



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Capela do Senhor da Pedra: Diagnóstico e Proposta de Tratamento da Pedra

Joana Mafalda Oliveira Bré



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Capela do Senhor da Pedra: Diagnóstico e Proposta de Tratamento da Pedra

Joana Mafalda Oliveira Bré

Nº 1010928

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente, realizada sob a orientação do Prof. Doutor Arlindo Jorge Sá de Begonha, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da FEUP e da Eng.ª Sílvia Vieira Pinto Alves da Costa Spínola, Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.

Júri

Presidente

Doutor José Augusto de Abreu Peixoto Fernandes
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor Arlindo Jorge de Sá Begonha
Professor Auxiliar, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutora Madalena Maria Matos Silva Teles
Professora Associada, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestre Sílvia Vieira Pinto Alves da Costa Spínola
Professora Adjunta, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Mestre António Vega Y de La Fuente
Professor Ajunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Aos meus pais.

Agradecimentos

Expresso aqui o meu reconhecimento a todos aqueles que, de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Pela orientação recebida, pela simpatia, disponibilidade e pelo apoio concedido durante a preparação e elaboração do presente trabalho, desejo demonstrar o meu profundo agradecimento ao Professor Doutor Arlindo Begonha. Os seus conselhos, ensinamentos, correcções e visão particular do tema abordado contribuíram firmemente para atingir a prossecução dos objectivos propostos.

Pela co-orientação recebida, pela simpatia, disponibilidade, apoio e ainda pela ajuda que sempre demonstrou durante a realização deste trabalho os meus sinceros agradecimentos à Engenheira Sílvia Spínola.

À Dr.^a Manuela Carvalho e à Engenheira Sónia Pizarro, pela simpatia e pelo apoio prestado na realização deste trabalho.

Ao Doutor Hélder Chaminé, pela disponibilidade e conhecimentos transmitidos.

À Dra. Daniela Silva do Centro de Materiais da Universidade do Porto pelo apoio durante as observações das amostras por microscopia electrónica.

Ao Dr. António Azevedo do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho pela execução das difracções por raios X.

Ao Senhor Belmiro Xavier, técnico da firma Augusto de Oliveira Ferreira e companhia Lda. pela colaboração na realização do orçamento da proposta de tratamento.

Também aqui apresento os meus sinceros agradecimentos, a todos aqueles, que através da sua maior ou menor contribuição, tornaram possível a concretização deste trabalho tão importante na minha vida.

Ao Márcio um especial agradecimento por todo o incentivo, apoio, ajuda e compreensão que sempre me demonstrou durante toda a realização deste trabalho.

E, por fim, uma palavra de gratidão para com os meus pais, que sempre me manifestaram o seu carinho, amizade, estímulo e compreensão à qual devo o meu ânimo e desejo de concretizar este trabalho. Ainda pelo apoio financeiro para a realização da maior parte dos ensaios, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Palavras-chave

Granito, Deterioração, Minerais de sais solúveis, Diagnóstico, Proposta de intervenção.

Resumo

Esta dissertação insere-se no domínio da patologia da pedra, nomeadamente na patologia do Granito de Lavadores empregue na Capela do Senhor da Pedra.

Inicialmente, fez-se a recolha bibliográfica sobre o monumento, a geologia da pedra utilizada na construção e os tipos de deteriorações existentes em vários monumentos de granito.

Efectuou-se a identificação dos tipos de deteriorações existentes, designadamente desagregação granular, alvéolos, eflorescências, colonização biológica e fissuras, tendo-se procedido à recolha de amostras das mesmas para posterior realização de testes de diagnóstico.

Estudou-se o meio poroso do Granito de Lavadores com recurso a diversas técnicas de ensaio de diagnóstico, nomeadamente, aos ensaios de determinação da densidade aparente, porosidade livre às quarenta e oito horas, porometria com o porosímetro de mercúrio, absorção de água por capilaridade e evaporação.

Executou-se o mapeamento das deteriorações em cinco zonas distintas do monumento.

Os minerais de sais solúveis são os principais agentes responsáveis pelos mecanismos de deterioração do granito da capela, tendo sido identificados através das técnicas de microscopia electrónica de varrimento e da difracção de raios X.

Após a interpretação de todos os resultados obtidos, elaborou-se uma proposta de intervenção devidamente fundamentada a realizar no referido monumento, atendendo ao tipo de deterioração existente, tipo de rocha e resultados obtidos dos ensaios.

Finalmente, apresenta-se um estudo económico relativo aos ensaios realizados e aos tipos de tratamentos a utilizar na Capela do Senhor da Pedra de acordo com a proposta de intervenção apresentada.

Keywords

Granite, Deterioration, Minerals of soluble salts, Diagnosis, Treatment proposal.

Abstract

This work concerns the pathology of the stone, namely the deterioration of the Lavadores granite employed in the Capela do Senhor da Pedra.

Initially, it was gathered the bibliography about the monument, the geology of the rock used in the construction and the types of deteriorations that affect most of the granite monuments.

The identification of the deteriorations, namely granular disintegration, alveoli, efflorescence, biological colonization and fissures has been carried out as well as sampling for subsequent diagnosis tests.

The porous network of the Lavadores granite was studied making use of diverse diagnosis techniques, namely the determination of bulk density, free porosity, mercury porosimetry, water absorption by capillarity and evaporation.

The mapping of the deteriorations was executed in five distinct areas of the monument.

The minerals of soluble salts are the most important deterioration agent responsible for stone decay in the granite of the chapel, having been identified by the scanning electron microscopy and the X-ray diffraction techniques.

After the interpretation of the results, it was elaborated an intervention proposal to be carry out in the monument, attending to the different deteriorations, type of rock and test results.

Finally, it is presented an economic study concerning the tests carried out and the types of treatments to be employed in the Capela do Senhor da Pedra, according to the intervention proposal.

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO GERAL E OBJECTIVOS	1
2.	LOCALIZAÇÃO, HISTÓRIA E ARQUITECTURA DA CAPELA DO SENHOR DA PEDRA.....	5
3.	INTERVENÇÕES REALIZADAS	13
4.	ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO	19
5.	AMOSTRAGEM	25
6.	TÉCNICAS EXPERIMENTAIS UTILIZADAS	31
6.1.	Determinação da porosidade livre às 48 horas e da densidade aparente	33
6.2.	Determinação da porometria com o porosímetro de mercúrio	34
6.3.	Determinação da absorção de água por capilaridade	35
6.4.	Determinação da evaporação.....	36
6.5.	Difracção de raios X (DRX)	37
6.6.	Microscopia electrónica de varrimento (MEV-EDS)	38
7.	ESTUDO DO MEIO POROSO DO GRANITO DE LAVADORES APLICADO NA CAPELA DO SENHOR DA PEDRA.....	39
7.1.	Densidade aparente (d)	41
7.2.	Porosidade livre às 48 horas (N_{48})	42
7.3.	Porometria com o porosímetro de mercúrio	43
7.4.	Absorção de água por capilaridade	49
7.5.	Evaporação	55
8.	CARACTERIZAÇÃO MACROSCÓPICA DAS DETERIORAÇÕES DA PEDRA NA CAPELA DO SENHOR DA PEDRA.....	61
8.1.	Caracterização macroscópica e localização das deteriorações da Capela do Senhor da Pedra	63
8.1.1.	Exterior da capela.....	64
8.1.1.1.	Desagregação granular e alvéolos	64
8.1.1.2.	Fissuração	68
8.1.1.3.	Colonização biológica.....	69
8.1.2.	Interior da capela	70
8.1.2.1.	Desagregação granular	70
8.1.2.2.	Eflorescências	71

8.2. Cartografia e localização das deteriorações.....	72
9. ESTUDO MINERALÓGICO DAS DETERIORAÇÕES DA PEDRA.....	79
9.1. Desagregação granular no exterior da Capela do Senhor da Pedra.....	83
9.2. Desagregação granular existente no interior da Capela do Senhor da Pedra.....	89
9.3. Eflorescências de tipo fluffy existentes no interior da Capela do Senhor da Pedra.....	91
10. ANÁLISE DE RESULTADOS.....	99
11. PROPOSTA DE TRATAMENTO DA PEDRA	105
11.1. Limpeza da pedra.....	107
11.2. Limpeza e preenchimento das juntas.....	107
11.3. Eliminação da colonização biológica	108
11.4. Consolidação das áreas mais afectadas por desagregação granular	108
11.5. Aplicação de um produto hidrófugo.....	109
12. ESTUDO ECONÓMICO.....	111
13. CONCLUSÕES	117
14. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
ANEXOS	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Vista aérea da Capela do Senhor da Pedra (Google Earth, 2008).	7
Figura 2 – Indicação da possível data de edificação da Capela do Senhor da Pedra.	7
Figura 3 – Capela do Senhor da Pedra (Setembro, 2007).	9
Figura 4 – Entrada principal da Capela do Senhor da Pedra (Abril, 2008).	10
Figura 5 – Rosácea existente na Capela do Senhor da Pedra (Setembro, 2007).	11
Figura 6 – Entrada lateral da capela (Setembro, 2007).	11
Figura 7 – Capela do Senhor da Pedra nos inícios do século XX (Ponte & Ponte, 2002).	15
Figura 8 – Capela do Senhor da Pedra nos anos vinte do século XX (Ponte & Ponte, 2002).	16
Figura 9 – Capela do Senhor da Pedra – c. 1940-50 (Guedes, 2000).	16
Figura 10 – Utilização de argamassa de cimento para o preenchimento de juntas e fendas (Maio, 2007).	17
Figura 11 – Utilização de argamassas de cimento na substituição do granito (Setembro, 2007).	17
Figura 12 – Extracto da Carta Geológica de Portugal (1/50 000) – 13-A Espinho (Serviços Geológicos de Portugal, 1962).	21
Figura 13 – Extracto do Mapa Geológico da Faixa de Espinho – Albergaria-a-Velha (Chaminé, 2000).	23
Figura 14 – Pilastra Sudoeste após a extracção do tarolo CSP 13 (Setembro 2007).	30
Figura 15 – Provetes cilíndricos imersos em água destilada no ensaio de porosidade livre às 48 horas (Outubro, 2007).	34
Figura 16 – Provetes cilíndricos envolvidos por uma manga plástica no ensaio de evaporação.	37
Figura 17 – Distribuição dos diâmetros de acesso às fissuras na amostra CSP 11.0.	44
Figura 18 – Distribuição dos diâmetros de acesso às fissuras na amostra CSP 11.4.	45
Figura 19 – Distribuição dos diâmetros de acesso às fissuras na amostra CSP 14.	45
Figura 20 – Curvas do ensaio de absorção de água por capilaridade obtidas no provete CSP 11.1.	50
Figura 21 – Curvas do ensaio de absorção de água por capilaridade obtidas no provete CSP 11.2.	51

Figura 22 – Curvas do ensaio de absorção de água por capilaridade obtidas no provete CSP 12.1.	51
Figura 23 – Curvas do ensaio de absorção de água por capilaridade obtidas no provete CSP 12.2.	52
Figura 24 – Curva de evaporação do provete CSP 11.1.	55
Figura 25 – Curva de evaporação do provete CSP 11.2.	56
Figura 26 – Curva de evaporação do provete CSP 12.1.	56
Figura 27 – Curva de evaporação do provete CSP 12.2.	57
Figura 28 – Desagregação granular de intensidade forte (Maio, 2007).	65
Figura 29 – Utilização de argamassas de cimento para substituição do granito (Setembro, 2007).	66
Figura 30 – Desagregação granular de intensidade forte ao lado de juntas preenchidas com argamassas de cimento (Maio 2007).	66
Figura 31 – Esfera de substituição em betão do pináculo Sudoeste da sacristia (Setembro, 2008).	67
Figura 32 – Alvéolos em pedras com desagregação granular de intensidade forte.	68
Figura 33 – Fissuras (Setembro, 2007).	69
Figura 34 – Colonização biológica – líquenes amarelos (Setembro, 2008).	69
Figura 35 – Desagregação granular de intensidade forte – Capela (Maio, 2007).	70
Figura 36 – Desagregação granular de intensidade forte – Sacristia (Maio, 2007).	70
Figura 37 – Eflorescência do tipo fluffy – Interior da capela (Maio, 2007).	71
Figura 38 – Eflorescência do tipo fluffy – Sacristia (Maio, 2007).	71
Figura 39 – Cartografia das deteriorações existentes na fachada Sudoeste da Capela do Senhor da Pedra.	74
Figura 40 – Cartografia das deteriorações existentes na porta lateral da Capela do Senhor da Pedra orientada a Sudeste	75
Figura 41 - Cartografia das deteriorações existentes na porta principal da Capela do Senhor da Pedra orientada a Este.	76
Figura 42 – Cartografia das deteriorações existentes na fachada Oeste da Capela do Senhor da Pedra.	77
Figura 43 – Cartografia das deteriorações existentes na pilastra Noroeste da Capela do Senhor da Pedra.	78
Figura 44 – Cristalização de halite e trona ao longo de fissuras intragranulares. Imagens obtidas por MEV-EDS.	82

Figura 45 – Desagregação granular – Exterior da capela. Imagens e espectro da halite obtidos por MEV-EDS.	84
Figura 46 – Desagregação granular – Exterior da capela. Imagens da halite obtidas por MEV-EDS.	85
Figura 47 – Desagregação granular – Exterior da capela. Imagens da halite obtidas por MEV-EDS.	86
Figura 48 – Desagregação granular – Exterior da capela. Imagens da halite e gesso e espectro do gesso obtidos por MEV-EDS.	87
Figura 49 – Desagregação granular – Exterior da capela. Imagens da halite, gesso e diatomácea obtidas por MEV-EDS.	88
Figura 50 – Desagregação granular – Interior da capela. Imagens e espectro do gesso obtidos por MEV-EDS.	90
Figura 51 – Difractograma de raios X da amostra de eflorescência CSP 7.	92
Figura 52 – Difractograma de raios X da amostra de eflorescência CSP 8.	92
Figura 53 – Eflorescências de tipo fluffy – Interior da capela. Imagens e espectro da trona obtidos por MEV-EDS.	93
Figura 54 – Eflorescência de tipo fluffy – Interior da capela. Imagens da trona e termonatrite obtidas por MEV-EDS.	94
Figura 55 – Eflorescência de tipo fluffy – Interior da capela. Imagens da trona e da termonatrite e espectro de termonatrite obtidos por MEV-EDS.	95
Figura 56 – Eflorescência de tipo fluffy – Interior da capela. Imagens e espectro da halite obtidos por MEV-EDS.	96
Figura 57 – Eflorescência de tipo fluffy – Interior da capela. Imagens da halite e do gesso e espectro do gesso obtidos por MEV-EDS.	97
Figura 58 – Eflorescência de tipo fluffy – Interior da capela. Imagens e espectros de cinzas volantes obtidas por MEV-EDS.	98
Figura A1 – Curvas do ensaio de absorção de água por capilaridade obtidas no provete CSP 11.1.	133
Figura A2 – Curvas do ensaio de absorção de água por capilaridade obtidas no provete CSP 11.2.	134
Figura A3 – Curvas do ensaio de absorção de água por capilaridade obtidas no provete CSP 12.1.	135
Figura A4 – Curvas do ensaio de absorção de água por capilaridade obtidas no provete CSP 12.2.	136

