidos e de dimensão menor do que os anteriormente precipitados.

6º: ocorrência de desdolomitização associada à ocorrência de dissolução incipiente, que leva à gênese de alguma porosidade smsBC e smsWC e precipitação de microsparite e de óxidos de ferro nos bordos dos romboedros e nos poros gerados por porosidade secundária (principalmente nos do tipo BC e VUG).

**16-Tipo de reservatório:**

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): dolomítico.

#### 5.4.4. AMOSTRA CH-2

##### 5.4.4.1 Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: cinzento acastanhado claro levemente amarelado/esbranquiado.

Cor da amostra húmida: mantém a mesma cor **Fig.5.15.A.**)

Corresponde a um calcário dolomítico moderadamente resistente.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: possíveis corais recristalizados.

Aspectos diagenéticos observados: mc/sms/lmsVUGS aleatoriamente distribuídos e que dão um aspecto cavernoso a rocha, derivados de dissolução tardia. Presença de partículas recristalizadas (> 1cm), correspondentes provavelmente a corais (?).

**Processos diagenéticos observados:** dolomitização, recristalização e dissolução.

##### 5.4.4.2. Descrição petrográfica

1-Composição e textura (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): pelmicrite, mudstone, cementstone, que sofreu dolomitização selectiva, que afecta principalmente a fase de ligação e que origina um fabric inequigranular porfirotópico do tipo floating-rhomb. Os cristais hipidiomórficos a idiotópicos estão normalmente associados ao preenchimento tardio de VUGS.

Observações complementares: verifica-se a presença de níveis/lentículas de composição mais micrítica que resistem mais a dolomitização e que dão à lâmina um aspecto pseudo-bandedo.

2-Litofácies (seg. Azerêdo, 1993,1998): 11.

3- EFOC identificáveis: não identificáveis.

4-Presença de óxidos de ferro: moderada. Apresentam uma distribuição localizada em geral junto às zonas em que existe a presença de fracturas e/ou de porosidade secundária não colmatada.

5-Fases de cimentação: C1 – precipitação de cristais dolomíticos xenotópicos/hipidiomórfico, C2 – mosaico irregular dolomítico, C3 – dolomite poiquilotópica (**Fig.5.15.B.**); C4 – crescimento tardio de cristais idiotópicos de dolomite, C5 – precipitação de microsparite.

6-Ambientes diagenéticos identificáveis: soterramento.

7-Processos diagenéticos identificáveis: cimentação, dolomitização, desdolomitização, cimentação, substituição e compactação.

8-Tipo de porosidade (Choquette & Pray, 1970):



**8.1-Tempo de formação:** mesodiagénesse.

**8.2-Primária:**  $\pm 12\%$ . Principalmente do tipo BP.

**8.3-Secundária:**

**8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:**  $\pm 2\%$ , principalmente do tipo, smsBC e mcFR.

**8.3.2-Estimativa da porosidade residual:**  $\pm 1-2\%$ , do tipo smsBC.

**8.3.3-Estimativa da porosidade efectiva:**  $\pm 0-1\%$ , do tipo mcFR.

**9- Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2007):** pobre.

**10- Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água:** 8.80%.

**11- Classificação da porosidade segundo Lucia (1983):**

**11.1-Interpartícula (P):**  $\pm 1-2\%$ , pertencentes a classe 2 e 3.

**11.2-Vuggy (V):** baixa.

**11.2.1- V (5):** nula.

**11.2.2- V (T):** baixa - correspondente às mcFR.

**11.3-Largura máxima dos cristais de dolomite:** 0,7mm.

**11.4-Aspecto dos cristais:** na globalidade da lâmina o aspecto é essencialmente turvo. Observam-se que os romboedros com geometria mais euédrica (crescem sobre a calcite poiquilotópica) apresentam o núcleo parcialmente dissolvido, onde se verifica a presença de óxidos e de alguns microcristais de microsparite. Em alguns destes romboedros os bordos encontram-se parcialmente dissolvidos e substituídos por microsparite.

**12-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993):** no sentido da destruição do fabric primário e geração de porosidade intercrystalina.

**13-Classificação do tipo de génese da porosidade (Ahr, 2008):** híbrido 2.

**14-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007):** baixa.



**Figura 5.15.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra Ch-2. **5.15.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre em corte, húmida, sem polimento; **5.15.B.** – crescimento de cristais idiotópicos de dolomite sobre o cimento poiquilotópico. A escala apresentada na figura B equivale 1mm.

**15- Interpretação da evolução diagenética da rocha:**

1º: formação das superfícies fenestradas (?) e cimentação.

2º: dolomitização selectiva da rocha (C1), seguida de dissolução e precipitação (C2).

3º: ocorrência de compactação que provoca a gênese de duas gerações de fracturas, em que as smsFR (preenchidas por mosaico irregular dolomítico) são mais recentes que as sms/lmsFR (preenchidas por mosaico em paliçada mais ou menos regular).

4º: cimento poiquilotópico (C3), seguida de crescimento tardio de cristais idiotópicos de dolomite.

5º: ocorrência de compactação e de dissolução sob pressão que provoca a ocorrência de mcFR (de baixa continuidade), seguida da ocorrência de dissolução. Gênese de porosidade smsBC, que por vezes, gera pequenos canais do smsCH. Estas fracturas atribuem a esta rocha alguma permeabilidade e apresentam a presença de material de aspecto argilo-betuminoso (?) associado às suas paredes.

5º: ocorrência de desdolomitização que leva a precipitação de microsparite nas paredes de algumas FR e no interior e nos bordos de alguns romboedros.

**16- Tipo de reservatório:**

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): dolomítico.

### **5.4.1. CAB.GORDA B**

#### **5.4.1. AMOSTRA CAB.GORDA B**

##### **5.4.1.1. Descrição macroscale/mesoscale**

Cor da amostra seca: cinzento acastanhado claro, pontualmente esbranquiçado.

Cor da amostra húmida: cinzento acastanhado levemente mais escuro (Fig.5.16.B.).

Corresponde a um dolomito.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: não identificáveis.

Aspectos diagenéticos observados: pontos ferruginizados, pequenas manchas brancas de calcite (possivelmente derivadas de desdolomitização tardia (?)), fracturas FV verticais preenchidos por calcite, presença microporosidade e de porosidade cavernosa (sms/lmsVUG abundante) que dá um aspecto cavernoso-sacaróide a amostra.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, dolomitização, compactação, dissolução e desdolomitização (?).

##### **5.4.1.2. Descrição petrográfica**

1- Composição e textura (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): cristalina, cementstone. Esta rocha sofreu dolomitização pervasiva de cerca de 95-98% da lâmina, que origina um fabric do tipo contact-rhomb (?), em que somente raros/pontuais pelóides resistiram a dolomitização maciça.

2-Litofácies (seg. Azerêdo, 1993,1998): 11.

3-EFOC identificáveis: não identificáveis.

4- Presença de óxidos de ferro: moderada, em geral situados junto às microfracturas e nas proximidades das interfaces entre cristais e nas paredes dos poros gerados por dissolução.

5-Fases de cimentação: C1 – dolomitização pervasiva originando um mosaico hipidiomórfico; C2 – cristais ligeiramente hipidiotópicos de aspecto límpido, C3 – precipitação de grandes cristais romboédricos de dolomite; C4 – microsparite.

6-Ambientes diagenéticos identificáveis: soterramento.

7-Processos diagenéticos identificáveis: cimentação, dolomitização, compactação, cimentação, desdolomitização.

8-Tipo de porosidade (Choquette & Pray, 1970):

8.1-Tempo de formação: mesodiagénesese.

8.2-Primária: não identificável.

8.3-Secundária:

8.3.1- Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:  $\pm 9\%$ .

8.2.2-Estimativa da porosidade residual:  $\pm 7-8\%$ , principalmente do tipo mcBC/smsBC e lms/ smsVUG e associada à ocorrência de dissolução de smsFR (Fig.5.16.C.)

8.2.3-Estimativa da porosidade efectiva:  $\pm 1-2\%$ . Resultante da conectividade entre poros do tipo BC e os VUGS e/ou resultante da conectividade entre porosidade BC, que pode originar porosidade pontual do tipo CH.

9-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2009): razoável.

10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água: 8,2%.

11-Classificação da porosidade segundo Lucia (1983):

11.1-Interpartícula (P):  $\pm 8\%$ , na sua maioria pertencentes a classe 1 e 2.

11.2-Vuggy (V):  $\pm 1\%$ .

11.2.1- V (5):  $<1\%$ , do tipo VUG.

11.2.2- V (T):  $\pm 1\%$ , do tipo CH.

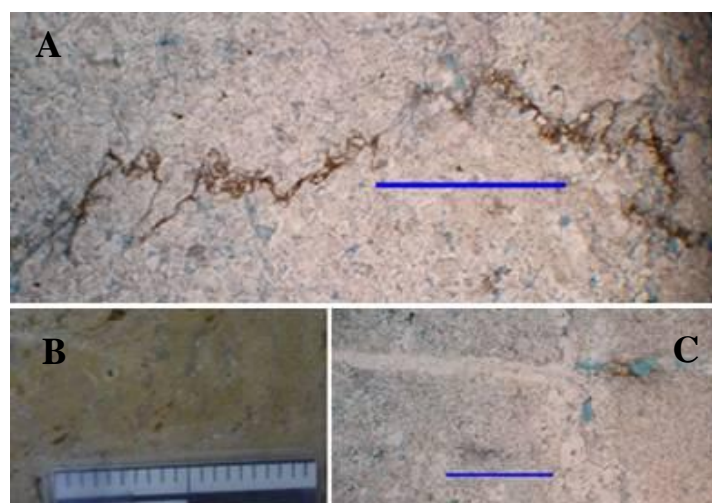
11.3-Largura máxima dos cristais de dolomite: 0,5mm.

11.4-Aspecto dos cristais: a maioria apresenta um aspecto turvo e zonamento evidente. À maioria dos romboedros de dolomite nesta lâmina apresentam um aspecto turvo na zona central e um aspecto mais límpido na periferia (podendo existir cristais que apresentam várias bandas alternantes, estas bandas são mais visíveis nos cristais mais euédricos de maiores dimensões).

12-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993): no sentido da destruição do fabric primário e geração de porosidade intercrystalina.

13-Classificação do tipo de génese da porosidade (Ahr, 2008): híbrido 1, com algumas influências de fracturação.

14-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007): baixa.



**Figura 5.16.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra **Cabeça Gorda-B.** **5.16.A.** – microestilólito, com porosidade e material argilo-ferruginoso associado; **5.16.B.** – fotografia macromorfológica tirada sobre em corte, húmida, sem polimento; **5.16.C.** – porosidade secundária não colmatada associada as fracturas. As escalas A e C equivalem a 1mm.

**15-Interpretação da evolução diagenética da rocha:**

1º:dolomitização pervasiva da rocha (C1).

2º:ocorrência de compactação e dissolução sob pressão que leva a geração de e de fracturas regulares sms (que cortam a totalidade da lâmina), fracturas irregulares (de baixa continuidade) e de poros, que são posteriormente preenchidos por cristais de aspecto límpido (C2). Formação de micro-estilólitos isolados (irregulares) com picos evidentes e com uma película de material argilo-ferruginoso associado.

3º:ocorrência de dissolução que leva a geração de grande parte da porosidade secundária não colmatada e precipitação de óxidos de ferro, em que alguma dessa porosidade esta associada ao micro-estilólitos (**Fig.5.16.A.**) e pontualmente às fracturas.

4º:precipitação de cristais romboédricos hipidiotópicos/idiotópicos de dolomite (C3) nas proximidades e/ou nas paredes dos poros.

5º:ocorrência de desdolomitização que leva a ocorrência de microsparite (C4) e a precipitação de óxidos de ferro.

**16-Tipo de reservatório:**

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): dolomítico.

**5.4.2. AMOSTRA CAB.GORDA -5****5.4.2.1. Descrição macroscale/mesoscale**

Cor da amostra seca: creme claro pontualmente esbranquiçado.

Cor da amostra húmida: creme (**Fig.5.17.A.**).

Corresponde a um calcário muito resistente, provavelmente correspondente a um wackestone (?).

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: nódulos algais recristalizados.

Aspectos diagenéticos observados: partículas pontualmente ferruginizadas

Processos diagenéticos observados: cimentação, dolomitização, compactação, dissolução, recristalização e desdolomitização (?).

**5.4.2.2. Descrição petrográfica**

**1-Composição e textura** (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): intra/pel/bio/oo/micrite, wackestone/ floatstone.

Observações complementares: esta lâmina apresenta uma grande variação composicional, em que se observa a uma passagem gradual alternante de níveis mais bioclastos para níveis menos bioclásticos. Verifica-se por vezes a presença de bolsadas de oo/intra/bio/sparite e de intercalações fenestradas do tipo LF-A.

Observa-se também a presença de estruturas geopéticas que nos indicam polaridade.

**2-Litofácies** (seg. Azerêdo, 1993,1998): 6.

**3-EFOC** identificáveis: esta lâmina apresenta uma moderada frequência de EFOC, em que os principais EFOC identificados foram: nódulos algais, bivalves, gastrópodes, foraminíferos (principalmente valvulinídeos) e ostracodos.

**4-Presença de óxidos de ferro:** baixa. Em geral próximos das microfracturas e/ou de nas paredes dos poros gerados por porosidade secundária.

**5-Fases de cimentação:** C1 – vasa carbonatada, C2 – cimento equigranular, C3 – cimento sparítico granular e de cimento drúsico pontual (?), C4 – cristais hipidiotópicos de dolomite de aspecto granular, C5 – microsparite.

**6-Ambientes diagenéticos identificáveis:** ambiente marinho pouco profundo e ambiente de soterramento.

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** cimentação, compactação, dissolução, neomorfismo /recristalização, dolomitização selectiva e desdolomitização fraca.

**8-Tipo de porosidade (Choquette & Pray, 1970):**

**8.1-Tempo de formação:** eodiagénesese e mesodiagénesese.

**8.2-Primária:** 10-15%, constituída por porosidade do tipo FE, WP.

**8.3-Secundária:**  $\pm$ 10-30% (devido a grande variação lateral e vertical observada), composta essencialmente por porosidade do tipo MO, smsFR, BC.

**8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:**  $\pm$  1-2 %, principalmente do tipo mcBC.

**8.3.2-Estimativa da porosidade residual:** a totalidade da porosidade absoluta

**8.3.3-Estimativa da porosidade efectiva:** nula.

**9-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008):** pobre.

**10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água:** 1,65%.

**11-Classificação da porosidade segundo Lucia (1983):**

**11.1-Interpartícula (P):** pertencentes essencialmente a classe 3 e alguns a classe 2.

**11.2-Vuggy (V):** nula.

**11.2.1- V (5):** nula

**11.2.2- V (T):** nula

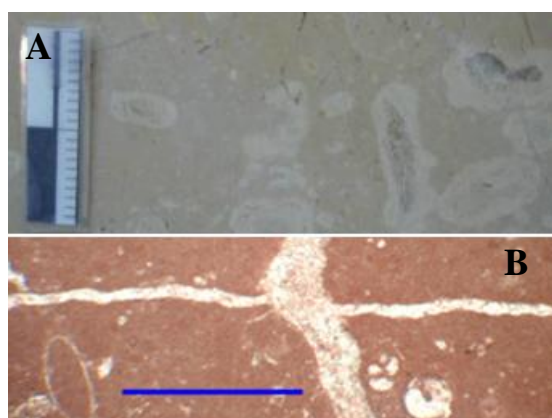
**11.3- Largura dos cristais de dolomite:** 0,04mm.

**11.4- Aspecto dos cristais de dolomite:** a maioria exhibe um aspecto turvo, sendo rara a presença de cristais com aspecto límpido.

**12-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993):** sentido da destruição do fabric primário e geração de porosidade intercrystalina(?).

**13-Classificação do tipo de génese da porosidade (Ahr, 2008):** trata-se de um híbrido 1, com algumas influências de fracturação.

**14-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007):** baixa.



**Figura 5.17.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra **Cabeça Gorda-5**. **5.17.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre em corte, húmida, sem polimento; **5.17B.** – demonstra as 2 gerações de fracturas preenchidas por cristais de dolomite e com evidências claras de desdolomitização. A escala apresentada em B equivale a 1mm.

**15-Interpretação da evolução diagenética da rocha:**

1º:deposição da vasa carbonatada, seguida de uma fase de exposição subaérea que permite a ocorrência das estruturas fenestradas (C1,C2).

2º:ocorrência de compactação incipiente, que gera um aumento do empacotamento, demonstrado pela presença de contactos pontuais e de figuras de carga, acompanhada pela ocorrência de dissolução incipiente dos EFC, seguida de preenchimento dos poros gerados por C3.

3º:ocorrência de compactação mecânica e de dissolução sob pressão e de dolomitização, que leva a geração de fracturas irregulares de baixa continuidade e de 2 gerações de fracturas (que cortam a totalidade da amostra (**Fig.5.17.B.**) que se encontram preenchidas por cristais hipidiotópicos de dolomite (C4), de aspecto granular e substituição da calcite pré-existente por dolomite.

4º:ocorrência de desdolomitização esparsa a moderada dos cristais de dolomite e posterior precipitação de microsparite (C5).

**16-Tipo de reservatório:**

Segundo Ahr (2008): não aplicável de forma taxativa, uma vez que se trata de um reservatório híbrido de fraco potencial, que engloba características dos 3 tipos possíveis segundo esta classificação.

Segundo Flügel (2004): fracturado (?).

**5.5. CANDEEIROS****5.5.1. AMOSTRA CAND-2****5.5.1.1. Descrição macroscale/mesoscale**

Cor da amostra seca: creme acastanhado claro. Este padrão é somente alterado pela presença pontual de pequenas manchas ferruginosas.

Cor da amostra húmida: mantém a mesma cor (**Fig.5.18.A.**).

Corresponde a um calcário micrítico muito resistente.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: não identificáveis.

Aspectos diagenéticos observados: partículas oncolitizadas e partículas ferruginizadas. Presença de uma partícula recristalizada.

Processos diagenéticos observados: cimentação, dolomitização, compactação, cimentação, recristalização e dissolução.

**5.5.1.2. Descrição petrográfica**

**1-Composição e textura** (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): biomicrite, mudstone a floatstone.

Esta lâmina apresenta evidências de dolomitização selectiva e apresenta um fabric porfirotopico do tipo floating-rhomb.

Observações complementares: presença de figuras geopéticas que nos indicam a polaridade.

**2-Litofácies** (seg. Azerêdo, 1993,1998): 7.

**3-EFOC** identificáveis: frequência esparsa, em que os principais EFOC identificados são: nódulos algais, foraminíferos, raros gastrópodes e bivalves.

**4-Presença de óxidos de ferro:** pontual e esparsa.



**5-Fases de cimentação:** C1 – cimento micrítico, C2 – cimento de mosaico irregular, C3 – cimento dolomítico em mosaico irregular, C4 – precipitação pontual de romboedros de dolomite hipidotópicos/idiotópicos, C5 – microsparite.

**6-Ambientes diagenéticos identificáveis:** ambiente freático superficial e ambiente de soterramento.

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** cimentação, dolomitização, dissolução e desdolomitização

**8-Tipo de porosidade (Choquette & Pray, 1970):**

**8.1-Tempo de formação:** eodiagénesese e mesodiagénesese.

**8.2-Primária:** <2%.

**8.3-Secundária:**  $\pm$  4-5%, principalmente do tipo MO, mcBC e smsFR.

**8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:** <1%, principalmente do tipo mcBC, observada pontualmente.

**8.3.2-Estimativa da porosidade residual:** a totalidade da porosidade absoluta.

**8.3.3-Estimativa da porosidade efectiva:** nula.

**9-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008):** pobre.

**10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água:** 0,51%.

**11-Classificação da porosidade segundo Lucia (1993):**

**11.1-Interpartícula (P):** a totalidade da porosidade existente, sendo esta essencialmente da 2 e 3.

**11.2-Vuggy (V):** não identificada.

**11.2.1- V (5):** não identificada.

**11.2.2-V (T):** não identificado.

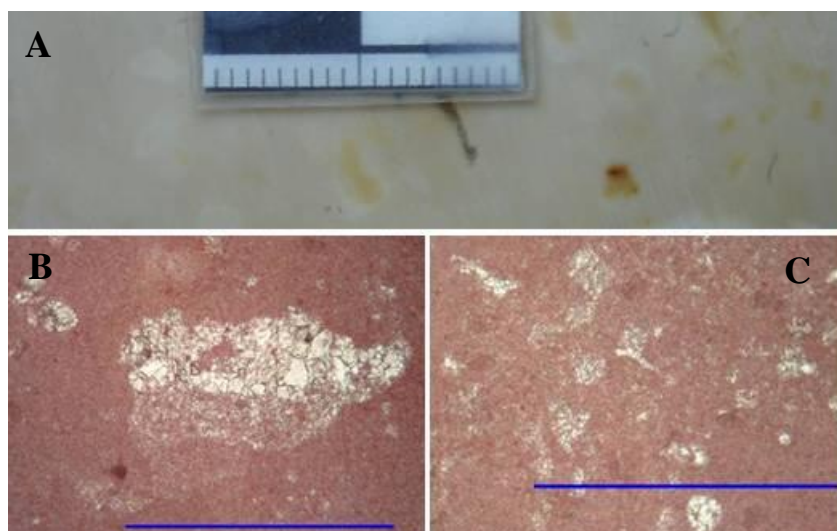
**11.3-Largura máxima dos cristais de dolomite:**  $\pm$  0,15mm

**11.4-Aspecto do cristais de dolomite:** turvo

**12- Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993):** no sentido da destruição incipiente do fabric inicial e geração de muito baixa de porosidade intercrystalina(?).

**13-Classificação do tipo de génese da porosidade (Ahr, 2008):** híbrido 1.

**14-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007):** nula.



**Figura 5.18.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra **Cand-2**. **5.18.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre em corte, húmida, sem polimento; **5.18B.** – figura geopética; **5.18C.** – aspecto geral da lâmina, mostrando evidências da ocorrência de desdolomitização tardia. As escalas das figuras B e C equivalem 1mm.

### 15- Interpretação da evolução diagenética da rocha:

1º: ocorrência de cimentação em ambiente superficial (nódulos algais) e formação das figuras geopéticas (**Fig.5.18.B.**), com colmatação do interior das mesmas por C1,C2.

2º: ocorrência de compactação e de dolomitização selectiva da rocha, em que ocorre a génese pontual de smsFR irregulares de baixa continuidade e a substituição do cimento calcítico e aragonítico (possivelmente) pré-existente por dolomite (C3), com ocorrência posterior de precipitação pontual romboedros de dolomite de aspecto menos turvos (C4).

3º: ocorrência de desdolomitização (**Fig.5.18.C.**) que leva a posterior precipitação de microsparite. Verifica-se a presença de grandes romboedros de dolomite constituídos por cristais granulares de dolomite com microsparite incorporada

### 16- Tipo de reservatório:

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): dolomítico.

## 5.6 - Portela das Cruzes

### 5.6.1. AMOSTRA PORTELA DAS CRUZES – A

#### 5.6.1.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: creme esbranquiçado a um creme esbranquiçado levemente acastanhado alaranjado nas zonas parcialmente ferruginizadas.

Cor da amostra húmida: mantém a mesma cor (**Fig.5.19.A.**).

Calcário oolítico muito resistente, de distribuição polimodal, calibragem moderada, granulometria média a grosseira, existindo uma ligeira contribuição de material fino. Verifica-se uma certa variação horizontal da granulometria, que passa de grosseira a média.

Corresponde a uma oo/intra//bio/pel/sparite, grainstone/ rudstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: bivalves (lamelibrânquios), gastrópodes, foraminíferos; coraliários (?) e algas calcárias (?).

Aspectos diagenéticos observados: partículas oncolitizadas; agregados oncolitizados; partículas parcialmente dissolvidas e posteriormente preenchidas; BFP em que se observam oóides, intraclastos e bioclastos ferruginizados dispersos aleatoriamente pela amostra; zonas intensamente ferruginizadas de cor vermelha-alaranjada, principalmente na área correspondente à granulometria mais grosseira; contacto pontual evidente entre partículas (EFC); presença de um microveio subvertical preenchido por calcite VPCC.

Observações complementares: fracturação de alguns intraclastos; zonas recristalizadas com evidências de pequenas fracturas.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, cimentação, dissolução, recristalização.

### 5.6.2. AMOSTRA ABRIGO (PORTELA DAS CRUZES – B)

#### 5.6.2.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: creme esbranquiçado.



Cor da amostra húmida: creme esbranquiçado ligeiramente amarelado (**Fig.5.19.B.**).

Calcário oolítico muito resistente, de distribuição bimodal, calibragem boa, granulometria fina, subsistindo apenas uma baixa percentagem de cerca de 10% de partículas > 1mm e cerca de 5% > 2mm.

Verifica-se também uma certa variação horizontal da granulometria e da percentagem e constituição da fase de ligação (?).

Corresponde a uma bio/oo/intra//pel/sparite, grainstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: coraliários, bivalves (lamelibrânquios), gastrópodes, foraminíferos.

Aspectos diagenéticos observados: partículas oncolitizadas; agregados oncolitizados, partículas parcialmente dissolvidas (principalmente bioclastos) e posteriormente preenchidas por material similar ao da matriz e por outros bioclastos; baixa percentagem de partículas e de zonas ferruginizadas, evidenciando pontualmente a precipitação de material argilo-ferruginoso de cor alaranjada; alguns bioclastos totalmente recristalizados; manchas brancas de alteração, principalmente em torno de grandes bioclastos correspondentes a fragmentos algais; presença de um microveio subhorizontal de calcite VPCA; contacto pontual entre as partículas.

Observações complementares: microfractura e partículas recristalizadas com evidências de fracturação interna, o que poderá indicar a ocorrência de compactação da rocha durante a diagénese.

A disposição, geometria e dimensão de alguns bioclastos (nomeadamente de alguns bivalves) poderá influenciar a permeabilidade e a porosidade da rocha.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, cimentação, dissolução, recristalização.



**Figura 5.19.** 5.19.A. – Expressão macromorfológica da amostra **Portela das Cruzes** – A; 5.19.B. – Expressão macromorfológica da amostra **Portela das Cruzes** – B; fotografias tiradas sobre uma secção em corte, seca, sem polimento.

## 5.7. SALGUEIRA (SAL)

### 5.7.1. AMOSTRA SAL.1B.

#### 5.7.1.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: creme esbranquiçado com grandes manchas castanhas.

Cor da amostra húmida: creme esbranquiçado ligeiramente amarelado com grandes manchas castanhas (**Fig.5.20.A.**).

Corresponde a um calcário resistente, de distribuição polimodal, calibragem moderada, granularidade essencialmente média a fina, subsistindo uma percentagem de cerca de 8% de partículas maiores que 2mm. Sendo evidente também uma certa variação vertical cíclica da granulometria, evidenciada pela sobreposição de níveis mais

finos sobre níveis mais grosseiros, com maior contribuição bioclástica. Verifica-se a presença de grandes bioclastos (> 5mm) dispersos aleatoriamente pela amostra.

Observa-se também nesta amostra uma bolsada de granulometria granulodecrescente, em que a base é composta por partículas mais grosseiras subangulosas a subroladas, em que os EFC predominantes são bioclastos, oóides (rolados) e alguns intraclastos (sub-angulosos a sub-rolados).

