



**Cristina Isabel Paulo de Carvalho**

Mestre em Minerais e Rochas Industriais  
(Universidade de Aveiro)

## **Estudo da influência do nevoeiro salino nas propriedades de calcários portugueses**

Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em  
Geologia

Orientadora: Zenaide Carvalho Gonçalves da Silva,  
Professora Associada com Agregação Jubilada,  
Universidade Nova de Lisboa

Coorientador: Joaquim António dos Reis Silva Simão,  
Professor Auxiliar, Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Maria Rosa Santos de Paiva

Arguentes: Prof. Doutora Maria Amélia Alves Rangel  
Dionísio  
Prof. Doutor Joaquim Luís Galego Lopes

Vogais: Prof. Doutora Zenaide Carvalho Gonçalves  
da Silva  
Prof. Doutora Maria Teresa Varanda Cidade  
Prof. Doutora Ana Paula Fernandes da Silva



**FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

**Setembro, 2015**



## **Estudo da influência do nevoeiro salino nas propriedades de calcários portugueses**

Copyright © Cristina Isabel Paulo de Carvalho, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## ***Dedicatória***

Aos meus pais, Celeste e Admar, ao meu irmão André, à minha cunhada Patrícia e à minha sobrinha Carolina, que em breve chegará a este planeta azul.

A todos aqueles que partilham o meu fascínio pelos minerais e pelas rochas.

*“Signore, fa che io possa sempre desiderare più di quanto riesca a realizzare.”*

*(“Senhor, fazei com que eu possa sempre desejar mais do que consigo realizar.”)*

Michelangelo di Lodovico Buonarroti Simoni, Itália (1475 – 1564)



## ***Agradecimentos***

A concretização deste estudo, que muitas vezes se assemelhou a uma prova de resistência, só foi possível graças ao contributo, apoio e incentivo de pessoas e de algumas instituições e empresas, às quais quero, aqui, expressar os meus agradecimentos.

Em primeiro lugar, agradeço muito à minha Orientadora, a Professora Doutora Zenaide Gonçalves da Silva. Desde o início, o seu envolvimento e disponibilidade foram totais e permanentes. Resolveu todos os percalços técnicos que surgiram e outros de natureza burocrática, alguns bem complicados. O seu constante incentivo foi determinante para não me deixar desviar demasiado da rota. A sua paciência ilimitada, nas inúmeras revisões do texto da dissertação, contribuiu para a sua substancial melhoria. Foi, sem dúvida, crucial para esta chegada a bom porto, o “Farol” desta travessia, muitas vezes feita sem terra à vista, devido ao imenso “nevoeiro”. Foi mais do que uma Orientadora, foi uma amiga.

Agradeço, também, ao meu Coorientador, o Professor Doutor Joaquim Silva Simão, pelo entusiasmo, pela forma coloquial com que sempre me recebeu, fazendo-me sentir em casa, por me ter disponibilizado o seu gabinete para trabalhar, pela coordenação, acompanhamento e apoio dado no ensaio de nevoeiro salino e pela apreciação crítica e sugestões relativas ao texto da dissertação.

Ao Departamento de Ciências da Terra (DCT), agradeço o acolhimento do meu programa doutoral e a disponibilização de meios necessários à sua execução. Agradeço, igualmente, à Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade Nova de Lisboa, que me aceitou como aluna e criou as condições indispensáveis para a elaboração e conclusão do estudo.

Ao Coordenador do Laboratório da Unidade de Ciência e Tecnologia Mineral (UCTM-Lab), Professor Doutor Mário Machado Leite, que impulsionou o barco, dando início a

esta viagem. Agradeço-lhe esse primeiro estímulo e também o facto de ter colocado à minha disposição todas as valências e meios técnicos existentes na UCTM-Lab, do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), utilizados neste trabalho.

Agradeço à entidade na qual desenvolvo a minha atividade profissional, o LNEG, em particular ao seu Conselho Diretivo, o facto de ter avalizado a frequência deste programa doutoral.

À empresa SGM — Sociedade de Granitos e Mármore, Lda., especialmente ao Sr. João Branco Grenho, quero agradecer o fornecimento das amostras dos calcários, ter encetado todos os contactos necessários às deslocações às pedreiras e o acompanhado à área de Cabeça de Veada.

Agradeço, também, às empresas a seguir referidas, que exploram as pedreiras de extração dos calcários estudados e que autorizaram a execução dos levantamentos geológicos: i) Candipetra — Mármore da Serra dos Candeeiros, Lda.; ii) Airemármore — Extração de Mármore, Lda.; iii) A. C. Viana — Pedras, Lda.; iv) Calcidrata — Indústrias de Cal, S.A.; v) Sousa & Catarino, Lda.; vi) Mármore Vigário, Lda..

Muito devo ao colega João Manuel Farinha Ramos que, desde o primeiro momento, me incentivou e ofereceu o seu apoio. A sua ajuda nos trabalhos de campo foi fundamental, assim como o apoio dado no estudo petrográfico dos calcários. Estou-lhe profundamente grata.

À colega e amiga Maria Eugénia Moreia. Quero agradecer-lhe o apoio dado nas análises químicas dos calcários e a revisão e sugestões relativas ao texto da dissertação sobre a fluorescência de raios X. Acima de tudo, quero exprimir-lhe a minha gratidão pela sua amizade, pela sua permanente dádiva de alento, que me motivou para continuar, pela sua infinita paciência para ouvir todos os meus queixumes e pelo modo sagaz como me ajudou a relativizar os obstáculos, que no primeiro momento, me pareceram intransponíveis. O meu muito obrigada por tudo.

Agradeço à colega e amiga Maria Luísa Matos. Gerou-se um sentimento de camaradagem e de entreajuda, uma vez que também se encontrava a efetuar um programa doutoral. O facto de estar mais adiantada, permitiu-lhe apoiar-me na transposição de diversos obstáculos que foram surgindo e pelos quais também já tinha passado uns meses antes. Foi muito bom ter uma “sister in arms” no gabinete ao lado.

À colega e amiga Fernanda Gonçalves Guimarães, agradeço todo o apoio dado no estudo através de microsonda eletrónica, quer para complemento do estudo petrográfico,

quer no âmbito do nevoeiro salino. Quero também agradecer-lhe os seus constantes incentivos e ofertas de ajuda e, principalmente, a sua amizade.

Ao colega Mário Duarte Monteiro, aposentado em Março de 2014, quero agradecer o apoio dado nos ensaios tecnológicos. Aproveito este momento, para lhe expressar o meu profundo agradecimento pelos 13 anos de atividade profissional desenvolvida no Setor de Rochas, que coordeno e que dificilmente será igualada.

Agradeço ao colega António Casal Moura a disponibilização de bibliografia e a revisão crítica e sugestões relativas ao texto da dissertação sobre a metodologia.

À colega Adelaide Alves Ferreira, quero agradecer o empréstimo do condutímetro para controlo da dessalinização dos provetes submetidos ao nevoeiro salino, a disponibilidade para me esclarecer as dúvidas de química que lhe fui colocando ao longo do trabalho e o apoio dado no ensaio de especiação do ferro.

Agradeço ao meu irmão André Paulo de Carvalho, que em virtude da sua área de formação e taxa de sucesso, é chamado a reparar todos os equipamentos que avariaram, de toda a família... Quero agradecer-lhe muito a reparação do condutímetro, que decidiu avariar a meio das dessalinizações e também a reparação do meu computador portátil, cuja placa “wi-fi” funcionava deficientemente.

Ao colega de curso e docente do DCT, António Carlos Galhano, quero agradecer as suas ofertas de ajuda, o apoio dado no ensaio de nevoeiro salino e a disponibilização de imagens da câmara climática utilizada. Agradeço também o apoio de Bruno Sena da Fonseca, aluno do DCT, no ensaio de nevoeiro salino.

Agradeço ao colega Carlos Alberto Fernandes, o apoio dado na elaboração do mapa e excertos das cartas geológicas, com implantação das pedreiras.

À colega Eliane Albuquerque Marques, quero agradecer o apoio dado na implantação das coordenadas das pedreiras nas respetivas cartas militares.

Agradeço ao colega Paulo Bravo Silva, pelo apoio dado nas escalas dos registos fotográficos microscópicos, pelas dicas relativas ao arranjo das imagens e modo de impressão e pela bibliografia disponibilizada sobre petrografia.

À colega e amiga Ana Botelho de Sousa, quero agradecer a revisão linguística do “Abstract” e Resumo e pelo seu incentivo.

Agradeço ao colega Carlos Pinto de Meireles, o apoio que deu na interpretação de alguns aspetos petrográficos de um dos calcários estudado, a disponibilização de bibliografia sobre petrografia e também o permanente incentivo.

Ao colega Rogério Lopes Calvo, quero agradecer o apoio dado quer nas análises químicas através de espectrometria de fluorescência de raios X, quer na determinação das perdas ao rubro das amostras de alguns calcários, após nevoeiro salino.

Agradeço à colega Margarida Cerqueira Valente, o apoio dado na preparação (moagem) das amostras submetidas a análise química e a explicação detalhada de todo o processo de moagem.

Aos colegas Maria Helena Vasconcelos e António Selores Sousa, quero agradecer o apoio dado em alguns dos ensaios tecnológicos. Agradeço, também, ao colega Carlos Silva Leal, o apoio dado na execução das lâminas utilizadas nos diferentes estudos. À colega Eva Santos Gomes, quero agradecer a bibliografia fornecida.

Aos colegas e amigos, Narciso Ferreira, Paulo Castro, Zélia Pereira Moutinho, Ana Paula Pereira, Armando Moreira, Laurentino Rodrigues, Maria de Lourdes Reis, Maria do Carmo Marques, Elsa Lopes Ramalho, Argentina Nunes e Ricardo Esteves Alves. Agradeço o apoio, os incentivos, as ofertas de ajuda, o interesse em averiguar o progresso do estudo, a amizade...

Agradeço, ainda, a todos os colegas e amigos não referidos especificamente, mas que, de algum modo, se interessaram pelo trabalho que estava a desenvolver.

Por fim, quero agradecer aos meus pais, Maria Celeste Carvalho e Manuel Admar Carvalho, que aguentaram estoicamente os meus sistemáticos atrasos para jantar. Graças aos meus dias de trabalho cada vez mais longos e à sua vontade de me acompanhar nas refeições, os jantares passaram a ser feitos em horário espanhol.... Quero também agradecer o seu enorme incentivo, quer no momento em que decidi embarcar neste projeto, quer durante toda a sua execução.

## Resumo

O nevoeiro salino é um agente de meteorização importante para a maioria dos materiais de construção. Os produtos em pedra natural não são exceção. A estrutura das rochas geralmente apresenta características texturais (rede de poros, microfissuras, fissuras, planos de xistosidade, etc.), que facilitam a penetração do nevoeiro salino na pedra e a condensação no seu interior. A presença da solução salina pode conduzir à degradação da rocha e em casos extremos, à sua total desintegração, através de mecanismos físicos decorrentes da cristalização de sais, da hidratação destes, ou de distintas dilatações/retrações térmicas entre sal e rocha. Contudo, a pedra também pode ser alterada por processos químicos, dos quais a dissolução dos carbonatos é um exemplo. Entre os principais tipos de rocha explorados em Portugal, os calcários são particularmente suscetíveis ao nevoeiro salino, posto que geralmente apresentam porosidades abertas com valores elevados e uma rede de poros que permite uma penetração mais profunda do nevoeiro salino na estrutura da pedra.

O estudo do comportamento dos calcários ao nevoeiro salino assume particular importância em Portugal, devido ao facto do país possuir uma orla costeira extensa, grande parte da qual sob a influência de nevoeiro salino. É o litoral que apresenta a maior densidade populacional e, conseqüentemente, onde se concentram as construções. Além disto, Portugal possui vastas reservas de calcários ornamentais, que são utilizados em larga escala como materiais de construção, desde tempos imemoriais e cuja procura pelo mercado externo, tem vindo a sofrer um incremento significativo.

Para este estudo foram seleccionados seis calcários portugueses amplamente aplicados e com propriedades físico-mecânicas diferentes. Depois de analisadas as suas características petrográficas, químicas e as principais propriedades tecnológicas, os calcários foram submetidos aos seguintes ensaios de envelhecimento: choque térmico, gelo e nevoeiro salino. A determinação de todas as características tecnológicas através de normas europeias, permitiu

uma análise crítica dos respetivos métodos de ensaio e a elaboração de propostas de melhoria de alguns dos métodos. No nevoeiro salino, a avaliação deste ensaio foi complementada com as determinações e análises a seguir apresentadas, não exigidas pela norma europeia: variações na absorção de água e na resistência à flexão; comparação do ensaio em três acabamentos superficiais distintos; análises comparativas de imagens macroscópicas da superfície, de imagens através de lupa binocular e de imagens de eletrões secundários, obtidas com recurso a microssonda eletrónica.

Os resultados permitiram avaliar a aptidão dos calcários para os principais tipos de aplicações e, dentro de cada uma, para condições específicas de uso. Assim, foi possível definir as utilizações recomendadas para cada calcário, com o objectivo de maximizar a sua durabilidade. Os ensaios de envelhecimento possibilitaram determinar a resistência dos calcários perante várias condições climáticas específicas, incluindo as existentes em zonas costeiras. A análise detalhada dos resultados do nevoeiro salino reforça o conhecimento de que a porosidade aberta desempenha um papel determinante no comportamento dos calcários neste ensaio de durabilidade. Verificou-se, também, que os acabamentos superficiais grosseiros são mais suscetíveis ao nevoeiro salino, mas menos sensíveis às alterações cromáticas provocadas por este ensaio. Constatou-se que o nevoeiro salino gera perda de brilho nas superfícies com acabamento polido. Por fim, concluiu-se que a perda de massa registada por todas as amostras de calcário ensaiadas, ficou a dever-se essencialmente a processos de dissolução do  $\text{CaCO}_3$ .

**Palavras chave:** Pedra natural, Calcário, Nevoeiro salino, Degradação, Ensaio de envelhecimento, Durabilidade, Utilizações recomendadas.

## Abstract

Salt mist is a significant weathering agent for most building materials. Natural stone products are not an exception. Rocks' structure usually contains several textural features (pores network, microcracks, cracks, foliation planes, etc.), which favour salt mist to infiltrate the stone and to condense inside it. The presence of brine can lead to stone weathering and, in extreme cases, to its complete disintegration, through physical mechanisms resulting from salts' crystallization, salts' hydration, or different thermal expansions/retractions between salt and stone. However, stone can also be altered through chemical processes, of which carbonates' dissolution is an example. Among the main stone types mined in Portugal, limestones are particularly susceptible to salt mist, since they generally present high open porosity values and a pores network that enables a deeper salt mist penetration in the stone structure.

The study of limestones behaviour to salt mist is quite important in Portugal, due to the fact that this country has a long coastline, much of which under the influence of salt mist. It is the seaboard that has the highest population density and therefore where most of the buildings are located. Moreover, Portugal has large reserves of ornamental limestones, which are broadly used as building materials since immemorial times and whose demand by the foreign market, has been undergoing a significant increase.

Six widely applied Portuguese limestones with different physical-mechanical properties were selected for this study. After accessing their petrographic, chemical and main technological features, the limestones were submitted to the following ageing tests: thermal shock, frost and salt mist. The determination of all the technological properties by European standards, allowed a critical analysis of the respective test methods and to make proposals for the improvement of some of these methods. The evaluation of the salt mist test method was completed with the following determinations and analysis, not required by the European

standard: variations in water absorption and flexural strength; comparing the test in three different surface finishes; comparative analysis of macroscopic surface images, binocular magnifier images and secondary electrons images obtained using electron microprobe.

The results allowed evaluating the limestones' suitability for the main types of applications and for specific usage conditions, within each one. Thus, it was possible to set the recommended uses for each limestone, in order to maximize its durability. Ageing tests made possible to determine the limestones' resistance in the presence of several specific climatic conditions, including those of coastal areas. The detailed analysis of the salt mist results strengthens the knowledge that the open porosity plays a decisive role in the limestones' behaviour to this durability test. It was also verified, that the coarse surface finishes are more susceptible to salt mist, but less sensitive to the colour changes caused by this test. It was found that the salt mist causes brightness loss in polished surface finishes. Finally, it was concluded that the mass loss which occurred in all limestone samples tested, was primarily due to  $\text{CaCO}_3$  dissolution processes.

**Keywords:** Natural stone, Limestone, Salt mist, Weathering, Ageing tests, Durability, Recommended uses.

# Índice de matérias

<b>Resumo .....</b>	<b>XI</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>XIII</b>
<b>Índice de matérias .....</b>	<b>XV</b>
<b>Índice de Figuras.....</b>	<b>XXI</b>
<b>Índice de Tabelas .....</b>	<b>XXXI</b>
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Apresentação do tema.....	1
1.2. Seleção das rochas.....	5
1.3. Estado do conhecimento científico sobre o tema .....	5
1.4. Esquema do trabalho.....	12
<b>2. Enquadramento geológico .....</b>	<b>13</b>
2.1. Generalidades .....	13
2.2. Caracterização sumária das pedreiras .....	15
2.2.1. Pedreira de exploração do Calcário “Cabeça de Veada” .....	15
2.2.1.1. Localização e identificação .....	15
2.2.1.2. Descrição .....	15
2.2.2. Pedreira de exploração do Calcário “Semi-Rijo do Arrimal” .....	20
2.2.2.1. Localização e identificação .....	20
2.2.2.2. Descrição .....	20

2.2.3.	Pedreira de exploração do Calcário “Creme Fátima” .....	23
2.2.3.1.	Localização e identificação .....	23
2.2.3.2.	Descrição.....	24
2.2.4.	Pedreira de exploração do Calcário “Moca Creme” .....	28
2.2.4.1.	Localização e identificação .....	28
2.2.4.2.	Descrição.....	28
2.2.5.	Pedreira de exploração do Calcário “Moleanos” .....	31
2.2.5.1.	Localização e identificação .....	31
2.2.5.2.	Descrição.....	32
2.2.6.	Local de exploração do Calcário “Azul Ataija” .....	36
2.2.6.1.	Localização .....	36
2.2.6.2.	Descrição.....	36
<b>3.</b>	<b>Metodologia.....</b>	<b>39</b>
3.1.	Introdução.....	39
3.2.	Estudo petrográfico.....	39
3.3.	Estudo através de Microsonda Eletrónica.....	40
3.4.	Análise química .....	41
3.4.1.	Elementos maiores e traço .....	41
3.4.1.1.	Preparação da amostra.....	42
	a) Elementos maiores — preparação a partir da amostra moída a 74 micra .....	43
	b) Elementos traço — preparação a partir da amostra moída a 74 micra.....	45
3.4.1.2.	Condições instrumentais .....	45
	a) Elementos maiores.....	46
	b) Elementos traço .....	46
3.4.2.	Especiação do ferro.....	46
3.5.	Ensaio tecnológicos .....	47
3.5.1.	Preâmbulo.....	47
3.5.2.	Ensaio de identificação.....	47
3.5.3.	Ensaio de desempenho em obra.....	48
3.5.4.	Ensaio de durabilidade .....	48
3.5.5.	Definições.....	49
3.5.6.	Descrição dos ensaios tecnológicos.....	51

3.5.6.1.	Operações prévias .....	51
3.5.6.2.	Determinação da absorção de água à pressão atmosférica.....	52
3.5.6.3.	Determinação da densidade aparente e da porosidade aberta.....	53
3.5.6.4.	Determinação da resistência à compressão uniaxial .....	54
3.5.6.5.	Determinação da resistência à flexão .....	55
3.5.6.6.	Determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade.....	57
3.5.6.7.	Determinação da energia de rutura .....	59
3.5.6.8.	Determinação da carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem.....	60
3.5.6.9.	Determinação da resistência ao desgaste por abrasão.....	63
3.5.6.10.	Determinação da resistência ao gelo .....	65
3.5.6.11.	Determinação da resistência ao envelhecimento por choque térmico .....	67
3.5.6.12.	Determinação da resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino .....	68
<b>4.</b>	<b>Caracterização dos calcários.....</b>	<b>75</b>
4.1.	Estudo petrográfico .....	75
4.1.1.	Descrição macroscópica .....	75
4.1.1.1.	Aspetos gerais.....	75
4.1.1.2.	Particularidades observadas em alguns dos calcários.....	78
	a) Calcário “Moca Creme” .....	78
	b) Calcário “Moleanos” .....	78
4.1.2.	Descrição microscópica .....	78
4.1.2.1.	Componentes ortoquímicos .....	78
4.1.2.2.	Componentes aloquímicos .....	79
4.1.2.3.	Componente terrígeno .....	82
4.1.2.4.	Outros constituintes existentes em todos os calcários .....	84
4.1.2.5.	Constituinte presente apenas no Calcário “Azul Atáija” .....	85
4.1.2.6.	Imagens microscópicas dos calcários .....	85
4.1.2.7.	Classificação dos calcários .....	87
4.2.	Composição química.....	88
4.2.1.	Elementos maiores .....	88
4.2.2.	Elementos traço.....	88
4.3.	Caracterização tecnológica.....	89
4.3.1.	Absorção de água à pressão atmosférica .....	89

4.3.2.	Densidade aparente.....	91
4.3.3.	Porosidade aberta.....	91
4.3.4.	Resistência à compressão .....	92
4.3.5.	Resistência à flexão sob carga centrada .....	93
4.3.5.1.	Provetes de dimensões nominais (50×50×300)mm não submetidos a ciclos de gelo/degelo.....	93
4.3.5.2.	Provetes de dimensões nominais (50×50×300)mm submetidos a 48 ou a 56 ciclos de gelo/degelo.....	94
4.3.5.3.	Provetes de dimensões nominais (25×50×150)mm não submetidos a ciclos de nevoeiro salino.....	95
4.3.5.4.	Provetes de dimensões nominais (25×50×150)mm submetidos a 60 ciclos de nevoeiro salino.....	96
4.3.7.	Coefficiente de absorção de água por capilaridade.....	97
4.3.8.	Energia de rutura .....	101
4.3.9.	Carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem .....	101
4.3.10.	Resistência ao desgaste por abrasão .....	105
4.3.11.	Resistência ao gelo.....	106
4.3.13.	Resistência ao envelhecimento por choque térmico .....	108
4.3.14.	Resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino .....	110
<b>5.</b>	<b>Avaliação e discussão dos resultados.....</b>	<b>121</b>
5.1.	Generalidades .....	121
5.2.	Apreciação dos resultados do nevoeiro salino .....	122
5.3.	Apreciação dos resultados das restantes propriedades .....	126
5.3.1.	Composição química e petrografia .....	126
5.3.2.	Relações entre propriedades tecnológicas.....	127
5.4.	As normas europeias de produtos em pedra natural na avaliação das propriedades dos calcários .....	129
5.5.	Especificações bibliográficas relativas a produtos em pedra natural.....	133
5.6.	Utilização dos calcários — Recomendações .....	136
5.6.1.	Aplicações gerais.....	136
5.6.2.	Aplicação em zonas sujeitas à ação do gelo/degelo.....	138
5.6.3.	Aplicação em zonas sujeitas à ação do nevoeiro salino .....	139
5.7.	Análise das designações comerciais de alguns dos calcários.....	140

5.7.1. Calcário “Moleanos” .....	140
5.7.2. Calcário “Azul Ataija” .....	141
5.8. Métodos de ensaio — análise e propostas de alteração.....	141
5.8.1. Densidade aparente e porosidade aberta .....	141
5.8.2. Resistência à flexão sob carga centrada .....	142
5.8.3. Resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino .....	144
<b>6. Conclusões.....</b>	<b>147</b>
<b>7. Perspetivas futuras .....</b>	<b>149</b>
<b>8. Bibliografia .....</b>	<b>151</b>



## Índice de Figuras

Figura 1 – Mapa climático de Portugal continental — Nevoeiro e nebulosidade. Adaptado dos autores (Daveau, et al., 1985).....	3
Figura 2 – Patologia em placa de calcário aplicada em fachada de edifício da marginal da Póvoa de Varzim ( <b>em cima</b> ), que originalmente apresentava acabamento polido mate. Ao seu lado encontra-se uma placa que já foi substituída. Notar que a perda de material desnudou fósseis presentes no calcário. ....	4
Figura 3 – Carta geológica simplificada do Maciço Calcário Estremenho (Manuppella, et al., 1985), contendo a localização das pedreiras onde são explorados os calcários selecionados para o estudo. ....	14
Figura 4 – Imagem de satélite da área de exploração do calcário “Cabeça de Veada”. Delimitação (a vermelho) da pedreira Rosal nº 3. ....	16
Figura 5 – Pedreira Rosal nº 3. Aspeto geral do seu limite Sul, onde é possível observar-se a inclinação regional do calcário para Este (Quartau, 1998). ....	16
Figura 6 – Pedreira Rosal nº 3. Detalhe do esquadrejamento dos blocos com recurso a uma banqueadora. ....	17
Figura 7 – Pedreira Rosal nº 3. Aspeto geral de uma das fraturas, que corta a pedreira e detalhe do seu preenchimento (à esquerda). ....	17
Figura 8 – Pedreira Rosal nº 3. Aspeto de uma das cavidades resultantes da dissolução/precipitação do calcário.....	18
Figura 9 – Pedreira situada mais a Norte da área de Cabeça de Veada. Aspeto de uma bancada de calcário de tonalidade cinzento- azulada, que aí é explorada. ....	19

Figura 10 – Projeção da pedreira Rosal nº 3, na área de Cabeça de Veada, na Folha 27-C – Torres Novas, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000 (Manuppella, et al., 1999). ..	19
Figura 11 – Imagem de satélite da área de exploração do calcário “Semi-Rijo do Arrimal”. Delimitação (a vermelho) da pedreira Pia das Lages nº 2.....	21
Figura 12 – Pedreira Pia das Lages nº 2. Aspeto dos limites NW (esquerda da fotografia) e NE (direita da fotografia). .....	21
Figura 13 – Pedreira Pia das Lages nº 2. Aspeto das bandas com nódulos mais escuros, que ocorrem no seio da bancada explorada. ....	22
Figura 14 – Projeção da pedreira Pia das Lages nº 2, na área de Salgueira, na Folha 26-D – Caldas da Rainha, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000 (Zbyszewski & Matos, 1959).....	23
Figura 15 – Imagem de satélite da área de exploração do calcário “Creme Fátima”. Delimitação (a vermelho) da pedreira Valinho do Curral nº 2 (Fonte: <a href="https://www.google.pt/maps">https://www.google.pt/maps</a> ). .....	24
Figura 16 – Pedreira Valinho do Curral nº 2. Vista da frente NW de desmonte (direita da fotografia).....	25
Figura 17 – Pedreira Valinho do Curral nº 2. Nível inferior da pedreira, no qual ocorre um calcário cizento azulado, que não forma bancadas bem definidas. Na fotografia, este calcário está situado à direita da fratura subvertical assinalada.....	26
Figura 18 – Pedreira Valinho do Curral nº 2. Esquadrejamento de um bloco com recurso a uma banqueadora. ....	26
Figura 19 – Pedreira Valinho do Curral nº 2. Aspeto de ambos os calcários que ocorrem na pedreira: o branco-beije e à sua esquerda o cinzento azulado, que não é explorado. ....	26
Figura 20 – Projeção da pedreira Valinho do Curral nº 2, na área de Casal Farto, na Folha 27-A – Vila Nova de Ourém, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000 (Manuppella, et al., 1998).....	27
Figura 21 – Imagem de satélite da área de exploração do calcário “Moca Creme”. Delimitação (a vermelho) da pedreira da Chainça. ....	29
Figura 22 – Pedreira da Chainça. Vista dos limites NW (esquerda), NE (meio, ao fundo) e SE (direita). .....	29
Figura 23 – Pedreira da Chainça. Camada de Moca e, por cima desta, camada de material que não é aproveitado. ....	29
Figura 24 – Pedreira da Chainça. Aspeto da estratificação entrecruzada, que por vezes se observa na camada do Moca. ....	30

Figura 25 – Projeção da pedreira da Chainça, na área de Pé da Pedreira, na Folha 27-C – Torres Novas, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000 (Manuppella, et al., 1999). .....	31
Figura 26 – Imagem de satélite da pedreira Moleanos nº 3.....	32
Figura 27 – Pedreira Moleanos nº 3. Vista de parte dos limites: Norte (metade esquerda da fotografia) e Este (metade direita).....	33
Figura 28 – Pedreira Moleanos nº 3. Vista Norte, na qual se observam as bancadas menos espessas e fraturadas de calcário mais escuro pertencentes ao Jurássico Superior, que se sobrepõem ao calcário explorado, pertencente ao Jurássico Médio. ....	33
Figura 29 – Pedreira Moleanos nº 3 (Norte). Aspeto da frente de desmonte mais profunda da pedreira (20 m), na qual se podem observar as fraturas denominadas, na gíria extrativa local, por “cabos reais” .....	34
Figura 30 – Pedreira Moleanos nº 3. Detalhe do corte de um bloco com roçadora de cadeia. .	34
Figura 31 – Projeção da pedreira Moleanos nº 3 na Folha 26-B – Alcobaça, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000 (Zbyszewski, et al., 1961). ....	35
Figura 32 – Imagem de satélite do local de exploração do calcário “Azul Ataíja” .....	36
Figura 33 – Pedreira de exploração do calcário “Azul Ataíja”. Vista da frente de exploração S-SW. ....	37
Figura 34 – Pedreira de exploração do calcário “Azul Ataíja”. Aspeto do calcário de cor azulada explorado no local.....	37
Figura 35 – Projeção da pedreira de exploração do calcário “Azul Ataíja”, no Lugar de Cadoiço, na Folha 26-B – Alcobaça, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000 (Zbyszewski, et al., 1961). ....	38
Figura 36 – Lâmina delgada obtida a partir da amostra do calcário “Moleanos”, utilizada no estudo petrográfico. ....	40
Figura 37 – Metalizador usado na metalização com carbono das lâminas delgadas polidas utilizadas no estudo através de microsonda eletrónica.....	41
Figura 38 – Microsonda eletrónica utilizada no estudo dos calcários. ....	41
Figura 39 – Esquema geral de funcionamento de um espectrómetro de fluorescência de raios X. ....	42
Figura 40 – Espectrómetro de fluorescência de raios X utilizado na análise dos calcários.....	42
Figura 41 – Perladora utilizada na preparação de pérolas para análise dos elementos maiores, por espectrometria de fluorescência de raios X (à direita). Detalhe de uma amostra	

imediatamente após ter sido vertida do cadinho onde fundiu, para a copela, na qual vai arrefecer para obtenção da pérola (à esquerda). .....	44
Figura 42 – Aspeto de uma pérola utilizada na análise dos elementos maiores por espectrometria de fluorescência de raios X. À esquerda: antes de ser analisada. À direita: depois de ser analisada.....	44
Figura 43 – Análise química. Pastilha utilizada na determinação dos elementos traço, por espectrometria de fluorescência de raios X. À esquerda: antes de ser analisada. À direita: depois de ser analisada.....	45
Figura 44 – Ensaio de determinação da absorção de água à pressão atmosférica. Detalhe dos provetes da amostra de calcário “Moca Creme”, dentro do recipiente utilizado para o ensaio, após a primeira adição de água. ....	52
Figura 45 – Ensaio de determinação da densidade aparente e da porosidade aberta. Detalhe dos provetes da amostra de calcário “Moca Creme”, dentro do recipiente no qual foi gerado o vácuo de $(2,0\pm 0,7)$ kPa, durante a adição da água destilada.....	54
Figura 46 – Ensaio de determinação da resistência à compressão. Detalhe de um provete da amostra “Moca Creme” entre os pratos da prensa hidráulica, antes de ser exercida a força e logo após a sua rutura.....	55
Figura 47 – Resistência à flexão sob carga centrada. Esquema do dispositivo de aplicação da força centrada no provete. <b>1</b> – Cutelo de carga. <b>2</b> – Cutelos de apoio.....	56
Figura 48 – Ensaio de determinação da resistência à flexão sob carga centrada. Detalhe de um provete de dimensões $(50\times 50\times 300)$ mm, da amostra de calcário “Moca Creme”, imediatamente após a sua rutura.....	57
Figura 49 – Ensaio de determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade. Detalhe dos provetes da amostra de calcário “Moca Creme”, colocados no recipiente onde decorreu o ensaio, após o seu início. ....	58
Figura 50 – Determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade. Gráfico da massa de água absorvida por unidade de área, em função da raiz quadrada do tempo, para um provete com um coeficiente de $33,2 \text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{s}^{0,5})$ . ....	58
Figura 51 – Ensaio de determinação da energia de rutura. Detalhe de uma das placas da amostra de calcário “Moca Creme”, imediatamente após ter ocorrido a sua rutura, através do impacto da esfera de aço utilizada no ensaio. No canto superior direito da fotografia, a negro, observa-se parte do braço onde é fixada magneticamente a esfera de aço, antes da sua queda sobre a placa. ....	60

Figura 52 – Placa fixada através de ancoragem. Na sua face lateral observa-se a cavilha de aço, assim como o suporte fixado à parede de betão. Na metade visível da cavilha irá encaixar uma outra placa, através do respetivo orifício de ancoragem. ....	61
Figura 53 – Ensaio de determinação da carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem. Esquema das medições efetuadas para cada orifício. ....	61
Figura 54 – Determinação da carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem. Tensómetro modificado utilizado na execução do ensaio, no qual se observa uma das placas da amostra de calcário “Azul Ataija”, fixada no dispositivo de fixação. ....	62
Figura 55 – Ensaio de determinação da carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem. Pormenor da introdução da cavilha no orifício do eixo de tração do tensómetro utilizado. ....	62
Figura 56 – Resistência ao desgaste por abrasão com a máquina de Capon. Queda do abrasivo entre a superfície (pintada com anilina) de uma placa da amostra de calcário “Moca Creme” e o disco de desgaste, enquanto este efetuava as 75 rotações exigidas. ....	64
Figura 57 – Aspeto da calote produzida (a cinza) na superfície da placa da amostra de calcário “Moca Creme” .....	64
Figura 58 – Determinação da resistência ao gelo. Aspeto dos provetes de várias amostras imersos em água, dentro da cuba da câmara climática, na fase de degelo. ....	66
Figura 59 – Determinação da resistência ao gelo. Ciclo executado sobre as amostras estudadas (linha verde). Limite inferior definido pela EN 12371 (linha azul). Limite superior definido pela EN 12371 (linha vermelha). Nestes limites, os segmentos a cheio são mandatórios, enquanto os segmentos a tracejado são apenas indicativos. ....	66
Figura 60 – Resistência ao envelhecimento por choque térmico. Detalhe de um dos provetes dos calcários, imediatamente após o choque térmico, provocado pela sua transferência da estufa a $(105\pm 5)^{\circ}\text{C}$ para a água destilada a $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ . ....	68
Figura 61 – Resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino. Esquema de funcionamento da câmara utilizada (origem figura: <a href="http://www.ascott-analytical.com/">http://www.ascott-analytical.com/</a> ). ....	71
Figura 62 – Determinação da resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino. Aspeto das placas de diferentes acabamentos, de dois dos calcários, dentro da câmara de nevoeiro salino, após a conclusão dos 60 ciclos. ....	72
Figura 63 – Aspeto macroscópico do calcário “Cabeça de Veada” .....	77
Figura 64 – Aspeto macroscópico do calcário “Semi-Rijo do Arrimal” .....	77
Figura 65 – Aspeto macroscópico do calcário “Creme Fátima” .....	77
Figura 66 – Aspeto macroscópico do calcário “Moca Creme” .....	77

Figura 67 – Aspeto macroscópico do calcário “Moleanos” .....	77
Figura 68 – Aspeto macroscópico do calcário “Azul Ataíja” .....	77
Figura 69 – Calcário “Azul Ataíja”. Imagem obtida através de Microsonda Eletrónica (eletrões retrodifundidos). Oólito com núcleo constituído por fluorite (a branco).....	80
Figura 70 – Imagem obtida através de Microsonda eletrónica (eletrões retrodifundidos). Grão detrítico de quartzo subanguloso (cinza escuro), presente no calcário “Azul Ataíja”, contendo numerosas e pequeníssimas inclusões sub-retangulares de calcite, gesso, barite e celestite, dispostas paralelamente. Contém, ainda, pequenos cristais de pirite e também algumas pontuações opacas grafitosas. ....	83
Figura 71 – Imagem obtida através de Microsonda Eletrónica (eletrões retrodifundidos). Detalhe da fotografia anterior. <b>Bar</b> : barite; <b>Cal</b> : calcite; <b>Cel</b> : celestite; <b>Ges</b> : gesso; <b>Pir</b> : pirite... 83	83
Figura 72 – Calcário “Cabeça de Veada”. Cimento esparítico unindo pelóides, oólitos e fósseis diversos; alguns poros (a branco). ....	86
Figura 73 – Calcário “Semi-Rijo do Arrimal”. Cimento micrítico, parcialmente esparítico, envolvendo fósseis diversos e pelóides; alguns poros.....	86
Figura 74 – Calcário “Creme Fátima”. Cimento esparítico, agregando pelóides, fósseis diversos e oólitos; alguns poros. ....	86
Figura 75 – Calcário “Moca Creme”. Cimento esparítico, agregando pelóides, fósseis diversos e raros oólitos; alguns poros .....	86
Figura 76 — Calcário “Moleanos”. Cimento esparítico, agregando pelóides, oólitos e fósseis diversos; pontuações opacas e acastanhadas, de óxidos de ferro hidratados e alguns poros... 86	86
Figura 77 – Calcário “Azul Ataíja”. Cimento micrítico, localmente esparítico, agregando pelóides, fósseis e alguns: oólitos e grãos detríticos; pontuações e agregados de pontuações opacas e acastanhadas de óxidos de ferro hidratados; alguns poros.....	86
Figura 78 — Coeficiente de absorção de água por capilaridade. Curvas da absorção de água por unidade de área, em função do tempo, para os provetes do calcário “Cabeça de Veada”. .....	97
Figura 79 — Coeficiente de absorção de água por capilaridade. Curvas da absorção de água por unidade de área, em função do tempo, para os provetes do calcário “Semi-Rijo do Arrimal”..	98
Figura 80 — Coeficiente de absorção de água por capilaridade. Curvas da absorção de água por unidade de área, em função do tempo, para os provetes do calcário “Creme Fátima”.....	98
Figura 81 — Coeficiente de absorção de água por capilaridade. Curvas da absorção de água por unidade de área, em função do tempo, para os provetes do calcário “Moca Creme”. .....	99

Figura 82 — Coeficiente de absorção de água por capilaridade. Curvas da absorção de água por unidade de área, em função do tempo, para os provetes do calcário “Moleanos”.....	99
Figura 83 — Coeficiente de absorção de água por capilaridade. Curvas da absorção de água por unidade de área, em função do tempo, para os provetes do calcário “Azul Ataija”.....	100
Figura 84 – Carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem. Medida de $d$ . A medição foi efetuada no alinhamento do centro do orifício.....	102
Figura 85 – Carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem. Medida de $d1$ . A medição foi efetuada no sentido em que iria ser exercida a força de tração. ....	103
Figura 86 – Carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem. Calcário “Azul Ataija”. Medida de $bA$ (após a rutura).....	104
Figura 87 – Resistência ao gelo (48 ciclos). Calcário “Creme Fátima”. Aspeto dos 5 provetes que apresentavam maiores danos estruturais após o ensaio. ....	107
Figura 88 – Detalhe de uma das faces do provete V, do calcário “Creme Fátima”, após resistência ao gelo (48 ciclos). Observa-se fissuração aberta, com perda de material, gerada no decurso do ensaio. ....	107
Figura 89 – Calcário “Moleanos”. Detalhe das faces com acabamento polido mate: i) de um dos provetes submetidos ao ensaio de choque térmico (à esquerda); ii) do provete de referência (à direita e com lápis sobre a sua superfície). Notar a ligeira perda de brilho na face do provete ensaiado, que lhe confere um tom mais escuro.....	109
Figura 90 – Calcário “Azul Ataija”. Aspeto das faces com acabamento polido mate, dos provetes submetidos ao ensaio de choque térmico, por comparação com o provete de referência (lápis sobre a sua superfície). Destaca-se o aclaramento do tom do calcário, em todos os provetes ensaiados.....	109
Figura 91 – Calcário “Azul Ataija”. Aspeto macroscópico das placas não submetidas a ensaio (em cima) e das submetidas a nevoeiro salino (em baixo). Notar a alteração da cor em todos os acabamentos para um acastanhado claro, mais evidente nos acabamentos finos (polido e amaciado).....	112
Figura 92 – Calcário “Cabeça de Veada”. Aspeto macroscópico das placas não submetidas a ensaio (em cima) e das submetidas a nevoeiro salino (em baixo). Constata-se que a alteração cromática sofrida por todas as faces com acabamento é menos evidente para o acabamento apicado.....	113
Figura 93 – Calcário “Moca Creme”. Aspeto macroscópico das placas não submetidas a ensaio (em cima) e das submetidas a nevoeiro salino (em baixo). Na face polida, o efeito	

concomitante da perda de brilho do polimento e da alteração cromática, resultou numa menor alteração da tonalidade inicial desta face.....	114
Figura 94 – Calcário “Azul Ataija”. Imagem (lupa binocular) de uma área da face com acabamento apicoado: - inicial (à esquerda); - após nevoeiro salino (à direita). Destaca-se a perda de material sofrida, a esta escala. ....	115
Figura 95 – Calcário “Semi-Rijo do Arrimal”. Imagem (lupa binocular) de uma área da face com acabamento amaciado: - inicial (à esquerda); - após nevoeiro salino (à direita). Notar a perda de material no cimento do calcário, a esta escala, com evidenciação dos limites dos componentes aloquímicos. ....	115
Figura 96 – Calcário “Azul Ataija”. Imagem (lupa binocular) de uma área da face com acabamento polido: - inicial (à esquerda); - após nevoeiro salino (à direita). Destaca-se a alteração da cor da maioria dos componentes aloquímicos, alguns dos quais passaram de uma cor branca para uma cor acastanhada. ....	116
Figura 97 – Espectros EOS, obtidos através de microsonda eletrónica, de dois componentes aloquímicos calcíticos do calcário “Azul Ataija”: um pertencente ao provete não submetido a nevoeiro salino ( <b>Antes</b> ) e outro ao provete submetido ( <b>Após nev. salino</b> ). Notar que as composições são idênticas. ....	117
Figura 98 – Calcário “Cabeça de Veada”. Imagens obtidas através de microsonda eletrónica (eletrões secundários), <b>antes</b> (à esquerda) e <b>após nevoeiro salino</b> (à direita). Destaca-se a intensificação da porosidade da rocha através da perda de material, maioritariamente pelos seus componentes aloquímicos. ....	118
Figura 99 – Calcário “Semi-Rijo do Arrimal”. Imagens obtidas por microsonda eletrónica (eletrões secundários), <b>antes</b> (à esquerda) e <b>após nevoeiro salino</b> (à direita). Notar o considerável aumento da porosidade da rocha, evidenciado pela significativa perda de material, principalmente ao nível dos seus componentes aloquímicos. ....	118
Figura 100 – Calcário “Creme Fátima”. Imagens de microsonda eletrónica (eletrões secundários), <b>antes</b> (à esquerda) e <b>após nevoeiro salino</b> (à direita). Destaca-se o incremento da porosidade da rocha provocado pela perda de material pelos componentes aloquímicos, a maioria dos quais se encontram mais evidenciados, devido à perda de material na sua bordadura.....	118
Figura 101 – Calcário “Moca Creme”. Imagens de microsonda eletrónica (eletrões secundários), <b>antes</b> (à esquerda) e <b>após nevoeiro salino</b> (à direita). Notar o aumento na porosidade da rocha evidenciado pela perda de material pelos componentes aloquímicos. .	119
Figura 102 – Calcário “Moleanos”. Imagens obtidas através de microsonda eletrónica (eletrões secundários), <b>antes</b> (à esquerda) e <b>após nevoeiro salino</b> (à direita). Destaca-se o	

aumento da porosidade da rocha através da perda de material tanto pelos componentes aloquímicos, como pelo cimento, mas mais intensa nesta, junto aos limites com os componentes aloquímicos.....	119
Figura 103 – Calcário “Azul Ataija”. Imagens obtidas através de microsonda eletrónica (eletrões secundários), <b>antes</b> (à esquerda) e <b>após nevoeiro salino</b> (à direita). Notar o ligeiro aumento da porosidade da rocha provocado pela perda de material pelos componentes aloquímicos e pelo cimento da rocha.....	120
Figura 104 – Relação entre a perda de massa registada pelos calcários, no final do ensaio de nevoeiro salino e a sua porosidade aberta inicial. O calcário “Azul Ataija” revela um comportamento distinto dos restantes.....	123
Figura 105 – Correlações lineares entre a absorção de água e a porosidade aberta dos calcários e entre esta e a densidade aparente.....	127
Figura 106 – Correlação polinomial de 2º grau entre a porosidade aberta e o coeficiente de absorção de água por capilaridade dos calcários.....	128
Figura 107 – Correlação linear entre a porosidade aberta dos calcários e a sua resistência à compressão, exceto para o calcário “Azul Ataija”, que apresenta um diferente comportamento.....	129
Figura 108 – Produtos em pedra natural para fachadas. Valores mínimos para a energia de rutura, em função da sua localização. Desenho esquemático (Ross & Butlin, 1989), extraído do “Manual de Pedra Natural para a Arquitectura” (Pinto, et al., 2006). .....	135



## Índice de Tabelas

Tabela 1 — Calcário “Cabeça de Veada”. Localização e identificação da pedreira. ....	15
Tabela 2 — Calcário “Semi-Rijo do Arrimal”. Localização e identificação da pedreira.....	20
Tabela 3 — Calcário “Creme Fátima”. Localização e identificação da pedreira. ....	24
Tabela 4 — Calcário “Moca Creme”. Localização e identificação da pedreira. ....	28
Tabela 5 — Calcário “Moleanos”. Localização e identificação da pedreira.....	32
Tabela 6 — Calcário “Azul Atáija”. Informações referentes ao local de exploração. ....	36
Tabela 7 — Espetrometro de fluorescência de raios X. Condições instrumentais para a determinação dos elementos maiores, nas amostras dos calcários. ....	46
Tabela 8 — Espetrometro de fluorescência de raios X. Condições instrumentais para a determinação dos elementos traço, nas amostras dos calcários. ....	46
Tabela 9 — Fator quantil em função do número de resultados individuais.....	50
Tabela 10 — Componentes observados, macroscopicamente, nas placas dos calcários. Resumo das principais formas e dimensões.....	76
Tabela 11 — Cristais de calcite do cimento esparítico existentes nos calcários. Resumo das principais dimensões.....	79
Tabela 12 — Componentes aloquímicos presentes nos calcários. Resumo das principais dimensões.....	81
Tabela 13 — Componente terrígeno presente no calcário “Azul Atáija”. Resumo das suas principais dimensões.....	82

Tabela 14 — Pontuações opacas e acastanhadas existentes nos calcários. Resumo das principais dimensões.....	84
Tabela 15 — Poros presentes nos calcários. Resumo das principais dimensões.....	85
Tabela 16 — Classificação dos calcários (Folk, 1980).....	87
Tabela 17 — Composição química — elementos maiores — dos calcários, obtida por espectrometria de fluorescência de raios X. Os resultados estão apresentados em %.....	88
Tabela 18 — Composição química — elementos traço — dos calcários, obtida por espectrometria de fluorescência de raios X. Os resultados estão apresentados em <b>ppm</b> . ....	89
Tabela 19 — Absorção de água à pressão atmosférica inicial. Resultados obtidos nos provetes ensaiados e respectivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em %.....	90
Tabela 20 — Absorção de água à pressão atmosférica após 60 ciclos de nevoeiro salino. Resultados obtidos nos provetes ensaiados e respectivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em %.....	90
Tabela 21 — Densidade aparente. Resultados obtidos nos provetes ensaiados e respectivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em <b>kg/m<sup>3</sup></b> . ....	91
Tabela 22 — Porosidade aberta. Resultados obtidos nos provetes ensaiados e respectivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em %.....	91
Tabela 23 — Resistência à compressão. Resultados obtidos nos provetes ensaiados e respectivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em <b>MPa</b> . ....	92
Tabela 24 — Resistência à flexão sob carga centrada inicial. Resultados obtidos nos provetes de dimensões nominais (50×50×300)mm e respectivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em <b>MPa</b> . ....	93
Tabela 25 — Resistência à flexão sob carga centrada após 48/56 ciclos de gelo/degelo. Resultados obtidos nos provetes de dimensões nominais (50×50×300)mm e respectivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em <b>MPa</b> . ....	94
Tabela 26 — Resistência à flexão sob carga centrada inicial. Resultados obtidos nos provetes de dimensões nominais (25×50×150)mm e respectivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em <b>MPa</b> . ....	95
Tabela 27 — Resistência à flexão sob carga centrada após 60 ciclos de nevoeiro salino. Resultados obtidos nos provetes de dimensões nominais (25×50×150)mm e respectivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em <b>MPa</b> . ....	96

Tabela 28 — Coeficiente de absorção de água por capilaridade. Resultados obtidos nos provetes ensaiados e respectivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em $g/(m^2 \times s^{0,5})$ .....	100
Tabela 29 — Energia de rutura. Resultados obtidos nos provetes ensaiados e respectivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em <b>Joules</b> .....	101
Tabela 30 — Carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem. Resultados obtidos nos orifícios ensaiados e respectivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em <b>Newtons</b> .....	102
Tabela 31 — Valores de $d$ medidos para cada orifício, apresentados em <b>mm</b> , no ensaio de carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem.....	103
Tabela 32 — Valores de $d1$ medidos para cada orifício e respectivos parâmetros estatísticos, apresentados em <b>mm</b> , no ensaio de carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem. ....	104
Tabela 33 — Valores de $bA$ medidos para cada orifício e respectivos parâmetros estatísticos, apresentados em <b>mm</b> , no ensaio de carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem. ....	105
Tabela 34 — Resistência ao desgaste por abrasão. Método A – ensaio de desgaste com o disco largo. Resultados obtidos nas superfícies com acabamento amaciado dos provetes dos calcários e respectivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em <b>mm</b> . ....	106
Tabela 35 — Valores médios da resistência à flexão sob carga centrada: inicial e após os ciclos de gelo/degelo realizados e respetiva variação (decréscimo) percentual entre ambos. As médias da resistência à flexão estão apresentadas em <b>MPa</b> . ....	106
Tabela 36 — Decréscimos de massa calculados para cada provete de calcário, no final do ensaio de resistência ao envelhecimento por choque térmico e respetivas médias. Os valores são apresentados em <b>%</b> . ....	108
Tabela 37 — Variações (decréscimos) de massa, calculadas para cada provete de calcário, no final do ensaio de resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino e respetivas médias. Os valores são apresentados em <b>%</b> .....	110
Tabela 38 — Valores médios da absorção de água: inicial e após 60 ciclos de nevoeiro salino e respetiva variação percentual entre ambos. As médias da absorção de água estão apresentadas em <b>%</b> .....	110
Tabela 39 — Valores médios da resistência à flexão sob carga centrada, obtida nos provetes de dimensões nominais (25×50×150)mm: inicial e após 60 ciclos de nevoeiro salino e respetiva variação percentual entre ambos. As médias da resistência à flexão estão apresentadas em <b>MPa</b> . ....	111

Tabela 40 — Variação dos parâmetros utilizados para avaliar o ensaio de resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino nas amostras de calcário, em função da sua porosidade aberta inicial.....	122
Tabela 41 — Especificação do ferro. Teores em FeO e Fe (II) iniciais e após nevoeiro salino, para os calcários “Moca Creme” e “Azul Ataija”.....	124
Tabela 42 — Normas europeias de produtos em pedra natural publicadas até à presente data pelo Comité Europeu de Normalização. (Os nomes de Comités foram mantidos em inglês)..	130
Tabela 43 — Resistência ao gelo. Disposições das normas europeias de produto em pedra natural.....	131
Tabela 44 — Orientações sobre forças de rutura ( <i>P</i> ) expectáveis para diferentes utilizações (EN 1342:2012). .....	132
Tabela 45 — Fator de segurança ( <i>F<sub>s</sub></i> ) para diversos tipos de assentamento de lajes (EN 1342:2012). .....	133
Tabela 46 — Especificações técnicas para produtos em pedra natural. Disposições relativas às propriedades físicas e mecânicas da pedra (Pinto, et al., 2006).....	134
Tabela 47 — Especificações técnicas para produtos em pedra para pavimentos. Disposições relativas à resistência ao desgaste por abrasão <sup>1)</sup> da pedra (Pinto, et al., 2006).....	135
Tabela 48 — Recomendações para a utilização dos calcários, considerando as suas propriedades e as especificações técnicas apresentadas no ponto anterior 5.5. ....	137
Tabela 49 — Absorções de água: i) determinada através do método regulamentado (EN 13755) e ii) calculada a partir da determinação da densidade aparente e da porosidade aberta (EN 1936) e diferença percentual entre ambas. As médias da absorção de água estão apresentadas em %.....	142
Tabela 50 — Valores médios das resistências à flexão sob carga centrada obtidas nos provetes de dimensões (50×50×300)mm e de dimensões (25×50×150)mm e diferença percentual entre ambos. Os valores médios da resistência à flexão estão apresentados em MPa.....	143
Tabela 51 — Composição da água do mar, em termos de conteúdo em sais, utilizada num estudo de resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino, de granitos espanhóis e calcários italianos (Cardell, et al., 2003). Os valores estão expressos em ppm. ....	144
Tabela 52 — Formulação para produção de água do mar artificial, com uma salinidade de 35g/kg (Lewis & Schwartz, 2004). .....	145



# Introdução

## 1.1. Apresentação do tema

Portugal tem uma tradição ancestral na exploração e aplicação da pedra natural. Por um lado, é uma matéria-prima com abundantes recursos no país e, por outro, apesar do constante desenvolvimento de novas soluções no domínio da construção, continua a ser um dos materiais com maior durabilidade. No passado, a pedra era fundamentalmente utilizada como elemento estrutural (alvenaria), ou associava a esta função a decorativa (cantaria). Hoje em dia, o betão armado é a solução por excelência em termos estruturais, face ao seu mais baixo custo em relação ao da pedra natural (Pinto, et al., 2006). Esta passou a desempenhar um papel principalmente decorativo, do qual se destacam os diversos tipos de revestimentos em que é utilizada (de paredes, de pavimentos, etc.).