Figura A5 – Curvas de evaporação do provete CSP 11.1.	138
Figura A6 – Curvas de evaporação do provete CSP 11.2.	140
Figura A7 – Curvas de evaporação do provete CSP 12.1.	142
Figura A8 – Curvas de evaporação do provete CSP 12.2.	144

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação e descrição das amostras recolhidas na Capela do Senhor da Pedra em Miramar.	27
Quadro 2 – Proveniência e localização dos provetes cilíndricos em cada um dos tarolos.	30
Quadro 3 – Resultados dos ensaios petrofísicos.	41
Quadro 4 – Resultados do ensaio com o porosímetro de mercúrio.	42
Quadro 5 – Valores mínimos e máximos da densidade aparente (d), obtidos em granitos de monumentos e edifícios de Portugal.	42
Quadro 6 – Valores limite da porosidade livre às 48 horas (N_{48}) obtidos em granitos empregues em monumentos e edifícios de Portugal.	43
Quadro 7 – Valores limite da porosidade total ao mercúrio (N_{Hg}) obtidos em granitos de duas micas empregues em monumentos e edifícios do Norte de Portugal.	47
Quadro 8 – Valores limite da percentagem entre a microporosidade (N_{μ}) e a porosidade total ao mercúrio (N_{Hg}) obtidos em granitos de duas micas empregues em monumentos e edifícios do Norte de Portugal.	48
Quadro 9 – Valores limite dos diâmetros de acesso das principais famílias de poros de granitos de duas micas usados em monumentos e edifícios do Norte de Portugal.	49
Quadro 10 – Valores limite do coeficiente de capilaridade A obtidos em granitos empregues em monumentos e edifícios de Portugal.	53
Quadro 11 – Valores limite do coeficiente de capilaridade B obtidos em granitos de monumentos e edifícios de Portugal.	54
Quadro 12 – Valores limite do fluxo de evaporação q obtidos em granitos empregues em monumentos e edifícios do Norte de Portugal.	57
Quadro 13 – Valores limite da saturação crítica Sc obtidos em granitos empregues em monumentos e edifícios do Norte de Portugal.	58
Quadro 14 – Valores limite do tempo de saturação crítica tSc obtidos em granitos empregues em monumentos e edifícios do Norte de Portugal.	59
Quadro 15 – Minerais de sais solúveis identificados por DRX e por MEV.	81
Quadro 16 – Minerais de sais solúveis identificados por MEV-EDS nas amostras de desagregação granular no exterior da capela.	83

Quadro 17 – Mineral de sal solúvel identificados por MEV-EDS na amostra de desagregação granular no interior da capela.	89
Quadro 18 – Minerais de sais solúveis presentes nas amostras.	91
Quadro 19 – Diversas fases constituintes do trabalho e respectivos custos associados à elaboração do projecto.	114
Quadro 20 – Orçamento para o tratamento das deteriorações presentes na capela do Senhor da Pedra.	115
Quadro A1 – Resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade para o provete CSP 11.1.	133
Quadro A2 – Resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade para o provete CSP 11.2.	134
Quadro A3 – Resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade para o provete CSP 12.1.	135
Quadro A4 – Resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade para o provete CSP 12.2.	136
Quadro A5 – Resultados obtidos no ensaio de evaporação para o provete CSP 11.1.	137
Quadro A6 – Resultados obtidos no ensaio de evaporação para o provete CSP 11.2.	139
Quadro A7 – Resultados obtidos no ensaio de evaporação para o provete CSP 12.1.	141
Quadro A8 – Resultados obtidos no ensaio de evaporação para o provete CSP 12.2.	143

SIMBOLOGIA

A – Aumento de peso por unidade de superfície e unidade da raiz quadrada do tempo, relacionado com o preenchimento da porosidade livre (ensaio de absorção de água por capilaridade) – ($\text{g cm}^{-2} \text{h}^{-1/2}$).

B – Valor da progressão da ascensão da franja capilar por unidade da raiz quadrada do tempo (ensaio de absorção de água por capilaridade) – ($\text{cm h}^{-1/2}$).

d – Densidade aparente.

d_a – Diâmetros de acesso das principais famílias de fissuras.

DRX – Difrração de raios X.

MEV-EDS – Microscopia de electrónica de varrimento equipada com microanálise de raios X.

N_{Hg} – Porosidade total invadida pelo mercúrio líquido no ensaio com o porosímetro de mercúrio – (%).

N_{HgR} – Porosidade retida calculada a partir do ensaio com porosímetro de mercúrio – (%).

N_{HgR}/N_{Hg} – Razão da porosidade retida relativamente à porosidade total ao mercúrio.

N_M – Macroporosidade correspondente aos poros com diâmetro de acesso superiores a 7,5 μm , obtida no ensaio com o porosímetro de mercúrio – (%).

N _{μ} – Microporosidade correspondente aos poros com diâmetro de acesso inferiores a 7,5 μm , obtida no ensaio com o porosímetro de mercúrio – (%).

N _{μ} /N_{Hg} – Razão da microporosidade relativamente à porosidade total ao mercúrio.

N₄₈ – Porosidade livre às 48 horas obtida em ensaio de embebição com água à pressão normal – (%).

P – Pressão de vapor de um líquido no interior de um poro – (atm).

q – Fluxo de evaporação – ($\text{g cm}^{-2} \text{h}^{-1}$).

Sc – Saturação crítica (ensaio de evaporação) – (%).

t(Sc) – Intervalo de tempo necessário para atingir a saturação crítica Sc (ensaio de evaporação) – (h).

V – Volume do provete – (cm^3).

W_o – Peso inicial de um provete – (g).

W_{48} – Peso de um provete após 48 horas de embebição em água – (g).

ΔP – Aumento de pressão – (Pa).

ΔR – Variação do raio – (m).

γ – Tensão superficial – ($N\ m^{-1}$).

θ – Ângulo de contacto – ($^{\circ}$).

1. INTRODUÇÃO GERAL E OBJECTIVOS

1. Introdução geral e objectivos

A pedra natural é um dos materiais de construção mais antigos e é frequentemente olhada como um símbolo de inalterabilidade. No entanto, a pedra não é absolutamente durável e a exposição ao ambiente ao longo dos anos tem vindo a provocar o aparecimento de diversos tipos de degradações.

A velocidade com que esse decaimento ocorre varia de acordo com o tipo de pedra e com as condições ambientais locais e de exposição.

Actualmente, a degradação ambiental salina tem sido alvo de atenção crescente por parte de vários investigadores, sendo considerada presentemente o mais importante mecanismo de deterioração da pedra, dado que a cristalização de sais e os danos a ela associados ocorrem sempre que se verificam ciclos alternados de molhagem e secagem ou de cristalização e de deliquescência, estes últimos por vezes unicamente dependentes de variações da humidade relativa do ar.

Nos dias que correm, a preocupação pela conservação e restauro dos monumentos tem sido notória a nível nacional. Um número crescente de estudos tem vindo a ser realizado em diversos monumentos e edifícios para evitar e/ou minimizar acções nefastas, nomeadamente as condições ambientais adversas a que se encontram sujeitos.

O presente trabalho enquadra-se na Unidade Curricular Dissertação/Projecto/Estágio, do 2º ano, do Curso de Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente do Departamento de Engenharia Geotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), do Instituto Politécnico do Porto e é continuidade do projecto de licenciatura desenvolvido por Joana Bré (2007).

Esta dissertação teve como objectivos o estudo diagnóstico das deteriorações do granito existentes na Capela do Senhor da Pedra e a apresentação de uma proposta de tratamento fundamentada, de modo a eliminar ou minimizar a acção dos agentes de degradação do granito.

A primeira fase do trabalho consistiu na recolha bibliográfica sobre o monumento, a geologia da pedra utilizada na construção do mesmo e os tipos de deteriorações existentes em vários monumentos de granito.

Posteriormente, efectuou-se uma inspecção visual das deteriorações existentes na Capela do Senhor da Pedra com recolha de amostras para a realização de ensaios de diagnóstico. Ainda nesta fase, foi efectuada a cartografia das deteriorações em cinco zonas da capela, em que cada uma das pedras pertencentes às zonas em estudo foi analisada individualmente.

Seguidamente, realizaram-se diversos ensaios para caracterização do meio poroso do Granito de Lavadores utilizado na construção da Capela do Senhor da Pedra e para identificação dos minerais

de sais solúveis presentes nos diferentes tipos de deteriorações da pedra no monumento. Procedeu-se depois à análise e interpretação de todos os resultados obtidos nos diferentes ensaios.

Na quarta fase do trabalho, elaborou-se uma proposta de intervenção no monumento, tendo em atenção o tipo de deterioração existente, o tipo de rocha e os resultados obtidos dos ensaios.

Por fim, é apresentado um estudo económico referente aos ensaios realizados e aos tipos de tratamentos a implementar na Capela do Senhor da Pedra segundo a proposta de intervenção apresentada.

2. LOCALIZAÇÃO, HISTÓRIA E ARQUITECTURA DA CAPELA DO SENHOR DA PEDRA

2. Localização, história e arquitectura da Capela do Senhor da Pedra

A Capela do Senhor da Pedra, situa-se na freguesia de Gulpilhares, no limite com a freguesia de Arcozelo, junto à costa atlântica, em plena Praia de Miramar, sobre um conjunto de rochedos por vezes totalmente circundada por água quando ocorrem as preia-mares (Figura 1).

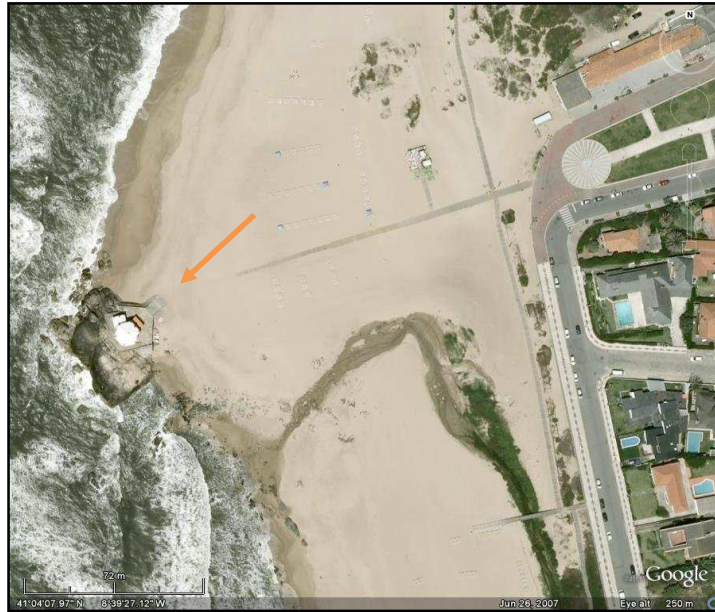


Figura 1 – Vista aérea da Capela do Senhor da Pedra (Google Earth, 2008).

A capela constitui um espaço onde se presta culto ao Senhor da Pedra, manifestação, por excelência, da religiosidade e da espiritualidade das populações do Douro Litoral, visível sobretudo aquando da Romaria do Senhor da Pedra, realizada em Maio ou em Junho.

A capela apresenta uma série de dimensões e expressões arquitectónicas e artísticas.

O início da construção da Capela do Senhor da Pedra não é consensual. Na capela, encontra-se um pequeno painel de azulejos acima da porta lateral (Figura 2), voltada a Sul que indica como ano de edificação o de 1686, não existindo todavia qualquer documento que justifique a adopção desta data.



Figura 2 – Indicação da possível data de edificação da Capela do Senhor da Pedra.

Recorrendo apenas à análise estilística e arquitectónica, a data de 1686 referida anteriormente como a da edificação, apresenta-se um pouco discutível.

Segundo Guedes (2000), citando Pereira (1995), Portugal durante o século XVII conheceu, no plano arquitectónico, uma vaga de construção de pequenas capelas de planta centrada, em reacção ao *dirigismo longitudinal maneirista*, a qual se prolongou pelo século XVIII. Com a Guerra da Restauração (1640-1668), os arquitectos e engenheiros militares conheceram uma grande ascensão em Portugal, tentando impor um *discurso artístico próprio*, retomando a *ideia renascentista de perfeição ligada à figura do círculo*.

No interior da Capela do Senhor da Pedra, existem três retábulos em talha de estilo Rococó, o qual fez escola em Portugal entre os anos de 1750 e 1800, durante os quais, os entalhadores portugueses se deixaram fascinar por esse estilo. De acordo com Guedes (2000), citando Robert Smith (1963), trata-se de um *estilo suave e requintado que deu a toda a sorte religiosa um sabor palaciano*.

Os retábulos em estilo rococó da capela podem ter sido colocados posteriormente aos retábulos primitivos, podendo, inclusive, datar de finais do século XIX, uma vez que, em finais do século XIX e inícios do século XX, a arte decorativa portuguesa respirava um ambiente profundamente revivalista.

Porém, existem alguns documentos que desmentem, de forma inequívoca, que a Capela do Senhor da Pedra tenha sido construída em 1686.

Segundo Costa (1983), no arquivo paroquial de Gulpilhares, existe um documento datado de 12 de Junho de 1794, onde é possível ler o seguinte: *Diz Francisco Caetano de Sousa Sacramento abade de Gulpilhares de Gaya, que ha 40 anos foi erecta pelo abade Jose Barbosa Pereira seu antecessor, a capela do milagroso Senhor da Pedra junto ao mar daquela freguesia com o produto das esmolas dos fieis*. De acordo com o documento citado, a data de construção da capela seria 1754 e não 1686, o que não deixa de estar em perfeita sintonia com o estilo arquitectónico da mesma e ainda com a talha rococó dos retábulos do interior da capela.