Este calcário corresponde a uma oo/bio/pel/intra/sparite, grainstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: corais de grandes dimensões (> 5mm, em que é possível a observação de varias secções, bivalves (lamelibrânquios (?)), algas e gastrópodes.

Estruturas sedimentares: um possível firmground (?) e bioperfurações (?).

Aspectos diagenéticos observados: recristalização dos bioclastos, em especial dos corais responsáveis pelas grandes manchas castanhas observadas na amostra; estes fragmentos de grandes corais recristalizados apresentam também evidências de dissolução e posterior preenchimento por material similar ao da matriz da rocha; manchas de alteração de cor alaranjada, principalmente nas zonas próximas e/ou circundantes onde ocorre a recristalização dos bioclastos (?) e ao longo das superfícies de desenvolvimento de estilólitos; partículas oncolitizadas (principalmente oóides) e bolsadas oncolitizadas; auréolas esbranquiçadas em torno dos bioclastos recristalizados; incipiente ferruginização das partículas; superfícies estilolíticas de baixa amplitude e de forma suave, ocorrendo ao longo do seu desenvolvimento evidências de dissolução, corrosão de algumas partículas e presença de material argilo-ferruginoso; zonas de compactação diferenciada, em que se passa de um contacto pontual entre as partículas a longo.

O desenvolvimento das superfícies estilolíticas parece aproveitar a existência da interface entre as zonas adjacentes e/ou circundantes onde ocorre a recristalização dos bioclastos e a matriz.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, recristalização, dissolução.

## 5.7.2. AMOSTRA SAL.1.

### 5.7.2.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: creme acinzentado claro.

Cor da amostra húmida: creme (**Fig.5.20.B.**).

Calcário muito resistente de distribuição polimodal, calibragem má, granularidade média a grosseira, subsistindo uma percentagem de cerca de 15% de intraclastos maiores que 2mm.

Observações complementares: variação horizontal do tamanho das partículas.

Este calcário corresponde a um intra/oo/bio/sparite, packstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: bivalves (lamelibrânquios (?)) e gastrópodes.

Aspectos diagenéticos observados: bioclastos recristalizados, partículas oncolitizadas (existindo algumas partículas oncolitizadas com evidências de alteração e de ferruginização, levando-as a apresentar uma orla de alteração de cor amarela-alaranjada), percentagem incipiente de partículas ferruginizadas, microveios de calcite VPCA, duas superfícies estilolíticas incipientes. Estas superfícies por vezes exibem partículas ligeiramente truncadas e material argilo-ferruginoso ao longo do seu desenvolvimento. As superfícies estilolíticas encontram-se cortadas por um microveio de calcite VPCA, veio esse, que parece aproveitar a presença de uma anterior superfície

para o seu desenvolvimento; microfracturas posteriormente preenchidas por calcite VPCA e por vezes com manchas de brancas de alteração;

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, dissolução (?), recristalização, compactação.

### 5.7.2.2. Descrição petrográfica

**1-Composição e textura** (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): intra/bio/oo/pel/sparite, packstone/grainstone a rudstone, com dolomitização incipiente, que afecta principalmente a fase de ligação e o interior de algumas partículas, sendo de registo o facto de as zonas com maior composição peloidal resistirem mais a dolomitização. Esta dolomitização origina um fabric inequiangular porfirotópico do tipo floating-rhomb.

Observações complementares: presença de feixes alternantes, em que existe uma variação da composição e da granulometria. Verifica-se a presença de níveis mais bioclásticos alternantes com níveis menos bioclásticos, e a presença de um nível que exhibe uma maior concentração de fragmentos de equinodermes.

Regista-se também a presença de micro-estilólitos múltiplos suaves em, com picos de maior amplitude evidentes. De uma forma geral associados a estes estilólitos existe sempre uma película acastanhada de óxidos e de matéria argilo- ferruginosa.

**2-Litofácies** (seg. Azerêdo, 1993,1998): 2.

**3-EFOC identificáveis:** frequentes EFOC, secções de foraminíferos (entre os vários tipos de foraminíferos presentes vale a pena destacar a presença de *Trocholina* cf.*elongata* (**Fig.5.21.A.**), em secção subaxial a oblíqua e *Meyendorffina bathonica*), corais solitários, equinodermes, estromatoporídeos, bivalves, gastrópodes e algas (*Arabicodium* sp. (?)).

**4-Presença de óxidos de ferro:** esparsa.

**5-Fases de cimentação:** C1 – cimentação da rocha por cimento calcítico, seguidamente em parte substituído por dolomite, C2 – cimento em mosaico granular por vezes a drúsico, constituído por cristais dolomíticos hipidiotópicos de maior dimensão e mais límpidos que os anteriormente precipitados; C3 – crescimento pontual de cristais romboedros idiotópicos/hipidiotópicos de dolomite, C4 – cimento poiquilotópico e sintáxico (?), C5 – cimento microsparítico.

**6-Ambientes diagenéticos identificáveis:** ambiente marinho freático e ambiente de soterramento.

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** cimentação, dolomitização, compactação, dissolução, neomorfismo/recristalização e desdolomitização

**8-Tipo de porosidade** (Choquette & Pray, 1970):

**8.1-Tempo de formação:** mesodiagénesese

**8.2-Primária:**  $\pm 20\%$ .

**8.3-Secundária total:**  $\pm 8\%$ , principalmente do tipo WPs, BC, MO, FR (**Fig.5.21.B.**).

**8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:** 2-3%, em que grande parte da porosidade existente é do tipo mcBC e mcWC, existindo alguma associada a porosidade MO colmatada.

**8.3.2-Estimativa da porosidade residual:** a totalidade da porosidade não colmatada.

**8.3.3-Estimativa da porosidade efectiva:** não identificável.

**9-Classificação qualitativa da porosidade** (Ahr, 2008): pobre.

**10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água:** 4,98%.

**11- Classificação da porosidade segundo Lucia** (1983):

**11.1-Interpartícula (P):** a totalidade da porosidade observada, pertencentes a classe 3 e 2.

**11.2-Vuggy (V):** nula.

**11.2.1- V (5):** nula.

**11.2.2-V (T):** nula.

**11.3-Largura máxima dos cristais dos cristais dolomíticos:**  $\pm 0,12\text{mm}$  de aspecto mais ou menos límpido, apresentando a presença pontual de óxidos e fracturação interna e evidências de desdolomitização.

**11.4-Aspecto dos cristais dolomíticos:** a maioria dos cristais dolomíticos apresenta um aspecto turvo.

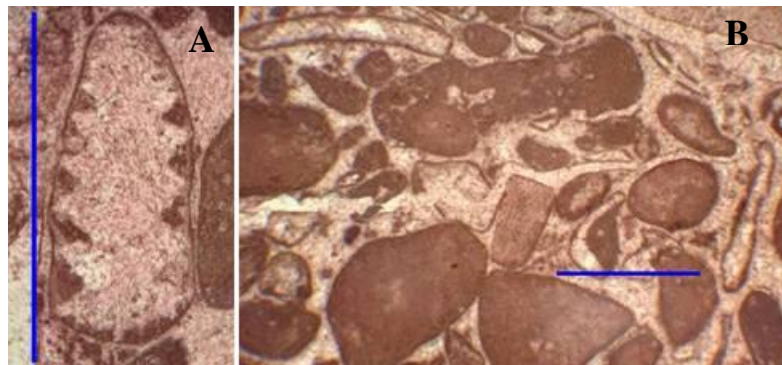
**12-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993):** destruição do fabric primário com formação essencialmente de porosidade intercrystalina.

**13-Classificação do tipo de gênese da porosidade (Ahr, 2008):** híbrido 1, com predominância clara dos efeitos diagenéticos.

**14-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007):** nula.



**Figura 5.20.** 5.20.A. – Expressão macromorfológica da amostra Sal.1b; 5.20.B – Expressão macromorfológica da amostra Sal.1; fotografias tiradas sobre uma secção em corte, seca, sem polimento.



**Figura 5.21.** Expressão micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra Sal.1. 5.21.A. – *Trocholina cf. elongata*; 5.21B. – smsFR. Ambas as escalas equivalem a 1mm.

#### 15-Interpretação da evolução diagenética da rocha:

1º:cimentação da rocha por cimento calcítico (em que ainda se observam vestígios de cimento micrítico, em forma de envelopes, pelóidal, colunar, em que os cristais de calcite foram substituídos por dolomite), posteriormente substituído por cimento dolomítico (C4) correspondente a primeira fase de dolomitização.

2º:ocorrência de compactação e de dissolução associada, que leva a ocorrência de dissolução intrapartícula (por exemplo de fragmentos de corais) que gera porosidade secundária posteriormente colmatada por C5 e a formação de contactos

pontuais/suturados e fracturação interpartícula que por vezes leva a formação de fracturas irregulares de baixa continuidade (devidas a ocorrência de dissolução sob pressão) com preenchimento de cristais em mosaico equigranular de cristais dolomíticos mais límpidos que os precipitados na 1ª fase de dolomitização. Observa-se também a existência de fracturação e intercrystalina.

3º: crescimento pontual de cristais romboédricos idiotópicos/hipidiotópicos (C6) de dolomite e de cimento poiquilotópico e sintáxico (?).

4º: ocorrência de desdolomitização e dissolução tardia que leva a precipitação de cimento microsparítico (C8) e de óxidos de ferro e geração pontual de porosidade do tipo mcWC.

**16-Tipo de reservatório:**

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): dolomítico.

### 5.7.3. AMOSTRA SAL-5

#### 5.7.3.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: cor creme acastanhado escuro

Cor da amostra húmida: mantém a mesma cor (**Fig.5.22.A.**).

Corresponde a um calcário muito resistente de distribuição polimodal, calibragem má, granulometria fina a grosseira, em que são observáveis várias partículas negras de dimensão variável, algumas delas > 2mm e vários graus de alteração, em que na sua maioria se apresentam subroladas a subangulosas numa fase de ligação micritica.

Corresponde a uma biomicrite, wackestone/floatstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: nódulos algais recristalizados, de vários tamanhos, nalguns casos poderão chegar aos 4mm e coraliários.

Aspectos diagenéticos observados: alteração da cor inicial dos nódulos algais, que aparentam na sua essência uma cor preta. A incidência de fenómenos de alteração sobre os nódulos algais leva à ocorrência de uma variação da cor apresentada, sendo esta variação da cor caracterizada por uma passagem gradual de cores mais escuras (preto, cinzento) para cores mais claras (fúcsia a branco na parte terminal de alteração); o início da alteração é normalmente marcado pela presença de uma auréola branca a contornar toda a zona envolvente dos nódulos.

Observam-se também microveios de calcite a cortarem a amostra e duas possíveis microfracturas (?).

Observações complementares: a alteração dos nódulos algais não ocorre de forma homogénea ao longo de toda a amostra.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, dissolução (?), recristalização e compactação (?).

#### 5.7.3.2. Descrição petrográfica

**1-Composição e textura** (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): biomicrite, mudstone/wackestone a floatstone. Existiu dolomitização selectiva esparsa que origina um fabric inequigranular porfirotópico do tipo floating-rhomb.

**2-Litofácies** (seg. Azerêdo, 1993,1998): 7.

**3-EFOC identificáveis:** nódulos algais, foraminíferos (em especial salienta-se a presença de valvulinídeos e *Meyendorffina bathonica* (**Fig.5.22.B.**)) e um fragmento de gastrópode.

**4-Presença de óxidos de ferro:** esparsa, normalmente associados às paredes dos poros gerados por porosidade secundária por dissolução e a algumas mcFR.

**5-Fases de cimentação:** C1 – precipitação da micrite que cimenta rocha, C2 – cimento pelóidico nos fenestrae, C3 – cimento mosaico irregular de cristais de calcite nos fenestrae, C4 – cimento dolomítico constituído por cristais xenotópicos/hipidiotópicos (1 fase de dolomitização da rocha), C5 – crescimento pontual de cristais idiotópicos/hipidiotópicos de dolomite de aspecto mais límpido (correspondentes a 2 fase de dolomitização da rocha) C6 – cimento microsparítico.

**6-Ambientes diagenéticos identificáveis:** ambiente marinho pouco profundo e ambiente de soterramento.

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** cimentação, dolomitização, compactação, dissolução e desdolomitização.

**8-Tipo de porosidade (Choquette & Pray, 1970):**

**8.1-Tempo de formação:** mesodiagéne.

**8.2-Primária:**  $\pm 2\%$ , essencialmente do tipo FE.

**8.3-Secundária:**  $\pm 2-3\%$ , mcFR, mcBC e mcMO.

**8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:**  $< 1\%$ , principalmente do tipo mcBC.

**8.3.2-Estimativa da porosidade residual:** a totalidade da porosidade não colmatada.

**8.3.3-Estimativa da porosidade efectiva:** não identificável.

**9-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008):** pobre.

**10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água:** 0,85%.

**11-Classificação da porosidade segundo Lucia (1983):**

**11.1-Interpartícula (P):** a totalidade da porosidade observada, em geral pertencente a classe 3.

**11.2-Vuggy (V):** não identificável.

**11.2.1- V (5):** não identificável.

**11.2.2- V (T):** não identificável.

**11.3-Largura máxima dos cristais de dolomite:**  $< 0,1\text{mm}$ , e são correspondentes a segunda fase de dolomitização da rocha.

**11.4-Aspecto dos cristais de dolomite:** os cristais correspondentes à primeira fase de dolomitização apresentam um aspecto turvo, enquanto que os da segunda apresentam um aspecto mais límpido e dimensão superior.

**12-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993):** no sentido da geração de porosidade interpartícula.

**13- Classificação do tipo de gênese da porosidade (Ahr, 2008):** híbrido 1.

**14- Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007):** nula.

**15- Interpretação da evolução diagenética da rocha:**

1º:precipitação da vasa que cimenta rocha, contemporaneamente existe exposição subaérea que leva à formação da porosidade primária do tipo FE e a formação de figuras geopéticas (C2,C3).

2º:ocorrência da primeira fase de dolomitização que leva a precipitação de C4, seguida de precipitação de C5.

3º:ocorrência de compactação e dissolução por pressão que leva a formação de 2 gerações de microveios irregulares e de baixa continuidade (preenchidos

por cristais de dolomite) e de posterior formação de micro-estilólitos múltiplos com forma suave e com picos de maior amplitude. Associada a estes estilólitos existe sempre uma película acastanhada de óxidos e de matéria argilo-ferruginosa.

4º: desdolomitização precipitação de cimento microspáritico e de óxidos de ferro.

#### 16-Tipo de reservatório:

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): dolomítico.



**Figura 5.22.** Expressão macromorfológica e micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra Sal-5. **5.22.A.** – Expressão macromorfológica da amostra Sal-5, fotografia tirada sobre uma secção em corte, seca, sem polimento; **5.22.B.** – *Meyendorffina bathonica*, e pormenor da mcFR. A escala em B equivale a 1mm.

### 5.7.4. AMOSTRA SAL-6

#### 5.7.4.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: creme acastanhado claro.

Cor da amostra húmida: creme acastanhado ligeiramente escuro (**Fig.5.23.A.**).

Calcário muito resistente, de distribuição polimodal, calibragem moderada a má, granulometria essencialmente fina, subsistindo cerca de 10% de partículas de dimensão maior ou igual a 1mm.

Corresponde a uma biomicrite (?), mudstone a wackestone/floatstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: bivalves, gastrópodes (?) e foraminíferos (?).

Aspectos diagenéticos observados: baixa ferruginização das partículas; pequenos laivos e manchas de cor amarela-alaranjada aleatoriamente distribuídas pela amostra; microfracturas (?).

Observações complementares: algumas partículas ferruginizadas com evidências de dissolução interna.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, dissolução, compactação (?).

#### 5.7.4.2. Descrição petrográfica

1-Composição e textura (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): biomicrite, mudstone, floatstone.

Ocorrência de dolomitização selectiva localizada que origina um fabric parcial inequigranular porfirotopico do tipo floating-rhomb.

Observações complementares: presença de laivos ferruginosos tardios e apresenta *bird eyes* na fase de ligação micrítica.

2-Litofácies (seg. Azerêdo, 1993,1998): 7.

**3-EFOC identificáveis:** foraminíferos (em especial, salienta-se a presença frequente de valvulinídeos) e alguns nódulos algais.

**4- Presença de óxidos de ferro:** moderada.

**5-Fases de cimentação:** C1 – precipitação da vasa que cimenta rocha, C2 – cimento pelóidico nos fenestras, C3 – cimento em mosaico irregular de cristais de calcite nos fenestras, C4 – cimento dolomítico constituído por cristais xenotópicos/hipidotópicos (correspondente à primeira fase de dolomitização da rocha e que substitui a calcite pré-existente), C5 – crescimento de cristais hipidotópicos de dolomite de aspecto mais límpido (correspondentes a segunda fase de dolomitização da rocha) C6 – cimento microsparítico.

**6- Ambientes diagenéticos identificáveis:** ambiente marinho pouco profundo e ambiente de soterramento.

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** cimentação, dolomitização, dissolução e compactação e desdolomitização.

**8-Tipo de porosidade (Choquette & Pray, 1970):**

**8.1-Tempo de formação:** mesodiagénesse.

**8.2-Primária:** <2%, principalmente do tipo FE.

**8.3-Secundária:** ± 5%, principalmente do tipo mc/smsBC e mc/smsFR.

**8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:** <3%, principalmente do tipo mc/smsBC e mcWC (**Fig.5.23.B.**).

**8.3.2- Estimativa da porosidade residual:** a totalidade da porosidade não colmatada.

**8.3.3-Estimativa da porosidade efectiva:** não identificável.

**9-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008):** pobre.

**10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água:** 4.67%.

**11-Classificação da porosidade segundo Lucia (1983):**

**11.1-Interpartícula (P):** praticamente a totalidade da porosidade não colmatada, principalmente a classe 2 e 3 e associada a transição entre a vasa e as paredes dos EFC que sofrem dolomitização.

**11.2-Vuggy (V):** parcial e com uma percentagem <1%.

**11.2.1- V (5):** a totalidade da percentagem enumerada no item anterior.

**11.2.2-V (T):** não identificável.

**11.3-Largura máxima dos cristais dolomite:** <0,1mm.

**11.4-Aspecto dos cristais de dolomite:** os cristais correspondentes à primeira fase de dolomitização apresentam um aspecto turvo, enquanto que os da segunda apresentam um aspecto mais límpido e dimensão superior.

**12-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993):** no sentido da destruição do fabric primário e geração de porosidade intercrystalina.

**13-Classificação do tipo de génese da porosidade (Ahr, 2008):** híbrido 1.

**14-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007):** nula.

**15-Interpretação da evolução diagenética da rocha:**

1º: precipitação da vasa que cimenta rocha (C1), em que contemporaneamente existe exposição subaérea que leva à formação da porosidade primária do tipo FE (*bird eyes* na fase de ligação micritica); formação de figuras geopéticas (C2+C3).

2º: ocorrência da primeira fase de dolomitização que leva a precipitação de C4, seguida de precipitação de C5.

3º: ocorrência de compactação e dissolução por pressão que leva a formação de fracturas sms irregulares (que por vezes apresentam bifurcações e estão



preenchidas por cristais de dolomite, e que pontualmente apresentem junto aos seus bordos material argilo-ferruginoso).

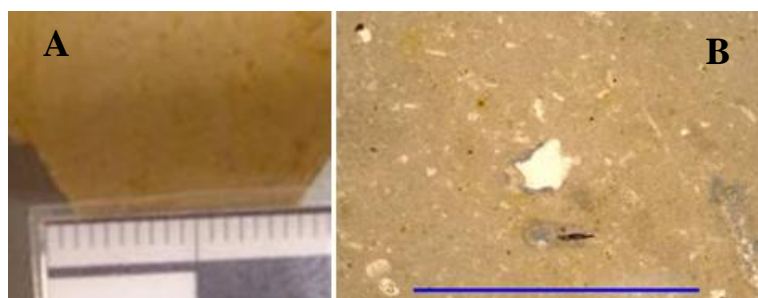
4º: desdolomitização e precipitação de cimento microsparítico (C6) e de óxidos de ferro.

5º: ocorrência de ferruginização tardia, que leva à formação dos laivos ferruginosos de cor acastanhada/amarelada.

#### 16- Tipo de reservatório:

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): dolomítico parcial (?).



**Figura 5.23.** Expressão macromorfológica e micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra Sal.6. **5.23.A.** – Expressão macromorfológica da amostra Sal-6, fotografia tirada sobre uma secção em corte, seca, sem polimento; **5.23.B.** – microporosidade não colmatada. A escala em B equivale a 1mm.

### 5.7.5. AMOSTRA SAL.E

#### 5.7.5.1. Descrição macroescala/mesoscala

Cor da amostra seca: branco acinzentado claro

Cor da amostra húmida: mantém a mesma cor (**Fig.5.24.A. e B.**).

Calcário muito resistente, de granularidade muito fina (quase imperceptível à lupa).

Este calcário corresponde a uma biomicrite, mudstone a wackestone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: nódulos algais dispersos (?) e gastrópodes.

Aspectos diagenéticos observados: nódulos algais (?) recristalizados; raros pontos ferruginizados disseminados; pequenas manchas amarelas dispersas aleatoriamente pela amostra; microveios preenchidos por calcite VPCA.

Observações complementares: dissolução de alguns bioclastos recristalizados, levando à ocorrência de porosidade; compactação diferencial (?), evidenciada pela presença de fracturas subhorizontais de geometria complexa, encontrando-se estas preenchidas por material argilo-ferruginoso de cor vermelha/alaranjada.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, dissolução, compactação (?), recristalização.



**Figura 5.24;5.24.A.** – Expressão macromorfológica da amostra Sal-E.; **5.24.B.** - pormenor das zonas recristalizadas .

## 5.8. VALE VENTOS

### 5.8.1. AMOSTRA VALE VENTOS-0

#### 5.8.1.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: creme claro.

Cor da amostra húmida: creme claro acinzentado (**Fig.5.25.A.**).

Calcário muito resistente com distribuição polimodal, calibragem má, granularidade essencialmente fina, as partículas apresentam-se geralmente subangulosas a ligeiramente subroladas. Esta amostra apresenta cerca de 10-15% de partículas > 1m/m, podendo ocorrer partículas > 2mm, que são normalmente intraclastos subangulosos a angulosos normalmente ferruginizados.

Corresponde a intra/oo/bio/micrite, wackestone a packstone.

Fragments de bio-elementos identificáveis: grandes nódulos algais e gastrópodes.

Aspectos diagenéticos observados: partes dos nódulos algais recristalizados; baixa ferruginização das partículas; partículas oncolitizadas; agregados oncolitizados (?); manchas de cor amarela-alaranjada; microfractura preenchida por calcite acinzentada que corta longitudinalmente a amostra.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, dissolução, recristalização.

#### 5.8.1.2. Descrição petrográfica

1-Composição e textura (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): intra/oo/bio/micrite, packstone/floatstone. Há dolomitização selectiva pontual localizada, dispersa aleatoriamente pela amostra originando um fabric inequigranular porfirotopico do tipo floating-rhomb.

Observações complementares: verifica-se uma variação acentuada da composição e da granulometria ao longo da lâmina, em que são visíveis laminações alternantes que apresentam uma certa orientação e inclinação. Regista-se também a presença de oóides ressedimentados (indicadores de inversão textural).

A dolomitização está em geral associada a zonas de menor empacotamento. Estas zonas parecem derivadas da ocorrência de bioturbação e dissolução associada, durante a eodiagénesis (?).

2-Litofácies (seg. Azerêdo, 1993,1998): 7.

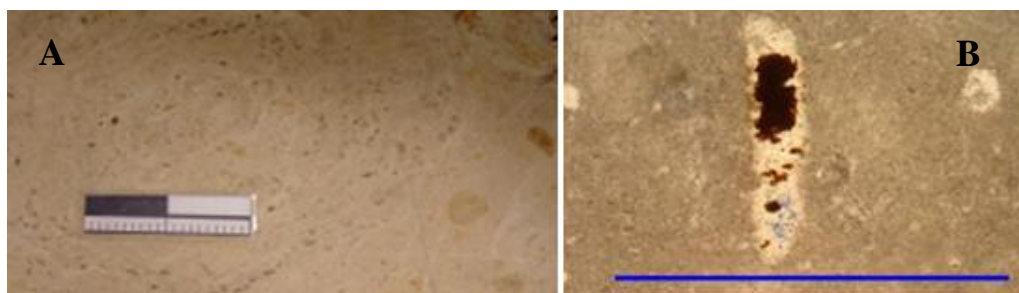
3-EFOC identificáveis: frequência moderada de EFOC, em que se destaca a presença de foraminíferos (em especial salienta-se a presença de valvulinídeos e *Meyendorffina bathonica*), nódulos algais, equinodermes, corais e porostromata (?).

4-Presença de óxidos de ferro: esparsa (**Fig.5.25.B.**).

5-Fases de cimentação: C1 – crescimento de cristais xenotópicos/hipidotópicos, C2 – crescimento de cristais hipidotópicos de dolomite de aspecto mais límpido (correspondentes a segunda fase de dolomitização da rocha) C3 – seguido de cimento poiquilotópico, C4 – cimento microsparítico.

6-Ambientes diagenéticos identificáveis: ambiente marinho e ambiente de soterramento.

7-Processos diagenéticos identificáveis: cimentação, dissolução, compactação, dolomitização e desdolomitização.

**8-Tipo de porosidade (Choquette & Pray, 1970):****8.1-Tempo de formação:** eodiagénesese e mesodiagénesese.**8.2-Primária:**  $\pm 5\%$ , principalmente do tipo BP.**8.3-Secundária:**  $\pm 3-4\%$ , principalmente do tipo mc/smsFR, mcMO (parcial) mc/smsBC (que pode originar mcCH).**8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:**  $\pm 2\%$ , aleatoriamente distribuída pela amostra, principalmente do tipo mc/smsBC, mcCH e mcMO (parcial).**8.3.2-Estimativa da porosidade residual:** a totalidade da porosidade absoluta não colmatada.**8.3.3-Estimativa da porosidade efectiva:** não identificável.**9-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008):** pobre.**10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água:** 2,53%.**11-Classificação da porosidade segundo Lucia (1983):****11.1-Interpartícula (P):**  $\pm 1\%$ , do tipo tipo mc/smsBC, mcCH.**11.2-Vuggy (V):**  $\pm 1\%$ .**11.2.1- V (5):**  $\pm 1\%$ , devida a porosidade existente dentro de moldes de bioclastos mcMO (parcial).**11.2.2- V (T):** não identificável.**11.3-Largura máxima dos cristais:** 0,1mm.**11.4-Aspecto dos cristais de dolomite:** os cristais correspondentes à primeira fase de dolomitização apresentam um aspecto turvo, enquanto que os da segunda apresentam um aspecto mais límpido e dimensão superior.**12-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993):** corresponde a um híbrido, situado entre a gênese da porosidade moldada e a gênese de porosidade intercrystalina.**13-Classificação do tipo de gênese da porosidade (Ahr, 2008):** híbrido 1.**14-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007):** nula.

**Figura 5.25.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra **Vale de Ventos-0**. **5.25.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre em corte, húmida, sem polimento; **5.25.B.** – porosidade WPs e precipitação intensa de óxidos de ferro associados a dissolução tardia. A escala da figura B equivale a 1mm.

**15-Interpretação da evolução diagenética da rocha:**

1º: ocorrência da primeira fase de dolomitização que leva a precipitação de C1.