Em termos geográficos, a pedra natural encontra-se aplicada principalmente na orla costeira, pois esta apresenta a maior concentração, do país, de edifícios, sistemas viários e outras infraestruturas, como resultado da elevada densidade demográfica aí existente. A costa portuguesa apresenta cerca de 960km de extensão. A sua ocupação humana remonta a épocas muito primitivas, mas a sua colonização ocorreu sobretudo a partir do século XVI, em regime sazonal, associada a atividades piscatórias e afins. O povoamento permanente da orla costeira só ocorreu em tempos mais recentes e foi a partir dos anos 50, com a promoção turística e o desenvolvimento da rede viária, que a concentração da população e das atividades económicas na costa portuguesa sofreu um incremento significativo. Se se considerar o litoral como sendo o conjunto das NUTS III (NUTS: Nomenclatura das Unidades Territoriais para fins Estatísticos) com orla costeira, em 1991 correspondia a 33% do território continental e a 100% do território insular, concentrando 69% da população nacional (Ferreira, 1999).

Do ponto de vista meteorológico, o território português está, fundamentalmente, sob a influência de dois tipos de nevoeiro: - o nevoeiro de irradiação das baixas continentais e - o nevoeiro de advecção litoral. O primeiro forma-se através da irradiação local e do deslize de ar frio e denso ao longo das vertentes e da sua acumulação em zonas baixas, sendo particularmente frequente em planícies aluviais dos vales e nas bacias ocidentais orograficamente confinadas a Oeste; é um nevoeiro típico das noites frias e límpidas, ocorrendo desde o Outono até à Primavera. Por seu turno, o nevoeiro de advecção litoral é um nevoeiro estival, salino, que ocorre sobretudo de madrugada e resulta da condensação da humidade da atmosfera, quando em contacto com as águas marinhas frescas. O seu avanço para o interior depende da disposição regional do relevo e da orientação do litoral (Daveau, et al., 1985). De acordo com os autores, no que se refere à propagação deste tipo de nevoeiro (Figura 1), é possível distinguir três zonas em Portugal continental:

Litoral ocidental a Norte do Cabo da Roca — avanço frequente e numa extensão profunda, exceto em alguns troços no extremo NW do território nacional, devido quer à orientação litoral desfavorável, quer à proximidade de relevos de altitude considerável.

Litoral ocidental a Sul do Cabo da Roca — propagação numa faixa bastante mais estreita e igualmente interrompida pelos relevos definidos pela Serra de Sintra e pela Serra da Arrábida.

Litoral algarvio meridional — ocorrência muito rara deste tipo de nevoeiro, devido ao efeito concomitante da temperatura bastante mais elevada da água superficial do mar junto à costa e da orientação desta relativamente aos ventos estivais dominantes.

O estudo da influência do nevoeiro salino na pedra portuguesa assume particular importância para o país, devido à conjugação de todos os fatores atrás apresentados. É também um tema com interesse à escala mundial, uma vez que muitas das maiores cidades do planeta estão localizadas em zonas costeiras, logo sob a influência de nevoeiro de advecção litoral, sendo a pedra um material de construção globalmente utilizado. O desenvolvimento deste assunto ganha ainda mais relevância, face aos evidentes sinais de degradação apresentados por diversas rochas aplicadas em exteriores, em zonas costeiras (Figura 2). Este tema vai ser abordado no âmbito de uma investigação para a obtenção do grau de Doutor em Geologia pela Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade Nova de Lisboa.

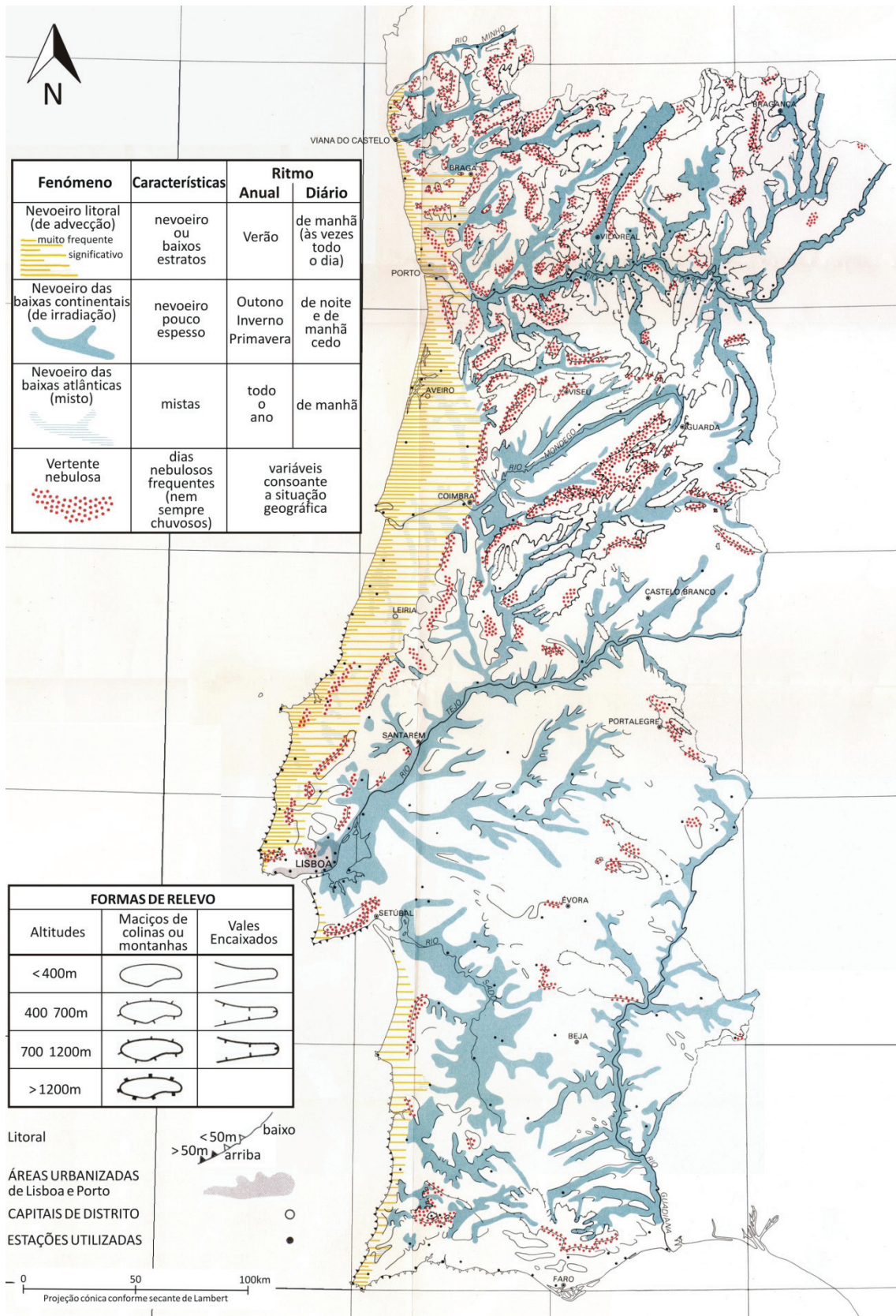


Figura 1 – Mapa climático de Portugal continental — Nevoeiro e nebulosidade. Adaptado dos autores (Daveau, et al., 1985).



Figura 2 – Patologia em placa de calcário aplicada em fachada de edifício da marginal da Póvoa de Varzim (**em cima**), que originalmente apresentava acabamento polido mate. Ao seu lado encontra-se uma placa que já foi substituída. Notar que a perda de material desnudou fósseis presentes no calcário.

Patologia em placa aplicada no mesmo edifício (**em baixo**), na qual se observa que a degradação é diferencial: a base da placa está praticamente intacta, enquanto o topo apresenta o pior grau de degradação.

## **1.2. Seleção das rochas**

Dos principais tipos de pedra natural explorados no território nacional — granitos, mármore, calcários e xistos — decidiu estudar-se calcários, por dois motivos. Em primeiro lugar, porque a sua aplicação tem vindo paulatinamente a aumentar em Portugal, assim como a sua procura pelo mercado externo, não só porque muitas variedades apresentam um baixo custo, mas principalmente porque as de cor creme e cinza azulada e texturas pouco marcadas enquadram-se bastante bem no estilo arquitetónico atualmente em voga. O outro motivo deve-se ao facto de, dos quatro litótipos atrás referidos, se ter presumido que será aquele que apresenta maior suscetibilidade à ação do nevoeiro salino, devido quer à sua composição mineralógica, quer à sua porosidade aberta, na generalidade dos casos mais elevada que a dos outros tipos de rocha.

Os critérios utilizados na seleção dos calcários para o estudo, foram os seguintes: aplicação frequente, reservas significativas e diferentes propriedades tecnológicas. Assim, escolheram-se os calcários comercialmente designados por: “Cabeça de Veada”, “Semi-Rijo do Arrimal”, “Creme Fátima”, “Moca Creme”, “Moleanos” e “Azul Ataija”. São todos explorados no Maciço Calcário Estremenho. Os locais de extração dos calcários “Creme Fátima” e “Moca Creme” situam-se no distrito de Santarém, enquanto os restantes são explorados no distrito de Leiria. As amostras dos calcários foram disponibilizadas por uma empresa sediada em Santarém, que se dedica à transformação e à comercialização principalmente de calcários nacionais — Sociedade de Granitos e Mármore, Lda..

## **1.3. Estado do conhecimento científico sobre o tema**

É globalmente aceite que a cristalização de sais constitui um dos principais processos de meteorização das rochas, provocando padrões de degradação, que vão desde o seu empolamento, à sua laminação ou descamação, até à sua desintegração granular (Steiger & Charola, 2011). Quando penetram na pedra, os sais podem provocar o seu colapso estrutural através de três mecanismos. O primeiro — a pressão de cristalização — é gerado no decurso da cristalização de um sal e depende quer da temperatura, quer do grau de sobressaturação da solução. O outro processo — a pressão de hidratação — é gerado quando um sal cristaliza, ou recristaliza, sob a forma de um hidrato que ocupa um espaço maior, exercendo uma pressão suplementar sobre a estrutura da rocha; é dependente da temperatura ambiente e da humidade relativa. O terceiro mecanismo de degradação — dilatação térmica diferencial — resulta do facto dos sais e das rochas que os contêm apresentarem taxas de dilatação e retração distintas entre si e, no caso dos sais, fortemente dependentes da temperatura. Assim,

aumentos e diminuições da temperatura vão originar tensões internas variáveis. A título de exemplo, a halite (NaCl) dilata cerca de 0,5%, quando a temperatura aumenta dos 0°C para os 60°C (Bell, 1993). A resistência à cristalização de sais de uma pedra natural é fortemente condicionada pela sua estrutura interna, diminuindo à medida que aumenta a proporção de microporos, com raios  $< 0,05\mu\text{m}$  e  $< 0,1\mu\text{m}$ , de acordo com alguns autores (Yu & Oguchi, 2010). De facto, a cristalização de sais no interior de poros pequenos, gera pressões consideráveis: a halite chega a exercer pressões de 200MPa (Bell, 1993). Por seu turno, nos processos envolvendo embebição/secagem, os poros com um raio  $< 5\mu\text{m}$  são determinantes para a absorção das soluções salinas (Yu & Oguchi, 2010). Em suma, os efeitos que os sais provocam no interior das rochas vão depender de vários fatores, entre os quais, dos tipos de sais presentes, da dimensão e forma do sistema capilar da rocha, do teor de humidade contida pelos poros e da exposição à radiação solar (Bell, 1993).

Além dos processos físicos de degradação resultantes da cristalização de sais no interior das rochas, os sais podem ainda promover, nestas, mecanismos químicos de deterioração. É o caso da dissolução dos carbonatos na presença de soluções salinas, nomeadamente da água do mar, que ocorre nas rochas carbonatadas. Este processo é gerado por soluções salinas com características químicas específicas, em termos de razão Mg/Ca, salinidade e concentrações de  $\text{SO}_4^{2-}$  e de  $\text{PO}_4^{3-}$  dissolvidos e ocorre sob determinadas condições de temperatura e de pressão de  $\text{CO}_2$  (Walter, 1986). Contudo, em termos de degradação, os danos provocados pela cristalização de sais nas rochas carbonatadas são mais significativos (Bell, 1993).

Muitos estudos têm abordado a cristalização de sais nos materiais de construção e em particular nas pedras naturais. São trabalhos de investigação, uns de carácter geral (Doehne, 2002); (Howard & Pinder, 2003); (Hunt, 2003); (Rives & García-Talagón, 2006); (Cartwright, et al., 2008) e outros que analisam diversos aspetos particulares deste tema, tais como:

i) estudo de patologias em rochas, resultantes da cristalização de sais (Calia & Mecchi, 2000); (Louis, et al., 2001); (Cardell, et al., 2003); (Rothert, et al., 2007); (Kramar, et al., 2010); (Oucha, et al., 2013); (Villegas-Sánchez & Arroyo, 2013);

ii) desenvolvimento e avaliação da eficácia de uma panóplia de produtos hidrófugos e selantes, que previnem a degradação das rochas causada pelos sais e de produtos consolidantes, para o restauro de rochas degradadas através de sais (Ballester & González, 2001); (Moropoulou, et al., 2003); (Luque, et al., 2008); (Maravelaki-Kalaitzaki, et al., 2008); (Campbell, et al., 2011); (Leal, et al., 2011); (Yang, et al., 2011); (D'Armada & Hirst, 2012); (Ruffolo, et al., 2014); (Salvadori, et al., 2014); (Sassoni, et al., 2014) (Zornoza-Indart, et al., 2014);

iii) desenvolvimento e apreciação de produtos inibidores da cristalização de sais nas rochas. (Rodríguez-Navarro, et al., 2002); (Selwitz & Doehne, 2002); (Lubelli & van Hees, 2007); (Ruiz-Agudo, et al., 2011);

iv) desenvolvimento e avaliação de produtos visando a limpeza das rochas e a remoção dos sais presentes nas suas estruturas (Moropoulou & Kefalonitou, 2002); (Carretero, et al., 2006);

v) desenvolvimento e utilização de métodos, quer para simulação da cristalização de sais nas rochas, quer para apreciação dos respetivos resultados (Rao, et al., 1996); (Goudie, 1999); (Birginie, 2000); (Birginie, et al., 2000); (Benavente, et al., 2001); (Nicholson, 2002); (Birginie & Rivas, 2005); (Ruiz-Agudo, et al., 2007); (Angeli, et al., 2008); (Cardell, et al., 2008); (Smith, et al., 2008); (Tingstad, 2008); (Yu & Oguchi, 2009); (Angeli, et al., 2010); (Beck & Al-Mukhtar, 2010); (Buj & Gisbert, 2010); (Buj, et al., 2011); (Aly, et al., 2014); (Aly, et al., 2015);

vi) modelação da cristalização de sais nos poros e estudos do sistema de poros e de outras propriedades das rochas, com o objetivo de quantificar a durabilidade de rochas porosas, de avaliar a influência das características das rochas na degradação provocada pela cristalização de sais e de desenvolver índices de durabilidade (Nicholson, 2001); (García, 2002); (Benavente, et al., 2003); (Benavente, et al., 2004); (Benavente, et al., 2007); (Cultrone, et al., 2008); (Buj, et al., 2010); (Molina, et al., 2011); (Pires, et al., 2014).

A maioria dos trabalhos encontrados sobre a temática dos sais nas rochas, aborda este assunto na perspetiva do ensaio de resistência à cristalização de sais. Este ensaio consiste na execução contínua de ciclos, cada um constituído por um período de imersão total, ou parcial, de provetes de pedra numa solução salina, habitualmente de sulfato de sódio (solução de  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  a 14%, no caso da EN 12370), seguido por um período de secagem em estufa. Nestes estudos, concluiu-se que o processo mecânico de deterioração da rocha se desenrola do seguinte modo: na secagem que sucede a primeira imersão da pedra na solução salina, ocorre a cristalização de tenardite ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), nos seus espaços vazios. Nas imersões seguintes, a tenardite é dissolvida, processo que provoca a sobressaturação da solução salina, da qual resulta a cristalização de mirabilite ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), nos vazios. A tensão assim provocada na estrutura da rocha, promove a sua deterioração. Sob estas condições, concluiu-se, através de cálculos teóricos, que a pressão de cristalização pode atingir 15MPa a 20°C, valor que se constatou estar razoavelmente de acordo com medições de deformação levadas a cabo (Steiger & Charola, 2011). Concluiu-se, ainda, que de um modo geral, pedras naturais contendo poros de menores dimensões (com diâmetros de apenas alguns micra) são mais suscetíveis à deterioração através da cristalização de sais, apesar de haver exceções. Este é o

caso de rochas com uma maior porosidade total, ou nas quais as conexões entre os poros são reduzidas e sinuosas (Steiger & Charola, 2011).

O tema dos sais, nas pedras naturais, provenientes do nevoeiro salino é bastante menos estudado que o anterior, apesar de, à escala global, as emissões de gotículas de água do mar projetadas pelos oceanos, sejam consideradas como uma das mais importantes fontes primárias do aerossol atmosférico. Este promove a concentração de sais nos materiais de construção, através de processos de deposição das partículas de água do mar, quer por via húmida — transferência de massa da atmosfera para os materiais promovida por hidrometeoros (chuva, neve, granizo, etc.), quer por via seca — absorção pelos materiais sem a presença de precipitação (Steiger & Charola, 2011). As primeiras referências a trabalhos sobre este tema datam da década de 80 e só nos últimos 20 anos é que começaram a surgir, com alguma regularidade, publicações sobre este assunto. Efetuou-se uma pesquisa centrada no nevoeiro salino, em rochas carbonatadas. Os principais aspetos dos trabalhos pertinentes, para o estudo efetuado, vão ser a seguir desenvolvidos.

No domínio das patologias de rochas associadas ao nevoeiro salino, refere-se o estudo dos autores (Zezza & Macrì, 1995), relativo à avaliação da degradação apresentada por pedras de vários monumentos da região costeira de Apulia, no Sul da Itália. No decurso do trabalho, estes autores constataram que os ritmos de degradação eram particularmente elevados para os mármore e calcários e que para estes últimos, as formas de deterioração dependiam essencialmente das características sedimentares e petrográficas das rochas. Ainda relativamente aos calcários, os autores verificaram que a sua deterioração apresentava um carácter seletivo: i) nos grãos minerais, na micrite e no cimento calcítico, desenvolvia-se a partir dos vazios intragranulares, ou a partir dos vazios intercrystalinos existentes na estrutura calcítica, sendo este facto particularmente evidente nas variedades bioclásticas e nos calcários com um elevado conteúdo em fósseis e com maior porosidade; ii) nos fósseis, tinha origem nos vazios intragranulares e tendia a expandir-se graças à estrutura calcítica das suas cavidades internas; iii) desenvolvia-se, ainda, ao longo das estruturas mecânicas — da laminação, nos calcários laminares; dos planos de fratura dos blocos, nos calcários fraturados; dos estilólitos, nos calcários contendo estas descontinuidades estruturais, não só pelo facto destas favorecerem a circulação de soluções, mas também devido ao seu preenchimento, frequentemente de natureza argilosa. Os autores concluíram que os efeitos da deposição dos sais nas rochas estavam relacionados com uma série de parâmetros associados à localização do monumento, entre os quais: i) as condições geomorfológicas do local; ii) o nível de exposição quer a ventos, quer a tempestades; iii) a distância do mar; iv) a cota acima do nível do mar. Chegaram ainda à conclusão de que os efeitos do nevoeiro salino podiam ainda propagar-se às zonas interiores dos monumentos, devido ao facto da condensação de

humidade, enriquecida em iões de origem marinha, poder provocar degradação intensa nas rochas aí existentes (Zezza & Macri, 1995).

No campo dos métodos de ensaio, um dos primeiros trabalhos de investigação sobre técnicas laboratoriais para o estudo dos efeitos do nevoeiro salino sobre rochas carbonatadas, trata-se do desenvolvimento de uma metodologia para a determinação da permeabilidade ao gás de rochas calcárias, com a finalidade de avaliar as transformações sofridas por estas, após a exposição a sucessivos ciclos de secagem e nevoeiro salino (Birginie, et al., 2000). O método consistiu na exposição de amostras de rocha, durante 30 dias, a ciclos de 30min constituídos por: 1min de pulverização com água do mar, seguidos por 29min de secagem com ar a 40°C. A execução do ensaio permitiu aos autores concluírem que: i) sob condições cíclicas de exposição ao nevoeiro salino, o tempo necessário para se saturar as rochas parece estar relacionado com a sua porosidade aberta; ii) o ensaio com nevoeiro salino provocou um aumento nas massas das rochas testadas (devido à presença de sal no seu interior) e também um decréscimo nas suas permeabilidades, enquanto um ensaio idêntico efetuado nas mesmas rochas, só com um aerossol de água, não produziu efeitos significativos; iii) a permeabilidade ao gás medida após a operação de secagem apresentou um decréscimo apreciável, devido à obstrução dos poros provocada pelo crescimento de cristais de sal no seu interior (Birginie, et al., 2000).

Tendo por base a metodologia do trabalho anterior, foi desenvolvido um outro método de ensaio, para estudo dos efeitos dos ambientes costeiros sobre sete rochas calcárias oriundas de Apulia, Sul de Itália (Cardell, et al., 2003). Os ciclos compreenderam os mesmos períodos de tempo de pulverização com aerossol salino e de secagem com ar forçado, que a metodologia anterior. Contudo, esta última operação decorreu a uma temperatura inferior (35 - 39°C) e com o ar com uma humidade relativa de 50%. O número de ciclos foi incrementado: os calcários grosseiros foram submetidos a 3360 ciclos (70 dias) e os calcários micríticos a 140 dias. Os autores justificaram que a definição de cada ciclo e o seu número total, tiveram por finalidade permitir a produção de um grau de meteorização médio a baixo, num curto período de tempo. A utilização de água do mar e a temperatura selecionada para o ensaio, tiveram por base resultados de ensaios anteriores, levados a cabo pelos autores, nos quais foi demonstrado que a utilização de soluções puras de cloreto de sódio e secagens a temperaturas entre os 40°C e os 60°C não simulam, de todo, as condições naturais, podendo produzir efeitos distintos dos observados nos ambientes naturais. Nos estudos anteriores, os autores tinham chegado à conclusão de que o tipo de sais (sulfatos, nitratos, cloretos), a natureza da solução (mistura ou pura) e a temperatura de secagem têm uma forte influência no tipo de deterioração provocada nas pedras calcárias. No trabalho agora referido, os autores concluíram que a degradação produzida nas rochas calcárias, se ficou a dever exclusivamente ao efeito concomitante da solução da água do mar que, por um lado, determinou a

cristalização de sais e posterior rutura estrutural e, por outro, provocou a dissolução do cimento calcário. Os autores deduziram, ainda, que a porosidade total destas pedras, que indubitavelmente depende do tamanho dos cristais constituintes do cimento e do seu estado de agregação, parece determinar o seu grau de deterioração. Por fim, os autores concluíram que para iguais porosidades totais, a percentagem de poros com raio pequeno pode aumentar a suscetibilidade à degradação (Cardell, et al., 2003).

No domínio da avaliação do nevoeiro salino em diferentes acabamentos de rochas carbonatadas, refere-se o estudo levado a cabo por Zenaide Silva e Joaquim Simão (Silva & Simão, 2009), envolvendo rochas de diversos tipos, entre as quais um calcário oolítico proveniente de Alcobaça e dois calcários explorados em Sintra (Encarnadão e Negrais). Todas as placas testadas apresentavam uma das suas faces com acabamento polido. Os autores aplicaram uma versão modificada do método de ensaio definido na EN 14147, consistindo na execução de 65 ciclos durante 130 dias, cada um compreendido por 12h de nevoeiro salino, produzido a partir de uma solução de NaCl com uma diluição de 180g/l, seguidas por 36h de repouso. O controlo foi efetuado a cada 5 ciclos, através da observação e registo fotográfico das superfícies das placas, precedidas por secagem a 60°C, e também à pesagem das suas massas, para a qual foi necessário efetuar dessalinização e secagem prévias. Nas primeiras paragens de controlo, os autores constataram haver perda de brilho nas superfícies polidas. Nas observações efetuadas após o 20º ciclo, os autores verificaram que o calcário oolítico apresentava os seus oólitos individualizados e os calcários provenientes de Sintra mostravam alargamento das suas fissuras e o seu conteúdo fóssil destacado. A partir deste ciclo, os autores observaram que a degradação dos calcários se foi agravando, particularmente para os calcários: oolítico e Negrais, os quais ao 35º ciclo evidenciavam arredondamento das arestas e vértices das placas, fissuras e desagregação, que motivaram perdas de massa de 5,5% e de 3%, respetivamente. Os autores concluíram que a elevada porosidade aberta e sistema de poros do calcário oolítico e a porosidade aberta aliada à presença de minerais argilosos e à existência de uma rede prévia de fissuras no calcário Negrais, determinaram o comportamento ao ensaio destes calcários (Silva & Simão, 2009).

Ainda no domínio do estudo dos acabamentos, refere-se o estudo efetuado em dois acabamentos habitualmente comercializados — rugoso e polido — da pedra natural designada comercialmente por Olivillo (Urosevic, et al., 2010). Trata-se de um travertino compacto e medianamente poroso (7,3 – 8,2%), explorado na província de Almería, no Sul de Espanha. Os autores também decidiram aplicar uma versão modificada da metodologia definida na EN 14147, pelo facto de a considerarem mais representativa das condições ambientais reais. Levaram a cabo 160 ciclos, constituídos por 3h de nevoeiro salino produzidos a partir de água do mar, seguidas por 6h de secagem por ar forçado a 35°C e com uma humidade relativa de (70±2)%. Os autores concluíram que o efeito combinado: i) do tratamento prévio a que foram

submetidas somente as superfícies polidas (preenchimento dos poros de maiores dimensões com uma argamassa à base de gesso, seguido pela cobertura de toda a superfície com uma resina mista: epóxi e silicone) e ii) do próprio polimento, resultou numa eficaz selagem do sistema subsuperficial de poros do travertino, impedindo a penetração do aerossol salino nesta rocha, a subsequente cristalização de sais no seu interior e, por consequência, a sua degradação. Nas superfícies com acabamento rugoso, os autores deduziram que se gerou um ciclo crescente de degradação: o aerossol penetrou na rocha; cristalizaram sais no seu interior; como consequência, a porosidade aberta da rocha aumentou; este incremento permitiu a penetração de mais aerossol salino, na pulverização seguinte. Em termos cromáticos, os autores concluíram que as alterações foram menos intensas nas superfícies rugosas; as superfícies polidas tornaram-se mais claras e perderam a sua tonalidade quente: os seus parâmetros cromáticos deslocaram-se em direção a valores mais azuis e mais verdes (Urosevic, et al., 2010).

Em 2013, os autores do trabalho anterior (Urosevic, et al., 2013) aplicaram a mesma metodologia, para o estudo de superfícies polidas e rugosas, de um calcário de idade Jurássica explorado em Espanha, apresentando baixa porosidade aberta (2,0 – 2,8%). As conclusões a que os autores chegaram foram idênticas às do trabalho desenvolvido em 2010: os diferentes acabamentos produziram comportamentos distintos no calcário, quer ao nível da penetração do nevoeiro salino e subsequente cristalização de sais, quer em termos das alterações cromáticas provocadas pela deposição de sais e pela sua posterior lavagem. De facto, a partir de observações efetuadas num microscópio eletrónico de varrimento ambiental, com espectrómetro de dispersão de energias acoplado, os autores inferiram que nas superfícies com acabamento rugoso, a cristalização de gesso e halite ocorre no interior da rocha, próximo da sua superfície, originando simultaneamente: o desenvolvimento de poros de novas dimensões e a abertura de microfissuras de 3–20µm. Estas ocorrências provocam a duplicação da porosidade aberta da rocha. Pelo contrário, o efeito selante do acabamento polido determina que a precipitação de gesso e halite ocorra preferencialmente sobre a superfície da rocha, ao invés de no seu interior e, por consequência, que a modificação no seu sistema de poros seja reduzida. Quanto à tonalidade do calcário, os autores concluíram, que embora as superfícies polidas sejam mais resistentes aos danos gerados pelo sal, são mais propensas à alteração cromática, posto que perdem a sua tonalidade mais quente e esta não é recuperada pela simples remoção mecânica do sal (Urosevic, et al., 2013).

#### **1.4. Esquema do trabalho**

O estudo compreendeu uma fase de trabalho de campo, no decurso da qual foi efetuado um levantamento geológico dos locais de exploração dos calcários. A atividade laboratorial abrangeu estudos, análises e ensaios. Caracterizaram-se os calcários através de estudos petrográficos complementados com análise com microsonda eletrónica. A composição química dos calcários (elementos maiores e traço) foi analisada através de fluorescência de raios X. Determinaram-se as características físico-mecânicas fundamentais, o desempenho em obra e a durabilidade dos calcários, recorrendo a um conjunto de métodos de ensaio regulamentados por normas europeias. Seguiu-se uma fase de análise dos resultados, com particular enfoque no neveiro salino, tendo-se por principal objetivo estabelecer relações entre propriedades dos calcários e comportamentos neste ensaio. A última etapa do estudo foi a elaboração desta dissertação que, após a introdução, se encontra estruturada da seguinte forma: - começa por apresentar-se o enquadramento geológico, no qual se incluiu o levantamento geológico efetuado; - a seguir, faz-se uma descrição das metodologias adotadas nos estudos, análises e ensaios levados a cabo; - segue-se a apresentação de todos os resultados obtidos, no capítulo da caracterização dos calcários; - a análise dos resultados é efetuada no capítulo da avaliação e discussão dos resultados; - seguem-se as conclusões; - por fim, incluiu-se um breve capítulo de perspectivas futuras, que constitui também uma sugestão de trabalho, para a comunidade científica que estuda esta matéria.



## Enquadramento geológico

### 2.1. Generalidades

Os calcários seleccionados para o estudo ocorrem na região designada por Maciço Calcário Estremenho (Figura 3), localizada no Setor Central da Bacia Lusitaniana (Kullberg, et al., 2013). Este maciço corresponde ao conjunto de relevos do centro-Oeste de Portugal, compreendendo a Serra dos Candeeiros (a Este), a Serra de Aire (a Oeste) e, entre as duas, os Planaltos de São Mamede (a Norte) e de Santo António (a Sul e centro). O Parque Natural das Serras de Aire e Candeeiros encontra-se integrado neste maciço (Azerêdo, 2007). A região abrangida pelo Maciço Calcário Estremenho distribui-se por 5 Folhas da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000: a Folha 23-C – Leiria, a Folha 26-B – Alcobaça, a Folha 27-A – Vila Nova de Ourém, a Folha 26-D – Caldas da Rainha e a Folha 27-C – Torres Novas (Manuppella, et al., 1985).

O Maciço Calcário Estremenho é constituído por formações carbonatadas do Jurássico, predominantemente do Jurássico Médio, o qual inclui sobretudo fácies marinhas internas, representadas por: i) depósitos de alta energia (calcários oolíticos e bioclásticos com estratificação oblíqua, calcários calciclásticos maciços e biostromas) gerados num paleoambiente de ilhas-barreira; ii) depósitos lagunares; iii) depósitos perimareais (calcários micríticos e oncolíticos, dismicrites, dolomicrites e calcretos) formados nas áreas protegidas de antebarrreira interna. Ocorrem também fácies de meio marinho aberto, mas com menor expressão que as anteriores (Azerêdo, 2007).

O Maciço Calcário Estremenho (MCE) tem sido alvo de inúmeros estudos, uns versando aspetos particulares e outros de carácter mais abrangente. Destes últimos, o mais recente exemplo é o estudo desenvolvido por Jorge Ferreira de Carvalho, no âmbito do seu Doutoramento em Geologia, pela Faculdade de Ciências, da Universidade de Lisboa (Carvalho,

2013). O estudo e estabelecimento das principais famílias de diáclases e das unidades litoestratigráficas com aptidão ornamental, permitiu ao referido autor definir as áreas potenciais para a exploração de calcários ornamentais no MCE (Carvalho, 2013).

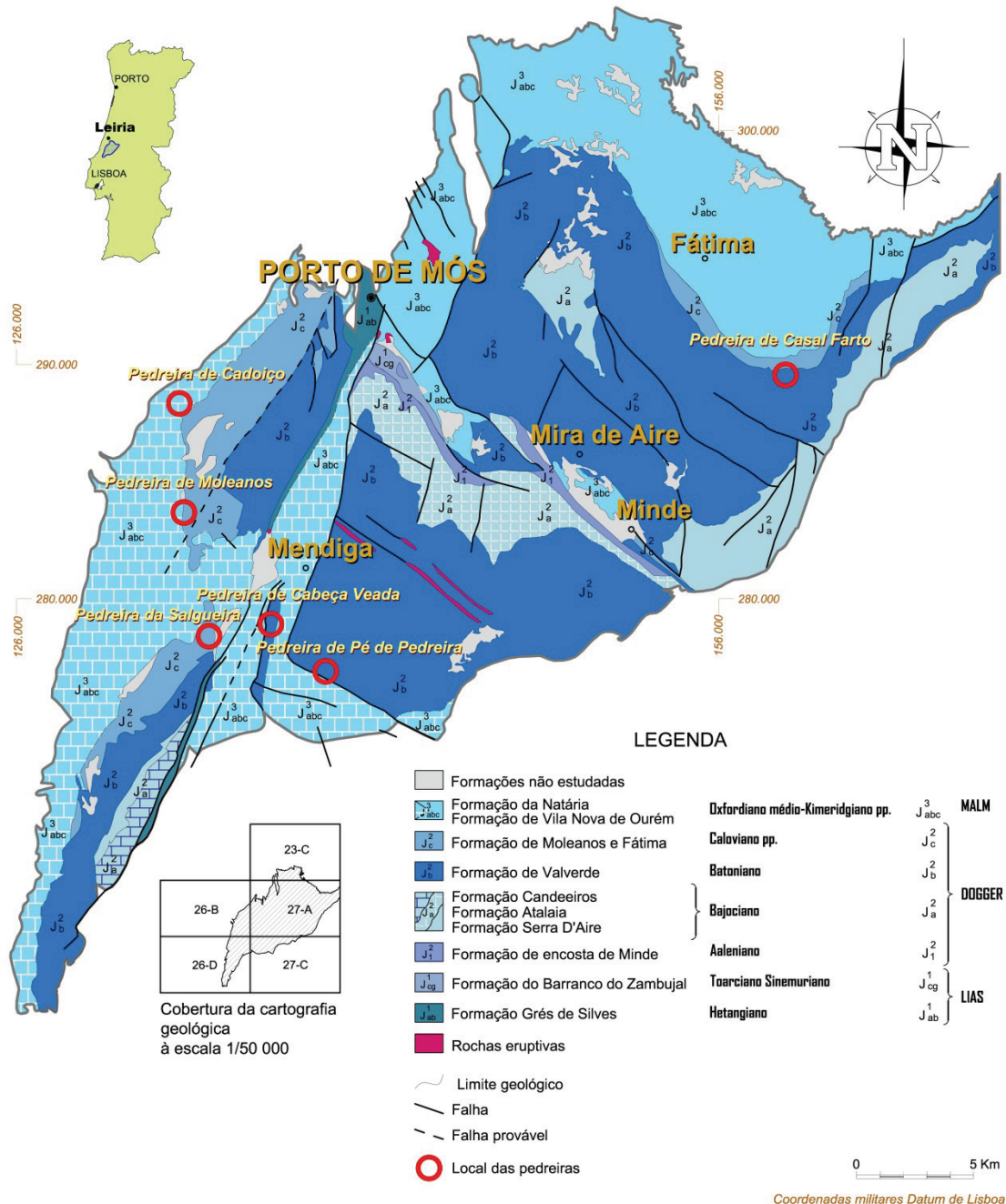


Figura 3 – Carta geológica simplificada do Maciço Calcário Estremenho (Manuppella, et al., 1985), contendo a localização das pedreiras onde são explorados os calcários selecionados para o estudo.

Os calcários que foram estudados são explorados por empresas distintas, em pedreiras distribuídas por todas as folhas da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000, que englobam o Maciço Calcário Estremenho, exceto pela Folha 23-C – Leiria. Foi levado a cabo um levantamento geológico das pedreiras, embora sintético, que se apresenta a seguir.

## 2.2. Caracterização sumária das pedreiras

### 2.2.1. Pedreira de exploração do Calcário “Cabeça de Veada”

#### 2.2.1.1. Localização e identificação

A localização e identificação da pedreira encontram-se na Tabela 1 a seguir apresentada.

Tabela 1 — Calcário “Cabeça de Veada”. Localização e identificação da pedreira.

<b>Lugar</b>	Cabeça de Veada
<b>Freguesia</b>	Mendiga
<b>Concelho</b>	Porto de Mós
<b>Distrito</b>	Leiria
<b>Coordenadas GPS</b> (centro aproximado da pedreira) (Fonte: <a href="https://www.google.pt/maps">https://www.google.pt/maps</a> )	39°28'34.0" N 8°52'01.2" W
<b>Licença</b>	Nº 3433
<b>Denominação</b>	Rosal nº 3

#### 2.2.1.2. Descrição

A área de exploração do calcário “Cabeça de Veada” situa-se cerca de 400m a Oeste da povoação que lhe conferiu a sua designação comercial. A área é genericamente retangular, tem cerca de (850×250)m, estando o seu eixo maior alinhado aproximadamente com o eixo Norte-Sul. Nela estão implantadas 4 pedreiras contíguas, distribuídas ao longo dos 850m de extensão. O calcário estudado é explorado no extremo Sul dessa área, numa pedreira que ocupa uma área de (250×160)m (Figura 4). A pedreira — Rosal nº 3 — pertence à empresa Candipetra — Mármore da Serra dos Candeeiros, Lda., que também é proprietária da pedreira localizada imediatamente a seguir, a Norte daquela. De acordo com informações recolhidas no local, o calcário explorado a Sul da área total é mais compacto, enquanto o calcário explorado a Norte dessa área é menos compacto.



Figura 4 – Imagem de satélite da área de exploração do calcário “Cabeça de Veada”. Delimitação (a vermelho) da pedreira Rosal nº 3. (Fonte: <https://www.google.pt/maps>).

As bancadas observadas na pedreira apresentam uma atitude N15-25°E 32°SE, apesar de haver autores (Quartau, 1998) que referem que, na região, a estrutura do calcário inclina 45° para Este (Figura 5). O nível com mais interesse do ponto de vista ornamental tem cerca de 1km de extensão e cerca de 40m de espessura (Manuppella, et al., 2006).



Figura 5 – Pedreira Rosal nº 3. Aspeto geral do seu limite Sul, onde é possível observar-se a inclinação regional do calcário para Este (Quartau, 1998).

Na pedreira Rosal nº 3 são explorados blocos com as dimensões aproximadas de (2,8×1,5×1,8)m. O destaque de placas de calcário a partir do maciço é efetuado através de fio diamantado. O esquadreamento dos blocos a partir das placas é efetuado com recurso a uma banqueadora (Figura 6).



Figura 6 – Pedreira Rosal nº 3. Detalhe do esquadreamento dos blocos com recurso a uma banqueadora.

Além dos blocos, para os quais não foi possível obter um valor objetivo da sua produção mensal, é ainda fabricada cal a partir do calcário da camada de alteração, que cobre o nível com interesse ornamental. Quanto ao rendimento da pedreira, também não se conseguiu obter essa informação. A pedreira tem uma frente de desmonte com uma altura máxima de 10-12m e é cortada por uma grande falha com a atitude N55°E 50°NW. A caixa de falha tem 20-50cm de espessura e está preenchida por calcário esmagado e terra rossa. Para Ocidente desta falha, o calcário é muito mais fraturado. Ocorrem, ainda, fraturas sem espaçamento regular. As principais apresentam atitudes N55°E 70°S, N55°E subvertical, N20°E subvertical e N50°E subvertical (Figura 7).

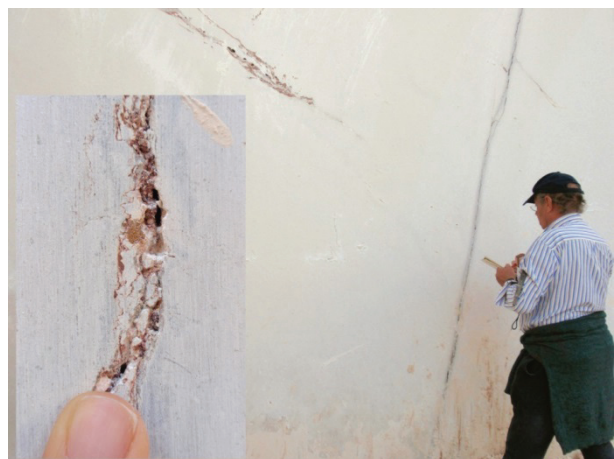


Figura 7 – Pedreira Rosal nº 3. Aspeto geral de uma das fraturas, que corta a pedreira e detalhe do seu preenchimento (à esquerda).

Por vezes, ocorrem cavidades resultantes da dissolução/precipitação do calcário (Figura 8), nas quais se observa calcite esparítica (estalactites e estalagmites).



Figura 8 – Pedreira Rosal nº 3. Aspeto de uma das cavidades resultantes da dissolução/precipitação do calcário.

Nesta área de exploração, a sucessão estratigráfica completa é constituída por: i) calcários oolíticos bem calibrados, em bancadas maciças, passando superiormente a calcários oobiolásticos (cerca de 10m); ii) calcário biolitítico de granulometria muito grosseira, correspondendo provavelmente a um biostroma, que constitui um nível de referência em termos de exploração de rocha ornamental, sendo designado por “sardão” neste âmbito e que forma uma camada espessa (3m); iii) calcários predominantemente oolíticos (cerca de 15m) (Manuppella, et al., 2006). O calcário explorado na pedreira estudada encontra-se a muro do nível “sardão”, correspondendo portanto ao primeiro calcário da sucessão. Apresenta uma tonalidade beije clara, granulado muito fino, microcristalino e contém fósseis dispersos de lamelibrânquios e de outros grupos.

Por fim, na pedreira situada mais a Norte, destaca-se a ocorrência de uma bancada de calcário de tonalidade cinzento-azulada, com 2-4m de espessura (Figura 9), que acompanha a estratificação. Apesar da sua pouca expressão, em termos de reservas, a empresa proprietária da pedreira (Sousa & Catarino, Lda.) explora esta bancada para fins ornamentais, posto que existe uma grande procura de calcários com aquela tonalidade.

Projetaram-se as coordenadas da pedreira na Folha 27-C – Torres Novas – 2ª Edição, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000 (Figura 10). A pedreira localiza-se na formação  $J_{pp}^2$  – Calcários de Pé da Pedreira. Trata-se de uma unidade lenticular existente no seio dos Calcários micríticos da Serra d’Aire, com os quais localmente se interdigitam. A microfauna de foraminíferos registada nesta formação indica que a mesma representa a parte intermédia do Batoniano (Manuppella, et al., 2006).



Figura 9 – Pedreira situada mais a Norte da área de Cabeça de Veadas. Aspeto de uma bancada de calcário de tonalidade cinzento-azulada, que aí é explorada.

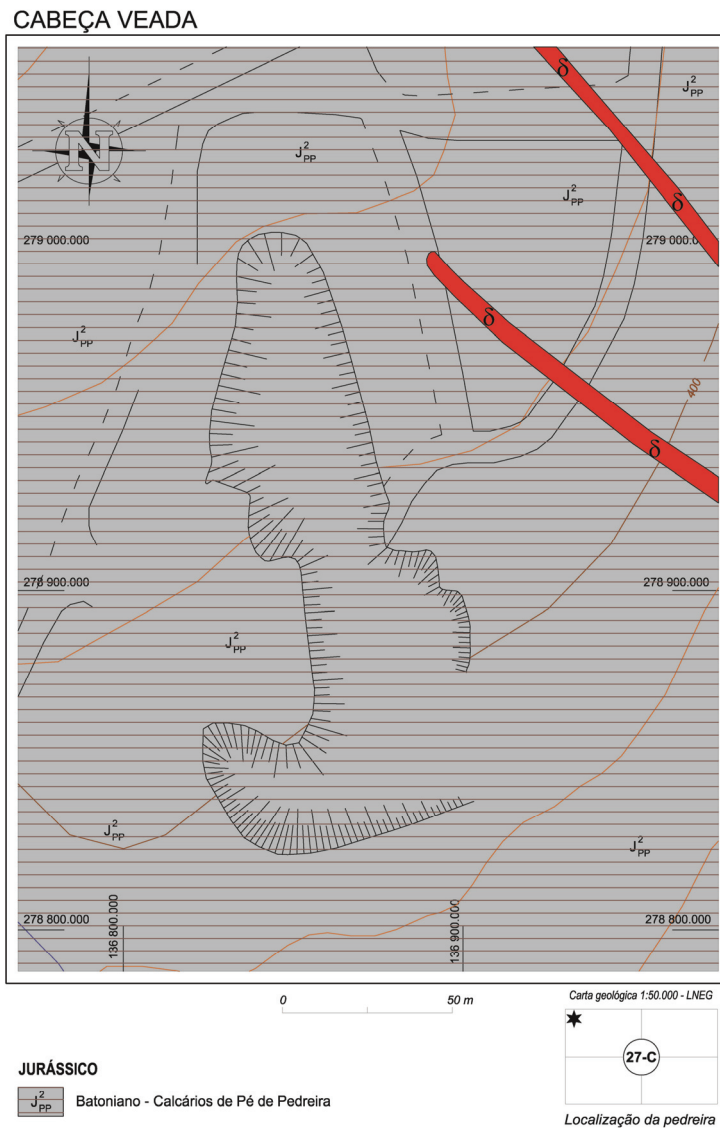


Figura 10 – Projeção da pedreira Rosal nº 3, na área de Cabeça de Veadas, na Folha 27-C – Torres Novas, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000 (Manuppella, et al., 1999).

## 2.2.2. Pedreira de exploração do Calcário “Semi-Rijo do Arrimal”

### 2.2.2.1. Localização e identificação

A localização e identificação da pedreira encontram-se na Tabela 2 a seguir apresentada.

Tabela 2 — Calcário “Semi-Rijo do Arrimal”. Localização e identificação da pedreira.

<b>Lugar</b>	Arrimal
<b>Freguesia</b>	Serro Ventoso
<b>Concelho</b>	Porto de Mós
<b>Distrito</b>	Leiria
<b>Coordenadas GPS</b> (centro aproximado da pedreira) (Fonte: <a href="https://www.google.pt/maps">https://www.google.pt/maps</a> )	39°28'12.5" N 8°53'49.6" W
<b>Licença</b>	Nº 5515
<b>Denominação</b>	Pia das Lages nº 2

### 2.2.2.2. Descrição

A área de exploração do calcário “Semi-Rijo do Arrimal” situa-se praticamente no centro da Serra dos Candeeiros, a cerca de 2km a S-SW da povoação “Arrimal”, num lugar conhecido por Salgueira. A área apresenta cerca de (1,2×0,5)km de extensão e nela estão implantadas diversas pedreiras.

A pedreira onde é explorado o calcário alvo de estudo, está localizada no extremo Norte da área total e ocupa uma extensão de cerca de (490×280)m (Figura 11). É propriedade da empresa Airemármore — Extracção de Mármore, Lda. e a sua exploração desenvolve-se em vários degraus (Figura 12).

De acordo com informações recolhidas no local, nesta pedreira exploram-se cerca de 100m<sup>3</sup> de blocos por mês, sendo a exploração assegurada por 3 trabalhadores. O esquadramento dos blocos é efetuado recorrendo à utilização de fio diamantado.

A bancada útil tem cerca de 14m de espessura e é explorada em socalcos de 4m. O nível mais apropriado para exploração como rocha ornamental, é aquele que se encontra na base da bancada, posto que o nível do topo é muito fraturado.



Figura 11 – Imagem de satélite da área de exploração do calcário “Semi-Rijo do Arrimal”. Delimitação (a vermelho) da pedreira Pia das Lages nº 2.  
(Fonte: <https://www.google.pt/maps>)



Figura 12 – Pedreira Pia das Lages nº 2. Aspeto dos limites NW (esquerda da fotografia) e NE (direita da fotografia).

A bancada explorada é constituída por um calcário de cor beije clara a branca, microcristalino. No seio desta, ocorrem por vezes bandas com nódulos mais escuros, que podem alcançar mais do que 1,5m de espessura e que são rejeitadas (Figura 13). Os nódulos

são arredondados ou elípticos, apresentam em geral até 5cm de diâmetro, dispõem-se segundo a estratificação das camadas e alguns correspondem a fósseis contidos no cimento da rocha.



Figura 13 – Pedreira Pia das Lages nº 2. Aspeto das bandas com nódulos mais escuros, que ocorrem no seio da bancada explorada.

A estratificação das camadas tem direção N25°W e pende 20° para NW. À superfície, observam-se zonas esmagadas preenchidas com terra rossa e calcite esparítica secundária, que chegam a atingir 2m de espessura. Na parte mais superficial, a fraturação é por vezes densa. Foram observadas fraturas sem espaçamento regular e com diversas atitudes, das quais se mediram as seguintes: 8 fraturas com direções N50°-65°W e pendores subverticais a verticais; 4 fraturas com direções N30°-40°W e igualmente com pendor subvertical. Mediram-se, ainda, fraturas com as seguintes atitudes: N40°W 35°N, N40°W 40°S, N80°W 60°N, N80°E 35°N e N-S 45°W.

Projetaram-se as coordenadas da pedreira na Folha 26-D – Caldas da Rainha, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000 (Figura 14). Localiza-se na formação  $J_{abc}^2$  – Caloviano ( $J_c^2$ ), Batoniano ( $J_b^2$ ) e Bajociano ( $J_a^2$ ), posto que, conforme refere a respetiva notícia explicativa (Zbyszewski & Almeida, 1960), na data de edição da Folha em questão (1959), ainda não tinha sido possível destrinçar a qual dos 3 níveis pertenciam os calcários existentes na Serra dos Candeeiros. Segundo a mesma fonte, esta dificuldade decorria da inexistência de bons níveis fossilíferos naquela serra, fundamentais para a correta datação dos calcários. Posteriormente, em 1998 e 1999, aquando da reedição das Folhas: 27-A – Vila Nova de Ourém e 27-C – Torres Novas, respetivamente, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000, a formação em análise passou a ser identificada por  $J_{MI}^2$  - Calcários de Moleanos, tendo-lhe sido atribuída idade Caloviana através de dados paleontológicos (Manuppella, et al., 2000). Trabalhos recentes, versando a litoestratigrafia do Jurássico Inferior e Médio do Maciço Calcário Estremenho, integram o calcário explorado em Salgueira, na Formação de Santo

António – Candeeiros [Batoniano-Caloviano] e dentro desta no Membro de Pé da Pedreira, pertencente ao Batoniano (Azerêdo, 2007).

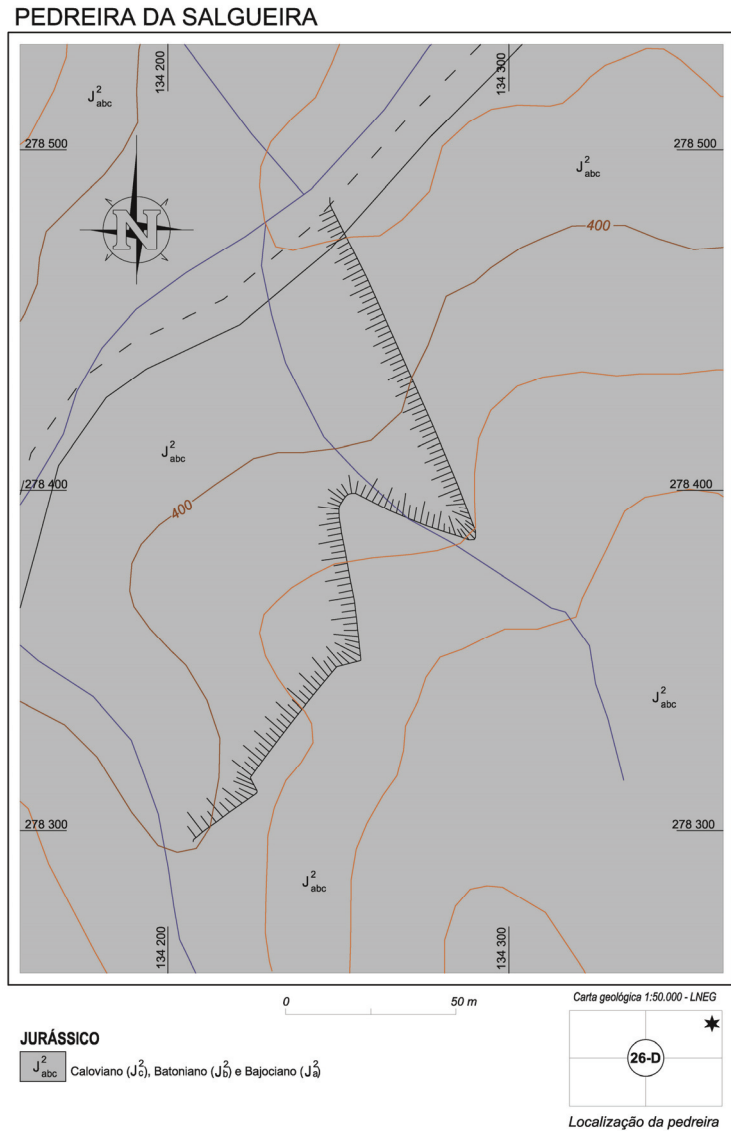


Figura 14 – Projeção da pedreira Pia das Lages nº 2, na área de Salgueira, na Folha 26-D – Caldas da Rainha, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000 (Zbyszewski & Matos, 1959).

### 2.2.3. Pedreira de exploração do Calcário “Creme Fátima”

#### 2.2.3.1. Localização e identificação

A localização e identificação da pedreira encontram-se na Tabela 3 a seguir apresentada.

Tabela 3 — Calcário “Creme Fátima”. Localização e identificação da pedreira.

<b>Lugar</b>	Casal Farto
<b>Freguesia</b>	Fátima
<b>Concelho</b>	Ourém
<b>Distrito</b>	Santarém
<b>Coordenadas GPS</b> (centro aproximado da pedreira) (Fonte: <a href="https://www.google.pt/maps">https://www.google.pt/maps</a> )	39°34'18.9" N 8°36'40.2" W
<b>Licença</b>	Nº 6533
<b>Denominação</b>	Valinho do Curral nº 2

### 2.2.3.2. Descrição

Uma das áreas nas quais se explora o calcário comercializado sob a designação “Creme Fátima” encontra-se praticamente encostada à povoação de Casal Farto, desenvolvendo-se para SE desta. Ocupa uma extensão de (1,4x0,6)km e nela estão instaladas inúmeras pedreiras, grande parte das quais contíguas, sendo por vezes difícil identificar os limites entre elas (Figura 15).



Figura 15 – Imagem de satélite da área de exploração do calcário “Creme Fátima”. Delimitação (a vermelho) da pedreira Valinho do Curral nº 2 (Fonte: <https://www.google.pt/maps>).

A pedreira estudada localiza-se praticamente no extremo Este da área de Casal Farto (Figura 16), ocupando uma faixa de (450×70)m. A pedreira está instalada nos calcários oolíticos do Batoniano, na formação denominada calcários oolíticos de Fátima.



Figura 16 – Pedreira Valinho do Curral nº 2. Vista da frente NW de desmonte (direita da fotografia).