Além disso, não se conhece qualquer prova documental que a capela existisse antes da segunda metade do século XVIII. Segundo o Catálogo dos Bispos do Porto, da autoria de D. Rodrigo da Cunha, novamente editado em 1742, na sua relação das paróquias e respectivas igrejas paroquiais e capelas da diocese portugalense, não se faz qualquer referência à Capela do Senhor da Pedra. Não fazia sentido, na época, a existência da capela no século XVII, dada a sua localização, encontrando-se em plena contradição com o que as Constituições Sinodais previam para a construção de novas capelas, as quais não poderiam ser erguidas em lugares ermos e despovoados.

O documento do arquivo paroquial, datado de 1794, indica a data de construção da Capela do Senhor da Pedra, podendo esta não ser a correcta.

Apesar de não ser conhecida qualquer prova documental que indique, de forma irrefutável, a data de edificação da capela, esta, tendo em conta a documentação conhecida e a análise estilística do edifício, pode ser, seguramente datada da segunda metade do século XVIII (Guedes, 2000).

A capela em estudo encontra-se assente sobre um rochedo à beira-mar, situada a uma cota entre os seis e os sete metros acima do nível médio das águas do mar. É enquadrada por escadaria e foi construída em granito (Figura 3).



Figura 3 – Capela do Senhor da Pedra (Setembro, 2007).

A planimetria centrada de forma hexagonal da capela tem suscitado o aparecimento de diversas opiniões, umas mais fantasiosas que outras, acerca das razões da adopção de tal planimetria. É de destacar que a adopção de uma planta centrada na execução de um qualquer edifício visa, sobretudo, atingir objectivos estritamente pragmáticos como a defesa, neste caso o corte, dos ventos ou mesmo evitar a acumulação de areias em redor do edifício e, naturalmente, colmatar a impossibilidade de desenvolvimento espacial do edifício. A localização da própria capela, assente sobre um rochedo, numa praia onde os ventos fortes são provenientes do Norte, parece justificar a planta da capela sob o ponto de vista pragmático.

Cada parede lateral, de alvenaria, rebocada e pintada de branco, mede aproximadamente quatro metros e meio de largura, apresentando, em cada esquina, uma pilastra coroada por um pináculo de formas curvilíneas, finalizando numa esfera.

A cúpula divide-se em seis gomos simples, coberta de telha revestida a argamassa cimento e pintada de cor branca, tendo sido inicialmente constituída por telhas de ardósia.

A entrada principal da capela (Figura 4) encontra-se virada para Nascente, sendo de cantaria de granito simples, com porta de madeira, onde estão gravados símbolos iconográficos da Paixão de Cristo, e ladeada por dois painéis de azulejo. Todo este conjunto encontra-se enquadrado por uma galilé bastante simples, a qual constitui, sem dúvida, um acrescento posterior.



Figura 4 – Entrada principal da Capela do Senhor da Pedra (Abril, 2008).

Por cima da entrada principal, encontra-se, quase encoberta pela galilé, a rosácea (Figura 5) polilobada, debruada a granito.

Existe ainda uma porta lateral (Figura 6), voltada a Sul de cantaria simples, tal como a porta principal.

A construção da sacristia deve ter surgido posteriormente à capela. De planta quadrilátera, apresenta também pilastras coroadas de pináculos localizadas nas esquinas das paredes. Esta sacristia tem acesso exterior e acesso interior através da capela.



Figura 5 – Rosácea existente na Capela do Senhor da Pedra (Setembro, 2007).



Figura 6 – Entrada lateral da capela (Setembro, 2007).

A Capela do Senhor da Pedra encontra-se integralmente emoldurada por uma cornija de friso saliente.

O interior da capela, pavimentado com placas de granito, apresenta um coro alto e, na sua continuidade, um púlpito simples, de madeira. Tanto o púlpito como o coro alto são acessíveis através de uma escadaria espiralada.

No interior da capela destacam-se três retábulos em talha dourada e policroma, imitando o mármore.

Atrás do altar no retábulo central, destaca-se a imagem de Cristo Crucificado, o Senhor da Pedra, ladeado por dois pares de colunas compósitas.

No retábulo da esquerda, existem as imagens de S. José, Nossa Senhora de Fátima e de S. João Baptista. No retábulo da direita, estão as imagens de Santa Catarina, Santa Filomena e o Sagrado Coração de Jesus.

3. INTERVENÇÕES REALIZADAS

3. Intervenções realizadas

Os documentos relativos às diversas intervenções de remodelação efectuadas na Capela do Senhor da Pedra ao longo dos tempos são algo escassos, tendo sido necessário recorrer à iconografia da capela para poder reconstruir, minimamente, as alterações que as intervenções humanas foram fazendo na capela.

Recorrendo a uma representação da Capela do Senhor da Pedra existente num ex-voto, provavelmente datado do último quartel do século XVIII, é possível constatar que a capela, na sua forma primitiva, era exclusivamente constituída pelo seu corpo hexagonal principal, sendo desprovida do corpo da sacristia e da galilé.

Não se conhece com exactidão a data na qual foram acrescentadas a sacristia e a galilé, ao corpo principal da capela, mas é certo, que no início do século XX, ambas já existiam, conforme testemunha a Figura 7.



Figura 7 – Capela do Senhor da Pedra nos inícios do século XX (Ponte & Ponte, 2002).

A galilé então existente na capela, era bastante diferente da actual, sendo maior e a sua cobertura assente em arcádia. No entanto, a mesma galilé acabou por ser substituída poucos anos depois. Uma fotografia, anterior a 1936, apresenta uma galilé muito mais simples, assente unicamente, em duas colunas (Figura 8).

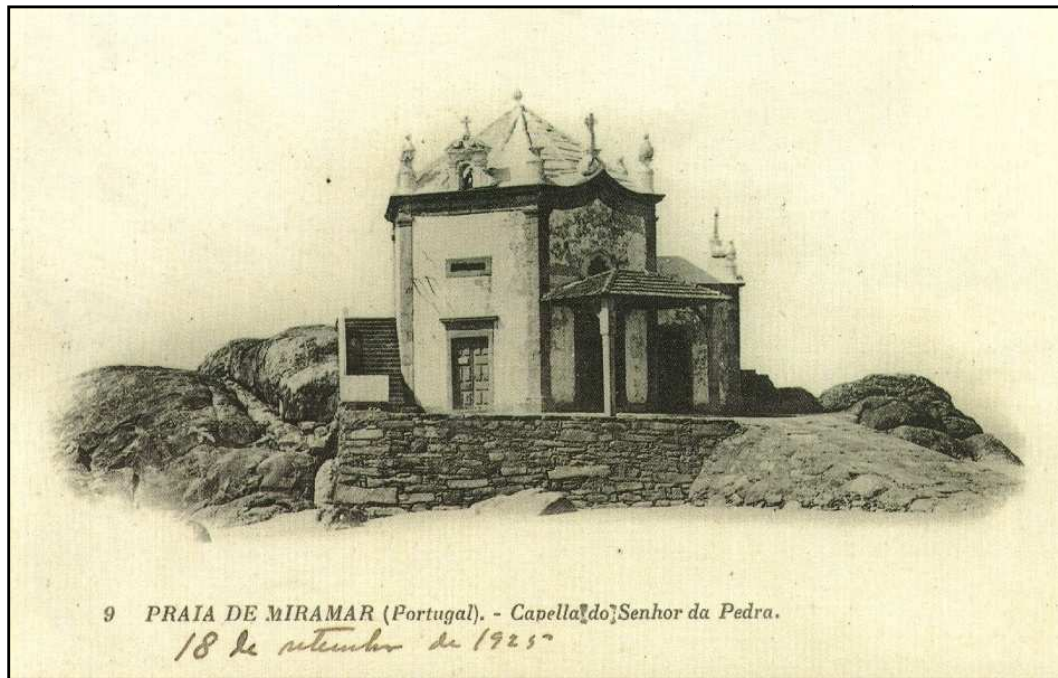


Figura 8 – Capela do Senhor da Pedra nos anos vinte do século XX (Ponte & Ponte, 2002).

Em 1936, a Capela do Senhor da Pedra foi alvo de remodelações. As paredes foram novamente pintadas, a galilé foi de novo alterada, adquirindo a sua forma actual e construíram-se a escadaria e a balaustrada (Figura 9).



Figura 9 – Capela do Senhor da Pedra – c. 1940-50 (Guedes, 2000).

Mais tarde, as placas de ardósia foram substituídas por telha, mas a data de substituição não é precisa. Também a data da colocação dos painéis de azulejo que actualmente ladeiam a porta principal da capela não é conhecida, embora se tenha a certeza, mediante o recurso à iconografia da capela, que esta intervenção tenha sido efectuada anteriormente à substituição da cobertura, entre as décadas de quarenta e cinquenta do século XX.

Entre os anos de 1995 e 1996, a Casa de Arte Cristã de J. Vieira Fonseca, de Braga realizou obras de restauro na capela que incidiram, sobretudo, no interior do edifício. Substituíram-se o dourado e o branco dos retábulos, por folha de ouro e pela policromia. Foi ainda introduzido um novo sistema de iluminação eléctrica dos retábulos e, substituído o soalho de madeira por granito.

A Confraria do Senhor da Pedra, entidade responsável pela manutenção da capela, tem realizado intervenções periódicas como pinturas das paredes, aplicação de argamassas de cimento para preenchimento de fendas, fixação de fragmentos destacados e substituição de pedra (Figuras 10 e 11).



Figura 10 – Utilização de argamassa de cimento para o preenchimento de juntas e fendas (Maio, 2007).



Figura 11 – Utilização de argamassas de cimento na substituição do granito (Setembro, 2007).

4. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

4. Enquadramento geológico

Segundo Araújo et al. (2003), do ponto de vista geológico, a região entre o Porto e Espinho integra-se numa faixa metamórfica, de direcção geral NNW-SSE, que se prolonga desde os arredores da Foz do Douro (Porto) até Tomar, designada por faixa de cisalhamento de Porto-Tomar. Segundo Beetsma (1995) esta faixa envolve terrenos do proterozóico médio-superior e faz parte do Terreno Autóctone Ibérico, incluindo-se na Zona de Ossa-Morena.

A Capela do Senhor da Pedra, segundo a notícia explicativa da folha 13-A Espinho da Carta Geológica de Portugal à escala 1/50 000 (Serviços Geológicos de Portugal, 1962), situa-se numa zona ocupada por rochas variadas, em que figuram formações granito-migmatíticas, gnaisses, micaxistos, xistos luzentes, etc (Figura 12).

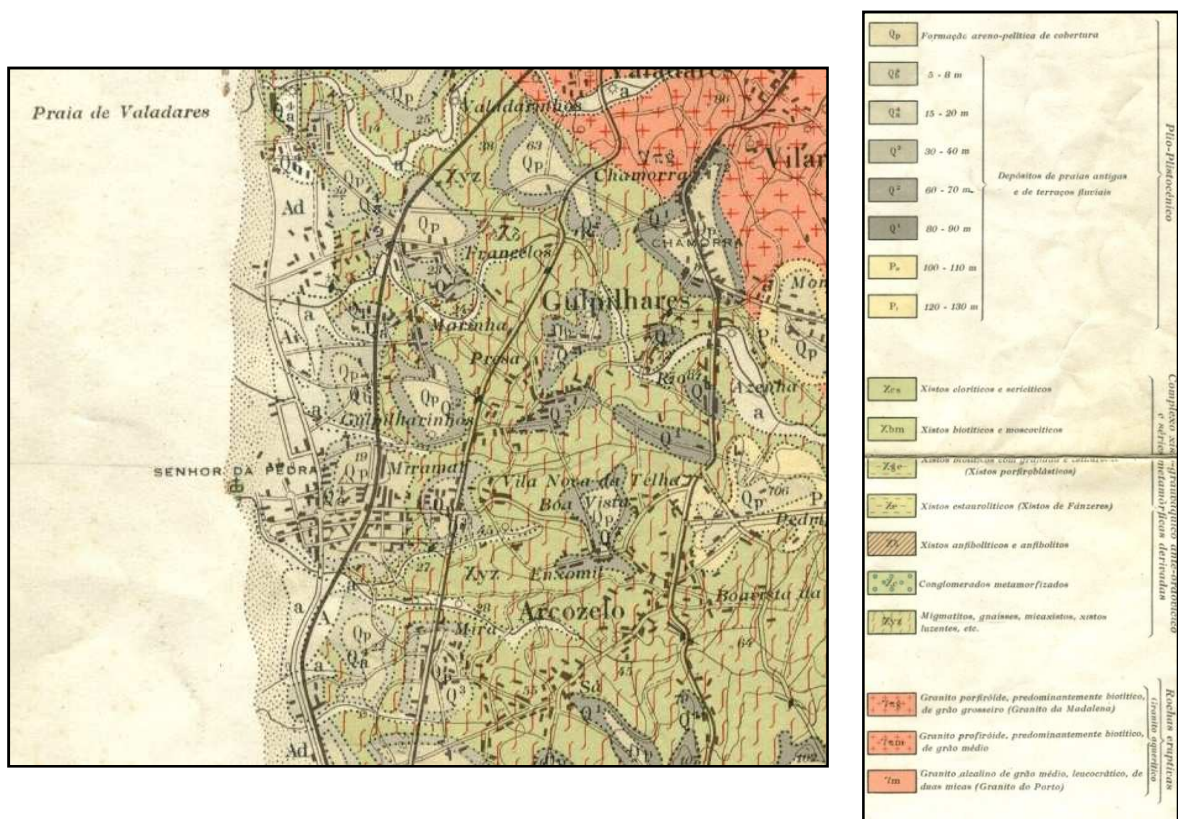


Figura 12 – Extracto da Carta Geológica de Portugal (1/50 000) – 13-A Espinho (Serviços Geológicos de Portugal, 1962).

Este complexo, prolonga-se desde Lavadores a Ovar, sendo limitado a Este pelo grande afloramento de granito profiróide.

Formações idênticas ocorrem do outro lado, entre o afloramento granítico acima citado e a faixa de xistos estaurolíticos que atravessa o rio Douro.

A cartografia destas formações é difícil, em virtude da exiguidade da maioria das manchas, da passagem gradual de umas rochas às outras e do estado de alteração que apresentam. Além disso, estão quase sempre muito cobertas.

É na região litoral que se podem observar as rochas em questão.