2º: ocorrência de compactação e de dissolução, que leva a um aumento no empacotamento, evidenciado pelos contactos pontuais entre as partículas e pela fracturação intrapartículas (nomeadamente de bioclastos). A evolução da compactação no ambiente de soterramento leva a ocorrência fracturas preenchidas por um mosaico irregular de cristais de dolomite de maiores dimensões e de aspecto mais límpido que os

cristais precipitados na primeira fase de dolomitização (C2), seguido de cimento poiquilotópico (C3).

3º: desdolomitização que leva a precipitação de microsparite (C4).

**16-Tipo de reservatório:**

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): dolomítico.

## **5.9. MENDIGA (M,ME)**

### **5.9.1. AMOSTRA ME-50.**

#### **5.8.1.1. Descrição macroscale/mesoscale**

Cor da amostra seca: creme.

Cor da amostra húmida: mantém praticamente a mesma cor (**Fig. 5.26.A**).

Corresponde a um calcário micrítico muito resistente.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: não identificáveis a esta escala.

Aspectos diagenéticos observados: partículas oncolitizadas, partículas ferruginizadas e micro-estilólitos, que pontualmente apresentam evidências de dissolução. Verifica-se também evidências de recristalização (pontuais).

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, cimentação, recristalização e dissolução.

#### **5.9.1.2. Descrição petrográfica**

**1-Composição e textura** (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): micrite, mudstone que sofre dolomitização selectiva parcial tardia localizada, associada a fracturação. Ocorrendo também a dolomitização dos fenestrae, *bird eyes*, intra-moldes de bioclastos e de zonas pontuais (que apresentavam primariamente um menor empacotamento).

Observações complementares: fracturação intensa, evidenciada pela presença abundante de fracturas mc/smsFR, geradas por dissolução por pressão e preenchidas por um mosaico de cristais de dolomite irregular de aspecto mais limpo. Verifica-se que algumas destas fracturas parecem aproveitar a preexistência dos fenestrae para o seu desenvolvimento, levando a que por vezes ocorram ligeiras mudanças da orientação das mesmas. Regista-se também a presença de micro-estilólitos (com material argilo-ferruginoso associado) posteriores às fracturas.

**2-Litofácies** (seg. Azerêdo, 1993,1998): 6.

**3-EFOC identificáveis:** frequência pontual. Os principais identificados foram: nódulos algais e foraminíferos (em especial, valvulinídeos).

**4-Presença de óxidos de ferro:** esparsa/moderada, associados em geral com zonas de menor empacotamento e/ou com as zonas fracturadas.

**5-Fases de cimentação:** C1 – cimento micrítico, C2 – cimento em mosaico irregular; C3 – cimento xenotópico/hipidotópico de cristais de dolomite, C4 – cimento em mosaico irregular de cristais de dolomite nas fracturas, C5 – cimento microsparítico.

**6-Ambientes diagenéticos identificáveis:** ambiente marinho pouco profundo e ambiente de soterramento.

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** cimentação, dissolução, dolomitização, compactação, desdolomitização.

**8-Tipo de porosidade** (Choquette & Pray, 1970):

**8.1-Tempo de formação:** eodiagénes e mesodiagénes.

**8.2-Primária:**  $\pm 4\%$ , principalmente do tipo FE.

**8.3-Secundária:**  $\pm 5-7\%$ .

**8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:**  $\pm 4\%$ .

**8.3.2-Estimativa da porosidade residual:**  $\pm 2-3\%$ , constituída essencialmente por poros do tipo mc/smsBC, mcWC, smsVUGS e alguns mcVUGS.

**8.3.3-Estimativa da porosidade efectiva:**  $\pm 1-2\%$ , devido a presença de smsCH (associados à dissolução das superfícies estilolíticas).

**9-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008):** pobre.

**10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água:** 1,49%.

**11-Classificação da porosidade segundo Lucia (1983):**

**11.1-Interpartícula (P):**  $\pm 2\%$ , principalmente pertencentes às classes 1 e 2.

**11.2-Vuggy (V):**  $\pm 2\%$ .

**11.2.1- V (5):**  $<1\%$ .

**11.2.2-V (T):**  $\pm 1-2\%$ , associada aos micro-estilólitos.

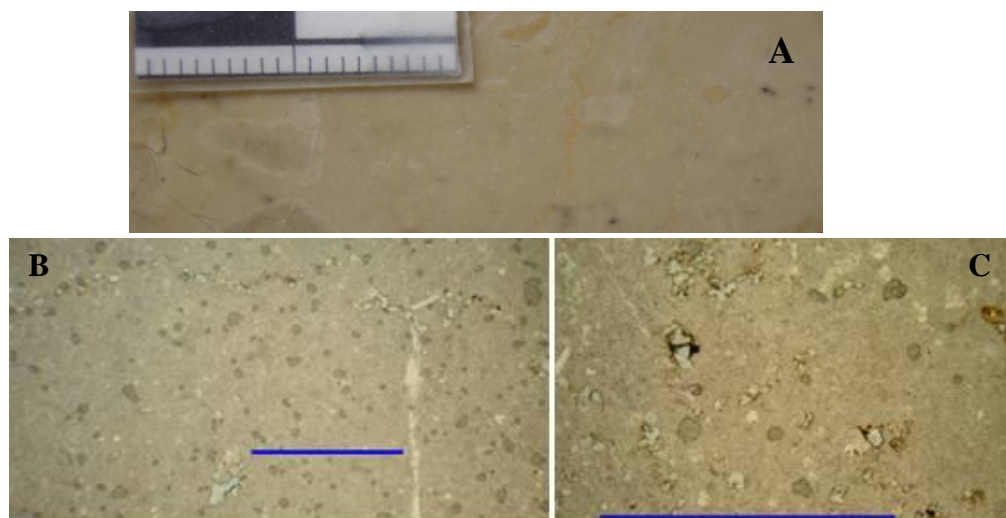
**11.3-Largura máxima dos cristais de dolomite:**  $\pm 0,1\text{mm}$ .

**11.4-Aspecto dos cristais de dolomite:** a globalidade dos cristais apresenta um aspecto ligeiramente entre o turvo e límpido.

**12-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993):** trata-se de um híbrido, em que as influências de destruição do fabric primário, com geração de porosidade intercrystalina, são predominantes.

**13-Classificação do tipo de génese da porosidade (Ahr, 2008):** híbrido 2, com algumas influências deposicionais.

**14-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007):** baixa.



**Figura 5.26.** – Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra ME-50. **5.26.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre em corte, húmida, sem polimento; **5.26.B.** – porosidade mc/sms e precipitação de óxidos de ferro associados a uma superfície estilolítica; **5.26.C.** – porosidade e óxidos associados aos estilólitos múltiplos. As escalas das figuras B e C correspondem a 1mm.

**15-Interpretação da evolução diagenética da rocha:**

1º: formação das intercalações fenestradas e *bird eyes* e de figuras geopéticas associadas, que indicam polaridade, devido à deposição de micrite em suspensão, ocorrendo posteriormente a precipitação de sparite.

A presença de fenestras indica-nos que a esta rocha na altura da sua formação alternou entre a exposição e a submersão.

2º: ocorrência de dissolução que leva à formação de porosidade secundária (principalmente do tipo MO), posteriormente preenchida por precipitação de um mosaico irregular de cristais de sparite de vários tamanhos e coalescentes, colmatando assim a porosidade existente.

3º: ocorrência da primeira fase de dolomitização (C3).

4º: ocorrência de compactação e de dissolução sob pressão que gera as superfícies estilólíticas (**Fig. 5.26.B. e C.**), seguidas da formação das mc/smsFR. As últimas fracturas a serem geradas por este processo apresentam normalmente uma baixa continuidade.

5º: ocorrência de desdolomitização e de dissolução que leva a formação pontual/esparsa de microsparite (associada as fracturas) e de óxidos de ferro.

**16-Tipo de reservatório:**

Segundo Ahr (2008): diagenético

Segundo Flügel (2004): trata-se de um híbrido, entre parcialmente dolomítico e o fracturado.

## 5.9.2. AMOSTRA M-48

### 5.9.2.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: creme ferruginizado.

Cor da amostra húmida: mantém praticamente a mesma cor, apresenta unicamente tons mais amarelados (**Fig. 5.27.A.**).

Corresponde a um calcário muito resistente.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: não identificáveis a esta escala.

Aspectos diagenéticos observados: partículas oncolitizadas, partículas ferruginizadas, laivos ferruginosos, partículas recristalizadas (por vezes com evidências de ferruginização no interior das mesmas).

Verifica-se também a presença de micro-estilólitos com baixa continuidade.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, cimentação, recristalização e dissolução.

### 5.9.2.2. Descrição petrográfica

1-Composição e textura (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): 80-85% da lâmina corresponde a uma oo/intra/bio/micrite, packstone (**Fig. 5.27.C.**). Os restantes 15-20% correspondem a uma zona intensamente dolomitizada, que sofreu dolomitização importante a qual origina um fabric dolomítico porfirotópico inequigranular do tipo contact-rhomb, em que somente as partículas de composição mais micrítica resistiram a essa dolomitização massiva. Segundo a classificação de Wright corresponde a uma cementstone (**Fig. 5.27.D.**).

Verifica-se também a presença de estilólitos simples e múltiplos, que de uma forma geral apresentam uma forma serrilhada e presença de material argilo-ferruginoso associado. Estes estilólitos não são condicionados pelas partículas para o seu desenvolvimento.

Observações complementares: frente de dolomitização parece estar associada a ocorrência de compactação/dissolução e fracturação contemporânea.



2-Litofácies (seg. Azerêdo, 1993,1998): 2.

3-EFOC identificáveis: moderada/frequente EFOC, em que os principais EFOC identificados são: nódulos algais, equinodermes, foraminíferos, bivalves e gastrópodes.

4-Presença de óxidos de ferro: esparsa a moderada, observando-se pontualmente manchas de óxidos localizadas em torno dos intraclastos de maiores dimensões.

5-Fases de cimentação: C1 – cimento em ponte (**Fig. 5.27.B.**), C2 – cimento laminar (irregular), C3 – cimentação da rocha por cimento micrítico; C4 – cimento em mosaico irregular (intragrão), C5 – cimento dolomítico xenotópico/hipidiotópico, C6-cimento hipidiotópico/idiotópico, C7 – microsparite.

6-Ambientes diagenéticos identificáveis: ambiente marinho freático, ambiente marinho pouco profundo e ambiente de soterramento.

7-Processos diagenéticos identificáveis: cimentação, dissolução, compactação, dolomitização e desdolomitização.

8-Tipo de porosidade (Choquette & Pray, 1970):

8.1-Tempo de Formação: eodiagénesese e mesodiagénesese.

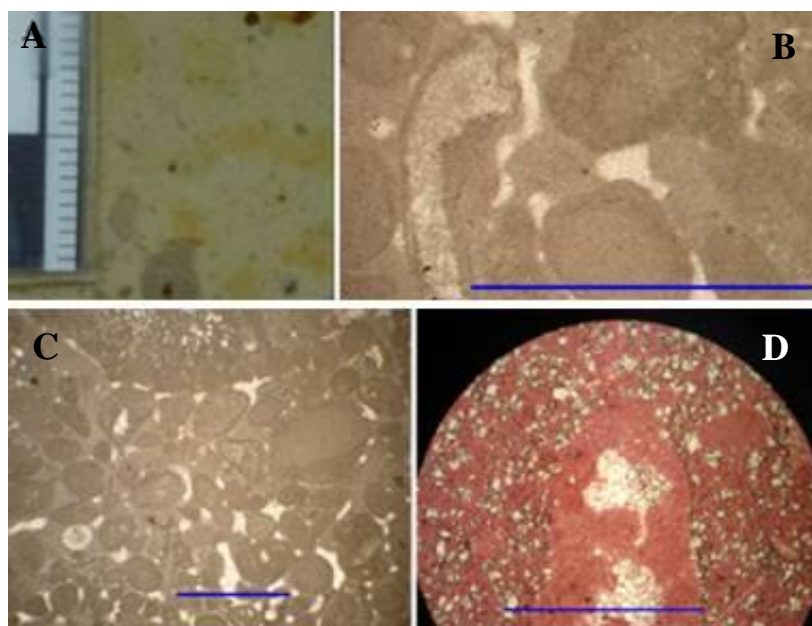
8.2-Primária:  $\pm 15\%$ , principalmente do tipo BP.

8.3-Secundária:  $\pm 5-7\%$ . Principalmente do mc/smsFR, mcBC e WPs.

8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:  $<1\%$ .

8.3.2-Estimativa da porosidade residual: a totalidade da porosidade não colmatada, principalmente do tipo mc/BC.

8.3.3-Estimativa da porosidade efectiva: não identificada.



**Figura 5.27.** – Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra M-48. **5.27.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre em corte, húmida, sem polimento; **5.27.B.** – cimento em ponte; **5.27.C.** – aspecto geral da área sem dolomitização pervasiva; **5.27.D.** – aspecto geral da área da lâmina em que ocorre dolomitização intensa. As escalas das figuras B,C e D correspondem a 1mm.

9-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008): pobre.

10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água: 0,48%.

11- Classificação da porosidade segundo Lucia (1983):

**11.1-Interpartícula (P):** a totalidade da porosidade não colmatada observada, pertencente a classe 3 e 2.

**11.2-Vuggy (V):** não identificável.

**11.2.1- V (5):** não identificável.

**11.2.2-V (T):** não identificável.

**11.3-Largura máxima dos cristais dolomite:** 0,1mm.

**11.4-Aspecto dos cristais:** essencialmente nublados, tendo a particularidade de apresentarem uma cor branca esverdeada.

**12- Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993):** no sentido da destruição do fabric primário e geração de porosidade intercristalina.

**13-Classificação do tipo de gênese da porosidade (Ahr, 2008):** híbrido 2, com predominância dos aspectos diagenéticos e algumas condicionantes disposicionais.

**14-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves 2007):** nula.

**15-Interpretação da evolução diagenética da rocha:**

1º: formação dos cimentos em ponte e de cimentos laminares irregulares (raros), seguida da cimentação da rocha por cimento micrítico (C3).

2º: dissolução e posterior deposição de C4.

3º: ocorrência de compactação e dissolução sob pressão da rocha seguida de dolomitização pervasiva (C5). Nesta fase ocorre a formação de estilólitos simples e múltiplos e das 2 gerações de mc/smsFR.

4º: crescimento dos romboedros de dolomite hipidiotópicos/idiotópicos (C6).

5º: ocorrência de desdolomitização (pontual) associada a dissolução tardia que leva a deposição de microsparite e de óxidos de ferro.

6º: laivos ferruginosos.

**16-Tipo de reservatório:**

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): parcialmente dolomítico (?).

## **5.10. MARINHA DA MENDIGA (MA)**

### **5.10.1. AMOSTRA MA**

#### **5.10.1.1. Descrição macroscale/mesoscale**

Cor da amostra seca: creme esbranquiçado, com manchas cinzentas recristalizadas, com películas ferruginosas envolventes.

Cor da amostra húmida: creme esbranquiçado com tons amarelados aleatoriamente dispersos (**Fig. 5.28.A.**).

Corresponde a um calcário muito resistente.

Fragments de bio-elementos identificáveis: fragmentos de corais.

Aspectos diagenéticos observados: partículas oncolitizadas, partículas ferruginizadas e fracturas FV.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, recristalização e dissolução.



### 5.10.1.2. Descrição petrográfica

**1-Composição e textura** (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): bio/intra/micrite, packstone e bafflestone. Esta rocha sofre dolomitização selectiva parcial, que praticamente só afecta a fase de ligação e algumas partículas.

Esta dolomitização origina um fabric inequigranular porfirotópico do tipo floating-rhomb

Observações complementares: grandes áreas recristalizadas provavelmente correspondentes a fragmentos de corais fasciculares recristalizados, com precipitação de óxidos de ferro associada.

**2-Litofácies** (seg. Azerêdo, 1993,1998): 6.

**3-EFOC identificáveis:** frequentes EFOC, em que temos principalmente fragmentos de corais, equinodermes e gastrópodes.

**4-Presença de óxidos de ferro:** esparsa, normalmente associados aos fragmentos recristalizados (**Fig. 5.28.B.**).

**5-Fases de cimentação:** C1 – cimento micrítico, C2 – cimento em mosaico irregular de sparite, C3 – mosaico irregular de cristais xenotópicos/hipidiotópicos de dolomite, C4 – microsparite.

**6-Ambientes diagenéticos identificáveis:** ambiente marinho profundo e ambiente de soterramento.

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** cimentação, dissolução, recristalização, compactação, dolomitização e desdolomitização.

**8-Tipo de porosidade** (Choquette & Pray, 1970):

**8.1-Tempo de formação:** mesodiagéne.

**8.2-Primária:** 10-12%, principalmente do tipo BP.

**8.3-Secundária:** 5-8%.

**8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:** <4%, principalmente do tipo ms/sms BC e mcWC.

**8.3.2-Estimativa da porosidade residual:** a totalidade da porosidade não colmatada.

**8.3.3-Estimativa da porosidade efectiva:** nula.

**9-Classificação qualitativa da porosidade** (Ahr, 2008): pobre.

**10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água:** 3,05%.

**11-Classificação da porosidade segundo Lucia** (1993):

**11.1-Interpartícula (P):**  $\pm 4\%$ , pertencentes a classe 1, 2 e 3.

**11.2-Vuggy (V):** não identificada.

**11.2.1- V (5):** não identificada.

**11.2.2- V (T):** não identificada.

**11.3-Largura máxima dos cristais de dolomite:** <0,1mm.

**11.4-Aspecto dos cristais:** os da primeira fase são tipicamente turvos, enquanto os correspondentes aos da segunda fase, apresentam um aspecto menos turvo e uma dimensão superior.

**12-Classificação ternária da porosidade** (Kopaska-Merkel & Mann, 1993): no sentido da destruição do fabric primário e génese de porosidade intercrystalina.

**13-Classificação do tipo de génese da porosidade** (Ahr, 2008): híbrido 1.

**14-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade** (Gomes & Alves, 2007): nula.

**15-Interpretação da evolução diagenética da rocha:**

1º:cimentação da rocha por cimento micrítico (C1) seguida de uma fase de compactação (que gera a presença de contactos pontuais entre as partículas).

2º:ocorrência de dissolução seguida de cimentação em mosaico irregular (C2).

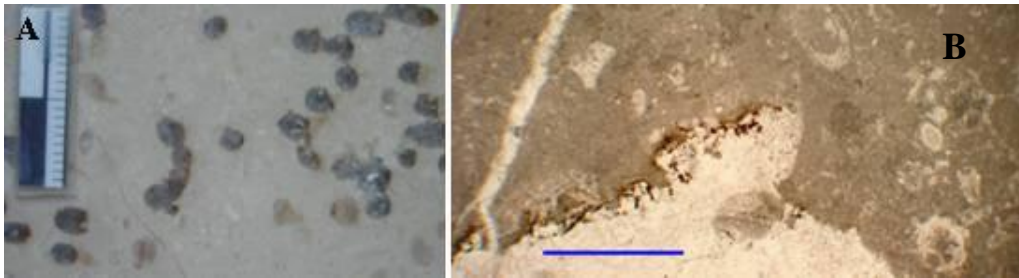
3º:ocorrência de compactação e dissolução sob pressão associada e de dolomitização selectiva contemporaneamente (C3), que leva a geração de duas gerações de fracturas irregulares mc/smsFR.

4º:ocorrência de desdolomitização e precipitação de microsparite (C4) e de óxidos de ferro.

#### 16- Tipo de reservatório:

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): parcialmente dolomítico.



**Figura 5.28.** – Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra MA. **5.28.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre em corte, húmida, sem polimento; **5.28.B.** – precipitação intensa de óxidos de ferro junto aos bordos das áreas recristalizadas. A escala da figura B corresponde a 1mm.

### 5.10.2. AMOSTRA MA-17

#### 5.10.2.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: creme acastanhado.

Cor da amostra húmida: matem a mesma cor (**Fig. 5.29.A.**).

Esta amostra corresponde a microconglomerado muito resistente, com evidências de granulotriagem.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: algas.

Aspectos diagenéticos observados: partículas oncolitizadas, partículas ferruginizadas e partículas recristalizadas.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, cimentação, recristalização e dissolução.

#### 5.10.2.2. Descrição petrográfica

1-Composição e textura (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): intra/oo/pel/micrite, packstone/rudstone.

Esta rocha sofreu dolomitização selectiva, que praticamente só afecta a fase de ligação e origina um fabric inequigranular porfirotopico do tipo contact-romb.

2-Litofácies (seg. Azerêdo, 1993,1998): 5.

3-EFOC identificáveis: presença moderada de EFOC. Os EFOC identificados foram: foraminíferos e porostromata.

**4**-Presença de óxidos de ferro: frequência moderada/frequente, normalmente dispersa aleatoriamente pela amostra.

**5**-Fases de cimentação: C1 – cimento micrítico, C2 – cimento de cristais dolomíticos hipidiotópicos de dolomite, C3 – mosaico irregular de cristais de dolomite, C4 – microsparite.

**6**-Ambientes diagenéticos identificáveis: ambiente marinho pouco profundo e ambiente de soterramento.

**7**-Processos diagenéticos identificáveis: cimentação, dissolução, dolomitização, dolomitização e desdolomitização.

**8**-Tipo de porosidade (Choquette & Pray, 1970):

**8.1**-Tempo de formação: mesodiagénesese.

**8.2**-Primária:  $\pm$  16-18%. Principalmente do tipo BP.

**8.3**-Secundária:  $\pm$  5-7%, do tipo mc/FR, MO, mcBC e WPs.

**8.3.1**-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:  $<1\%$ . Principalmente do tipo mcBC (rara) e WPs (rara). Ambas só são visíveis com objectivas de maior ampliação.

**8.3.2**-Estimativa da porosidade residual: a totalidade da porosidade não colmatada.

**8.3.3**-Estimativa da porosidade efectiva: não identificada.

**9**-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008): pobre.

**10**-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água: 0,54%.

**11**-Classificação da porosidade segundo Lucia (1983):

**11.1**-Interpartícula (P): rara, correspondente a classe 3.

**11.2**-Vuggy (V): não identificável.

**11.2.1**- V (5): não identificável.

**11.2.2**- V (T): não identificável.

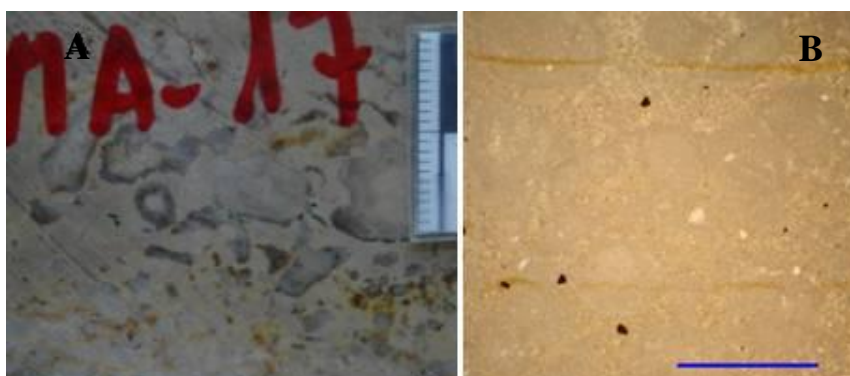
**11.3**-Largura máxima dos cristais: 0,1mm

**11.4**-Aspecto dos cristais de dolomite: os correspondentes à primeira fase apresentam um aspecto turvo (esverdeado), enquanto que os associados a segunda fase de dolomitização apresentam em geral um aspecto menos turvo e não são tão esverdeados.

**12**-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993): no sentido da destruição do fabric primário e geração de porosidade intercrystalina.

**13**-Classificação do tipo de génese da porosidade (Ahr, 2008): híbrido 1, com domínio dos aspectos diagenéticos. Apresenta uma baixa contribuição de fracturação.

**14**-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007): nula.



**Figura 5.29.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra MA-17. **5.29.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre superfície em corte, húmida, sem polimento; **5.29.B.** – linhas ferruginosas e precipitação aleatória dos óxidos de ferro. A escala em B equivale a 1mm.

**15- Interpretação da evolução diagenética da rocha:**

1º:cimentação da rocha por micrite (C1).

2º:ocorrência de dolomitização selectiva da rocha (C2),

3º:ocorrência de compactação, dissolução sob pressão que gera mcFR e de superfícies estilolíticas irregulares, com películas de óxidos de ferro associadas, seguida contemporaneamente da ocorrência de dolomitização e de cimentação dos espaços gerados (C3).

Observações complementares: uma destas superfícies estilolíticas (de baixa continuidade) passa de simples a múltipla lateralmente.

5º:ocorrência de desdolomitização que leva a deposição esparsa de microsparite (C4).

Observações complementares: os romboedros de segunda geração são mais afectados pela desdolomitização que os da primeira.

6º:ocorrência de ferruginização tardia (**Fig. 5.29.B.**).

**16-Tipo de reservatório:**

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): parcialmente dolomítico.

**5.11. CODAÇAL****5.11.1. AMOSTRA S36-20****5.11.1.1. Descrição macroscala/mesoscala**

Cor da amostra seca: creme acastanhado escuro.

Cor da amostra húmida: creme acastanhado bastante escuro (**Fig.5.30.A.**).

Trata-se de um calcário dolomitizado e muito resistente.

Apresenta uma distribuição polimodal, calibragem má e granulometria média a grosseira.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: bivalves, gastrópodes.

Aspectos diagenéticos observados: dolomitização, partículas oncolitizadas, partículas ferruginizadas (dispersas pela amostra), zonas recristalizadas, pequenas faixas esbranquiçadas principalmente em torno dos bioclastos recristalizados.

Observações complementares: porosidade lmsCV, lmsVUG e microporosidade do tipo sma, normalmente associada aos bioclastos e às zonas recristalizadas.

**Processos diagenéticos observados:** dissolução, dolomitização (?), recristalização, compactação (?).

**5.11.1.2. Descrição petrográfica**

**1-Composição e textura** (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): cristalina, cementstone.

Esta amostra sofreu dolomitização pervasiva, em que, somente algumas partículas (dispersas) resistiram à dolomitização massiva.

**2-Litofácies** (seg. Azerêdo, 1993,1998): 11.

**3-EFOC identificáveis:** observam-se somente moldes e fantasmas correspondentes a fragmentos de bivalves e de gastrópodes.

**4-Presença de óxidos de ferro:** esparsa a moderada. Normalmente associados às interfaces entre cristais de romboedros de dolomite e/ou até no núcleo dos mesmos, às paredes dos poros (VUGS) e aos corredores (CH) gerados por porosidade secundária e

pontualmente nas interfaces existentes entre as partículas não dolomitizadas e os cristais dolomíticos adjacentes.

**5-Fases de cimentação:** C1 – cimento xenotópico/hipidiotópico de cristais de dolomite, C2 – cristais hipidiotópicos/idiotópicos de dolomite, C3 – microsparite (?).

**6-Ambientes diagenéticos identificáveis:** ambiente marinho pouco profundo e ambiente de soterramento (incipiente).

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** cimentação, compactação mecânica incipiente, dolomitização, dissolução e desdolomitização.

Observações complementares: moldes EFC, superfícies, ocorrência de esparsa/moderada desdolomitização dos romboedros de dolomite, ocorrência de compactação mecânica incipiente.