As bancadas exploradas possuem genericamente 1 a 1,5m de espessura e apresentam uma atitude N35°E 15°N. Por vezes é possível destacar blocos compactos, em bancadas com pelo menos 4m de espessura. A pedreira está dividida por fraturas N50°W subverticais, com um espaçamento médio de cerca de 3m.

Nas zonas da pedreira em que a densidade da fraturação subvertical é maior (zonas menos profundas), o calcário encontra-se mais alterado, devido à oxidação da matéria orgânica nele contida. Este calcário apresenta uma tonalidade beije clara, quase branca e é aquele que atualmente tem interesse, do ponto de vista ornamental, para a empresa exploradora — A. C. Viana — Pedras, Lda.. Nas zonas mais profundas da pedreira, a densidade da fraturação subvertical é menor e o calcário encontra-se menos alterado. Este calcário, pelo facto de ser mais rico em matéria orgânica, apresenta uma tonalidade beije escura ou cinzento-azulada. Este último — um calcário oolítico cinzento azulado — ocorre por vezes entre fraturas subverticais (Figura 17), não forma bancadas bem definidas e não é extraído para fins ornamentais pela empresa atrás referida.

Não foi possível recolher informações no local relativas à produção mensal. Porém, conseguiu-se averiguar que são explorados blocos de diferentes cubicagens. Os menores apresentam as dimensões de (2,5×1,5×0,8)m, os de tamanho intermédio as dimensões de

(2,5×2,0×1,0)m e os blocos maiores as dimensões de (2,5×1,5×1,5)m. O esquadreamento dos blocos é efetuado com recurso a uma banqueadora (Figura 18).



Figura 17 – Pedreira Valinho do Curral nº 2. Nível inferior da pedreira, no qual ocorre um calcário cizento azulado, que não forma bancadas bem definidas. Na fotografia, este calcário está situado à direita da fratura subvertical assinalada.



Figura 18 – Pedreira Valinho do Curral nº 2. Esquadreamento de um bloco com recurso a uma banqueadora.

O calcário explorado é oolítico, geralmente fino, esporadicamente com estilólitos finos, inferiores a 1mm, preenchidos por argila avermelhada. Conforme já foi referido anteriormente, a variedade ornamental presentemente mais importante é o branco-beije (Figura 19).



Figura 19 – Pedreira Valinho do Curral nº 2. Aspeto de ambos os calcários que ocorrem na pedreira: o branco-beije e à sua esquerda o cinzento azulado, que não é explorado.

Projetaram-se as coordenadas da pedra na Folha 27-A – Vila Nova de Ourém, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000 (Figura 20). A pedra localiza-se na formação  $J_{Fa}^2$  – Calcários oolíticos de Fátima. Trata-se de uma unidade lenticular existente no seio dos Calcários micríticos da Serra d’Aire. A fauna de foraminíferos identificada neste nível e o enquadramento geométrico, permitiram situar a formação no Batoniano superior (Manuppella, et al., 2000).

## CASAL FARTO

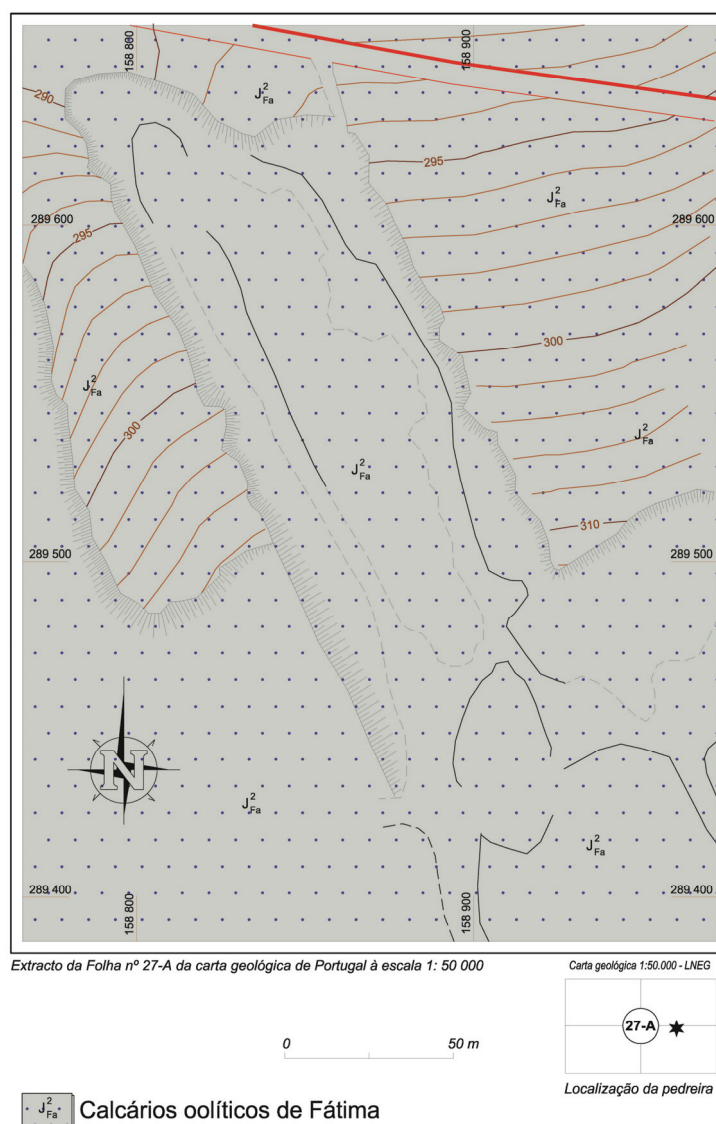


Figura 20 – Projeção da pedra Valinho do Curral nº 2, na área de Casal Farto, na Folha 27-A – Vila Nova de Ourém, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000 (Manuppella, et al., 1998).

## 2.2.4. Pedreira de exploração do Calcário “Moca Creme”

### 2.2.4.1. Localização e identificação

A localização e identificação da pedreira encontram-se na Tabela 4 a seguir apresentada.

Tabela 4 — Calcário “Moca Creme”. Localização e identificação da pedreira.

<b>Lugar</b>	Pé da Pedreira
<b>Freguesia</b>	Alcanede
<b>Concelho</b>	Santarém
<b>Distrito</b>	Santarém
<b>Coordenadas GPS</b> (centro aproximado da pedreira) (Fonte: <a href="https://www.google.pt/maps">https://www.google.pt/maps</a> )	39°27'27.4" N 8°50'23.5" W
<b>Licença</b>	Nº 4909
<b>Denominação</b>	Chainça

### 2.2.4.2. Descrição

Existem várias áreas nas imediações da povoação de Pé da Pedreira onde são exploradas as diversas variedades do calcário designado por Moca. Uma dessas áreas situa-se a cerca de 0,5km para N-NE de Pé da Pedreira, ocupa uma área de (900×850)m e nela estão instaladas várias pedreiras. A pedreira da Chainça, onde é explorado o calcário alvo deste estudo, localiza-se no extremo Oeste da área observada na imagem de satélite (Figura 21).

A pedreira ocupa uma área de (420×150)m (Figura 22) e pertence à empresa Calcdrata — Indústrias de Cal, S.A.. Nesta, as bancadas de calcário apresentam-se subhorizontais — estratificação subhorizontal.

A camada com interesse ornamental — camada de Moca — tem cerca de 8m de espessura (Figura 23). Acima desta existe uma camada com 1,5-3m de espessura, de material que é rejeitado e utilizado no fabrico de cal. Abaixo da camada de Moca, há uma camada de Vidraço, que não tem interesse ornamental, pelo facto de se encontrar muito fraturada.



Figura 21 – Imagem de satélite da área de exploração do calcário “Moca Creme”. Delimitação (a vermelho) da pedreira da Chainça.  
(Fonte: <https://www.google.pt/maps>)



Figura 22 – Pedreira da Chainça. Vista dos limites NW (esquerda), NE (meio, ao fundo) e SE (direita).



Figura 23 – Pedreira da Chainça. Camada de Moca e, por cima desta, camada de material que não é aproveitado.

A camada de Moca não é homogénea: apresenta níveis com texturas mais grosseiras e níveis com texturas mais finas. Existem níveis com granulometrias alternantes, que por vezes definem estratificações entrecruzadas (Figura 24). Aproximadamente a meio da camada de Moca ocorre um nível com cerca de 1,5m de espessura, de Moca fino, comercialmente designado por “Relvinha”, que pelo facto de ser muito procurado, apresenta um valor comercial acrescido.



Figura 24 – Pedreira da Chainça. Aspeto da estratificação entrecruzada, que por vezes se observa na camada do Moca.

A camada de Moca é cortada por fraturas sem espaçamento regular, que apresentam as seguintes atitudes: N80°W vertical, N60°E subvertical e N70°E subvertical. Esta última trata-se de uma fratura aberta, cuja abertura varia entre os 50cm e os 1,5m, encontrando-se preenchida com calcite e terra rossa. Existem, ainda, outras fraturas abertas, algumas das quais com aberturas a variar entre os 40 e os 50cm e também com preenchimento calcítico e de terra rossa. Dentro destas, mediram-se as que apresentam as seguintes atitudes: N60°E subvertical, N70°E subvertical (duas), N70°W subvertical, N80°E subvertical, N70°E 70°N, N75°E subvertical, N80°W subvertical, N85°W 85°N e N55°E subvertical.

Quanto ao tipo de exploração, esta é feita recorrendo a fio diamantado e a roçadora de cadeia. De acordo com informações recolhidas no local, a pedreira produz 250m<sup>3</sup> de calcário, por mês.

Projetaram-se as coordenadas da pedreira na Folha 27-C – Torres Novas – 2ª Edição, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000 (Figura 25). A pedreira localiza-se na

formação  $J_{pp}^2$  – Calcários de Pé da Pedreira. Trata-se de uma unidade cuja microfauna de foraminíferos nela contida permite datá-la como pertencente à parte intermédia do Batoniano e que ocorre, sob a forma de lenticulas, no seio dos Calcários micríticos da Serra d’Aire, com os quais se interdigita localmente (Manuppella, et al., 2006).

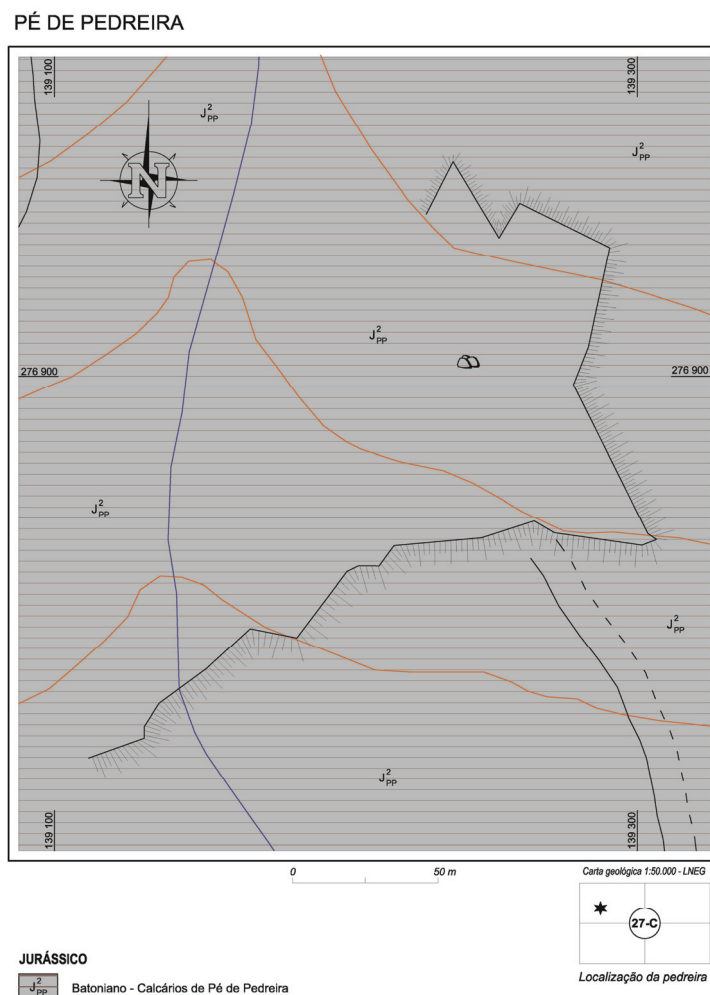


Figura 25 – Projeção da pedreira da Chainça, na área de Pé da Pedreira, na Folha 27-C – Torres Novas, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000 (Manuppella, et al., 1999).

## 2.2.5. Pedreira de exploração do Calcário “Moleanos”

### 2.2.5.1. Localização e identificação

A localização e identificação da pedreira encontram-se na Tabela 5 a seguir apresentada.

Tabela 5 — Calcário “Moleanos”. Localização e identificação da pedreira.

<b>Lugar</b>	Moleanos
<b>Freguesia</b>	Aljubarrota (Prazeres)
<b>Concelho</b>	Alcobaça
<b>Distrito</b>	Leiria
<b>Coordenadas GPS</b> (centro aproximado da pedreira) (Fonte: <a href="https://www.google.pt/maps">https://www.google.pt/maps</a> )	39°31'06.9" N 8°54'37.8" W
<b>Licença</b>	Nº 4990
<b>Denominação</b>	Moleanos nº 3

### 2.2.5.2. Descrição

As variedades de calcários “Moleanos” são exploradas em várias áreas situadas na povoação de Molianos (também denominada por Moleanos) e nas suas proximidades.

A pedreira onde é explorado o calcário estudado situa-se dentro da povoação de Moleanos (Figura 26).



Figura 26 – Imagem de satélite da pedreira Moleanos nº 3.  
(Fonte: <https://www.google.pt/maps>)

A pedreira ocupa uma área de (200×150)m (Figura 27) e pertence à empresa Sousa & Catarino, Lda..



Figura 27 – Pedreira Moleanos nº 3. Vista de parte dos limites: Norte (metade esquerda da fotografia) e Este (metade direita).

Na sua zona mais profunda, a pedreira apresenta cerca de 20m de frente, na qual se explora uma bancada útil com cerca de 30m de espessura. Os 5m superficiais da pedreira não são aproveitados para rocha ornamental. Trata-se de um calcário de tonalidade mais escura, disposto em bancadas menos espessas e fraturadas, pertencentes a uma unidade distinta, datada do Jurássico Superior (Figura 28).



Figura 28 – Pedreira Moleanos nº 3. Vista Norte, na qual se observam as bancadas menos espessas e fraturadas de calcário mais escuro pertencentes ao Jurássico Superior, que se sobrepõem ao calcário explorado, pertencente ao Jurássico Médio.

A bancada útil, pertencente ao Jurássico Médio, não é homogénea, motivo pelo qual são exploradas diversas variedades de calcário “Moleanos”: o “Vidraço de Moleanos”, também conhecido por “Creme Moleanos” (ou “Moleanos Creme”), o “Moleanos Rijo” e o “Moleanos Macio”. Além das variedades beijas, é explorada ainda uma de cor cinzenta azulada: o “Azul Moleanos”. Quanto à estratificação, esta apresenta uma atitude de N20°W 30°SW. A pedreira é cortada por fraturas N-S subverticais, que a gíria extrativa local denomina por “cabos reais”. Estas fraturas delimitam fácies com texturas ligeiramente diferentes e apresentam atitude N10°E 85°E (Figura 29). Além destas, existem ainda fraturas abertas, com aberturas preenchidas com cerca de 20cm de terra rossa e com as seguintes atitudes: N10°E vertical, N75°W vertical e N75°W subvertical. Observam-se também fraturas com as seguintes atitudes: N30°E 70°E, N10°E vertical e N-S vertical. Por fim, observam-se ainda alguns estilólitos dispostos subparalelamente à estratificação e com atitude N10°E 25°W.



Figura 29 – Pedreira Moleanos nº 3 (Norte). Aspeto da frente de desmorte mais profunda da pedreira (20 m), na qual se podem observar as fraturas denominadas, na gíria extrativa local, por “cabos reais”.

Na pedreira são produzidos blocos com 4m de altura, 2,9m de comprimento e 1,5m de largura. A exploração é totalmente efetuada com roçadora de cadeia (Figura 30), uma vez que a pedreira carece de sistema de escoamento de águas e este tipo de equipamento corta por via seca. Por outro lado, a roçadora de cadeia torna-se mais segura do que o corte através de fio diamantado, uma vez que não corta ao toque e não rompe, como acontece com o fio diamantado.



Figura 30 – Pedreira Moleanos nº 3. Detalhe do corte de um bloco com roçadora de cadeia.

Não foi possível recolher, no local, informações relativas à produção mensal. Estima-se que a produção seja de 200-250m<sup>3</sup>/mês, em média. Do volume total de calcário extraído, 30% são resíduos, como consequência da fraturação existente no local e da rejeição dos 5m superficiais da pedreira.

Projetaram-se as coordenadas da pedreira na Folha 26-B – Alcobaça, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000 (Figura 31). A metade Oeste da pedreira localiza-se na

formação  $J_B^3$  – Lusitaniano Médio: “Camadas de Montejunto”. O calcário de tonalidade mais escura pertencente a esta formação, não é explorado para fins ornamentais. A metade Este da pedra localiza-se na formação  $J_{abc}^2$  – Caloviano ( $J_c^2$ ), Batoniano ( $J_b^2$ ) e Bajociano ( $J_a^2$ ). Esta formação ( $J_{abc}^2$ ) passou a ser identificada por  $J_{MI}^2$  - Calcários de Moleanos e foi datada como pertencendo ao Caloviano, através de dados paleontológicos, no âmbito do trabalhos efetuados para a reedição das Folhas: 27-A – Vila Nova de Ourém e 27-C – Torres Novas, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000. Com a reedição destas folhas, a formação  $J_B^3$  passou a ser identificada por  $J_{CM}^3$  – Camadas de Cabaços e de Montejunto. As camadas de Montejunto foram datadas do Oxfordiano superior, a partir de extensos dados paleontológicos (Manuppella, et al., 2000).



Figura 31 – Projeção da pedra Moleanos nº 3 na Folha 26-B – Alcobaça, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000 (Zbyszewski, et al., 1961).

## 2.2.6. Local de exploração do Calcário “Azul Ataija”

### 2.2.6.1. Localização

As informações referentes ao local de exploração do calcário “Azul Ataija” encontram-se na Tabela 6 a seguir apresentada.

Tabela 6 — Calcário “Azul Ataija”. Informações referentes ao local de exploração.

<b>Lugar</b>	Cadoiço
<b>Freguesia</b>	Aljubarrota (S. Vicente)
<b>Concelho</b>	Alcobaça
<b>Distrito</b>	Leiria
<b>Coordenadas GPS</b> (centro aproximado da pedreira) (Fonte: <a href="https://www.google.pt/maps">https://www.google.pt/maps</a> )	39°33'38.1" N 8°54'47.1" W

### 2.2.6.2. Descrição

A área de extração do calcário não constitui propriamente uma pedreira, nos moldes convencionais. Trata-se de um local com uma área de (130×50)m, situado a cerca de 300m para Este do centro de Cadoiço (Figura 32), no qual é explorado um calcário, em regime “oficioso”. No entanto, com o objetivo de simplificar a leitura, doravante vai designar-se o local em questão por pedreira.



Figura 32 – Imagem de satélite do local de exploração do calcário “Azul Ataija”.  
(Fonte: <https://www.google.pt/maps>)

A pedreira apresenta uma altura máxima de frente de 10m (Figura 33) e é cortada por falhas com caixa de falha espessa e evidenciando esmagamento relevante da rocha. Estas determinaram a movimentação de blocos, com variação da estratificação de local para local da pedreira. Na sua zona SW a estratificação apresenta a atitude de N30°W 10°S. Já na zona NW a atitude é de N50°E 17°N. Na zona Norte central observa-se uma bancada subhorizontal. Por esta razão, é difícil estabelecer a espessura da camada útil. Estima-se que não deverá ultrapassar os 10m, posto que o nível inferior da pedreira se encontra bastante fraturado, inviabilizando o aproveitamento da rocha aí existente para fins ornamentais. As principais fraturas, que cortam a pedreira, têm a atitude E-W subvertical, N75°E 70°S e N60°W 80°S.



Figura 33 – Pedreira de exploração do calcário “Azul Ataija”. Vista da frente de exploração S-SW.

A rocha explorada nesta pedreira é um calcário de cor azulada (Figura 34), microesparítico.



Figura 34 – Pedreira de exploração do calcário “Azul Ataija”. Aspeto do calcário de cor azulada explorado no local.

Não foi possível recolher, no local, informações relativas à produção mensal, tendo-se estimado que seja cerca de 30m<sup>3</sup>/mês de blocos. A exploração é assegurada por 2 trabalhadores.

Projetaram-se as coordenadas da pedra na Folha 26-B – Alcobaça, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000 (Figura 35). A pedra localiza-se na formação  $J_b^3$  – Lusitaniano Médio: “Camadas de Montejunto”. Esta formação passou a ser identificada por  $J_{CM}^3$  – Camadas de Cabaços e de Montejunto, após a reedição das Folhas: 27-A – Vila Nova de Ourém e 27-C – Torres Novas, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000. Extensos dados paleontológicos permitiram datar as camadas de Montejunto como pertencendo ao Oxfordiano superior (Manuppella, et al., 2000).

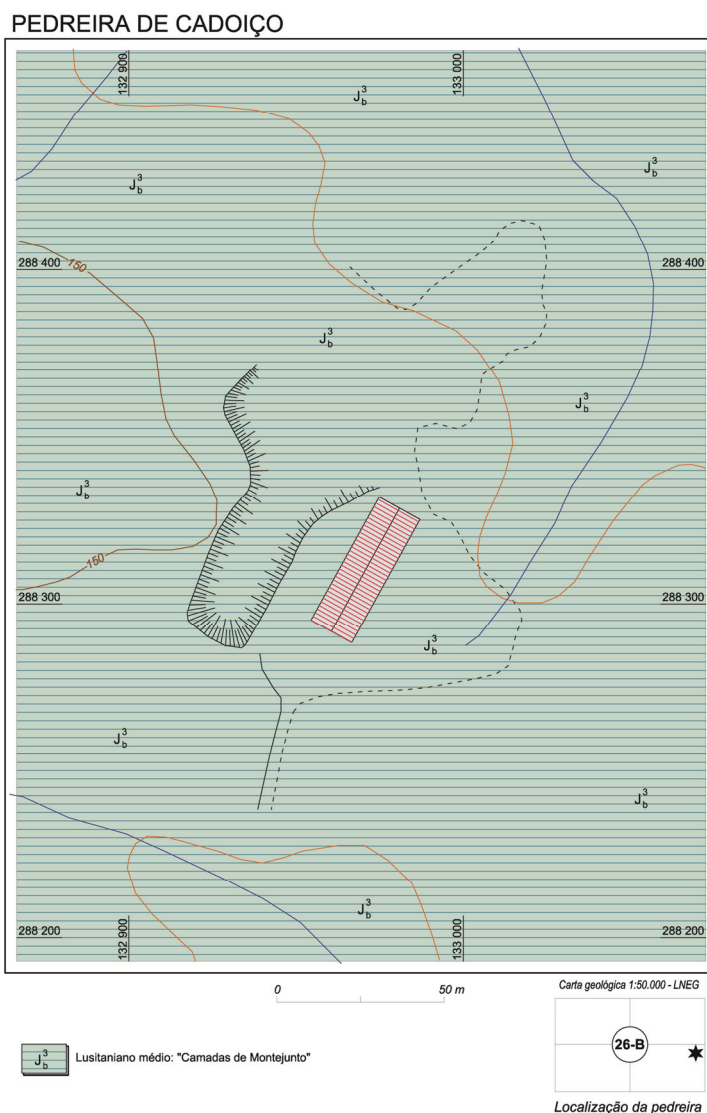
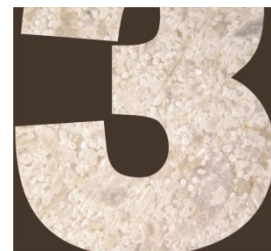


Figura 35 – Projeção da pedra de exploração do calcário “Azul Ataija”, no Lugar de Cadoiço, na Folha 26-B – Alcobaça, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000 (Zbyszewski, et al., 1961).



## Metodologia

### 3.1. Introdução

Amostras representativas dos calcários selecionados para este estudo foram caracterizadas do ponto de vista petrográfico, químico e tecnológico, através de metodologias de ensaio específicas. O estudo petrográfico e a análise química foram levados cabo de acordo com métodos internos do laboratório executante. Recorreu-se a normas europeias de ensaio para a determinação das principais propriedades físico-mecânicas dos calcários. Os principais aspetos de cada uma das metodologias aplicadas são a seguir descritos.

### 3.2. Estudo petrográfico

Este estudo foi efetuado pelo Setor de Petrologia e Gemologia, da Unidade de Ciência e Tecnologia Mineral – Laboratório (UCTM-Lab), do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG). Apesar de ter sido executado de acordo com um método interno desenvolvido pelo setor, o estudo cumpriu os principais requisitos da norma europeia EN 12407. Teve por base uma placa de dimensões (150×150×30)mm, com a textura típica de cada calcário estudado e com uma das suas faces quadradas com acabamento amaciado. Esta face foi utilizada na descrição macroscópica da rocha. Na análise microscópica, utilizou-se uma lâmina delgada polida de cada calcário, com as dimensões planares aproximadas de (45×26)mm e com 30µm de espessura (Figura 36). Cada lâmina foi analisada através de um microscópio ótico de luz polarizada Olympus, modelo BH-2, com a finalidade de se determinar a constituição de cada calcário (tipos de componentes, tipo de cimento e respetivas proporções por estimativa visual), a sua textura e a sua composição mineralógica. Foram, também, registadas

microfotografias com uma máquina fotográfica Olympus, modelo C5050, acoplada a um microscópio ótico Zeiss, modelo Axioplan.



Figura 36 – Lâmina delgada obtida a partir da amostra do calcário “Moleanos”, utilizada no estudo petrográfico.

### 3.3. Estudo através de Microsonda Eletrónica

Este estudo foi levado a cabo pelo Setor de Microsonda Eletrónica da UCTM-Lab e utilizou as mesmas lâminas delgadas polidas, que as usadas no estudo petrográfico. Contudo, as lâminas foram previamente metalizadas com carbono, com recurso a um metalizador BAL-TEC 035 (Figura 37), de modo a assegurar a sua condutividade elétrica superficial. O recurso à microsonda eletrónica teve como função complementar o estudo petrográfico, mas também avaliar os efeitos do nevoeiro salino em cada calcário estudado, através da comparação de imagens de lâminas de provetes não submetidos, com provetes submetidos a nevoeiro salino. Permitiu a obtenção de imagens de eletrões retrodifundidos (COMP), que mostraram as fases minerais e poros presentes nas amostras. As fases e inclusões foram identificadas através da obtenção de espectros de dispersão de energias. Possibilitou, ainda, obter imagens de eletrões secundários (SEI), que revelaram alguns aspetos morfológicos dos calcários. O equipamento utilizado foi uma microsonda eletrónica da marca JEOL (Figura 38), modelo JXA – 8500F.

Figura 37 – Metalizador usado na metalização com carbono das lâminas delgadas polidas utilizadas no estudo através de microsonda eletrónica.

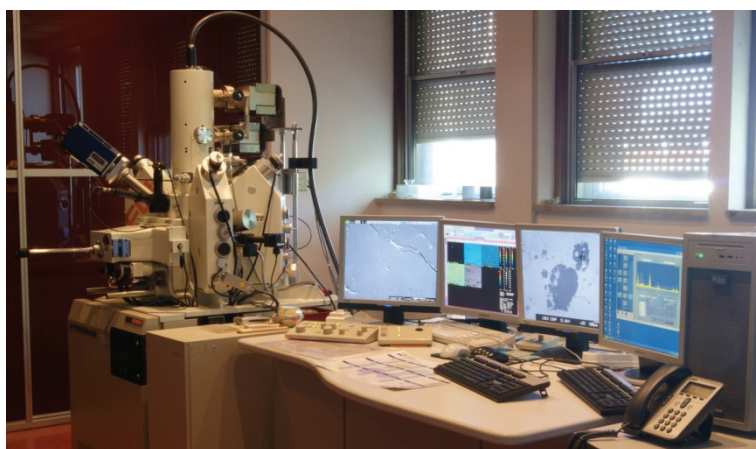
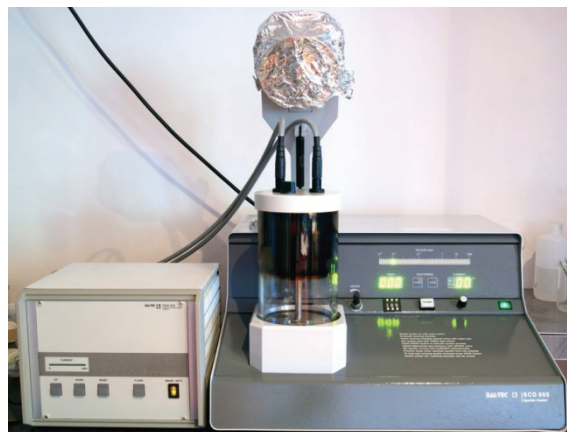


Figura 38 – Microsonda eletrónica utilizada no estudo dos calcários.

### 3.4. Análise química

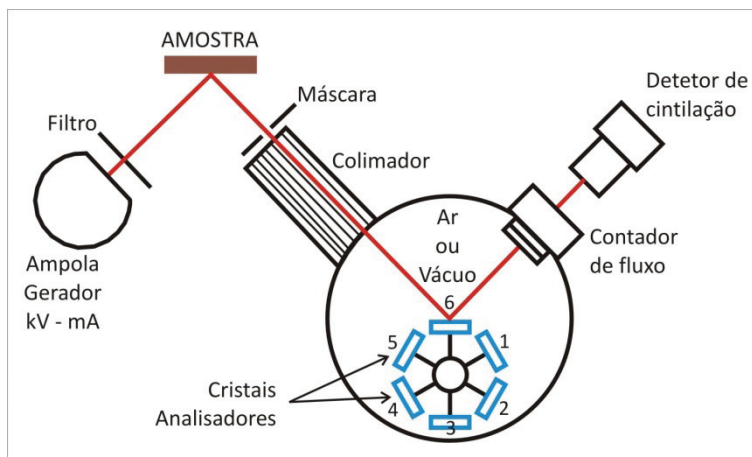
#### 3.4.1. Elementos maiores e traço

A composição química dos calcários foi determinada no Setor de Fluorescência de Raios X, da UCTM-Lab, do LNEG, através de espectrometria de fluorescência de raios X. Trata-se de uma técnica comparativa, que recorre a padrões de referência, permitindo efetuar análises qualitativas e quantitativas, com um elevado grau de precisão e exatidão, de grande parte dos elementos da tabela periódica (do C ao U).

Um espectrómetro de fluorescência de raios X (Figura 39) é genericamente constituído pelos seguintes sistemas:

- sistema de produção de raios X e de excitação da amostra;
- sistema ótico;
- sistemas de: - deteção, - medida e - registo das intensidades.

Figura 39 – Esquema geral de funcionamento de um espectrómetro de fluorescência de raios X.



Na análise, foi utilizado um espectrómetro de fluorescência de raios X sequencial PANalytical, modelo PW2404, de dispersão de comprimentos de onda, equipado com uma ampola de ródio, de 4000W (Figura 40).



Figura 40 – Espectrómetro de fluorescência de raios X utilizado na análise dos calcários.

#### 3.4.1.1. Preparação da amostra

Para cada um dos calcários a analisar, obteve-se uma amostra representativa, constituída por cerca de 500g de material. O processo de cominuição foi levado a cabo pelo Setor de Processamento de Matérias-Primas, da UCTM-Lab, do LNEG. Inicialmente, a totalidade do material de cada amostra foi britado num britador de maxilas, seguido por moagem num moinho de discos cerâmicos. Efetuou-se um controlo da granulometria assim obtida, por peneiração através do crivo de 600 $\mu$ m (28mesh). O material superior a esta abertura de malha foi moído de novo, num moinho almofariz de ágata. Quando todo o material (500g) passou no peneiro de 600 $\mu$ m, foi homogeneizado e esquarterado, de modo a

obter-se uma subamostra de 100g. Esta foi moída num moinho de anéis de ágata, a uma granulometria inferior a 74 $\mu$ m (200mesh), com controlo granulométrico efetuado por peneiração através do respetivo crivo. Após todo o material apresentar uma granulometria inferior a 74 $\mu$ m, foi homogeneizado e esquartelado, com a finalidade de se obter uma subamostra de 50g. Este foi o material utilizado na preparação das amostras para a análise química.

#### **a) Elementos maiores — preparação a partir da amostra moída a 74 micra**

Os elementos maiores, assim designados por serem os de maior representatividade nas rochas, os maioritários, são apresentados normalmente sob a forma de percentagem do respetivo óxido. Correspondem aos elementos de número atómico (Z) baixo — elementos leves. Na análise por fluorescência de raios X apresentam um baixo rendimento de fluorescência, uma vez que os seus átomos são constituídos por um número reduzido de eletrões distribuídos em poucas orbitais. Para se analisarem estes elementos, procedeu-se à calcinação prévia de 5g de amostra (moída a 74 $\mu$ m), a uma temperatura de 1050°C, durante 15 minutos. Este processo teve por objetivo: i) a decomposição do CaCO<sub>3</sub> em CaO e em CO<sub>2</sub>, com libertação deste último; ii) a libertação doutras fases voláteis eventualmente presentes na amostra; iii) a libertação de matéria orgânica, se existente. A massa de amostra libertada durante a calcinação é designada por Perda ao Rubro (P.R.), sendo contabilizada nos cálculos da composição química.

A amostra calcinada foi depois fundida, com o objetivo de destruir a sua matriz e criar uma superfície homogénea, processo que melhora não só o rendimento de fluorescência de raios X, como também facilita a penetração da radiação X (aos elementos leves correspondem comprimentos de onda longos). Para a fusão, colocou-se dentro de um cadinho, de platina e ouro, 0,6g de amostra calcinada, misturada e homogeneizada com 6g de fundente, constituído por metaborato (66,5%) e tetraborato (33,5%) de lítio. Adicionou-se à amostra, já no cadinho, uma quantidade mínima de brometo de lítio, o qual funciona como um expansor durante o arrefecimento após a fusão, evitando que se formem bolhas de ar no interior da amostra e que esta acabe por quebrar. A fusão foi efetuada num forno automático específico — a perladora Philips, modelo Perl'x 3 (Figura 41). Findo o período de fusão, a amostra foi vertida para uma copela (Figura 41), também de platina e ouro, na qual ocorreu o seu arrefecimento. A amostra fundida, de aspeto vítreo, denomina-se pérola (Figura 42).



Figura 41 – Perladora utilizada na preparação de pérolas para análise dos elementos maiores, por espectrometria de fluorescência de raios X (à direita). Detalhe de uma amostra imediatamente após ter sido vertida do cadinho onde fundiu, para a copela, na qual vai arrefecer para obtenção da pérola (à esquerda).

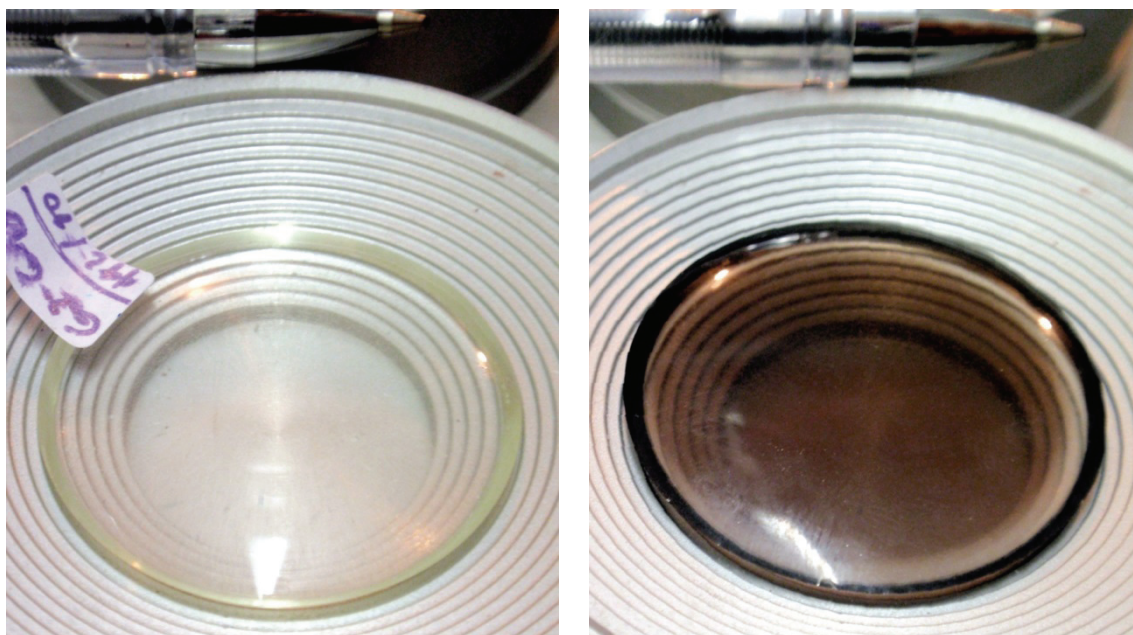


Figura 42 – Aspeto de uma pérola utilizada na análise dos elementos maiores por espectrometria de fluorescência de raios X. À esquerda: antes de ser analisada. À direita: depois de ser analisada.

#### **b) Elementos traço — preparação a partir da amostra moída a 74 micra**

Os elementos traço são aqueles de menor representatividade nas rochas, como a designação indica. Expressam-se normalmente sob a forma elementar e em partes por milhão. Apesar da sua baixa concentração são de extrema importância. Correspondem aos elementos de número atômico (Z) mais alto — elementos pesados. Na análise por fluorescência de raios X apresentam um bom rendimento de fluorescência. Assim, para a sua determinação, a preparação da amostra é bastante mais simples. Misturaram-se e homogeneizaram-se 5g de amostra (moída a 74 micra) com 1,4g de cera (inerte). A mistura foi transferida para uma cápsula de alumínio, colocada dentro de uma prensa HERZOG, modelo HTP40 e submetida a uma pressão de 35 toneladas durante 30 segundos, obtendo-se a amostra prensada, denominada pastilha (Figura 43).

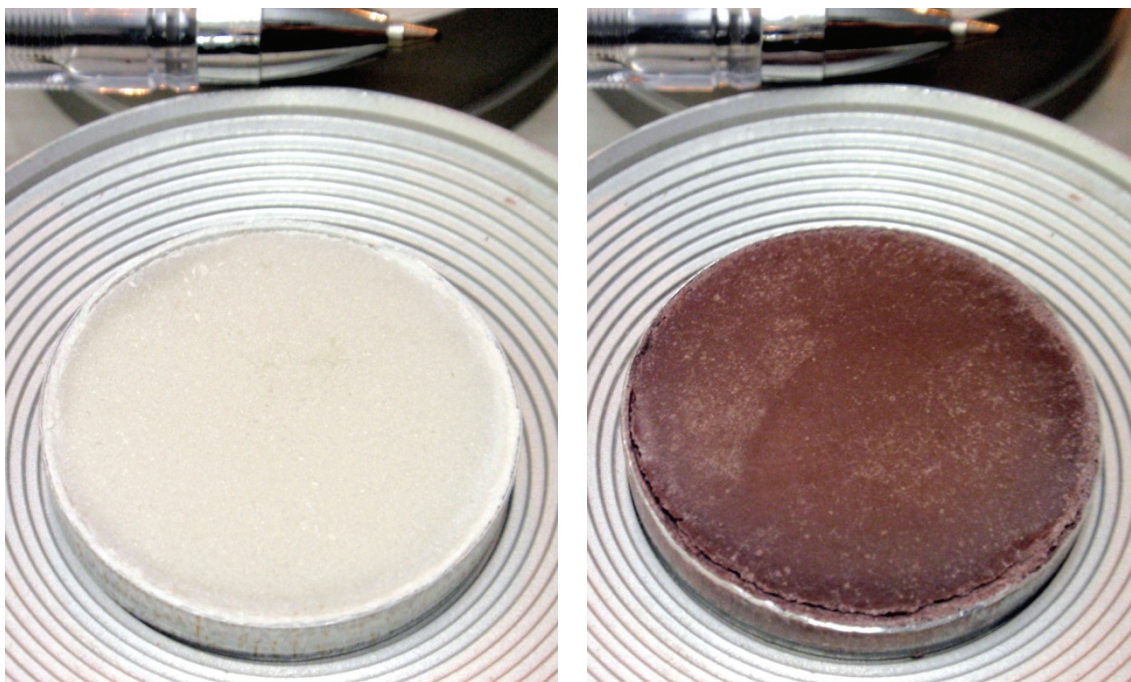


Figura 43 – Análise química. Pastilha utilizada na determinação dos elementos traço, por espectrometria de fluorescência de raios X. À esquerda: antes de ser analisada. À direita: depois de ser analisada.

#### **3.4.1.2. Condições instrumentais**

Cada espectrômetro de fluorescência de raios X possui vários cristais analisadores, colimadores e detetores, que são selecionados em função do elemento a determinar.

### a) Elementos maiores

Na análise química dos elementos maiores constituintes dos calcários, foram utilizadas as condições instrumentais apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 — Espectrômetro de fluorescência de raios X. Condições instrumentais para a determinação dos elementos maiores, nas amostras dos calcários.

Elementos maiores	Cristal analisador	Colimador	Detetor
Si e Al	PE	700	FI
Fe e Mn	LiF (200)	150	FS (duplex)
Ca, K e Ti	LiF (200)	300	FI
Mg e Na	PX1	700	FI
P	Ge	700	FI

### b) Elementos traço

Na determinação dos elementos traço presentes nos calcários, também foi necessário definir diferentes condições instrumentais no espectrômetro de fluorescência de raios X utilizado, para os diferentes elementos doseados. Estas estão patentes na Tabela 8.

Tabela 8 — Espectrômetro de fluorescência de raios X. Condições instrumentais para a determinação dos elementos traço, nas amostras dos calcários.

Elementos traço	Cristal analisador	Colimador	Detetor
Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Sn, Th, U, Zn, Pb, Ga e Ge	LiF (200)	150	SC
Ba e Sc	LiF (200)	300	FI
Ta, W, Hf, Ni, Cu e Co	LiF (200)	150	FS (duplex)
Ce, Nd, V e Cr	LiF (220)	300	FS (duplex)
La	LiF (200)	150	FI

#### 3.4.2. Especificação do ferro

Além da análise química por espectrometria de fluorescência de raios X, procedeu-se à especificação do ferro, através de espectrofotometria de absorção molecular, no visível. A análise foi efetuada no Setor de Absorção Atômica, da UCTM-Lab, do LNEG, com recurso a um

espectrofotômetro da marca UNICAM, modelo UV2. Teve por objetivo determinar, nos calcários, o seu teor de Fe (II) inicial e após o ensaio de nevoeiro salino. Apenas os calcários “Moca Creme” e “Azul Ataija” foram submetidos a esta determinação. A preparação das amostras para a análise seguiu o procedimento descrito no ponto 3.4.1.1 e ainda na alínea a) deste ponto.

### **3.5. Ensaios tecnológicos**

#### **3.5.1. Preâmbulo**

A caracterização tecnológica é indispensável para avaliar a adequação de uma pedra natural às aplicações nas quais poderá ser utilizada. É realizada através da execução de um conjunto de ensaios tecnológicos, que têm por objetivo determinar as propriedades da pedra natural, sejam estas de cariz físico, mecânico, ou outro. Desde a criação da União Europeia (UE), os ensaios de caracterização das rochas ornamentais passaram a ser executados de acordo com métodos especificados em documentos normativos de âmbito europeu: as normas europeias (EN). Estas são desenvolvidas pela Comissão Técnica TC 246 – “Natural Stones”, sob a égide do Comité Europeu de Normalização (CEN). As normas europeias relativas aos ensaios, estabelecem requisitos para os seguintes aspetos de cada método: a amostragem, a constituição da amostra (número, dimensão dos provetes, etc.) e a sua preparação prévia, os equipamentos e utensílios necessários, bem como a sua exatidão, o modo de execução do ensaio, os cálculos a efetuar para obtenção dos resultados, os arredondamentos a aplicar e as informações que devem ser incluídas no relatório do ensaio. Assim, nos calcários, os ensaios tecnológicos foram executados de acordo com normas europeias, cumpriram todas as exigências nelas constantes e, de acordo com a sua finalidade, podem ser agrupados em três categorias fundamentais: i) ensaios de identificação; ii) ensaios de desempenho em obra; iii) ensaios de durabilidade (Pinto, et al., 2006).

#### **3.5.2. Ensaios de identificação**

Têm por objetivo determinar as características fundamentais da pedra, sendo executados sempre que se pretende uma caracterização genérica. São considerados ensaios de identificação os a seguir apresentados.

- Determinação da absorção de água à pressão atmosférica.
- Determinação da densidade aparente e da porosidade aberta.

- Determinação da resistência à compressão uniaxial.
- Determinação da resistência à flexão.

Além dos quatro ensaios anteriores, também é considerada um ensaio de identificação a determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade (Pinto, et al., 2006). Porém este não é habitualmente executado, no âmbito da caracterização sumária de uma pedra natural.

### **3.5.3. Ensaios de desempenho em obra**

Simulam condições a que produtos obtidos por transformação da pedra natural vão estar sujeitos quando aplicados em obra, de modo a avaliar o seu comportamento (Pinto, et al., 2006). Os ensaios executados nos calcários, que integram este grupo, apresentam-se a seguir.

- Determinação da energia de rutura.
- Determinação da carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem.

### **3.5.4. Ensaios de durabilidade**

Têm por objetivo avaliar as alterações que um determinado produto em pedra natural poderá sofrer, quando sujeito às condições existentes na obra onde for aplicado, face à vida útil desta. Para tal, simulam essas condições, mas de um modo acelerado. Nos casos em que for possível efetuar uma correspondência temporal entre as condições de ensaio e as reais, permitem prever o período de tempo durante o qual um produto em pedra natural desempenhará, sem colapsos, as funções para as quais foi concebido (Pinto, et al., 2006). A maioria destes ensaios envolve a execução de um número considerável de ciclos predefinidos, cada um dos quais com a duração de 12 ou 24 horas. São pois ensaios, que geralmente apresentam tempos de execução de várias semanas.

Apresentam-se, a seguir, os ensaios de durabilidade executados nos calcários.

- Determinação da resistência ao desgaste por abrasão.
- Determinação da resistência ao gelo.
- Determinação da resistência ao envelhecimento por choque térmico.
- Determinação da resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino.

### 3.5.5. Definições

Alguns dos termos mais utilizados na descrição dos métodos dos ensaios tecnológicos são a seguir definidos, de modo a simplificar e clarificar as descrições.

**Provete** — Porção de pedra natural, que irá ser submetida a ensaio. Apresenta determinado formato, dimensões, tolerâncias (dimensionais, angulares, planares, etc.) e acabamentos superficiais, em função dos requisitos do método de ensaio, para o qual vai ser utilizado.

**Amostra** — Conjunto de provetes utilizados na determinação de uma ou mais características de uma pedra natural. São obtidos por serragem a partir de uma mesma peça de pedra natural, ou de várias com características texturais e cromáticas equivalentes. A(s) peça(s) a utilizar para o corte de provetes deve(m) ser selecionada(s) em função quer da sua homogeneidade, quer da sua representatividade, face à pedra natural que se pretende caracterizar. Os resultados obtidos para uma amostra são generalizados à pedra natural.

**Secagem** — Operação a que são submetidos os provetes utilizados na maioria dos métodos de ensaio para pedra natural. Tem por objetivo a remoção da água absorvida durante a serragem dos provetes e/ou durante o armazenamento da peça ou dos próprios provetes em exteriores, onde vão estar sujeitos a maior percentagem de humidade e até a precipitação. Esta operação é executada em estufa ventilada. Para a maioria dos ensaios da pedra natural, a estufa encontra-se regulada para uma temperatura de  $(70\pm 5)^{\circ}\text{C}$ . Em determinados ensaios, a secagem decorre a  $(105\pm 5)^{\circ}\text{C}$ .

**Arrefecimento** — Operação que sucede a secagem. Corresponde ao período de tempo necessário para que os provetes atinjam o equilíbrio térmico com a temperatura do local onde vão ser submetidos a ensaio. Sempre que as dimensões dos provetes o permitem, o seu arrefecimento decorre dentro de um exsicador, contendo sílica gel seca na sua base.

**Massa constante** — Massa que se considera que um determinado provete atingiu, quando a diferença entre duas pesagens desse provete, efetuadas com um intervalo entre si de  $(24\pm 2)$  horas, não for superior a 0,1% da primeira das duas massas registadas. Esta expressão aplica-se, quer à operação de secagem dos provetes, quer à sua saturação em água, quando esta decorre à pressão atmosférica.

**Saturação** — Operação de preenchimento total com água, de todos os poros abertos (poros em contacto com o exterior) de um provete. Para tal, o provete é imerso em água. O processo de imersão varia conforme o método de ensaio, assim como a água utilizada, que para uns ensaios é água corrente e para outros é destilada. Para que a saturação ocorra

também na face de base do provete, este é sempre colocado sobre suportes não-oxidáveis e não-absorventes.

**Coefficiente de variação** — Trata-se da razão entre o desvio padrão e a média aritmética dos resultados de um ensaio.

**Valor mínimo esperado** — Parâmetro estatístico, que determina o menor valor previsível para uma determinada propriedade da pedra natural, face ao número de resultados utilizados no cálculo da média e à dispersão entre eles. É tanto menor quanto maior for a dispersão dos resultados. Estatisticamente, corresponde ao quantil 5% de uma distribuição logarítmica normal, para um intervalo de confiança de 75%. Determina-se a partir da seguinte equação:

$$E_L = e^{\bar{x}_{ln} - k_s \times s_{ln}}$$

Onde:

$E_L$  é o valor mínimo esperado;

$e$  é a exponencial;

$\bar{x}_{ln}$  é a média dos resultados, após a sua logaritmização neperiana;

$s_{ln}$  é o desvio padrão dos resultados, após a sua logaritmização neperiana;

$k_s$  é o fator *quantil* (Tabela 9); é função do número de resultados individuais utilizados no cálculo da média.

Tabela 9 — Fator quantil em função do número de resultados individuais.

n	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	40	50	∞
$k_s$	3,15	2,68	2,46	2,34	2,25	2,19	2,14	2,10	1,99	1,93	1,87	1,83	1,81	1,64

**Valor máximo esperado** — Parâmetro estatístico, que determina o maior valor previsível para uma determinada propriedade da pedra natural, face ao número de resultados utilizados no cálculo da média e à dispersão entre eles. É diretamente proporcional à dispersão dos resultados. Estatisticamente, corresponde ao quantil 95% de uma distribuição logarítmica normal, para um intervalo de confiança de 75%. Determina-se a partir da seguinte equação:

$$E_H = e^{\bar{x}_{ln} + k_s \times s_{ln}}$$

Onde:

$E_H$  é o valor máximo esperado;

$e$  é a exponencial;

$\bar{x}_{ln}$  é a média dos resultados, após a sua logaritmização neperiana;

$s_{ln}$  é o desvio padrão dos resultados, após a sua logaritmização neperiana;

$k_s$  é o fator *quantil* (Tabela 9); é função do número de resultados individuais utilizados no cálculo da média.

**“Marbre du Boulonnais”** — Calcário cuja denominação original é “Lunel Demi-Clair”. É explorado na localidade de Ferques, próximo de Boulógne-Sur-Mer (Norte de França). Foi selecionado para material de referência no ensaio de determinação da resistência ao desgaste com a máquina de Capon, pelo facto de se considerar que apresenta uma elevada homogeneidade textural. No ensaio, é utilizado na verificação periódica das condições de funcionamento da máquina de Capon e na correção dos valores obtidos. Utilizam-se placas de “Lunel Demi-Clair” com 5cm de espessura, serradas ao contra, com as duas faces amaciadas a diamante com tamanho de grão 100/120 e com uma classe de rugosidade  $Ra=(1,6\pm 0,4)\mu\text{m}$  (de acordo com a EN ISO 4288).

**Ciclo** — Conjunto de operações constituintes de alguns ensaios, cada uma das quais com uma duração predefinida, que são executadas numa ordem determinada e que vão ser repetidas de uma forma contínua, um número específico de vezes.

### **3.5.6. Descrição dos ensaios tecnológicos**

Todos os ensaios tecnológicos foram executados no Setor de Rochas Ornamentais e Industriais, da UCTM-Lab, do LNEG, à exceção do ensaio de determinação da resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino. Este foi efetuado no Departamento de Ciências da Terra (DCT), da Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), da Universidade Nova de Lisboa (UNL).

#### **3.5.6.1. Operações prévias**

Os provetes foram secos à temperatura de  $(70\pm 5)^{\circ}\text{C}$  em todos os ensaios, exceto os destinados à determinação da resistência ao envelhecimento por choque térmico. Para estes, a temperatura de secagem foi de  $(105\pm 5)^{\circ}\text{C}$ . A operação de secagem foi realizada a massa constante (ver 3.5.5) para os seguintes ensaios: i) absorção de água à pressão atmosférica; ii) densidade aparente e da porosidade aberta; iii) coeficiente de absorção de água por capilaridade; iv) resistência ao envelhecimento por choque térmico; v) resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino (apenas para os provetes cúbicos). Nos restantes, a secagem decorreu, pelo menos, durante 72 horas. Após secagem, os provetes foram sempre submetidos a um período de arrefecimento (ver 3.5.5). Este decorreu dentro de um exsiccador, para os ensaios nos quais a secagem foi realizada a massa constante. A única exceção foi o ensaio de choque térmico, uma vez que as placas utilizadas excedem as dimensões daquele recipiente.

### 3.5.6.2. Determinação da absorção de água à pressão atmosférica

Trata-se do ensaio para a determinação de uma das propriedades mais importantes das pedras naturais. De um modo geral, a degradação sofrida por um produto em pedra em contacto com a água, será tanto maior, quanto maior for a sua capacidade de absorção de água. Assim, esta propriedade permite prever o desempenho dos produtos em pedra, em aplicações onde estes possam estar em contacto com aquele agente meteórico (exteriores e interiores sujeitos à ação da água).

A norma europeia que regulamenta este ensaio é a EN 13755. Para cada amostra de calcário ensaiaram-se 6 cubos, cada um com 50mm de aresta e acabamento superficial serrado, cumprindo os requisitos normativos.

Os provetes foram previamente submetidos às operações constantes no ponto 3.5.6.1.. Foram então pesados, tendo-se registado a sua massa seca ( $m_d$ ). De seguida foram colocados dentro de um recipiente, para se proceder à sua saturação com água corrente (ver 3.5.5). O início do ensaio (tempo  $t_0$ ) começou com a adição de água ao recipiente, até metade da altura dos provetes (Figura 44).