Nas praias de Aguda, Miramar e Senhor da Pedra, encontram-se rochas granitóides, gnaisses, filões e massas aplito-pegmatíticas, que alternam com a faixa estreita de micaxistos. Estes gnaisses são frequentemente granatíferos. Os pegmatitos contêm grandes cristais de feldspato, em geral com estrutura gráfica. É vulgar também o aparecimento de turmalina.

São peculiares as rochas migmatíticas, que assumem aspectos variados (gnaisses de impregnação, de injeção leito a leito, etc.).

Segundo a notícia explicativa da folha 9-C Porto da Carta Geológica de Portugal à escala 1/50 000 (Serviços Geológicos de Portugal, 1957), o granito empregue na capela pode ser classificado como um granito porfiróide ou de grão grosseiro, aquerítico ($\gamma\pi$). Este tipo de granito ocupa na carta do Porto pequena área.

O principal afloramento localiza-se no canto SW, na região de Lavadores, Canidelo e Gândara, prolongando-se para sul pela Madalena e Valadares.

A norte do Douro, apenas se encontram as pequenas manchas do Castelo do Queijo e da Praia da Luz.

A rocha é, segundo Torre de Assunção, um granito oligoclásico (tendência calco-alcalina), biotítico. Além da oligoclase contém grandes plagas de micropertite e alguma albite.

O quartzo mostra-se esmagado e com extinção rolante. No granito porfiróide da Luz, claramente intrusivo nas rochas migmatíticas, a biotite possui numerosos halos e núcleos de zircão.

Do lado NE, uma faixa de xistos metamórficos e migmatitos impõe-se entre o granito porfiróide e o Granito do Porto.

O granito porfiróide apresenta-se claramente intrusivo nos migmatitos e nos granitos com que estes se relacionam. Na zona de contacto, o granito porfiróide é notável pelo desenvolvimento e profusão dos cristais de feldspato, frequentemente zonados.

Lacroix estudou um granito da Madalena (Gaia) pertencente à mesma mancha de Lavadores, mas situado já fora da carta do Porto. Segundo aquele petrógrafo trata-se de granito aquerítico, em que os porfiroblastos são de microclina. A plagioclase é zonada com 23% de anortite na região central, 33% na região média e 12% na região periférica. Existe mirmequite. A biotite é acompanhada por moscovite, embora muito pouca.

O granito utilizado na construção da Capela do Senhor da Pedra, de acordo com a notícia explicativa da folha 13-A Espinho da Carta Geológica de Portugal à escala 1/50 000 (Serviços Geológicos de Portugal, 1962), pode ser classificado como um granito porfiróide de grão grosseiro

(granito da Madalena) ($\gamma\pi$ g). Forma grande afloramento que se estende de um extremo ao outro do mapa, isto é, desde a Madalena e Valadares até Fiães.

Quando são, o granito é azul ou róseo com fenocristais de feldspato esparso na massa da rocha.

Os macrocristais são de microclina. Além destes, a rocha contém oligoclase, grandes plagas de micropertite e alguma albite. O quartzo possui extinção ondulante. A biotite patenteia halos pleocróicos.

Esta rocha é intensamente explorada em numerosas pedreiras, sendo de citar as da Madalena, Valadares, Vilar do Paraíso, Perosinho, etc. É muito empregue sob a forma de paralelepípedos, cubos, perpiano, cantaria, brita, etc. Em diversos pontos, pode observar-se uma rede de diáclases bem definida, que divide a rocha em grandes bancadas. Não é rara, também, a disjunção esferoidal. Em Bouças o granito toma o aspecto orientado, embora mantendo o carácter porfiróide. Em muitos pontos, a rocha está muito meteorizada, transformada em saibro até alguns metros de profundidade.

De acordo com Chaminé (2000), o granito da capela em estudo, é um granito porfiróide, de grão grosseiro, em geral biotítico (granito de Lavadores, Perosinho e Argoncilhe) (Figura 13).

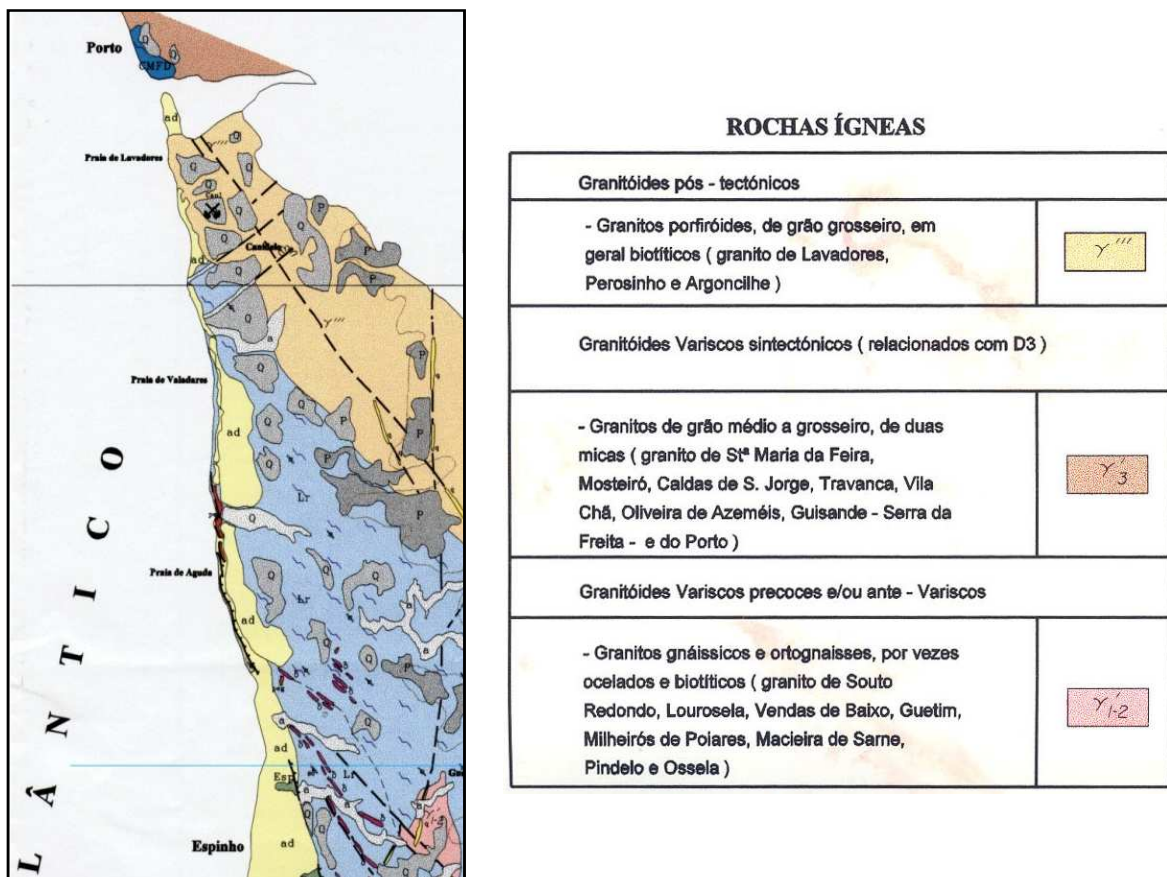


Figura 13 – Extracto do Mapa Geológico da Faixa de Espinho – Albergaria-a-Velha (Chaminé, 2000).

5. AMOSTRAGEM

5. Amostragem

Para o estudo das degradações existentes na pedra da Capela do Senhor da Pedra, recolheram-se onze amostras, designando-se por CSP 1 a CSP 10 e CSP 14.

Das amostras recolhidas, oito correspondem a desagregação granular e as restantes três a eflorescências.

As amostras com as designações CSP 1, CSP 2, CSP 3, CSP 4, CSP 5, CSP 6 e CSP 14 obtiveram-se em pedras afectadas por desagregação granular na parte exterior da capela. A amostra CSP 10 de desagregação granular foi recolhida no interior.

As amostras CSP 7, CSP 8 e CSP 9 são amostras de eflorescências do tipo *fluffy* retiradas no interior da capela.

Com o propósito de estudar algumas propriedades petrofísicas do granito empregue na Capela do Senhor da Pedra, recolheram-se três tarolos (amostras CSP 11 a CSP 13) em três pedras afectadas por desagregação granular de duas pilastras com orientações distintas.

O Quadro 1 apresenta a localização, classificação, descrição, cota e data de recolha das amostras.

Quadro 1 – Classificação e descrição das amostras recolhidas na Capela do Senhor da Pedra em Miramar.

AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO / DESCRIÇÃO	LOCAL	ORIENTAÇÃO DA AMOSTRA	COTA ACIMA DO PAVIMENTO (m)	DATA DE AMOSTRAGEM
CSP 1	Amostra de desagregação granular de intensidade média a fraca recolhida em pedra de granito porfiróide de grão médio a grosseiro, biotítico, situada na segunda fiada. Pedras com juntas preenchidas com argamassa de cimento. Amostra obtida com escova de plástico.	Pilastra orientada para Sudeste	Sudeste	0,30 – 0,68	2007 / 05 / 10
CSP 2	Amostra de desagregação granular de intensidade média a fraca recolhida em pedra de granito porfiróide de grão médio a grosseiro, biotítico, situada na quarta fiada. Pedras com juntas preenchidas com argamassa de cimento. Amostra obtida com escova de plástico.		Sudeste	1,35 – 1,65	2007 / 05 / 10
CSP 3	Amostra de desagregação granular de intensidade média a forte recolhida em pedra de granito porfiróide de grão médio a grosseiro, biotítico, situada na cornija inferior. Amostra obtida com escova de plástico e à mão.	Pilastra e cornija orientadas para Oeste	Oeste	2,75 – 2,95	2007 / 05 / 10

Quadro 1 – Classificação e descrição das amostras recolhidas na Capela do Senhor da Pedra em Miramar (continuação).

AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO / DESCRIÇÃO	LOCAL	ORIENTAÇÃO DA AMOSTRA	COTA ACIMA DO PAVIMENTO (m)	DATA DE AMOSTRAGEM
CSP 4	Amostra de desagregação granular de intensidade média a forte com alguns alvéolos recolhida em pedra de granito porfiróide de grão médio a grosseiro, biotítico, situada na pedra por baixo da cornija maior. Amostra obtida com a mão.	Pilastra e cornija orientadas para Oeste	Oeste	3,40 – 3,50	2007 / 05 / 10
CSP 5	Amostra de desagregação granular de intensidade forte recolhida em pedra de granito porfiróide de grão médio a grosseiro, biotítico, situada na terceira fiada sob o alpendre. Amostra obtida com escova de plástico.	Entrada principal - lado esquerdo	Este	1,77 – 2,02	2007 / 05 / 10
CSP 6	Amostra de desagregação granular de intensidade forte recolhida em pedra de granito porfiróide de grão médio a grosseiro, biotítico, situada sob o alpendre. Amostra obtida com escova de plástico.		Este	3,42 – 3,57	2007 / 05 / 10
CSP 7	Amostra de eflorescência de tipo <i>fluffy</i> de cor branca, formada sobre placas de granito colocadas recentemente, situada no lado esquerdo do altar de Santa Catarina sob a cornija. Amostra recolhida com pincel.	Interior da Capela	Nordeste	2,86 – 2,91	2007 / 05 / 10
CSP 8	Amostra de eflorescência de tipo <i>fluffy</i> de cor branca, formada sobre placas de granito colocadas recentemente, situada no lado direito da entrada principal. Amostra recolhida com pincel.		Sul	1,49 – 1,55	2007 / 05 / 10
CSP 9	Amostra de eflorescência de tipo <i>fluffy</i> de cor branca, formada sobre argamassa, situada junto à porta de acesso da igreja (lado direito). Amostra recolhida com pinça metálica	Sacristia	Este	1,30 – 1,40	2007 / 05 / 10

Quadro 1 – Classificação e descrição das amostras recolhidas na Capela do Senhor da Pedra em Miramar (continuação).

AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO / DESCRIÇÃO	LOCAL	ORIENTAÇÃO DA AMOSTRA	COTA ACIMA DO PAVIMENTO (m)	DATA DE AMOSTRAGEM
CSP 10	Amostra de desagregação granular de intensidade forte, contendo elevada quantidade de sais à superfície, recolhida em pedra de granito porfiróide de grão médio a grosseiro, biotítico, situada no lado direito da porta de entrada da sacristia para quem vem do exterior. Amostra obtida com pincel.	Sacristia	Sul	1,65 – 1,85	2007 / 05 / 10
CSP 11	Carote recolhido em de pedra granito porfiróide de grão médio a grosseiro, biotítico, afectada por desagregação granular.	Pilastra orientada para Este	Este	1,37	2007 / 09 / 24
CSP 12	Carote recolhido em pedra de granito porfiróide de grão médio a grosseiro, biotítico, afectada por desagregação granular.	Pilastra orientada para Sudoeste	Sudoeste	0,50	2007 / 09 / 24
CSP 13	Carote recolhido em pedra de granito porfiróide de grão médio a grosseiro, biotítico, afectada por desagregação granular.		Sudoeste	2,76	2007 / 09 / 24
CSP 14	Amostra de desagregação granular de intensidade forte recolhida em pedra de granito porfiróide de grão médio a grosseiro, biotítico, situada na quarta fiada da pilastra orientada para Noroeste. Amostra obtida com martelo.	Pilastra orientada para Noroeste	Noroeste	0,87	2008/06/26

Os três tarolos, com cerca de 4,4 cm de diâmetro, foram recolhidos *in situ* perpendicularmente às superfícies das pedras por corte por rotação por via seca e sem recurso a água para arrefecimento e lubrificação, utilizando uma máquina Hilti DD-160E, equipada com coroas diamantadas. O corte dos provetes cilíndricos foi efectuado no Laboratório de Ensaio de Materiais de Construção (LEMC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Após a extracção de cada tarolo, o vazio foi preenchido com argamassa de cal e à superfície utilizou-se uma “rolha” constituída por granito do próprio tarolo de modo a que o corte tivesse o menor impacto visual possível (Figura 14).

Na pilastra orientada para Este, obteve-se um tarolo com 20,5 cm de comprimento que foi designado por CSP 11. Os outros dois tarolos foram obtidos na pilastra orientada para Sudoeste e designados por CSP 12 e CSP 13, com comprimentos respectivamente de 20,5 cm e 6,05 cm. No

tarolo CSP 13, o comprimento obtido foi muito inferior aos dois restantes, visto o equipamento utilizado ter sofrido um sobreaquecimento que danificou as coroas diamantadas.