**8-Tipo de porosidade (Choquette & Pray, 1970):**

**8.1-Tempo de formação:** eodiagenese e mesodiagenese (incipiente).

**8.2-Primária:** não perceptível devido á ocorrência de dolomitização.

**8.3-Secundária:**  $\pm 25-30\%$ .

**8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:**  $\pm 18-20\%$ , do tipo mc/lmsVG, sms/lmsMO, sms/lmsCH a smsCH, mcBC, mcWC, mcWPs e FR (rara).

**8.3.2-Estimativa da porosidade residual:**  $\pm 16-18\%$  (**Fig.5.30.B.**). Principalmente constituída por porosidade do tipo mcWP, mcBC, sms/lmsMO.

**8.3.3-Estimativa da porosidade efectiva:**  $\pm 2\%$ . Resultante da conectividade entre os vários tipos de porosidade secundária mencionados anteriormente. Sendo principalmente devida a conectividade observada entre as porosidades do tipo lmVG/microVUG, lmsMO/smsMO e mcBC. Esta lâmina apresenta uma grande variação vertical e horizontal da distribuição da porosidade.

**9-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008):** boa a excelente.

**10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água:** 16.71%

**11-Classificação da porosidade segundo Lucia (1983):**

**11.1-Interpartícula (P):** representa cerca de  $\pm 7-9\%$  da porosidade absoluta, em que, cerca de 40% dessa porosidade pertence a classe 1, 30-40% à classe 2 e 20-30% à classe 3.

**11.2-Vuggy (V):** com cerca de  $\pm 7-8\%$  da porosidade absoluta.

**11.2.1- V (5):**  $\pm 6-7\%$ .

**11.2.2- V (T):**  $\pm 2\%$ .

**11.3-Tamanho dos cristais dolomíticos:**  $\pm 01,5\text{mm}$ .

**11.4-Aspecto dos cristais:** não observado, devido á não realização de lâmina corada para esta amostra.

**12-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993):** trata-se de um híbrido, com domínio do sentido da ocorrência de dissolução e posterior génese de porosidade moldada sobre o sentido da destruição do fabric primário e posterior geração de porosidade intercrystalina.

**13-Classificação do tipo de génese da porosidade (Ahr, 2008):** híbrido 1, com predominância dos aspectos diagenéticos.

**14-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007):** essencialmente moderada, podendo pontualmente ocorrer determinados sectores da lâmina com permeabilidade elevada.

**15-Interpretação da evolução diagenética da rocha:**

1º:dolomitização pervasiva da rocha (C1).

2º:ocorrência de dissolução, com posterior precipitação de óxidos de ferro nas paredes dos poros gerados.

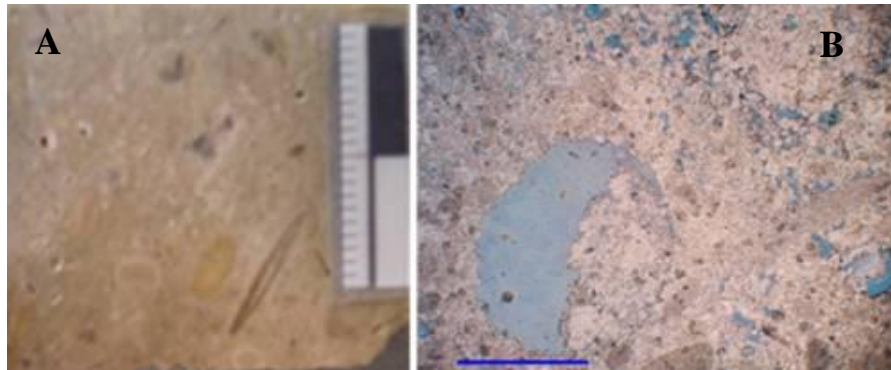
3º: ocorrência de compactação (que gera fracturação), seguida da segunda fase de dolomitização (C2).

4º: ocorrência de desdolomitização dos cristais dolomíticos, em especial dos pertencentes a C2, que estão adjacentes aos VUGS. Ocorre também nesta a fase a precipitação microsparite (C3) e de óxidos de ferro nos espaços existentes entre as interfaces dos cristais e nas paredes dos poros.

**16-Tipo de reservatório:**

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): dolomítico.



**Figura 5.30.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra S36-20. **5.30.A.** – fotografia tirada sobre uma superfície fresca, seca, em corte de sondagem, em que é visível a porosidade existente na rocha. **5.30.B.** – porosidade moldada e intercrystalina. A escala apresentada em B equivale a 1mm.

## 5.11.2. AMOSTRA S36-23

### 5.11.2.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: creme esbranquiçada.

Cor da amostra húmida: creme amarelado (**Fig. 5.31.B.**).

Calcário bioclástico moderadamente resistente, com distribuição polimodal, calibragem moderada a má, granulometria grosseira a fina. Verifica-se a presença de grande abundância de bioclastos rodeados por uma matriz oo/pel/sparítica de granularidade fina.

Fragments de bio-elementos identificáveis: gastrópodes, bivalves e coraliários (?).

Aspectos diagenéticos observados: partículas oncolitizadas, partículas ferruginizadas (presença de uma zona intensamente ferruginizada de cor avermelha e com manchas brancas alteração (pontuais)), partículas com evidências de dissolução e posterior preenchimento, partículas com evidências de recristalização.

Verifica-se também a presença de zonas recristalizadas com evidências claras de ocorrência de dissolução.

Observações complementares: presença de porosidade do tipo lmsBP, smsBP, lmsWP, lmsCV, lmsVUG.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, dissolução, recristalização e dolomitização.

### 5.11.2.2. Descrição petrográfica

**1-** Composição e textura (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): onco/intra/bio/dolosparite, com alguns pelóides e com posterior dolomitização pervasiva de 90% da lâmina, que origina um fabric do tipo floating-rhomb (?), em que somente alguns pelóides e alguns fragmentos de bioclastos com envelopes micríticos resistiram à dolomitização. Trata-se de uma cementstone segundo a classificação de Wright.

Observa-se a presença de um nível mais fino e menos bioclasto no topo da amostra, sendo de registo a presença de uma figuras geopéticas, que nos indica a polaridade. Regista-se também a presença de impregnações betuminosas e silicificação pontual.

**2-** Litofácies (seg. Azerêdo, 1993,1998): 2.

**3-** EFOC identificáveis: elevada frequência de EFOC. Nomeadamente de bivalves, equinodermes, gastrópodes, corais, porostromata e foraminíferos.

**4-** Presença de óxidos de ferro: frequente a moderada, principalmente junto as paredes dos poros ou ao longo dos bordos de calciclastos micríticos corroídos e/ou até na periferia de alguns bioclastos.

**5-** Fases de cimentação: C1 – cimento micrítico (envelopes micríticos), C2 – cimento laminar, C3 – cimento granular; C4 – cimento drúsico seguido de cimento sintáxico (principalmente em equinodermes); C5 – cimento dolomítico de cristais xenotópicos/hipidotópicos de dolomite, C6 – cimento dolomítico de cristais hipidotópicos/idiotópicos de dolomite; C7 – microsparite.

**6-** Ambientes diagenéticos identificáveis: marinho pouco profundo e de soterramento.

**7-** Processos diagenéticos identificáveis: micritização, cimentação, compactação, dissolução, dolomitização, recristalização e desdolomitização.

Observações complementares: existência de contactos pontuais entre partículas, presença de calciclastos e bioclastos fracturados (apresentando-se, essas fracturas preenchidas por sparite) e raras figuras de carga (?).

**8-** Tipo de porosidade (Choquette & Pray, 1970):

**8.1-** Tempo de formação: eodiagéne e mesodiagéne.

**8.2-** Primária:  $\pm 40\%$ , essencialmente do tipo BP e SH.

**8.3-** Secundária:  $\pm 30\%$ , principalmente do tipo BP, WP, BC, CH, VUG, MO (?) e FR .

**8.3.1-** Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:  $\pm 25\%$ .

**8.3.2-** Estimativa da porosidade residual:  $\pm 18-20\%$ , principalmente do tipo: MO, WP.

**8.3.3-** Estimativa da porosidade efectiva:  $\pm 5\%$ , principalmente do tipo: MO, VUG, BP.

Observações complementares: a porosidade apresenta grandes variações verticais e horizontais da sua distribuição. A porosidade/permeabilidade é geralmente mais elevada nas áreas da lâmina com menos bioclastos, sendo frequente a precipitação de óxidos de ferro nas paredes dos VUGS ou em torno de bioclastos.

**9-** Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008): Excelente.

**10-** Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água: 11.48%.

**11-** Classificação da porosidade segundo Lucia (1983):

**11.1-** Interpartícula (P):  $\pm 7-8\%$ , na sua maioria da classe 1 e da classe 2

**11.2-** Vuggy (V):  $\pm 12-17\%$  (**Fig.5.31.A.,C., e D.**).



**11.2.1-** V (5):  $\pm$  9-10%, do tipo MO, BP (principalmente no interior de bioclastos).

**11.2.2-** V (T):  $\pm$  5, devida a conectividade criada entre poros do tipo MO, VUG e BP.

**11.3-**Tamanho dos cristais e aspecto:  $<0,1$  mm, de cristais anédricos a subédricos de aspecto turvo.

**11.4-**Aspecto dos cristais dolomite: turvo.

**12-**Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993): trata-se de um híbrido, em que existe o predomínio da geração de porosidade moldada sob a porosidade intercrystalina.

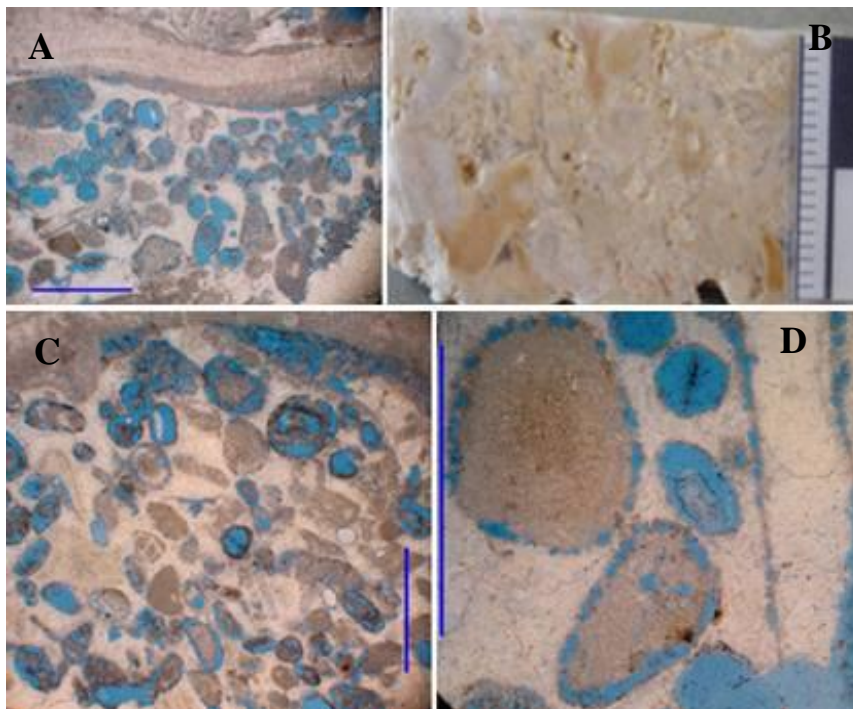
**13-**Classificação do tipo de gênese da porosidade (Ahr, 2008): híbrido 1

**14-**Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves 2007): moderada a baixa (grande variação da sua distribuição na amostra).

Observações complementares: é afectada pela geometria dos bioclastos e por zonas isoladas correspondentes a pelóides que não sofreram dolomitização e que resistem à dissolução e pelo crescimento tardio de grandes romboedros de dolomite.

Verifica-se que por vezes que a precipitação de óxidos de ferro, podem formar pequenas barreiras.

A porosidade encontra-se concentrada na interface entre os cristais e os envelopes micríticos existentes em torno das partículas, formando por vezes pequenos canais de permeabilidade.



**Figura 5.31.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra **S36-23**. **5.31.A.** – porosidade do tipo moldada; **5.31.B.** – fotografia tirada sobre uma superfície fresca, seca, em corte de sondagem, em que é visível a porosidade existente na rocha. **5.31.C.** – porosidade moldada; **5.31.D.** – porosidade derivada de bio-perfurações em torno dos grãos e porosidade moldada. As escalas apresentadas nas figuras A, C e D correspondem a 1mm.

**15-**Interpretação da evolução diagenética da rocha:

1º: precipitação de cimento micrítico com posterior crescimento de calcite laminar irregularmente distribuída (C1+C2).



2º: ocorrência de compactação e precipitação do cimento granular e cimento drúsico (raro) (C3+C4).

3º: ocorrência de dolomitização mais ou menos pervasiva (C5) e de dissolução associada, que leva à geração de grande parte da porosidade e permeabilidade da rocha.

4º: crescimento tardio de grandes cristais euédricos de dolomite (C6).

5º: ocorrência de desdolomitização e de dissolução contemporaneamente, em que ocorre a precipitação de microsparite (C7) e de óxidos de ferro. É nesta fase que se gera a maioria da porosidade secundária do tipo BC.

**16-Tipo de reservatório:**

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): dolomítico.

### 5.11.3. AMOSTRA S36-26

#### 5.11.3.1. Descrição macroscala/mesoscala

Cor da amostra seca: creme esbranquiçado.

Cor da amostra húmida: creme esbranquiçado levemente amarelado a acinzentado (**Fig.5.32.A**).

Trata-se de um calcário resistente, de distribuição polimodal, calibragem má, granularidade fina a média e com presença de algumas partículas > 2mm, apresentando-se estas normalmente sub-roladas a roladas. Verifica-se a presença abundante de bioclastos.

Corresponde a uma intra/bio/pel/oo/sparite, packstone a grainstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: gastrópodes, bivalves, coraliários, algas, equinodermes (?).

Aspectos diagenéticos observados: bioclastos fracturados, intraclastos e oóides oncolitizados, agregados oncolitizados, ferruginização pontual das partículas, partícula intensamente ferruginizada de cor tipo ferro e partículas com evidências de dissolução.

Observações complementares: a disposição dos bioclastos devido ao seu tamanho e geometria pode afectar a permeabilidade da rocha.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, dissolução, recristalização e dolomitização.

#### 5.11.3.2. Descrição petrográfica

**1-Composição e textura** (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): intra/bio/oo/sparite, com presença de alguns pelóides, grainstone, rudstone. Esta amostra encontra-se parcialmente dolomitizada, apresentado um fabric do tipo inequiangular porfirotópico em contact-rhomb.

**2-Litofácies** (seg. Azerêdo, 1993,1998): 2.

**3-EFOC identificáveis:** frequentes EFOC, nomeadamente de fragmentos de: bivalves, gastrópodes e foraminíferos (em especial de *Valvulina lugioni*), equinodermes e corais (solitários), porostromata (morfotipo 2 de Azerêdo, 1993), ostracodos e novelos de serpulídeos.

**4-Presença de óxidos de ferro:** esparsa a moderada, normalmente no interior dos romboedros dolomíticos e/ou na periferia dos mesmos devido a ocorrência de desdolomitização dos mesmos.

**5-Fases de cimentação:** C1 – cimento micrítico em ponte (frequência baixa), C2 – Cimento fibroso, C3 – cimento laminar colunar, C4 – cimento sparítico (de aspecto granular), C5 – cimento em mosaico irregular sparítico, C6 – cimento dolomítico de cristais xenotópicos/hipidotópicos de dolomite, C7 – cimento dolomítico em cristais hipidotópicos (menos turvos que os anteriores), C8 – microsparite.

**6-Ambientes diagenéticos:** ambiente vadoso, ambiente marinho pouco profundo e ambiente de soterramento.

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** micritização, cimentação, dissolução, compactação, dolomitização e desdolomitização.

**8-Tipo de porosidade (Choquette & Pray, 1970):**

**8.1-Tempo de formação:** eodiagénes e mesodiagénes.

**8.2-Primária:** 25-30%, principalmente do tipo BP, SH.

**8.3-Secundária:** 5-15%.

**8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:**  $\pm 3-4\%$ , principalmente do tipo mcBC, mcBP (junto aos contornos dos bioclastos).

**8.2.2-Estimativa da porosidade residual:** a totalidade da porosidade absoluta.

**8.2.3-Estimativa da porosidade efectiva:** nula.

**9 -Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008):** pobre.

**10 -Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água:** 3,12%.

**11-Classificação da porosidade segundo Lucia (1983):**

**11.1-Interpartícula (P):**  $\pm 3-4\%$ , pertencentes a classe 2 e 3.

**11.2-Vuggy (V):** não observável.

**11.2.1- V (5):** não observável

**11.2.2- V (T):** não observada.

**11.3 -Tamanho dos Cristais e aspecto:** largura máxima 0,20mm

**11.4- Aspecto dos cristais de dolomite:** turvo, com presença pontual/moderada de óxidos de ferro. Alguns destes cristais apresentam evidências de desdolomitização, principalmente ao longo dos planos de clivagens e na sua periferia.

**12-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993):** no sentido da destruição do fabric primário e gênese de porosidade intercrystalina.

**13-Classificação do tipo de gênese da porosidade (Ahr, 2008):** híbrido 1.

**14-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007):** nula.

**15-Interpretação da evolução diagenética da rocha:**

1º:micritização de alguns clastos e formação do cimento micrítico em ponte, seguido de precipitação do cimento fibroso e posterior precipitação de cimento laminar.

2º:ocorrência de compactação em que são visíveis contactos pontuais entre as partículas e microfracturação de alguns calciclastos e bioclastos (principalmente de bivalves (**Fig.5.32.B.**) e oóides com lamelas deslocadas e partidas; presença de figuras de carga.

3º:colmatagem da porosidade existente por precipitação de cimento sparítico (de aspecto granular) (C4).

4º:ocorrência de dissolução inter e intrapartículas, colmatada posteriormente por precipitação de cimento em mosaico irregular sparítico (C5).

5º:dolomitização mais ou menos pervasiva (C6), em que alguns cristais incorporam no seu interior óxidos de ferro.

Observações complementares: os intraclastos micríticos e alguns bioclastos só se encontram dolomitizados no centro. Verifica-se também a presença de

oóides substituídos não mimeticamente e oóides com lamelas concêntricas totalmente dolomitizadas mimeticamente. Regista-se que de uma maneira geral todos os bioclastos e todos os calciclastos com envelope micrítico resistem a dolomitização pervasiva massiva, juntamente com os pelóides.

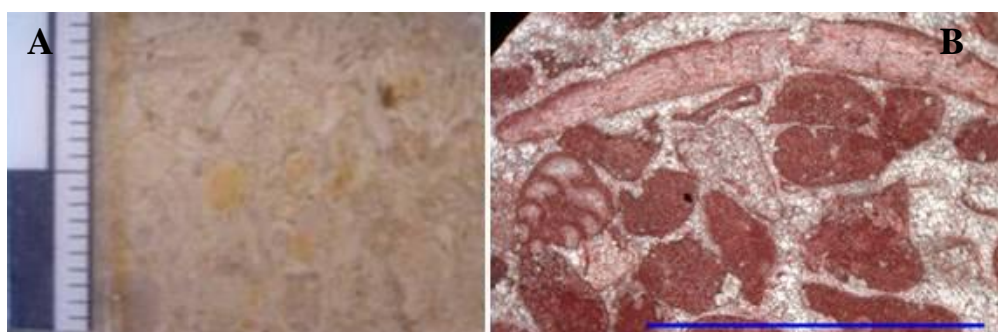
7º: formação de grandes cristais romboédricos de dolomite subeuédricos a euédricos (C7).

6º: ocorrência de desdolomitização dos cristais de dolomite, e posterior precipitação de microsparite (C8) e de óxidos de ferro na periferia dos mesmos e/ou na interface desses cristais com bioclastos, podendo-se formar por vezes, pequenos corredores de precipitação de óxidos.

#### 16- Tipo de reservatório:

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): parcialmente dolomítico.



**Figura 5.32.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra S36-23. **5.32.A.** – fotografia tirada sobre uma superfície fresca, seca, em corte de sondagem; **5.32.B.** – fracturação do bioclasto e ocorrência de dolomitização selectiva, que afecta principalmente a fase de ligação. A escala apresentada em B corresponde a 1mm.

## 5.12. S87 – ESPINHEIRA S. BENTO

### 5.12.1. AMOSTRA S87-2

#### 5.12.1.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: branco, com leves tons amarelados e acinzentados.

Cor da amostra húmida: creme claro, com leves tons amarelados de fundo (**Fig.5.35.A**). Verifica-se uma variação vertical da cor e da absorção de água no topo da amostra.

Calcário oolítico muito resistente, de distribuição polimodal, com variação vertical cíclica da granulometria que passa de média a fina entre os vários hardgrounds presentes (?).

Na globalidade esta amostra corresponde a uma oo/intra/bio/pel/sparite, grainstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: bivalves e gastrópodes (?).

Aspectos diagenéticos observados: partículas oncolitizadas (principalmente oóides e alguns intraclastos), ferruginização moderada de cor alaranjada dispersa aleatoriamente pela amostra (sendo mais evidentes na base da amostra), laivos (na base da amostra) associados a zonas de intensa alteração e/ou ferruginização, dissolução de algumas partículas. Verifica-se a presença 2 estilólitos de baixa amplitude e com

presença de material argilo-ferruginoso, contactos pontuais entre as partículas e possíveis bioperfurações (?).

Observações complementares: ao longo das superfícies estilolíticas é possível observar microporosidade sma não conectada. A variação vertical da cor e da absorção de água no topo da amostra, poderá indicar uma variação composicional do cimento da rocha ou da porosidade e/ou até da permeabilidade da mesma. Ocorre também porosidade smaWP e um exemplo porosidade lmsBP, devida provavelmente à ocorrência de dissolução pontual de uma partícula.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, dissolução (?), cimentação.

## 5.12.2. AMOSTRA S87-4

### 5.11.2.1. Descrição macroscale/mesoscala

Cor da amostra seca: branco levemente acinzentado, com leves tons amarelados a rosados.

Cor da amostra húmida: creme claro (**Fig.5.35.B.**)

Calcário muito resistente, de granulometria fina (quase imperceptível à lupa de mão) e bioclastos recristalizados, alguns deles com evidências de dissolução.

Nesta amostra verifica-se uma variação vertical, que passa a ser mais rosada e a apresentar uma maior componente bioclástica para o topo.

Corresponde a uma biomicrite(?), wackestone, antes da ocorrência de dolomitização (?).

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: bivalves e gastrópodes.

Aspectos diagenéticos observados: pontos pretos aleatoriamente dispersos pela amostra (provavelmente devidos a recristalização (?), partículas ferruginizadas, presença de pequenos laivos alaranjados, evidências de dissolução e de microporosidade (smaBP). Verifica-se também a presença de um exemplo de porosidade do tipo VUG.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, dolomitização, dissolução, e recristalização.

### 5.12.2.2. Descrição petrográfica

1-Composição e textura (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): biomicrite, wackestone/floatstone. Uma parte desta lâmina sofreu dolomitização selectiva que afecta principalmente a fase de ligação, enquanto a outra parte sofreu dolomitização pervasiva (**Fig.5.33.A. e B.**).

Observações complementares: presença de figuras geopéticas.

2-Litofácies (seg. Azerêdo, 1993,1998): 1.

3-EFOC identificáveis: frequência moderada/frequente EFOC, em que os principais fragmentos identificáveis correspondem a: equinodermes, bivalves, novelos de serpulídeos e gastrópodes.

4- Presença de óxidos de ferro: frequência moderada, em geral associada aos moldes de bioclastos.

5-Fases de cimentação: C1 – cimentação da rocha pela fase de ligação micrítica, C2 – cimento em mosaico irregular de sparite, C3 – cimento xenotópico/hipidiotópico de cristais de dolomite, C4-cimento poiquilotópico, C4-cimento sparítico (pontual, associados a desdolomitização, nas zonas mais dolomitizadas).

**6-Ambientes diagenéticos identificáveis:** ambiente marinho profundo e ambiente de soterramento.

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** cimentação, dissolução, dolomitização e desdolomitização.

**8-Tipo de porosidade (Choquette & Pray, 1970):**

**8.1-Tempo de formação:** eodiagénesese e mesodiagénesese.

**8.2-Primária:**  $\pm 5-8\%$ , do tipo BP.

**8.3-Secundária:**  $\pm 12\%$ .

**8.3.1 - Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:**  $\pm 3-4\%$ , principalmente associada a dissolução de smsFR, que pode originar alguns micro-canais de porosidade no interior da rocha. Verifica-se também a presença de porosidade mc/smsBC.

**8.3.2- Estimativa da porosidade residual:**  $\pm 3\%$ .

**8.3.3 - Estimativa da porosidade efectiva:**  $\pm 1\%$ , associada a smsFR.

**9-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008):** pobre.

**10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água:** 4.38%.

**11-Classificação da porosidade segundo Lucia (1983):**

**11.1-Interpartícula (P):**  $\pm 3\%$ , poros da classe 2 e 1.

**11.2-Vuggy (V):**  $\pm 1\%$ .

**11.2.1- V (5):** rara, associada a WPs.

**11.2.2 -V (T):**  $\pm 1\%$ , associada a smsFR.

**11.3-Largura máxima dos cristais dolomite:**  $<0,1\text{mm}$ .

**11.4-Aspecto dos cristais de dolomite:** essencialmente turvo, em que somente um baixa percentagem apresenta um aspecto mais límpido.

**12-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993):** no sentido da destruição do fabric primário e geração de porosidade intercrystalina.

**13-Classificação do tipo de génesese da porosidade (Ahr, 2008):** híbrido 1.

**14-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007):** baixa.

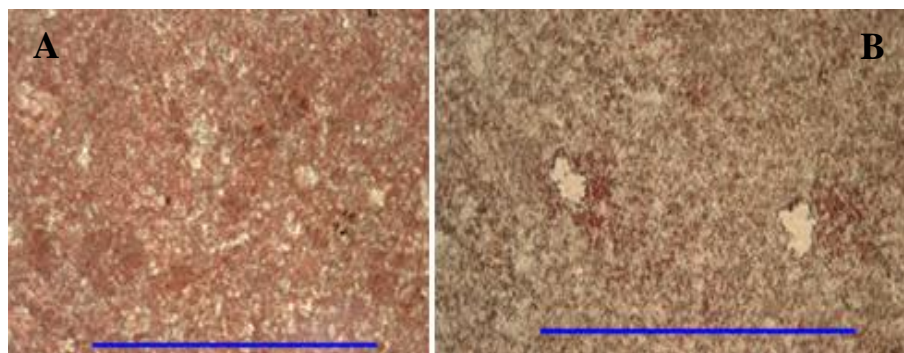
**15- Interpretação da evolução diagenética da rocha:**

1º:cimentação da rocha, seguida de ocorrência de dissolução e posterior precipitação de um mosaico irregular de sparite (C2).

2º:ocorrência de compactação e dissolução sob pressão e dolomitização selectiva (contemporaneamente). É durante esta fase que se geram as smsFR e a substituição da sparite existente por cristais de dolomite (C3).

3º:crescimento de cimento poiquilotópico (C4).

4º:precipitação pontual de cimento sparítico e de óxidos de ferro, associado a ocorrência de desdolomitização.