Figura 44 – Ensaio de determinação da absorção de água à pressão atmosférica. Detalhe dos provetes da amostra de calcário “Moca Creme”, dentro do recipiente utilizado para o ensaio, após a primeira adição de água.

Adicionou-se depois água até  $\frac{3}{4}$  da altura dos provetes, após  $(60\pm 5)$ min do início. Procedeu-se à última adição de água, após  $(120\pm 5)$ min do início do ensaio, até o seu nível ficar situado  $(25\pm 5)$ mm acima do topo dos provetes. Estes foram deixados assim imersos durante  $[t_0+(48\pm 2)]$ h. Findo este intervalo, os provetes foram retirados da água um por um, rapidamente limpos com um pano húmido, de modo a remover apenas a água adsorvida à sua superfície, imediatamente pesados e de novo imersos. Repetiram-se estas operações até os provetes terem atingido massa constante (ver 3.5.5).

O último registo dos pesos, corresponde à massa dos provetes saturados ( $m_s$ ). Para cada provete, determinou-se a absorção de água ( $A_b$ ), a partir da seguinte equação:

$$A_b = \frac{m_s - m_d}{m_d} \times 100 \quad (\%)$$

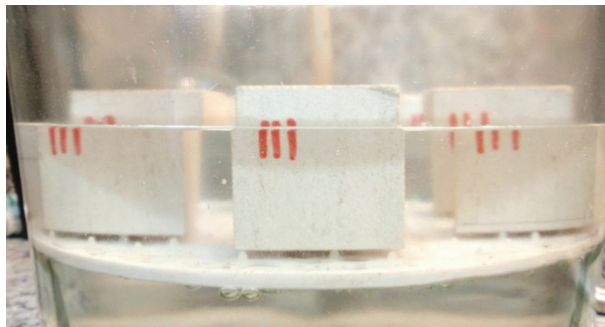
A absorção de água de cada amostra é a média aritmética dos resultados obtidos para o conjunto de 6 provetes que a constituem. Determinou-se o desvio padrão, assim como o valor máximo esperado (ver 3.5.5) dos resultados individuais. Após os cálculos, procedeu-se aos arredondamentos indicados na norma de ensaio.

### 3.5.6.3. Determinação da densidade aparente e da porosidade aberta

Estas duas características físicas integram o grupo das propriedades de identificação de uma pedra natural. Estão relacionadas entre si e com a absorção de água: a densidade de uma pedra depende do seu volume de poros abertos (comunicantes entre si e com o exterior), que por sua vez têm influência direta na sua capacidade de absorver água. Dada a dependência entre as três propriedades, antes da constituição da UE, os métodos de ensaio de alguns países europeus estabeleciam a sua determinação em simultâneo. Atualmente, no seio da UE, apenas a densidade aparente e a porosidade aberta são determinadas ao mesmo tempo, através da norma europeia EN 1936. Cumprindo os requisitos desta EN, para cada amostra de calcário ensaiaram-se 6 cubos com 50mm de aresta e acabamento superficial serrado. Após a execução das operações prévias (ver 3.5.6.1), os provetes foram pesados, com registo da sua massa seca ( $m_d$ ). Os provetes foram colocados num recipiente, para se proceder à sua saturação (ver 3.5.5). Foram então submetidos a um vácuo de  $(2,0 \pm 0,7)$  kPa  $((15 \pm 5)$  mm de Hg), com a finalidade de remover o ar dos seus poros, facilitando a entrada de água nestes. Após  $(2 \text{ horas} \pm 24 \text{ min})$  de vácuo e mantendo este, introduziu-se água destilada no recipiente (Figura 45), ajustando-se o seu caudal de modo a decorrerem pelo menos 15 minutos, para o nível da água atingir o topo dos provetes, a partir da sua base.

A pressão atmosférica normal foi restabelecida logo após a imersão total dos provetes e estes foram mantidos imersos durante  $(24 \pm 2)$  h. Findo este período, procedeu-se à pesagem e respetivo registo das massas: i) dos provetes imersos ( $m_h$ ) em balança hidrostática e ii) dos provetes saturados ( $m_s$ ). Antes desta última pesagem, a superfície dos provetes foi limpa com um pano húmido, para remoção da água adsorvida.

Figura 45 – Ensaio de determinação da densidade aparente e da porosidade aberta. Detalhe dos provetes da amostra de calcário “Moca Creme”, dentro do recipiente no qual foi gerado o vácuo de  $(2,0\pm 0,7)$ kPa, durante a adição da água destilada.



Determinou-se a densidade aparente ( $\rho_b$ ) de cada provete, a partir da seguinte equação:

$$\rho_b = \frac{m_d}{m_s - m_h} \times \rho_{rh} \quad (\text{kg/m}^3)$$

Onde:

$\rho_{rh}$  é a densidade da água destilada (a EN indica que se deve considerar o valor de  $998\text{kg/m}^3$ , que corresponde à densidade da água destilada à temperatura de  $20^\circ\text{C}$ ).

Determinou-se, ainda, a porosidade aberta ( $p_0$ ) de cada provete, a partir da seguinte equação:

$$p_0 = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} \times 100 \quad (\%)$$

A densidade aparente e a porosidade aberta da amostra correspondem às médias aritméticas dos valores obtidos para os 6 provetes ensaiados. Determinaram-se também os desvios padrões dos resultados individuais, procedendo-se, em ambos os casos, aos arredondamentos estipulados pela norma europeia.

#### 3.5.6.4. Determinação da resistência à compressão uniaxial

Trata-se de uma propriedade mecânica de fulcral importância, uma vez que muitos dos produtos em pedra natural, quando aplicados, vão estar sujeitos a esforços uniaxiais. A norma que regulamenta este ensaio é a EN 1926. Para cada amostra de calcário foram submetidos a ensaio 10 cubos, com uma aresta de  $(50\pm 5)$ mm e acabamento serrado das faces de carga.

Após a execução das operações prévias (ver 3.5.6.1), as dimensões da base de cada provete — área transversal ( $A$ ) — foram medidas com um paquímetro e registadas. Cada provete foi centrado no prato inferior da prensa hidráulica utilizada no ensaio, da marca ELE International, modelo ADR 2000. Foi então submetido a uma força uniaxial, a uma taxa uniforme de carga de  $(1\pm 0,5)$ MPa/s, até à sua rutura (Figura 46).

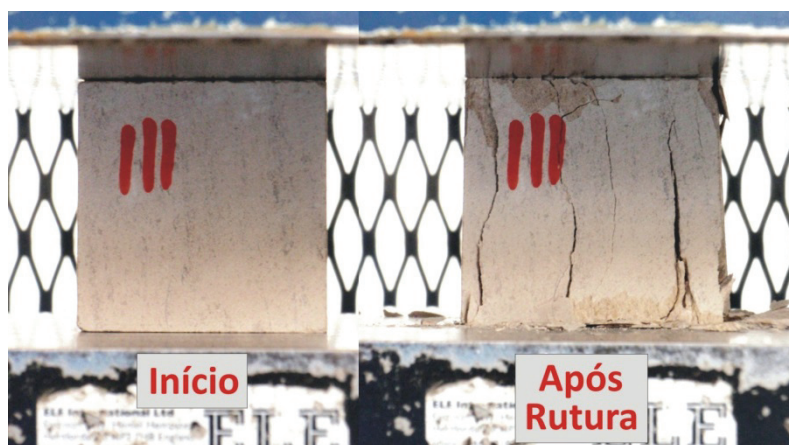


Figura 46 – Ensaio de determinação da resistência à compressão. Detalhe de um provete da amostra “Moca Creme” entre os pratos da prensa hidráulica, antes de ser exercida a força e logo após a sua rutura.

Foi registada a força de rutura obtida para cada provete ( $F$ ). Determinou-se a resistência à compressão uniaxial de cada provete a partir da seguinte equação:

$$R_c = \frac{F}{A} \quad (N/mm^2 = MPa)$$

A resistência à compressão uniaxial de cada amostra é a média aritmética dos valores obtidos para os 10 provetes ensaiados. Determinaram-se, ainda, o desvio padrão, o coeficiente de variação e o valor mínimo esperado (ver 3.5.5) dos resultados individuais. No final dos cálculos, efetuaram-se os arredondamentos preconizados pela EN.

### 3.5.6.5. Determinação da resistência à flexão

Esta propriedade mecânica, de grande relevância, avalia os esforços a que um produto em pedra natural aplicado sobre um vão, pode ser sujeito, sem que ocorra a sua rutura. Existem dois métodos de determinação da resistência à flexão: i) sob momento constante e ii) sob carga centrada. Adotou-se este último, que é regulamentado pela EN 12372, na execução do ensaio, nas amostras dos calcários.

Para cada amostra foram ensaiados dois conjuntos de provetes, de dimensões diferentes. Um conjunto apresentava as dimensões preferenciais indicadas pela EN 12372: (50×50×300)mm e um acabamento serrado de uma das faces de maior área. O outro conjunto apresentava as dimensões mínimas permitidas por aquela EN: (25×50×150)mm e um acabamento amaciado ou polido mate de uma das faces de área maior. Cada conjunto, por seu turno, era constituído por dois lotes de provetes: i) um lote no qual se determinou apenas a resistência à flexão; ii) outro lote, que foi primeiro sujeito a um ensaio de envelhecimento acelerado específico e só depois foi determinada aquela propriedade. Para cada amostra, ensaiaram-se pelo menos 10 provetes de cada lote.

O equipamento utilizado para se executar o ensaio foi um tensómetro da marca ELE International, modelo Tritest 50 Digital. Ajustou-se a distância (Figura 47) entre os cutelos de apoio — vão ( $l$ ) — em função do comprimento de cada conjunto de provetes: vão de 250mm para os provetes com 300mm de comprimento e vão de 125mm de vão para os provetes com 150mm de comprimento.

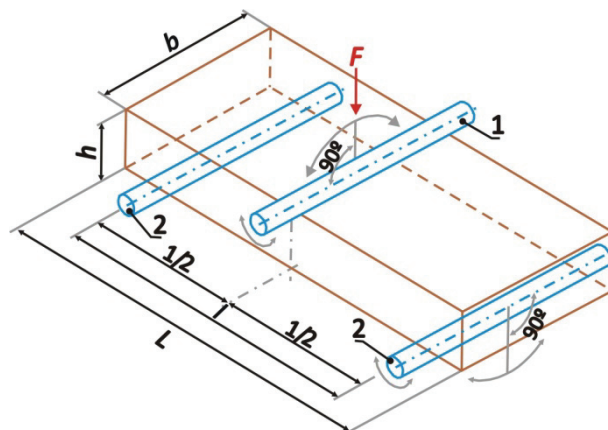


Figura 47 – Resistência à flexão sob carga centrada. Esquema do dispositivo de aplicação da força centrada no provete. **1** – Cutelo de carga. **2** – Cutelos de apoio.

Após a execução das operações prévias (ver 3.5.6.1), cada provete foi colocado com a face com acabamento específico sobre os cutelos de apoio. Através do cutelo de carga, exerceu-se uma força no centro do provete, uniformemente incrementada, a uma taxa de  $(0,25 \pm 0,05)$ MPa/s, até à sua rutura (Figura 48).



Figura 48 – Ensaio de determinação da resistência à flexão sob carga centrada. Detalhe de um provete de dimensões (50×50×300)mm, da amostra de calcário “Moca Creme”, imediatamente após a sua rutura.

Registou-se a força de rutura ( $F$ ) do provete e mediram-se, com paquímetro, a sua espessura ( $h$ ) e a sua largura ( $b$ ), junto à superfície de rutura. A resistência à flexão sob carga centrada de cada provete foi determinada a partir da seguinte equação:

$$R_f = \frac{3 \times F \times l}{2 \times b \times h^2} \quad (N/mm^2 = MPa)$$

A resistência à flexão sob carga centrada de cada amostra é a média aritmética dos valores obtidos para o total dos provetes ensaiados. Determinou-se, ainda, o desvio padrão, o coeficiente de variação e o valor mínimo esperado (ver 3.5.5) dos resultados individuais. No final dos cálculos, efetuaram-se os arredondamentos preconizados pela EN.

#### 3.5.6.6. Determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade

Trata-se de um parâmetro considerado de identificação, que relaciona a quantidade de água absorvida por uma determinada área de pedra natural imersa em água, por unidade de tempo. A norma que regulamenta o ensaio é a EN 1925. Esta norma só se aplica a pedras com porosidade aberta igual ou superior a 1% (este valor refere-se à porosidade aberta determinada de acordo com a EN 1936). Determinou-se o coeficiente de absorção de água por capilaridade na totalidade dos calcários, uma vez que todos os valores obtidos para a porosidade aberta excederam 1%.

Para cada amostra, o ensaio foi executado sobre os mesmos provetes que os utilizados na determinação da densidade aparente e da porosidade aberta: 6 cubos com 50mm de aresta e acabamento superficial serrado. Os provetes foram previamente submetidos às operações indicadas em 3.5.6.1, seguidas por pesagem e registo da massa dos provetes secos. A área da

face imersa de cada provete (A) foi determinada através da medição com paquímetro, de ambos os seus lados. Os provetes foram depois colocados num recipiente, sobre suportes não-oxidáveis e não-absorventes. Foi adicionada água corrente ao recipiente, até o nível da água atingir uma altura de  $(3\pm 1)$ mm medidos a partir da base dos provetes (Figura 49). Este momento foi considerado o início do ensaio (tempo  $t_0$ ).

Em intervalos de tempo específicos (minutos: 1, 5, 10, 15 e 30; horas: 1, 3, 8, 24, 48 e 72) retirou-se cada provete da água, limpou-se a base imersa com um pano húmido e pesou-se de imediato o provete, tornando-o a colocar no recipiente. Registou-se quer a massa do provete, quer o tempo decorrido desde o início do ensaio até ao momento em que o provete foi retirado para a pesagem. O nível da água foi mantido constante no decurso do ensaio e este foi dado por terminado quando se obteve um valor para a diferença entre duas pesagens sucessivas, menor ou igual a 1% da massa de água absorvida pelo provete. Porém, tal como exige a norma europeia, foram sempre efetuados pelo menos 7 registos por provete.

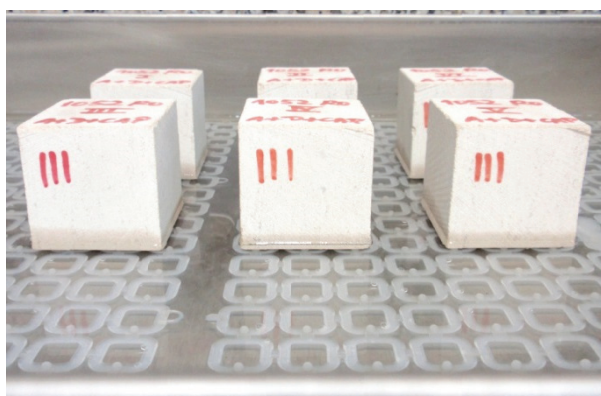


Figura 49 – Ensaio de determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade. Detalhe dos provetes da amostra de calcário “Moca Creme”, colocados no recipiente onde decorreu o ensaio, após o seu início.

Foi construído um gráfico binário, no qual se colocou cada momento de pesagem, sob a forma da raiz quadrada dos tempos ( $s^{0,5}$ ), nas abcissas (X) e se colocaram as respetivas massas de água absorvida por unidade de área imersa ( $g/m^2$ ), nas ordenadas (Y). Para cada provete, o gráfico obtido assemelhou-se ao apresentado na Figura 50.

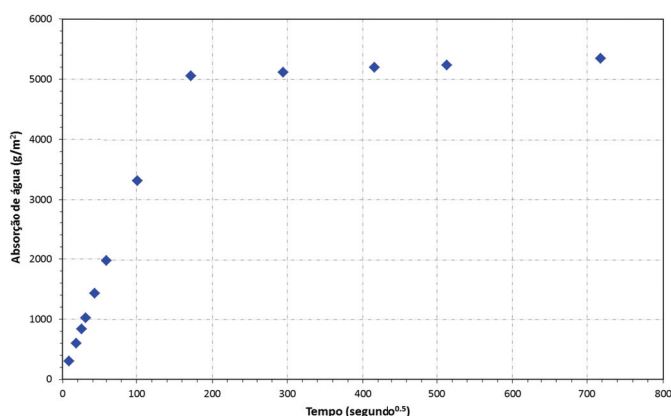


Figura 50 – Determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade. Gráfico da massa de água absorvida por unidade de área, em função da raiz quadrada do tempo, para um provete com um coeficiente de  $33,2 g/(m^2 \cdot s^{0,5})$ .

O coeficiente de absorção de água por capilaridade ( $C$ ) de cada provete corresponde ao declive da reta de regressão linear, ajustada aos pontos da primeira parte do gráfico. Após determinação da reta de regressão linear através do método dos mínimos quadrados, calculou-se  $C$  — quociente das diferenças entre as ordenadas e as abcissas de dois pontos da reta de regressão — utilizando a equação seguinte:

$$C = \frac{m_i - m_{i-1}}{A \times (\sqrt{t_i} - \sqrt{t_{i-1}})} \quad \left( \frac{g}{(m^2 \times s^{0,5})} \right)$$

Onde:

$m_{i-1}$  e  $m_i$  são as massas do provete, em g, registadas nos tempos  $t_{i-1}$  e  $t_i$ , respetivamente;

$A$  é a área da face do provete imersa em água, em  $m^2$ ;

$t_{i-1}$  e  $t_i$  são os tempos decorridos desde o início do ensaio até ao momento no qual o provete foi retirado da água para se efetuar as pesagens das sucessivas massas.

O coeficiente de absorção de água por capilaridade de cada amostra corresponde à média aritmética dos coeficientes obtidos para cada provete. Os resultados foram arredondados a 3 algarismos significativos, conforme o indicado pela norma europeia. Calculou-se também, o desvio padrão dos resultados individuais.

### 3.5.6.7. Determinação da energia de rutura

Esta propriedade também é conhecida por resistência ao choque e a sua metodologia integra o grupo dos ensaios de desempenho em obra. Tem por objetivo determinar a resistência a impactos de placas aplicadas em pavimentos. O ensaio é executado de acordo com a norma europeia EN 14158. Sendo esta propriedade diretamente proporcional à espessura da placa, na execução do ensaio utilizou-se uma espessura normalizada:  $(30 \pm 1)$ mm. Foram ensaiadas 6 placas (provetes) para cada amostra de calcário, com as dimensões laterais de  $(200 \times 200)$ mm. As superfícies ensaiadas apresentavam um acabamento amaciado. Após a execução das operações prévias (ver 3.5.6.1), cada provete foi pousado e horizontalizado sobre um leito de areia siliciosa, com granulometria compreendida entre 0,076mm e 2mm. Esta areia está contida numa caixa de dimensões padronizadas, que integra o equipamento de determinação da energia de rutura utilizado no ensaio, da marca Proeti, S.A., modelo 23.0098. Deixou-se cair uma esfera de aço com  $(1,00 \pm 0,01)$ kg de massa sobre o centro geométrico da face superior do provete. A altura inicial de queda da esfera foi de 100mm. Aumentou-se progressivamente a altura de queda da esfera, em intervalos de 50 mm, até à ocorrência de rutura do provete (Figura 51).

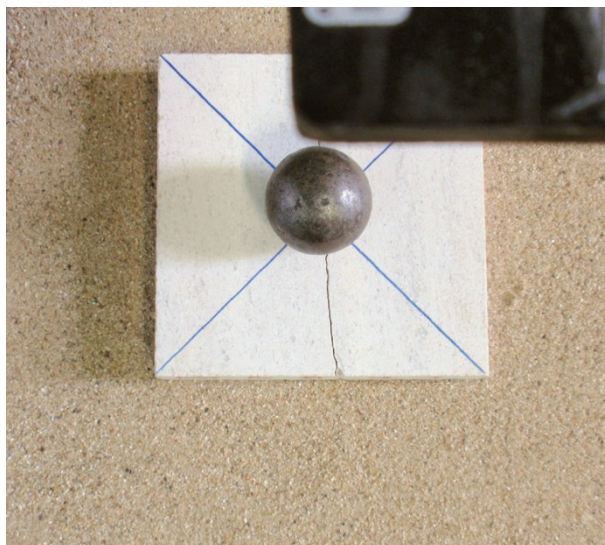


Figura 51 – Ensaio de determinação da energia de rutura. Detalhe de uma das placas da amostra de calcário “Moca Creme”, imediatamente após ter ocorrido a sua rutura, através do impacto da esfera de aço utilizada no ensaio. No canto superior direito da fotografia, a negro, observa-se parte do braço onde é fixada magneticamente a esfera de aço, antes da sua queda sobre a placa.

A altura de rutura ( $h$ ) foi registada. A energia de rutura de cada provete ( $W$ ) corresponde ao trabalho realizado pela esfera ao cair da altura de rutura, tendo sido determinada através da seguinte equação:

$$W = m \times g \times h \text{ (Joules)}$$

Onde:

$m$  é a massa da esfera em kg;

$g$  é a aceleração da gravidade; para este método de ensaio considera-se o valor de  $9,806 \text{ m/s}^2$  para os cálculos;

$h$  é a altura de rutura, em m.

A energia de rutura de cada amostra é a média aritmética dos valores obtidos para os 6 provetes ensaiados. Os resultados foram todos arredondados a 1Joule, conforme o estabelecido pela norma europeia. Calculou-se ainda, o desvio padrão dos resultados individuais.

#### **3.5.6.8. Determinação da carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem**

Trata-se de um ensaio de desempenho em obra. Tem por finalidade determinar a resistência à rutura de placas de pedra natural a aplicar no revestimento de paredes, ao nível dos respetivos orifícios de ancoragem, perfurados nas suas faces laterais. Neste tipo de

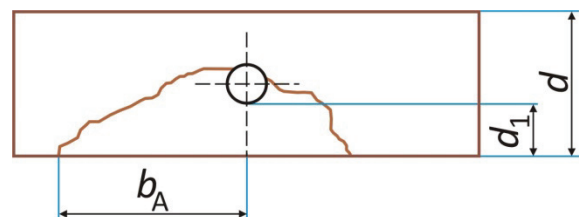
fixação, em cada orifício da placa é introduzida uma cavilha de aço. Esta é encaixada na peça metálica de suporte, que se encontra fixada à parede do edifício (Figura 52).



Figura 52 – Placa fixada através de ancoragem. Na sua face lateral observa-se a cavilha de aço, assim como o suporte fixado à parede de betão. Na metade visível da cavilha irá encaixar uma outra placa, através do respetivo orifício de ancoragem.

O ensaio de carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem é regulamentado pela norma europeia EN 13364. Para cada amostra de calcário, foram submetidas a ensaio 5 placas quadradas, com 200mm de lado e  $(30\pm 3)$ mm de espessura. Os provetes foram previamente submetidos às operações previstas em 3.5.6.1. Selecionaram-se para o ensaio pelo menos 10 orifícios, localizados nos centros geométricos das faces laterais das 5 placas. Os orifícios apresentavam as dimensões de  $(10\pm 0,5)$ mm de diâmetro e  $(30\pm 2)$ mm de profundidade. Para cada orifício, mediu-se com um paquímetro a espessura da parede de calcário situada entre o limite do orifício e a face quadrada ( $d_1$ ), no sentido para o qual iria ser exercida a força de tração. Mediu-se igualmente a espessura ( $d$ ) da placa junto ao orifício (Figura 53).

Figura 53 – Ensaio de determinação da carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem. Esquema das medições efetuadas para cada orifício.



No ensaio, utilizaram-se cavilhas do aço inoxidável definido pela EN 13364, com  $(6,0\pm 0,1)$ mm de diâmetro e pelo menos 50mm de comprimento. Estas foram fixadas nos orifícios, num comprimento de  $(25\pm 1)$ mm, através de uma argamassa de cimento, preparada de acordo com os requisitos normativos. Antes da execução do ensaio foi respeitado o tempo mínimo de presa de 48 horas para a argamassa, à temperatura ambiente, conforme o

estabelecido na norma europeia. Utilizou-se um tensómetro da marca Monsanto, modelo W, especificamente modificado para a execução do ensaio (Figura 54). Após introdução da cavilha no orifício do eixo de tração do tensómetro (Figura 55), a placa foi fixada no dispositivo de fixação constituído por duas placas metálicas. Foi exercida uma força de tração ao nível da cavilha e numa direção perpendicular ao seu eixo, até à rutura da placa. Registou-se a força de rutura. Após o ensaio, mediu-se para a distância máxima ( $b_A$ ) entre o centro de cada orifício e o bordo da fratura provocada na face do provete (Figura 53).



Figura 54 – Determinação da carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem. Tensómetro modificado utilizado na execução do ensaio, no qual se observa uma das placas da amostra de calcário “Azul Atafija”, fixada no dispositivo de fixação.



Figura 55 – Ensaio de determinação da carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem. Pormenor da introdução da cavilha no orifício do eixo de tração do tensómetro utilizado.

A carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem de cada amostra corresponde à média aritmética dos valores obtidos nos orifícios ensaiados. Após os cálculos, todos os resultados (individuais e média) foram arredondados a 50N, conforme o estabelecido pela norma europeia. Determinaram-se também as médias (aritméticas) de  $d_1$  e de  $b_A$ . Por fim, determinaram-se, para os três parâmetros, os desvios padrões, coeficientes de variação e valores mínimos esperados (ver 3.5.5) dos resultados individuais.

### **3.5.6.9. Determinação da resistência ao desgaste por abrasão**

Trata-se de um ensaio de durabilidade, que contrariamente à maioria dos ensaios desta categoria, apresenta um tempo de execução bastante rápido. Tem por objetivo determinar, sob condições normalizadas, a resistência à abrasão da face exposta ao tráfego quer pedonal, quer rodoviário, de placas a aplicar em pavimentos. O ensaio é regulamentado pela norma europeia EN 14157, que especifica três métodos para a determinação desta propriedade. O ensaio de desgaste com o disco largo é considerado o método de referência e foi este que se executou nas amostras dos calcários. Para cada amostra, foram submetidas a ensaio 6 placas quadradas, com 150mm de lado, 30mm de espessura e com um acabamento amaciado da face a ensaiar. Esta foi previamente pintada com anilina dissolvida em água, para facilitar a delimitação da área desgastada. As placas foram depois submetidas às operações constantes em 3.5.6.1. Cada placa foi fixada no porta-provetes da máquina de desgaste de Capon utilizada, da marca Tecnilab, modelo 440 C. A superfície a ensaiar foi pressionada contra o disco de desgaste da máquina, através de um contrapeso com cerca de 14kg. O disco utilizado cumpria todos os requisitos exigidos pela respetiva EN: i) fabrico em aço Fe 690; ii) dureza compreendida entre 203 e 245 HB; iii)  $(200\pm 1)$ mm de diâmetro; iv)  $(70\pm 1)$ mm de largura. Acionou-se o movimento do disco e simultaneamente abriu-se a válvula do funil de armazenamento do material abrasivo, de modo a promover a queda deste, com o caudal normativo, no contacto entre a superfície a ensaiar e o disco de desgaste (Figura 56). Conforme o previsto na norma europeia, o material abrasivo utilizado no ensaio foi a alumina branca calcinada (corindo), com dimensão de grão F 80. O disco efetuou 75 rotações em  $(60\pm 3)$  segundos.

De todos os ensaios tecnológicos executados, este foi o único no qual se utilizou um material de referência: o “Marbre du Boulonnais” (ver 3.5.5). A altura da calote produzida neste calcário deve situar-se no intervalo  $(20,0\pm 0,5)$ mm, caso contrário, a massa do contrapeso deve ser alterada. Se, após regulação, a corda da calote obtida para este material de referência se situar dentro do intervalo atrás referido, mas diferir de 20,0mm, ter-se-á que

proceder à correção dos valores obtidos nos ensaios, através da equação a seguir apresentada. Nas amostras de calcário ensaiadas, foi necessário proceder-se a esta correção.

$$\text{Valor corrigido} = \text{Valor obtido} - (\text{Valor Material Referência} - 20) \text{ (mm)}$$



Figura 56 – Resistência ao desgaste por abrasão com a máquina de Capon. Queda do abrasivo entre a superfície (pintada com anilina) de uma placa da amostra de calcário “Moca Creme” e o disco de desgaste, enquanto este efetuava as 75 rotações exigidas.

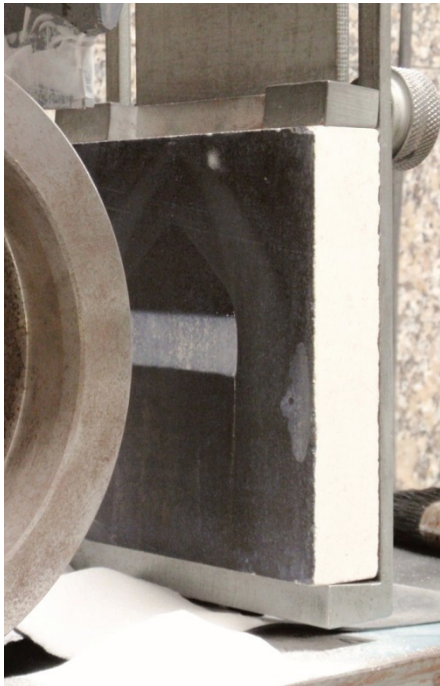


Figura 57 – Aspeto da calote produzida (a cinza) na superfície da placa da amostra de calcário “Moca Creme”.

A resistência ao desgaste por abrasão com a máquina de Capon é a média aritmética dos valores obtidos. Determinou-se ainda, o desvio padrão e o valor máximo esperado (ver 3.5.5). A correção anterior foi igualmente aplicada à média e ao valor máximo esperado. De acordo com o definido pela EN, todos os valores corrigidos (individuais, média e valor máximo esperado) foram arredondados a 0,5mm.

#### **3.5.6.10. Determinação da resistência ao gelo**

Trata-se de um ensaio de envelhecimento acelerado, que simula as condições a que irão estar sujeitos produtos em pedra natural, quando aplicados em exteriores de zonas onde ocorrem temperaturas negativas. A simulação é efetuada através da sujeição de provetes de pedra a ciclos de gelo/degelo sucessivos.

A norma regulamentadora (EN 12371) contém disposições para a execução de dois tipos de ensaio: i) um ensaio tecnológico mais curto (**Ensaio A**), no qual é executado o número de ciclos especificado na norma de produto aplicável, recorrendo-se a propriedades tecnológicas para a avaliação dos seus efeitos (habitualmente a resistência à flexão, ou a resistência à compressão); ii) um ensaio de identificação mais longo (**Ensaio B**), no qual se executam o número de ciclos necessários para provocar a rutura da rocha, num máximo de 168 ciclos; os critérios para se considerar que ocorreu rutura são estabelecidos na EN atrás referida.

Neste estudo, foi selecionado o ensaio tecnológico (Ensaio A) e para avaliar os efeitos dos ciclos de gelo/degelo optou-se pela resistência à flexão, uma vez que esta é a propriedade estipulada pela maioria das normas harmonizadas de produtos em pedra natural, para se efetuar a avaliação referida. Assim, para cada amostra, o ensaio foi executado sobre um lote de 10 provetes paralelepípedicos, com as dimensões (50×50×300)mm e acabamento serrado de uma das faces de maior área, que posteriormente foi submetido à resistência à flexão sob carga centrada. Os provetes foram previamente sujeitos às operações descritas em 3.5.6.1. Seguiu-se a sua saturação (ver 3.5.5), de acordo com o método utilizado no ensaio de determinação da absorção de água à pressão atmosférica (ver 3.5.6.2). Após (48±2)h de saturação, os provetes foram transferidos para dentro da cuba do equipamento utilizado no ensaio — uma câmara climática Aralab, modelo Fitoclima 700EDTU-Gelo/Degelo-V — e submetidos aos ciclos de gelo/degelo (Figura 58).

A constituição de cada ciclo (Figura 59) cumpriu o especificado na EN 12371: 6 horas de gelo ao ar, seguidas por 6 horas de degelo, nas quais os provetes permaneceram imersos em água. O número total de ciclos teve em conta as exigências da maioria das normas de

produtos em pedra natural. Deste modo, os provetes das quatro primeiras amostras ensaiadas foram submetidos a 48 ciclos de gelo/degelo. Porém, no âmbito da revisão periódica a que todas as normas europeias são sujeitas, foram divulgados projetos de várias normas de produto, nos quais o número de ciclos de gelo/degelo exigido tinha sido alterado de 48 para 56 ciclos. Face à iminente aprovação desses projetos e à sua passagem a normas, decidi submeter-se as amostras ainda não ensaiadas à resistência ao gelo, já a 56 ciclos.

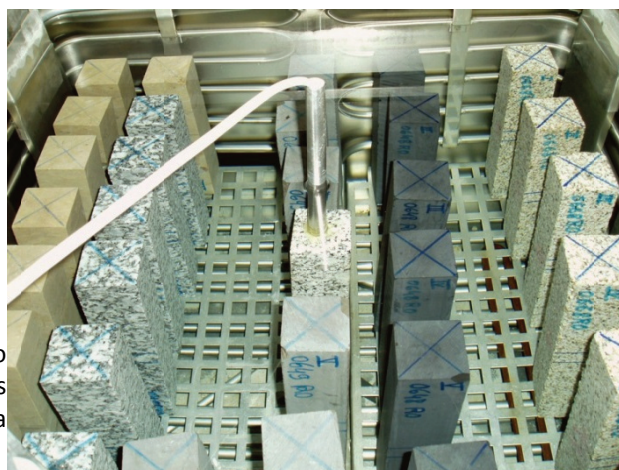


Figura 58 – Determinação da resistência ao gelo. Aspetto dos provetes de várias amostras imersos em água, dentro da cuba da câmara climática, na fase de degelo.

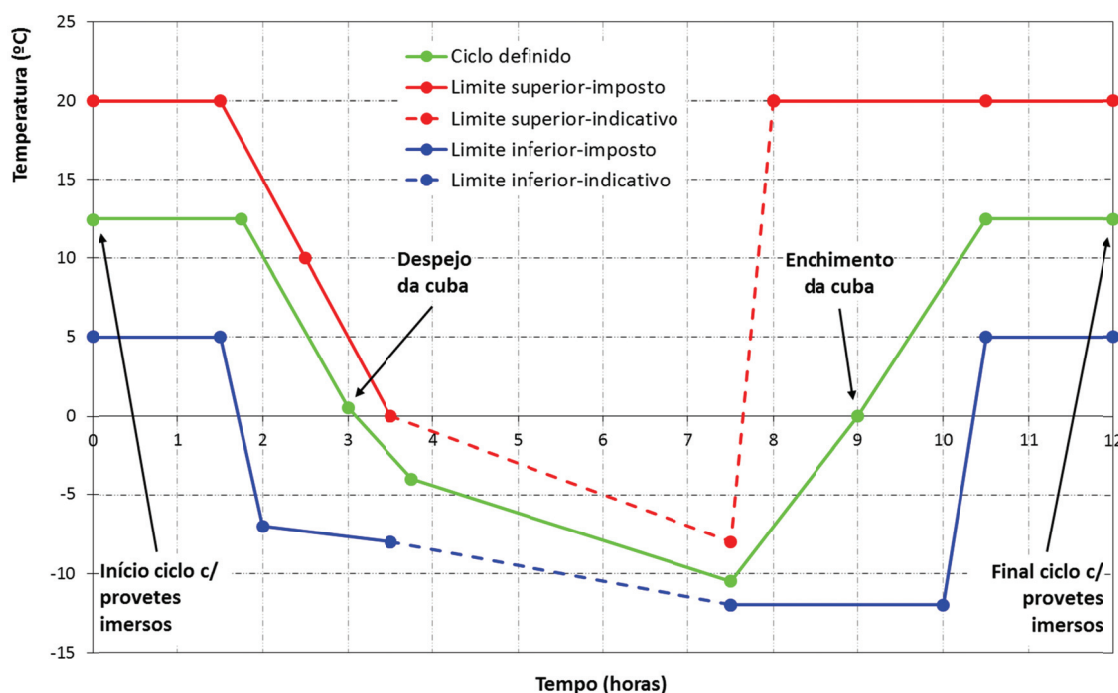


Figura 59 – Determinação da resistência ao gelo. Ciclo executado sobre as amostras estudadas (linha verde). Limite inferior definido pela EN 12371 (linha azul). Limite superior definido pela EN 12371 (linha vermelha). Nestes limites, os segmentos a cheio são mandatórios, enquanto os segmentos a tracejado são apenas indicativos.

Após a conclusão da totalidade dos ciclos, foi determinada a resistência à flexão sob carga centrada para cada amostra, de acordo com o procedimento descrito em 3.5.6.5.

A variação na resistência à flexão obtida no lote de provetes não submetido a ciclos de gelo/degelo e no lote submetido, foi determinada através da seguinte equação:

$$\Delta R_f = \frac{R_{f_0} - R_{f_n}}{R_{f_0}} \times 100 \quad (\%)$$

Onde:

$R_{f_0}$  é a resistência à flexão no lote de provetes não submetido ao ensaio de gelo;

$R_{f_n}$  é a resistência à flexão no lote de provetes submetido a  $n$  ciclos de gelo/degelo.

### **3.5.6.11. Determinação da resistência ao envelhecimento por choque térmico**

Este ensaio de envelhecimento acelerado simula as condições a que irão estar sujeitos produtos em pedra natural, quando aplicados em exteriores de locais sob a influência de climas que apresentam quatro estações bem definidas — climas temperados. A simulação é feita através da sujeição de provetes de pedra a ciclos sucessivos de secagem em estufa, seguida pela sua imediata imersão em água, de modo a provocar um choque térmico. No final, avaliam-se as alterações provocadas em propriedades da pedra natural ensaiada.

A norma que regulamenta o ensaio é a EN 14066. Foi recentemente alvo de revisão, tendo sido editada uma nova versão. No estudo das amostras, aplicou-se o método de ensaio estabelecido na edição de 2003 daquela EN, posto que era a que vigorava na data de execução dos ensaios.

Foram necessárias 7 placas quadradas, para cada amostra de calcário, com 200mm de lado, 20mm de espessura e com um acabamento polido mate, de uma das suas faces maiores. Selecionou-se uma das placas para provete de referência. Este não foi submetido ao ensaio, tendo sido utilizado na deteção de eventuais alterações sofridas pelos provetes submetidos aos ciclos térmicos, através de comparação visual. Os restantes 6 provetes foram previamente sujeitos às operações descritas em 3.5.6.1, seguindo-se pesagem e registo da sua massa seca inicial ( $m_0$ ). Foi também levada a cabo uma análise visual de cada provete a ensaiar, tendo-se anotado todas as suas singularidades (fissuras, orifícios, falta de material nas arestas ou vértices, manchas, etc.). Por fim, foi efetuado um registo fotográfico dos provetes, colocados junto do provete de referência.

Os provetes foram submetidos a 20 ciclos de choque térmico, cada um dos quais constituído por (18±1)h dentro de uma estufa a (105±5)°C, seguindo-se a sua imediata imersão

total em água destilada à temperatura de  $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ , durante  $(6,0\pm 0,5)\text{h}$  (Figura 60). Quer na estufa, quer na água, os provetes foram colocados sobre suportes não-oxidáveis e não-absorventes.

No final dos ciclos, procedeu-se à secagem dos provetes, a  $(105\pm 5)^{\circ}\text{C}$ , até ser atingida massa constante, seguida por arrefecimento, pesagem e registo da sua massa seca final ( $m_f$ ). Foi levada a cabo nova análise visual dos provetes e registou-se todas as alterações observadas, por comparação com as anotações feitas antes dos ciclos. Seguiu-se o registo fotográfico dos provetes, junto do provete de referência.

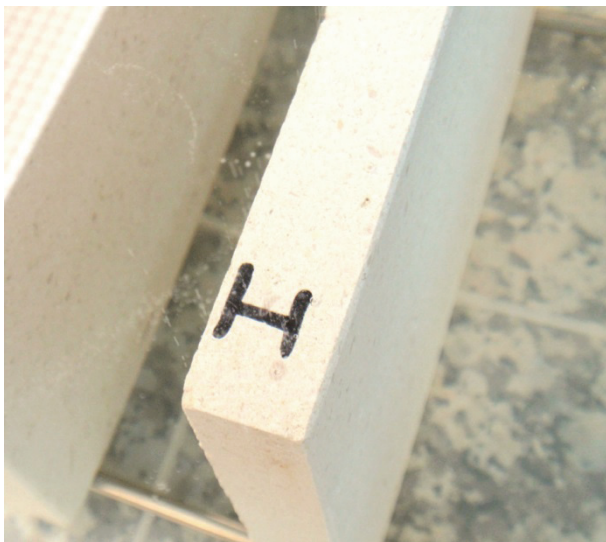


Figura 60 – Resistência ao envelhecimento por choque térmico. Detalhe de um dos provetes dos calcários, imediatamente após o choque térmico, provocado pela sua transferência da estufa a  $(105\pm 5)^{\circ}\text{C}$  para a água destilada a  $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ .

Determinou-se a variação de massa de cada provete, de acordo com a seguinte equação:

$$\Delta m = \frac{m_o - m_f}{m_o} \times 100 \quad (\%)$$

A variação média de massa para cada amostra é a média aritmética das variações obtidas nos provetes ensaiados. Todos os resultados foram arredondados de acordo com o estabelecido na EN.

#### **3.5.6.12. Determinação da resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino**

Trata-se de um ensaio de envelhecimento acelerado, que simula as condições a que irão estar sujeitos produtos em pedra natural, quando aplicados em exteriores de zonas

costeiras, face à frequente presença de nevoeiro de origem marinha nestas zonas. A simulação destas condições é feita através da sujeição de provetes de pedra natural a ciclos sucessivos de nebulização com solução salina, seguida por secagem. No final, avaliam-se as alterações provocadas em propriedades da pedra ensaiada.

A norma que regulamenta este ensaio é a EN 14147. Exige somente a execução do ensaio em 6 provetes cúbicos com 50mm de aresta, estabelecendo a variação de massa dos provetes e as alterações na sua aparência visual, para a expressão dos resultados. Porém, a área de cada face do cubo é pequena, não permitindo uma análise visual adequada. Por este motivo, decidiu-se ensaiar também placas quadradas com 150mm de lado e 25mm de espessura. Além disso, tendo por objetivo avaliar-se a influência do nevoeiro salino em acabamentos distintos, ensaiaram-se três placas por calcário, cada uma com um diferente acabamento de uma das suas faces maiores: polido, amaciado e apicado. O acabamento amaciado é um acabamento efetuado através de um processo equivalente ao utilizado no polimento, mas no qual apenas são utilizados os abrasivos de maior calibre, de modo a obter-se uma superfície com baixa rugosidade, mas sem brilho. O acabamento apicado é um acabamento rugoso efetuado por impacto de um pico, ou picão, sobre uma superfície de pedra previamente aplanada.

Relativamente ao outro parâmetro definido pela EN 14147, para se exprimir os resultados — variação de massa — a experiência acumulada de outros métodos de envelhecimento acelerado, tem demonstrado que este critério, por si só, é insuficiente para avaliar a degradação das rochas. Assim, para cada calcário, procedeu-se aos seguintes estudos complementares:

- Ensaiou-se um lote de 10 provetes paralelepípedicos, com as dimensões (25×50×150)mm e com acabamento amaciado ou polido mate de uma das faces de maior área, com o objetivo de o submeter posteriormente ao ensaio de resistência à flexão sob carga centrada.
- Determinou-se a absorção de água à pressão atmosférica após nevoeiro salino, nos 6 provetes cúbicos, de acordo com a metodologia descrita em 3.5.6.2, com a finalidade de se calcular a variação provocada pelo ensaio nesta propriedade.
- Efetuou-se uma análise comparativa de imagens (entre provetes submetidos e não submetidos ao ensaio de nevoeiro salino): i) macroscópicas; ii) à lupa binocular; iii) de eletrões secundários (obtidas através de microsonda eletrónica, de lâminas delgadas polidas).

A execução dos ciclos exigiu a realização de um conjunto de operações prévias. Deste modo, preparou-se a solução a utilizar na nebulização dos provetes, com a concentração de  $(100\pm 10)$ g/l de cloreto de sódio (grau de pureza não inferior a 95%) dissolvido em água destilada ou desionizada. Relativamente aos provetes, foram todos submetidos às operações descritas em 3.5.6.1. De seguida, os provetes cúbicos foram pesados e registou-se a sua massa seca ( $m_0$ ). Quanto às placas, foi efetuada uma análise visual, com anotação das singularidades observadas e executados registos fotográficos: i) macroscópico e ii) através de lupa binocular, das suas superfícies com acabamentos específicos. No registo à lupa binocular utilizou-se uma máquina fotográfica Olympus, modelo SP - 500 UZ, montada numa lupa binocular também da marca Olympus, modelo SZ51.

No ensaio, utilizou-se uma câmara de nevoeiro salino da marca Ascott, modelo S120t, cujo esquema de funcionamento é igual ao apresentado na Figura 61, exceto no que se refere à localização do reservatório da solução salina, que se encontra situado na base do equipamento. A produção do nevoeiro salino foi efetuada do seguinte modo: uma bomba peristáltica bombeou a solução salina a partir do reservatório da câmara, onde se encontrava armazenada. Esta passou através de uma unidade de filtragem primária, na qual foram removidos todos os cristais de sal não dissolvidos e outros detritos, até a um atomizador. Neste, a solução foi atomizada com o recurso a ar comprimido, passando de líquido a aerossol. Antes de chegar ao atomizador, o ar comprimido passou através de um saturador de ar (humidificador), que aumentou a sua humidade relativa para 100%. Este processo de saturação prévia teve por objetivo garantir a produção de um nevoeiro salino denso. Por fim, o nevoeiro produzido foi libertado para o interior da câmara, com uma taxa de queda normativa de 1,0 a 2,0ml/h, em todo o volume da câmara. A taxa de queda foi previamente medida, com recurso a coletores colocados dentro da câmara, sendo depois ajustada, através da regulação, quer da pressão do ar comprimido, quer do fluxo da solução salina. O fluxo foi medido com um medidor de fluxo e o seu ajuste foi feito através da regulação da velocidade da bomba peristáltica.

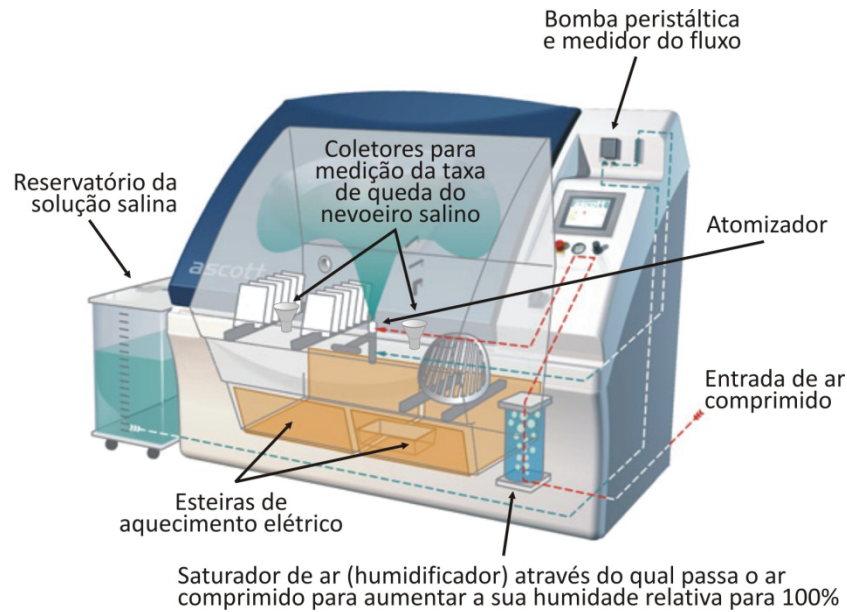


Figura 61 – Resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino. Esquema de funcionamento da câmara utilizada (origem figura: <http://www.ascott-analytical.com/>).

A fase dos ciclos de nevoeiro salino, começou pela colocação dos provetes dentro da câmara climática, sobre suportes não corrosivos. Cada ciclo teve 12h de duração e a seguinte constituição:  $4h \pm 15min$  de nebulização com solução salina, seguidas por  $8h \pm 15min$  de secagem. No decurso de todo o ensaio (períodos: de nebulização e de secagem) a temperatura no interior da câmara foi sempre mantida a  $(35 \pm 5)^{\circ}C$  através de esteiras de aquecimento elétrico existentes nas paredes internas e na base da câmara, reguladas por um controlador (Figura 61). A cada 15 ciclos, os provetes foram retirados da câmara para análise visual. Nas inspeções visuais efetuadas aos 15, 30 e 45 ciclos, nenhum dos provetes submetidos ao ensaio se apresentava rachado ou fissurado.

Completados os 60 ciclos previstos na EN 14147 (Figura 62), os provetes foram retirados da câmara e imersos em água, para remoção do sal, o mais completa quanto o possível. A água foi sendo substituída diariamente e a sua condutividade medida: i) antes da imersão dos provetes e ii) após a sua demolha. Na medição, utilizou-se um condutímetro da marca Radiometer, modelo CDM80. O processo foi dado por concluído, quando o valor da condutividade da água, medido após a demolha dos provetes, não excedeu duas vezes o valor medido antes da sua imersão.

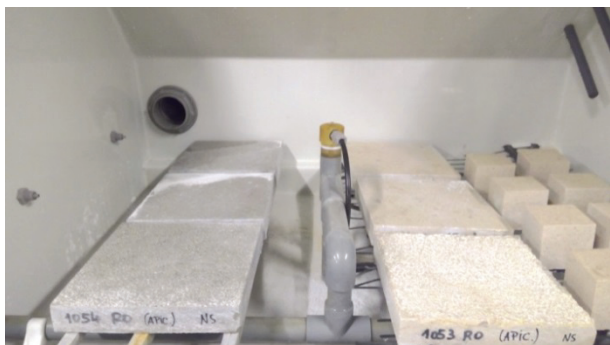


Figura 62 – Determinação da resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino. Aspeto das placas de diferentes acabamentos, de dois dos calcários, dentro da câmara de nevoeiro salino, após a conclusão dos 60 ciclos.

Após a dessalinização, as placas com diferentes acabamentos e o lote de provetes paralelepípedicos foram submetidos a secagem e a arrefecimento. Nas placas, as suas superfícies com acabamentos específicos, foram alvo de uma análise visual e de anotação das alterações observadas. Seguiram-se os registos fotográficos: i) macroscópico e ii) através de lupa binocular, das superfícies com distintos acabamentos. Os provetes cúbicos também foram secos, mas a secagem foi realizada até ser atingida massa constante. Depois do arrefecimento, foram pesados e registou-se a sua massa seca ( $m_{60}$ ). A sua variação de massa, em relação à inicial, foi determinada a partir da seguinte equação:

$$\Delta m = \frac{m_0 - m_{60}}{m_0} \times 100 \quad (\%)$$

A variação média de massa de cada amostra é a média aritmética das variações obtidas nos 6 provetes. Todos os resultados foram arredondados de acordo com a EN.

Determinou-se a variação na resistência à flexão obtida para os provetes com as dimensões (25×50×150)mm, no lote não sujeito ao ensaio de envelhecimento e no lote submetido a 60 ciclos de nevoeiro salino, de acordo com a seguinte equação:

$$\Delta R_f = \frac{R_{f_0} - R_{f_{60}}}{R_{f_0}} \times 100 \quad (\%)$$

Onde:

$R_{f_0}$  é a resistência à flexão obtida no lote de provetes não sujeito ao ensaio de envelhecimento;

$R_{f_{60}}$  é a resistência à flexão obtida no lote de provetes submetido a 60 ciclos de nevoeiro salino.

A variação na absorção de água determinada nos provetes não submetidos ao ensaio e nos provetes submetidos a 60 ciclos de nevoeiro salino, foi calculada através da seguinte equação:

$$\Delta A_b = \frac{A_{b_{60}} - A_{b_0}}{A_{b_0}} \times 100 \quad (\%)$$

Onde:

$A_{b_0}$  é a absorção de água determinada nos provetes não submetidos ao ensaio;

$A_{b_{60}}$  é a absorção de água determinada nos provetes submetidos a 60 ciclos de nevoeiro salino.





## Caracterização dos calcários

### 4.1. Estudo petrográfico

#### 4.1.1. Descrição macroscópica

##### 4.1.1.1. Aspetos gerais

A análise visual macroscópica das placas seleccionadas para este estudo, permitiu concluir-se que os calcários apresentam uma tonalidade bege clara, exceto o calcário “Azul Ataíja”, que apresenta uma cor cinzenta clara, levemente azulada, com laivos acastanhados. São constituídos, predominantemente, por um material carbonatado de granulado fino (microscópico a submicroscópico) — o cimento — que envolve e agrega diversos tipos de componentes. Estes aparentam ser constituídos por um material carbonatado mais cristalino que o do cimento. Nos calcários “Semi-Rijo do Arrimal” e “Moleanos” é possível observar que os componentes correspondem, na sua maioria, a restos de fósseis. Os componentes ocorrem homogeneamente dispersos no cimento, nos calcários “Cabeça de Veada”, “Creme Fátima” e “Azul Ataíja”, conferindo a estas rochas um aspeto relativamente homogéneo. Já os restantes calcários apresentam um aspeto algo heterogéneo, como consequência da distribuição dos componentes. É o cimento que determina a tonalidade de cada calcário, face à sua abundância. Assim, todos os calcários apresentam o cimento de uma tonalidade bege clara, exceto no “Azul Ataíja”, no qual é cinzento claro, levemente azulado. A cor dos diversos tipos de componentes é bege, ligeiramente mais escura que a tonalidade do cimento. A única exceção é, uma vez mais, o calcário “Azul Ataíja”, cujos componentes apresentam uma tonalidade, quer mais clara (esbranquiçada), quer mais escura, que a do cimento. Da análise das placas dos calcários, foi ainda possível constatar-se o seguinte:

- Nenhuma placa apresentava desagregação significativa de material nas suas arestas, facto que evidencia que se tratam de calcários compactos.

- Excetuando a superfície do calcário “Cabeça de Veada”, todas as outras apresentam alguns poros dispersos. Nos calcários “Semi-Rijo do Arrimal”, “Creme Fátima” e “Azul Ataija” estes têm, geralmente, um diâmetro inferior a 1mm. Nos calcários “Moca Creme” e “Moleanos” o diâmetro dos poros é inferior a 0,5mm. Os poros parecem ter resultado da desagregação de alguns componentes durante a operação de serragem, nos calcários “Semi-Rijo do Arrimal” e “Creme Fátima”.

As principais formas e dimensões dos componentes observados macroscopicamente nas placas dos calcários encontram-se resumidas na Tabela 10.

Tabela 10 — Componentes observados, macroscopicamente, nas placas dos calcários. Resumo das principais formas e dimensões.