Figura 14 – Pilastra Sudoeste após a extracção do tarolo CSP 13 (Setembro 2007).

A partir dos três tarolos, obtiveram-se oito provetes cilíndricos com alturas compreendidas entre 1,63 cm e 5,88 cm.

O Quadro 2 apresenta a localização, cota, data de extracção e proveniência dos tarolos, bem como a designação dos provetes cilíndricos retirados de cada um deles.

Quadro 2 – Proveniência e localização dos provetes cilíndricos em cada um dos tarolos.

LOCALIZAÇÃO	TAROLOS	COTA ACIMA DO PAVIMENTO (m)	DATA	PROVETES CILÍNDRICOS	PROFUNDIDADE (cm)
Fachada orientada para Este	CSP 11	1,37	2007/09/24	CSP 11.0	1,5-2,5
				CSP 11.1	3,0-6,0
				CSP 11.2	6,5-12,5
				CSP 11.3	12,5-18,5
				CSP 11.4	20,5-22,5
Pilastra orientada para Sudoeste	CSP 12	0,50	2007/09/24	CSP 12.1	3,0-6,0
				CSP 12.2	8,0-13,0
				CSP 12.3	13,0-18,0
				CSP 12.4	20,5-22,5
	CSP 13	2,76	2007/09/24	CSP 13.1	3,0-6,0

6. TÉCNICAS EXPERIMENTAIS UTILIZADAS

6. Técnicas experimentais utilizadas

O meio poroso é um dos principais factores que controla a susceptibilidade das rochas ígneas (sobretudo aos efeitos da contaminação salina), estando as características do meio poroso das rochas ígneas claramente relacionadas com o grau de meteorização das mesmas. Para a caracterização do meio poroso utilizam-se diversos ensaios físicos e métodos microscópicos, mais ou menos morosos e mais ou menos dispendiosos. De entre a panóplia de ensaios e técnicas que podem ser utilizadas, existem dois ensaios físicos simples e baratos: o ensaio de porosidade livre às 48 horas e o ensaio de absorção por capilaridade (Alves, 2000).

Algumas características petrofísicas do granito foram determinadas com o propósito de caracterizar o meio poroso do Granito de Lavadores. Realizaram-se assim os ensaios de determinação da densidade aparente, porosidade livre às 48 horas, porometria com o porosímetro de mercúrio, absorção de água por capilaridade e evaporação.

As técnicas mais utilizadas na identificação de minerais de sais solúveis são a difracção de raios X (DRX) e a microscopia electrónica de varrimento (MEV-EDS).

6.1. Determinação da porosidade livre às 48 horas e da densidade aparente

A porosidade livre às 48 horas (N_{48}) foi determinada no LEMC segundo o método preconizado e descrito por Mertz (1991), Hammecker (1993) e Begonha (2001) por embebição de água sob condições atmosféricas normais de pressão e temperatura, permitindo estimar a porosidade livremente acessível à água.

Após secagem em estufa a 60°C até peso constante (W_0), os oito provetes cilíndricos foram introduzidos durante uma hora numa altura de água destilada igual a um quarto da sua altura. Após a primeira hora de ensaio, acrescentou-se água destilada até uma altura igual a metade da altura dos provetes. Os provetes foram assim mantidos durante 23 horas. Decorridas as primeiras vinte e quatro horas de ensaio, acrescentou-se novamente água destilada até se atingir uma cota aproximada de 2 cm acima do topo dos provetes (Figura 15). Ao fim de 48 horas de ensaio, os provetes foram pesados, tendo-se obtido o peso W_{48} .

A densidade aparente foi calculada pela expressão [1] em que V é o volume do provete determinado por medição das suas dimensões com um paquímetro.

$$d = \frac{W_0 \times 100}{V} \quad [1]$$

A porosidade livre às 48 horas (N_{48}) é dada pela expressão [2].

$$N_{48} = \frac{(W_{48} - W_0) \times 100}{V} \quad [2]$$



Figura 15 – Provetes cilíndricos imersos em água destilada no ensaio de porosidade livre às 48 horas (Outubro, 2007).

6.2. Determinação da porometria com o porosímetro de mercúrio

Washburn (1921), relacionou a pressão necessária para o mercúrio preencher um capilar com determinado diâmetro. A utilização da intrusão de mercúrio para obter informação sobre a estrutura porosa dos materiais, nomeadamente a distribuição de tamanhos de poros, a área de superfície, a densidade e a porosidade, tem como base a equação de Washburn [3].

$$\frac{\Delta r}{\Delta P} = \frac{-2\gamma \cos \theta}{P^2} \quad [3]$$

Em que P é a pressão, ΔP o aumento de pressão, Δr é a variação do raio, γ é a tensão superficial e θ é o ângulo de contacto.

Segundo Castro (1974, 1977, 1979a, 1979b e 1988) e Meng (1992 e 1993), o estudo da porometria requer o emprego de várias técnicas, cada uma com o seu campo preciso de aplicação, devido à grande gama de dimensão e geometria dos poros e das suas interligações.

O ensaio de porometria permite a determinação dos volumes de vazios, correspondentes aos poros de raios médios entre 5,5nm e 360 μ m e como também o cálculo da porosidade total da

amostra. Os volumes são determinados através de um ciclo inicial de injeções automáticas crescentes de mercúrio, também designado de drenagem, seguido de um ciclo de extrusões decrescentes sucessivas e de um novo ciclo de injeções automáticas crescentes.

O presente ensaio, realizou-se em três amostras CSP 11.0, CSP 11.4 e CSP 14. Este ensaio é executado em duas fases sucessivas. De acordo com Begonha (2001), na primeira fase, de drenagem, o mercúrio líquido é injectado automaticamente e sucessivamente sob pressões crescentes em fissuras cada vez mais finas da amostra de granito. A pressão aumenta de 0,5 psia a 33000 psia, permitindo medir diâmetros de acesso às fissuras no intervalo entre 5,5nm e 360µm. A segunda fase corresponde a uma embebição com mercúrio sob a forma de vapor por desabsorção de mercúrio líquido, sob pressões aplicadas decrescentes de mercúrio líquido. O mercúrio líquido retira-se primeiro das fissuras mais finas e, só na parte final desta fase, se retira das fissuras mais largas (macroporos). O meio poroso vai assim sendo progressivamente embebido com o fluido molhante. No final desta fase, a quantidade de mercúrio retirado da amostra é inferior à injectada no final da fase anterior de drenagem, devido à retenção de pequenas gotículas isoladas de mercúrio líquido no interior da rede porosa, sobretudo nas fissuras mais largas, constituindo a porosidade retida (N_{HgR}). A terceira fase, não executada nas amostras CSP 11.0, CSP 11.4 e CSP 14, corresponde a uma segunda drenagem, durante a qual se observa um fenómeno de histerese relativamente à embebição. De facto, para uma determinada pressão, a amostra contém maior quantidade de mercúrio líquido na fase de embebição do que na terceira fase (segunda drenagem). Hammecker (1993), citando outros autores, refere que este fenómeno de histerese é devido a uma variação do ângulo de contacto do mercúrio nas fases de injeção e desabsorção.

O tratamento dos resultados é efectuado automaticamente, possibilitando a elaboração de curvas cumulativas intrusão *versus* diâmetro médio das fissuras e de curvas logarítmicas diferenciais *versus* diâmetro médio das fissuras.

A porometria obtida com porosímetro de mercúrio é por vezes criticada pelos resultados não traduzirem a forma real dos poros e as dimensões medidas serem as dos canais de acesso aos poros.

Para a determinação da porometria, utilizou-se o aparelho AutoPore IV da Micromeritics do Laboratório de Caracterização e Certificação de Materiais Granulares do Instituto Pedro Nunes (IPNlabgran) da Universidade de Coimbra, que actua numa gama de pressões compreendida entre 0,5 psia e 33000 psia, permitindo assim a intrusão de mercúrio em poros de diâmetro compreendido entre 360 µm, para a pressão mínima, e 5,5 nm, para a pressão máxima.

6.3. Determinação da absorção de água por capilaridade

Segundo Aires-Barros (2001), o estudo da absorção de água por capilaridade fornece uma boa estimativa do grau de saturação máxima da rocha, quer ela esteja sob acção da chuva, do escoamento superficial ou da ascensão da água do solo.

O ensaio de absorção de água por capilaridade realizou-se no LEMC. O presente ensaio foi efectuado nos quatro provetes cilíndricos CSP 11.1, CSP 11.2, CSP 12.1 e CSP 12.2 previamente secos a 60° C até atingirem peso constante. Posteriormente, colocou-se sobre uma grelha colocada no interior do recipiente, no fundo dos quais o nível de água destilada é mantido constante durante todo o ensaio. A alimentação capilar é assegurada por uma película de água com 2mm de altura. Os recipientes são hermeticamente fechados com temperatura e humidade relativa controladas (20° C e humidade relativa próxima de 100%). Segundo Begonha (2001), a humidade relativa próxima da saturação evita a sobreposição dos fenómenos de evaporação. Durante o ensaio, acompanhou-se a progressão da embebição capilar por meio da medição a intervalos de tempo crescentes da altura da franja capilar, observada na face externa dos provetes e da medição do peso. O ensaio decorreu aproximadamente durante 158 horas. A obtenção das curvas de evolução da franja capilar (L) e do acréscimo de peso sobre a área da base do provete (dW/S) é alcançada em função da raiz quadrada do tempo. Estatisticamente, calculam-se as equações lineares que melhor se ajustam aos resultados, deste modo obtendo-se o valor do aumento de peso por unidade de superfície em função da unidade da raiz quadrada do tempo (A) e o valor da progressão da ascensão da franja capilar por unidade da raiz quadrada do tempo (B).

6.4. Determinação da evaporação

Para a determinação da evaporação, recorreu-se às técnicas e metodologias usadas no Laboratoire de Pétrophysique du Center de Géochemice de la Surface de Strasbourg e referidas por Mertz (1991), Hammecker (1993) e Begonha (2001).

O ensaio de evaporação executou-se no LEMC e realizou-se nos quatro provetes cilíndricos. Foi efectuado num recipiente hermeticamente fechado com temperatura e humidade relativa controladas (20°C e 75% de humidade relativa), através da utilização de uma solução aquosa sobressaturada de NaCl no interior do recipiente. Os provetes, imediatamente após o ensaio de determinação da porosidade livre às 48 horas (N_{48}), foram pesados e envolvidos de imediato por uma película plástica perfeitamente aderente em todas as superfícies, com excepção de uma das bases dos provetes por onde se realiza a evaporação (Figura 16).

Os pesos foram medidos sucessivamente durante intervalos de tempo consecutivos, sendo menores durante a fase inicial da evaporação, durante a qual se dão as maiores perdas de peso por unidade de tempo. O tempo de execução do ensaio foi de aproximadamente 724 horas. Este ensaio permitiu determinar, para cada provete, o fluxo de evaporação constante (q), a saturação crítica (S_c) e o instante em que ocorreu a saturação crítica ($t(S_c)$). A saturação crítica é atingida quando o fluxo de evaporação deixa de ser igual a q , passando a ser sucessivamente menor. Neste instante, a evaporação deixa de se realizar á superfície do provete e passa a ocorrer no seu interior.



Figura 16 – Provetes cilíndricos envolvidos por uma manga plástica no ensaio de evaporação (Dezembro, 2007).

6.5. Difracção de raios X (DRX)

A DRX permite identificar todas as fases cristalinas presentes na amostra. É um método estatístico que possibilita a semi-quantificação dos minerais presentes nas rochas, nomeadamente do granito. Permite também distinguir minerais de sais solúveis de composição idêntica mas com diferentes graus de hidratação.

A DRX tem, no entanto, algumas desvantagens: minerais em reduzida percentagem podem não ser detectados ou por os respectivos picos serem muito pequenos ou por os mesmos coincidirem com os picos dos minerais constituintes do granito; minerais ou partículas amorfos não são detectados.

O resultado da análise é apresentado sob a forma de um difractograma, cujos picos, após comparação com fichas padrão de diferentes compostos, são atribuídos aos minerais presentes na amostra.

As amostras CSP 7 e CSP 8 correspondentes a eflorescências do tipo *fluffy* foram submetidas à técnica de difracção de raios X, uma vez que a MEV-EDS não permitiu identificar quais os carbonatos de sódio presente nas duas eflorescências, isto é, qual o seu grau de hidratação.

A difracção de raios X foi efectuada com um difractor Philips PW 1710 do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho, a 40kV e 20 mA, com fenda de divergência automática e monocromador de grafite, utilizando uma radiação $K\alpha$ - Cu, e com o Software PC-APD versão 3,6J (Philips).

6.6. Microscopia electrónica de varrimento (MEV-EDS)

A microscopia electrónica de varrimento (MEV) permite a observação com elevado grau de resolução das amostras. Faz a identificação e a análise química dos minerais e partículas nelas existentes, incluindo as amorfas.

Todavia, os elementos químicos de número atómico mais baixo não são detectados. Além disso, não possibilita a distinção de minerais de sais solúveis de composição idêntica mas com diferentes graus de hidratação, a não ser que apresentem formas simples típicas, o que aliás é pouco frequente nos cristais de minerais de sais solúveis que cristalizam no interior da rede porosa.

A observação das amostras por MEV realizou-se no Centro de Materiais da Universidade do Porto (CEMUP), recorrendo a um microscópio, modelo Jeol JSM-6301F, equipado com o sistema de microanálise por raios-X (EDS) Oxford Inca Energy 350.

Todas as amostras foram revestidas a ouro, observadas e analisadas por electrões secundários a 15 keV ou 10 keV e por períodos de tempo útil (*livetime*) iguais a 60 segundos.

Esta técnica foi utilizada na caracterização mineralógica das amostras CSP 1, CSP 2, CSP 3, CSP 6 e CSP 10 que dizem respeito a pedras afectadas por desagregação granular. Foram ainda observadas mais três amostras CSP 7, CSP 8 e CSP 9 correspondentes a eflorescências do tipo *fluffy*.

**7. ESTUDO DO MEIO POROSO DO GRANITO DE LAVADORES APLICADO NA
CAPELA DO SENHOR DA PEDRA**

7. Estudo do meio poroso do Granito de Lavadores aplicado na Capela do Senhor da Pedra

No Quadro 3, apresentam-se os resultados dos ensaios petrofísicos realizados nos provetes cilíndricos, designadamente os de determinação da densidade aparente (d), porosidade livre às 48 horas (N_{48}), absorção de água por capilaridade (coeficientes de capilaridade A e B) e evaporação (fluxo de evaporação q , saturação crítica Sc e tempo de saturação crítica tSc).