**Figura 5.33.** Expressão micromorfológica e cronológica da amostra S87-4. **5.33.A.** – pormenor da zona em que ocorre dolomitização selectiva; **5.33.B.** – pormenor da zona em que ocorre dolomitização pervasiva. Ambas as escalas apresentadas nas figuras anteriores correspondem a 1mm.

**16-Tipo de reservatório:**

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): dolomítico.

**5.12.3. AMOSTRA S87-5****5.12.3.1. Descrição macroscale/mesoscale**

Cor da amostra seca: creme esbranquiçado com leves tons fúcsia.

Cor da amostra húmida: creme acinzentado (**Fig. 5.35.C.**).

Calcário brechificado muito resistente, que apresenta uma distribuição polimodal e uma calibragem má. Verifica-se a presença de uma variação vertical da cor que em determinadas zonas passa de creme esbranquiçado a rosado. Esta variação esta em geral associada a proximidade de superfícies erosivas irregulares (hardgrounds) e/ou à ocorrência de fenómenos de fracturação e dissolução.

Corresponde a uma bio/intra/micrite (?), wackestone a packstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: bivalves, gastrópodes, coraliários e algas (?).

Aspectos diagenéticos observados: ferruginização moderada das partículas (de cor alaranjada), zonas recristalizadas (que por vezes apresentam evidências de porosidade do tipo smaVug), presença de porosidade do tipo mc/smsVug junto às zonas mais brechificadas e precipitação de uma fina capa de material argilo-ferruginoso ao longo da superfície irregular dos hardgrounds.

Presença de duas gerações de veios de calcite, em que a primeira geração de veios é composta por microveios subhorizontais de calcite VPCC e a segunda por finos veios subverticais (cortam integralmente a amostra) de calcite VPCF (verifica-se que um dos veios desta geração apresenta ao longo do seu desenvolvimento, porosidade do tipo CH e mcFR (provavelmente devida à ocorrência de alteração e de dissolução do veio). Para o topo amostra, esse mesmo veio não apresenta preenchimento, exibindo apenas indícios de ferruginização e de material argilo-ferruginoso nas suas paredes.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, dissolução, recristalização.

**5.12.4. AMOSTRA S87-6****5.12.4.1. Descrição macroscale/mesoscale**

Cor da amostra seca: creme levemente amarelado.

Cor da amostra húmida: creme amarelado (**Fig. 5.35.E.**).

Calcário muito resistente de distribuição polimodal, calibragem má e de granulometria essencialmente fina, podendo ocorrer uma baixa percentagem de cerca 10% de partículas mais grosseiras e uma ou outra partícula maior que 2mm.

Observa-se também uma variação horizontal da cor, que passa de creme a creme esbranquiçado. Esta variação está associada a proximidade de uma fractura que apresenta indícios de circulação de fluidos (?) e de fenómenos de dissolução.

Corresponde a uma bio/intra/sparite, packstone/rudstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: bivalves e gastrópodes.

Aspectos diagenéticos observados: ferruginização das partículas (elevada) com vários graus de ferruginização. Uma das partículas ferruginizadas apresenta numa das suas extremidades uma cor preta metálica (mineral metálico?).

Observações complementares: porosidade do tipo FR (devido à presença de uma microfractura não preenchida, exibindo esta pequenas zonas de cor vermelha numa das suas paredes, provavelmente devidas à ocorrência de ferruginização e/ou precipitação de óxidos de ferro), porosidade oomoldada e porosidade inter e intrapartícula dispersa aleatoriamente pela amostra.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, dissolução, recristalização.

### 5.12.5. AMOSTRA S87-8

#### 5.12.5.2. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: creme levemente esbranquiçado.

Cor da amostra húmida: creme amarelado (**Fig.5.35.G.**).

Calcário muito resistente, de distribuição polimodal, calibragem má e de granulometria fina. Verifica-se uma variação granulodecrescente da granulometria da amostra até à superfície do hardground; acima desta superfície, a granulometria volta de novo a aumentar um pouco progressivamente.

Corresponde a uma bio/intra/micrite, packstone, floatstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: bivalves, gastrópodes, branquiópodes, foraminíferos, coraliários (?) algas (?).

Aspectos diagenéticos observados: partículas frequentemente ferruginizadas, partículas pontualmente oncolitizadas, uma superfície estilolítica com desenvolvimento irregular e que se apresenta semi-dissolvida e que exhibe uma coloração negra no seu interior. Verifica-se também a presença de microveios de calcite VPCC subverticais que cortam a superfície estilolítica.

Observações complementares: porosidade do tipo lmsCH, smsBP, normalmente associada a superfície estilolítica.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, dissolução, recristalização.

### 5.12.6. AMOSTRA S87-11

#### 5.12.6.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: cor branca.

Cor da amostra húmida: cor branca (**Fig. 5.35.F.**).

Calcário oolítico muito resistente, de distribuição bimodal, calibragem moderada e granularidade fina a média.

Corresponde a uma oo/bio/pel/sparite, grainstone/ rudstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: gastrópodes, algas e coraliários (?).

Aspectos diagenéticos observados: partículas recristalizadas, partículas oncolitizadas, agregados oncolitizados (pontualmente), partículas ferruginizadas (dispersas aleatoriamente pela amostra) e de contactos pontuais entre as partículas. Regista-se também a presença de: microveios VPCC, de um veio médio VPCA e um veio grosseiro VPCC.

Observações complementares: porosidade intrapartícula associada principalmente às zonas recristalizadas.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, dissolução, cimentação.

### 5.11.7. AMOSTRA S87-13

#### 5.12.7.1. Descrição macroscale/mesoscala

Cor da amostra seca: creme amarelado levemente acinzentado.

Cor da amostra húmida: creme amarelado (**Fig.5.34.A.**).

Calcário muito resistente, de distribuição polimodal, calibragem má, granulometria essencialmente fina.

Nesta amostra verifica-se uma variação vertical da granulometria.

Corresponde a uma bio/intra/micrite (?), wackestone a packstone/floatstone (?).

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: bivalves, gastrópodes, braquiópodes, coraliários (?) algas (?).

Aspectos diagenéticos observados; ferruginização das partículas (baixa), pequenos laivos ferruginosos, partículas recristalizadas, dissolução de bioclastos e posterior preenchimento por material similar ao da matriz.

Observações complementares: porosidade do tipo smsBP. A porosidade nesta amostra está normalmente associada às superfícies estilolíticas e à proximidade de partículas recristalizadas.

Observações complementares: a ferruginização aumenta nas proximidades dos estilólitos e de zonas dissolvidas.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, dissolução, recristalização.

#### 5.12.7.2. Descrição petrográfica

**1-Composição e textura** (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): biomicrite, wackestone/floatstone. Esta amostra sofreu dolomitização selectiva (**Fig.5.34.B.**), que gerou um fabric inequigranular porfirotópico do tipo floating-rhomb.

Observações complementares: presença de estilólitos.

**2-Litofácies** (seg. Azerêdo, 1993,1998): 1

**3-EFOC identificáveis:** frequentes, principalmente: equinodermes, bivalves e foraminíferos.

**4-Presença de óxidos de ferro:** esparsa a moderada.

**5-Fases de cimentação:** C1 – cimentação da rocha por micrite, C2 – cimento em mosaico irregular de sparite, C3 – cimento xenotópico/hipidotópico de cristais de dolomite de aspecto turvo, C4 – cimento dolomítico em mosaico (de aspecto menos turvo), C5 – microsparite.

**6-Ambientes diagenéticos identificáveis:** ambiente marinho e ambiente de soterramento.

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** cimentação, dissolução, dolomitização e desdolomitização.

**8-Tipo de porosidade** (Choquette & Pray, 1970):

**8.1-Tempo de formação:** mesodiagénesese.

**8.2-Primária:** ± 5%.

**8.3-Secundária:** ± 10-15%.



**8.3.1**-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:  $\pm 3-4\%$ . Por vezes associada a ocorrência de dissolução junto a superfície estilolítica.

**8.3.2**-Estimativa da porosidade residual: a totalidade da porosidade não colmatada.

**8.3.3**-Estimativa da porosidade efectiva: não identificável.

**9**-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008): pobre.

**10**-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água: 4.54%.

**11**-Classificação da porosidade segundo Lucia (1993):

**11.1**-Interpartícula (P):  $\pm 3-4\%$ , da classe 1 e 2.

**11.2**-Vuggy (V): não identificada.

**11.2.1**- V (5): não identificada.

**11.2.2**-V (T): não identificada.

**11.3**-Largura máxima dos cristais de dolomite:  $< 0,2\text{mm}$ .

**11.4**- Aspecto dos cristais de dolomite: turvo.

**12**-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993): no sentido da destruição do fabric primário e génese de porosidade intercrystalina.

**13**-Classificação do tipo de génese da porosidade (Ahr, 2008): híbrido 1, com predominância clara dos aspectos diagenéticos.

**14**-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007): nula.

**15**- Interpretação da evolução diagenética da rocha:

1º:cimentação da rocha (C1), seguida da ocorrência de dissolução e posterior precipitação de C2, que vai colmatar os poros gerados anteriormente.

2º:ocorrência de compactação, dissolução sob pressão contemporaneamente e de dolomitização (C3). Nesta fase ocorre a formação dos estilólitos.

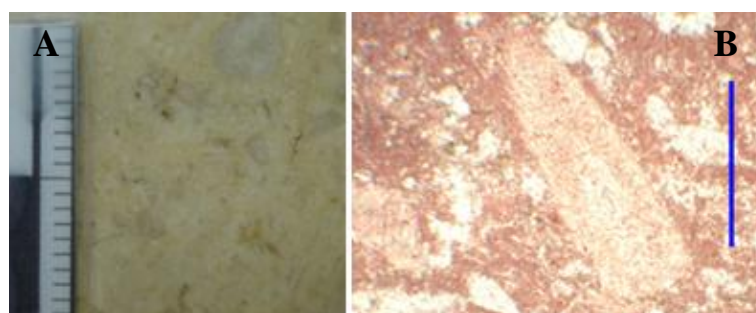
3º:precipitação de C4.

4º:ocorrência de desdolomitização que leva à precipitação de microsparite e de óxidos de ferro.

**16**- Tipo de reservatório:

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): dolomítico.



**Figura 5.34.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra **S87-13**. **5.34.A.** – fotografia tirada, sobre uma secção em corte, húmida, sem polimento **5.34.B.** – pormenor da zona em que ocorre dolomitização selectiva. A escala apresentada em B equivale a 1mm.

## 5.12.8. AMOSTRA S87-14

### 5.12.8.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: creme esbranquiçado.

Cor da amostra húmida: creme amarelado claro (**Fig.5.35.D.**).

Calcário muito resistente, de distribuição polimodal, granulometria fina a media. Nesta amostra verifica-se uma baixa percentagem de partículas > 2mm, geralmente sub-roladas. Regista-se também nesta amostra a ocorrência de uma ligeira variação vertical granulodecrescente da granulometria, da componente bioclástica e das partículas recristalizadas.

Corresponde a uma bio/intra/micrite, wackestone – packstone/floatstone (?).

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: bivalves, gastrópodes, branquiópodes, coraliários (?) e algas (?).

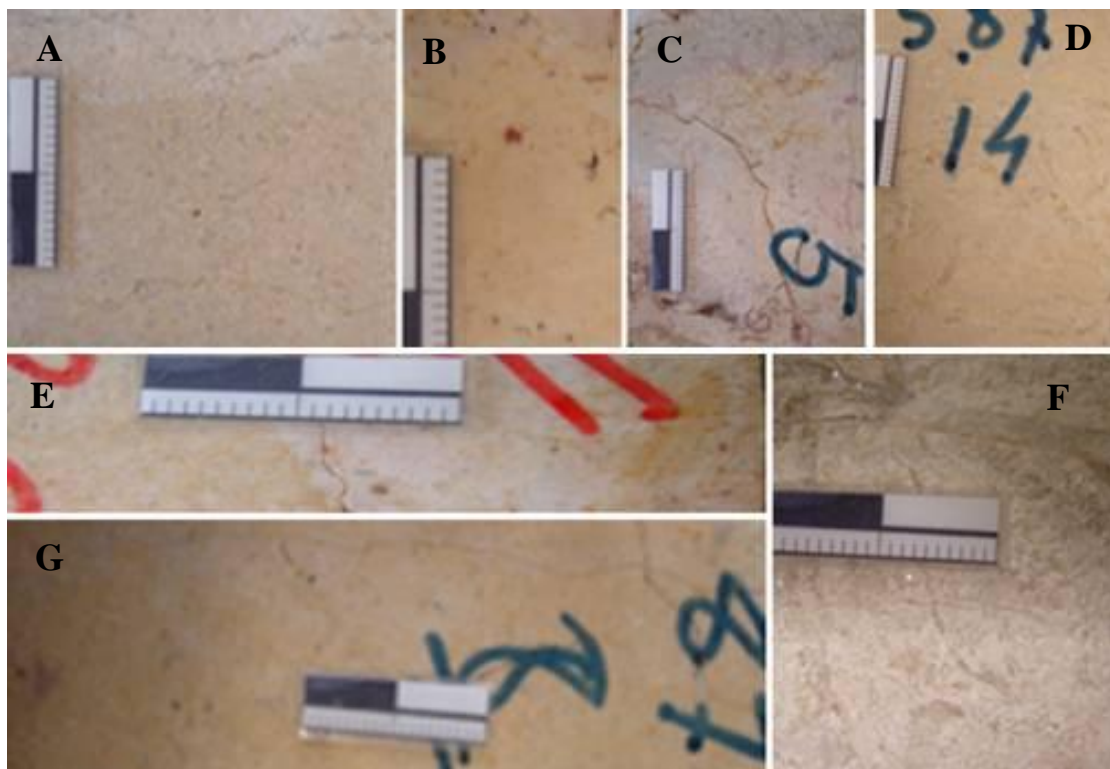
Estruturas sedimentares presentes: presença de um hardground com superfície irregular.

Aspectos diagenéticos observados: partículas recristalizadas, evidências de dissolução parcial e de ferruginização de cor vermelha intensa ao longo de uma superfície estilolítica irregular de baixa amplitude.

Ocorrência de dissolução ao longo da superfície correspondente ao hardground, que leva a criação de microporosidade.

Observações complementares: porosidade smsBP e smsWP. Ocorrência de grandes bioclastos, com uma disposição e geometria que provavelmente vai afectar a permeabilidade vertical da rocha.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, dissolução, recristalização.



**Figura 5.35.** Expressão macromorfológica das amostras correspondentes a sondagem S-87. **5.35.A.** – fotografia macromorfológica da amostra S87-2; **5.35.B.** – fotografia macromorfológica da amostra S87-4; **5.35.C.** – fotografia macromorfológica da amostra S87-5; **5.35.D.** – fotografia macromorfológica da amostra S87-14; **5.35.E.** – fotografia macromorfológica da amostra S87-6; **5.35.F.** – fotografia macromorfológica da amostra S87-11; **5.35.G.** – fotografia macromorfológica da amostra S87-8. Todas as fotografias foram tiradas, sobre uma secção em corte, húmida, sem polimento, somente a correspondente a amostra S87-11 foi tirada sobre uma superfície fresca, seca, em corte de sondagem.

## 5.13. VALE FLORIDO

### 5.13.1. AMOSTRA V.F.1.

#### 5.13.1.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: branco, com leves pintas alaranjadas dispersas.

Cor da amostra húmida: mantém a mesma cor (**Fig.5.36.A.**).

Calcário oolítico muito resistente, com distribuição bimodal, granulometria fina a média, calibragem boa e com uma baixa percentagem de partículas > 1mm, que nunca chegam a atingir os 2mm.

Corresponde a um oo/intra/pel/sparite, grainstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: raros bioclastos.

Aspectos diagenéticos observados: moderada/frequente ferruginização das partículas aleatoriamente distribuídas pela amostra (apresentando vários graus de alteração), contacto pontual entre as partículas.

Verifica-se também esporadicamente a presença de fracturação em alguns EFC.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, dissolução (?), recristalização (?).

#### 5.13.1.2. Descrição petrográfica

1-Composição e textura (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): oo/bio/pel/sparite, grainstone. Esta amostra encontra-se parcialmente dolomitizada, correspondendo actualmente a um fabric do tipo porfirotopico inequigranular floating-rhomb.

Observações complementares: presença de estratificação oblíqua.

A base desta lâmina em apresenta um empacotamento, uma granularidade e uma contribuição intraclástica superior. Pontualmente também na base são visíveis figuras de carga.

2-Litofácies (seg. Azerêdo, 1993,1998): 1.

3-Frequência de EFOC identificáveis: esparsa a moderada EFOC. Os principais EFOC identificáveis são: foraminíferos, equinodermes, gastrópodes, bivalves e braquiópodes (?).

4-Presença de óxidos de ferro: esparsa.

5-Fases de cimentação: C1 – cimento laminar, C2 – cimento em mosaico irregular, C3 – substituição dos cristais de calcite por dolomite hipidiotópicos, C – 4 cimento de cristais finos xenotópicos/hipidiotópicos; C5 – cimento microsparítico.

6-Ambientes diagenéticos identificáveis: ambiente marinho pouco profundo e ambiente de soterramento.

7-Processos diagenéticos identificáveis: cimentação, compactação, dissolução, dolomitização e desdolomitização.

8-Tipo de porosidade (Choquette & Pray, 1970):

8.1-Tempo de formação: eodiagénes e mesodiagénes.

8.2-Primária: ±12-15%, principalmente do tipo BP.

8.3-Secundária: ± 5%, do tipo WPs, MO, FR, smsVUG, mcBC, que por vezes formam mcCH.

8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada: <2%.

8.3.2-Estimativa da porosidade residual: smsMO (parcial), smsVUG e mcBC, que por vezes formam mcCH.

**8.3.3**-Estimativa da porosidade efectiva: não identificada.

**9**-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008): pobre.

**10**-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água: 1,54%.

**11**-Classificação da porosidade segundo Lucia (1983):

**11.1**-Interpartícula (P):  $\pm 1\%$ , do tipo mcBC e por vezes mcCH.

**11.2**-Vuggy (V):  $\pm 1\%$

**11.2.1**- V (5):  $\pm 1\%$ , smsVUG e associada MO (parcial).

**11.2.2**-V (T): não identificável.

**11.3**-Largura máxima dos cristais dolomite: 0,1mm.

**11.4**-Aspecto dos cristais de dolomite: aspecto mais ou menos límpido.

Verifica-se a presença de alguns romboedros, que devido a ocorrência de desdolomitização tardia passam a apresentar um aspecto mais turvo.

**12**-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993): trata-se de um híbrido, que fica situado a meio caminho entre a cimentação e dissolução que provoca a génese de porosidade moldada e a destruição do fabric primário que leva à formação de porosidade intercrystalina.

**13**-Classificação do tipo de génese da porosidade (Ahr, 2008): híbrido 1.

**14**-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007): nula.

**15**-Interpretação da evolução diagenética da rocha:

1º:precipitação de C1 e C2.

2º:ocorrência de dolomitização selectiva, que substitui os cristais de calcite por dolomite (C3).

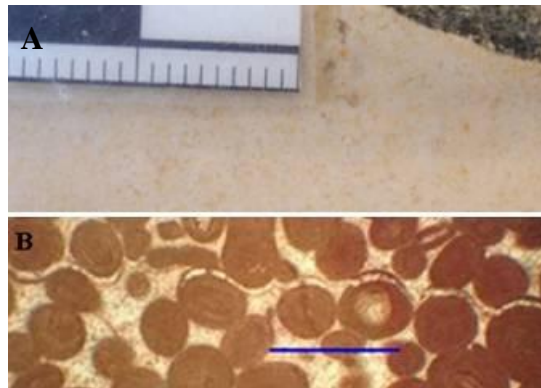
3º:ocorrência de compactação e de dissolução sob pressão que leva à génese de contactos pontuais e de fracturas (sms) irregulares preenchidas por C4. Estas fracturas levam a ocorrência de oóides com lamelas deslocadas (**Fig.5.36.B.**).

4º:ocorrência de dissolução e de desdolomitização que leva à precipitação de C5 e de óxidos de ferro.

**16**-Tipo de reservatório:

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): dolomítico.



**Figura 5.36.** **5.36.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre uma secção em corte, húmida, sem polimento à amostra **V.F.1.**; **5.36.B.** - fracturas irregulares geradas por dissolução sob pressão levam a ocorrência de oóides com lamelas deslocadas. A escala apresentada em B corresponde a 1mm.

### 5.13.2. AMOSTRA V.F.2.

#### 5.13.2.1.Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: creme esbranquiçado com grandes manchas cinzentas/acastanhas, provavelmente devidas à recristalização de bio-elementos.

Cor da amostra húmida: mantém praticamente a mesma cor, mas agora com leves tons cremes claros de fundo (**Fig.5.37.A.**).

Calcário oolítico muito resistente e com distribuição bimodal, calibragem boa, granularidade fina.

Corresponde a um oo/bio/pel/intra/sparite, grainstone/rudstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: nódulos algais, bivalves e Coraliários (?).

Aspectos diagenéticos observados: partículas oncolitizadas (principalmente oóides), agregados pontualmente oncolitizados (?), baixa a moderada ferruginização dos EFC (dispersos aleatoriamente pela amostra) e contactos pontuais entre as partículas. Verifica-se a presença de uma faixa intensamente ferruginizada de cor vermelha, junto ao bordo de alguns bioclastos (contornando-os).

Observações complementares: presença de um estilólito de baixa amplitude e com superfície irregular (concordante com a estratificação),

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, dissolução (?), cimentação, recristalização.



**Figura 5.37.** 5.37.A – fotografia macromorfológica tirada sobre uma superfície fresca, seca, sem polimento à amostra V.F.2; 5.37.B. – fotografia macromorfológica tirada sobre uma superfície fresca, sem polimento à amostra V.F.3.

### 5.13.3. AMOSTRA V.F.3.

#### 5.13.3.1.Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: creme acinzentado

Cor da amostra húmida: mantém a mesma cor, mas com leves tons cremes claros de fundo (**Fig.5.37.B.**).

Calcário calciclástico muito resistente, com distribuição polimodal, calibragem má, granularidade fina a grosseira. Verifica-se uma variação vertical da cor.

Corresponde a um oo/intra/bio/pel/sparite, grainstone/rudstone (?).

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: bivalves, gastrópodes (?) fragmentos algais (?) e coraliários (?).

Aspectos diagenéticos observados: EFC oncolitizados (principalmente correspondentes a oóides e alguns bioclastos), baixa ferruginização de cor alaranjada dos EFC (dispersos aleatoriamente pela amostra), partículas com evidências de ocorrência de dissolução e posterior preenchimento de cimento mais tardio, presença de

um veio smsFR que corta longitudinalmente a amostra e que não apresenta quaisquer evidências de alteração e contacto pontual entre as partículas.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, dissolução (?), cimentação, recristalização.

## 5.14. S13

### 5.14.1. AMOSTRA S13-3

#### 5.14.1.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: cor branca, com tons levemente cremes/amarelados claros.

Cor da amostra húmida: creme suave claro (**Fig.5.40.A.**).

Calcário calciclástico muito resistente, com distribuição polimodal, calibragem má, granulometria essencialmente fina, apesar de existir percentagem de cerca de 20% de partículas com uma dimensão média ( $\pm 1$ mm) e cerca de 12% de partículas de dimensão  $> 2$ mm. As partículas na sua globalidade apresentam-se subroladas numa matriz pelsaparítica.

Corresponde a uma pel/intra/oo/sparite, grainstone/rudstone com baixa percentagem de bio-elementos.

Aspecto diagenéticos: partículas parcialmente ferruginizadas (principalmente em torno dos seus limites, em que exibem uma cor amarela-alaranjada), partículas ferruginizadas pontuais que exibem manchas avermelhadas, raras partículas recristalizadas, presença de dois microveios de calcite (um deles preenchidos por calcite VPCA e sem sinais de alteração), presença de um microveio calcite VPCF e contactos pontuais entre as partículas.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, dissolução (?), recristalização.

### 5.14.2. AMOSTRA S13-4

#### 5.14.2.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: branco com leves tons cremes/amarelados, devidos à ocorrência de alteração e ferruginização tardia.

Cor da amostra húmida: branco amarelado claro (**Fig.5.38.A.**).

Calcário oolítico muito resistente, com distribuição polimodal, calibragem moderada a má, granulometria fina a média, em que é visível uma certa variação cíclica da granulometria, evidenciada pela presença de pequenos níveis mais grosseiros alternantes com níveis mais finos (de maior expressão).

Verifica-se também uma contribuição de cerca de  $\pm 15\%$  de partículas  $> 2$ mm.

Corresponde a uma oo/intra/bio/sparite, grainstone/rudstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: bivalves e gastrópodes (?).

Aspecto diagenéticos: bolsadas de pelóides, oóides e intraclastos oncolitizados, moderada a frequente ferruginização das partículas (em que podemos observar: oóides de núcleo intacto e com auréolas de cor amarela-alaranjada, oóides ferruginizados no núcleo, ostentando uma cor alaranjada e com auréolas brancas de calcite), intraclastos parcialmente ferruginizados de forma não homogénea e agregados oncolíticos

ferruginizados. Verifica-se ainda a presença de pequenas zonas recristalizadas intrapartículas e contacto pontuais entre as partículas.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, dissolução, recristalização.

#### 5.14.2.2. Descrição petrográfica

**1-Composição e textura** (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): oo/intra/bio/sparite, grainstone/rudstone. Esta rocha sofreu dolomitização selectiva parcial, que origina um fabric inequigranular porfirotopico do tipo floating-rhomb. Esta dolomitização afecta principalmente a fase de ligação e o interior de algumas partículas.

Observações complementares: estratificação oblíqua, verificando-se que na base dos feixes ocorrem laminações mais intrabioclásticas grosseiras.

**2-Litofácies** (seg. Azerêdo, 1993,1998): 1.

**3-Frequência EFOC identificáveis:** moderada/frequente, em que os identificados correspondem a: foraminíferos, bivalves, porostromata, equinodermes, gastrópodes e nódulos algais (?).

**4-Presença de óxidos de ferro:** esparsa.

**5-Fases de cimentação:** C1 – cimento em ponte (**Fig.5.38.B.**), C2-cimento laminar, C3 – cimento em mosaico irregular de sparite, C4 – cimento dolomítico (em que, ocorre a substituição do cimento pré-existente calcítico por dolomite, C5 - microsparite (a sua ocorrência é mais evidente intrapartícula do que interpartícula).

**6-Ambientes diagenéticos identificáveis:** ambiente vadoso, ambiente marinho pouco profundo e ambiente de soterramento.

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** cimentação, dissolução, compactação, dolomitização e desdolomitização.