Calcário	Formas	Dimensões — mm ( $\emptyset$ - diâmetro)		
		Menores	Médias	Maiores
“Cabeça de Veada”	Esferoidal, elipsoidal e alongada e arqueada	$\emptyset < 0,5$	$\emptyset: 2-3$	10×0,5, 30×0,5
“Semi-Rijo do Arrimal”	Esferoidal, elipsoidal, alongada, arqueada, irregular	$\emptyset < 0,5$	12×3, 10×10, 10×8	35×10
“Creme Fátima”	Esferoidal e elipsoidal, alongada e arqueada, alongada sub-retangular	a)	2-3×1	6×3
“Moca Creme”	Esferoidal, elipsoidal, alongada e arqueada, alongada sub-retangular, irregular	a)	1-2×1	5×5
“Moleanos”	Esferoidal, elipsoidal, alongada e arqueada, alongada sub-retangular, irregular	$\emptyset < 0,5$	1-2×1	6×3, 10×4
“Azul Ataija”	Esferoidal, elipsoidal, alongada e arqueada, irregular	a)	$\emptyset: 1-2$	10×1

a) Não foram medidas.

O aspeto macroscópico dos calcários está patente nas seis figuras a seguir apresentadas (Figura 63 a Figura 68).

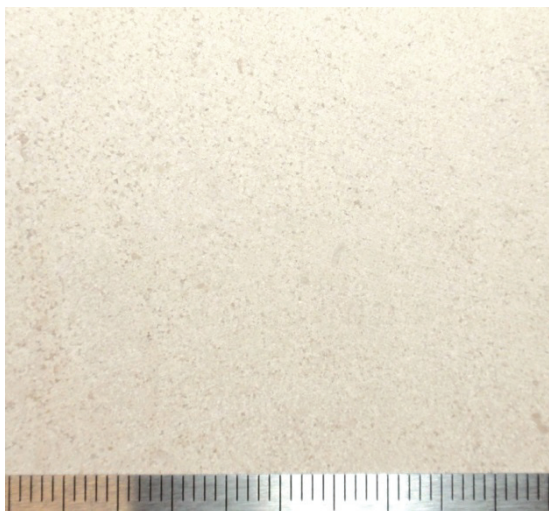


Figura 63 – Aspeto macroscópico do calcário “Cabeça de Veada”.

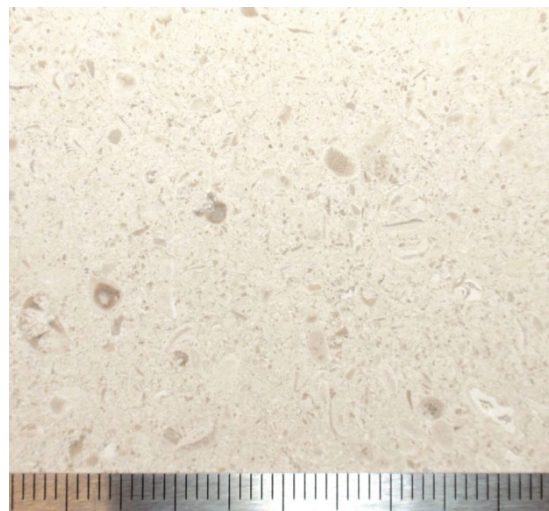


Figura 64 – Aspeto macroscópico do calcário “Semi-Rijo do Arrimal”.

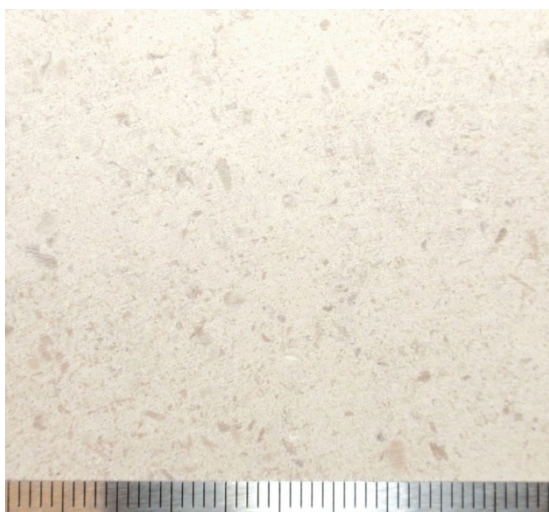


Figura 65 – Aspeto macroscópico do calcário “Creme Fátima”.

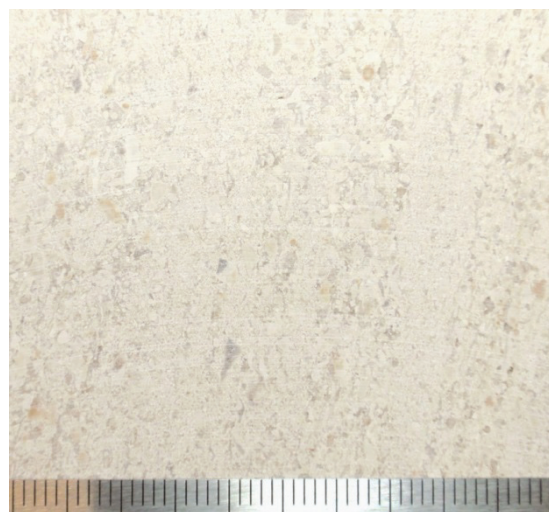


Figura 66 – Aspeto macroscópico do calcário “Moca Creme”.

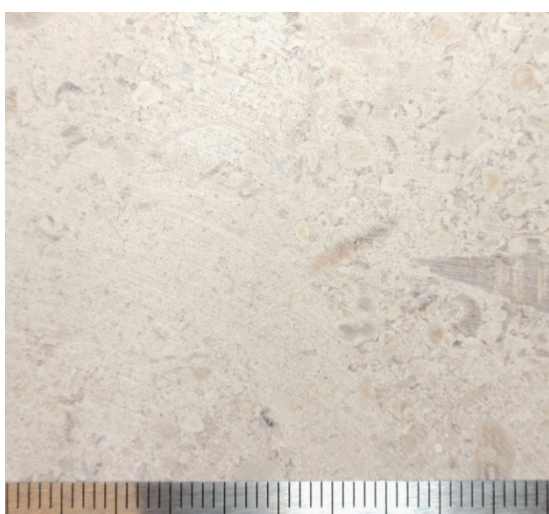


Figura 67 – Aspeto macroscópico do calcário “Moleanos”.



Figura 68 – Aspeto macroscópico do calcário “Azul Ataija”.

#### **4.1.1.2. Particularidades observadas em alguns dos calcários**

##### **a) Calcário “Moca Creme”**

Os componentes estão dispostos no cimento segundo uma estrutura que define uma certa laminação. Esta, que é provavelmente subparalela à estratificação, é caracterizada pela alternância de leitos com cerca de 4cm de espessura, nos quais predominam componentes de granulado mais grosseiro, com leitos de 1 a 2cm de espessura, nos quais prevalecem componentes de granulado mais fino. Os leitos apresentam alguns aspetos que se assemelham a estruturas gradativas e a sedimentação entrecruzada. Alguns dos componentes revelam uma leve pigmentação amarelada de óxidos de ferro hidratados.

##### **b) Calcário “Moleanos”**

A distribuição dos componentes de diferentes dimensões, na placa estudada, é heterogénea: existem zonas onde predominam os componentes de maiores dimensões, enquanto noutras prevalecem os de menores. A placa apresenta um estilólito que a corta obliquamente. A sua espessura é inferior a 1mm, possui microdobramentos e apresenta uma coloração amarelada mais intensa que a tonalidade da rocha, que resulta da sua impregnação com óxidos de ferro hidratados. Observa-se uma certa laminação, pouco definida, disposta paralelamente ao estilólito.

#### **4.1.2. Descrição microscópica**

##### **4.1.2.1. Componentes ortoquímicos**

A análise microscópica das lâminas delgadas polidas dos calcários, permitiu constatar-se que estes são constituídos por um cimento, que com base numa estimativa visual, deve corresponder a cerca de 50% da área total das lâminas estudadas, exceto para o calcário “Azul Ataíja”, no qual corresponde a cerca de 60% daquela área. O cimento é constituído por cristais de calcite, que se apresenta recristalizada em alguns dos calcários (“Moca Creme” e “Moleanos”). É de natureza exclusivamente esparítica nos calcários “Cabeça de Veada”, “Creme Fátima”, “Moca Creme” e “Moleanos”. Nos calcários “Semi-Rijo do Arrimal” e “Azul Ataíja”, ocorrem os dois tipos de cimento calcítico: micrítico (microcristalino) e esparítico (cristalino), embora haja um predomínio do primeiro, bastante acentuado no calcário “Azul Ataíja”.

As dimensões mais comuns dos cristais de calcite do cimento esparítico presente nos calcários encontram-se resumidas na Tabela 11.

Tabela 11 — Cristais de calcite do cimento esparítico existentes nos calcários. Resumo das principais dimensões.

Calcário	Dimensões dos cristais de calcite — $\mu\text{m}$ ( $\emptyset$ - diâmetro)		
	Menores	Médias	Maiores
“Cabeça de Veada”	a)	$\emptyset$ : 40	600×200
“Semi-Rijo do Arrimal”	40×40	$\emptyset$ : 80-100	600×400
“Creme Fátima”	a)	$\emptyset$ : 40-60	200×200, 600×180
“Moca Creme”	a)	$\emptyset$ : 40-60	400×400
“Moleanos”	$\emptyset$ : 10-50	$\emptyset$ : 80-100	200×200, 400×200, 1200×800
“Azul Atáija”	(não registadas, devido à escassa percentagem de cimento esparítico presente na lâmina delgada deste calcário)		

a) Não foram medidas.

#### 4.1.2.2. Componentes aloquímicos

O cimento agrega os seguintes componentes aloquímicos principais, nos calcários:

- **Pelóides** — Componentes de origem química ou biológica, com formas subsféricas, ou elipsoidais e sem estrutura interna definida. São constituídos essencialmente por calcite microcristalina, embora nos calcários “Moca Creme”, “Moleanos” e “Azul Atáija”, contenham por vezes, no seu interior, zonas esparíticas. No calcário “Moleanos”, alguns pelóides apresentam a sua orla mais externa ligeiramente impregnada por óxidos de ferro hidratados de cor amarelada, enquanto outros, pontualmente, apresentam uma constrição a meio. De um modo geral, apresentam limites bem definidos e são bem rolados, apesar de no calcário “Azul Atáija”, nalguns casos, os seus contornos serem difíceis de identificar.

- Oólitos** — Partículas subesféricas a esféricas, ou elipsoidais, que apresentam uma estrutura interna constituída por lâminas concêntricas de calcite, ora micrítica ora esparítica, dispostas em torno de um núcleo. Nos calcários “Cabeça de Veada” e “Creme Fátima”, este núcleo é constituído por calcite esparítica. No calcário “Moleanos”, apesar de ocorrerem oólitos com núcleo esparítico, também ocorrem outros com núcleo micrítico. No calcário “Azul Ataija”, o núcleo é formado por calcite micrítica, apesar de, por vezes, poder apresentar espatização incipiente. Nos calcários “Cabeça de Veada” e “Moleanos”, as lâminas que envolvem o núcleo são constituídas por uma alternância de calcite micrítica e calcite esparítica. Neste último calcário, os oólitos de núcleo micrítico são orlados por lâminas maioritariamente esparíticas. Já no calcário “Creme Fátima” ocorre o oposto: as lâminas são, na sua maioria, micríticas. Alguns oólitos do calcário “Azul Ataija” apresentam o núcleo envolvido por uma única lâmina de calcite esparítica. Os limites entre lâminas apresentam-se mal definidos nos calcários: “Creme Fátima”, “Moca Creme”, “Moleanos” e “Azul Ataija”. A orla mais externa, de alguns oólitos, apresenta-se impregnada por óxidos de ferro hidratados: – amarelados, no calcário “Moleanos”; – amarelados e acastanhados, no calcário “Azul Ataija”. Neste último, alguns oólitos contêm pequenos cristais e áreas irregulares de fluorite e noutros o seu núcleo é constituído por fluorite (Figura 69), cuja explicação genética, não foi possível comprovar. Na generalidade, os oólitos dos calcários apresentam contornos bem definidos e são bem rolados.

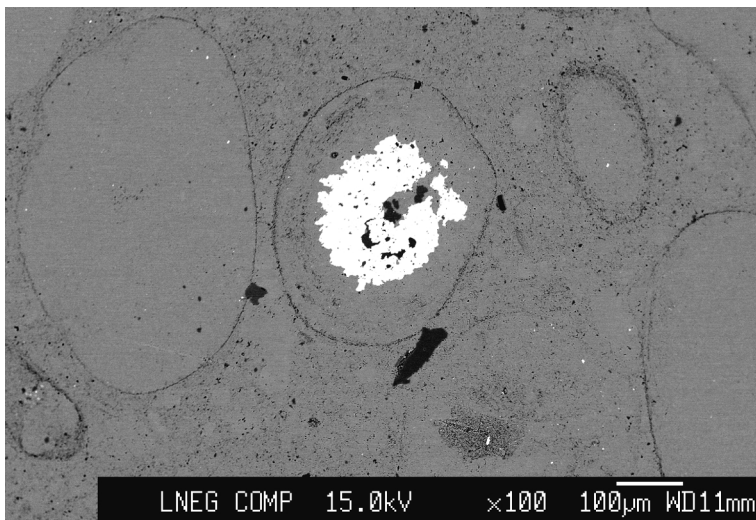


Figura 69 – Calcário “Azul Ataija”. Imagem obtida através de Microsonda Eletrónica (eletrões retrodifundidos). Oólito com núcleo constituído por fluorite (a branco).

- **Fósseis (e restos de fósseis)** — Trata-se de fósseis de coraliários, foraminíferos, lamelibrânquios, outros moluscos, etc., que se distinguem dos restantes componentes pela complexidade das suas estruturas internas, constituídas por várias câmaras interligadas, formadas maioritariamente por calcite esparítica, por vezes orlada por calcite micrítica. No calcário “Azul Ataíja”, mediram-se estes cristais de calcite; apresentam, em média, 40 a 100µm de diâmetro, chegando, por vezes, a atingir as dimensões (400×400)µm. Os fósseis apresentam formas variadas: esferoidais, elipsoidais, alongadas sub-retangulares, alongadas e arqueadas e irregulares. No calcário “Azul Ataíja”, a orla externa de alguns fósseis encontra-se impregnada por óxidos de ferro hidratados amarelados e acastanhados.

As dimensões mais comuns de todos os componentes aloquímicos presentes nos calcários são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 — Componentes aloquímicos presentes nos calcários. Resumo das principais dimensões.

Componentes aloquímicos		Calcários — Dimensões dos componentes - µm (Ø - diâmetro)					
		“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataíja”
Pelóides	Menores	Ø: 60-80	Ø: 120	120×120	Ø: 80	Ø: 160-200	a)
	Médios	Ø: 300-400, 400×200	Ø: 200	350×350	Ø: 250-300	Ø: 350-400	Ø: 400
	Maiores	Ø: 600, 2000×800	Ø: 400	1200×1200	3200×1200	1200×1600, 2000×1600	1000×200
Oólitos	Menores	Ø: 160	a)	a)	a)	200×200	a)
	Médios	Ø: 200	a)	200×200	Ø: 200	Ø: 350-400	a)
	Maiores	Ø: 360	a)	400×400	a)	600×400	a)
Fósseis	Menores	a)	200×200	a)	120×100	100×80, 200×200	160×140, 200×40, 200×100
	Médios	Ø: 200	400×400, 1200×250, 1500×400, 3200×640	200×200	600-700×200, Ø: 300-400	400×200	Ø: 600-800, 1600×400, 2400×150
	Maiores	Ø: 1500, 700×200, 550×200	2400×1200, 3600×3600	1200×100, 1200×400, 3000×400	1200×700, 1500×1200	5600×400	2600×1600, 3800×480, 4800×600

a) Não foram medidas.

#### 4.1.2.3. Componente terrígeno

O calcário “Azul Ataija” apresenta ainda, na sua composição, grãos detríticos de quartzo, de quartzito e, mais raramente, de feldspato potássico e cristais angulosos de quartzo. Alguns grãos de sílica subcristalina podem corresponder a “cherts”. Possuem formas irregulares, apesar de também ocorrerem grãos subangulosos. Os grãos de quartzo e de quartzito contêm, frequentemente, inúmeros pequenos cristais angulosos e subangulosos de pirite, cujo diâmetro se situa entre os 50 e os 100 $\mu\text{m}$ . Pontualmente, estes cristais de pirite inclusos, formam agregados com as dimensões (200 $\times$ 50) $\mu\text{m}$ . Além das inclusões deste mineral, alguns grãos de quartzo de maiores dimensões e de contornos subangulosos, apresentam também numerosas e pequeníssimas inclusões sub-retangulares de gesso, barite e celestite, dispostas paralelamente (Figura 70 e Figura 71), que evidenciam a sua provável origem magmática hidrotermal. Outros grãos de quartzo contêm abundantes pontuações<sup>1</sup> opacas grafitosas, que em geral, apresentam 10 a 40 $\mu\text{m}$  de diâmetro.

As dimensões mais comuns de todos os componentes constituintes terrígenos presentes nos calcários são apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 — Componente terrígeno presente no calcário “Azul Ataija”. Resumo das suas principais dimensões.

Componente Terrígeno		Dimensões do componente - $\mu\text{m}$ ( $\emptyset$ - diâmetro)
Grãos detríticos	Menores	$\emptyset$ : 50-80
	Médios	a)
	Maiores	1200 $\times$ 1000

a) Não foram medidas.

---

<sup>1</sup> Grãos de diferentes minerais, de cor escura, com as dimensões médias patentes na Tabela 14 e que à escala microscópica assumem o tamanho de pontos.

Figura 70 – Imagem obtida através de Microsonda eletrônica (eletrões retrodifundidos). Grão detrítico de quartzo subanguloso (cinza escuro), presente no calcário “Azul Ataija”, contendo numerosas e pequeníssimas inclusões sub-retangulares de calcite, gesso, barite e celestite, dispostas paralelamente. Contém, ainda, pequenos cristais de pirite e também algumas pontuações opacas grafitosas.

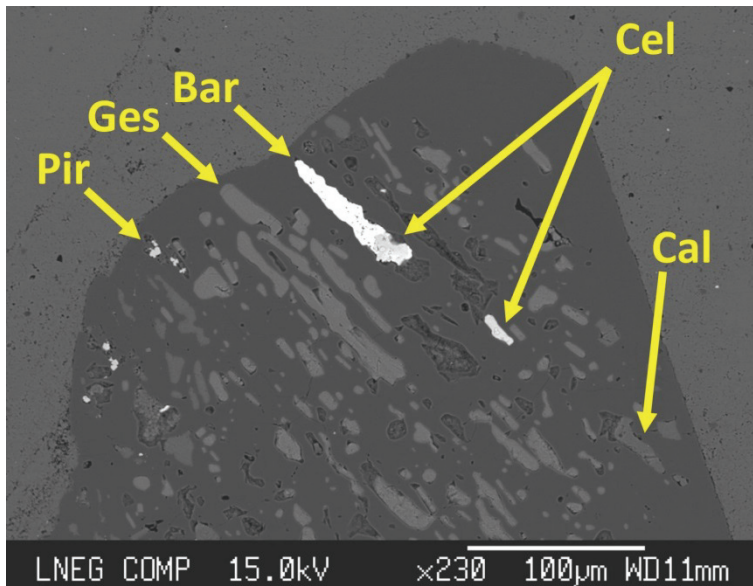
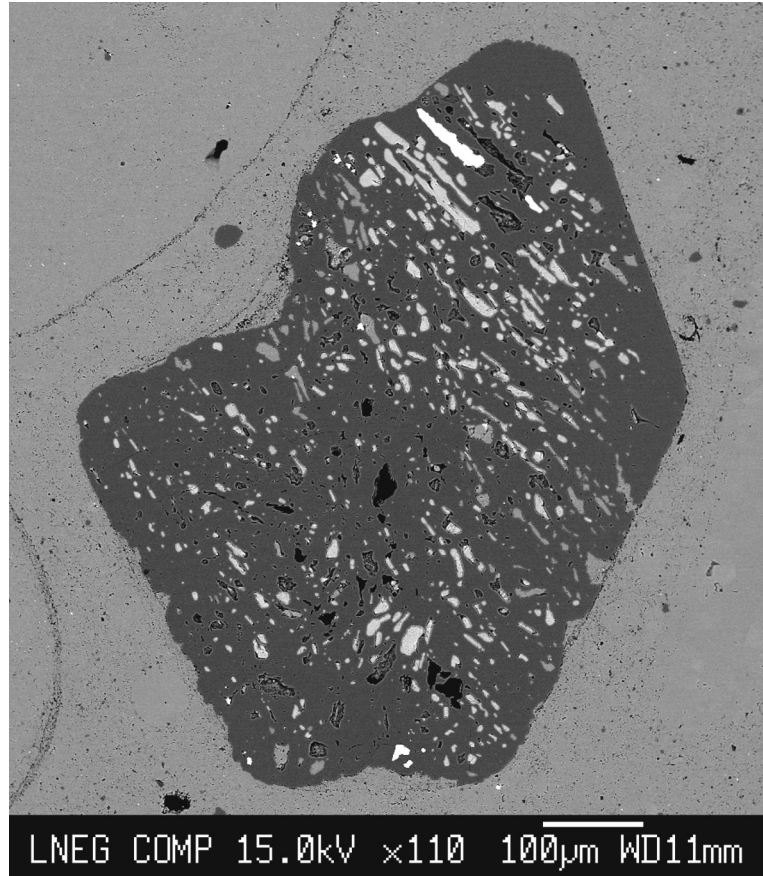


Figura 71 – Imagem obtida através de Microsonda Eletrônica (eletrões retrodifundidos). Detalhe da fotografia anterior. **Bar**: barite; **Cal**: calcite; **Cel**: celestite; **Ges**: gesso; **Pir**: pirite.

#### 4.1.2.4. Outros constituintes existentes em todos os calcários

Além dos componentes aloquímicos e terrígeno, os calcários apresentam também alguns grãos de diferentes minerais, de cor escura e dimensões reduzidas, que à escala microscópica assumem o tamanho de pontos. Doravante vão ser designados por pontuações, de modo a simplificar o texto. Observam-se pontuações opacas e outras acastanhadas. Estas últimas correspondem a óxidos e hidróxidos de ferro hidratados. De um modo geral, distribuem-se homogeneamente na área estudada de cada rocha, apesar de localmente poder haver zonas de maior concentração, como as observadas na lâmina do calcário “Semi-Rijo do Arrimal”. Impregnam quer o cimento, quer alguns dos componentes, nos calcários “Cabeça de Veada”, “Semi-Rijo do Arrimal”, “Moca Creme” e “Azul Ataíja”. Neste calcário, ocorrem mais frequentemente nos grãos detríticos. São, geralmente, esferoidais, apesar de também ocorrerem pontuações alongadas. Em alguns calcários, as pontuações formam, por vezes, agregados maiores, como é o caso dos calcários “Semi-Rijo do Arrimal” e “Azul Ataíja”. As dimensões mais comuns das pontuações e agregados de pontuações observadas nos calcários são apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 — Pontuações opacas e acastanhadas existentes nos calcários. Resumo das principais dimensões.

Calcário	Dimensões das pontuações — $\mu\text{m}$ ( $\emptyset$ - diâmetro)	
	Médias	Maiores
“Cabeça de Veada”	$\emptyset$ : 30-50, 40×10	a)
“Semi-Rijo do Arrimal”	40×40	80×40, 80×80
“Creme Fátima”	$\emptyset$ : 20-50	100×50
“Moca Creme”	40×40	a)
“Moleanos”	$\emptyset$ : 50-100	$\emptyset$ : 250
“Azul Ataíja”	$\emptyset$ : 10-80	a)

a) Não foram medidas.

Os calcários possuem, ainda, poros dispersos na lâmina de cada rocha estudada. Geralmente são esferoidais ou elipsoidais, mas também apresentam outras formas (alongadas, arqueadas ou irregulares). No calcário “Cabeça de Veada”, alguns poros esferoidais e elipsoidais resultaram do desprendimento de oólitos. Observam-se poros isolados, mas também surgem poros mais alongados, resultantes da coalescência de dois, ou mais, poros

isolados. Nos calcários “Moca Creme”, “Moleanos” e “Azul Ataija” prevalecem os poros isolados. Ocorrem no seio do cimento, ou formam uma coroa circular em torno dos componentes aloquímicos; nos calcários “Creme Fátima” e “Moleanos” são mais frequentes os primeiros. No “Azul Ataija”, calcário que é constituído maioritariamente por cimento micrítico, os poros ocorrem principalmente nas zonas de cimento esparítico. Finalmente destaca-se o número e dimensão dos poros, que ocorrem no calcário “Semi-Rijo do Arrimal” e que conferem à rocha uma porosidade relativamente elevada. As principais dimensões dos poros existentes nos calcários são apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15 — Poros presentes nos calcários. Resumo das principais dimensões.

Calcário	Dimensões dos poros — $\mu\text{m}$ ( $\emptyset$ - diâmetro)		
	Menores	Médias	Maiores
“Cabeça de Veada”	$\emptyset$ : 40	$\emptyset$ : 150	400×200, 400×40
“Semi-Rijo do Arrimal”	a)	$\emptyset$ : 30-50	200×200, 800×800, 1000×300
“Creme Fátima”	$\emptyset$ : 10	$\emptyset$ : 160-200	400×200, 800×200
“Moca Creme”	a)	$\emptyset$ : 100-150	240×160, 600×40
“Moleanos”	a)	$\emptyset$ : 100-200	600×40, 400×200
“Azul Ataija”	a)	$\emptyset$ : 160	200×50, 400×100

a) Não foram medidas.

#### 4.1.2.5. Constituinte presente apenas no Calcário “Azul Ataija”

Além da pirite contida nos grãos de quartzo e de quartzito, ocorrem ainda cristais de pirite: no seio do cimento micrítico, em algumas zonas de calcite esparítica e nos fósseis. As suas dimensões não ultrapassam, em geral, 10 $\mu\text{m}$  de diâmetro.

#### 4.1.2.6. Imagens microscópicas dos calcários

As texturas dos calcários estão patentes nas respetivas imagens microscópicas, obtidas com luz natural transmitida (Figura 72 a Figura 77).

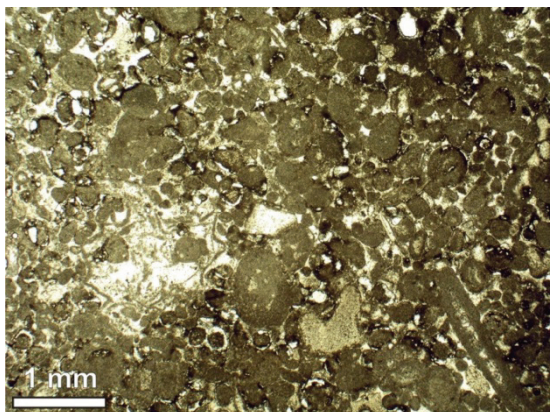


Figura 72 – Calcário “Cabeça de Veada”. Cimento esparítico unindo pelóides, oólitos e fósseis diversos; alguns poros (a branco).

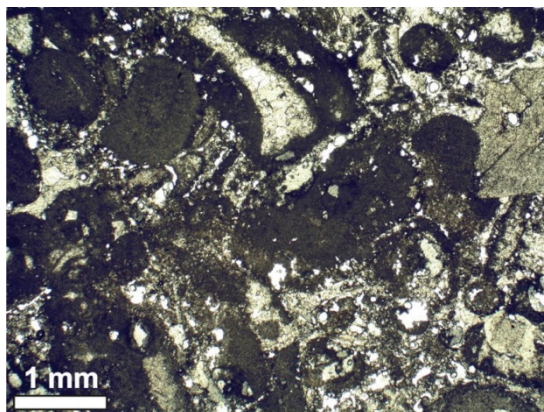


Figura 73 – Calcário “Semi-Rijo do Arrimal”. Cimento micrítico, parcialmente esparítico, envolvendo fósseis diversos e pelóides; alguns poros.

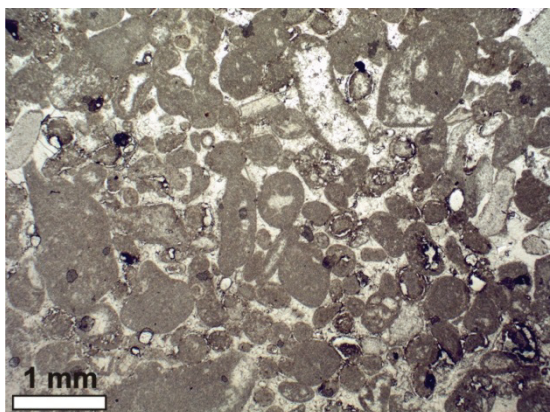


Figura 74 – Calcário “Creme Fátima”. Cimento esparítico, agregando pelóides, fósseis diversos e oólitos; alguns poros.

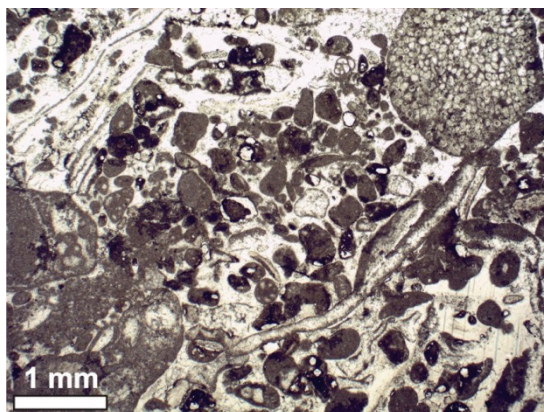


Figura 75 – Calcário “Moca Creme”. Cimento esparítico, agregando pelóides, fósseis diversos e raros oólitos; alguns poros

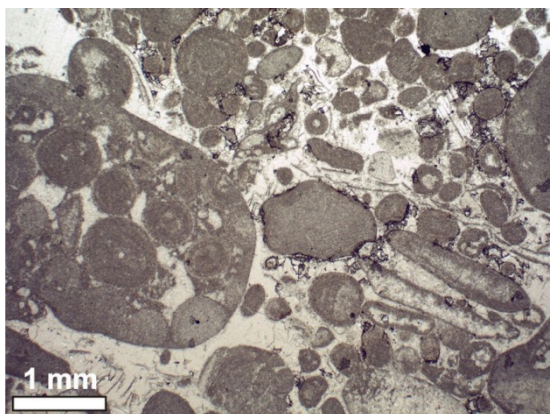


Figura 76 — Calcário “Moleanos”. Cimento esparítico, agregando pelóides, oólitos e fósseis diversos; pontuações opacas e acastanhadas, de óxidos de ferro hidratados e alguns poros.

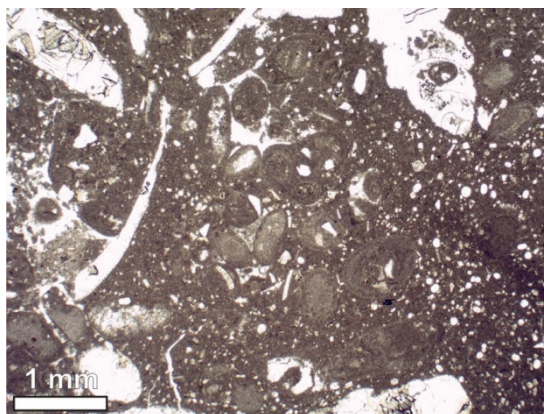


Figura 77 – Calcário “Azul Ataija”. Cimento micrítico, localmente esparítico, agregando pelóides, fósseis e alguns: oólitos e grãos detríticos; pontuações e agregados de pontuações opacas e acastanhadas de óxidos de ferro hidratados; alguns poros.

#### 4.1.2.7. Classificação dos calcários

Tendo por base a estimativa visual das quantidades dos componentes ortoquímicos e aloquímicos presentes nos calcários, assim como as proporções entre eles, classificaram-se os calcários, de acordo com a nomenclatura desenvolvida por Robert L. Folk. Segundo esta classificação (Folk, 1980), todos os calcários são rochas aloquímicas. Na Tabela 16 apresentam-se as percentagens estimadas dos componentes atrás mencionados, assim como a classificação específica dos calcários, dentro das rochas aloquímicas.

Tabela 16 — Classificação dos calcários (Folk, 1980).

Calcário	Constituintes ortoquímicos		Constituintes aloquímicos			Classificação
	Esparite	Micrite	Pelóides	Oólitos	Fósseis	
“Cabeça de Veada”	50		30	12	8	Pelesparito oolítico fossilífero
“Semi-Rijo do Arrimal”	20	30	15	vest.	35	Biopelomicrito
“Creme Fátima”	50		20	15	15	Biopeloesparito oolítico
“Moca Creme”	49		30	1	20	Biopeloesparito
“Moleanos”	50		20	15	15	Biopeloesparito oolítico
“Azul Ataija”	15	45	15	5	15	Biopelomicrito

## 4.2. Composição química

### 4.2.1. Elementos maiores

Os elementos maiores presentes nos calcários são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 — Composição química — elementos maiores — dos calcários, obtida por espectrometria de fluorescência de raios X. Os resultados estão apresentados em %.

Óxido	“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataija”
SiO <sub>2</sub>	< 0,86	< 0,86	< 0,86	< 0,86	< 0,86	3,36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	< 0,22	< 0,22	< 0,22	< 0,22	< 0,22	0,28
Fe total (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,04	< 0,04	0,04	0,04	0,04	0,10
MnO	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
CaO	54,71	55,63	55,68	55,79	55,77	53,01
MgO	0,25	0,26	0,37	0,31	0,19	0,82
Na <sub>2</sub> O	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
K <sub>2</sub> O	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,03
TiO <sub>2</sub>	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
P.R. <sup>1)</sup>	44,76	43,77	43,92	43,80	43,84	42,27

<sup>1)</sup> Perda ao Rubro.

### 4.2.2. Elementos traço

Apresenta-se, na Tabela 18, a composição química dos calcários, em termos de elementos traço.

Tabela 18 — Composição química — elementos traço — dos calcários, obtida por espectrometria de fluorescência de raios X. Os resultados estão apresentados em ppm.

Óxido	“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataija”
Rb	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	4
Sr	194	238	304	143	157	340
Y	7	5	7	< 3	8	< 3
Zr	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Nb	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Ba	7	< 7	8	< 7	< 7	< 7
Ta	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6
Sn	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6
W	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6
Th	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Hf	< 7	< 7	< 7	< 7	< 7	< 7
U	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6
La	< 5	13	< 5	< 5	< 5	< 5
Ce	< 5	13	16	8	19	15
Nd	12	11	8	11	11	10
Ni	< 7	< 7	< 7	< 7	< 7	< 7
Cu	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6
Zn	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6
Pb	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6
Sc	< 7	< 7	< 7	< 7	< 7	< 7
V	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Cr	8	6	6	5	6	5
Co	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Ga	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Ge	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5

### 4.3. Caracterização tecnológica

#### 4.3.1. Absorção de água à pressão atmosférica

Os resultados obtidos para a absorção de água à pressão atmosférica inicial (EN 13755), nos provetes dos calcários, constam da Tabela 19. Determinou-se igualmente esta

propriedade nos provetes cúbicos, submetidos a 60 ciclos de nevoeiro salino (Tabela 20). Ambas as tabelas incluem os parâmetros estatísticos calculados.

Tabela 19 — Absorção de água à pressão atmosférica inicial. Resultados obtidos nos provetes ensaiados e respetivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em %.

Provete	“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataija”
I	3,6	8,0	4,2	3,1	1,5	0,8
II	3,4	8,2	4,5	3,2	1,4	0,8
III	3,6	8,1	4,2	2,9	1,2	0,8
IV	4,0	8,0	4,2	3,1	1,4	0,8
V	4,5	8,6	4,3	3,1	1,2	0,8
VI	4,0	8,4	4,4	3,1	1,5	0,8
<b>Média</b>	<b>3,8</b>	<b>8,2</b>	<b>4,3</b>	<b>3,1</b>	<b>1,4</b>	<b>0,8</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,39</b>	<b>0,22</b>	<b>0,12</b>	<b>0,12</b>	<b>0,14</b>	<b>0,03</b>
<b>V. Máx. Esper. <sup>1)</sup></b>	<b>4,8</b>	<b>8,7</b>	<b>4,6</b>	<b>3,4</b>	<b>1,8</b>	<b>0,9</b>

<sup>1)</sup> Valor Máximo Esperado (consultar 3.5.5. Definições).

Tabela 20 — Absorção de água à pressão atmosférica após 60 ciclos de nevoeiro salino. Resultados obtidos nos provetes ensaiados e respetivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em %.

Provete	“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataija”
I	4,1	8,6	4,4	3,0	1,3	0,9
II	3,9	8,9	4,1	2,9	1,3	0,7
III	4,2	8,7	4,3	3,5	1,1	0,7
IV	3,9	9,0	4,4	3,1	1,2	0,8
V	3,8	8,9	4,0	3,3	1,2	0,8
VI	3,8	8,6	4,1	3,2	1,4	0,8
<b>Média</b>	<b>4,0</b>	<b>8,8</b>	<b>4,2</b>	<b>3,2</b>	<b>1,3</b>	<b>0,8</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,14</b>	<b>0,19</b>	<b>0,16</b>	<b>0,19</b>	<b>0,10</b>	<b>0,07</b>
<b>V. Máx. Esper. <sup>1)</sup></b>	<b>4,3</b>	<b>9,2</b>	<b>4,6</b>	<b>3,6</b>	<b>1,5</b>	<b>1,0</b>

<sup>1)</sup> Valor Máximo Esperado (consultar 3.5.5. Definições).

#### 4.3.2. Densidade aparente

A Tabela 21 contém os resultados obtidos, nos provetes dos calcários, para a densidade aparente (EN 1936), bem como os respetivos parâmetros estatísticos.

Tabela 21 — Densidade aparente. Resultados obtidos nos provetes ensaiados e respetivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em  $\text{kg/m}^3$ .

Provete	“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataíja”
I	2440	2180	2410	2470	2580	2640
II	2450	2160	2400	2470	2600	2640
III	2440	2170	2410	2490	2610	2650
IV	2420	2170	2410	2470	2590	2650
V	2390	2150	2410	2480	2610	2650
VI	2420	2160	2400	2480	2580	2650
<b>Média</b>	<b>2430</b>	<b>2160</b>	<b>2410</b>	<b>2480</b>	<b>2600</b>	<b>2650</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>22,69</b>	<b>10,36</b>	<b>6,62</b>	<b>7,90</b>	<b>12,31</b>	<b>2,41</b>

#### 4.3.3. Porosidade aberta

Os resultados obtidos para a porosidade aberta (EN 1936), nos provetes dos calcários, encontram-se na Tabela 22. Na tabela constam, igualmente, os parâmetros estatísticos.

Tabela 22 — Porosidade aberta. Resultados obtidos nos provetes ensaiados e respetivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em %.

Provete	“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataíja”
I	7,9	16,6	9,1	7,0	3,8	2,0
II	7,5	16,9	9,6	7,1	3,3	1,9
III	7,9	16,8	9,3	6,5	2,9	1,8
IV	8,6	16,7	9,0	7,0	3,6	1,8
V	9,4	17,6	9,2	6,9	3,0	1,7
VI	8,6	17,2	9,5	6,8	3,8	1,8
<b>Média</b>	<b>8,3</b>	<b>17,0</b>	<b>9,3</b>	<b>6,9</b>	<b>3,4</b>	<b>1,8</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,71</b>	<b>0,37</b>	<b>0,21</b>	<b>0,20</b>	<b>0,39</b>	<b>0,09</b>

#### 4.3.4. Resistência à compressão

Na Tabela 23 estão patentes os resultados obtidos para a resistência à compressão (EN 1926), nos provetes dos calcários, bem como os parâmetros estatísticos.

Tabela 23 — Resistência à compressão. Resultados obtidos nos provetes ensaiados e respetivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em **MPa**.

Provete	“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataija”
I	100,5	42,3	109,5	132,4	138,5	208,6
II	109,2	40,9	108,5	135,6	137,2	222,7
III	96,6	38,2	116,2	144,7	127,6	206,2
IV	77,7 <sup>1)</sup>	38,6	100,0	114,1	102,7 <sup>1)</sup>	222,9
V	107,1	36,7	111,3	132,6	154,0	201,3
VI	114,9	40,2	112,2	112,3	163,2	216,3
VII	109,9	40,9	104,9	157,0	149,1	206,9
VIII	107,7	43,6	102,8	131,7	152,6	169,2
IX	106,7	37,0	110,8	134,6	140,4	203,9
X	83,2	40,9	104,4	151,0	151,7	199,2
<b>Média</b>	<b>104</b>	<b>40</b>	<b>108</b>	<b>135</b>	<b>146</b>	<b>206</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>15</b>
<b>Coef. variação <sup>2)</sup></b>	<b>0,09</b>	<b>0,06</b>	<b>0,05</b>	<b>0,11</b>	<b>0,07</b>	<b>0,07</b>
<b>Valor máximo</b>	<b>114,9</b>	<b>43,6</b>	<b>116,2</b>	<b>157,0</b>	<b>163,2</b>	<b>222,9</b>
<b>Valor mínimo</b>	<b>83,2</b>	<b>36,7</b>	<b>100,0</b>	<b>112,3</b>	<b>127,6</b>	<b>169,2</b>
<b>V. Mín. Esper. <sup>3)</sup></b>	<b>84</b>	<b>35</b>	<b>98</b>	<b>107</b>	<b>124</b>	<b>174</b>

<sup>1)</sup> Resultado rejeitado devido ao facto de se situar fora do intervalo [Média-20%; Média+20%].

<sup>2)</sup> Coeficiente de variação (consultar 3.5.5. Definições).

<sup>3)</sup> Valor Mínimo Esperado (consultar 3.5.5. Definições).

#### 4.3.5. Resistência à flexão sob carga centrada

##### 4.3.5.1. Provetes de dimensões nominais (50×50×300)mm não submetidos a ciclos de gelo/degelo

Os resultados da resistência à flexão sob carga centrada (EN 12372) obtida nos calcários, para os provetes de dimensões nominais (50×50×300)mm e não submetidos a ciclos de gelo/degelo, são apresentados na Tabela 24. Esta tabela também contém os respetivos parâmetros estatísticos.

Tabela 24 — Resistência à flexão sob carga centrada inicial. Resultados obtidos nos provetes de dimensões nominais (50×50×300)mm e respetivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em **MPa**.

Provete	“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataija”
I	14,1	6,9	12,8	14,9	9,6	21,3
II	13,4	7,1	13,5	15,9	12,5	16,6 <sup>1)</sup>
III	10,6	7,1	14,1	13,8	8,8 <sup>1)</sup>	22,1
IV	12,2	4,5 <sup>1), 2)</sup>	13,6	16,0	10,5	24,4
V	12,2	6,0	14,6	15,0	13,2	19,6
VI	12,9	6,5	11,8	14,5	13,0	22,4
VII	12,0	6,8	14,0	13,7	12,7	22,5
VIII	13,4	6,1	13,9	15,3	11,8	21,0
IX	13,0	6,5	15,0	13,8	6,6 <sup>1)</sup>	19,7
X	12,9	6,0	14,0	16,5	11,9	23,0
<b>Média</b>	<b>12,7</b>	<b>6,5</b>	<b>13,7</b>	<b>14,9</b>	<b>11,9</b>	<b>21,8</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>1,0</b>	<b>0,4</b>	<b>0,9</b>	<b>1,0</b>	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>
<b>Coef. variação<sup>3)</sup></b>	<b>0,08</b>	<b>0,06</b>	<b>0,07</b>	<b>0,07</b>	<b>0,11</b>	<b>0,07</b>
<b>Valor máximo</b>	<b>14,1</b>	<b>7,1</b>	<b>15,0</b>	<b>16,5</b>	<b>13,2</b>	<b>24,4</b>
<b>Valor mínimo</b>	<b>10,6</b>	<b>6,0</b>	<b>11,8</b>	<b>13,7</b>	<b>9,6</b>	<b>19,6</b>
<b>V. Mín. Esper.<sup>4)</sup></b>	<b>10,7</b>	<b>5,7</b>	<b>11,9</b>	<b>12,9</b>	<b>9,2</b>	<b>18,6</b>

<sup>1)</sup> Resultado rejeitado devido ao facto de se situar fora do intervalo [Média-20%; Média+20%].

<sup>2)</sup> Superfície de rutura do provete (IV) constituída por um material de aspeto mais grosseiro e com menor quantidade de fósseis, que as dos restantes provetes.

<sup>3)</sup> Coeficiente de variação (consultar 3.5.5. Definições).

<sup>4)</sup> Valor Mínimo Esperado (consultar 3.5.5. Definições).

#### 4.3.5.2. Provetes de dimensões nominais (50×50×300)mm submetidos a 48 ou a 56 ciclos de gelo/degelo

Na Tabela 25 apresentam-se os resultados da resistência à flexão sob carga centrada (EN 12372) obtida nos calcários, para os provetes de dimensões nominais (50×50×300)mm e submetidos a 48 ou a 56 ciclos de gelo/degelo. A tabela inclui os parâmetros estatísticos.

Tabela 25 — Resistência à flexão sob carga centrada após 48/56 ciclos de gelo/degelo. Resultados obtidos nos provetes de dimensões nominais (50×50×300)mm e respetivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em MPa.

Ciclos gelo/degelo	48				56	
	“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataija”
I	8,5	4,3	3,0	12,6	13,7	13,9
II	9,0	4,6	5,8	12,7	12,8	13,1
III	7,4 <sup>1)</sup>	4,3 <sup>1)</sup>	4,9	12,5	9,8	15,3
IV	10,0	3,0 <sup>2)</sup>	2,2	10,4	6,4 <sup>1), 2)</sup>	11,9
V	10,8	4,3	2,1	10,5	13,4	16,5
VI	10,4	4,7	1,9	12,5	9,8	18,5
VII	10,4	4,2 <sup>1)</sup>	2,6	12,5	9,0	11,8
VIII	9,5	4,3	2,3	13,7	10,7	18,6
IX	8,5	4,4	5,1	14,3	2,4 <sup>1), 2)</sup>	13,3
X	8,3	4,8	4,8	12,4	6,8	20,1
<b>Média</b>	<b>9,3</b>	<b>4,4</b>	<b>3,5</b>	<b>12,4</b>	<b>10,8</b>	<b>15,3</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>1,1</b>	<b>0,2</b>	<b>1,5</b>	<b>1,2</b>	<b>2,4</b>	<b>3,0</b>
<b>Coef. variação <sup>3)</sup></b>	<b>0,12</b>	<b>0,05</b>	<b>0,43</b>	<b>0,10</b>	<b>0,22</b>	<b>0,19</b>
<b>Valor máximo</b>	<b>10,8</b>	<b>4,8</b>	<b>5,8</b>	<b>14,3</b>	<b>13,7</b>	<b>20,1</b>
<b>Valor mínimo</b>	<b>7,4</b>	<b>4,2</b>	<b>1,9</b>	<b>10,4</b>	<b>6,8</b>	<b>11,8</b>
<b>V. Mín. Esper. <sup>4)</sup></b>	<b>7,1</b>	<b>4,0</b>	<b>1,3</b>	<b>10,0</b>	<b>6,3</b>	<b>10,0</b>

<sup>1)</sup> Superfície de rutura afastada do centro do provete mais do que 15% da medida do vão.

<sup>2)</sup> Resultado rejeitado devido ao facto de se situar fora do intervalo [Média-20%; Média+20%].

<sup>3)</sup> Coeficiente de variação (consultar 3.5.5. Definições).

<sup>4)</sup> Valor Mínimo Esperado (consultar 3.5.5. Definições).

#### 4.3.5.3. Provetes de dimensões nominais (25×50×150)mm não submetidos a ciclos de nevoeiro salino

Os resultados da resistência à flexão sob carga centrada (EN 12372) obtida nos calcários, para os provetes de dimensões nominais (25×50×150)mm e não submetidos a ciclos de nevoeiro salino, são apresentados na Tabela 26. Os parâmetros estatísticos também se encontram na tabela.

Tabela 26 — Resistência à flexão sob carga centrada inicial. Resultados obtidos nos provetes de dimensões nominais (25×50×150)mm e respetivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em **MPa**.

Provete	“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataija”
I	14,9	8,0	16,6	20,0	13,4 <sup>1)</sup>	18,9 <sup>2)</sup>
II	13,9	8,2	19,0	15,8	17,4	24,4
III	14,6	7,7	17,0	16,6	9,8	24,5
IV	15,1	7,8	18,5	17,8	9,4	24,1
V	13,9	7,7	17,3	17,9	12,4	25,2
VI	14,9	7,4	16,7	18,5	12,6	25,5
VII	13,4	7,7	17,5	17,4	15,7	28,1
VIII	13,3	8,0	17,7	18,7	14,0	24,9
IX	14,1	7,5	18,6	16,4	11,7	23,8
X	14,6	8,4	17,1	18,0	13,1	26,4
XI	13,1	7,7	18,1	17,5		
<b>Média</b>	<b>14,2</b>	<b>7,8</b>	<b>17,6</b>	<b>17,7</b>	<b>13,0</b>	<b>25,2</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,7</b>	<b>0,3</b>	<b>0,8</b>	<b>1,2</b>	<b>2,4</b>	<b>1,3</b>
<b>Coef. variação <sup>2)</sup></b>	<b>0,05</b>	<b>0,04</b>	<b>0,05</b>	<b>0,07</b>	<b>0,19</b>	<b>0,05</b>
<b>Valor máximo</b>	<b>15,1</b>	<b>8,4</b>	<b>19,0</b>	<b>20,0</b>	<b>17,4</b>	<b>28,1</b>
<b>Valor mínimo</b>	<b>13,1</b>	<b>7,4</b>	<b>16,6</b>	<b>15,8</b>	<b>9,4</b>	<b>23,8</b>
<b>V. Mín. Esper. <sup>3)</sup></b>	<b>12,8</b>	<b>7,3</b>	<b>16,0</b>	<b>15,4</b>	<b>8,6</b>	<b>22,5</b>

<sup>1)</sup> Superfície de rutura afastada do centro do provete mais do que 15% da medida do vão.

<sup>2)</sup> Resultado rejeitado devido ao facto de se situar fora do intervalo [Média-20%; Média+20%].

<sup>3)</sup> Coeficiente de variação (consultar 3.5.5. Definições).

<sup>4)</sup> Valor Mínimo Esperado (consultar 3.5.5. Definições).

#### 4.3.5.4. Provetes de dimensões nominais (25×50×150)mm submetidos a 60 ciclos de nevoeiro salino

Na Tabela 27 apresentam-se os resultados da resistência à flexão sob carga centrada (EN 12372) obtida nos calcários, para os provetes de dimensões nominais (25×50×150)mm e submetidos a 60 ciclos de nevoeiro salino. Os parâmetros estatísticos estão patentes na tabela.

Tabela 27 — Resistência à flexão sob carga centrada após 60 ciclos de nevoeiro salino. Resultados obtidos nos provetes de dimensões nominais (25×50×150)mm e respetivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em MPa.

Provete	“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataija”
I	15,1	6,8	16,1	18,9	12,8	22,6
II	13,9	6,8	14,5	16,5	14,1	24,9
III	14,9	7,0	14,2	15,0	16,0	24,7
IV	14,6	7,4	14,8	17,9	15,9	22,1
V	15,7	6,9	16,0	17,2	13,7	17,4 <sup>1)</sup>
VI	14,6	7,0	17,7	17,4	13,3	21,4
VII	15,7	6,7	13,9	17,3	17,6 <sup>1)</sup>	18,3
VIII	14,4	7,1	16,0	16,0	15,4	23,0
IX	15,0	6,7	17,5	17,3	11,6	24,3
X	13,8	7,1	14,5	17,3	13,8	22,6
XI	14,7	6,8	14,7	16,7		
<b>Média</b>	<b>14,8</b>	<b>6,9</b>	<b>15,5</b>	<b>17,0</b>	<b>14,1</b>	<b>22,6</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,6</b>	<b>0,2</b>	<b>1,3</b>	<b>1,0</b>	<b>1,5</b>	<b>2,0</b>
<b>Coef. variação<sup>2)</sup></b>	<b>0,04</b>	<b>0,03</b>	<b>0,08</b>	<b>0,06</b>	<b>0,11</b>	<b>0,09</b>
<b>Valor máximo</b>	<b>15,7</b>	<b>7,4</b>	<b>17,7</b>	<b>18,9</b>	<b>16,0</b>	<b>24,9</b>
<b>Valor mínimo</b>	<b>13,8</b>	<b>6,7</b>	<b>13,9</b>	<b>15,0</b>	<b>11,6</b>	<b>18,3</b>
<b>V. Mín. Esper.<sup>3)</sup></b>	<b>13,5</b>	<b>6,5</b>	<b>13,0</b>	<b>15,0</b>	<b>11,1</b>	<b>18,4</b>

<sup>1)</sup> Resultado rejeitado devido ao facto de se situar fora do intervalo [Média-20%; Média+20%].

<sup>2)</sup> Coeficiente de variação (consultar 3.5.5. Definições).

<sup>3)</sup> Valor Mínimo Esperado (consultar 3.5.5. Definições).

#### 4.3.7. Coeficiente de absorção de água por capilaridade

As curvas obtidas para os provetes dos calcários, da absorção de água por unidade de área, em função do tempo, são apresentadas nas seis figuras a seguir apresentadas (Figura 78 a Figura 88).

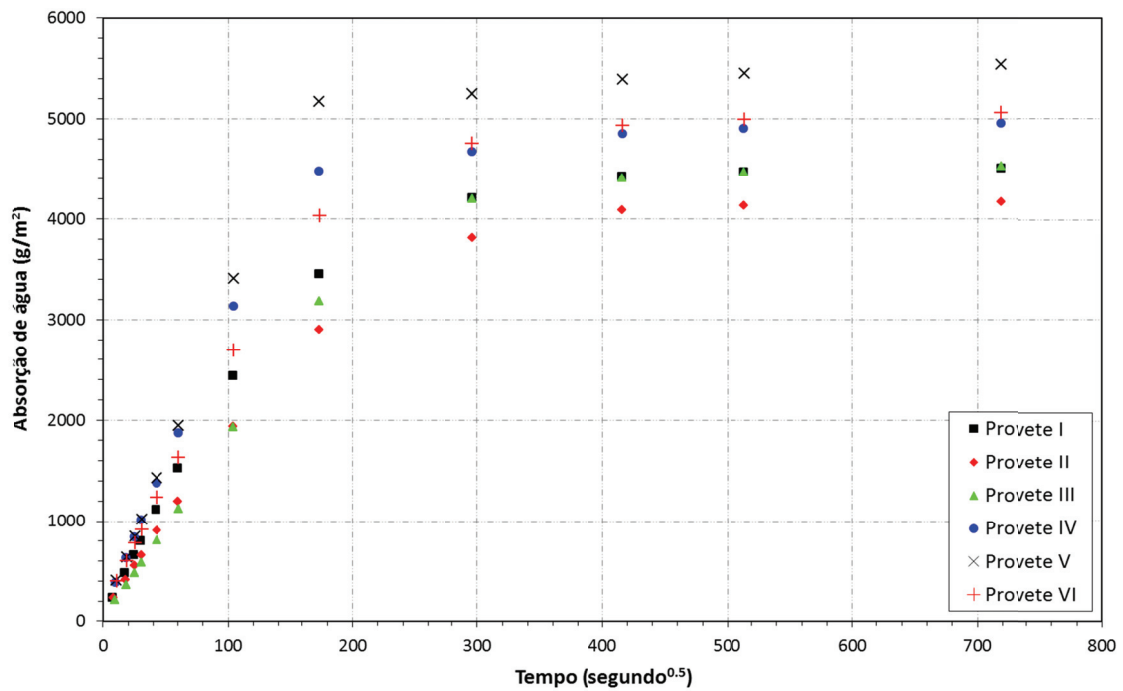


Figura 78 — Coeficiente de absorção de água por capilaridade. Curvas da absorção de água por unidade de área, em função do tempo, para os provetes do calcário “Cabeça de Veada”.