Os valores obtidos no ensaio de porometria com o porosímetro de mercúrio nomeadamente a porosidade total (N_{Hg}), a porosidade retida (N_{HgR}), a percentagem da porosidade retida relativamente à porosidade total ao mercúrio (N_{HgR}/N_{Hg}), a microporosidade (N_{μ}), a macroporosidade (N_M), a percentagem da microporosidade relativamente à porosidade total ao mercúrio (N_{μ}/N_{Hg}), os diâmetros de acesso das principais famílias de fissuras (d_a) e o tipo de rede porosa são apresentados no Quadro 4.

7.1. Densidade aparente (d)

O Quadro 3 mostra que os valores de densidade aparente (d), obtidos em oito provetes cilíndricos são muito próximos entre si, variando de provete para provete entre 2,36 e 2,47 (média de $2,43 \pm 0,03$), o que comprova que na Capela do Senhor da Pedra se utilizaram pedras com diferentes graus de meteorização herdada da pedreira uma vez que a densidade aparente em amostra de granito são está compreendida entre 2,64 e 2,65.

Através da observação do Quadro 5, conclui-se que os valores de densidade aparente obtidos nos provetes ensaiados são da mesma ordem de grandeza dos determinados em diversos edifícios e monumentos construídos em granito do Norte de Portugal.

Quadro 3 – Resultados dos ensaios petrofísicos.

Provete cilíndrico	d	N_{48} (%)	Capilaridade		Evaporação		
			A ($g\ cm^{-2}\ h^{-1/2}$)	B ($cm\ h^{-1/2}$)	q ($g\ cm^{-2}\ h^{-1}$)	Sc (%)	tSc (h)
CSP 11.1	2,44	5,22	0,2180	4,5073	- 0,0032	81	12,1
CSP 11.2	2,45	5,26	0,2216	4,5040	- 0,0039	83	9,9
CSP 11.3	2,36	5,35					
CSP 12.1	2,47	4,59	0,2519	5,5161	- 0,0029	70	13,7
CSP 12.2	2,42	4,42	0,2165	5,9952	- 0,0024	78	9,9
CSP 12.3	2,44	4,68					
CSP 12.4	2,44	4,89					
CSP 13.1	2,38	4,46					

Quadro 4 – Resultados do ensaio com o porosímetro de mercúrio.

	N_{Hg} (%)	N_{HgR} (%)	N_{HgR}/N_{Hg} (%)	N_{μ} (%)	N_M (%)	N_{μ}/N_{Hg} (%)	d_a (μm)	Tipo de rede
CPS 11.0	5,44	4,58	84	3,36	2,08	62	19,06 0,41	Bimodal
CSP 11.4	5,09	4,20	83	3,37	1,72	66	15,75 0,30	Bimodal
CSP 14	8,92	8,29	93	3,86	5,06	43	30,16 2,71	Bimodal

Quadro 5 – Valores mínimos e máximos da densidade aparente (d), obtidos em granitos de monumentos e edifícios de Portugal.

Monumento ou edifício estudado	d
Capela do Senhor da Pedra – granito porfiróide, de grão grosseiro, em geral biotítico (Granito de Lavadores)	2,36 – 2,47
Convento de São Gonçalo de Amarante – granito de grão fino (Castro et al, 1991)	2,39 – 2,50
Mosteiro de São Miguel de Refojos – granito de grão médio a grosseiro (Begonha, 2000)	2,38 – 2,52
Hospital de Santo António – pedras de Granito do Porto afectadas por placas (Begonha, 2001)	2,42 – 2,56
Hospital de Santo António – pedras de Granito do Porto afectadas por desagregação granular (Begonha, 2001)	2,52 – 2,53
Mosteiro de São João de Tarouca – Granito de Vila Chã (Begonha, 2002a)	2,35 – 2,42
Igreja de São Pedro de Rates – granito de grão médio a grosseiro (Begonha, 2003a)	2,39 – 2,59
Igreja de São Pedro de Rates – granito de grão fino a médio (Begonha, 2003a)	2,42 – 2,53
Igreja Matriz de Espinho – granito de grão grosseiro (Begonha, 2003b)	2,52 – 2,58
Igreja Matriz de Espinho – granito de grão médio (Begonha, 2003b)	2,54 – 2,56
Convento de São Gonçalo de Amarante – granito de grão fino (Begonha, 2004a)	2,49 – 2,52
Igreja de Santa Maria de Leça – Granito do Porto (Moutinho, 2005)	2,52 – 2,55
Igreja Matriz de Caminha – granito de grão médio (Fojo, 2006)	2,27 – 2,48
Igreja Matriz de Caminha – microgranito (Fojo, 2006)	2,48 – 2,51
Igreja de Santa Clara – granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiróide, meteorizado (Costa Leite, 2008)	2,53 – 2,57
Igreja de Santa Clara – granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiróide, muito meteorizado (Costa Leite, 2008)	2,27 – 2,41
Igreja de Santa Clara – aplito moscovítico, meteorizado de cor cinzenta muito clara (Costa Leite, 2008)	2,52 – 2,56

7.2. Porosidade livre às 48 horas (N_{48})

O Quadro 3 apresenta os valores da porosidade livre às 48 horas obtidos em oito provetes cilíndricos, variando entre 4,42% e 5,35%. Estes valores comprovam que na capela se utilizaram pedras com diferentes graus de meteorização herdada da pedreira, uma vez que a porosidade livre em amostra de granito são está compreendida entre 0,5% e 1 %.

No tarolo CSP 11, a porosidade livre às 48 horas vai aumentando com a profundidade e no tarolo CSP 12 há uma tendência para um aumento com a profundidade. Em CSP 13, só se obteve um único valor.

Como se pode verificar no Quadro 6, os valores da porosidade livre às 48 horas enquadram-se nos determinados em diversos edifícios e monumentos construídos com granitos.

Quadro 6 – Valores limite da porosidade livre às 48 horas (N_{48}) obtidos em granitos empregues em monumentos e edifícios de Portugal.

Monumento ou edifício estudado	N_{48} (%)
Capela do Senhor da Pedra – granito porfiróide, de grão grosseiro, em geral biotítico (Granito de Lavadores)	4,42 – 5,35
Convento de São Gonçalo de Amarante – granito de grão fino (Castro et al, 1991)	5,13 – 9,63
Anta Grande do Zambujeiro – granito de grão grosseiro (Pinto 1993)	2,90
Mosteiro de São Miguel de Refojos – granito de grão médio a grosseiro (Begonha, 2000)	4,61 – 8,53
Hospital de Santo António – pedras de Granito do Porto afectadas por placas (Begonha, 2001)	3,38 – 7,46
Hospital de Santo António – pedras de Granito do Porto afectadas por desagregação granular (Begonha, 2001)	3,96 – 4,29
Mosteiro de São João de Tarouca – Granito de Vila Chã (Begonha, 2002a)	6,83 – 8,58
Igreja de São Pedro de Rates – granito de grão médio a grosseiro (Begonha, 2003a)	4,16 – 8,32
Igreja de São Pedro de Rates – granito de grão fino a médio (Begonha, 2003a)	4,77 – 8,59
Igreja Matriz de Espinho – granito de grão grosseiro (Begonha, 2003b)	2,12 – 4,00
Igreja Matriz de Espinho – granito de grão médio (Begonha, 2003b)	2,75 – 3,58
Convento de São Gonçalo de Amarante – granito de grão fino (Begonha, 2004a)	3,02 – 4,19
Antiga Alfândega de Vila do Conde – granito de grão médio (Ferreira, 2004)	2,88 – 8,48
Igreja de Santa Maria de Leça – Granito do Porto (Moutinho, 2005)	3,00 – 3,66
Igreja Matriz de Caminha – granito de grão médio (Fojo, 2006)	4,85 – 10,30
Igreja Matriz de Caminha – microgranito (Fojo, 2006)	4,04 – 4,48
Sé Catedral de Évora (Costa, 2007)	5,8±0,2 – 6,9±0,3
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiróide, meteorizado (Costa Leite, 2008)	2,26 – 2,49
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiróide, muito meteorizado (Costa Leite, 2008)	5,87 – 6,81
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico, meteorizado de cor cinzenta muito clara (Costa Leite, 2008)	2,58 – 2,82

7.3. Porometria com o porosímetro de mercúrio

O Quadro 4 mostra que os valores obtidos nas três amostras para a porosidade total ao mercúrio (N_{Hg}) variam entre 5,09% e 8,92%.

O processo de desagregação granular do Granito de Lavadores levou a um aumento do valor da porosidade total ao mercúrio, em que as amostras meteorizadas CSP 11.0 e CSP 11.4 apresentam valores que variam de 5,09% a 5,44% enquanto na amostra meteorizada e deteriorada CSP 14 a porosidade total aumenta para 8,92%.

O Quadro 4 mostra que a porosidade retida (N_{HgR}) é muito superior à porosidade livre obtida com o porosímetro de mercúrio, representado entre 83% a 84% da porosidade total ao mercúrio (N_{Hg}) nas amostras de granito de Lavadores meteorizado CSP 11.0 e CSP 11.4, e 93% na amostra CSP 14 de granito meteorizado e afectado por desagregação granular forte.

Analisando o Quadro 4, verifica-se que os valores obtidos para a microporosidade (N_{μ}) representam 62%, 66% e 43% da porosidade total ao mercúrio (N_{Hg}), respectivamente nas amostras CSP 11.0, CSP 11.4, e CSP 14.

As Figuras 17, 18 e 19 representam a distribuição dos diâmetros de acesso às fissuras respectivamente nas amostras CSP 11.0, CSP 11.4 e CSP 14.

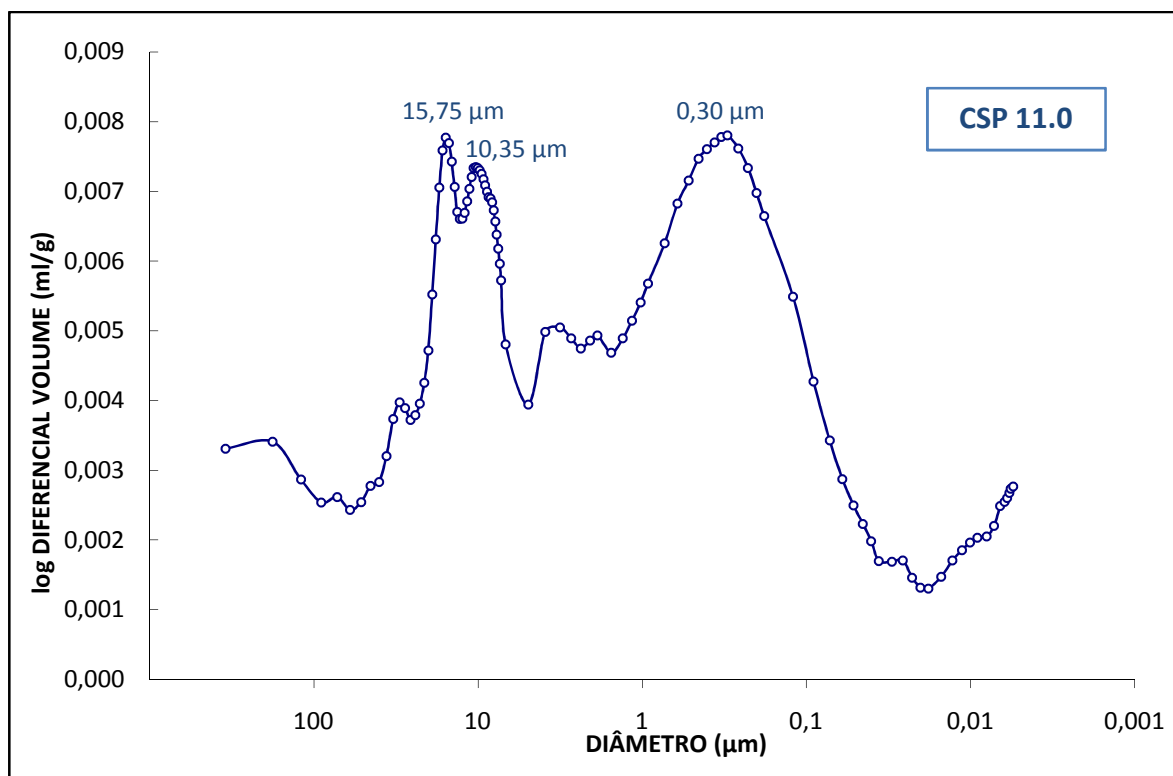


Figura 17 – Distribuição dos diâmetros de acesso às fissuras na amostra CSP 11.0.

As três amostras têm redes porosas bimodais. Na amostra CSP 11.0 (Figura 17), afectada por meteorização, as duas famílias de fissuras têm praticamente a mesma importância, sendo os diâmetros de acesso às fissuras iguais a 15,75 μm e 0,30 μm . Na amostra CSP 11.4 (Figura 18), afectada por meteorização, a família principal com diâmetro igual a 19,06 μm é mais importante que a segunda família com 0,41 μm .