**8-Tipo de porosidade** (Choquette & Pray, 1970):

**8.1-Tempo de formação da porosidade:** eodiagéne e mesodiagéne.

**8.2-Primária:**  $\pm 20\%$ . Principalmente do tipo BP.

**8.3-Secundária:**  $\pm 5-7\%$ , do tipo WPs, mc/smsFR e MO.

**8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:**  $\pm 3-4\%$ . MO (parcial), mcBC e mcWC.

**8.3.2-Estimativa da porosidade residual:** a totalidade da porosidade não colmatada.

**8.3.3-Estimativa da porosidade efectiva:** um exemplo de mcFR.

**9-Classificação qualitativa da porosidade** (Ahr, 2008): pobre.

**10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água:** 5.51%.

**11-Classificação da porosidade** (Lucia, 1983):

**11.1-Interpartícula (P):**  $\pm 2\%$ . Pertencentes a classe 2 e 3.

**11.2-Vuggy (V):**  $\pm 2\%$ .

**11.2- V (5):**  $\pm 2\%$ , do tipoMO (parcial, em que existem poros interiores da classe 2 e 3).

**11.2.2-V (T):** mc/FR (observa-se apenas um exemplo nas três lâminas analisadas).

**11.3- Largura máxima dos cristais:**  $\pm 0,2\text{mm}$ .

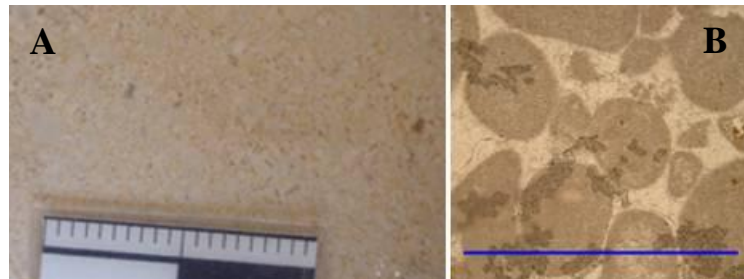
**11.4- Aspecto dos cristais:** de uma maneira geral os mais finos apresentam um aspecto turvo, enquanto que os mais tardios e de maiores dimensões apresentam um aspecto ligeiramente limpo.



**12-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993):** trata-se de um híbrido, que se situa entre a ocorrência de formação da porosidade moldada e porosidade intercrystalina.

**13-Classificação do tipo de gênese da porosidade (Ahr, 2008):** híbrido 1, com predominância clara dos aspectos diagenéticos.

**14-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007):** baixa a nula.



**Figura 5.38.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra **S-13-4**. **5.38.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre uma secção em corte, húmida, sem polimento; **5.38.B.** – mostra a três gerações de cimento inicial: cimento em ponte, cimento laminar irregular e cimento em mosaico irregular, sendo também possível observar o contacto pontual entre os grãos e a precipitação de óxidos de ferro. A escala apresentada na figura B corresponde a 1mm.

#### **15-Interpretação da evolução diagenética da rocha:**

1º:precipitação do cimento em ponte (raros/pontuais, C1), cimento laminar (irregularmente distribuído).

2º:ocorrência de dissolução intrapartícula (principalmente intramolde de fragmentos de EFOC), que gera porosidade secundária, posteriormente colmatada pela precipitação de cimento em mosaico irregular de sparite (de aspecto aproximadamente drúsico) que cimenta a rocha.

3º:ocorrência de compactação e de dissolução sob pressão (incipiente) associada, que provoca um ligeiro aumento no empacotamento (contactos pontuais) e a gênese de fracturas mc/smsFR (que por vezes cortam partículas ao longo do seu desenvolvimento). Estas fracturas parecem aproveitar as superfícies externas dos EFC para o seu desenvolvimento; associadas às mesmas, ocorre fracturação e deslocamento de alguns córtex de oóides e a presença modera/frequente de óxidos ferro.

4º:ocorrência de dissolução e desdolomitização (C5) e de alguns óxidos de ferro.

#### **16-Tipo de reservatório:**

Segundo Ahr (2008): diagenético

Segundo Flügel (2004): dolomítico

### **5.14.3. AMOSTRA S13-5**

#### **5.14.3.1. Descrição macroskala/mesoskala**

Cor da amostra seca: creme amarelado claro levemente esbranquiçado, com tons cremes alaranjados associados às zonas de maior alteração e ferruginização.

Cor da amostra húmida: creme amarelado mais acentuado (**Fig.5.40.B.**).

Calcário calciclástico muito resistente, com distribuição bimodal, calibragem moderada, granulometria essencialmente grosseira, em que se verifica-se uma ligeira contribuição de granulometria média e fina. As partículas em geral apresentam-se



subroladas a roladas. Verifica-se também uma certa variação vertical granulometria, demonstrada pela diminuição da componente mais grosseira e do empacotamento das partículas da base para o topo.

Corresponde a uma intra/oo/pel/bio/sparite (?), grainstone/ rudstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: gastrópodes e bivalves.

Aspecto diagenéticos: partículas oncolitizadas, partículas com recristalização interna, pequenas zonas interpartículas recristalizadas, bioclastos de gastrópodes recristalizados e com evidências de ocorrência de dissolução e posterior preenchimento por material mais fino (essencialmente pelóides) e por cimento sparítico, partículas com ferruginização frequente, presença de zonas não ferruginizadas constituídas por material fino (pelóides) e contacto pontual entre partículas.

Observações complementares: presença de dois intraclastos fracturados internamente.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, dissolução, recristalização.

#### 5.14.4. AMOSTRA S13-6

##### 5.14.4.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: branco.

Cor da amostra húmida: branco levemente creme com pequenos tons amarelados (**Fig.5.39.A.**).

Calcário calciclástico resistente, com distribuição bimodal, calibragem moderada, granulometria grosseira, em que na globalidade os grãos se apresentam sub-rolados. Verifica-se a presença de pequenos níveis constituídos essencialmente por pelóides.

Corresponde a uma intra/oo/pel/bio/sparite, packstone/rudstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: gastrópodes, bivalves e foraminíferos (?).

Aspecto diagenéticos: baixa a moderada ferruginização das partículas (em que pontualmente se observa a ocorrência de ferruginização interna, de cor alaranjada, partículas oncolitizadas, pontuais partículas grosseiras oncolitizadas e com evidências de recristalização interna, presença de alguns bioclastos recristalizados que exibem evidências de dissolução e posterior preenchimento por material similar ao da matriz, manchas brancas de alteração e contactos pontuais entre as partículas.

Observações complementares: microporosidade não conectada ao longo dos laivos ferruginosos, que estão em contacto com áreas recristalizadas e/ou cimentadas por cimento sparítico. Verifica-se também evidências de porosidade smsWP e smsBP na proximidade e/ou no interior de alguns bioclastos recristalizados.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, dissolução, recristalização.

##### 5.14.4.2. Descrição petrográfica

1-Composição e textura (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): intra/pel/bio/sparite, packstone na base e no topo a uma biomicrite, wackestone.

Esta rocha sofreu dolomitização selectiva, que origina um fabric inequigranular porfirotópico do tipo floating-rhomb e que afecta principalmente a fase de ligação.

Observações complementares: a presença de um hardground (junto a transição de fácies) e um firmground. Verifica-se a presença de bird eyes e de superfícies fenestradas em fabric irregular (LF-B-1) na parte corresponde ao topo da lâmina.

**2-Litofácies** (seg. Azerêdo, 1993,1998): 7.

**3-Frequência dos EFOC identificáveis:** frequentes, com fragmentos de bivalves, foraminíferos e equinodermes e gastrópodes.

**4-Presença de óxidos de ferro:** pontual, em geral associados a superfície do harground e a algumas partículas pertencentes a base da lâmina.

**5-Fases de cimentação da base:** C1 – cimento laminar, C2 – cimento em mosaico irregular de sparite.

Fases de cimentação da base: C2 – cimentação da rocha pela fase de ligação micritica.

Fases de cimentação no fim da rocha litificada: C3 – cimento de cristais irregulares xenotópicos/hipidotópicos de dolomite, C4 – cimento constituído por cristais de dolomite hipidotópicos/idiotópicos (de aspecto mais límpido), C5 – cimento poiquilotópico (**Fig.5.39.B.**), C6 – microsparite.

**6-Ambientes diagenéticos identificáveis:** ambiente marinho pouco profundo e soterramento.

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** cimentação, dissolução, dolomitização e desdolomitização.

**8-Tipo de porosidade** (Choquette & Pray, 1970):

**8.1-Tempo de formação da porosidade:** eodiagénes e mesodiagénes.

**8.2-Primária:**  $\pm$  10-20%, devido às variações de fácies. Esta porosidade é essencialmente do tipo FE e BP.

**8.3-Secundária:** 10-12%.

**8.3.1-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:**  $\pm$ 7-8%.

**8.3.2-Estimativa da porosidade residual:**  $\pm$ 5-6%, do tipo WPs, BC, MO (parcial), CH.

**8.3.3-Estimativa da porosidade efectiva:**  $\pm$  2%, do tipo CH, associada a dissolução da superfície do hardground.

**9-Classificação qualitativa da porosidade** (Ahr, 2008): razoável.

**10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água:** 7.83%.

**11-Classificação da porosidade** (Lucia, 1983):

**11.1-Interpartícula (P):**  $\pm$  4-5, pertencentes a classe 1 e 2 principalmente.

**11.2-Vuggy (V):**  $\pm$  3%.

**11.2.1- V (5):**  $\pm$  1%, do tipo MO (parcial)

**11.2.2-V (T):**  $\pm$  2%, do tipo CH.

**11.3-Largura máxima dos cristais:**  $\pm$  0,35mm.

**11.4-Aspecto dos cristais:** na globalidade apresentam-se turvos, em que somente os correspondentes aos da segunda fase de dolomitização se apresentam menos turvos.

**12-Classificação ternária da porosidade** (Kopaska-Merkel & Mann, 1993): híbrido, ente a geração de porosidade intercrystalina e moldada.

**13-Classificação do tipo de gênese da porosidade** (Ahr, 2008): híbrido 1, com predominância dos aspectos diagenéticos.

**14-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade** (Gomes & Alves, 2007): baixa.

**15-Interpretação da evolução diagenética:**

1:precipitação de cimento laminar, seguido da ocorrência de dissolução intracrystalina de algumas partículas.

2º:preenchimento dos poros gerados por material pelmicrítico e pelo cimento C2.

3º:ocorrência de compactação (em que se geram mcFR irregulares) e de dolomitização da rocha (C3).

4º:dissolução seguida da ocorrência da segunda fase de dolomitização que preenche os espaços gerados anteriormente (C4).

5º: cimento poiquilotópico

6º:ocorrência de dissolução e de microsparite, que gera parte da porosidade não colmatada.

#### 16-Tipo de reservatório:

Segundo Ahr (2008): diagenético

Segundo Flügel (2004): parcialmente dolomítico.



**Figura 5.39.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra S-13-6. **5.39.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre uma secção em corte, húmida, sem polimento; **5.39.B.** – cimento poiquilotópico. A escala apresentada na figura B equivale a 1mm.

### 5.14.5. AMOSTRA S13-8

#### 5.14.5.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: rosa claro

Cor da amostra húmida: rosa (**Fig.5.40.C.**)

Trata-se de um calcário dolomítico muito resistente.

Aspecto diagenéticos: laivos ferruginosos amarelo-alaranjados, manchas de alteração que apresentam uma gradação de cores que vai desde o branco ao vermelho, pontuais pontos totalmente ferruginizados, que apresentam uma cor vermelha intensa.

Verifica-se também a presença de partículas em que ainda é possível observar restos da fase anterior diagenética anterior (devido não terem sido totalmente dolomitizadas e/ou alteradas), presença de microveio VPCP (preenchido por um material de cor vermelha intensa) e de microveio mais tardio preenchido por calcite VPCA.

Observações complementares: presença de porosidade do tipo cavernosa (lmsCV) e presença de umas manchas pretas de aspecto carbonoso.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, dissolução e dolomitização.

### 5.14.6. AMOSTRA S13-11

#### 5.14.6.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: creme. Verifica-se uma variação lateral da cor, que passa de creme a creme com tons de fúcsia.

Cor da amostra húmida: mantém a mesma cor (**Fig.5.40.D.**).

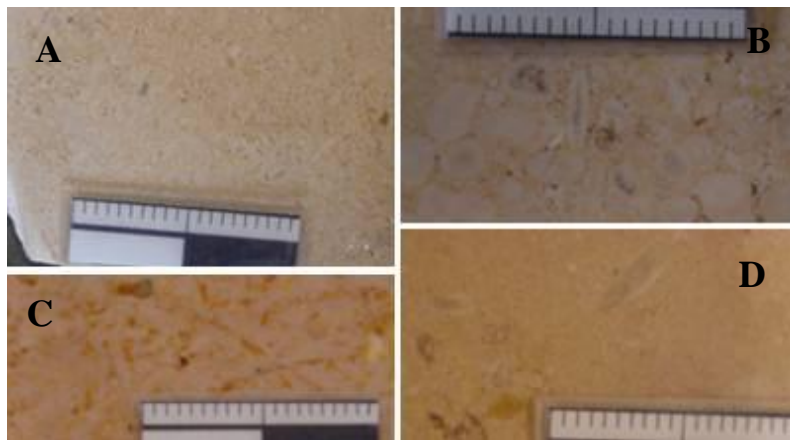
Calcário oolítico muito resistente, com distribuição bimodal, calibragem boa, granulometria fina a média, registando-se ainda a presença de uma baixa contribuição de cerca de  $\pm 10\%$  de partículas (intraclastos, bioclastos)  $> 2\text{mm}$ .

Corresponde a uma pel/oo/intra/bio/sparite, grainstone/rudstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: algas (?).

Aspecto diagenéticos: pelóides, oóides e intraclastos oncolitizados (em que, alguns desses oóides oncolitizados, apresentam o núcleo ferruginizado, que exibe uma cor alaranjada (BFP)), partículas parcialmente e/ou totalmente ferruginizadas de cor fúcsia (FFP), partículas de cor branca exibindo no seu interior restos da recristalização ocorrida na fase anterior (partículas essas, que na sua periferia exibem auréolas de cor fúcsia); pequenos laivos ferruginosos de cor alaranjada (raros); bioclastos recristalizados e contactos pontuais entre as partículas.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, dissolução, recristalização.



**Figura 5.40.** 5.40.A. -fotografia macromorfológica da amostra S13-3; 5.40.B. – fotografia macromorfológica da amostra S13-5. 5.40.C. – fotografia macromorfológica da amostra S13-8; 5.40.D. – fotografia macromorfológica da amostra S13-11. todas as fotografias macromorfológicas foram tiradas sobre em superfície fresca, sem polimento.

### 5.14.7. AMOSTRA S13-13

#### 5.14.7.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: branco levemente creme (Fig.5.41.A.).

Cor da amostra húmida: creme esbranquiçado com leves tons de fúcsia

Calcário oolítico muito resistente de distribuição bimodal, calibragem boa, granulometria fina, bioclastos e intraclastos que de uma forma geral se apresentam rolados a sub-rolados. Esta amostra na sua zona central apresenta um nível mais grosseiro, bioclástico e recristalizado, que exibe uma cor branca acinzentada e com tons de fúcsia associados. Este nível ostenta algumas partículas  $> 2\text{mm}$  (normalmente oncolitizadas e com evidências de recristalização e ferruginização de cor fúcsia, que leva à existência de uma variação vertical da cor padrão da amostra nesta zona).

Corresponde a uma pel/oo/bio/intra/sparite/micrite, packstone/ rudstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: algas e bivalves (principalmente lamelibrânquios).

Aspecto diagenéticos: pelóides e oóides e alguns intraclastos oncolitizados, raros pontos recristalizados, ferruginização moderada das partículas (em que temos, partículas ferruginizadas com núcleo de cor alaranjada e partículas ferruginizadas com

núcleo de cor vermelha (normalmente, em torno das partículas recristalizadas e/ou no interior dos bioclastos recristalizados)). Verifica-se também a presença de fragmentos algais que exibem evidências de recristalização, dissolução, preenchimento e ferruginização, microveios subverticais preenchidos por calcite VPCA e contactos pontuais entre as partículas.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, cimentação, dissolução, recristalização.

#### 5.14.8. AMOSTRA S13-16

##### 5.14.8.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: branco acinzentado

Cor da amostra húmida: creme claro ligeiramente acinzentado (**Fig.5.41.B.**).

Calcário oolítico muito resistente, de distribuição bimodal, calibragem boa, granulometria fina. Regista-se a presença de raros intraclastos e uma baixa percentagem de fragmentos de bioclastos, normalmente rolados a sub-rolados.

Corresponde a uma pel/oo/bio/intra/sparite, grainstone, rudstone.

Fragmentos de bioelementos identificáveis: bivalves (lamelibrânquios?), algas e gastrópodes (?).

Aspecto diagenéticos: pelóides e alguns oóides oncolitizados, pontos cristalinos dispersos aleatoriamente, pontos negros (azulados) disseminados pela amostra (raros), bioclastos recristalizados, presença de um laivo ferruginoso de baixa expressão, ferruginização baixa das partículas (em que, se observam partículas com núcleo de cor alaranjada e raras partículas ferruginizadas com núcleo de cor vermelha). Verifica-se também a presença de microveios preenchidos por calcite VPCA (sem evidências de ocorrência de alteração) e de contactos pontuais entre as partículas.

Observações complementares: porosidade smaBP e smaWP não conectada e possíveis bioperfurações (?).

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, cimentação, dissolução, recristalização.



**Figura 5.41.** 5.41.A – fotografia macromorfológica tirada sobre uma superfície fresca, seca, sem polimento à amostra S13-13; 5.41.B. – fotografia macromorfológica tirada sobre uma superfície fresca, húmida, sem polimento à amostra S13-16.

#### 5.14.9. AMOSTRA S13-19

##### 5.14.9.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: branco

Cor da amostra húmida: branco levemente creme (**Fig.5.42.A.**).

Calcário oolítico muito resistente, com distribuição bimodal, calibragem boa, granulometria fina.

Nesta amostra subsiste uma pequena percentagem de  $\pm 10\%$  de intraclastos e de  $\pm 10\%$  fragmentos de bioclastos concentrados num nível “central” de pequena espessura. Observam-se também passagens em que predominam os pelóides.

Corresponde a uma oo/bio/sparite, grainstone/rudstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: baixa percentagem de bivalves.

Aspecto diagenéticos: moderada percentagem de pelóides e de alguns oóides oncolitizados, pontos cristalinos dispersos aleatoriamente pela amostra (raros), bioclastos ferruginizados (raros), presença de um microveio de calcite VPCA (com evidências pontuais de ocorrência de alteração e ferruginização) e de contactos pontuais entre as partículas.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, cimentação, dissolução, recristalização.

#### 5.14.9.2. Descrição petrográfica

1-Composição e textura (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): oo/bio/sparite, grainstone/rudstone.

Observações complementares: alternância vertical de lentículas com granularidade e de empacotamento diferente. Verifica-se também a ocorrência de interdigitações laterais entre as várias lentículas dos feixes e a presença de uma superfície correspondente a um hardground.

2-Litofácies (seg. Azerêdo, 1993,1998): 1.

3-EFOC identificáveis: frequência moderada/frequente de EFOC, principalmente fragmentos de foraminíferos, equinodermes e porostromata.

4-Presença de óxidos de ferro: moderada.

5-Fases de cimentação: C1 – cimento em ponte incipiente (raro), C2 – cimento laminar, C3 – cimento poligonal (**Fig.5.42.B.**), C4 – mosaico irregular (de aspecto granular fino), C5 – mosaico de cristais hipidiotópicos (mais límpidos e dimensão superior), C6 – cimento poiquilotópico

6-Ambientes diagenéticos identificáveis: ambiente vadoso, ambiente marinho pouco profundo e ambiente de soterramento (pouco profundo).

7-Processos diagenéticos identificáveis: cimentação, dissolução, compactação.

8-Tipo de porosidade (Choquette & Pray, 1970):

8.1-Tempo de formação da porosidade: eodiagéne e mesodiagéne.

8.2-Primária:  $\pm 18-25\%$ , principalmente do tipo BP.

8.3-Secundária:  $\pm 5-7\%$ .

8.3.2-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:  $\pm 5-6\%$  (**Fig.5.42C**). Principalmente do tipo MOparcial (intrapartículas de oóides) e mcBC.

8.3.3-Estimativa da porosidade residual: a totalidade da porosidade não colmatada.

8.3.4-Estimativa da porosidade efectiva: não identificada.

9-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008): razoável.

10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água: 8,07%.

11-Classificação da porosidade (Lucia, 1983):

11.1-Interpartícula (P):  $\pm 2\%$ , pertencentes a classe 2 e 3.

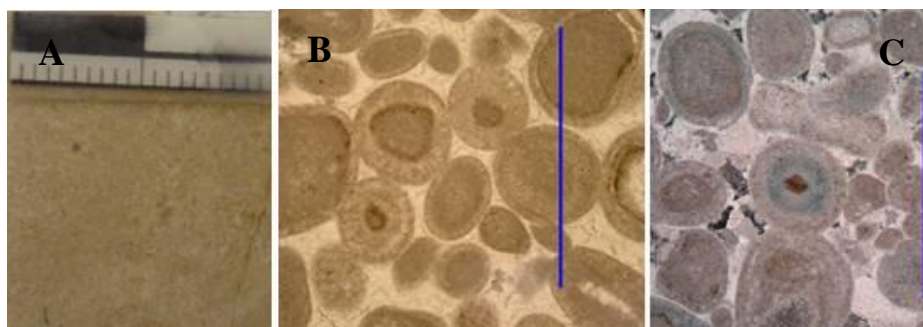
11.2-Vuggy (V):  $\pm 4\%$ .

11.2.1- V (5):  $\pm 4\%$ .

11.2.2-V (T): não identificada.

11.3-Largura máxima dos cristais: não identificado.

11.4-Aspecto dos cristais: não identificado.



**Figura 5.42.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra **S-13-19**. **5.42.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre uma secção em corte, húmida, sem polimento; **5.42.B.** – cimento laminar em contacto poligonal e precipitação de óxidos (nicóis paralelos); **5.42.C.** – porosidade secundária não colmatada (a Azul, em nicóis cruzados). As escalas apresentadas nas figuras B e C correspondem a 1mm.

**12-**Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993): trata-se de um híbrido, situado entre a geração de porosidade moldada e a génese de porosidade intercrystalina.

**13-**Classificação do tipo de génese da porosidade (Ahr, 2008): híbrido 1, com predominância dos aspectos diagenéticos.

**14-**Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007): nula.

**15-**Interpretação da evolução diagenética da rocha:

1º: precipitação do cimento em ponte incipiente (raro), seguida da precipitação de C2 e C3.

2º: ocorrência de dissolução e posterior preenchimento desses espaços gerados por óxidos de ferro e por um mosaico irregular.

3º: ocorrência de compressão e de incipiente dissolução sob pressão que leva à formação de fracturas sms, preenchidas por cristais hipidiotópicos mais límpidos.

4º: crescimento de cimento poiquilotópico.

**16-** Tipo de reservatório:

Segundo Ahr (2008): diagenético.

Segundo Flügel (2004): parcialmente dolomítico /fracturado.

#### 5.14.10. AMOSTRA S13-20

##### 5.14.10.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: branco levemente creme/amarelado.

Cor da amostra húmida: creme esbranquiçado (**Fig.5.43.D.**).

Calcário oolítico muito resistente, de distribuição bimodal, calibragem boa, de granulometria fina, em que as partículas se apresentam normalmente roladas a subroladas. Verifica-se também a presença de grandes fragmentos de bioclastos (corais recristalizados) e raros intraclastos dispersos aleatoriamente pela amostra.

Corresponde a uma pel/bio/oo/intra/sparite, grainstone, rudstone (?).

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: fragmentos de corais de grandes dimensões, bivalves e de gastrópodes (?).

Aspecto diagenéticos: baixa percentagem de partículas oncolitizadas, pontos cristalinos dispersos aleatoriamente pela amostra (raros), bioclastos recristalizados (com evidências de ocorrência de dissolução e posterior preenchimento por pelóides (em que alguns se apresentam ferruginizados). Verifica-se também a presença de partículas ferruginizadas (pontuais), partículas totalmente ferruginizadas de cor vermelha (raras), um microveio preenchido de calcite VPCA (com evidências de ocorrência de alteração, ferruginização e de compactação) e contactos pontuais entre as partículas.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, cimentação, dissolução, recristalização.

#### 5.14.11. AMOSTRA S13-21

##### 5.14.11.1. Descrição macroscla/mesoscla

Cor da amostra seca: creme acinzentado.

Cor da amostra húmida: creme amarelado com pequenas zonas mais esbranquiçadas (**Fig.5.43.B.**).

Calcário calciclástico muito resistente, de distribuição polimodal, calibragem moderada a má, granulometria média a fina, em que as partículas se apresentam normalmente sub-roladas. Verifica-se a presença de muitos bioclastos recristalizados e de dois estilólitos.

Corresponde a uma intra/bio/pel/oo/micrite, packstone (?), floatstone (?).

Fragments de bio-elementos identificáveis: bivalves.

Aspecto diagenéticos: raras partículas oncolitizadas, pontos cristalinos dispersos aleatoriamente pela amostra, bioclastos recristalizados, ferruginização moderada a frequente das partículas (existindo partículas com núcleo de cor alaranjada e raras partículas totalmente ferruginizadas de cor vermelha), laivos esbranquiçados na base da amostra, que levam à ocorrência de uma variação vertical da cor padrão da amostra. Verifica-se também a presença de dois estilólitos irregulares de baixa amplitude, cujo seu desenvolvimento parece ser parcialmente controlado pelos grãos. Estes estilólitos apresentam evidências claras de alteração, dissolução, ferruginização (orlas de alteração ferruginosas adjacentes) e pontualmente a presença de um material de cor preta. Regista-se ainda a presença de um microveio subvertical de calcite VPCA (sem evidências de ocorrência de alteração e ferruginização) que corta as duas superfícies estilolíticas e contactos pontuais entre as partículas.

Observações complementares: microporosidade interpartículas smaBP.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, dissolução, recristalização.

#### 5.14.12. AMOSTRA S13-22

##### 5.14.12.1. Descrição macroscla/mesoscla

Cor da amostra seca: creme esbranquiçado.

Cor da amostra húmida: creme (**Fig.5.43.G.**).

Calcário muito resistente de granulometria fina.

Fragments de bio-elementos identificáveis: não identificáveis a esta escala.

Aspecto diagenéticos: laivos avermelhados, laivos amarelados (pontuais), microveios de calcite VPCA, microfracturas (?) irregulares preenchidas por material argilo-ferruginoso de cor encarnada. Estas fracturas são cortadas pelos microveios de



calcite. Observa-se ainda nesta amostra a presença de uma pequena zona aparentemente parcialmente recristalizada.

Processos diagenéticos observados: cimentação, compactação (?), dissolução (?), recristalização (?).

### 5.14.13. AMOSTRA S13-23

#### 5.14.13.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: creme acastanhado claro.

Cor da amostra húmida: creme ligeiramente amarelado (**Fig.5.43.C.**).

Calcário muito resistente, de distribuição polimodal, calibragem moderada a má, granulometria essencialmente média, na sua globalidade as partículas apresentam-se sub-roladas.

Corresponde a uma oo/intra/pel/biomicrite, grainstone, rudstone

Fragments de bio-elementos identificáveis: ostracodos (?).

Aspecto diagenéticos: partículas oncolitizadas, ferruginização moderada das partículas (em que podemos ter partículas que exibem uma cor alaranjada e raras partículas de cor vermelha intensa e algumas de cores fúcsia, estando estas últimas principalmente no interior das bolsadas de pelóides), laivos ferruginosos e alguns intraclastos parcialmente dissolvidos e posteriormente preenchidos por material mais fino. Presença de zonas intrapartícula parcialmente recristalizadas por calcite de cor acinzentada e microveios VPCF.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, dissolução, recristalização.

### 5.14.14. AMOSTRA S13-24

#### 5.14.14.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: rosa claro com passagens cremes amareladas.

Cor da amostra húmida: rosa ligeiramente avermelhado claro com passagens cremes amareladas (**Fig.5.43.E.**). Calcário dolomítico cristalino muito resistente.