Os resultados obtidos para o coeficiente de absorção de água por capilaridade (EN 1925) constam da Tabela 28, assim como os parâmetros estatísticos.

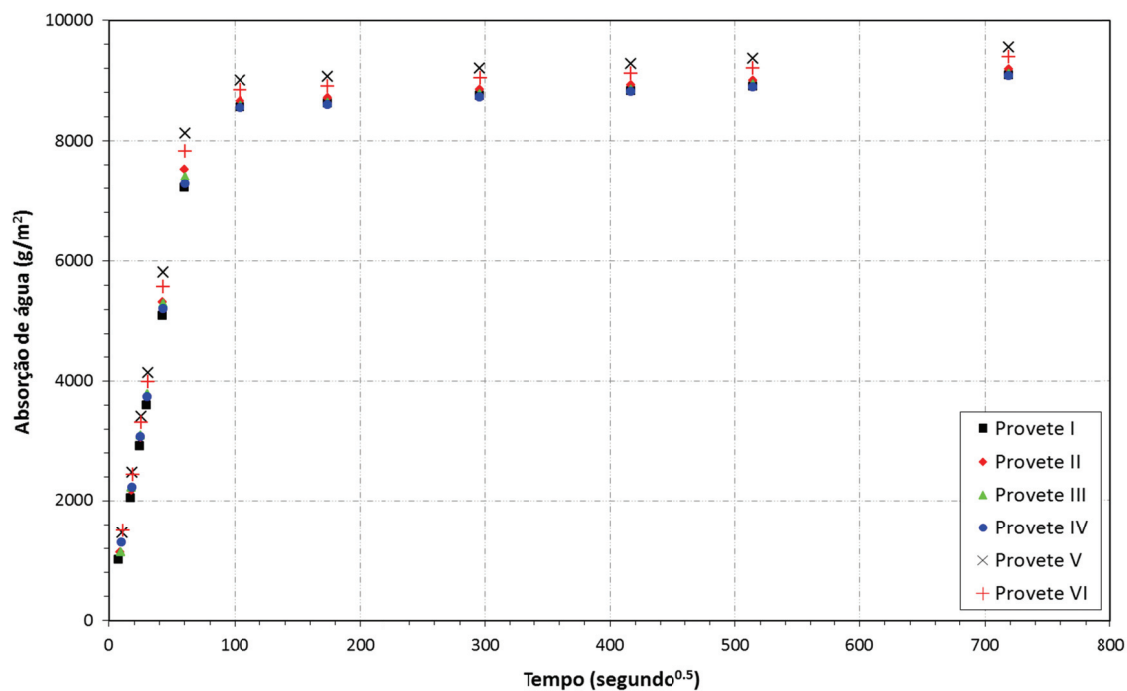


Figura 79 — Coeficiente de absorção de água por capilaridade. Curvas da absorção de água por unidade de área, em função do tempo, para os provetes do calcário “Semi-Rijo do Arrimal”.

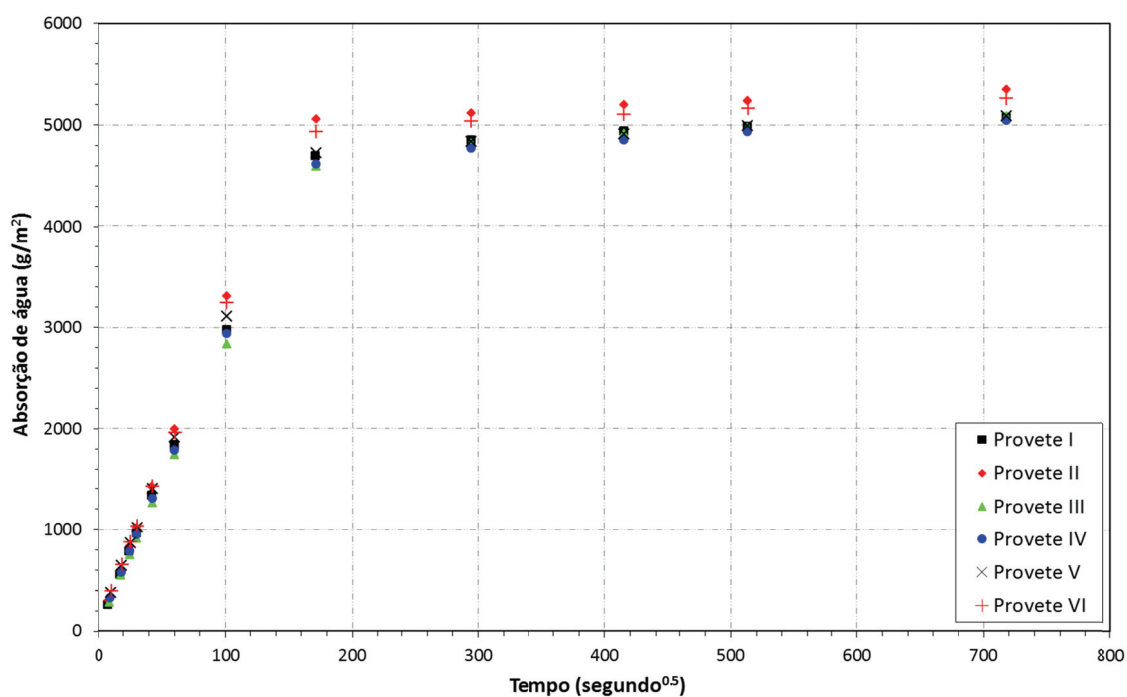


Figura 80 — Coeficiente de absorção de água por capilaridade. Curvas da absorção de água por unidade de área, em função do tempo, para os provetes do calcário “Crema Fátima”.

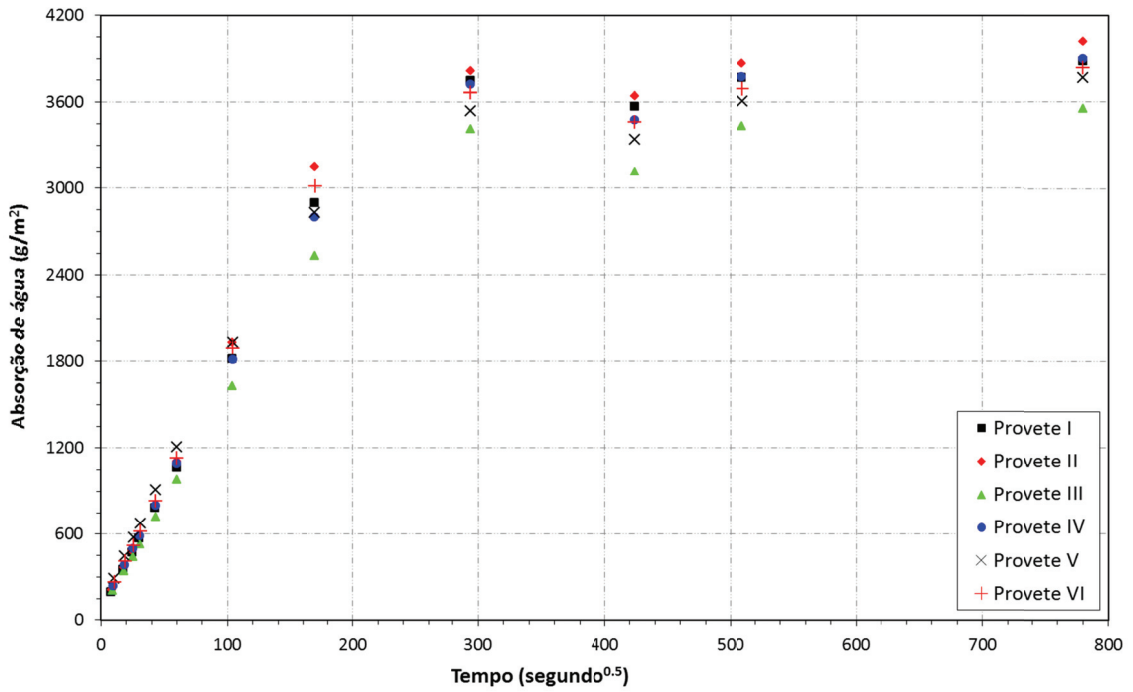


Figura 81 — Coeficiente de absorção de água por capilaridade. Curvas da absorção de água por unidade de área, em função do tempo, para os provetes do calcário “Moca Creme”.

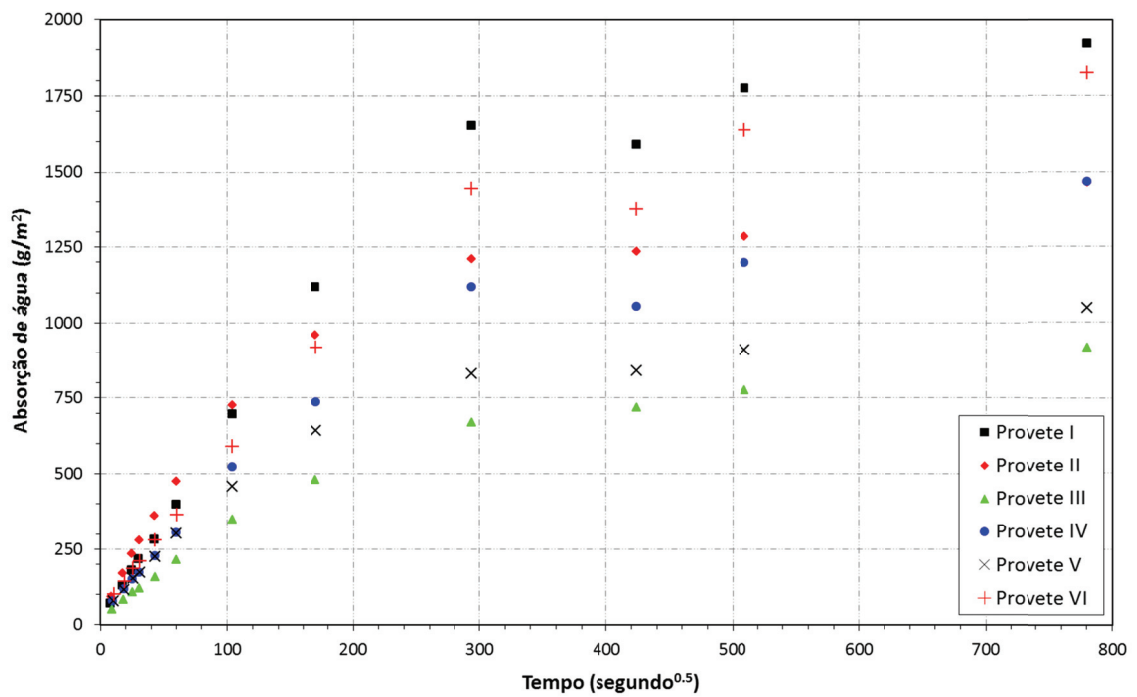


Figura 82 — Coeficiente de absorção de água por capilaridade. Curvas da absorção de água por unidade de área, em função do tempo, para os provetes do calcário “Moleanos”.

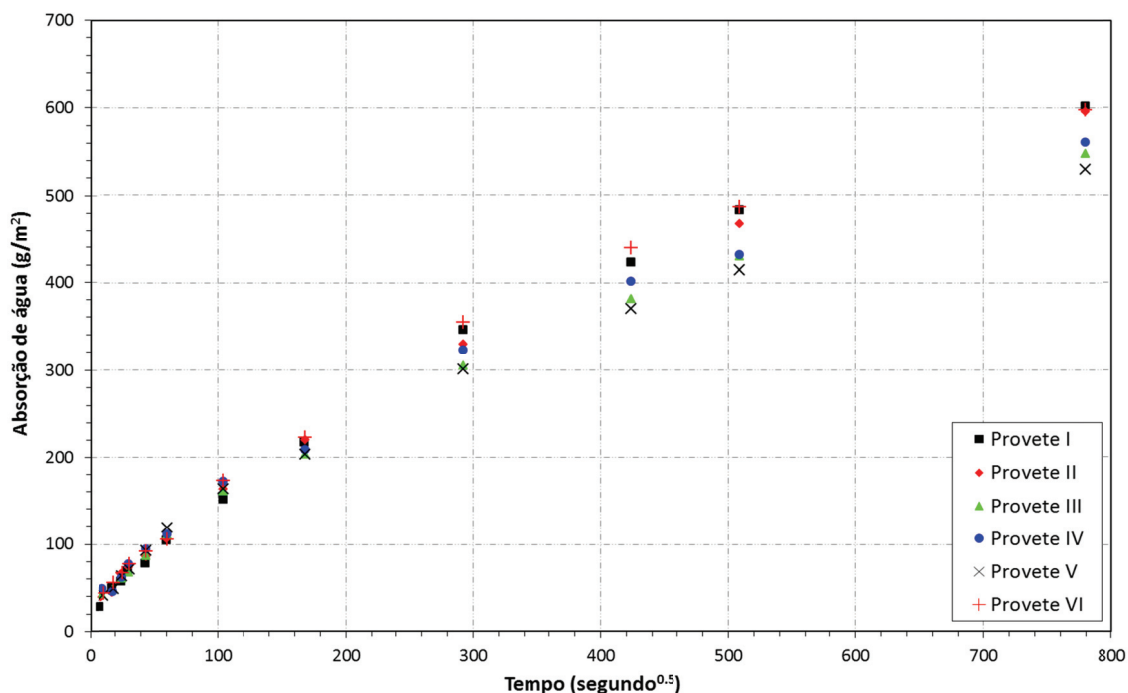


Figura 83 — Coeficiente de absorção de água por capilaridade. Curvas da absorção de água por unidade de área, em função do tempo, para os provetes do calcário “Azul Ataija”.

Tabela 28 — Coeficiente de absorção de água por capilaridade. Resultados obtidos nos provetes ensaiados e respectivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em  $g/(m^2 \times s^{0,5})$ .

Calcário	“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataija”
	Direção de ascensão da água					
	C <sub>1</sub>			C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	
I	25,4	119	31,2	17,0	6,60	1,37
II	19,6	125	33,2	18,3	8,66	1,45
III	18,2	124	29,3	15,3	3,32	1,48
IV	30,1	119	29,9	17,0	4,67	1,89
V	32,2	135	31,5	19,0	4,63	1,71
VI	26,3	129	32,3	17,6	5,63	1,47
<b>Média</b>	<b>25,3</b>	<b>125</b>	<b>31,2</b>	<b>17,4</b>	<b>5,59</b>	<b>1,56</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>5,6</b>	<b>6</b>	<b>1,4</b>	<b>1,3</b>	<b>1,86</b>	<b>0,20</b>

Nota: C<sub>1</sub> - Direção de ascensão da água perpendicular aos planos de anisotropia da rocha.

C<sub>2</sub> - Direção de ascensão da água paralela aos planos de anisotropia da rocha.

#### 4.3.8. Energia de rutura

Na Tabela 29 apresentam-se os resultados obtidos para a energia de rutura (EN 14158), nos provetes dos calcários. A tabela contém, ainda, os parâmetros estatísticos.

Tabela 29 — Energia de rutura. Resultados obtidos nos provetes ensaiados e respetivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em **Joules**.

Provete	“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataíja”
I	2	3	3	3	3	4
II	2	3	3	3	2	4
III	3	2	3	3	2	3
IV	3	2	3	3	3	4
V	2	3	4	3	3	4
VI	2	3	3	3	3	3
<b>Média</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>

#### 4.3.9. Carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem

Os resultados obtidos para a carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem (EN 13364), nos provetes dos calcários, são apresentados na Tabela 30. Os parâmetros estatísticos também se encontram na tabela. Esta EN exige ainda, para cada orifício ensaiado, a medição, registo e apresentação no relatório de:  $d$  (Figura 84),  $d_1$  (Figura 85) e  $b_A$  (Figura 86). A EN estabelece tolerâncias para  $d$ , que se deve situar no intervalo  $(30,0 \pm 3,0)$ mm e para  $d_1$ , que deve respeitar o intervalo  $(10,0 \pm 2,0)$ mm. Na Tabela 31 são apresentadas as medições de  $d$ , na Tabela 32 são apresentadas as medições de  $d_1$  e na Tabela 33 são apresentadas as medições de  $b_A$ . Também se encontram nestas tabelas os parâmetros estatísticos que a EN estipula que sejam calculados para  $d_1$  e  $b_A$ .

Tabela 30 — Carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem. Resultados obtidos nos orifícios ensaiados e respetivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em **Newtons**.

Ensaio / Orifício	“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataija”
1	1750	1650	2850	3350	3650 <sup>1)</sup>	4100
2	1950	2550 <sup>1)</sup>	3150	2850 <sup>2)</sup>	3150	5100 <sup>1)</sup>
3	2350	1850	3150	3550	2250	3450
4	2250	1450	2850	2150 <sup>2)</sup>	2850	3550
5	2350	1550	2350	2750	2250	3800
6	2450	1550	2350	2850 <sup>2)</sup>	2550	3150
7	1950	1450	3350	2550 <sup>2)</sup>	3150	3750
8	2050	2250 <sup>1)</sup>	2950	3050	3050	3050
9	2950 <sup>1)</sup>	2050	2850		2850	3450
10	2350	1850	3150		2650	3150
11					2550	4000
<b>Média</b>	<b>2150</b>	<b>1700</b>	<b>2900</b>	<b>2900</b>	<b>2750</b>	<b>3550</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>242</b>	<b>219</b>	<b>334</b>	<b>441</b>	<b>336</b>	<b>365</b>
<b>Coef. variação<sup>3)</sup></b>	<b>0,11</b>	<b>0,13</b>	<b>0,12</b>	<b>0,15</b>	<b>0,12</b>	<b>0,10</b>
<b>Valor máximo</b>	<b>2450</b>	<b>2050</b>	<b>3350</b>	<b>3550</b>	<b>3150</b>	<b>4100</b>
<b>Valor mínimo</b>	<b>1750</b>	<b>1450</b>	<b>2350</b>	<b>2150</b>	<b>2250</b>	<b>3050</b>
<b>V. Mín. Esper.<sup>4)</sup></b>	<b>1678</b>	<b>1257</b>	<b>2238</b>	<b>2027</b>	<b>2084</b>	<b>2842</b>

<sup>1)</sup> Resultado rejeitado devido ao facto de se situar fora do intervalo [Média-20%; Média+20%].

<sup>2)</sup> Direção da força de tração paralela relativamente aos planos de anisotropia do calcário (nos restantes ensaios, a força de tração foi exercida perpendicularmente aos planos referidos).

<sup>3)</sup> Coeficiente de variação (consultar 3.5.5. Definições).

<sup>4)</sup> Valor Mínimo Esperado (consultar 3.5.5. Definições).

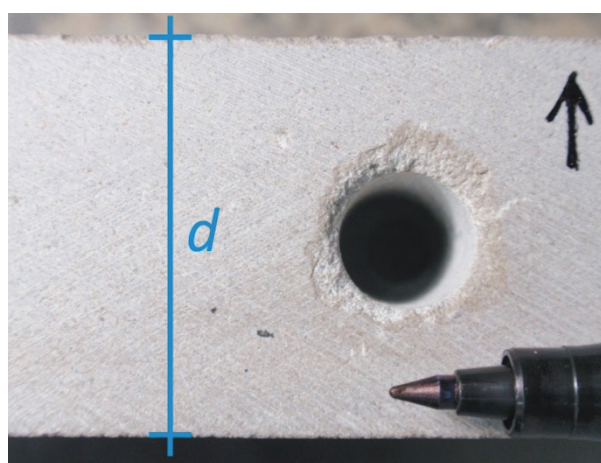


Figura 84 – Carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem. Medida de  $d$ . A medição foi efetuada no alinhamento do centro do orifício.

Tabela 31 — Valores de  $d$  medidos para cada orifício, apresentados em **mm**, no ensaio de carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem.

Ensaio / Orifício	“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataija”
1	30,5	30,5	30,5	30,5	31,0	31,0
2	31,0	30,5	30,5	30,5	31,0	30,0
3	30,5	30,0	31,0	30,5	30,5	30,0
4	30,5	30,5	31,0	30,5	30,5	30,5
5	31,0	30,5	31,0	30,5	31,0	30,0
6	31,0	31,0	31,0	30,5	31,0	31,5
7	30,5	29,5	30,5	30,5	31,0	30,5
8	31,0	29,0	30,5	30,5	31,0	30,0
9	31,0	30,5	31,0		31,0	30,5
10	30,5	30,5	30,5		31,0	30,0
11					31,0	31,5

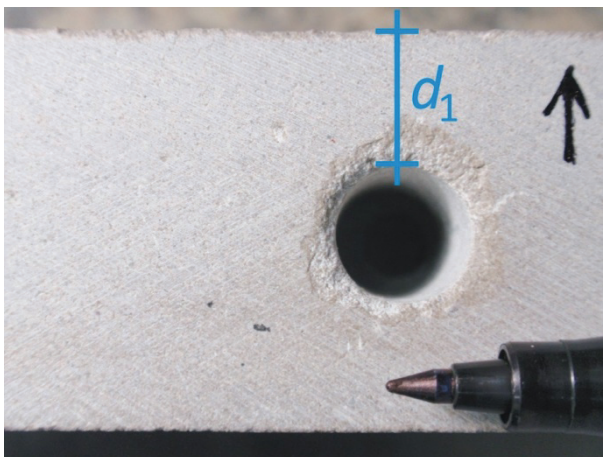


Figura 85 – Carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem. Medida de  $d_1$ . A medição foi efetuada no sentido em que iria ser exercida a força de tração.

Tabela 32 — Valores de  $d_1$  medidos para cada orifício e respetivos parâmetros estatísticos, apresentados em **mm**, no ensaio de carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem.

Ensaio / Orifício	“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataija”
1	10,0	9,0	10,0	11,0	11,0 <sup>1)</sup>	11,0
2	11,0	9,0 <sup>1)</sup>	8,0	11,0	10,0	12,0 <sup>1)</sup>
3	11,0	9,0	9,0	10,0	8,0	11,0
4	12,0	9,0	10,0	12,0	9,0	12,0
5	10,0	9,0	10,0	10,0	7,0 <sup>2)</sup>	10,0
6	11,0	8,0	8,0	9,0	10,0	12,0
7	10,0	9,0	11,0	10,0	10,0	11,0
8	10,0	9,0 <sup>1)</sup>	10,0	12,0	8,0	12,0
9	10,0 <sup>1)</sup>	8,0	9,0		10,0	9,0
10	10,0	11,0	10,0		12,0	9,0
11					11,0	11,0
<b>Média</b>	<b>11,0</b>	<b>9,0</b>	<b>10,0</b>	<b>11,0</b>	<b>10,0</b>	<b>11,0</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,7</b>	<b>0,9</b>	<b>1,0</b>	<b>1,1</b>	<b>1,5</b>	<b>1,1</b>
<b>Coef. variação<sup>3)</sup></b>	<b>0,07</b>	<b>0,10</b>	<b>0,10</b>	<b>0,10</b>	<b>0,16</b>	<b>0,11</b>
<b>Valor máximo</b>	<b>12,0</b>	<b>11,0</b>	<b>11,0</b>	<b>12,0</b>	<b>12,0</b>	<b>12,0</b>
<b>Valor mínimo</b>	<b>10,0</b>	<b>8,0</b>	<b>8,0</b>	<b>9,0</b>	<b>7,0</b>	<b>9,0</b>
<b>V. Mín. Esper.<sup>4)</sup></b>	<b>9,1</b>	<b>7,2</b>	<b>7,6</b>	<b>8,5</b>	<b>6,7</b>	<b>8,5</b>

<sup>1)</sup> Valor rejeitado pelo facto de se referir a um resultado rejeitado.

<sup>2)</sup> Valor inferior ao limite normativo.

<sup>3)</sup> Coeficiente de variação (consultar 3.5.5. Definições).

<sup>4)</sup> Valor Mínimo Esperado (consultar 3.5.5. Definições).

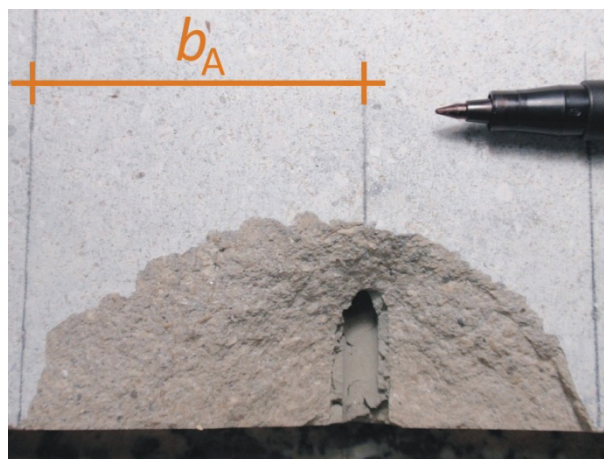


Figura 86 – Carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem. Calcário “Azul Ataija”. Medida de  $b_A$  (após a rutura).

Tabela 33 — Valores de  $b_A$  medidos para cada orifício e respetivos parâmetros estatísticos, apresentados em mm, no ensaio de carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem.

Ensaio / Orifício	“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataija”
1	47,0	54,0	37,0	46,0	45,0 <sup>1)</sup>	56,0
2	37,0	47,0 <sup>1)</sup>	44,0	55,0	51,0	65,0 <sup>1)</sup>
3	45,0	45,0	44,0	50,0	38,0	45,0
4	45,0	34,0	36,0	49,0	35,0	50,0
5	40,0	36,0	34,0	57,0	35,0	48,0
6	55,0	40,0	34,0	42,0	33,0	48,0
7	42,0	34,0	45,0	40,0	44,0	50,0
8	40,0	33,0 <sup>1)</sup>	52,0	57,0	35,0	45,0
9	59,0 <sup>1)</sup>	45,0	36,0		43,0	53,0
10	43,0	40,0	43,0		43,0	44,0
11					36,0	48,0
<b>Média</b>	<b>44,0</b>	<b>41,0</b>	<b>41,0</b>	<b>50,0</b>	<b>39,0</b>	<b>49,0</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>5,2</b>	<b>6,8</b>	<b>6,0</b>	<b>6,6</b>	<b>5,7</b>	<b>3,7</b>
<b>Coef. variação<sup>2)</sup></b>	<b>0,12</b>	<b>0,17</b>	<b>0,15</b>	<b>0,13</b>	<b>0,15</b>	<b>0,08</b>
<b>Valor máximo</b>	<b>55,0</b>	<b>54,0</b>	<b>52,0</b>	<b>57,0</b>	<b>51,0</b>	<b>56,0</b>
<b>Valor mínimo</b>	<b>37,0</b>	<b>34,0</b>	<b>34,0</b>	<b>40,0</b>	<b>33,0</b>	<b>44,0</b>
<b>V. Máx. Esper.<sup>3)</sup></b>	<b>55,6</b>	<b>57,6</b>	<b>54,3</b>	<b>66,1</b>	<b>52,2</b>	<b>56,9</b>

<sup>1)</sup> Valor rejeitado pelo facto de se referir a um resultado rejeitado.

<sup>2)</sup> Coeficiente de variação (consultar 3.5.5. Definições).

<sup>3)</sup> Valor Máximo Esperado (consultar 3.5.5. Definições).

#### 4.3.10. Resistência ao desgaste por abrasão

Na Tabela 34 apresentam-se os resultados da resistência ao desgaste por abrasão, do método A — ensaio de desgaste com o disco largo (EN 14157), obtidos nas superfícies com acabamento amaciado dos provetes dos calcários. A tabela inclui os parâmetros estatísticos.

Tabela 34 — Resistência ao desgaste por abrasão. Método A – ensaio de desgaste com o disco largo. Resultados obtidos nas superfícies com acabamento amaciado dos provetes dos calcários e respectivos parâmetros estatísticos. Os valores estão apresentados em mm.

Provete	“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataija”
I	21,5	24,5	22,5	20,5	18,5	17,0
II	23,0	26,0	23,0	22,0	20,0	18,5
III	23,5	26,0	21,0	20,0	19,5	17,5
IV	22,5	24,5	20,5	21,0	19,5	19,5
V	24,5	26,0	21,0	20,0	18,5	17,5
VI	24,5	24,5	21,0	20,0	19,0	17,5
<b>Média</b>	<b>23,0</b>	<b>25,5</b>	<b>21,5</b>	<b>20,5</b>	<b>19,0</b>	<b>18,0</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>1,1</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>	<b>0,5</b>	<b>0,9</b>
<b>V. Máx. Esper. <sup>1)</sup></b>	<b>26,0</b>	<b>27,0</b>	<b>24,0</b>	<b>22,5</b>	<b>20,5</b>	<b>20,0</b>

<sup>1)</sup> Valor Máximo Esperado (consultar 3.5.5. Definições).

#### 4.3.11. Resistência ao gelo

Os valores médios da resistência à flexão sob carga centrada: inicial e após os ciclos de gelo/degelo levados a cabo, encontram-se na Tabela 35, assim como percentagem de variação entre eles.

Tabela 35 — Valores médios da resistência à flexão sob carga centrada: inicial e após os ciclos de gelo/degelo realizados e respetiva variação (decréscimo) percentual entre ambos. As médias da resistência à flexão estão apresentadas em MPa.

Res. flexão média	“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataija”
<b>Inicial</b>	12,7	6,5	13,7	14,9	11,9	21,8
<b>Após ciclos gelo/degelo</b>	<b>48</b>	9,3	4,4	3,5	12,4	
	<b>56</b>				10,8	15,3
<b>Variação</b>	<b>27%</b>	<b>32%</b>	<b>74%</b>	<b>17%</b>	<b>9%</b>	<b>30%</b>

Os provetes submetidos aos ciclos de gelo/degelo, de alguns dos calcários, apresentavam evidentes danos estruturais. O caso mais flagrante foi o do calcário “Crema Fátima”, para o qual a maioria dos provetes submetidos aos ciclos de gelo/degelo apresentavam extensas fissuras abertas quer transversais, quer longitudinais (Figura 87), com alguma perda de material (Figura 88).

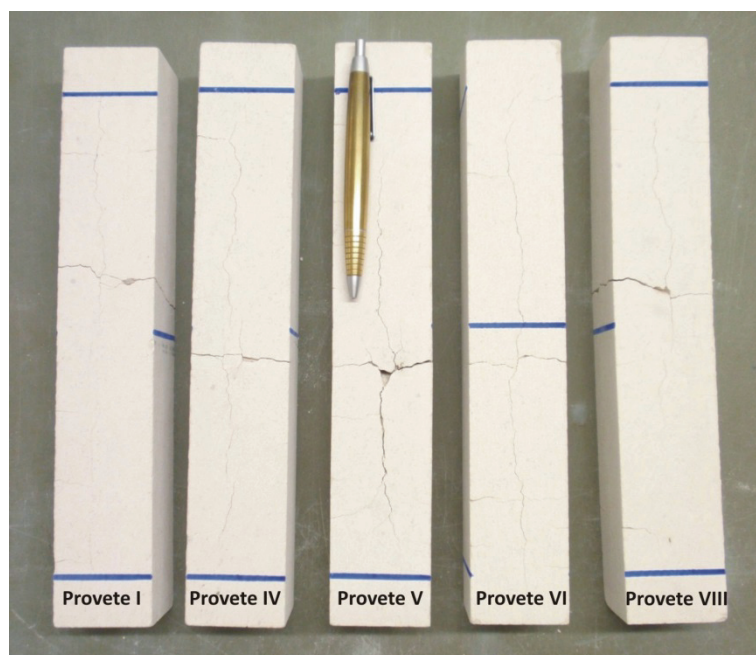


Figura 87 – Resistência ao gelo (48 ciclos). Calcário “Crema Fátima”. Aspeto dos 5 provetes que apresentavam maiores danos estruturais após o ensaio.



Figura 88 – Detalhe de uma das faces do provete V, do calcário “Crema Fátima”, após resistência ao gelo (48 ciclos). Observa-se fissuração aberta, com perda de material, gerada no decurso do ensaio.

#### 4.3.13. Resistência ao envelhecimento por choque térmico

Na Tabela 36 são apresentados os decréscimos de massa, calculados para cada provete de calcário, no final do ensaio de resistência ao envelhecimento por choque térmico (EN 14066:2003). A tabela contém, ainda, as respetivas médias.

Tabela 36 — Decréscimos de massa calculados para cada provete de calcário, no final do ensaio de resistência ao envelhecimento por choque térmico e respetivas médias. Os valores são apresentados em %.

Provete	“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataija”
I	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,04
II	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03
III	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03
IV	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03
V	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03
VI	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03
<b>Média</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>

Quanto à aparência visual dos provetes submetidos ao ensaio, particularmente das faces com acabamento específico, verificou-se, através da comparação com os respetivos provetes de referência, que não ocorreram modificações macroscópicas dignas de registo nos provetes dos calcários: “Cabeça de Veada”, “Semi-Rijo do Arrimal”, “Creme Fátima” e “Moca Creme”. Nos provetes do calcário “Moleanos”, observou-se uma ligeira perda de brilho, nas faces com acabamento polido mate (Figura 89). Este facto teve muito pouco impacto na aparência visual dos provetes. Já nos provetes do calcário “Azul Ataija”, observou-se um aclaramento da tonalidade inicial do calcário (Figura 90).

Figura 89 – Calcário “Moleanos”. Detalhe das faces com acabamento polido mate: i) de um dos provetes submetidos ao ensaio de choque térmico (à esquerda); ii) do provete de referência (à direita e com lápis sobre a sua superfície). Notar a ligeira perda de brilho na face do provete ensaiado, que lhe confere um tom mais escuro.

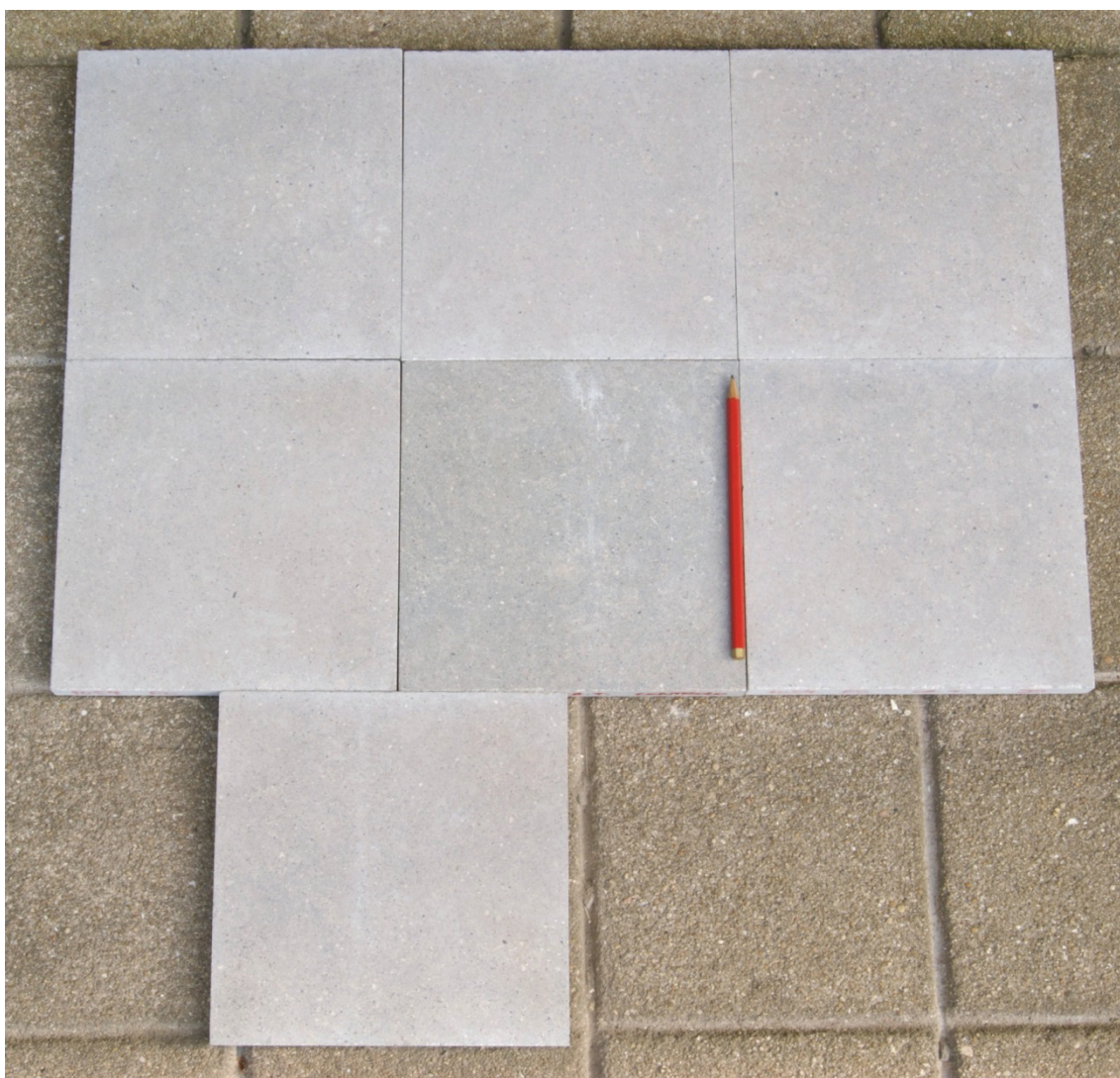


Figura 90 – Calcário “Azul Ataija”. Aspeto das faces com acabamento polido mate, dos provetes submetidos ao ensaio de choque térmico, por comparação com o provete de referência (lápis sobre a sua superfície). Destaca-se o aclaramento do tom do calcário, em todos os provetes ensaiados.

#### 4.3.14. Resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino

As variações de massa, calculadas para cada provete de calcário, no final do ensaio de resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino (EN 14147), encontram-se na Tabela 37, assim como as respetivas médias.

Tabela 37 — Variações (decréscimos) de massa, calculadas para cada provete de calcário, no final do ensaio de resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino e respetivas médias. Os valores são apresentados em %.

Provete	“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataija”
I	0,23	0,36	0,21	0,14	0,11	0,20
II	0,17	0,36	0,20	0,15	0,11	0,17
III	0,18	0,38	0,29	0,17	0,11	0,18
IV	0,19	0,40	0,26	0,15	0,16	0,21
V	0,16	0,39	0,24	0,21	0,10	0,21
VI	0,16	0,38	0,20	0,14	0,11	0,21
<b>Média</b>	<b>0,18</b>	<b>0,38</b>	<b>0,23</b>	<b>0,16</b>	<b>0,12</b>	<b>0,20</b>

Na Tabela 38 apresentam-se os valores médios da absorção de água à pressão atmosférica (EN 13755): inicial e após os 60 ciclos de nevoeiro salino, assim como percentagem de variação entre eles.

Tabela 38 — Valores médios da absorção de água: inicial e após 60 ciclos de nevoeiro salino e respetiva variação percentual entre ambos. As médias da absorção de água estão apresentadas em %.

Absorção de água média	“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataija”
Inicial	3,8	8,2	4,3	3,1	1,4	0,8
Após 60 ciclos de nevoeiro salino	4,0	8,8	4,2	3,2	1,3	0,8
<b>Variação</b>	<b>- 5%</b>	<b>- 7%</b>	<b>2%</b>	<b>- 3%</b>	<b>7%</b>	<b>0%</b>

**Nota:** Na variação percentual, os valores negativos correspondem a um aumento na absorção de água e os valores positivos correspondem a um decréscimo.

Os valores médios da resistência à flexão sob carga centrada: inicial e após os 60 ciclos de neveiro salino, obtida nos provetes de dimensões nominais (25×50×150)mm, encontram-se na Tabela 39. Esta tabela também contém a percentagem de variação entre eles.

Tabela 39 — Valores médios da resistência à flexão sob carga centrada, obtida nos provetes de dimensões nominais (25×50×150)mm: inicial e após 60 ciclos de neveiro salino e respetiva variação percentual entre ambos. As médias da resistência à flexão estão apresentadas em **MPa**.

<b>Res. à flexão média</b>	<b>“Cabeça de Veada”</b>	<b>“Semi-Rijo do Arrimal”</b>	<b>“Creme Fátima”</b>	<b>“Moca Creme”</b>	<b>“Moleanos”</b>	<b>“Azul Ataija”</b>
<b>Inicial</b>	14,2	7,8	17,6	17,7	13,0	25,2
<b>Após 60 ciclos de neveiro salino</b>	14,8	6,9	15,5	17,0	14,1	22,6
<b>Variação</b>	<b>- 4%</b>	<b>12%</b>	<b>12%</b>	<b>4%</b>	<b>- 8%</b>	<b>10%</b>

**Nota:** Na variação percentual, os valores negativos correspondem a um aumento na resistência à flexão e os valores positivos correspondem a um decréscimo.

Quanto à aparência visual das 18 placas quadradas submetidas a 60 ciclos de neveiro salino (6 calcários × 3 acabamentos), do ponto de vista macroscópico verificou-se que todas apresentam uma tonalidade mais amarela que a tonalidade inicial de cada calcário. Esta alteração foi particularmente evidente nas placas do “Azul Ataija”, nas quais a cor do calcário passou de cinzenta clara, levemente azulada, com laivos acastanhados para uma cor acastanhada clara (Figura 91).



Figura 91 – Calcário “Azul Ataija”. Aspeto macroscópico das placas não submetidas a ensaio (em cima) e das submetidas a nevoeiro salino (em baixo). Notar a alteração da cor em todos os acabamentos para um acastanhado claro, mais evidente nos acabamentos finos (polido e amaciado).

Comparando somente as faces com acabamento, constatou-se que a alteração de tonalidade sofrida é sempre mais evidente nas faces com acabamento amaciado. Nas faces com acabamento apicoado, os microimpactos de cor clara provocados na superfície, pelo equipamento utilizado na produção do acabamento, atenuaram a alteração da tonalidade (Figura 92).



Figura 92 – Calcário “Cabeça de Veada”. Aspeto macroscópico das placas não submetidas a ensaio (em cima) e das submetidas a nevoeiro salino (em baixo). Constatase que a alteração cromática sofrida por todas as faces com acabamento é menos evidente para o acabamento apicoado.

Relativamente às faces com acabamento polido, todas sofreram uma perda de brilho do polimento, mais acentuada na placa do calcário “Azul Ataíja” (Figura 91) que, de entre os acabamentos polidos, era aquele que inicialmente se apresentava mais brilhante. Nas faces polidas dos calcários de tonalidade beije clara, a conjugação dos dois efeitos: alteração cromática e perda do brilho do polimento, teve como consequência atenuar a alteração das tonalidades iniciais destas placas (Figura 93).



Figura 93 – Calcário “Moca Creme”. Aspeto macroscópico das placas não submetidas a ensaio (em cima) e das submetidas a nevoeiro salino (em baixo). Na face polida, o efeito concomitante da perda de brilho do polimento e da alteração cromática, resultou numa menor alteração da tonalidade inicial desta face.

Da comparação das imagens obtidas através de lupa binocular, chegou-se às conclusões a seguir apresentadas:

- Nas superfícies com acabamento apicoado de todos os calcários, ocorreu, a esta escala, uma perda de material significativa (Figura 94); o relevo dificulta especificar se essa perda foi apenas ao nível do cimento, ou se os componentes aloquímicos também foram afetados; a perda de material teve como consequência uma acentuação do relevo nos calcários “Cabeça de Veada”, “Semi-Rijo do Arrimal”, “Moca Creme” e “Azul Atáija”; nos restantes casos, o relevo está mais atenuado.

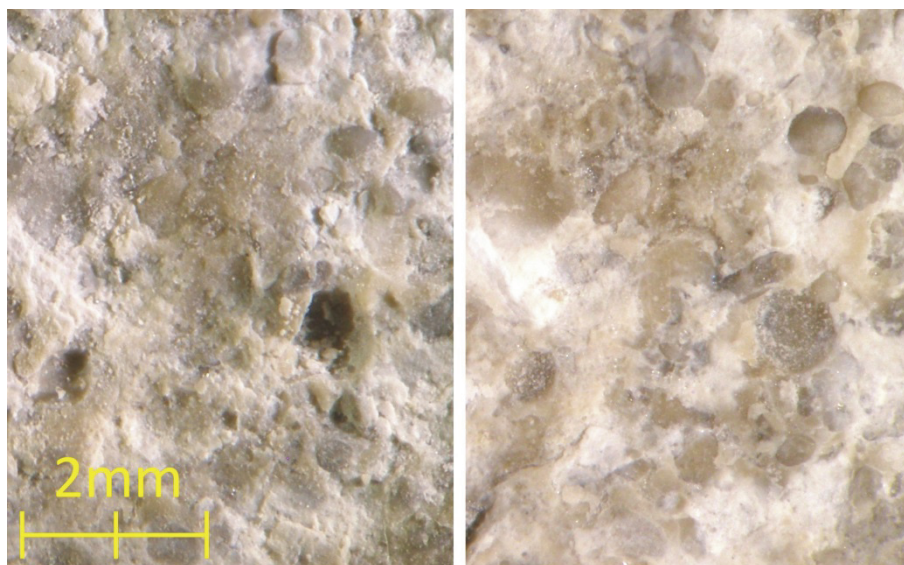


Figura 94 – Calcário “Azul Ataija”. Imagem (lupa binocular) de uma área da face com acabamento apicoado: - inicial (à esquerda); - após nevoeiro salino (à direita). Destaca-se a perda de material sofrida, a esta escala.

- Não se observaram alterações na superfície com acabamento amaciado do calcário “Moleanos”; ocorreram perdas de material quase impercíveis nas superfícies amaciadas dos calcários: “Cabeça de Veada”, “Creme Fátima” e “Azul Ataija”; nas superfícies amaciadas dos calcários “Semi-Rijo do Arrimal” e “Moca Creme”, ocorreu evidente perda de material, a esta escala, principalmente no cimento, com conseqüente destaque dos limites dos componentes aloquímicos (Figura 95).

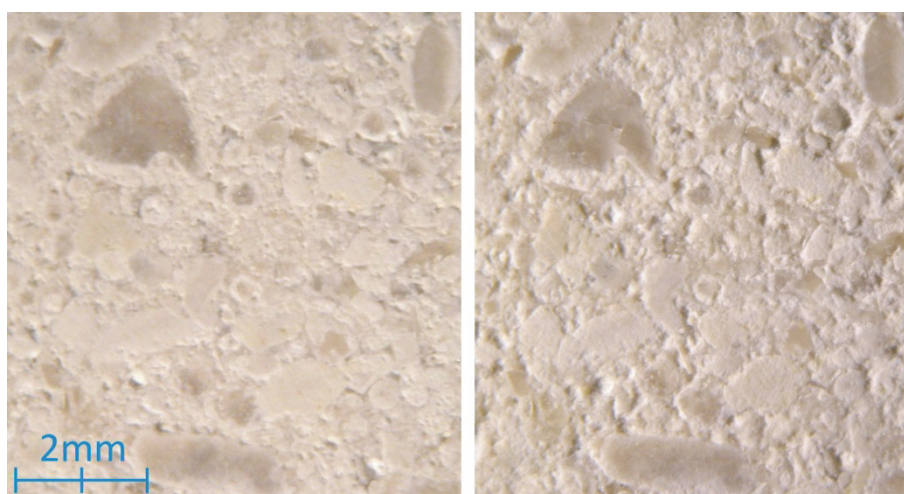


Figura 95 – Calcário “Semi-Rijo do Arrimal”. Imagem (lupa binocular) de uma área da face com acabamento amaciado: - inicial (à esquerda); - após nevoeiro salino (à direita). Notar a perda de material no cimento do calcário, a esta escala, com evidência dos limites dos componentes aloquímicos.

- Na superfície com acabamento polido do calcário “Moleanos”, não se observaram alterações; ocorreu uma pequena perda de material nas superfícies polidas dos calcários: “Cabeça de Veada” e “Creme Fátima”; neste último, a perda foi quer no cimento, quer nos componentes aloquímicos de menor dimensão; nos calcários: “Semi-Rijo do Arrimal” e “Moca Creme” ocorreu evidente perda de material, a esta escala; no primeiro, principalmente no cimento, facto que tornou mais evidentes os limites dos componentes aloquímicos; no calcário “Moca Creme”, a perda de material ocorreu fundamentalmente no interior de alguns componentes aloquímicos; por fim, no calcário “Azul Ataija”, ocorreu uma homogeneização cromática da rocha, provocada pelo aclaramento da maioria dos seus componentes aloquímicos escuros e escurecimento da maioria dos seus componentes claros; desta, destaca-se a alteração da cor, de branca para castanha, sofrida por alguns componentes, que devem corresponder a fósseis (Figura 96).

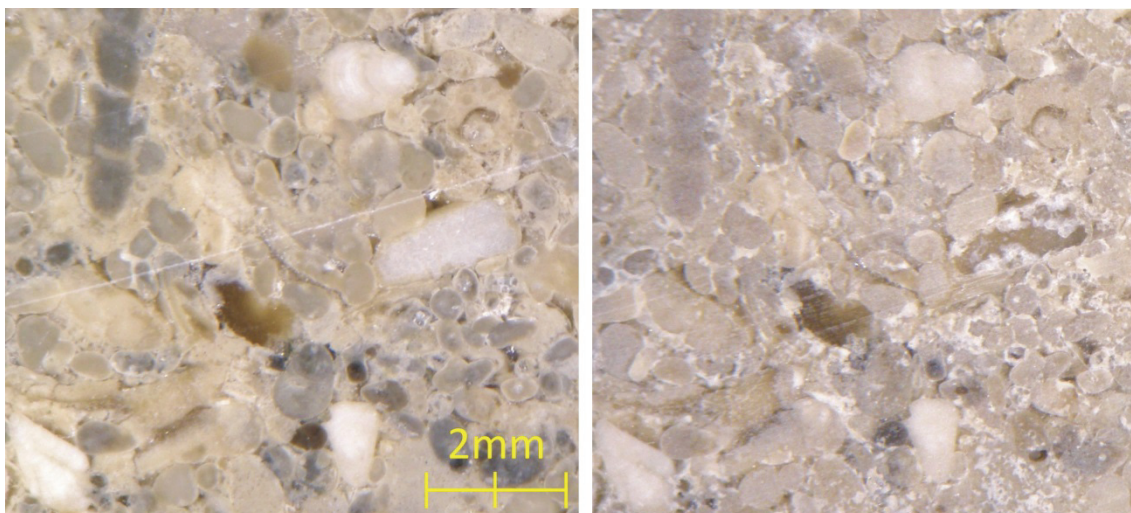


Figura 96 – Calcário “Azul Ataija”. Imagem (lupa binocular) de uma área da face com acabamento polido: - inicial (à esquerda); - após nevoeiro salino (à direita). Destaca-se a alteração da cor da maioria dos componentes aloquímicos, alguns dos quais passaram de uma cor branca para uma cor acastanhada.

A comparação de imagens de lâminas delgadas polidas:- de provetes submetidos a nevoeiro salino, - com provetes não submetidos, através de microsonda eletrónica permitiu concluir-se que não foram detetadas alterações do ponto de vista mineralógico em nenhum dos calcários. Foram ainda efetuados diversos espectros de dispersão de energias (EOS), para o calcário “Azul Ataija”, em áreas de componentes aloquímicos calcíticos presentes no provete não submetido a nevoeiro salino e no provete submetido, com o objetivo de se averiguar se a eventual pigmentação destes componentes aloquímicos calcíticos por óxidos e hidróxidos de

ferro tinha acarretado a sua alteração composicional. Os espectros foram todos efetuados em áreas iguais: (50×50)μm e com as mesmas condições analíticas (energia de feixe: 15kV; corrente: 1nA; tempo de aquisição: 500seg). Da comparação de dois desses espectros EOS (Figura 97) concluiu-se que as suas composições são idênticas, quer para os elementos maiores (C, Ca, O e Mg), quer para os menores (S).

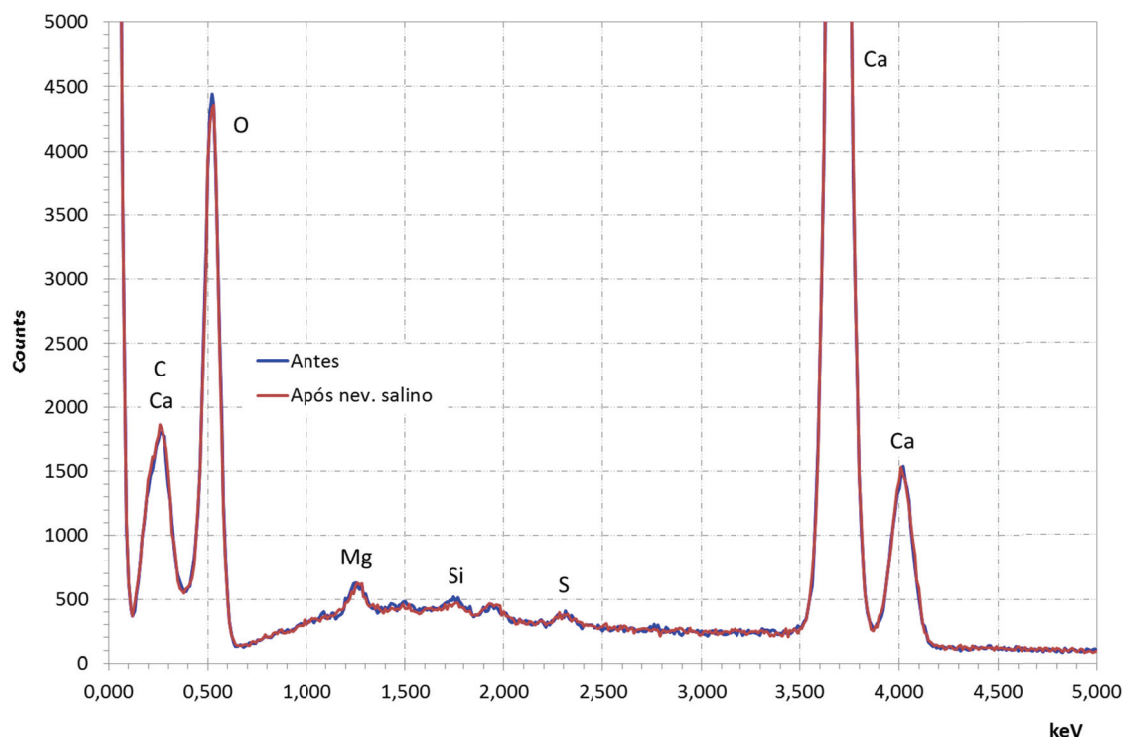


Figura 97 – Espectros EOS, obtidos através de microsonda eletrónica, de dois componentes aloquímicos calcários do calcário “Azul Ataíja”: um pertencente ao provete não submetido a nevoeiro salino (**Antes**) e outro ao provete submetido (**Após nev. salino**). Notar que as composições são idênticas.