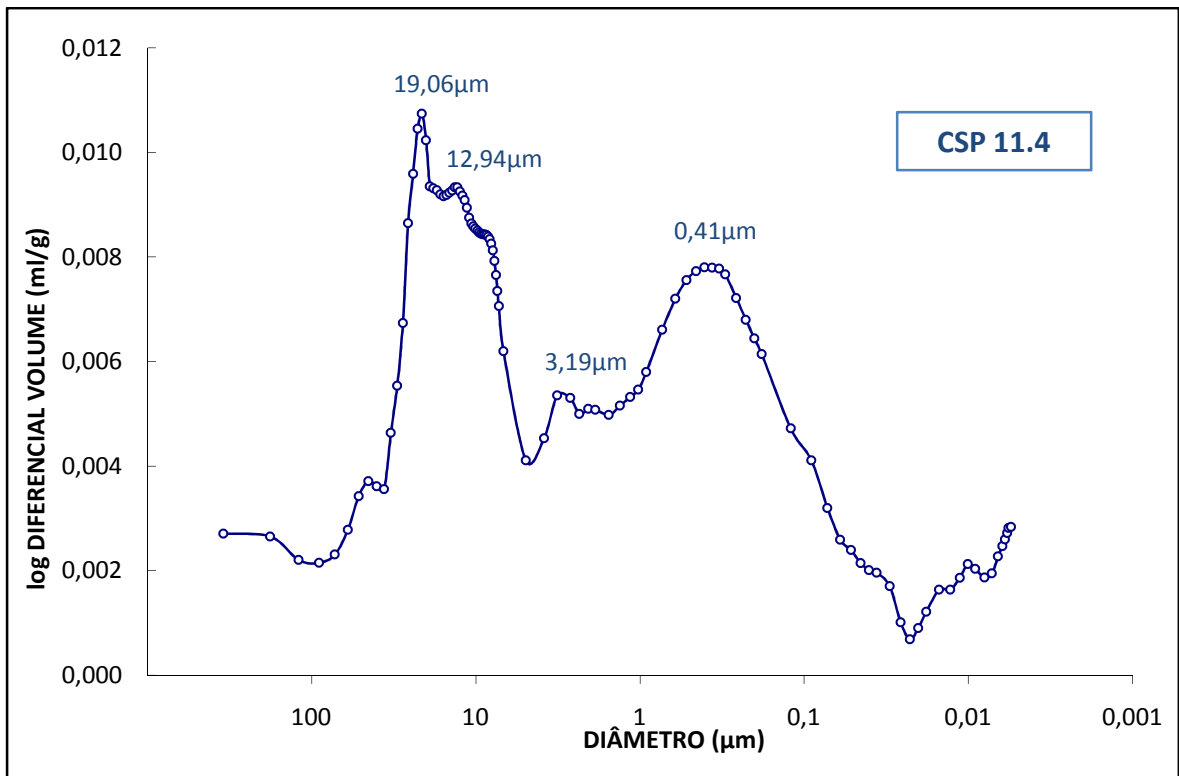


Figura 18 – Distribuição dos diâmetros de acesso às fissuras na amostra CSP 11.4.

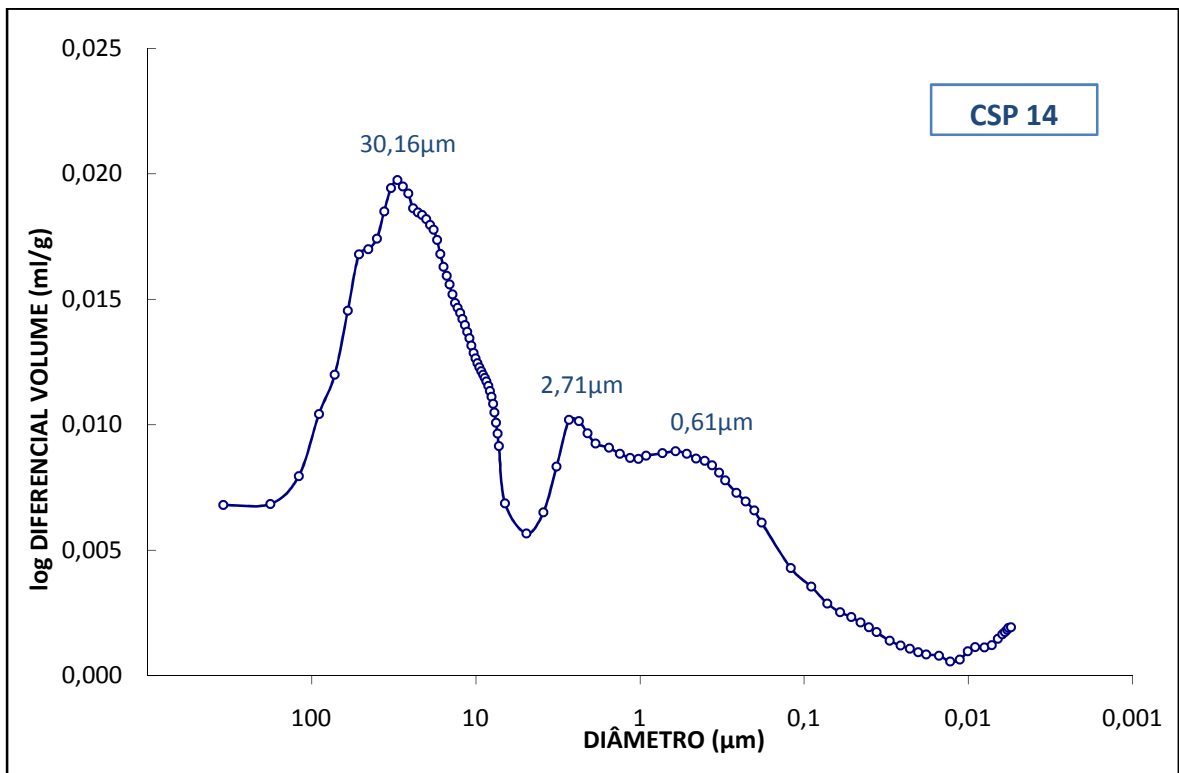


Figura 19 – Distribuição dos diâmetros de acesso às fissuras na amostra CSP 14.

A amostra CSP 14 (Figura 19), afectada por meteorização e desagregação granular muito intensa, apresenta uma família principal de fissuras com diâmetro igual a 30,16 µm, muito mais

importante que a segunda família com diâmetro igual a 2,71 μm . Nesta amostra, os diâmetros das duas famílias de fissuras são significativamente superiores aos valores das duas amostras anteriores afectadas unicamente por meteorização. A importância da família principal relativamente à família secundária de fissuras é muito maior na amostra CSP 14 do que nas outras duas amostras.

Assim, o processo de deterioração do Granito de Lavadores (desagregação granular) aumenta não só o diâmetro das duas famílias de fissuras mas também a importância da família principal relativamente à família secundária.

Para além disso, o aumento da abertura das duas famílias de fissuras durante o processo de deterioração do granito teve como consequência o aumento da razão $N_{\text{HgR}}/N_{\text{Hg}}$ (de 83% a 84% para 93%) e a diminuição da razão N_{μ}/N_{Hg} (de 62% a 66% para 43%).

Os valores da porosidade total ao mercúrio são da mesma ordem de grandeza dos valores referidos para os granitos aplicados em diversos edifícios e monumentos do Norte de Portugal (Quadro 7).

Os valores obtidos para a razão N_{μ}/N_{Hg} enquadram-se nos valores obtidos em monumentos do Norte de Portugal (Quadro 8).

O Quadro 9 apresenta os valores dos diâmetros de acesso da ou das famílias principais de fissuras obtidos na Capela do Senhor da Pedra e em diversos edifícios e monumentos estudados no Norte de Portugal.

Quadro 7 – Valores limite da porosidade total ao mercúrio (N_{Hg}) obtidos em granitos de duas micas empregues em monumentos e edifícios do Norte de Portugal.

Monumento ou edifício estudado	N_{Hg} (%)
Capela do Senhor da Pedra – granito porfiróide, de grão grosseiro, em geral biotítico meteorizado (Granito de Lavadores)	5,09 – 5,44
Capela do Senhor da Pedra – granito porfiróide, de grão grosseiro, em geral biotítico meteorizado e afectado por desagregação granular forte (Granito de Lavadores)	8,92
Mosteiro de São Miguel de Refojos – granito de grão médio a grosseiro (Begonha, 2000)	5,95 – 8,46
Hospital de Santo António – placa de Granito do Porto (Begonha, 2001)	5,85
Mosteiro de São João de Tarouca – Granito de Vila Chã (Begonha, 2002a)	7,60 – 12,38
Igreja de São Pedro de Rates – granito de grão médio a grosseiro (Begonha, 2003a)	5,64 – 9,09
Igreja de São Pedro de Rates – granito de grão fino a médio (Begonha, 2003a)	6,83 – 9,90
Igreja Matriz de Espinho – granito de grão grosseiro (Begonha, 2003b)	3,36 – 4,91
Igreja Matriz de Espinho – granito de grão médio (Begonha, 2003b)	3,87
Convento de São Gonçalo de Amarante – granito de grão fino (Begonha, 2004a)	4,42 – 4,64
Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Granito do Porto (Moutinho, 2005)	4,20 – 4,43
Igreja Matriz de Caminha – granito de grão médio (Fojo, 2006)	7,69 – 11,21
Igreja Matriz de Caminha – microgranito (Fojo, 2006)	5,33 – 6,76
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiróide, meteorizado (Costa Leite, 2008)	2,89
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiróide, muito meteorizado (Costa Leite, 2008)	7,42
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico, meteorizado de cor cinzenta muito clara (Costa Leite, 2008)	4,39
Igreja de Santa Clara – Amostra de fragmentos de aplito moscovítico, meteorizado, de cor cinzenta muito clara, afectado por desagregação granular de média intensidade (Costa Leite, 2008)	9,37
Igreja de Paço de Sousa – apélito com turmalina meteorizado e afectado por placas ou por desagregação granular (Cardoso 2008)	6,26 – 7,79

Quadro 8 – Valores limite da percentagem entre a microporosidade (N_{μ}) e a porosidade total ao mercúrio (N_{Hg}) obtidos em granitos de duas micas empregues em monumentos e edifícios do Norte de Portugal.

Monumento ou edifício estudado	$100 \times N_{\mu} / N_{Hg}$ (%)
Capela do Senhor da Pedra – granito porfiróide, de grão grosseiro, em geral biotítico meteorizado (Granito de Lavadores)	62 - 66
Capela do Senhor da Pedra – granito porfiróide, de grão grosseiro, em geral biotítico meteorizado e afectado por desagregação granular forte (Granito de Lavadores)	43
Mosteiro de São Miguel de Refojos – granito de grão médio a grosseiro (Begonha, 2000)	81 – 96
Hospital de Santo António – placa de Granito do Porto (Begonha, 2001)	75
Mosteiro de São João de Tarouca – Granito de Vila Chã (Begonha, 2002a)	80
Igreja de São Pedro de Rates – granito de grão médio a grosseiro (Begonha, 2003a)	72 – 80
Igreja de São Pedro de Rates – granito de grão fino a médio (Begonha, 2003a)	67 – 73
Igreja Matriz de Espinho – granito de grão grosseiro (Begonha, 2003b)	64 – 65
Igreja Matriz de Espinho – granito de grão médio (Begonha, 2003b)	79 – 80
Convento de São Gonçalo de Amarante – granito de grão fino (Begonha, 2004a)	66 – 78
Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Granito do Porto (Moutinho, 2005)	49 – 56
Igreja Matriz de Caminha – granito de grão médio (Fojo, 2006)	61 – 67
Igreja Matriz de Caminha – microgranito (Fojo, 2006)	63 – 78
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiróide, meteorizado (Costa Leite, 2008)	63
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiróide, muito meteorizado (Costa Leite, 2008)	68
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico, meteorizado de cor cinzenta muito clara (Costa Leite, 2008)	78
Igreja de Santa Clara – Amostra de fragmentos de aplito moscovítico, meteorizado, de cor cinzenta muito clara, afectado por desagregação granular de média intensidade (Costa Leite, 2008)	68
Igreja de Paço de Sousa – aplito com turmalina meteorizado e afectado por placas ou por desagregação granular (Cardoso, 2008)	66 – 70

Quadro 9 – Valores limite dos diâmetros de acesso das principais famílias de poros de granitos de duas micas usados em monumentos e edifícios do Norte de Portugal.

Granito meteorizado, monumento ou edifício estudado	Família principal d_a (µm)	Família secundária d_a (µm)
Capela do Senhor da Pedra – granito porfiróide, de grão grosseiro, em geral biotítico meteorizado (Granito de Lavadores)	15,75 – 19,06	0,30 – 0,41
Capela do Senhor da Pedra – granito porfiróide, de grão grosseiro, em geral biotítico meteorizado e afectado por desagregação granular forte (Granito de Lavadores)	30,16	2,71
Granito do Porto meteorizado (Begonha et al, 1994, Begonha, 2001)	0,25 – 0,65	
Granito de Braga meteorizado (Alves, 1997)	0,4	
Granito de Gondizalves meteorizado (Alves, 1997)	0,4	
Mosteiro de São Miguel de Refojos – granito de grão médio a grosseiro (Begonha, 2000)	1,0 – 3,0	
Hospital de Santo António – placa de Granito do Porto (Begonha, 2001)	5,5	
Mosteiro de São João de Tarouca – Granito de Vila Chã (Begonha, 2002a)	1,5	
Igreja de São Pedro de Rates – granito de grão médio a grosseiro (Begonha, 2003a)	0,9 – 1,9	9,0 – 9,3
Igreja de São Pedro de Rates – granito de grão fino a médio (Begonha, 2003a)	1,9 – 4,0	8,6 – 9,4
Igreja Matriz de Espinho – granito de grão grosseiro (Begonha, 2003b)	0,8 – 0,9	14,2 – 14,9
Igreja Matriz de Espinho – granito de grão médio (Begonha, 2003b)	0,8 – 1,9	9,4
Convento de São Gonçalo de Amarante – granito de grão fino (Begonha, 2004a)	0,3 – 1,8	8,7 – 9,3
Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Granito do Porto (Moutinho, 2005)	10,7 – 18,5	1,6 – 2,8
Igreja Matriz de Caminha – granito de grão médio (Fojo, 2006)	9,2 – 16,2	1,0 – 3,8
Igreja Matriz de Caminha – microgranito (Fojo, 2006)	2,0 – 4,9	8,7 – 10,1
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiróide, meteorizado (Costa Leite, 2008)	0,76	9,49 – 13,03
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiróide, muito meteorizado (Costa Leite, 2008)	0,78	9,05 – 16,09
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico, meteorizado de cor cinzenta muito clara (Costa Leite, 2008)	0,79	
Igreja de Santa Clara – Amostra de fragmentos de aplito moscovítico, meteorizado, de cor cinzenta muito clara, afectado por desagregação granular de média intensidade (Costa Leite, 2008)	2,39	9,19
Igreja de Paço de Sousa – apélito com turmalina meteorizado e afectado por placas ou por desagregação granular (Cardoso, 2008)	1,62 – 2,35	9,66 – 9,92

7.4. Absorção de água por capilaridade

O Quadro 3 apresenta os valores do aumento de peso por unidade de superfície e unidade de raiz quadrada do tempo (coeficiente de capilaridade A - tangente à curva), e da ascensão da franja capilar por unidade de raiz quadrada do tempo (coeficiente de capilaridade B - tangente à curva), obtidos do ensaio de absorção de água por capilaridade realizado em quatro provetes cilíndricos de granito CSP 11.1, CSP 11.2, CSP 12.1 e CSP 12.2.

O Granito de Lavadores, utilizado na construção da Capela do Senhor da Pedra, assume valores do coeficiente de capilaridade A que variam entre $0,22 \text{ gxc}^{-2} \times \text{h}^{-1/2}$ e $0,25 \text{ gxc}^{-2} \times \text{h}^{-1/2}$ ($4,42\% \leq N_{48} \leq 5,35\%$).