Aspecto diagenéticos: partículas recristalizadas; pequenas pintas pretas disseminadas pela amostra, duas gerações de microveios preenchidos por calcite acinzentada e com evidências claras da ocorrência de ferruginização e de alteração. Estes veios cortam as duas fracturas existentes na amostra. As fracturas cortam ao longo do seu desenvolvimento vários grãos recristalizados.

Observações complementares: microporosidade interpartículas smaBP.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, dolomitização, dissolução (?) e recristalização.

### 5.14.15. AMOSTRA S13-25

#### 5.14.15.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: branco.

Cor da amostra húmida: branco ligeiramente amarelado (**Fig.5.43.F.**).

Calcário calciclástico resistente/moderadamente resistente, de distribuição polimodal, calibragem moderada a má, granulometria média a fina, em que subsiste uma ligeira percentagem de partículas > 2mm.

Corresponde a um intra/oo/pel/bio/sparite(?), packstone a grainstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: bivalves.

Aspecto diagenéticos: algumas partículas amareladas, pequenos laivos ferruginosos, partículas recristalizadas (algumas dessas partículas observa-se a presença de alguns pontos pretos).

Observações complementares: porosidade smaBP e smaWP abundante; cimento entre as partículas parcialmente dissolvido.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, dissolução, recristalização.

#### 5.14.16. AMOSTRA S13-27

##### 5.14.16.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: creme, com manchas castanhas. Estas manchas são devidas a presença de grandes fragmentos de corais (> 5mm) muito abundantes.

Cor da amostra húmida: mantém a mesma cor (**Fig.5.43.A.**).

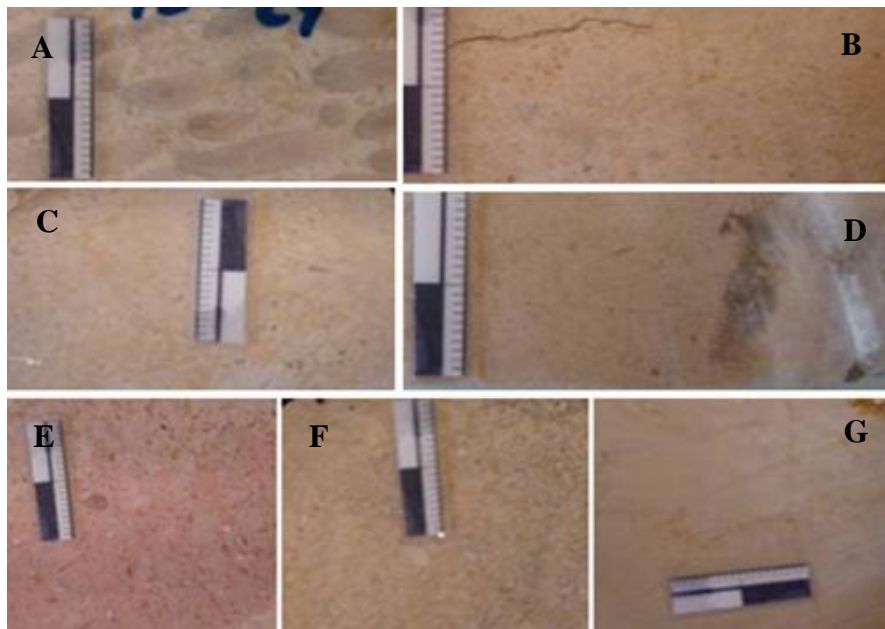
Calcário bioclástico muito resistente com uma matriz de granulometria média a fina (?).Corresponde a um bio/intrasparite (?), packstone, bafflestone (?).

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: corais e algas.

Aspecto diagenéticos: alguns bioclastos de corais com bordos parcialmente ferruginizados, zonas parcialmente dissolvidas e raros corais com evidências de fracturação interna.

Observações complementares: porosidade smaBP e smaBP abundante, porosidade do tipo lmsVUG, porosidade do tipo lmsCH associada à interface dos bioclastos recristalizados com a matriz.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, dissolução e recristalização.



**Figura 5.43.** Expressão macromorfológica de amostras correspondentes a sondagem S13. **5.43.A.** – fotografia macromorfológica da amostra S13-27; **5.43.B.** – fotografia macromorfológica da amostra S13-21; **5.43.C.** – fotografia macromorfológica da amostra S13-23; **5.43.D.** – fotografia macromorfológica da amostra S13-20; **5.43.E.** – fotografia macromorfológica da amostra S13-24; **5.43.F.** – fotografia macromorfológica da amostra S13-25; **5.43.G.** – fotografia macromorfológica da amostra S13-22. todas as fotografias macromorfológicas foram tiradas sobre uma secção em corte, húmida, sem polimento.

## 5.15. S14

### 5.15.1. AMOSTRA S14-19

#### 5.15.1.1. Descrição macroscale/mesoscala

Cor da amostra seca: creme.

Cor da amostra húmida: creme (**Fig.5.44.A.**).

Calcário oolítico/biolástico muito resistente, distribuição praticamente unimodal, existindo somente  $\pm 10\%$  de partículas dispersas pela amostra com tamanho superior às restantes. Apresenta uma calibragem boa, granulometria fina. Nesta amostra observam-se também zonas em onde predominam os pelóides.

Corresponde a um oo/bio/pel/sparite (?), bafflestone (?).

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: coraliários (abundantes), gastrópodes bivalves (lamelibrânquios) e algas (?).

Aspectos diagenéticos observados: oóides e pelóides oncolitizados, ferruginização moderada/baixa das partículas (em que, se observam partículas ferruginizadas de cor vermelha intensa no núcleo e partículas parcialmente ferruginizadas de cor amarela-alaranjada), pequenos laivos irregulares de cor amarela-alaranjada, recristalização dos corais e dissolução de alguns desses corais recristalizados, em que ocorre posterior preenchimento por pelóides e outros bioclastos. Verifica-se também a presença de: pequenas manchas de calcite branca aleatoriamente dispersas, contacto pontuais entre as partículas, um microveio preenchido por calcite VPCA, um microveio subvertical de calcite de VPCP que corta longitudinalmente a totalidade da amostra e que apresenta uma película de alteração e uma variação da alteração comportada ao longo da sua amplitude.

Observações complementares: ao longo do desenvolvimento do veio subvertical é possível observar zonas não alteradas alterantes com zonas com evidências pontuais de dissolução parcial (sem qualquer evidências de ferruginização) levando à ocorrência de microporosidade (sma).

**Processos diagenéticos observados:** cimentação compactação, cimentação, dissolução, recristalização.

#### 5.15.1.2. Descrição petrográfica

1-Composição e textura (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): oo/bio/pel/sparite, grainstone/rudstone. Esta rocha sofreu dolomitização selectiva parcial, que origina um fabric inequigranular porfirotópico do tipo floating-rhomb. Esta dolomitização afecta principalmente a fase de ligação.

Observações complementares: variação vertical do empacotamento e da granularidade, em se verifica uma maior granulometria e um maior empacotamento acima da superfície correspondente ao harground. Verifica-se a também a presença de fracturação que afecta principalmente a zona abaixo do harground.

2-Litofácies (seg. Azerêdo, 1993,1998): 1.

3-EFOC identificáveis: frequentes, principalmente de corais (abundantes, **Fig.5.44.B.**), equinodermes, bivalves, novelos de serpulídeos, gastrópodes e foraminíferos.

4-Presença de óxidos de ferro: moderada. A sua frequência é maior junto às fracturas.

**5-Fases de cimentação:** C1 – cimento laminar, C2 – mosaico irregular de cristais, C3 – cimento granular/drúsico, C4 – cimento dolomítico, C5 – cimento hipidiotópico de dolomite (cristais de dolomite de maior dimensão e de aspecto ligeiramente mais limpo), C6 – cimento poiquilotópico; C7 – microsparite.

**6-Ambientes diagenéticos identificáveis:** ambiente marinho pouco profundo e ambiente de soterramento.

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** cimentação, dissolução, compactação, dolomitização e desdolomitização.

**8-Tipo de porosidade (Choquette & Pray, 1970):**

**8.1-Tempo de formação da porosidade:** eodiagénesese e mesogénese.

**8.2-Primária:**  $\pm$  15-20%. Principalmente do tipo BP e alguma SH.

**8.3-Secundária:**  $\pm$  25%. Principalmente do tipo mc/smsFR (em que a maioria apresenta baixa continuidade lateral), MO e WPs.

**8.3.2-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:**  $\pm$ 2 %, principalmente do tipo mc/BC.

**8.3.3-Estimativa da porosidade residual:** a totalidade da porosidade observada.

**8.3.4-Estimativa da porosidade efectiva:** nula.

**9-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008):** pobre.

**10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água:** 1,38%.

**11-Classificação da porosidade (Lucia, 1983):**

**11.1-Interpartícula (P):**  $\pm$ 2 %, correspondentes a classe 2 e 3.

**11.2-Vuggy (V):** raros, existindo somente um exemplar identificado.

**11.2.1- V (5):** raros.

**11.2.2- V (T):** não identificável.

**11.3-Largura máxima dos cristais de dolomite:**  $\pm$  0,3mm.

**11.4-Aspecto dos cristais:** os correspondentes à primeira fase de dolomitização são turvos, enquanto que os correspondentes à segunda fase apresentam um aspecto mais limpo.

**12-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993):** no sentido da destruição do fabric primário e posterior geração de porosidade intercrystalina.

**13-Classificação do tipo de génese da porosidade (Ahr, 2008):** híbrido 1, com predominância clara dos aspectos diagenéticos.

**14-Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes & Alves, 2007):** nula.



**Figura 5.44.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra S-14-19. **5.44.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre uma secção em corte, húmida, sem polimento; **5.44.B.** – fragmento de coral, fotografia tirada a lupa binocular.

**15-Interpretação da evolução diagenética da rocha:**

1º:cimentação por C1 seguida de C2.

2º:ocorrência de dissolução e posterior precipitação de C3.

3º:ocorrência de compactação juntamente com dissolução sob pressão que provoca a dolomitização selectiva parcial da rocha, em que ocorre a substituição da fase de ligação calcítica por dolomite (C4).

4º:ocorrência de compactação juntamente com dissolução sob pressão que provoca a génese das smsFR e dos estilólitos (que apresentam uma baixa continuidade lateral, com película de óxidos de ferro bem evidente) e cimento poiquilotópico(C5).

5º:ocorrência de desdolomitização e precipitação de microsparite (C6) e de óxidos ferro.

6º:ocorrência de ferruginização tardia.

**16- Tipo de reservatório:**

Segundo Ahr (2008): diagenético

Segundo Flügel (2004): parcialmente dolomítico /fracturado.

**5.15.2. AMOSTRA S14-23****5.15.2.1. Descrição macroscale/mesoscale**

Cor da amostra seca: creme esbranquiçado a um creme amarelo nas zonas parcialmente ferruginizadas e alteradas.

Cor da amostra húmida: mantém praticamente a mesma cor.

Calcário oolítico muito resistente de distribuição polimodal, com outros EFC, calibragem moderada a má, com uma variação cíclica granulodecrescente da granulometria, onde são visíveis níveis grosseiros alternantes com mais níveis finos de gradação positiva. As partículas na sua globalidade apresentam-se sub-roladas a sub-angulosas.

Nos níveis mais grosseiros é possível observar: intraclastos > 2mm, geralmente sub-rolados a subangulosos; partículas parcialmente alteradas exibindo uma cor amarelada com várias gradações de alteração; laivos ferruginosos; aumento componente bioclástica e da ocorrência do processo de recristalização.

Nos níveis mais finos observam-se algumas partículas parcialmente alteradas apresentando uma cor fúcsia e uma diminuição da componente bioclástica.

Corresponde a um pel/oo/bio/intra/micrite packstone a grainstone/ rudstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: bivalves, gastrópodes e algas (?).



**Figura 5.45.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra **S-14-23**. fotografia macromorfológica tirada sobre uma secção em corte, húmida, sem polimento.

Aspectos diagenéticos observados: pelóides e oóides oncolitizados; manchas de calcite branca; moderada a frequente ferruginização das partículas, em que se observam partículas e por vezes zonas adjacentes totalmente alteradas e ferruginizadas de cor

creme amarelada e partículas parcialmente ferruginizadas de cor fúcsia; vários bioclastos recristalizados; presença de alguns bioclastos parcialmente dissolvidos e posteriormente preenchidos por material similar ao da matriz; microveio preenchido por VPCA de calcite; contacto pontual entre as partículas.

Observações complementares: ao longo do desenvolvimento do microveio observam-se pequenas zonas de comprimento < 1mm de cor cinza prateada azulada (tipo metálica) e presença de microporosidade (sma) não conectada.

**Processos diagenéticos observados:** cimentação, compactação, dissolução, recristalização.

### 5.15.3. AMOSTRA S14-24

#### 5.15.3.1. Descrição macroscale/mesoscale

Cor da amostra seca: creme.

Cor da amostra húmida: creme ligeiramente amarelado (**Fig.5.46.A.**).

Calcário oolítico muito resistente, de distribuição polimodal, calibragem moderada, com uma variação cíclica da granulometria que passa de fina a média em ciclos alternantes de gradação positiva. As partículas na sua globalidade apresentam-se normalmente sub-roladas a sub-angulosas.

Nesta amostra existem alguns intraclastos > 2mm, verificando-se também uma diminuição da componente bioclástica e da ocorrência de recristalização das partículas na zona de granulometria mais fina.

Corresponde a um oo/intra/bio/sparite packstone a grainstone/rudstone.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: algas, corais, bivalves, gastrópodes.

Aspecto diagenéticos: pelóides e oóides e alguns intraclastos oncolitizados; pontuais manchas de calcite branca de geometria similar a pequenas farpas brancas; moderada ferruginização das partículas, existindo partículas ferruginizadas no núcleo apresentando uma cor alaranjada e partículas ferruginizadas no núcleo com uma cor vermelha no núcleo e com auréolas de cor alaranjada; algumas partículas e alguns bioclastos ferruginizados no núcleo apresentando uma cor vermelha clara a fúcsia; pequena área de cor vermelha intensa “tipo ferro”; microveios subhorizontais VPCA e subverticais de calcite VPCA, com algumas evidências de fracturação (?) e dissolução parcial pontual (?); contacto pontual a longo entre as partículas.

Observações complementares: a geometria e dimensão apresentada por alguns bioclastos que pode influenciarem principalmente a permeabilidade vertical da rocha.

**Processos diagenéticos observados:** compactação, cimentação, dissolução, recristalização.

#### 5.15.3.2. Descrição petrográfica

1-Composição e textura (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): oo/intra/bio/pel/sparite, grainstone/rudstone. Esta rocha sofreu dolomitização selectiva parcial, que origina um fabric inequigranular porfirotópico do tipo floating-rhomb. Esta dolomitização afecta principalmente a fase de ligação e os espaços intrapartícula anteriormente dissolvidos e preenchidos por sparite.

Observações complementares: presença de estratificação oblíqua, em se verifica uma alternância de lenticulas com características mais intrabioclásticas (de

granulometria mais grosseira) com lenticulas mais oolíticas e menos intrabioclásticas. A base desta lâmina apresenta mais evidências de fracturação.

**2-Litofácies** (seg. Azerêdo, 1993,1998): 1.

**3-EFOC identificáveis:** frequência moderada/frequente de EFOC, em que os principais identificados foram: porostromata, foraminíferos, equinodermes, bivalves, corais e gastrópodes.

**4-Presença de óxidos de ferro:** esparsa.

**5-Fases de cimentação:** C1 – cimento micrítico, C2 – cimento em ponte, C2 – cimento laminar, C3 – cimento em mosaico irregular de aspecto algo granular de cristais turvos, C4 – cimento drúsico (de cristais de aspecto mais limpo), C5 – cimento dolomítico, C6-microsparite.

**6-Ambientes diagenéticos identificáveis:** ambiente marinho freático, ambiente marinho pouco profundo, ambiente marinho e ambiente de soterramento (devido a fracturação e aos contactos existentes entre as partículas).

**7-Processos diagenéticos identificáveis:** cimentação, dissolução, compactação, dolomitização e desdolomitização.

**8-Tipo de porosidade** (Choquette & Pray, 1970):

**8.1-Tempo de formação da porosidade:** eodiagénes e mesodiagénes.

**8.2-Primária:**  $\pm 16-19\%$ , principalmente do tipo BP.

**8.3-Secundária:**  $\pm 5-7\%$ .

**8.3.2 - Estimativa da porosidade absoluta não colmatada:**  $\pm 3\%$ , do tipo mcBC e alguma associada a MO(parcial).

**8.3.3- Estimativa da porosidade residual:** a totalidade da porosidade não colmatada.

**8.3.4- Estimativa da porosidade efectiva:** não identificada.

**9-Classificação qualitativa da porosidade** (Ahr, 2008): pobre.

**10-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água:** 2.60%.

**11-Classificação da porosidade** (Lucia, 1983):

**11.1-Interpartícula (P):**  $\pm 1\%$ , da classe 3 e 2.

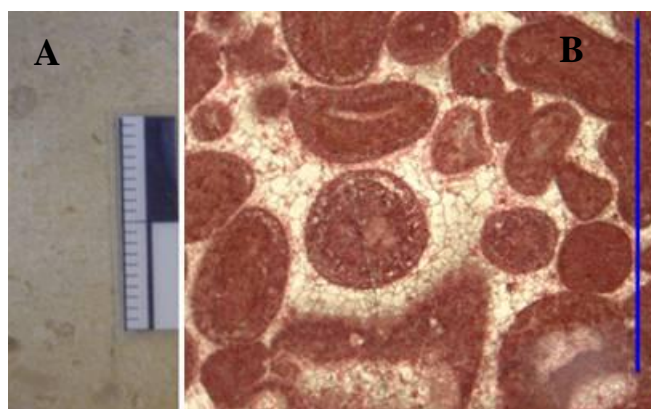
**11.2-Vuggy (V):**  $\pm 1-2\%$ .

**11.2.1- V (5):**  $\pm 1-2\%$ .

**11.2.2-V (T):** não identificada.

**11.3-Largura máxima dos cristais:**  $\pm 0,25\text{mm}$ .

**11.4-Aspecto dos cristais:** essencialmente parcialmente limpos.



**Figura 5.46.** Expressão macromorfológica, micromorfológica e cronológica da evolução diagenética da amostra S-14-24. **5.46.A.** – fotografia macromorfológica tirada sobre uma secção em corte, húmida, sem polimento; **5.46.B.** – fractura e diferenças no aspecto turvo dos cristais. A escala em B equivale a 1mm.



**12-**Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel & Mann, 1993): trata-se de híbrido, que tem influências tanto de cimentação/dissolução com geração de porosidade moldada parcial, como de destruição do fabric primário, com posterior geração de porosidade intercrystalina.

**13-**Classificação do tipo de gênese da porosidade (Ahr, 2008): híbrido 1.

**14-**Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes, 2007): nula.

**15-**Interpretação da evolução diagenética da rocha:

1º: precipitação do cimento micrítico e cimento laminar, seguida ocorrência de dissolução, que vai gerar porosidade secundária intrapartícula.

2º: ocorrência de cimentação da rocha por um mosaico irregular de aspecto algo granular de cristais turvos, seguido da precipitação de um mosaico drúsico, ocorrendo assim, a colmatção da porosidade anteriormente gerada.

3º: ocorrência de compactação (gênese da smsFR, e de um estilólito irregular de baixa continuidade lateral, mas com película de óxidos associada) e dolomitização (C5).

3º: desdolomitização e ocorrência de precipitação de microsparite (C6).

**16-**Tipo de reservatório:

Segundo Ahr (2008): diagenético

Segundo Flügel (2004): parcialmente dolomítico /fracturado.

## 5.16. CORTIÇAL

### 5.16.1. AMOSTRA COR-D

#### 5.16.1.1. Descrição macroscala/mesoscala

Cor da amostra seca: creme rosado, com presença frequente de estilólitos múltiplos com picos evidentes e com material ferruginoso associado.

Cor da amostra húmida: rosa claro.

Corresponde a um calcário dolomítico muito resistente.

Fragmentos de bio-elementos identificáveis: não identificáveis.

Aspectos diagenéticos observados: fracturas do tipo FV (preenchidas), zonais pontuais recristalizadas, microveios de calcite e estilólitos múltiplos. Verifica-se também a presença de microporosidade devida principalmente a dissolução dos bioclastos e de pequenas fracturas.

**Processos diagenéticos observados:** dolomitização, compactação, cimentação, recristalização e dissolução.

#### 5.16.1.2. Descrição petrográfica

**1-**Composição e textura (Folk, 1959,1962; Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971 e James, 1974; Wright, 1992 e Friedman, 1965): micrite, mudstone que sofre dolomitização selectiva parcial.

Observações complementares: presença de fracturação intensa e figuras geopéticas. (**Fig.5.47.C.**), laivos ferruginosos e micro-estilólitos isolados (**Fig.5.47.B.**) e múltiplos.

**2-**Litofácies (seg. Azerêdo, 1993,1998): 6.

**3-**EFOC identificáveis: presença pontual EFOC, com de fragmentos de foraminíferos e raros gastrópodes.



**4**-Presença de óxidos de ferro: moderada, normalmente associada fracturas existentes e aos micro-estilólitos.

**5**-Fases de cimentação: C1 – cimento micrítico, C2 – cimento parcialmente granular, C4 – cimento drúsico (principalmente no interior dos VUGS), C5 – cimento em paliçada, C6 cimento sintáxico, C7 – cimento microsparítico.

**6**-Ambientes diagenéticos identificáveis: ambiente marinho pouco profundo e ambiente de soterramento profundo.

**7**-Processos diagenéticos identificáveis: compactação, neomorfismo, dissolução, dolomitização, desdolomitização.

**8**-Tipo de porosidade (Choquette & Pray, 1970):

**8.1**-Tempo de formação: eodiagénesse, mesodiagénesse e telodiagénesse.

**8.2**-Primária:3-5%, principalmente do tipo FE, do tipo LF-A (principalmente na base).

**8.3**-Secundária: 12%, principalmente do tipo sms e lmsVUGS, sms (mais abundantes) e lmsFR, nas zonas de confluência das várias gerações de fracturas gera-se normalmente porosidade secundária de tamanho lms (normalmente colmatada).

**8.3.1**-Estimativa da porosidade absoluta não colmatada: fraca a nula, ou seja <1%, em que a porosidade existente é essencialmente do tipo smsBC.

Verifica-se também a presença de alguma porosidade associada a ocorrência de dissolução tardia associada às fracturas, que pode gerar porosidade pontualmente localizada ( $\pm 3\%$ ). Das 3 lâminas observadas só na lâmina corada se registou a existência de uma fractura não colmatada, fractura essa, que apresenta uma grande variação em termos de continuidade, rugosidade e largura ao longo do seu desenvolvimento.

**8.3.2**-Estimativa da porosidade residual: <1%, somente nas zonas associadas a fractura podem existir porosidade localizada na ordem dos 2-3%.

**8.3.3**-Estimativa da porosidade efectiva: a globalidade da porosidade associada a fractura dissolvida.

**9**-Classificação qualitativa da porosidade (Ahr, 2008): pobre

**10**-Valor medido da porosidade pelo ensaio da saturação em água: 1,28%.

**11**-Classificação da porosidade segundo Lucia , 1983):

**11.1**-Interpartícula (P): praticamente nula, existindo apenas uma baixa percentagem de poros BC de classe 3.

**11.2**-Vuggy (V): nula.

**11.2.1**- V (5): nula.

**11.2.2**-V (T): 2-3% localizada, associada a dissolução tardia da fractura identificada.

**11.3**-Largura máxima dos cristais de dolomite: 0,75mm.

**11.4**-Aspecto dos cristais de dolomite: turvo.

**12**-Classificação ternária da porosidade (Kopaska-Merkel e Mann, 1993): no sentido da destruição do fabric primário, com posterior geração pontual de porosidade intercrystalina.

**13**-Classificação do tipo de génese da porosidade (Ahr, 2008): híbrido 2.

**14**- Classificação qualitativa preliminar da permeabilidade (Gomes, 2007): baixa.

**15**-Interpretação da evolução diagenética da rocha:

1º:formação das intercalações fenestradas na base da amostra e formação das figuras geopéticas. Pontualmente algumas destas figuras geopéticas apresentam evidências de figuras de colapso “ micro-clastos micríticos”, com posterior precipitação de sparite a colmatar o espaço existente (**Fig.5.47.C.**).

2º: ocorrência de compactação, que provoca a ocorrência de 2 gerações de fracturas (smsFR, sub-perpendiculares) que cortam toda a lâmina, acompanhada pela injeção de fluidos dolomitizantes, que provocam a ocorrência de dissolução e posterior cimentação por (gerando-se os vários tipos de VUGS e porosidade MO rara), precipitação de um mosaico irregular de cristais dolomíticos e de óxidos de ferro nas paredes dos poros anteriormente gerados (ocorrendo assim, a colmatação da porosidade existente).

3º: ocorrência de compactação que leva a geração de fracturas (lmsFR, sub-horizontais), normalmente colmatadas por cristais de dolomite em paliçada ligeiramente mais grosseiros.

4º: formação das superfícies micro-estilólíticas isoladas, discordantes com a estratificação e com película argilo-ferruginosa.

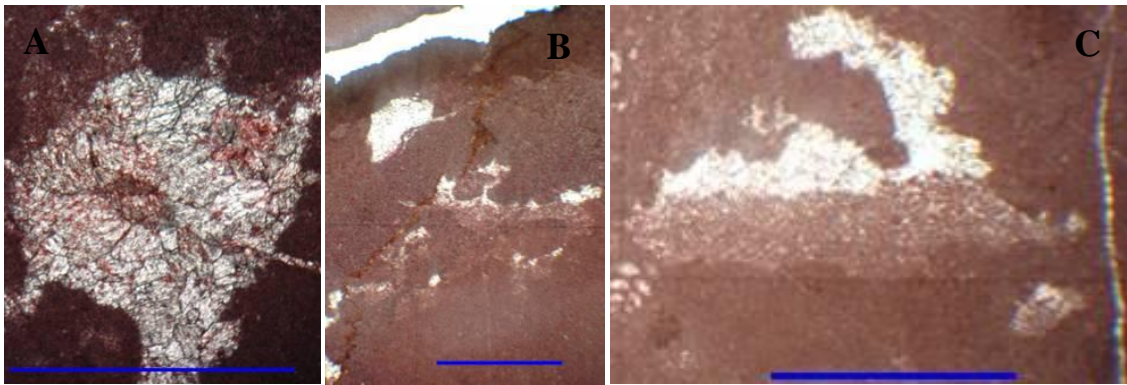
5º: ocorrência de desdolomitização (**Fig.5.47.A.**) que leva a posterior precipitação de microsparite (C7) e de óxidos de ferro.

6º: ocorrência de dissolução de uma fractura que gera a maioria da porosidade e permeabilidade existente.

#### 16- Tipo de reservatório:

Segundo Ahr (2008): diagenético/fracturado.

Segundo Flügel (2004): fracturado.



**Figura 5.47.** Expressão micromorfológica em nicóis paralelos (foto B e C) e em nicóis cruzados (foto A) da amostra Cor-d (correspondente a lâmina corada). **5.47.A.** – desdolomitização dos cristais de dolomite; **5.47.B.** - estilólito de baixa amplitude e com presença de uma fina película de material argilo-ferruginoso; **5.47.C.** - figura geopética. As escalas apresentadas nas figuras correspondem a 1mm.