No que diz respeito aos poros, todos os calcários revelaram um aumento da sua porosidade, evidente nas imagens de eletrões secundários (SEI), as quais permitiram observar as alterações morfológicas provocadas pelo nevoeiro salino nos calcários. Da análise comparativa destas imagens, concluiu-se que ocorreu perda de material em todos os calcários, mais significativa nos calcários: “Semi-Rijo do Arrimal”, “Cabeça de Veada” e “Creme Fátima”. Nos restantes calcários, registaram-se menores perdas de material, em particular no calcário “Azul Ataíja”. As perdas deram-se, principalmente, ao nível dos componentes aloquímicos nos calcários “Cabeça de Veada” (Figura 98), “Semi-Rijo do Arrimal” (Figura 99), “Creme Fátima” (Figura 100) e “Moca Creme” (Figura 101).

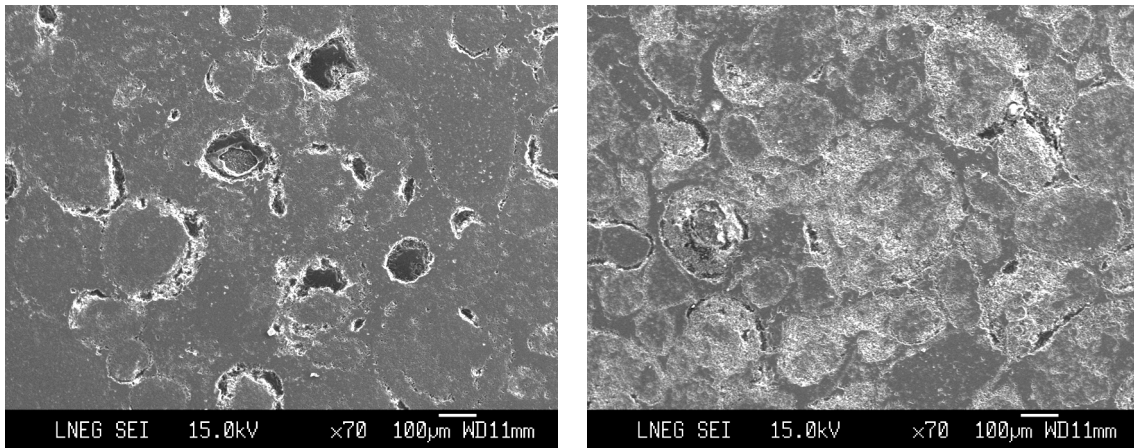


Figura 98 – Calcário “Cabeça de Veada”. Imagens obtidas através de microsonda eletrónica (eletrões secundários), **antes** (à esquerda) e **após nevoeiro salino** (à direita). Destaca-se a intensificação da porosidade da rocha através da perda de material, maioritariamente pelos seus componentes aloquímicos.

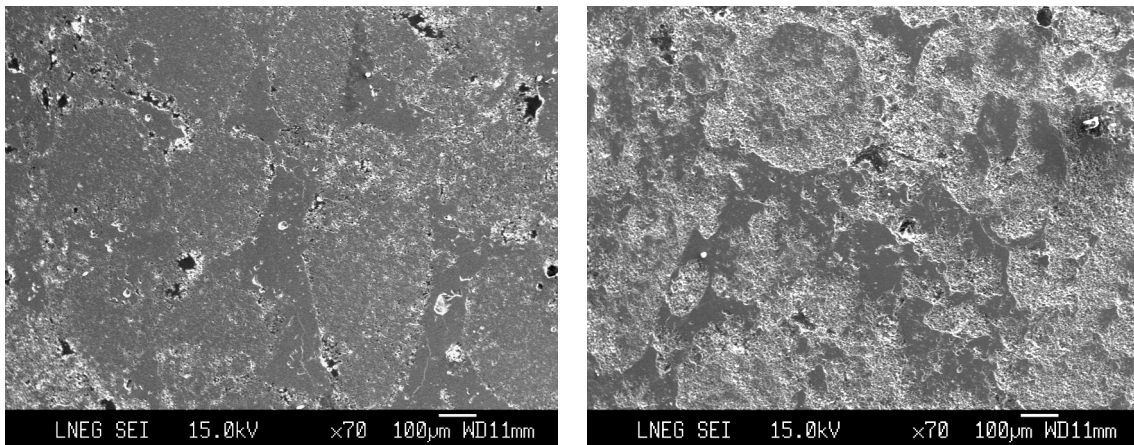


Figura 99 – Calcário “Semi-Rijo do Arrimal”. Imagens obtidas por microsonda eletrónica (eletrões secundários), **antes** (à esquerda) e **após nevoeiro salino** (à direita). Notar o considerável aumento da porosidade da rocha, evidenciado pela significativa perda de material, principalmente ao nível dos seus componentes aloquímicos.

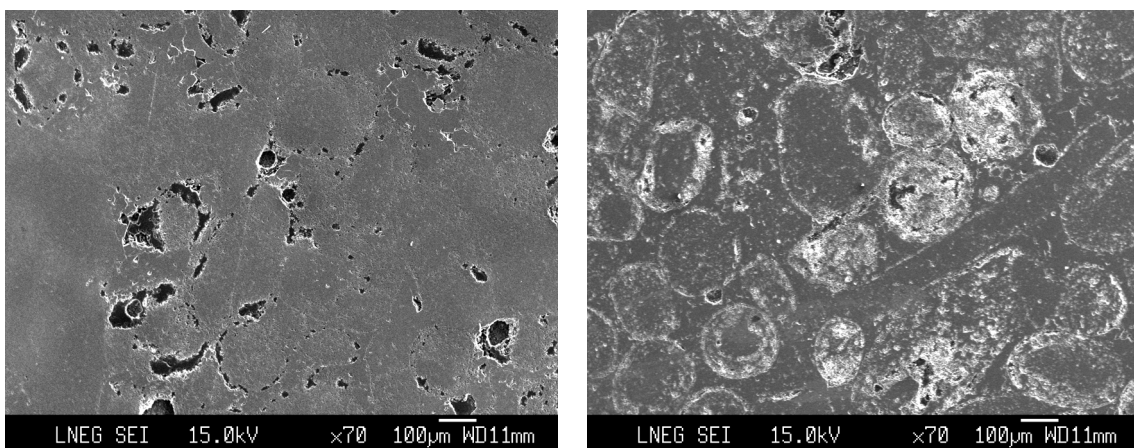


Figura 100 – Calcário “Crema Fátima”. Imagens de microsonda eletrónica (eletrões secundários), **antes** (à esquerda) e **após nevoeiro salino** (à direita). Destaca-se o incremento da porosidade da rocha provocado pela perda de material pelos componentes aloquímicos, a maioria dos quais se encontram mais evidenciados, devido à perda de material na sua bordadura.

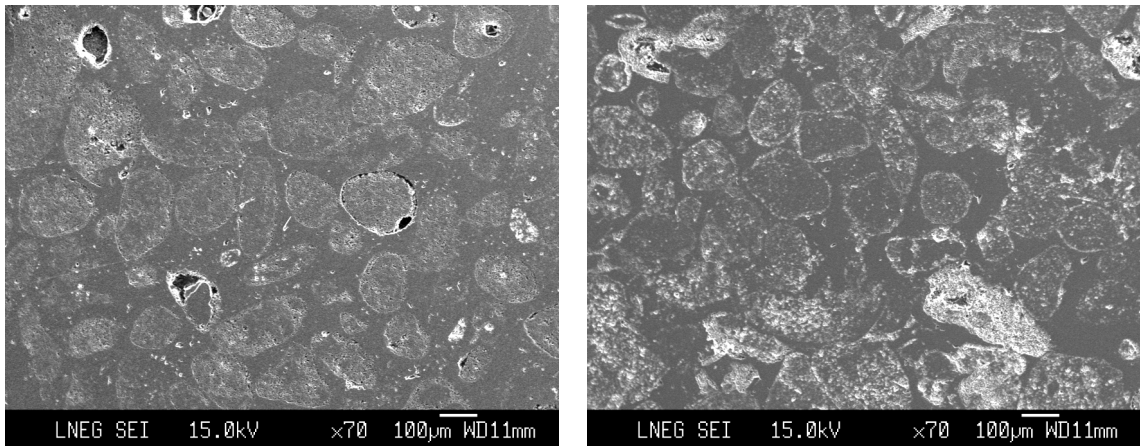


Figura 101 – Calcário “Moca Creme”. Imagens de microsonda eletrónica (eletrões secundários), **antes** (à esquerda) e **após nevoeiro salino** (à direita). Notar o aumento na porosidade da rocha evidenciado pela perda de material pelos componentes aloquímicos.

Nos calcários: “Moleanos” (Figura 102) e “Azul Ataíja” (Figura 103), a perda de material ocorreu quer nos componentes aloquímicos, quer no cimento. Porém, no calcário “Moleanos” a perda foi mais intensa no cimento, em particular nas zonas de contacto entre este e os componentes aloquímicos.

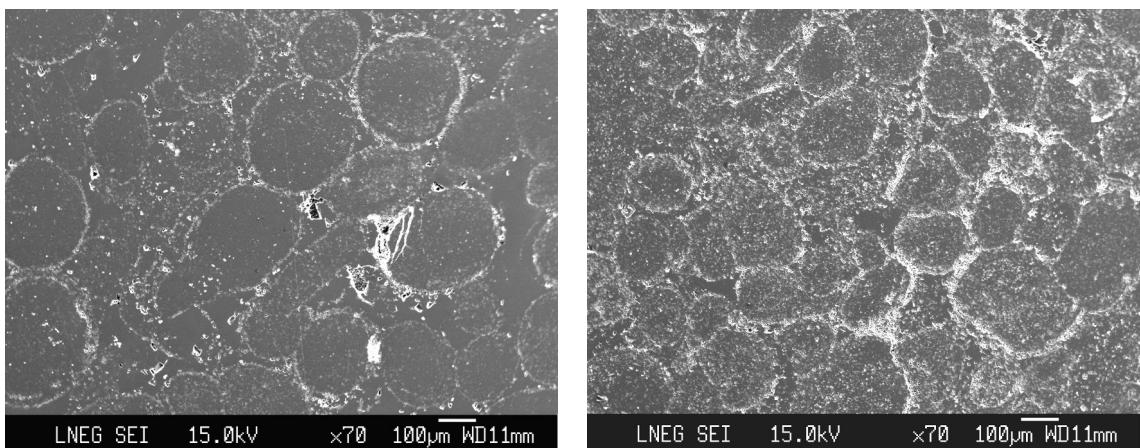


Figura 102 – Calcário “Moleanos”. Imagens obtidas através de microsonda eletrónica (eletrões secundários), **antes** (à esquerda) e **após nevoeiro salino** (à direita). Destaca-se o aumento da porosidade da rocha através da perda de material tanto pelos componentes aloquímicos, como pelo cimento, mas mais intensa nesta, junto aos limites com os componentes aloquímicos.

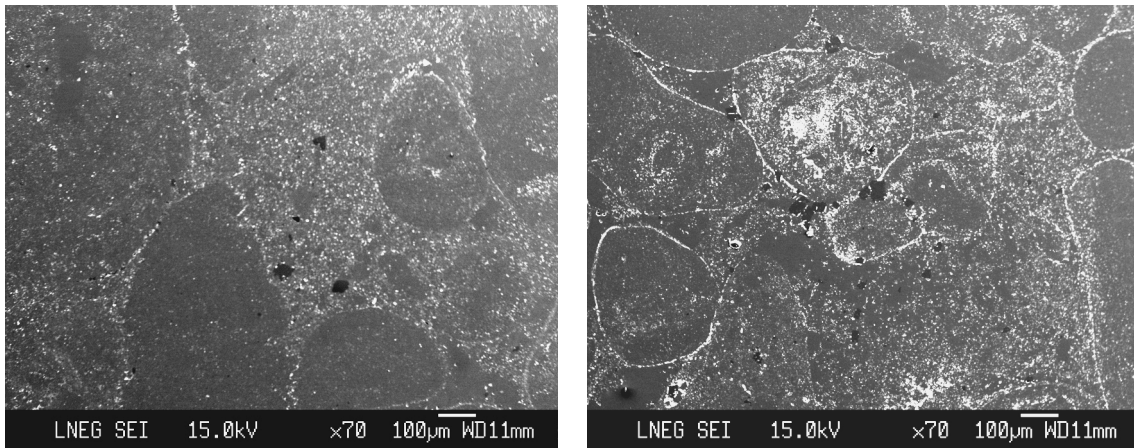


Figura 103 – Calcário “Azul Atafija”. Imagens obtidas através de microsonda eletrónica (eletrões secundários), **antes** (à esquerda) e **após nevoeiro salino** (à direita). Notar o ligeiro aumento da porosidade da rocha provocado pela perda de material pelos componentes aloquímicos e pelo cimento da rocha.



## Avaliação e discussão dos resultados

### 5.1. Generalidades

Tendo em conta o objetivo principal deste estudo, decidi, em primeiro lugar, fazer-se uma apreciação dos resultados respeitantes ao nevoeiro salino. As restantes propriedades foram comentadas a seguir, procurando estabelecer-se relações entre elas. Analisaram-se as normas europeias de produtos em pedra natural, com o objetivo de avaliar as propriedades dos calcários e definir a sua adequação ao fabrico de vários produtos, aplicados em diferentes condições. A ausência de prescrições para a maioria das propriedades, bem como de legislação e normas nacionais referentes à aplicação da pedra, motivou o recurso a especificações técnicas propostas em bibliografia sobre a pedra e a sua aplicação. Os critérios recolhidos, em ambas as fontes consultadas, permitiram definir recomendações para a utilização dos calcários, quer para aplicações gerais, quer para aplicações específicas: em zonas sujeitas à ação do gelo/degelo e à ação do nevoeiro salino, nas quais a durabilidade dos calcários é o fator determinante. Os resultados dos ensaios tecnológicos permitiram, também, clarificar e discutir aspetos relativos à designação comercial de calcários e possibilitaram, ainda, examinar métodos de ensaio e elaborar propostas de melhoria dos respetivos procedimentos analíticos.

## 5.2. Apreciação dos resultados do nevoeiro salino

Na Tabela 40 apresenta-se um resumo da variação dos parâmetros utilizados para avaliar o efeito do nevoeiro salino nos calcários, em função da sua porosidade aberta inicial (Tabela 22).

Tabela 40 — Variação dos parâmetros utilizados para avaliar o ensaio de resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino nas amostras de calcário, em função da sua porosidade aberta inicial.

Calcário	Porosidade aberta inicial (%)	Perda de massa (%)	Varição de absorção de água (%)	Varição da resistência à flexão (%)
“Cabeça de Veada”	8,3	0,18	-5	-4
“Semi-Rijo do Arrimal”	17,0	0,38	-7	12
“Creme Fátima”	9,3	0,23	2	12
“Moca Creme”	6,9	0,16	-3	4
“Moleanos”	3,4	0,12	7	-8
“Azul Ataija”	1,8	0,20	0	10

**Nota:** Nas variações da absorção e da flexão, os valores negativos correspondem a um aumento e os valores positivos correspondem a um decréscimo.

Da análise da tabela, concluiu-se que a perda de massa após nevoeiro salino não traduz o grau de deterioração provocado por este ensaio nos calcários. Não obstante, este parâmetro revelou uma correlação positiva forte com a porosidade aberta inicial, exceto para o calcário “Azul Ataija” (Figura 104). Neste, a perda de massa após nevoeiro salino foi da mesma ordem de grandeza do que a registada pelo calcário “Cabeça de Veada”, que possui uma porosidade aberta inicial cerca de 4 vezes superior à do calcário em análise. Este facto poderá estar relacionado com a dissolução de matéria, presente no “Azul Ataija” em quantidade superior à dos restantes calcários orgânica, durante este ensaio de durabilidade.

Além da porosidade aberta inicial, existem outros fatores determinantes para a degradação dos calcários através do nevoeiro salino: a proporção de poros de pequena dimensão (< 5µm) e o tipo de rede capilar formada pelos poros, que justificam os valores obtidos para as variações após nevoeiro salino, quer da absorção de água, quer da resistência à flexão, as quais não revelaram correlação com a porosidade aberta inicial dos calcários.

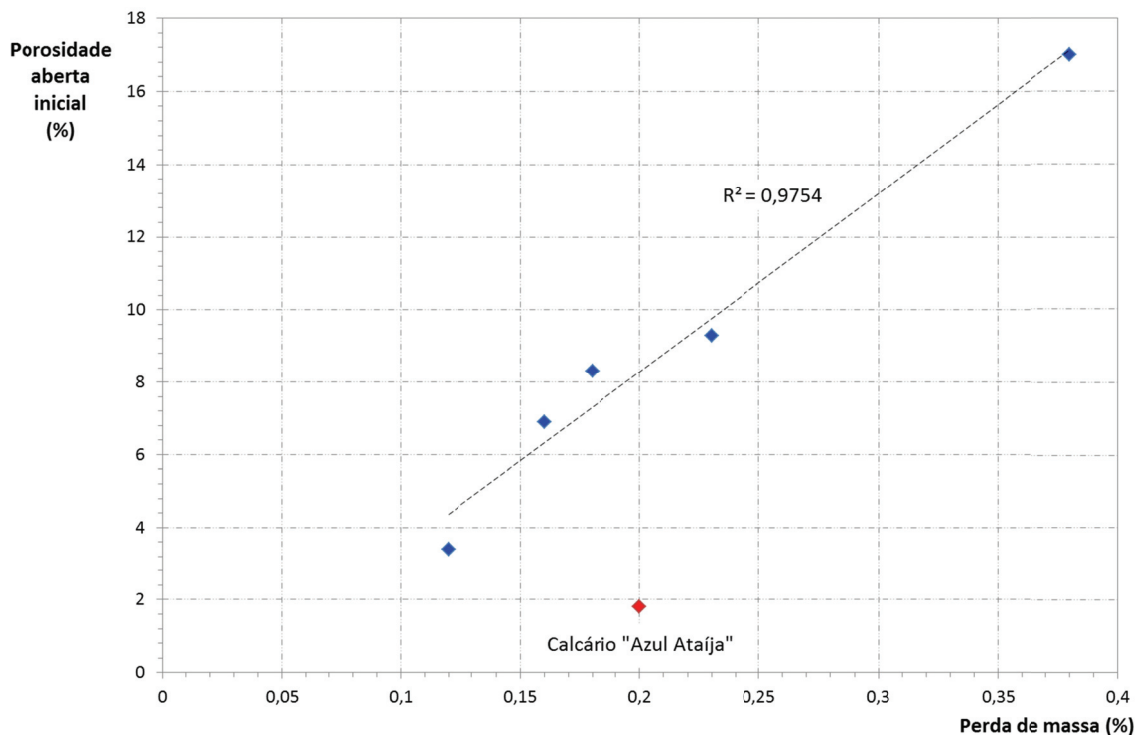


Figura 104 – Relação entre a perda de massa registada pelos calcários, no final do ensaio de nevoeiro salino e a sua porosidade aberta inicial. O calcário “Azul Ataija” revela um comportamento distinto dos restantes.

A absorção de água após nevoeiro salino: - aumentou para os calcários “Cabeça de Veada”, “Semi-Rijo do Arrimal” e “Moca Creme”; - não sofreu alteração no calcário “Azul Ataija”; - diminuiu para os calcários “Creme Fátima” e “Moleanos”. Estes decréscimos implicam uma diminuição nas suas porosidades abertas, como resultado de processos de dissolução e precipitação do carbonato de cálcio, provocados pela presença da solução de NaCl na estrutura dos calcários.

Os calcários “Semi-Rijo do Arrimal”, “Creme Fátima”, “Moca Creme” e “Azul Ataija” manifestaram um decréscimo na sua resistência à flexão após nevoeiro salino (Tabela 39), enquanto os restantes dois revelaram um aumento. Não existe correlação entre estas variações e as registadas pela absorção de água. De facto, apesar de para os calcários “Semi-Rijo do Arrimal”, “Moca Creme” e “Moleanos” se verificar uma proporcionalidade inversa entre ambas as variações, correlação que é a expectável, para os restantes não se observa essa dependência.

Não foi observada correlação entre as dimensões médias e maiores dos poros, registadas no estudo petrográfico (Tabela 15) e qualquer dos parâmetros utilizados para avaliar o nevoeiro salino (Tabela 40).

O processo que determinou a alteração cromática observada macroscopicamente em todos os calcários após este ensaio de durabilidade, não é apenas superficial. A intensificação da tonalidade amarela também é observada nas superfícies de rutura dos provetes submetidos à resistência à flexão, após nevoeiro salino, o que indica que se trata de uma transformação que ocorre em todo o volume das rochas. Esta modificação na cor poderá ter resultado da oxidação dos óxidos e hidróxidos de ferro, que se encontram homogeneamente disseminados na estrutura de todos os calcários (Tabela 14), com teores de Fe total < 0,04% para o calcário “Semi-Rijo do Arrimal” e de 0,04% para os restantes, exceto para o calcário “Azul Ataíja”, que apresenta uma concentração de Fe total de 0,10% (Tabela 17). Foi precisamente este último que registou a alteração cromática mais intensa (Figura 91). Selecionou-se este calcário e o “Moca Creme” para se proceder à especiação do ferro. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 41.

Tabela 41 — Especiação do ferro. Teores em FeO e Fe (II) iniciais e após nevoeiro salino, para os calcários “Moca Creme” e “Azul Ataíja”.

Calcário	FeO	Fe (II)
<b>“Moca Creme”</b>		
• Inicial	0,0019%	0,0015%
• Após nevoeiro salino	0,0028%	0,022%
<b>“Azul Ataíja”</b>		
• Inicial	0,030%	0,022%
• Após nevoeiro salino	0,030%	0,022%

Da análise da tabela anterior concluiu-se que a presença de Fe (II) na composição de ambos os calcários, mesmo em baixas concentrações, corrobora a suposição anteriormente formulada, da alteração cromática poder ter resultado da oxidação do Fe (II). Porém, no calcário “Azul Ataíja”, ambos os teores de Fe (II) — inicial e após nevoeiro salino — são iguais e no calcário “Moca Creme”, o teor em Fe (II) após nevoeiro salino é ligeiramente superior ao inicial. Este facto debilita a hipótese alvitrada. Outra explicação plausível é a solubilização do Fe (II) através da solução de NaCl de elevada salinidade ((100±10)g/l), propiciada pela forte alcalinidade dos calcários. Nestas condições, poderá ter ocorrido a mobilização do Fe (II) e a sua dispersão pela estrutura dos calcários.

O impacto desta modificação na cor não é igual para todos os acabamentos ensaiados. É mais evidente nas faces com acabamento amaciado e menos nas faces com acabamento

apicoado. Nas faces polidas há um fator que mascara a percepção da alteração cromática: a perda de brilho do polimento sofrida nestas faces, por todos os calcários.

As alterações observadas à lupa binocular caracterizam-se pela significativa perda de material, a esta escala, nas superfícies com acabamento apicoado, de todos os calcários. Esta constatação está relacionada com o facto de os acabamentos rugosos facilitarem a penetração do aerossol salino na estrutura da rocha; a cristalização de sais no seu interior e o aumento da porosidade daí resultante, permitem que a quantidade de aerossol salino, que penetra na rocha e que cristaliza no seu interior, seja maior a cada ciclo de nebulização/secagem, processo que vai promovendo a progressiva perda de material. Nos outros acabamentos ensaiados — amaciado e polido — o comportamento foi similar: evidentes perdas de material, à escala atrás referida, nos calcários “Semi-Rijo do Arrimal” e “Moca Creme”, concentradas fundamentalmente no cimento, exceto na superfície polida do calcário “Moca Creme”, na qual a perda ocorreu principalmente no interior dos componentes aloquímicos. A menor perda de material, na escala em questão, observada nas superfícies de acabamento fino, resulta do facto destas superfícies dificultarem a penetração do aerossol salino no interior dos calcários, o que impede o desenvolvimento de um ciclo idêntico ao gerado nas superfícies de acabamento rugoso. As exceções a esta regra resultam, no caso do “Semi-Rijo do Arrimal”, da sua elevada porosidade aberta (17,0%), associada ao facto deste calcário apresentar na sua composição cimento esparítico e cimento micrítico (20% e 30%, respetivamente). De acordo com autores que estudaram a influência das características petrográficas de calcários na cristalização de sais, a coexistência destes dois tipos de cimento promove a degradação da rocha, uma vez que o cimento micrítico facilita a penetração de sais e o cimento esparítico retém estes na rocha, atuando como uma barreira à sua permeabilidade (Alves, et al., 2013). Relativamente à outra exceção — o calcário “Moca Creme” — trata-se de um calcário com uma porosidade aberta bastante mais baixa (6,9%) e que não contém cimento micrítico. Uma das hipóteses, para a perda de material registada nas superfícies com acabamento amaciado e polido, na escala em análise, é a orientação destas superfícies relativamente às camadas sedimentares do calcário. De todos os calcários, este é o único cujos produtos são cortados de modo a que, após a sua aplicação, a face vista seja sempre perpendicular ao vulgarmente designado “leito de pedreira”, de modo a obter-se o padrão ornamental bandado típico deste calcário. A heterogeneidade estrutural, resultante da sequência de leitos de diferentes granulometrias, poderá facilitar a penetração de sais nesta superfície e aumentar a sua degradação. Na superfície polida do calcário “Azul Ataija”, registou-se ainda a alteração cromática de alguns componentes aloquímicos, que passaram da cor branca para castanha (Figura 96). Esta alteração é uma consequência da pigmentação, por óxidos e hidróxidos de ferro, da calcite dos componentes. De facto, no estudo petrográfico realizado, observou-se que a orla externa, de alguns oólitos e fósseis presentes no calcário “Azul Ataija”, se encontrava impregnada por óxidos de ferro hidratados.

Quanto às imagens e análises obtidas com recurso a microsonda eletrónica e ao espectrómetro de dispersão de energias acoplado, do estudo comparativo das imagens de eletrões retrodifundidos, concluiu-se que não foram detetadas alterações mineralógicas em nenhum dos calcários, facto que confirma que a alteração causada pelo sal nas rochas não é um processo de natureza química. A análise comparativa das imagens de eletrões secundários, veio comprovar as perdas de material observadas à lupa binocular. Estas foram mais intensas nos três calcários mais porosos: “Cabeça de Veada”, “Semi-Rijo do Arrimal” e “Creme Fátima” e menos intensas no calcário “Azul Ataíja”, que é o que apresenta a menor porosidade aberta inicial. Estas imagens permitiram detalhar que as perdas ocorreram principalmente no interior dos componentes aloquímicos, nos calcários “Cabeça de Veada”, “Semi-Rijo do Arrimal”, “Creme Fátima” e “Moca Creme”, facto que sugere que o principal processo de degradação dos calcários, no ensaio de nevoeiro salino que se executou, terá sido a dissolução promovida pelo sal, em detrimento da destruição estrutural provocada pela sua cristalização. Nos restantes calcários ocorreram perdas tanto nos componentes, como no cimento, com maior incidência no cimento, no caso do calcário “Moleanos”.

### **5.3. Apreciação dos resultados das restantes propriedades**

#### **5.3.1. Composição química e petrografia**

A composição química dos calcários não revelou teores distintos dos expectáveis para este tipo de rochas. As diferenças entre os calcários de cor beije são pouco significativas. Contudo, existem algumas diferenças entre estes e o calcário “Azul Ataíja”. Destas, destaca-se a existência de SiO<sub>2</sub> (3,36%) resultante da presença de grãos detríticos silicatados neste calcário. O teor mais elevado em Fe total (0,10%) apresentado por este calcário, está relacionado com a existência de inclusões de pirite, nos grãos detríticos. Nos elementos traço, os elevados teores em Sr de todos os calcários (143-340ppm), confirmam a natureza marinha dos sedimentos a partir dos quais se formaram. O teor mais elevado em Sr do calcário “Azul Ataíja” (340ppm) deve resultar da presença de celestite na sua constituição, também inclusa nos grãos detríticos.

Quanto à petrografia, mais concretamente aos componentes ortoquímicos, o facto dos calcários “Cabeça de Veada”, “Creme Fátima”, “Moca Creme” e “Moleanos” apresentarem unicamente cimento esparítico, revela que a sua génese ocorreu em ambientes sujeitos a correntes fortes e de longa duração, que promoveram a lixiviação do cimento micrítico e o preenchimento do espaço deixado por este, por cimento esparítico (Folk, 1980). Os calcários “Semi-Rijo do Arrimal” e “Azul Ataíja” formaram-se em ambientes sujeitos a correntes

moderadas a fracas, ou de curta duração, principalmente o calcário “Azul Ataija”, motivo pelo qual, para além do esparítico, ainda apresentam cimento micrítico na sua constituição.

### 5.3.2. Relações entre propriedades tecnológicas

Para cada rocha, existe uma interdependência entre a sua porosidade aberta, a sua absorção de água e a sua densidade aparente. Nos calcários, esta pode ser observada no gráfico da Figura 105, através das fortes correlações lineares entre a absorção de água e a porosidade aberta e entre esta e a densidade aparente, que revelam boa conexão das redes de porosos, em todos os calcários.

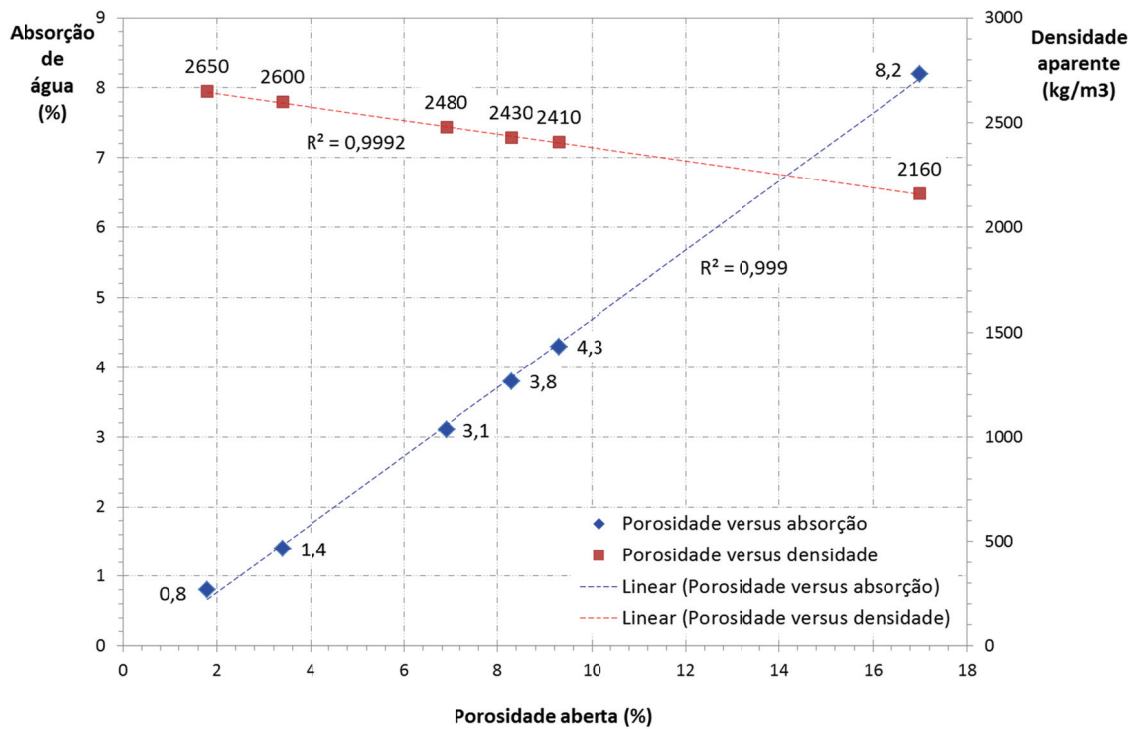


Figura 105 – Correlações lineares entre a absorção de água e a porosidade aberta dos calcários e entre esta e a densidade aparente.

O coeficiente de absorção de água por capilaridade de uma rocha também varia em função da sua porosidade aberta. Nos calcários analisados, a correlação entre estas duas propriedades pode ser observada no gráfico da Figura 106.

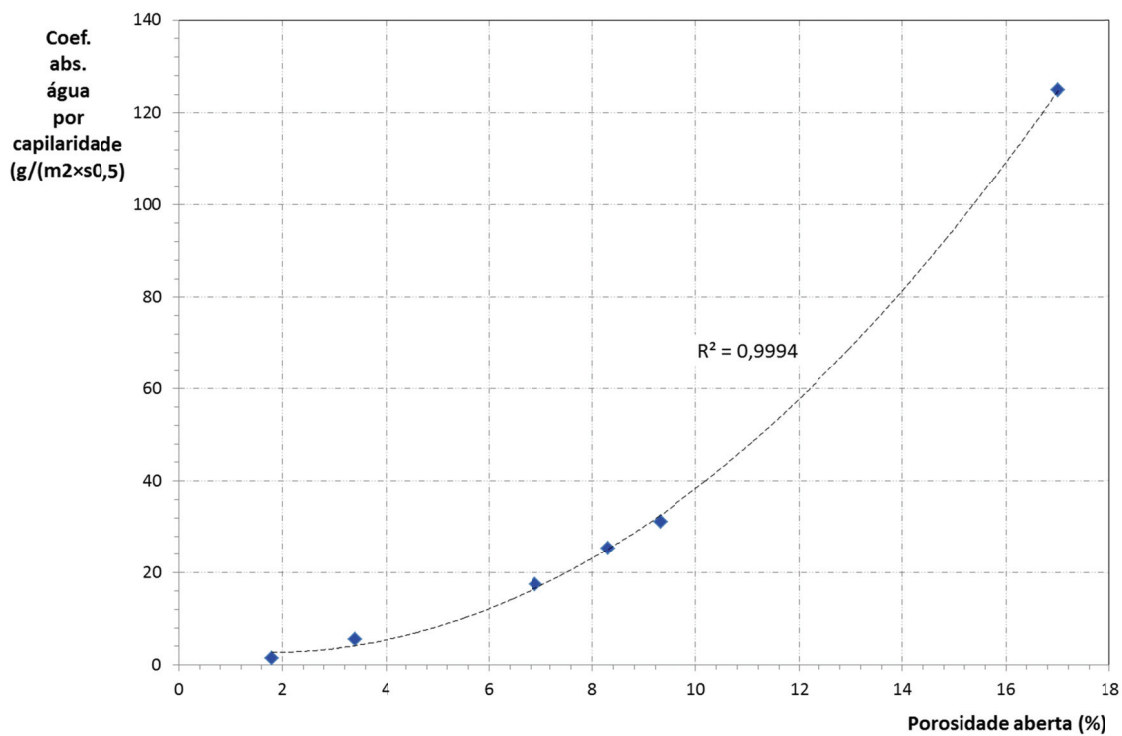


Figura 106 – Correlação polinomial de 2º grau entre a porosidade aberta e o coeficiente de absorção de água por capilaridade dos calcários.

Também as propriedades mecânicas dependem das propriedades físicas. Nos calcários, registou-se uma forte correlação positiva entre a porosidade aberta e a resistência à compressão, exceto para o calcário “Azul Ataija” (Figura 107). Este apresenta um comportamento distinto, em virtude da sua diferente composição, resultante de condições de oxidação-redução, do seu ambiente deposicional, distintas das condições vigentes na formação dos restantes calcários.

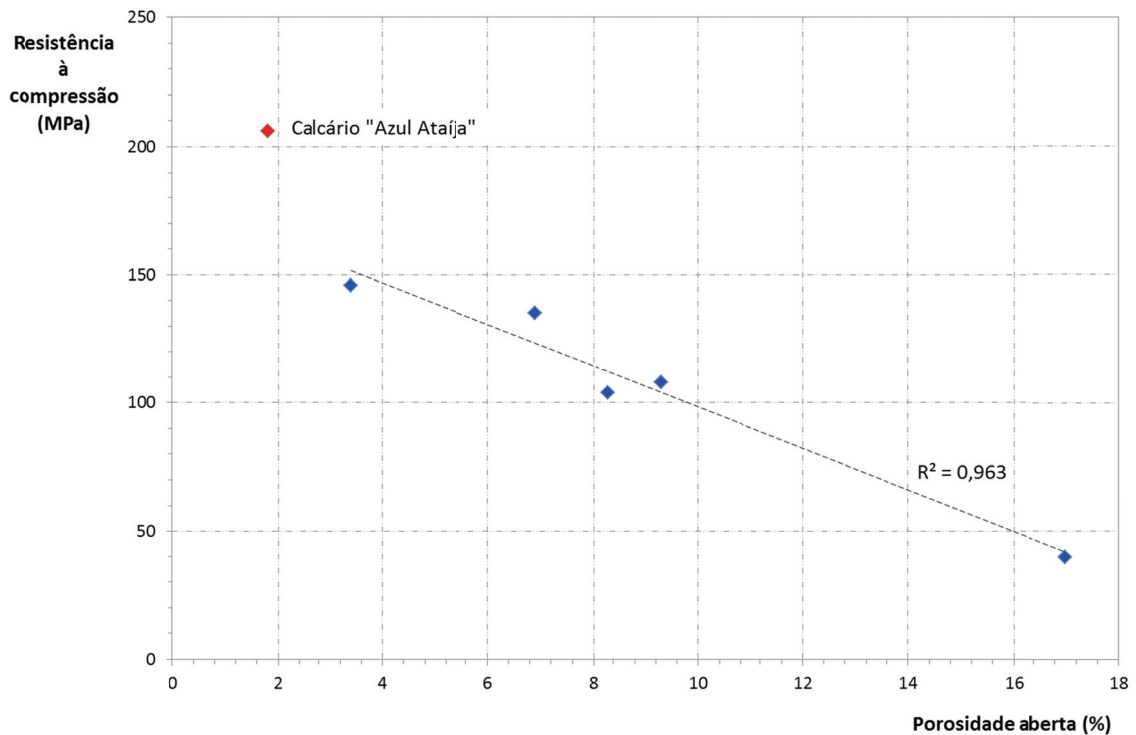


Figura 107 – Correlação linear entre a porosidade aberta dos calcários e a sua resistência à compressão, exceto para o calcário “Azul Ataija”, que apresenta um diferente comportamento.

#### 5.4. As normas europeias de produtos em pedra natural na avaliação das propriedades dos calcários

Estas normas, elaboradas pelo Comité Europeu de Normalização (CEN) através das suas Comissões Técnicas, regulamentam o fabrico de produtos em pedra natural, tendo como objetivo final a emissão da Declaração de Desempenho do produto e a sua marcação CE. As normas têm sido desenvolvidas de modo a cumprir as disposições do Regulamento Nº 305/2011 emanado pelo Parlamento Europeu e pelo Conselho da União Europeia (UE). Este Regulamento, que veio revogar a Diretiva 89/106/CEE (do Conselho da UE), estabelece condições harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção, no seio da União Europeia. Contrariamente às normas referentes a métodos de ensaio, que têm sido produzidas somente pela Comissão Técnica CEN/TC 246 – “Natural Stones”, na elaboração das normas dos produtos em pedra natural participam quatro Comissões. Na Tabela 42 apresenta-se uma lista das que foram publicadas até à data.

Tabela 42 — Normas europeias de produtos em pedra natural publicadas até à presente data pelo Comité Europeu de Normalização. (Os nomes de Comités foram mantidos em inglês).

Elaboradas pelo <b>CEN/TC 178 – “Paving units and kerbs”</b>	
<b>EN 1341:2012</b>	Lajes de pedra natural para pavimentos exteriores – Requisitos e métodos de ensaio
<b>EN 1342:2012</b>	Cubos e paralelepípedos de pedra natural para pavimentos exteriores – Requisitos e métodos de ensaio
<b>EN 1343:2012</b>	Guias de pedra natural para pavimentos exteriores – Requisitos e métodos de ensaio
Elaboradas pelo <b>CEN/TC 246 – “Natural Stones”</b>	
<b>EN 1469:2015</b>	Placas para revestimento de paredes - Requisitos
<b>EN 12057:2015</b>	Ladrilhos modulares - Requisitos
<b>EN 12058:2015</b>	Placas para pavimentos e degraus - Requisitos
<b>EN 12059:2008+A1:2011</b>	Trabalhos de pedra de cantaria - Requisitos
Elaborada pelo <b>CEN/TC 125 – “Masonry”</b>	
<b>EN 771-6:2011</b>	Especificações para unidades de alvenaria. Parte 6: Unidades de alvenaria em pedra natural
Elaborada pelo <b>CEN/TC 128 – “Roof covering products for discontinuous laying and products for wall cladding”</b>	
<b>EN 12326-1:2014</b>	Ardósias e outras rochas cliváveis para coberturas descontínuas e revestimentos exteriores de paredes. Parte 1: Especificações para ardósias e ardósias carbonatadas

A consulta destas normas conduziu ao entendimento de que, apesar de definirem, para cada tipo de produto, que propriedades devem ser controladas para as rochas utilizadas no fabrico dos produtos a que se referem, não estabelecem critérios a cumprir pelas propriedades. De facto, contrariamente ao que sucede para as dimensões dos produtos, em relação às propriedades das rochas, estas normas não definem nem classes, nem limites. As edições anteriores de algumas destas normas continham classes para uma propriedade em concreto, mas foram eliminadas nas versões atualmente em vigor. Tratava-se da resistência ao gelo, para a qual eram estabelecidas duas classes i) a Classe 1 para rochas resistentes ao número ciclos de gelo/degelo, que se exigia que fosse executado; ii) a Classe 0 para rochas não resistentes e para aquelas não submetidas ao ensaio. Para ser atribuída a Classe 1 às rochas, a propriedade utilizada para avaliar os efeitos do ensaio de gelo (resistência à flexão ou resistência à compressão) não podia decrescer mais do que 20%, em relação ao valor obtido no lote não submetido a este ensaio de durabilidade. Atualmente, as normas em vigor apenas definem para o referido ensaio: i) o seu tipo (de identificação ou tecnológico);

- ii) a propriedade (flexão ou compressão) a utilizar para o ensaio de gelo do tipo tecnológico;  
 iii) o número de ciclos a executar (Tabela 43).

Tabela 43 — Resistência ao gelo. Disposições das normas europeias de produto em pedra natural.

Norma	Tipo de ensaio de resistência ao gelo	Propriedade a utilizar para a avaliação	Nº ciclos gelo/degelo	Detalhe do produto
EN 1341:2012	Tecnológico	Resist. flexão	56	
EN 1342:2012		Res. compressão	56	
EN 1343:2012		Resistência à flexão	56	
EN 1469:2015			14	
EN 12057:2015			14	paredes
			56	pavimentos
EN 12058:2015			56	
EN 12059:2008+A1:2011			12	predomínio de superfícies verticais
			48	predomínio de superf. horizontais
EN 771-6:2011	Identificação	Número de ciclos a que as unidades resistem		

A EN 771-6:2011, relativa às unidades de alvenaria, não especifica o número de ciclos de gelo/degelo a que estas unidades devem resistir. Na avaliação dos calcários, decidiu adotar-se, para a resistência ao gelo destas unidades, o critério normativo das cantarias: 12 ciclos para alvenarias onde predominam as superfícies verticais; 48 ciclos para alvenarias onde predominam as superfícies horizontais. Esta decisão baseou-se no facto de alvenarias e cantarias apresentarem funções semelhantes, quando aplicadas.

Da análise da tabela anterior conclui-se que estas disposições europeias são bastante genéricas. Como tal, os países europeus mais sujeitos às ações do gelo, possuem normas nacionais mais exigentes que as atrás apresentadas, que estabelecem o número de ciclos a executar, face às condições climatéricas do local de aplicação. Habitualmente, a informação é fornecida sob a forma de um mapa do país, com este dividido em regiões, em função das respetivas características climáticas. Para cada região, é indicado o número mínimo de ciclos a executar.

Além dos requisitos de execução para o ensaio anterior, a norma EN 1341:2012 contém uma orientação relevante, envolvendo a resistência à flexão sob carga centrada

(EN 12372). Trata-se do cálculo da espessura das lajes a aplicar em pavimentos exteriores, para diferentes classes de uso, a partir da equação a seguir apresentada.

$$t = \sqrt{\frac{1500 \times P \times L \times F_s}{W \times E_L}}$$

Onde:

$t$  é a espessura (mm) da laje;

$P$  é a força de rutura (kN), tendo em conta a utilização prevista do pavimento (Tabela 44);

$L$  é o comprimento (mm) da laje;

$F_s$  é o fator de segurança (Tabela 45);

$W$  é a largura (mm) da laje;

$E_L$  é o valor mínimo esperado (MPa) para a resistência à flexão determinada de acordo com a EN 12372.

Apesar de a equação dizer respeito a um determinado tipo de produto: lajes para pavimentos exteriores, é suficientemente abrangente para poder ser utilizada para qualquer outro produto, a aplicar em pavimentos, e também para produtos a utilizar no revestimento de paredes.

Tabela 44 — Orientações sobre forças de rutura ( $P$ ) expectáveis para diferentes utilizações (EN 1342:2012).

Classe	Força de rutura mínima (kN)	Utilização prevista
0	Nenhuma exigência	Decoração
1	0,75	Lajes assentes em argamassa, apenas para uso pedonal
2	3,5	Áreas pedonais e para bicicletas
3	6,0	Acesso ocasional de automóveis, veículos ligeiros e motociclos. Entradas de garagem
4	9,0	Áreas de passeio, locais de mercados ocasionalmente utilizados por veículos de transporte de mercadorias e veículos de emergência
5	14,0	Áreas pedonais frequentemente utilizadas por veículos pesados
6	25,0	Estradas e ruas, postos de gasolina

Tabela 45 — Fator de segurança ( $F_s$ ) para diversos tipos de assentamento de lajes (EN 1342:2012).

Comprimento $L$ (mm)	Pavimento sobre		Pavimento sobre um vão, suportado		
	betão, assente com argamassa e juntas (construção acoplada)	areia ou agregado (construção desacoplada)	por 4 lados	por 2 lados	por 4 cantos
$\leq 600$	1,2	1,8	2,4	2,7	3,0
$> 600$	1,8	2,4	2,7	3,1	3,5

Nada mais é estabelecido pelas normas europeias de produtos em pedra natural, em relação às propriedades desta. Na sua elaboração, ter-se-á partido do pressuposto que cada país teria disposições nacionais sobre essa matéria. Contudo, se é objetivo do CEN a harmonização europeia dos ensaios sobre a pedra e também a harmonização do fabrico e comercialização dos seus produtos, porque não harmonizar as especificações técnicas para a sua aplicação?

### 5.5. Especificações bibliográficas relativas a produtos em pedra natural

A inexistência de legislação e normas nacionais relativas à aplicação de pedra natural, motivou o recurso a especificações técnicas apresentadas em bibliografia sobre este tema (Pinto, et al., 2006), para avaliar as propriedades dos calcários.

As especificações técnicas recomendadas para os principais produtos em pedra, no que se refere às propriedades físicas e mecânicas das rochas, são apresentadas na Tabela 46. Nesta incluiu-se a calçada portuguesa, devido quer à sua importância a nível nacional, quer ao facto de utilizar o calcário como principal matéria-prima. Com o intuito de se clarificarem as alíneas 6) a 9) desta tabela, apresentam-se, na Figura 108, os valores mínimos para a energia de rutura, em função da localização dos produtos para o revestimento de paredes e fachadas.

Na Tabela 47 são apresentadas as especificações técnicas propostas para produtos em pedra a aplicar em pavimentos, no que diz respeito à resistência ao desgaste por abrasão das rochas (determinada através do método A — ensaio de desgaste com o disco largo, da EN 14157).

Por fim, no que refere à resistência ao choque térmico, a bibliografia sobre produtos em pedra, recomenda que as rochas utilizadas em produtos a aplicar em exteriores devem resistir, pelo menos, a 20 ciclos daquele ensaio de durabilidade (Pinto, et al., 2006).

Tabela 46 — Especificações técnicas para produtos em pedra natural. Disposições relativas às propriedades físicas e mecânicas da pedra (Pinto, et al., 2006).

Propriedade	Alvenarias e cantarias	Pavimentos	Revestimento de paredes e fachadas	Calçada Portuguesa
<b>Absorção de água</b>				
1) Indicativo, para os calcários de melhor qualidade	$\leq 3\%$			
2) Habitualmente requerido para exteriores de zonas húmidas	$\leq 0,5\%$			
3) Desejável para exteriores de zonas húmidas	$\leq 0,4\%$			
<b>Coefficiente de absorção de água por capilaridade</b>				
1) Zonas exteriores pouco expostas	$\leq 190 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$		$\leq 90 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$	
2) Zonas exteriores muito expostas	$\leq 90 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$			
<b>Porosidade aberta</b>				
Desejável para exteriores de zonas húmidas — <u>para calcários</u>	$< 9\%$			
<b>Densidade aparente</b>				
Habitualmente requerido para exteriores de zonas húmidas — <u>para calcários</u>	$> 2300 \text{ kg}/\text{m}^3$			
<b>Resistência à compressão</b>				
Habitualmente requerido — <u>para calcários</u>	$> 60\text{MPa}$			
<b>Resistência à flexão</b>				
Habitualmente requerido — <u>para calcários</u>	$> 7\text{MPa}$			
<b>Energia de rutura – choque</b>				
1) Mínimo para uso privado <sup>1)</sup>	3J			
3) Mínimo para uso coletivo <sup>1)</sup>	4,5J			
4) Mínimo para uso público <sup>1)</sup>	6J			
5) Aplicações sujeitas a impactos muito fortes <sup>2)</sup>	10J			
6) Aplicações pouco suscetíveis a impactos <sup>1)</sup>	3J			
7) Aplicações sujeitas a impactos moderados <sup>1)</sup>	3J - 6J			
8) Rodapés e lambris ou outras aplicações em espaços limitados, sujeitas a impactos fortes <sup>1)</sup>	6J			
9) Rodapés e lambris ou aplicações em espaços abertos, sujeitas a impactos muito fortes <sup>2)</sup>	10J			
<b>Carga de rutura – ancoragens</b>				
Interiores	$\geq 6/5$ peso da placa <sup>3)</sup>			
Exteriores	$\geq 250\text{N}$			
	$\geq 500\text{N}$			

<sup>1)</sup> Para placas com espessura de 3cm.

<sup>2)</sup> É necessário o dimensionamento da espessura das placas.

<sup>3)</sup> Qualquer das aplicações (interiores e exteriores).

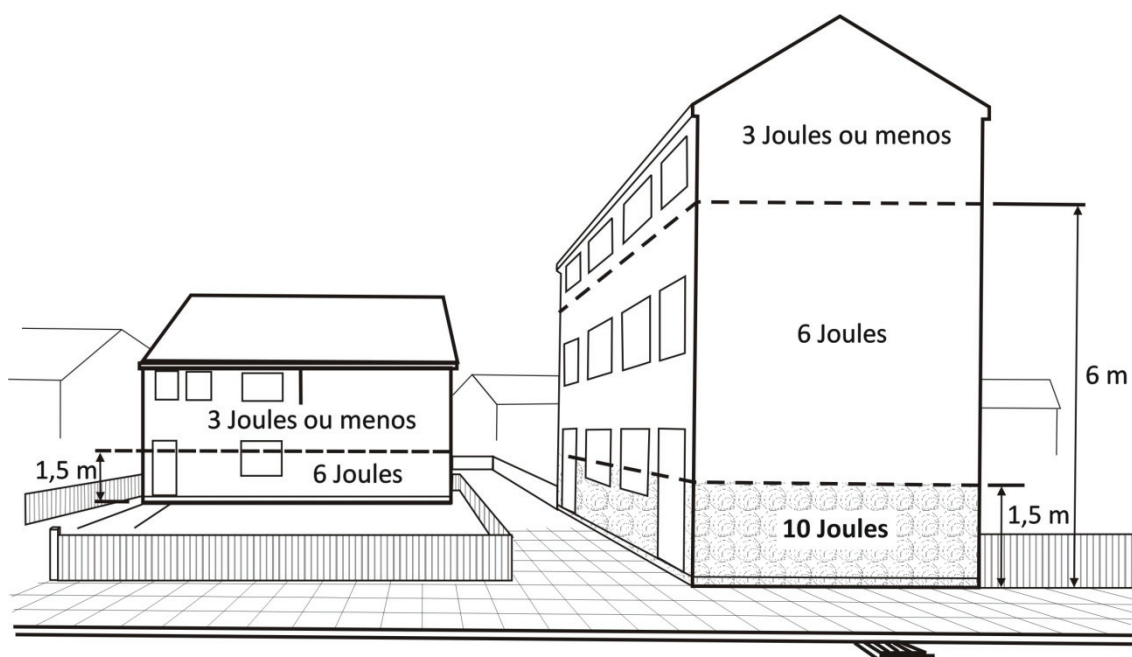


Figura 108 – Produtos em pedra natural para fachadas. Valores mínimos para a energia de rutura, em função da sua localização. Desenho esquemático (Ross & Butlin, 1989), extraído do “Manual de Pedra Natural para a Arquitectura” (Pinto, et al., 2006).

Tabela 47 — Especificações técnicas para produtos em pedra para pavimentos. Disposições relativas à resistência ao desgaste por abrasão<sup>1)</sup> da pedra (Pinto, et al., 2006).

Características do Tráfego	Circulação veículos	Tipo de uso	Pavimentos e Calçada Portuguesa
Intenso	Circulação de veículos pesados e de transporte de cargas	Público	≤ 18,0mm
Forte	Circulação ocasional de veículos de emergência e de transporte de cargas		≤ 19,5mm
Forte a moderado		Coletivo	≤ 21,5mm
Moderado			≤ 24,5mm
Fraco		Privado	≤ 30,0mm

<sup>1)</sup> Determinada através do método A — ensaio de desgaste com o disco largo, da EN 14157.

Da análise das duas tabelas anteriores (Tabela 46 e Tabela 47), conclui-se que estas apenas contêm recomendações genéricas. Cada aplicação particular carecerá de um ajuste nos limites para as propriedades da pedra, bem como do dimensionamento das placas em função destas propriedades. A título de exemplo, refere-se o caso da resistência às ancoragens, para qual são considerados vários fatores no cálculo do seu valor mínimo, para cada aplicação específica. Uma placa de pedra aplicada através deste método de fixação, tem que ser capaz de suportar todos os esforços verticais e horizontais que sobre ela irão atuar, sem que ocorra a sua rutura. Além do seu peso, a placa irá estar sujeita aos movimentos estruturais do edifício

(assentamentos, etc.), às dilatações/retrações térmicas lineares diferenciais entre ela e a estrutura de suporte, a impactos e, por fim, à pressão/sucção provocada pelo vento. Assim, um método expedito para o cálculo do valor mínimo da resistência às ancoragens, tem em conta a pressão do vento (em função do local e da altura do edifício), as dimensões previstas para a placa, a densidade aparente da pedra e a sua resistência à flexão, o número de pontos por ancoragem e fatores de segurança. Cálculos mais rigorosos requerem que sejam considerados muitos mais fatores: posição para as ancoragens (na junta vertical ou na junta horizontal), razão entre o comprimento e a largura da placa, momentos induzidos na caixa de ar, posição real dos orifícios de ancoragem em relação aos cantos da placa e momentos entre os pontos de ancoragem (Pinto, et al., 2006).

## **5.6. Utilização dos calcários — Recomendações**

### **5.6.1. Aplicações gerais**

Considerando as especificações técnicas propostas no ponto anterior (5.5) e as propriedades dos calcários, estes são mais adequados para os produtos e condições de aplicação apresentados na Tabela 48. Da análise desta tabela, destaca-se o facto de apenas dois calcários serem recomendados para aplicações em exteriores muito expostos. A absorção de água das rochas é a propriedade determinante para a aplicação nestas condições. As absorções dos calcários são todas superiores ao valor habitualmente requerido para exteriores de zonas húmidas ( $\leq 0,5\%$ ). Contudo, uma vez que os calcários “Moleanos” e “Azul Ataija” apresentam absorções de água inferiores a 3,0%, valor indicativo para os calcários de melhor qualidade, considera-se que podem ser aplicados em exteriores. Quanto ao calcário “Moca Creme”, apresenta uma absorção de água de 3,1%, valor muito próximo do limite atrás referido. Possui, também, uma porosidade aberta inferior a 9% (6,9%) e uma densidade aparente superior a 2300kg/m<sup>3</sup> (2480 kg/m<sup>3</sup>). Desta forma, considera-se que ainda poderá ser aplicado em exteriores, mas apenas em zonas pouco expostas. Os restantes calcários são mais adequados para aplicações em interiores.

Da Tabela 48 destaca-se, ainda, o facto de o calcário “Azul Ataija” ser o único que não apresenta restrições à utilização em qualquer das aplicações indicadas. Porém, nesta tabela, não se entrou em linha de conta com os resultados obtidos na resistência ao choque térmico. Dos calcários ensaiados, o “Azul Ataija” foi o único que revelou uma alteração cromática evidente neste ensaio de durabilidade, caracterizada pelo aclaramento da sua tonalidade inicial (Figura 90). Se este processo for lento e uniformemente distribuído, quer em cada placa, quer em toda a área revestida, é possível que esta alteração não seja perceptível numa fachada. Porém, se tal não acontecer, ou se for necessário proceder-se à substituição de placas aplicadas, a diferença de tonalidade, entre as placas inicialmente colocadas e as substituídas,

será significativa, comprometendo a homogeneidade cromática da fachada. Por este motivo, que não é estrutural, mas sim estético, a utilização do calcário “Azul Ataija” em exteriores poderá não ser uma boa opção, pelo menos para acabamentos finos (polido e amaciado).

Tabela 48 — Recomendações para a utilização dos calcários, considerando as suas propriedades e as especificações técnicas apresentadas no ponto anterior 5.5.

Aplicações	Calcário “Cabeça de Veada”	Calcário “Semi-Rijo do Arrimal”	Calcário “Creme Fátima”	Calcário “Moca Creme”	Calcário “Moleanos”	Calcário “Azul Ataija”
<b>Alvenarias e cantarias</b>						
Interiores	✓		✓	✓	✓	✓
Exteriores <sup>1)</sup> pouco expostos				✓	✓	✓
Exteriores <sup>1)</sup> muito expostos					✓	✓
<b>Pavimentos</b>						
Interiores	✓		✓	✓	✓	✓
Exteriores <sup>1)</sup> pouco expostos				✓	✓	✓
Exteriores <sup>1)</sup> muito expostos					✓	✓
Uso privado (espessura ≥ 3cm)	✓		✓	✓	✓	✓
Usos: coletivo e público e sujeitas a impactos muito fortes	2)		2)	2)	2)	2)
Fixação através de ancoragens	✓		✓	✓	✓	✓
Tráfego intenso (uso público)						✓
Tráfego forte (uso público)					✓	✓
Tráfego forte a moderado (uso coletivo)			✓	✓	✓	✓
Tráfego moderado (uso coletivo)	✓		✓	✓	✓	✓
Tráfego fraco (uso privado)	✓		✓	✓	✓	✓
<b>Revestimento de paredes</b>						
Interiores	✓		✓	✓	✓	✓
Exteriores <sup>1)</sup> pouco expostos				✓	✓	✓
Exteriores <sup>1)</sup> muito expostos					✓	✓
Pouco suscetíveis a impactos (espessura ≥ 3cm)	✓		✓	✓	✓	✓
Sujeitas a impactos moderados (placas c/ espes. ≥ 3cm)	2)		✓	2)	2)	✓
Sujeitas a impactos fortes e muito fortes	2)		2)	2)	2)	2)
Fixação através de ancoragens	✓		✓	✓	✓	✓
<b>Calçada Portuguesa</b>						
Tráfego intenso (uso público)						✓
Tráfego forte (uso público)					✓	✓
Tráfego forte a moderado (uso coletivo)			✓	✓	✓	✓
Tráfego moderado (uso coletivo)	✓		✓	✓	✓	✓
Tráfego fraco (uso privado)	✓		✓	✓	✓	✓

1) Refere-se a exteriores não sujeitos às ações do gelo/degelo).

2) É necessário o dimensionamento da espessura das placas.

Outro aspeto importante a salientar da tabela anterior, é a situação do calcário “Semi-Rijo do Arrimal”. Não é recomendável para aplicações em exteriores, devido às suas propriedades físicas (absorção de água, capilaridade, porosidade e densidade). Por outro lado, a sua utilização em interiores fica comprometida pelas suas propriedades mecânicas (compressão e flexão). Contudo, este calcário é amplamente comercializado! Quais são os casos particulares em que pode ser aplicado, salvaguardando o seu bom desempenho, durante um período de tempo razoavelmente longo? A melhor opção é no revestimento de paredes, mas em interiores. A sua falta de resistência mecânica pode ser compensada através do reforço do tardo das placas recorrendo a vários processos (telas de diversos materiais resistentes coladas com resinas, ou a conjugação de telas com estruturas de alumínio em favo de mel). Pode-se, também, compensar a baixa resistência mecânica através do aumento da espessura das placas, que pode ser calculada através da equação constante no ponto 5.4. O cálculo da espessura mínima da placa deve ter em consideração o tipo de impacto a que esta poderá estar sujeita. Se a placa for fixada através de ancoragens, deve primeiro calcular-se a resistência às ancoragens mínima do calcário e só depois determinar a espessura mínima da placa. Apesar de ser mais adequado ao revestimento de paredes em interiores, é possível aplicar o calcário “Semi-Rijo do Arrimal” no revestimento de paredes em exteriores, mas somente em zonas com pluviosidade muito baixa. Finalmente, a salvaguarda da integridade estrutural deste calcário em paredes exteriores, pode ser assegurada através do tratamento superficial das placas com produtos impermeabilizantes. Porém, esta hipótese deve ser a última a ser considerada, na medida em que, para além de aumentar significativamente os custos iniciais de aplicação, aumenta também os custos de manutenção, uma vez que é necessária a reaplicação periódica do produto de tratamento.

Finalmente, da Tabela 48, falta apreciar a aplicação dos calcários em pavimentos (incluindo a calçada portuguesa). Cinco calcários podem ser utilizados neste tipo de aplicações, mas com ressalvas quanto ao tipo de tráfego. Nenhum apresenta restrições quanto à sua utilização para tráfegos: fraco e moderado. Só quatro podem ser aplicados em zonas sujeitas a tráfego forte a moderado. Em zonas de tráfego forte, o seu número decresce para dois. O calcário “Azul Ataija” é o único recomendável para pavimentos sujeitos a tráfego intenso.

#### **5.6.2. Aplicação em zonas sujeitas à ação do gelo/degelo**

Uma vez que não foi executado o mesmo número de ciclos de gelo/degelo para todos os calcários, a análise dos resultados teve que se limitar ao número de ciclos realizado. Definiu-se, como critério para considerar os calcários resistentes ao gelo, o decréscimo na sua

resistência à flexão ser  $\leq 20\%$ . Esta percentagem não foi ultrapassada para os calcários “Moca Creme” e “Moleanos”.

À luz das disposições apresentadas no ponto 5.4, que preveem a possibilidade de qualquer produto em pedra poder ser aplicado em exteriores de zonas sujeitas a gelo, o calcário “Moleanos” pode ser utilizado no fabrico dos produtos abrangidos pelas seguintes normas: EN 1341:2012, EN 1343:2012, EN 1469:2015, EN 12057:2015, EN 12058:2015, EN 12059:2008+A1:2011 e EN 771-6:2011. Quanto à EN 1342:2012, referente aos cubos e paralelepípedos para pavimentos exteriores, não foi possível avaliar a adequabilidade do calcário mencionado, nem de nenhum dos outros, para este tipo de aplicação, uma vez que esta norma é a única que exige que o ensaio de gelo seja avaliado através da resistência à compressão.

No calcário “Moca Creme”, a execução de apenas 48 ciclos de gelo/degelo, só permitiu garantir a sua adequação para alvenarias e cantarias. Torna-se, pois, necessário repetir o ensaio para 56 ciclos de gelo/degelo, de modo a avaliar a adequação daquele calcário para um leque mais vasto de produtos.

Entre os quatro calcários que não resistiram ao número de ciclos de gelo/degelo a que foram submetidos, encontram-se o “Cabeça de Veada”, o “Semi-Rijo do Arrimal” e o “Creme Fátima”. Não é necessário submetê-los a ensaios complementares de resistência ao gelo, uma vez que estes calcários não são adequados para aplicação em exteriores. Quanto ao calcário “Azul Ataija”, apesar de ter sofrido um decréscimo na sua resistência à flexão de 30%, o valor desta propriedade obtido após 56 ciclos de gelo/degelo é, ainda assim, 15,3MPa. Este valor é mais do dobro do valor habitualmente requerido para esta propriedade, para calcários:  $> 7\text{MPa}$ ! Esta constatação clarifica o motivo pelo qual o critério do decréscimo de 20%, para avaliar o ensaio de resistência ao gelo do tipo tecnológico, foi retirado das normas europeias de produto, nas quais constava. De facto, este critério não é, por si só, suficiente para se efetuar uma avaliação correta dos resultados do ensaio de gelo, tendo sempre que se ter em conta o valor final da resistência à flexão. Em face do exposto, o calcário “Azul Ataija” pode ser utilizado no fabrico dos mesmos produtos que o calcário “Moleanos”.

### **5.6.3. Aplicação em zonas sujeitas à ação do nevoeiro salino**

Considerando-se somente os parâmetros estabelecidos pela EN 14147 para a avaliação da resistência das rochas a este ensaio, concluiu-se que todos os calcários são adequados para a aplicação nestas zonas. Ressalva-se, apenas, o caso do calcário “Azul Ataija”, cujas alterações

cromáticas, principalmente para os acabamentos polido e amaciado (Figura 91), condicionam a sua aplicação em zonas sob a influência de aerossóis salinos.

Recorrendo-se aos resultados dos ensaios tecnológicos adicionais realizados, no que diz respeito às absorções de água, que aumentaram em três calcários após o ensaio de nevoeiro salino, nenhum dos aumentos é suficiente, sequer, para alterar as recomendações de utilização apresentadas na Tabela 48. Quanto ao outro ensaio suplementar, utilizando-se como critério de resistência dos calcários ao nevoeiro salino, um decréscimo na sua resistência à flexão  $\leq 20\%$ , ter-se-iam que classificar todos os calcários como resistentes àquele ensaio de durabilidade. Contudo, destaca-se o caso do calcário “Semi-Rijo do Arrimal”, que apesar de só ter sofrido um decréscimo de 12% na sua resistência à flexão, esta passou de 7,8 para 6,9MPa. Este último valor já se encontra abaixo do limite habitualmente requerido para calcários:  $> 7\text{MPa}$ . Por este motivo de natureza estrutural, o calcário tem que ser considerado como não resistente ao nevoeiro salino. Concluiu-se, pois, que o critério que se definiu é por si só insuficiente para avaliar este ensaio.

Comparando as conclusões tiradas da apreciação dos resultados através dos parâmetros definidos pela EN 14147, com aquelas a que se chegou por meio dos ensaios tecnológicos adicionais, concluiu-se que ambas se complementam. Assim, as alterações na aparência visual e a resistência à flexão devem ser utilizados para avaliar este ensaio.

## **5.7. Análise das designações comerciais de alguns dos calcários**

As características petrográficas e tecnológicas obtidas para os calcários, assim como os trabalhos efetuados no âmbito do enquadramento geológico, permitiram avaliar se as designações comerciais utilizadas na comercialização dos calcários são adequadas. Para dois dos calcários, concluiu-se que as designações deveriam ser ajustadas. Os motivos para o ajuste são a seguir apresentados.

### **5.7.1. Calcário “Moleanos”**

São exploradas três variedades de cor beije do calcário “Moleanos”, diferentes entre si quer em termos petrográficos, quer tecnológicos: o “Moleanos Rijo”, o “Vidraço de Moleanos” e o “Moleanos Macio”. Comparando os resultados obtidos, com os constantes no portal de Rochas Ornamentais Portuguesas do LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia, 2015), concluiu-se que o calcário analisado apresenta características texturais e físico-mecânicas

compatíveis com a variedade “Vidraço de Moleanos”. Esta é, pois, a designação que deve ser utilizada na sua comercialização.

### **5.7.2. Calcário “Azul Ataíja”**

Este calcário, além de não ser extraído no mesmo Lugar que os calcários comercializados sob esta designação: Ataíja de Cima, também não é explorado na mesma formação que estes calcários. Os calcários “Ataíja” são explorados em camadas integradas na formação “Moleanos”, datada do Caloviano inferior a médio (Laboratório Nacional de Energia e Geologia, 2015). O calcário que se estudou é explorado na formação atualmente identificada por  $J_{CM}^3$  – Camadas de Cabaços e de Montejunto, que pertence ao Oxfordiano superior (Manuppella, et al., 2000). Assim, não é legítimo comercializar este calcário sob a designação “Ataíja”, quando tampouco apresenta características similares às daqueles calcários.

## **5.8. Métodos de ensaio — análise e propostas de alteração**

A maioria dos métodos de ensaio utilizados na caracterização dos calcários teve por base normas europeias. As metodologias relativas à determinação da densidade aparente e da porosidade aberta, da resistência à flexão sob carga centrada e da resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino revelaram divergências, que suscitaram dúvidas quanto à sua validade. Cada um desses casos é a seguir discutido.

### **5.8.1. Densidade aparente e porosidade aberta**

A partir das massas registadas para o cálculo da densidade aparente e da porosidade aberta de cada calcário, determinou-se a absorção de água através desse método (EN 1936). Comparou-se com o valor obtido no método regulamentado (EN 13755) e calculou-se a diferença percentual entre ambas (Tabela 49). Das diferenças observadas, conclui-se que para a gama de porosidades abertas dos calcários (1,8 – 17,0%), o método de saturação utilizado na determinação da densidade aparente e da porosidade aberta (EN 1936): sob vácuo, com adição da água num único momento e apenas 24h de imersão (ver 3.5.6.3), revelou-se menos eficaz que o utilizado na determinação da absorção de água à pressão atmosférica (ver 3.5.6.2). Neste último (EN 13755), a adição faseada de água em três momentos distintos, permitiu a ocorrência do processo de absorção de água por capilaridade. Por outro lado, a

saturação dos provetes prolongou-se, pelo menos, durante 72 horas e foi mantida até ter sido atingida massa constante (ver 3.5.5).

Tabela 49 — Absorções de água: i) determinada através do método regulamentado (EN 13755) e ii) calculada a partir da determinação da densidade aparente e da porosidade aberta (EN 1936) e diferença percentual entre ambas. As médias da absorção de água estão apresentadas em %.

Absorção de água média	“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataija”
EN 13755	3,8	8,2	4,3	3,1	1,4	0,8
EN 1936	3,4	7,8	3,9	2,8	1,3	0,7
Diferença	11%	5%	9%	10%	7%	13%

Considerando que as porosidades abertas dos calcários estudados abrangem cerca de 70% da gama de valores obtida para os principais calcários ornamentais portugueses atualmente explorados (Carvalho, et al., 2013), concluiu-se que o método de ensaio definido na EN 1936, para a determinação da densidade aparente e da porosidade aberta, não é adequado para a maioria dos calcários ornamentais portugueses. De facto, produz resultados sobrestimados para a densidade aparente e subestimados para a porosidade aberta. Os resultados obtidos para os calcários apontam para que o erro associado à determinação destas duas propriedades seja tanto maior quanto menor for a porosidade aberta do calcário. Confirmada esta hipótese, deve ser proposta uma revisão da EN 1936, na qual sejam estabelecidas duas metodologias de ensaio, em função da classe da porosidade aberta da rocha a ensaiar: i) em rochas com porosidades abertas  $\geq 20\%$ , continuar-se-ia a aplicar o método de saturação atualmente regulamentando; ii) em rochas com porosidades abertas desconhecidas ou  $< 20\%$ , passar-se-ia a aplicar o método definido na EN 13755.

### 5.8.2. Resistência à flexão sob carga centrada

O ensaio de resistência à flexão sob carga centrada (ver 3.5.6.5) foi executado sobre dois conjuntos de provetes. Um apresentava as dimensões habitualmente utilizadas neste ensaio: (50×50×300)mm. O segundo conjunto apresentava as dimensões: (25×50×150)mm e destinava-se a avaliar os efeitos do ensaio de nevoeiro salino. As suas dimensões mais reduzidas tinham por objetivo facilitar a sua colocação na câmara climática, face às dimensões

internas desta. Na Tabela 50 são apresentados os resultados obtidos nesta propriedade, para ambas as dimensões, assim como a respetiva diferença percentual.

Tabela 50 — Valores médios das resistências à flexão sob carga centrada obtidas nos provetes de dimensões (50×50×300)mm e de dimensões (25×50×150)mm e diferença percentual entre ambos. Os valores médios da resistência à flexão estão apresentados em MPa.

Resist. flexão sob carga centrada	“Cabeça de Veada”	“Semi-Rijo do Arrimal”	“Creme Fátima”	“Moca Creme”	“Moleanos”	“Azul Ataija”
(50×50×300)mm	12,7	6,5	13,7	14,9	11,9	21,8
(25×50×150)mm	14,2	7,8	17,6	17,7	13,0	25,2
Diferença	-12%	-20%	-28%	-19%	-9%	-16%

Embora as duas dimensões sejam permitidas pela norma europeia que regulamenta o ensaio (EN 12372), os valores constantes na tabela anterior apontam claramente para uma influência das dimensões dos provetes, nos resultados obtidos para esta propriedade. Apesar de não haver proporcionalidade entre os valores da resistência à flexão e as respetivas diferenças, há uma tendência evidente: para as dimensões menores são obtidas maiores resistências à flexão. Uma das hipóteses para esta tendência, deve-se ao facto de ser mais provável um provete de maior dimensão conter uma heterogeneidade estrutural, do que um de menor. Tendo em conta que, por um lado, os provetes de (50×50×300)mm são estabelecidos pela EN 12372 como preferenciais e, por outro, são quatro vezes maiores que os provetes de (25×50×150)mm, é legítimo presumir-se que os valores obtidos para os provetes maiores reflitam melhor o comportamento à flexão dos calcários e que os valores obtidos para os provetes menores estejam sobrevalorizados. A versão da EN 12372 atualmente em vigor (2006) permite a utilização de provetes com uma variação dimensional ainda mais ampla do que a utilizada neste estudo. De facto, esta norma prevê a utilização de provetes com dimensões que podem variar entre os (25×50×150)mm e os (100×300×600)mm, desde que sejam cumpridos alguns requisitos. Entre estes, o mais importante refere-se à espessura dos provetes, que para além de ter que estar compreendida entre os 25 e os 100mm, deve ser “superior ao dobro do tamanho do maior grão da pedra”. Esta exigência é bastante pertinente, contudo de difícil cumprimento na totalidade dos ensaios, porquanto, em muitos casos, desconhece-se a priori as características petrográficas das rochas a ensaiar, situação que inviabiliza a correta definição da espessura do provete. Deste modo, os laboratórios limitam-se a ensaiar provetes com as dimensões preferenciais, independentemente do tamanho do maior grão da pedra ser, ou não, inferior a 25mm. Em face do exposto, a EN 12372 carece de uma

reapreciação, uma vez que, mesmo cumprindo a exigência normativa que estabelece a espessura do provete em função do tamanho do maior grão da pedra (apenas os calcários “Cabeça de Veada” e “Semi-Rijo do Arrimal”, apresentavam, pontualmente, alguns componentes  $\geq 12,5\text{mm}$  e  $\geq 25\text{mm}$ ), os resultados obtidos para dimensões distintas, previstas pela norma, são consideravelmente diferentes. Confirmada esta variação de resultados para outras dimensões normativas e para outras litologias, a proposta de revisão da norma deveria apontar no sentido de se definir de uma forma mais evidente um ensaio tecnológico, no qual fosse permitido ensaiar várias dimensões, nomeadamente peças completas (produtos finais) e também um ensaio de identificação, no qual fosse permitido ensaiar provetes apenas de uma única dimensão.

### 5.8.3. Resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino

As características petrográficas dos calcários, que determinaram as suas propriedades químicas e tecnológicas, faziam prever, no ensaio de resistência ao nevoeiro salino a que estas rochas foram submetidas, um nível de deterioração superior ao verificado. O grau de degradação, manifestamente aquém do expectável, levanta a seguinte questão: Será que o método atualmente estabelecido na EN 14147 simula, de um modo efetivo, as condições de nevoeiro salino existentes nas zonas costeiras? Diversos estudos anteriormente desenvolvidos sobre este tema concluíram que não. A questão fulcral é a solução salina utilizada: NaCl na concentração de  $(100\pm 10)\text{g/l}$ . As partículas de sais do mar presentes na atmosfera, possuem uma composição química muito semelhante à da água do mar. Por conseguinte, a composição do aerossol salino a utilizar neste ensaio de durabilidade, tem que se assemelhar à composição da água do mar, pelo menos em termos dos seus componentes principais. Do ponto de vista composicional, a água do mar é fundamentalmente constituída por seis iões (Tabela 51), cujo contributo corresponde a mais de 99%, em massa, do total de sólidos dissolvidos: cloreto, sulfato, magnésio, cálcio, sódio e potássio (Steiger & Charola, 2011).

Tabela 51 — Composição da água do mar, em termos de conteúdo em sais, utilizada num estudo de resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino, de granitos espanhóis e calcários italianos (Cardell, et al., 2003). Os valores estão expressos em ppm.

$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$
22050	2713	50	28	945	345	19920	1020

**Nota:** A água do mar utilizada apresentava, ainda, as seguintes propriedades: - salinidade = 39,20‰; clorinidade = 21,70‰ (ensaio de Mohr); condutividade =  $33 \text{ s cm}^{-1}$  (Cardell, et al., 2003).

A forma de garantir a produção de um nevoeiro salino artificial equivalente ao real, é produzindo-o a partir de: i) água do mar; ii) água do mar produzida artificialmente. Pretendendo optar-se pela segunda solução, uma pesquisa sobre qual será a formulação mais adequada, para a produção de água do mar artificial, a utilizar em ensaios laboratoriais de simulação de nevoeiro salino, conduziu à formulação apresentada na Tabela 52, na qual apenas são considerados os componentes com maiores concentrações (Lewis & Schwartz, 2004).

Tabela 52 — Formulação para produção de água do mar artificial, com uma salinidade de 35g/kg (Lewis & Schwartz, 2004).

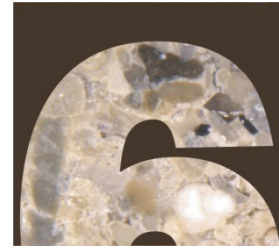
Componente	Gramas	Moles
NaCl	25,9	0,443
MgCl <sub>2</sub>	5,0 (10,8 <sup>a)</sup> )	0,053
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4,0	0,028
H <sub>2</sub> O	965,1 (959,3 <sup>a)</sup> )	—
<b>TOTAL</b>	<b>1000,0</b>	—

<sup>a)</sup> Para MgCl<sub>2</sub> sob a forma de MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O.

Tratando-se de um ensaio de envelhecimento acelerado, a salinidade da solução preparada para o ensaio de nevoeiro salino é bastante superior (100g/kg) à salinidade da solução apresentada na tabela anterior (35g/kg). Para se preparar uma solução com uma composição igual à apresentada na Tabela 52, mas com uma salinidade de 100g/kg, ter-se-iam que dissolver 74,2g de NaCl, 14,3g de MgCl<sub>2</sub> e 11,5g de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> em 900g de água. Apesar de cálculos teóricos preverem que o NaCl possa ser um sal particularmente destrutivo, posto que para uma dada temperatura, apresenta uma maior pressão de cristalização que a de outros sais (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub> e formas hidratadas destes sais), a inclusão de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> irá incrementar os danos provocados nos calcários, tal como normalmente é observado em experiências laboratoriais envolvendo quer este sal, quer o MgSO<sub>4</sub>. Esta aparente contradição deve-se ao facto de os cálculos terem sido efetuados para condições de sobressaturação das soluções e ser mais difícil atingir sobressaturação em soluções de NaCl, do que em soluções dos outros sais atrás referidos (Steiger, 2005).

Quanto aos critérios normativos para a avaliação do ensaio, os trabalhos efetuados no âmbito deste estudo demonstraram, tal como já se previa, que estes são insuficientes. Neste sentido, devem ser complementados com determinações da resistência à flexão antes e após o

ensaio, que permitem avaliar possíveis fragilidades estruturais provocadas pelos ciclos de nevoeiro salino, cálculos do módulo de elasticidade dinâmico a partir de medições da frequência de ressonância, que são bastante sensíveis a alterações estruturais das rochas e análises detalhadas do sistema de poros.



## Conclusões

O estudo dos calcários evidenciou propriedades destas rochas, que determinam diferentes suscetibilidades à exposição a ambiente costeiro, no qual o aerossol atmosférico impregnado de sal provoca a degradação nas rochas, condicionando a sua aplicação nestes locais. Tratando-se de rochas constituídas na sua generalidade por quantidades equivalentes de componentes aloquímicos (pelóides, restos de fósseis e oólitos) e de cimento que os agrega, são também rochas que revelam porosidades abertas bastante diferentes, com valores entre o médio e o elevado, apresentando por este motivo predisposições distintas à penetração de aerossol salino no seu interior. Neste contexto, é útil realçar que as diferenças texturais e na composição dos calcários, refletem variações nos respetivos ambientes de deposição e nas origens dos seus componentes, embora a sua proveniência esteja limitada ao Maciço Calcário Estremenho.

A caracterização petrográfica, a composição química e as diversas propriedades tecnológicas, determinadas a partir dos respetivos métodos analíticos, permitiram hierarquizar os parâmetros de maior peso nos processos de degradação dos calcários estudados, nos quais a porosidade aberta ocupa a posição de destaque. São os calcários mais porosos — “Semi-Rijo do Arrimal”, “Creme Fátima” e “Cabeça de Veada” — que apresentam maiores índices de alteração e mais restrições à sua utilização, posto que as suas porosidades abertas são também responsáveis pelas variações de algumas das suas propriedades, das quais se destaca pela sua importância, a absorção de água. Com efeito, as elevadas absorções de água apresentadas por estes três calcários, compromete a sua aplicação em exteriores, dado que a água é outro importante agente de meteorização, principalmente quando exposta a temperaturas negativas, desempenhando um papel fulcral na durabilidade das rochas. Os resultados do ensaio de resistência ao gelo refletem este processo, evidenciando o mau desempenho dos três calcários atrás referidos. As resistências à compressão e à flexão são

propriedades fundamentais para a avaliação das rochas do ponto de vista estrutural e determinaram a inadequabilidade do calcário mais poroso — “Semi-Rijo do Arrimal” — para a totalidade dos produtos avaliados. No extremo oposto encontra-se o calcário “Azul Ataija”, que apresenta os valores mais elevados para estas duas propriedades mecânicas e o valor mais baixo para a porosidade aberta, critérios determinantes para viabilizarem a sua utilização em qualquer das aplicações consideradas. O único condicionalismo na utilização deste calcário é de natureza estética, dado que, tal como todos os calcários com maior conteúdo em matéria orgânica, irá sofrer um ligeiro aclaramento na sua cor, quando aplicado em exteriores.

Os resultados obtidos no ensaio de resistência ao nevoeiro salino para os diferentes acabamentos superficiais testados, evidenciaram que os acabamentos grosseiros (apicoados, neste caso) são os mais suscetíveis aos efeitos do nevoeiro salino. A sua maior área superficial aumenta a exposição ao aerossol salino e, por consequência, as perdas de massa sofridas. Contudo, estes acabamentos são os menos sensíveis às alterações cromáticas provocadas por este ensaio. Os acabamentos finos (polido e amaciado), apesar de diminuírem a exposição dos calcários àquele agente atmosférico, apresentando menores perdas de massa, sofrem variações de cor mais pronunciadas e perdas de brilho nas superfícies polidas. As alterações cromáticas, caracterizadas pelo amarelecimento das superfícies e estruturas internas de todos os calcários, resultam da mobilização do ferro neles existente e da sua dispersão através das estruturas das rochas. O “Azul Ataija”, calcário que apresentou a variação de cor mais pronunciada, é também aquele que possui o maior teor em ferro.

Finalmente, a análise de alguns procedimentos de ensaio estabelecidos em normas europeias, evidenciou a necessidade de alguma revisão metodológica, com o objetivo de melhorar os resultados obtidos e, por conseguinte, também a avaliação dos calcários e a sua recomendação para os diversos tipos de aplicações.



## Perspetivas futuras

Da apreciação que foi feita no final deste estudo, concluiu-se que o tema da influência do nevoeiro salino nas rochas carbonatadas requer trabalhos completos e também alargados a outros tipo de calcários. Alguns dos aspetos que se gostaria de desenvolver no futuro, são os seguintes:

- Repetir o ensaio de nevoeiro salino, com as modificações propostas em 5.8.3, para os calcários estudados, com o objetivo de comparar os resultados entre ambos os métodos: o normativo e o sugerido e concluir sobre a eficácia das alterações propostas.
- Estudar mais calcários portugueses, utilizando o método de nevoeiro salino sugerido em 5.8.3, caso se venha a concluir que reproduz melhor o aerossol salino presente na atmosfera, privilegiando os calcários, quer mais comercializados, quer com reservas maiores.
- Testar a eficácia de propriedades diferentes das utilizadas, na avaliação dos resultados do ensaio de nevoeiro salino, em particular propriedades não destrutivas. O módulo de elasticidade dinâmico (EN 14146), ou a velocidade de propagação do som (EN 14579), serão uma hipótese a ponderar.
- Incluir, nos estudos futuros, uma análise mais detalhada da rede de poros de cada calcário através, por exemplo, de porosimetria de mercúrio.





## Bibliografia

### Referências bibliográficas

- Alves, C., Figueiredo, C., Maurício, A., & Aires-Barros, L. (2013). Susceptibility of Limestone Petrographic Features to Salt Weathering: A Scanning Electron Microscopy Study. (M. S. AMERICA, Ed.) *Microscopy and Microanalysis*, pp. 1-10.
- Aly, N., Gomez-Heras, M., Hamed, A., Buergo, M. A., & Soliman, F. (2014). Porosity changes after different temperature regimes for a salt weathering simulation test on Mokkattam limestone (Egypt). *3rd International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures*, (pp. 247-257).
- Aly, N., Gomez-Heras, M., Hamed, A., Buergo, M. Á., & Soliman, F. (2015). The influence of temperature in a capillary imbibition salt weathering simulation test on Mokattam limestone. *Materiales de Construcción*, 65(317).
- Angeli, M., Bigas, J.-P., Menéndez, B., Hébert, R., & David, C. (2008). Influence of capillary properties and evaporation on salt weathering of sedimentary rocks. (h. (France), Ed.)
- Angeli, M., Hébert, R., Menéndez, B., David, C., & Bigas, J.-P. (2010). Influence of temperature and salt concentration on the salt weathering of a sedimentary stone with sodium sulphate. *Engineering Geology*, 115, pp. 193-199.
- Azerêdo, A. C. (2007). Formalização da litostratigrafia do Jurássico Inferior e Médio do Maciço Calcário Estremenho (Bacia Lusitânica). *Comunicações Geológicas. tomo 94. INETI*, pp. 29-51.

- Ballester, M. A., & González, R. F. (2001). Basic methodology for the assessment and selection of water-repellent treatments applied on carbonatic materials. *Progress in Organic Coatings*, 43, pp. 258–266.
- Beck, K., & Al-Mukhtar, M. (2010). Evaluation of the compatibility of building limestones from salt crystallization experiments. *Geological Society, London, Special Publications*, 333, pp. 111-118.
- Bell, F. G. (1993). Durability of carbonate rock as building stone with comments on its preservation. *Environmental Geology*(21), pp. 187-200.
- Benavente, D., Cueto, N., Martínez-Martínez, J., Cura, M. A., & Cañaveras, J. C. (2007). The influence of petrophysical properties on the salt weathering of porous building rocks. *Environmental Geology*, 52(2), pp. 215-224.
- Benavente, D., Cura, M. A., & Ordóñez, S. (2003). Salt influence on evaporation from porous building rocks. *Construction and Building Materials*, 17, pp. 113–122.
- Benavente, D., Cura, M. A., Bernabéu, A., & Ordóñez, S. (2001). Quantification of salt weathering in porous stones using an experimental continuous partial immersion method. *Engineering Geology*, 59, pp. 313-325.
- Benavente, D., Cura, M. A., Fort, R., & Ordóñez, S. (2004). Durability estimation of porous building stones from pore structure and strength. *Engineering Geology*(74), pp. 113-127.
- Birginie, J. M., Auger, F., & Brea, T. R. (2000). Changes in the permeability to gas of calcareous stone core samples exposed to salt spray. *Materials and Structures/Matériaux et Constructions*, 33, pp. 331-337.
- Birginie, J. M., Rivas, T., Prieto, B., & Auger, F. (2000). Comparación de la resistencia a la alteración por niebla salina de dos calizas utilizadas en la construcción mediante métodos ponderales, métodos acústicos y tratamiento de imágenes. *Materiales de Construcción*, 50.
- Birginie, J.-M. (2000). Sea water absorption, permeability evolution and deterioration assessment of building stones subjected to marine exposure. *9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, (pp. 313-321).

- Birginiea, J. M., & Rivas, T. (2005). Use of a laser camera scanner to highlight the surface degradation of stone samples subjected to artificial weathering. *Building and Environment*, *40*, pp. 755–764.
- Buj, O., & Gisbert, J. (2010). Influence of pore morphology on the durability of sedimentary building stones from Aragon (Spain) subjected to standard salt decay tests. *Environmental Earth Sciences*, *61*, pp. 1327–1336.
- Buj, O., Gisbert, J., McKinley, J. M., & Smith, B. (2011). Spatial characterization of salt accumulation in early stage limestone weathering using probe permeametry. *Earth Surface Processes and Landforms*, *36*, pp. 383–394.
- Buj, O., López, P. L., & Gisbert, J. (2010). Caracterización del sistema poroso y de su influencia en el deterioro por cristalización de sales en calizas y dolomías explotadas en Abanto (Zaragoza, España). *Materiales de Construcción*, *60*, pp. 99-114.
- Calia, A., & Mecchi, A. M. (2000). Stone materials used in the masonry of ortigia (Siracusa, Sicily). *9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, (pp. 195-203). Venice (Italy).
- Campbell, A., Hamilton, A., Stratford, T., Modestou, S., & Ioannou, I. (2011). Calcium Hydroxide Nanoparticles for Limestone Conservation: Imbibition and Adhesion. *Proceedings of Symposium 2011 – Adhesives and Consolidants for Conservation*. Ottawa, Canada.
- Cardell, C., Benavente, D., & Rodríguez-Gordillo, J. (2008). Weathering of limestone building material by mixed sulfate solutions. Characterization of stone microstructure, reaction products and decay forms. *Materials Characterization*, *59*, pp. 1371-1385.
- Cardell, C., Delalieux, F., Roumpopoulos, K., Moropoulou, A., Auger, F., & Grieken, R. V. (2003). Salt-induced decay in calcareous stone monuments and buildings in a marine environment in SW France. *Construction and Building Materials*, *17*, pp. 165–179.
- Cardell, C., Rivas, T., Mosquera, M. J., Birginie, J. M., Moropoulou, A., Prieto, B., . . . Grieken, R. V. (2003). Patterns of damage in igneous and sedimentary rocks under conditions simulating sea-salt weathering. *Earth Surface Processes and Landforms*(28), pp. 1-14.
- Carretero, M. I., Bernabé, J. M., & Galán, E. (2006). Application of sepiolite–cellulose pastes for the removal of salts from building stones. *Applied Clay Science*, *33*, pp. 43-51.
- Cartwright, T. A., Bourguignon, E., Bromblet, P., Cassar, J. A., Charola, A. E., De Witte, E., . . . Young, D. (2008). *Monuments and sites XV-ICOMOS-ISCS: Illustrated glossary on stone*

- deterioration patterns*. (V. Vergès-Belmin, Ed., & J.-M. V.-B. P. Bromblet, Trad.) Champigny, Marne, France.
- Carvalho, J. M. (2013). *Tectónica e caracterização da fraturação do Maciço Calcário Estremenho, Bacia Lusitaniana. Contributo para a prospeção de rochas ornamentais e ordenamento da atividade extrativa*. (F. d. Lisboa, Ed.) Lisboa.
- Carvalho, J. M., Carvalho, C. I., Lisboa, J. V., Moura, A. C., & Leite, M. M. (2013). Portuguese ornamental stones. *GEONOVAS*(26), pp. 15-22.
- Cultrone, G., Russo, L. G., Calabrò, C., Urosevic, M., & Pezzino, A. (2008). Influence of pore system characteristics on limestone vulnerability: a laboratory study. *Environmental Geology*, 54, pp. 1271–1281.
- D'Armada, P., & Hirst, E. (2012). Nano-Lime for Consolidation of Plaster and Stone. *Journal of Architectural Conservation*, pp. 63-80.
- Daveau, S., Alcoforado, M. J., Ataíde, M. F., Alegria, M. F., Alexandre, F., Carvalho, L., . . . Sirgado, C. (1985). *Mapas Climáticos de Portugal - Nevoeiro e Nebulosidade e Contrastes Térmicos*. (C. d. Lisboa, Ed.) Lisboa: Instituto Geográfico e Cadastral.
- Doehne, E. (2002). Salt Weathering: A Selective Review. (G. S. (U.S.A.), Ed.) *Natural Stone, Weathering Phenomena, Conservation Strategies and Case Studies*, 205, pp. 51-64.
- Ferreira, M. J. (1999). O Litoral Português: Contributos para uma "Geografia das Regiões Litorais". In L. Colibri e Associação Portuguesa de Geógrafos (Ed.), *III Congresso da Geografia Portuguesa*, (pp. 57-66). Porto.
- Folk, R. L. (1980). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin, Texas, USA: Hemphill Publishing Company.
- García, D. B. (2002). Tesis de Doctorado - Modelización y estimación de la durabilidad de materiales pétreos porosos frente a la cristalización de sales. Alicante, Espana.
- Goudie, A. S. (1999). Experimental salt weathering of limestones in relation to rock properties. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24, pp. 715-724.
- Howard, P., & Pinder, D. (2003). Cultural heritage and sustainability in the coastal zone: experiences in south west England. *Journal of Cultural Heritage*, 4, pp. 57-68.
- Hunt, B. (2003). Building stones explained 1 - Introduction & Limestone. 19, pp. 151-156.

- Kramar, S., Urosevic, M., Pristacz, H., & Mirtic, B. (2010). Assessment of limestone deterioration due to salt formation by micro-Raman spectroscopy: application to architectural heritage. *Journal of Raman Spectroscopy*, 41, pp. 1441–1448.
- Kullberg, J. C., Rocha, R. B., Soares, A. F., Rey, J., Terrinha, P., Azerêdo, A. C., . . . Nogueira, C. R. (2013). A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. In *Geologia de Portugal. Volume II. Geologia Meso-cenozóica de Portugal* (pp. 195-348). Lisboa: Escolar Editora.
- Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I. (17 de 08 de 2015). *Tipos de Rochas*. Obtido de Rochas Ornamentais Portuguesas: <http://rop.Ineg.pt/rop/>
- Leal, N., Simão, J., Gartmann, C., & Silva, Z. (2011). Salt-fog experiments on consolidant and water-repellent treated dimension stones. *Proceedings of Salt Weathering on Buildings and Stone Sculptures 2011. University of Cyprus*.
- Lewis, E. R., & Schwartz, S. E. (2004). *Salt Sea Aerosol Production - Mechanisms, Methods, Measurements, and Models*. American Geophysical Union.
- Louis, M., Cura, M. A., Spairani, Y., & Blas, D. d. (2001). Los Palacios Civiles de la calle Gravina de Alicante: las piedras utilizadas en su construcción y su alteración por sales. *Materiales de Construcción*, 51.
- Lubelli, B., & van Hees, R. P. (2007). Effectiveness of crystallization inhibitors in preventing salt damage in building materials. *Journal of Culture Heritage*, 8, pp. 223-234.
- Luque, A., Cultrone, G., Sebastián, E., & Cazalla, O. (2008). Evaluación de la eficacia de tratamientos en el incremento de la durabilidad de una calcarenita bioclástica (Granada, España). *Materiales de Construcción*, 58, pp. 115-128.
- Manuppella, G., Antunes, M. T., Almeida, C. A., Azerêdo, A. C., Barbosa, B., Cardoso, J. L., . . . Terrinha, P. (2000). *Notícia Explicativa da Folha 27-A - Vila Nova de Ourem*. Lisboa: Departamento de Geologia. Instituto Geológico e Mineiro.
- Manuppella, G., Barbosa, B., Azerêdo, A. C., Carvalho, J., Crispim, J., Machado, S., & Sampaio, J. (2006). *Notícia Explicativa da Folha 27-C - Torres Novas*. Lisboa: Departamento de Geologia. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação.
- Manuppella, G., Barbosa, B., Machado, S., Carvalho, J., Bartolomeu, A., Azerêdo, A., . . . Baptista, R. (1998). Carta Geológica de Portugal 1:50.000. Folha 27-A - Vila Nova de Ourém - 2ª Edição. Instituto Geológico e Mineiro. Departamento de Geologia.

- Manuppella, G., Barbosa, B., Machado, S., Carvalho, J., Bartolomeu, A., Ribeiro, A. J., . . . Baptista, R. (1999). Carta Geológica de Portugal 1:50.000. Folha 27-C - Torres Novas - 2ª Edição. Instituto Geológico e Mineiro. Departamento de Geologia.
- Manuppella, G., Moreira, J. C., Costa, J. R., & Crispim, J. A. (1985). Calcários e Dolomitos do Maciço Calcário Estremenho. (D. G. Minas, Ed.) *Estudos, Notas e Trabalhos, Tomo 27*, pp. 3-48.
- Maravelaki-Kalaitzaki, P., Kallithrakas-Kontos, N., Agioutantis, Z., Maurigiannakis, S., & Korakaki, D. (2008). A comparative study of porous limestones treated with silicon-based strengthening agents. *Progress in Organic Coatings, 62*, pp. 49-60.
- Molina, E., Cultrone, G., Sebastián, E., Alonso, F. J., Carrizo, L., Gisbert, J., & Buj, O. (2011). The pore system of sedimentary rocks as a key factor in the durability of building materials. *Engineering Geology, 118*, pp. 110-121.
- Moropoulou, A., & Kefalonitou, S. (2002). Efficiency and counterffects of cleaning treatment on limestone surfaces - investigation on the Corfu Venetian Fortress. *Building and Environment, 37*, pp. 1181-1191.
- Moropoulou, A., Haralampopoulos, G., Tsiourva, T., Auger, F., & Birginie, J. M. (2003). Artificial weathering and non-destructive tests for the performance evaluation of consolidation materials applied on porous stones. *Materials and Structures, 36*, pp. 210-217.
- Nicholson, D. T. (2001). Pore properties as indicators of breakdown mechanisms in experimentally weathered limestones. *Earth Surface Processes and Landforms, 26*, pp. 819-838.
- Nicholson, D. T. (2002). Quantification of rock breakdown for experimental weathering studies. *Understanding and managing stone decay*.
- Oucha, H., Moussa, A. B., & Simão, J. (June de 2013). The salt crystallization weathering of building rocks of the archaeological sites calcarenites of north-western morocco (Lixus, Banasa and Thamusida). *European Scientific Journal, 9*, pp. 282-290.
- Pinto, A. C., Alho, A. d., Moura, A. A., Henriques, A. M., Carvalho, C. I., Ramos, J. M., . . . Mestre, V. (2006). *Manual da Pedra Natural para a Arquitectura*. Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Energia.

- Pires, V., Rosa, L. G., Amaral, P. M., & Simão, J. A. (2014). Salt fog implications on stone cladding requirements: the case study of two Portuguese limestones. V *Global Stone Congress*. Antalya (Turkey).
- Quartau, R. (1998). Calcários Ornamentais do Maciço Calcário Estremenho - A variedade Semi-Rijo de Cabeça Veada. *Estudos, Notas e Trabalhos, Instituto Geológico e Mineiro, tomo 40*, pp. 81-88.
- Rao, S. M., Brinker, C. J., & Ross, T. J. (1996). Environmental Microscopy in Stone Conservation. *Scanning, 18*, pp. 508-514.
- Rives, V., & García-Talegón, J. (2006). Decay and Conservation of Building stones on Cultural Heritage Monuments. *Materials Science Forum, 514-516*, pp. 1689-1694.
- Rodriguez-Navarro, C., Linares-Fernandez, L., Doehne, E., & Sebastian, E. (2002). Effects of ferrocyanide ions on NaCl crystallization in porous stone. *Journal of Crystal Growth, 243*, pp. 503-516.
- Ross, K. D., & Butlin, R. N. (1989). *Durability tests for building stone*. (B. R. Establishment, Ed.) United Kingdom: Garston.
- Rothert, E., Eggers, T., Cassar, J., Ruedrich, J., Fitzner, B., & Siegesmund, S. (2007). Stone properties and weathering induced by salt crystallization of Maltese Globigerina Limestone. *Geological Society, London, Special Publications, 271*, pp. 189–198.
- Ruffolo, S. A., La Russa, M. F., Aloise, P., Belfiore, C. M., Macchia, A., Pezzino, A., & Crisci, G. M. (2014). Efficacy of nanolime in restoration procedures of salt weathered limestone rock. *Applied Physics A - Materials Science & Processing, 114*, pp. 753-758.
- Ruiz-Agudo, E., Lubelli, B., Sawdy, A., van Hees, R., Price, C., & Rodriguez-Navarro, C. (2011). An integrated methodology for salt damage assessment and remediation: the case of San Jerónimo Monastery (Granada, Spain). *Environmental Earth Sciences, 63*, pp. 1475-1486.
- Ruiz-Agudo, E., Mees, F., Jacobs, P., & Rodriguez-Navarro, C. (2007). The role of saline solution properties on porous limestone salt weathering by magnesium and sodium sulfates. *Environmental Geology, 52*, pp. 269–281.
- Salvadori, B., Pinna, D., & Porcina, S. (2014). Performance evaluation of two protective treatments on salt-laden limestones and marble after natural and artificial weathering. *Environmental Science and Pollution Research, 21*, pp. 1884–1896.

- Sassoni, E., Franzoni, E., Graziani, G., & Sagripanti, F. (2014). Limestone resistance to sodium sulfate degradation after consolidation by hydroxyapatite and TEOS. *3rd International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures*, (pp. 335-345).
- Selwitz, C., & Doehne, E. (2002). The evaluation of crystallization modifiers for controlling salt damage to limestone. *Journal of Cultural Heritage*, 3, pp. 205–216.
- Silva, Z. S., & Simão, J. A. (2009). The role of salt fog on alteration of dimension stone. *Construction and Building Materials*, 23, pp. 3321–3327.
- Smith, B. J., Srinivasan, S., Gomez-Heras, M., Basheer, P. A., & Viles, H. A. (2008). Experimental studies of near-surface temperature cycling and surface wetting of stone and its implications for salt weathering. *International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures, Copenhagen*, (pp. 1-13).
- Steiger, M. (2005). Crystal growth in porous materials—I: The crystallization pressure of large crystals. (282), pp. 455-469.
- Steiger, M., & Charola, A. E. (2011). Weathering and Deterioration. In S. Siegesmund, & R. Snethlage (Eds.), *Stone in Architecture - Properties, Durability* (4th ed., pp. 227-316). Springer.
- Tingstad, A. (2008). Simulation of salt weathering in a closely replicated coastal environment. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 90(2), pp. 165-171.
- Urosevic, M., Sebastián, E., & Cardell, C. (2013). An experimental study on the influence of surface finishing on the weathering of a building low-porous limestone in coastal environments. *Engineering Geology*(154), pp. 131-141.
- Urosevic, M., Sebastián-Pardo, E., & Cardell, C. (2010). Rough and polished travertine building stone decay evaluated by a marine aerosol ageing test. *Construction and Building Materials*(24), pp. 1438–1448.
- Villegas-Sánchez, R., & Arroyo, F. (2013). The cathedral of Jerez De La Frontera (Cádiz, Spain): Stone degradation and conservation. *Journal of Cultural Heritage*, 14S, pp. 113-116.
- Walter, L. M. (1986). Relative Efficiency of Carbonate Dissolution and Precipitation During Diagenesis: A Progress Report on the Role of Solution Chemistry. (T. S. Mineralogists, Ed.) *Roles of Organic Matter in Sediment Diagenesis*.
- Yang, F., Zhang, B., Liu, Y., Wei, G., Zhang, H., Chen, W., & Xu, Z. (2011). Biomimic conservation of weathered calcareous stones by apatite. *New Journal of Chemistry*, 35, pp. 887–892.

- Yu, S., & Oguchi, C. T. (2009). Complex relationships between salt type and rock properties in a durability experiment of multiple salt–rock treatments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34, pp. 2096–2110.
- Yu, S., & Oguchi, C. T. (2010). Role of pore size distribution in salt uptake, damage, and predicting salt susceptibility of eight types of Japanese building stones. *Engineering Geology*(115), pp. 226-236.
- Zbyszewski, G., & Almeida, F. M. (1960). *Notícia Explicativa da Folha 26-D - Caldas da Rainha. Carta Geológica de Portugal 1:50.000*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.
- Zbyszewski, G., & Matos, R. (1959). Carta Geológica de Portugal 1:50.000. Folha 26-D - Caldas da Rainha. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos. Serviços Geológicos.
- Zbyszewski, G., França, J. C., & Ferreira, O. (1961). Carta Geológica de Portugal 1:50.000. Folha 26-B - Alcobaça. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos. Serviços Geológicos.
- Zeza, F., & Macrì, F. (1995). Marine aerosol and stone decay. *The Science of the Total Environment*(167), pp. 123-143.
- Zornoza-Indart, A., López-Arce, P., Simão, J., Leal, N., & Zoghliami, K. (2014). Teste de envelhecimento acelerado com nevoeiro salino, envolvendo ventilação em rochas calcareníticas de. *Comunicações Geológicas, Especial III*, pp. 1181-1185.

### Referências normativas

- EN 771-6:2011 — Especificações para unidades de alvenaria. Parte 6: Unidades de alvenaria em pedra natural. Comité Europeu para a Normalização (CEN).
- EN 1341:2012 — Lajes de pedra natural para pavimentos exteriores – Requisitos e métodos de ensaio. Comité Europeu para a Normalização (CEN).
- EN 1342:2012 — Cubos e paralelepípedos de pedra natural para pavimentos exteriores – Requisitos e métodos de ensaio. Comité Europeu para a Normalização (CEN).
- EN 1343:2012 — Guias de pedra natural para pavimentos exteriores – Requisitos e métodos de ensaio. Comité Europeu para a Normalização (CEN).
- EN 1469:2015 — Placas para revestimento de paredes – Requisitos. Comité Europeu para a Normalização (CEN).

- EN 1925:1999 — Determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade. Comité Europeu para a Normalização (CEN).
- EN 1926:2006 — Determinação da resistência à compressão uniaxial. Comité Europeu para a Normalização (CEN).
- EN 1936:2006 — Determinação da densidade real e da densidade aparente e das porosidades total e aberta. Comité Europeu para a Normalização (CEN).
- EN 12057:2015 — Ladrilhos modulares – Requisitos. Comité Europeu para a Normalização (CEN).
- EN 12058:2015 — Placas para pavimentos e degraus – Requisitos. Comité Europeu para a Normalização (CEN).
- EN 12059:2008+A1:2011 — Trabalhos de pedra de cantaria – Requisitos. Comité Europeu para a Normalização (CEN).
- EN 12326-1:2014 — Ardósias e outras rochas cliváveis para coberturas descontínuas e revestimentos exteriores de paredes. Parte 1: Especificações para ardósias e ardósias carbonatadas. Comité Europeu para a Normalização (CEN).
- EN 12370:1999 — Determinação da resistência à cristalização de sais. Comité Europeu para a Normalização (CEN).
- EN 12371:2010 — Determinação da resistência ao gelo. Comité Europeu para a Normalização (CEN).
- EN 12372:2006 — Determinação da resistência à flexão sob carga centrada. Comité Europeu para a Normalização (CEN).
- EN 12407:2007 — Estudo petrográfico. Comité Europeu para a Normalização (CEN).
- EN 13364:2001 — Determinação da carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem. Comité Europeu para a Normalização (CEN).
- EN 13755:2008 — Determinação da absorção de água à pressão atmosférica. Comité Europeu para a Normalização (CEN).
- EN 14066:2003 — Determinação da resistência ao envelhecimento por choque térmico. Comité Europeu para a Normalização (CEN).

- EN 14147:2003 — Determinação da resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino. Comité Europeu para a Normalização (CEN).
- EN 14157:2004 — Determinação da resistência à abrasão. Comité Europeu para a Normalização (CEN).
- EN 14158:2004 — Determinação da energia de rutura. Comité Europeu para a Normalização (CEN).
- EN ISO 4288:1996 — Geometrical Product Specifications (GPS) -- Surface texture: Profile method -- Rules and procedures for the assessment of surface texture. Organização Internacional para a Normalização (ISO).