**Tabela 5.1. Resultados obtidos pela aplicação das diferentes classificações.**

Amostras	Litofácies (Azerêdo (1993,1998))	Classificação qualitativa da porosidade Ahr (2008)	Classificações da gênese da porosidade		Classificação da permeabilidade Gomes (2007)	Tipo de reservatório	
			Kopaska- Merkel e Mann(1993)	Ahr (2008)		Ahr (2008)	Flügel (2004)
AS-0	11	Pobre	Sentido C	2	Baixa	Diagenético*	Dolomítico*
AS-1	11	Pobre	Sentido C	2	Baixa	Diagenético	Dolomítico *
AS-2	9	Pobre	Sentido C	2	Nula	Diagenético	Dolomítico*
AS-3	11	Pobre	Sentido A	1	Baixa	Diagenético	Dolomítico
AS-3A	11	Pobre	Híbrido A/C	2	Nula	Diagenético	Dolomítico
AS-4	1	Pobre	Sentido C	2	Nula	Diagenético	Dolomítico*

AS-4A	1	Pobre	Sentido c	2	Baixa	Diagenético*	Dolomítico a fracturado
Conde-3	1/2	Razoável	Híbrido A/C	2	Baixa	Diagenético	Parcialmente dolomítico
Conde-5	11	Boa	Híbrido A/C	1	Baixa	Diagenético	Dolomítico
cd-B	11	Razoável	Sentido C	1	Baixa	Diagenético	Dolomítico
Ch-extra	11	Razoável	Sentido C	1	Baixa	Diagenético	Dolomítico
Ch-0	2	Pobre	Sentido C	1	Nula	Diagenético	Dolomítico
Ch-1	11	Razoável	Sentido C	1	Baixa	Diagenético	Dolomítico
Ch-2	11	Pobre	Sentido C	2	Baixa	Diagenético	Dolomítico
Cab.G.B.	11	Razoável	Sentido C	1	Baixa	Diagenético	Dolomítico
Cab.G.5.	6	Pobre	Sentido C	1	Baixa	Híbrido	Fracturado (?)
Cand-2	7	Pobre	Sentido C	1	Nula	Diagenético	Dolomítico
Sal-1	2	Pobre	Sentido C	1	Nula	Diagenético	Dolomítico
Sal-5	7	Pobre	Sentido C	1	Nula	Diagenético	Dolomítico
Sal-6	7	Pobre	Sentido C	1	Nula	Diagenético	Dolomítico parcial
Vale Ventos-0	7	Pobre	Sentido C	1	Nula	Diagenético	Dolomítico
ME-50	6	Pobre	Híbrido A/C	2	Baixa	Diagenético	Híbrido entre: parcialmente dolomítico/ fracturado
M-48	2	Pobre	Sentido C	2	Nula	Diagenético	Parcialmente dolomítico
MA	6	Pobre	Sentido C	1	Nula	Diagenético	Parcialmente dolomítico
MA-17	5	Pobre	Sentido C	1	Nula	Diagenético	Parcialmente dolomítico
<u>S36-20</u>	11	Boa/excelente	Híbrido A/C	1	Moderada/elevada	Diagenético	Dolomítico
<u>S36-23</u>	2	Excelente	Híbrido A/C	1	Moderada /baixa	Diagenético	Dolomítico
S36-26	2	Pobre	Sentido C	1	Nula	Diagenético	Parcialmente dolomítico
S87-4	1	Pobre	Sentido C	1	Baixa	Diagenético	Dolomítico
S87-13	1	Pobre	Sentido C	1	Nula	Diagenético	Dolomítico
V.F.1.	1	Pobre	Híbrido A/C	1	Nula	Diagenético	Parcialmente dolomítico
S13-4	1	Pobre	Híbrido A/C	1	Baixa / nula	Diagenético	Dolomítico
S13-6	7	Razoável	Híbrido A/C	1	Baixa	Diagenético	Parcialmente dolomítico
S13-19	1	Razoável	Híbrido A/C	1	Nula	Diagenético	Híbrido entre: Parcialmente dolomítico/ fracturado
S14-19	1	Pobre	Sentido C	1	Nula	Diagenético	Híbrido entre: Parcialmente dolomítico/ fracturado
S14-24	1	Pobre	Híbrido A/C	1	Nula	Diagenético	Híbrido entre: Parcialmente dolomítico/ fracturado
Cord-d	6	Pobre	Sentido C	2	Baixa	Diagenético/fracturado	Fracturado

**Legenda da tabela:**

**Sentido A** – ocorrência de cimentação e dissolução, que leva a geração de porosidade moldada.

**Sentido B** – destruição do fabric primário (em que, existe principalmente porosidade moldada) que leva a geração de porosidade intercrystalina.

**Sentido C** – destruição do fabric primário (em que, principalmente porosidade do tipo interpartícula)

**Diagenético \*** – com influências de fracturação.

**Dolomítico \*** – parcialmente fracturado.

## **CAPÍTULO 6: DISCUSSÃO E CONCLUSÕES**



Neste capítulo final, faz-se uma apreciação dos resultados e da adequação da metodologia de estudo aos objectivos do trabalho, considerando as diversas técnicas utilizadas. De seguida, discutem-se os dados obtidos e apresentam-se as principais conclusões (consultar **tabela 5.1**).

## 6.1. DISCUSSÃO

A realização do estudo a macroscale/mesoscale dos diferentes litótipos seleccionados revelou-se de extrema importância, devido ao facto de uma boa análise realizada a esta escala permitir desde logo salientar as principais características diagenéticas de cada litótipo e identificar e seleccionar as amostras com maior significado para a problemática em estudo, direccionando o estudo a realizar a microscale e conseguindo-se, assim, uma maior focalização em termos de análise da problemática e uma maior optimização em termos de tempo, trabalho e custo económico do mesmo. O estudo macroscópico permite ainda, por vezes, uma primeira abordagem sobre a importância de cada uma das características identificadas em termos de paleoporosidade e paleopermeabilidade.

A aplicação das escalas de “cores” demonstrou-se bastante útil, uma vez que permitiu definir os padrões de “cores” utilizadas e uniformizar descrições. A aplicação destas escalas tem a grande vantagem de nos poder/dar uma primeira indicação sobre os processos diagenéticos actuantes em cada rocha ao longo da sua evolução, e ainda de nos despertar para a análise de determinadas características e aspectos à escala microscópica.

Quanto aos litótipos correspondentes aos dolomitos e calcários dolomitizados, a aplicação da respectiva escala de cores, tem a vantagem de nos dar uma primeira ideia da sequência dos processos diagenéticos actuantes, e da dimensão e orientação dos corredores dolomitizantes. Estas cores são também indicadoras da possível localização das amostras no contexto do corredor dolomitizante, uma vez que se conhece o contexto de campo.

A aplicação de todas as técnicas e métodos usados ao longo deste trabalho levou à realização de protocolos que, futuramente, permitirão a aplicação de cada uma das técnicas e métodos de forma uniformizada, facilitando assim a realização dos mesmos.

A impregnação das taliscas com “Azul Ceres” e posterior realização das lâminas correspondentes facilitou a visualização, identificação, classificação dos tipos de porosidade segundo as classificações de Choquette & Pray (1970) e de Lucia (1983), e a estimativa visual à microscale das porosidades absoluta e efectiva.

A execução das lâminas coradas pelo método da coloração selectiva permitiu uma diferenciação mineralógica expedita entre os cristais de natureza calcítica e os de natureza dolomítica, e a identificação de forma mais clara de contactos entre zonas com dolomitização pervasiva e/ou de níveis/zonas mais ou menos dolomitizadas existentes num determinado litótipo.

A partir da análise comparativa dos resultados obtidos através do estudo petrográfico dos três tipos de lâminas, por um lado e dos resultados obtidos pelo método

da porosidade relativa estimada por saturação em água, por outro lado, constatou-se que:

- a diferença obtida entre a porosidade visual estimada por análise petrográfica das lâminas delgadas (em especial, da lâmina impregnada por “Azul Ceres”, que serve de complemento à lâmina normal) é cerca de 1-2% superior à obtida pelo método da determinação da porosidade relativa das rochas por saturação em água (na maioria dos casos). Todavia, verifica-se que existem casos para os quais o valor estimado pela observação das lâminas ao microscópio é inferior ao obtido pelo método da saturação em água. Estas situações de excepção, estão em geral associadas a mudstones e a wackestones que sofreram dolomitização selectiva, apresentando actualmente um fabric inequigranular porfirotopico do tipo floating-rhomb. Outra das excepções está relacionada com a dolomitização selectiva de grainstones que, após terem sofrido essa dolomitização, passam também a apresentar um fabric inequigranular floating-rhomb, levando a que os valores de porosidade estimados pela observação microscópica sejam, normalmente, inferiores cerca 1-2% relativamente aos obtidos pelo método da saturação água. Esta diferença é devida à existência de percentagens superiores de porosidade do tipo Vuggy (V), que nestes litótipos é praticamente igual e/ ou ligeiramente superior à porosidade interpartícula (P), segundo a aplicação da classificação de Lucia.

- na globalidade das amostras estudadas verificou-se que a porosidade primária encontra-se, normalmente, colmatada pelas diversas fases de cimentação. Os tipos de porosidade primária mais comuns, correspondem a porosidade do tipo BP e FE segundo a classificação de Choquette & Pray. Pontualmente, há associado sedimento interno com disposição geopética.

- a maioria da porosidade não colmatada existente nas amostras em corresponde a porosidade secundária, sendo os tipos predominantes os seguintes: BC, MO, FR, WC e VUG e alguma WPs, segundo a classificação de Choquette & Pray.

- os processos diagenéticos que mais contribuem para a génese de porosidade secundária não colmatada são: dolomitização, dissolução, desdolomitização e compactação.

- a dolomitização na área de estudo ocorre, principalmente, de forma selectiva na zona central e NE, e de forma mais pervasiva na zona SW.

- a porosidade dos dolomitos e dos calcários dolomíticos correspondentes à parte SW da área de estudo é, principalmente, do tipo interpartícula (P) segundo a classificação de Lucia, enquanto que os correspondentes à parte NE apresentam uma percentagem superior da porosidade do tipo Vuggy(V), podendo, por vezes, este tipo de porosidade igualar e/ou até superar a porosidade do tipo interpartícula (P).

- na parte SW da área em estudo, os romboedros de dolomite apresentam dimensões superiores. Verifica-se também que é nesta zona que se concentra a maioria das amostras que ostentam um fabric inequigranular porfirotopico do tipo contact-rhomb.

- os cristais romboédricos de dolomite presentes nas amostras correspondentes à parte NE da área em estudo, além de apresentarem uma dimensão menor também apresentam um aspecto mais turvo e leves tons esverdeados, provavelmente devidos a inclusões de micrite, já que estão, normalmente, associados a amostras de litótipos de natureza mais micrítica.



- a dolomitização selectiva de grainstones associada à ocorrência posterior de dissolução leva, em geral, à ocorrência de uma maior percentagem de porosidade do tipo Vuggy(V), segundo a classificação de Lucia.

- a desdolomitização é, em geral, evidenciada pela presença de romboedros de dolomite desdolomitizados que, por vezes, apresentam cristais de microsparite no seu interior e pela presença de romboedros de dolomite com contornos fracturados e raras áreas moldadas (correspondentes a antigos romboedros de dolomite).

- existe uma certa contemporaneidade em ambientes de soterramento profundo entre a ocorrência de compactação, dissolução sob pressão e a ocorrência de dolomitização tardia. Esta contemporaneidade de uma maneira geral leva à génese de várias gerações de fracturas (em que, essencialmente, as últimas a serem geradas apresentam uma forma irregular e baixa continuidade) e de estilólitos simples e múltiplos com elevada percentagem de óxidos de ferro e material argiloso associado, e ainda à ocorrência pontual de fracturação intracristalina. Regista-se também o facto de as fracturas aproveitarem, normalmente, a existência de porosidade primária do tipo FR e os bordos dos bioclastos recristalizados para o seu desenvolvimento.

- observa-se uma variação do empacotamento acima e abaixo das superfícies correspondentes a hardgrounds, em que de uma maneira geral, o empacotamento diminui a medida que nós afastamos dessas superfícies.

- a globalidade das amostras em estudo apresenta duas gerações principais de precipitação de cimentos. À primeira geração correspondem os cimentos sin-sedimentares, precipitados, geralmente, em ambiente marinho pouco profundo, de natureza micrítica (C1, que formam envelopes em torno das partículas, filamentos micríticos em ponte entre partículas e finas capas associadas às superfícies dos hardgrounds). À segunda geração correspondem os cimentos de sin- e pós-soterramento, que estão subdivididos em quatro fases.

A primeira fase corresponde a uma fase mais precoce de pré-compactação, em que temos principalmente a geração de cimento laminar (C3) e de cimento em mosaico irregular granular/drúsico, enquanto que a segunda fase exhibe essencialmente cimentos xenotópicos/hipidiotópicos de dolomite, em geral, de aspecto turvo e cimentos em mosaico irregular, sendo esta uma fase típica de soterramento. À terceira fase correspondem cimentos dolomíticos hipidiotópicos/ aspecto granular/drúsico (de aspecto mais limpo), cimentos em paliçada e cimentos em mosaico poiquilotópico, sendo esta uma fase típica de soterramento profundo. A quarta fase está associada ao reerguimento da rocha por telodiagénesse, em que uma das principais evidências é a presença abundante de microsparite, associada à ocorrência de dissolução tardia de partículas e dos cristais constituintes das rochas, com geração posterior de porosidade secundária não colmatada.

- ocorre variação de resistência das amostras consoante a sequência dos processos diagenéticos actuantes ao longo da sua evolução diagenética ao longo das três fases diagenéticas.

- a existência de porosidade efectiva e de baixa/moderada permeabilidade nestas amostras está, em geral, relacionada com: a conectividade estabelecida entre poros do tipo sms/BC, smsVUGS e smsFR e, pontualmente, do tipo WC, segundo a classificação de Choquette & Pray, ou a ocorrência de dissolução tardia das mc/smsFR e das superfícies correspondentes a estilólitos simples e múltiplos. Outra causa para a

geração de porosidade secundária e de permeabilidade tardia é a ocorrência de telodiagéneses que, de uma maneira geral leva ao incremento da dissolução e da fracturação (por descompressão, fracturas essas que em geral não se apresentam colmatadas).

- a ocorrência de desdolomitização tardia leva, em geral, à precipitação de óxidos que, pontualmente, podem formar manchas e/ou até mesmo autênticas barreiras de óxidos de ferro, que diminuem a porosidade efectiva da rocha e, por conseguinte, diminuem a permeabilidade da rocha. Estes óxidos devem-se ao facto de o ferro existente na dolomite precursora (o mineral dolomite pode conter ferro a substituir magnésio na sua malha cristalina), em vez de ser incorporado na sparite e/ou microsparite de substituição, ser oxidado e, por conseguinte, produzir óxidos de ferro. Outros factores que podem afectar a permeabilidade da rocha são: a existência de porosidade primária do tipo SH (de Choquette & Pray) e o crescimento tardio de grandes romboedros dolomíticos na porosidade do tipo VUG.

- as amostras do sector nordeste da área (**Fig. 2.13.B.**) com maior potencial em termos de porosidade qualitativa, segundo Ahr (2008) são: as amostras S36-20 e S36-23, relativas à sondagem de Codaçal, que apresentam um potencial excelente/ bom e as amostras S13-6 e S13-19 relativas à sondagem S13 e correspondentes à litofácies 1 de Azerêdo (1993, 1998) e que apresentam um potencial razoável. Ambas os casos correspondem a híbridos 1, reservatórios diagenéticos segundo Ahr (2008), reservatórios dolomíticos segundo Flügel (2004) e armadilhas estratigráficas.

- as amostras do sector sul da área (**Fig. 2.13.A.**), com maior potencial em termos de porosidade qualitativa segundo Ahr (2008) são: a amostra de Cabeça Gorda-B com potencial razoável/bom e as amostras Ch-1, Ch-extra, Cd-b e Conde-5 que apresentam um potencial razoável/pobre. Todas estas amostras correspondem à litofácies 11, a híbridos 1 e a reservatórios diagenéticos segundo Ahr (2008) e reservatórios dolomíticos segundo Flügel (2004), à excepção da amostra Ch-2, que é um híbrido 2.

- as amostras Cand-2, Sal-5, MA-17 e M-48 por apresentarem baixa porosidade (porosidade <1%) correspondem a selos de boa qualidade, enquanto que as amostras AS-4, AS-4A, Ch-0, Cabeça Gorda-5, S14-19, ME-50, V.F.1 e Cor-d correspondem a selos de qualidade moderada (porosidade entre 1-2%).

## 6.2. CONCLUSÕES

A elaboração e adaptação progressiva dos protocolos laboratoriais revelou-se de importância vital para a realização das várias técnicas e métodos aplicados, uma vez que permitiu uniformizar e melhorar a sua aplicação a casos concretos.

Da análise multiescala concluiu-se que os litótipos com maior potencial em termos de porosidade e de permeabilidade são os dolomitos e calcários dolomíticos correspondentes à litofácies 11 segundo Azerêdo (1993, 1998). As amostras representativas destes litótipos com potencial mais elevado correspondem à sondagem de Codaçal (S36-20 e S36-23), que são híbridos 1, reservatórios diagenéticos segundo Ahr (2008) e reservatórios dolomíticos segundo Flügel (2004); têm características de armadilhas estratigráficas.

As amostras Cand-2, Sal-5 correspondentes à litofácies 7, segundo Azerêdo (1993, 1998), em termos de porosidade correspondem a selos de boa qualidade

(porosidade <1%). As amostras MA-17 e M-48 correlativas, respectivamente, às litofácies 5 e 2, segundo Azerêdo (1993, 1998), correspondem também a selos de boa qualidade.

Constatou-se que a diferença entre a porosidade estimada visualmente na análise petrográfica das lâminas delgadas é cerca de 1-2% superior à obtida pelo método da determinação da porosidade relativa das rochas por saturação em água. Todavia, verifica-se que existem casos para os quais o valor estimado pela observação das lâminas é inferior ao obtido pelo método da saturação em água. Estas situações de exceção estão associadas a mudstones, wackestones e/ou grainstones que sofreram dolomitização selectiva, levando a que os valores de porosidade estimados pela observação microscópica sejam, normalmente, inferiores cerca 1-2% aos obtidos pelo método da saturação em água.

Em suma, verificou-se que: a definição dos reservatórios presentes na área do estudo é essencialmente controlada por diagénese, correspondendo normalmente a reservatórios diagenéticos segundo Ahr (2008) e a reservatórios dolomíticos segundo Flügel (2004), e a armadilhas estratigráficas; a génese de porosidade é em geral do tipo híbridos 1; a porosidade primária encontra-se colmatada por duas fases de cimentação; ocorrem duas gerações principais de precipitação de cimentos - à primeira geração correspondem os cimentos sin-sedimentares e à segunda geração os cimentos de sin- e pós-soterramento; a porosidade não colmatada corresponde a porosidade secundária, predominantemente BC, MO, FR, WC e VUG, sendo em geral pobre/razoável, com exceção dos casos das amostras Conde-5 (razoável/boa), S36-20 (boa/excelente) e S36-23 (excelente); os processos diagenéticos mais importantes para a geração dessa porosidade e de permeabilidade baixa/moderada são compactação, dolomitização, dissolução e desdolomitização; a permeabilidade estimável (em primeira aproximação) na globalidade das amostras analisadas será baixa a nula, à exceção das amostras S36-20 e S36-23, em que será moderada/elevada.

A existência de porosidade efectiva e de permeabilidade (baixa/moderada) nestas amostras está, em geral, relacionada com: a conectividade estabelecida entre poros do tipo sms/BC, smsVUGS e smsFR e, pontualmente, do tipo WC; a ocorrência de dissolução tardia das mc/smsFR e das superfícies correspondentes a estilólitos simples ou múltiplos e/ou devida à ocorrência de telodiagénese.

Do ponto de vista da evolução do conhecimento científico, didáctico e do interesse económico, a realização futura da correlação destes resultados com dados obtidos, por exemplo, pelo método de ferrofluido e petrofísica, permitirá obter uma assinatura mais completa de cada litótipo, em termos das suas características como reservatório, com interesse para a exploração de hidrocarbonetos.



### 6.3. BIBLIOGRAFIA

- Adams, A.E., Mackenzie, W. S. & Guilford, C. (1984) – Atlas of sedimentary rocks under the microscope. Prentice Hall, pp. 33-75.
- Ahr, W.M. (2008) – Geology of Carbonate Reservoirs - The Identification , Description , and Characterization of Hydrocarbon Reservoirs in Carbonate Rocks. A John Wiley & Sons, inc., Publication, USA, 269 p.
- Apontamentos da Cadeira de Sedimentologia (2003/2004) do Curso de Geologia do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências de Lisboa.
- Azerêdo, A.C. (1993) – Jurássico Médio do Maciço Calcário Estremenho (Bacia Lusitânica): análise de fácies, micropaleontologia, paleogeografia. Tese de Doutoramento (não publ), Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal, 366 p.
- Azerêdo, A.C. (1998) – Geometry and facies dynamics of Middle Jurassic carbonate ramp sandbodies, West-Central Portugal. *In*: V.P. Wright & T. Burchette (eds), Carbonate Ramps. *Geol. Soc., London, Spec.Publ.*,149, pp. 281-314.
- Azerêdo, A.C. (2005). Jurássico Médio da Bacia Lusitânica: Dinâmica do Sistema de Rampa Carbonatada e do seu Registo Estratigráfico. *In* workshop da Bacia Lusitânica do Núcleo de Estudantes de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, pp. 13-14.
- Azerêdo, A.C. (2007). Formalização da litostratigrafia do Jurássico Inferior e Médio do Maciço Calcário Estremenho (Bacia Lusitânica). *Comunicações Geológicas (INETI)*, pp. 29-51.
- Azerêdo, A. C., Duarte, L.V., Henriques, M.H & Manuppela, G. (2003) – Da dinâmica Continental no Triásico aos Mares do Jurássico Inferior e Médio. *Cadernos de Geologia de Portugal*, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, pp. 43.
- Biddle, K.T. & Wielchowsky, C.C. (1994) – Hydrocarbon traps. *In* Magoon, L.B. & Dow, W.G. (eds.): The petroleum system – from source to trap, *AAPG Memoir*, 60, pp. 219-235.
- Cabral, J (2004) – Elementos de Geomorfologia. Edição da Associação de Estudantes da Faculdade de Ciências de Lisboa, 206 p.
- Corrêa, O. L.S. (2003) – Petróleo - Noções sobre Exploração, Perfuração, Produção e Microbiologia. Editora Interciência, Rio de Janeiro, pp. 87.
- Duarte, L. V. (1997) – Facies analysis and sequential evolution of the Toarcian-Lower Aalenian series in the Lusitanian Basin (Portugal). *Comum.Inst.Geol.Mineiro*, Lisboa, 83,pp. 65-94.
- Duarte, L. V. (2005) – O Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica. Singularidades sedimentares e eventos à escala global. *In* workshop da Bacia Lusitânica do Núcleo de Estudantes de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, pp. 11-12.
- Duarte, L.V., Krautter & Soares, A. F. (2001) – Bioconstructions à spongiaires siliceux dans le Lias terminal du Bassin lusitanien (Portugal): stratigraphie, sédimentologie et signification paléogéographique. *Bull.Soc.Géol.France*, Paris, 172 (5), pp. 637-646.
- Duarte, L.V. & Soares, A. F. (2002) – Litostratigrafia das séries margo-calcárias do Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica (Portugal). *Comum.Inst.Geol.Mineiro*, Lisboa, 89, pp. 135-154.
- Flügel, E. (1982) – Microfacies Analysis of limestones. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 633 p.
- Flügel, E. (2004) – Microfacies of Carbonate Rocks - Analysis, Interpretation and Application. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 921 p.
- Galopim de Carvalho, A. M.(2003) – Geologia Sedimentar (Volume I – Sedimentologia). Âncora editora, pp. 327-349.
- GoogleEarth (2010) Google – Europa Technologies, US Dept of State Geographer. Acedido a 10 de Junho de 2010. Disponível em <[www.GoogleEarth.com](http://www.GoogleEarth.com)>.
- Gomes, J.S. & Alves, F. B.(2007) – O Universo da Indústria Petrolífera - Da Pesquisa à Refinação. Fundação Calouste Gulbenkian, 627p.
- González de Vallejo, L.I., Ferrer,M., Ortño, L. & Oteo, C.(2002) – Ingeniería Geológica. Pearson Educación, Madrid, pp. 2-372.
- Jordan, C.F.,Jr. & Wilson, J.L (1994) – Carbonate Reservoir Rocks. *In* Magoon, L.B. & Dow, W.G. (eds.): The petroleum system – from source to trap, *AAPG Memoir*, 60, pp. 141-157.
- Kullberg, J. C (2005) – Evolução Tectónica da Bacia Lusitânica. *In* workshop da Bacia Lusitânica do Núcleo de Estudantes de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, pp.25-26.

- Kullberg, J. C., Terrinha, P., Pais, J., Reis, R. P. & Legoinha, P.(2006) – Arrábida e Sintra: Dois Exemplos de Tectónica Pós-Rifting da Bacia Lusitaniana. *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*. Univ. Évora, 418 p.
- Leinfelder, R.R. (1993) – A sequence stratigraphic approach to the Upper Jurassic mixed carbonate-siliciclastic succession of the central Lusitanian Basin, Portugal. *Profil, Stuttgart*, 5, pp.119-140.
- Lencastre, A. (1996). *Hidráulica Geral*. Gráfica de Coimbra, pp. 255-300.
- Munsell Soil Color Charts (1975) – Macbeth a division of Kollmorgen Corporation, Maryland.
- Mackenzie, W.S. & Adams, A.E.(1994) – *A Colour Atlas of Rocks and Minerals in Thin Section*. Manson Publishing, England, pp. 126-139.
- Pereira, R. N. S. L. (2002) – Carófitas do Jurássico Superior (Oxfordiano) e Cretácico Inferior (“Purbequiano”) da Bacia Lusitânica. Tese de Mestrado (não publ), Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal, 120 p.
- Pimentel, P. V (2005) – Paleodescontinuidades e assinaturas diagénicas: caracterização e utilidade como marcadores do Jurássico Médio do Maciço Calcário Estremenho. Tese de Mestrado (não publ), Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal, 155 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*. Serv. Geol. Portugal, Lisboa, 114 p.
- Suguio, K.(2003) – *Geologia Sedimentar*. Editora Edgard Blucher LTDA, 400 p.
- Terrinha, P., Cabral, J. & Matias, L. (2005) – A tectónica recente e a fonte do grande sismo de Lisboa de 1 de Novembro de 1755 in Costa,P.T, *TERRAMOTOS E TSUNAMIS*. Livro Aberto,112 p.
- Tucker, M. (1988) – *Techniques in Sedimentology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 394 p.
- Thomas, J. E. (2001) – *Fundamentos de engenharia do petróleo*. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 269 p.
- 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.R. (eds.): *Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic margins*, *AAPG Memoir*, 46, pp. 341-361.
- Wright, V.P. (1992) – A revised classification of limestones. *Sedimentary Geology*, 76, pp. 177-185.
- Wright, V.P. (2002) – *Applied Carbonate Geology: Carbonate Facies and Reservoirs*. Nautilus, Ltd. and Geoscience Training Alliance.