As Figuras 20, 21, 22 e 23 mostram as curvas do ensaio de absorção de água por capilaridade dos quatro provetes cilíndricos ensaiados.

No ensaio de absorção de água por capilaridade, o Granito de Lavadores meteorizado empregue na Capela do Senhor da Pedra comporta-se como um meio poroso unimodal (apenas um coeficiente de capilaridade A) e homogêneo (apenas um coeficiente de capilaridade A e um coeficiente de capilaridade B), apesar de a porometria com porosímetro de mercúrio ter mostrado que a rede porosa é bimodal.

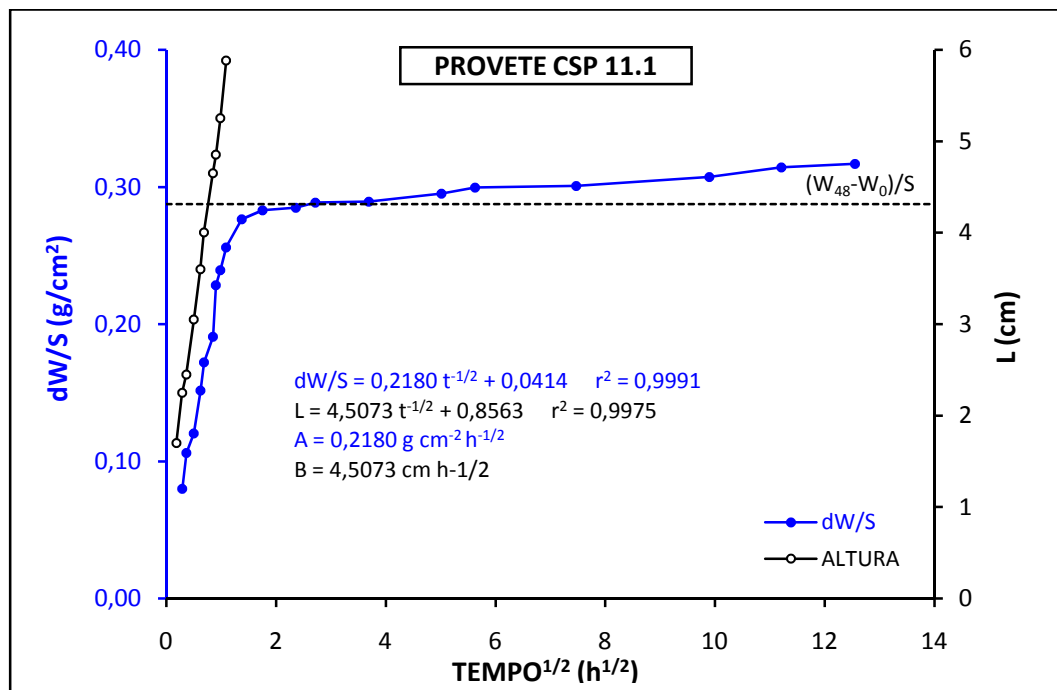


Figura 20 – Curvas do ensaio de absorção de água por capilaridade obtidas no provete CSP 11.1.

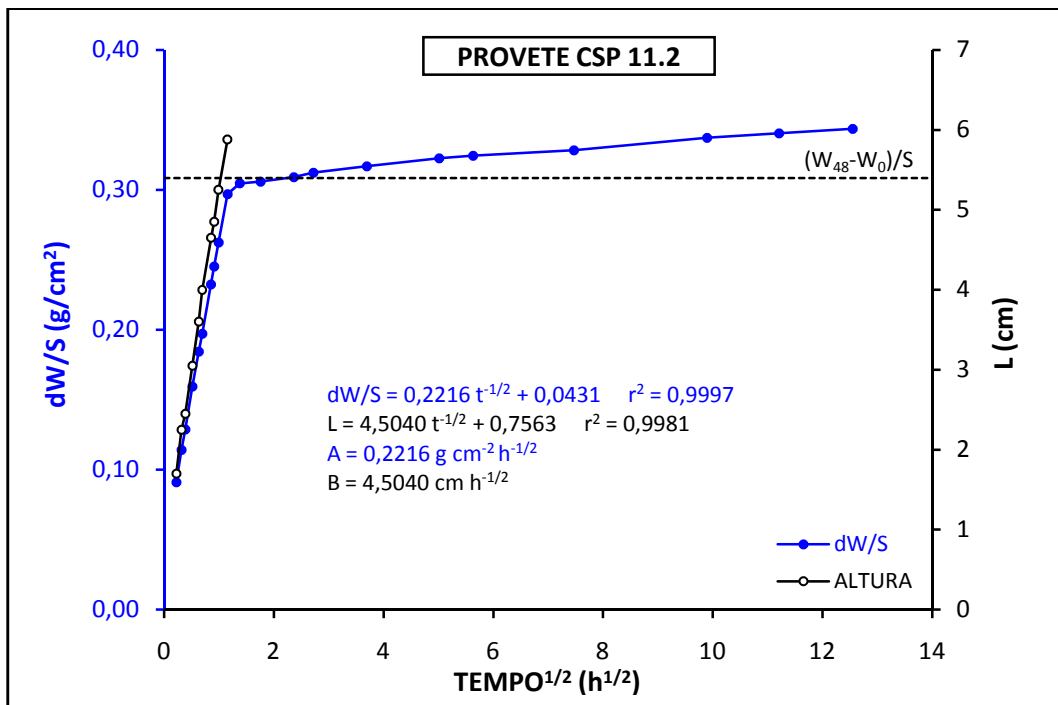


Figura 21 – Curvas do ensaio de absorção de água por capilaridade obtidas no provete CSP 11.2.

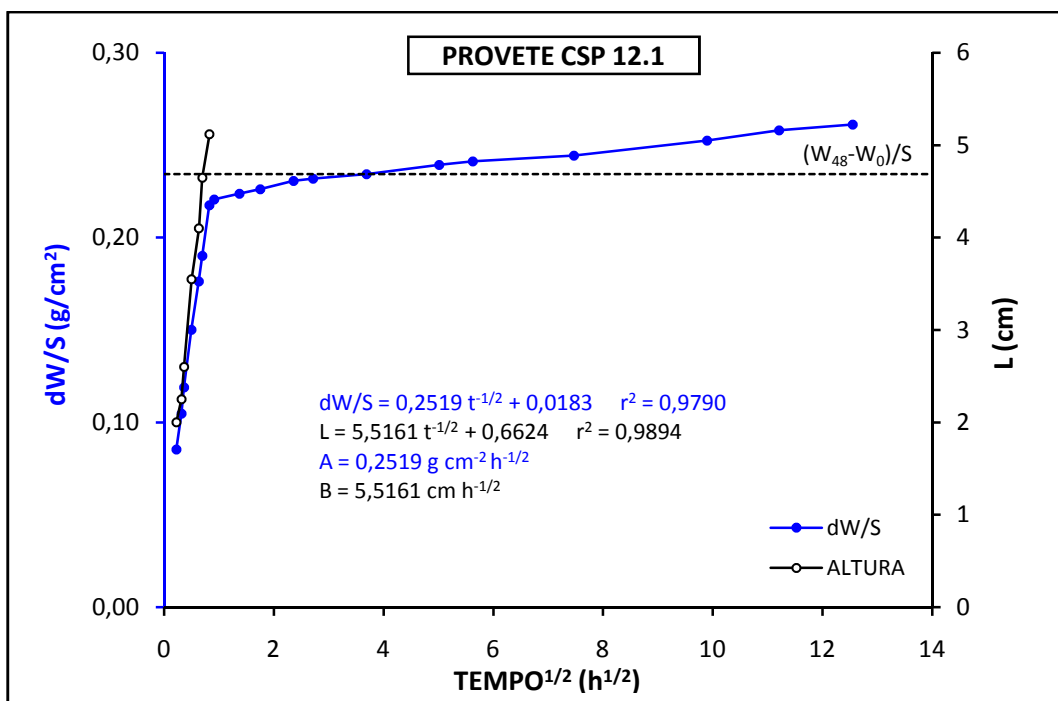


Figura 22 – Curvas do ensaio de absorção de água por capilaridade obtidas no provete CSP 12.1.

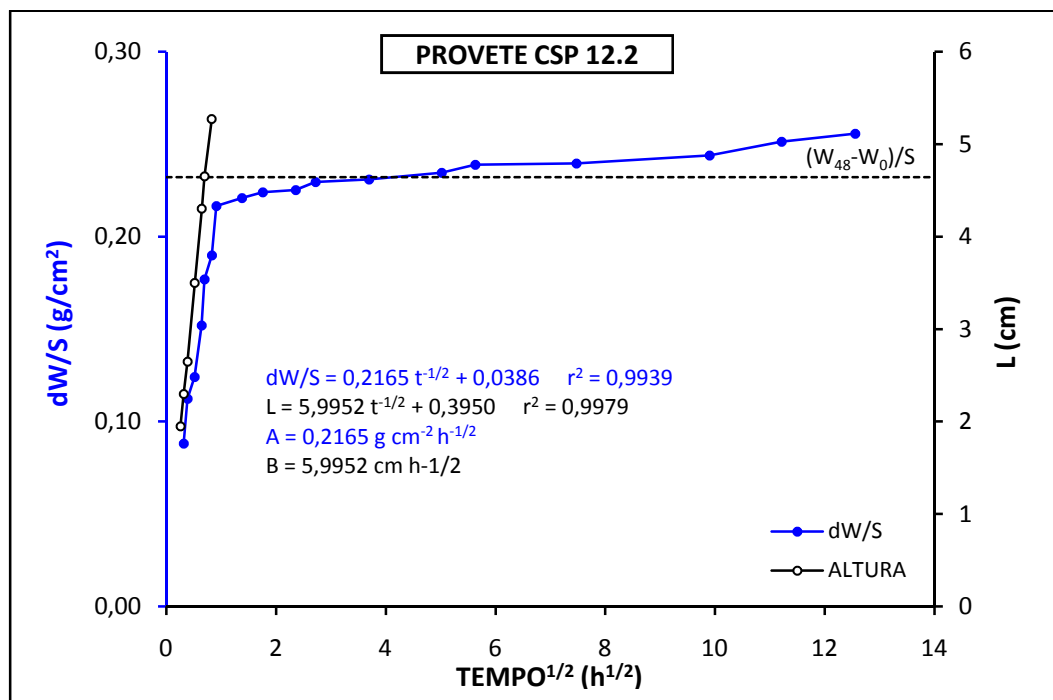


Figura 23 – Curvas do ensaio de absorção de água por capilaridade obtidas no provete CSP 12.2.

Conforme se pode verificar no Quadro 10, os valores do coeficiente de capilaridade A enquadram-se nos obtidos para diversos edifícios e monumentos construídos em granito.

O Quadro 3 e as Figuras 20 a 23, apresentam os resultados do coeficiente de capilaridade B (valor da progressão da ascensão da franja capilar por unidade da raiz quadrada do tempo), compreendidos entre $4,50 \text{ g} \times \text{cm}^{-2} \times \text{h}^{-1/2}$ e $6,00 \text{ g} \times \text{cm}^{-2} \times \text{h}^{-1/2}$ ($4,42\% \leq N_{48} \leq 5,35\%$).

Os valores do coeficiente de capilaridade B são muito elevados, permitindo cinéticas de transferência capilar muito rápidas.

Este facto pode ser explicado por o meio poroso do Granito de Lavadores ser constituído essencialmente por fissuras muito bem interligadas.

Através da análise do Quadro 11, verifica-se que os valores do coeficiente de capilaridade B se incluem no intervalo de valores determinados em diversos edifícios e monumentos construídos em granito.

No Anexo, apresentam-se todas as leituras e os quadros e gráficos obtidos através do ensaio de absorção de água por capilaridade.

Quadro 10 – Valores limite do coeficiente de capilaridade A obtidos em granitos empregues em monumentos e edifícios de Portugal.

Monumento ou edifício estudado	A ($\text{g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1/2}$)
Capela do Senhor da Pedra – granito porfiróide, de grão grosseiro, em geral biotítico (Granito de Lavadores) ($4,42 < N_{48} < 5,26$)	0,22 – 0,25
Mosteiro de São Miguel de Refojos – granito de grão médio a grosseiro ($7,36\% \leq N_{48} \leq 8,53\%$) (Begonha, 2000)	0,35 – 0,52
Mosteiro de São Miguel de Refojos – granito de grão médio a grosseiro ($4,61\% \leq N_{48} \leq 4,88\%$) (Begonha, 2000)	0,16 – 0,18
Granito do Porto ($6,26\% \leq N_{48} \leq 8,31\%$) (Begonha, 2001)	0,18 – 0,46
Granito do Porto ($4,04\% \leq N_{48} \leq 4,94\%$) (Begonha, 2001)	0,11 – 0,19
Granito do Porto ($2,26\% \leq N_{48} \leq 3,18\%$) (Begonha, 2001)	0,06 – 0,10
Hospital de Santo António – pedras de Granito do Porto afectadas por placas ($6,29\% \leq N_{48} \leq 7,46\%$) (Begonha, 2001)	0,18 – 0,25
Hospital de Santo António – pedras de Granito do Porto afectadas por placas ($3,38\% \leq N_{48} \leq 5,27\%$) (Begonha, 2001)	0,09 – 0,15
Hospital de Santo António – pedras de Granito do Porto afectadas por desagregação granular ($3,96\% \leq N_{48} \leq 4,29\%$) (Begonha, 2001)	0,09 – 0,12
Mosteiro de São João de Tarouca – Granito de Vila Chã ($6,83\% \leq N_{48} \leq 8,58\%$) (Begonha, 2002a)	0,09 – 0,25
Igreja de São Pedro de Rates – granito de grão médio a grosseiro ($6,09\% \leq N_{48} \leq 7,68\%$) (Begonha, 2003a)	0,22 – 0,39
Igreja de São Pedro de Rates – granito de grão médio a grosseiro ($4,16\% \leq N_{48} \leq 5,87\%$) (Begonha, 2003a)	0,08 – 0,30
Igreja de São Pedro de Rates – granito de grão fino a médio ($6,08\% \leq N_{48} \leq 7,26\%$) (Begonha, 2003a)	0,24 – 0,36
Igreja de São Pedro de Rates – granito de grão fino a médio ($4,77\% \leq N_{48} \leq 5,88\%$) (Begonha, 2003a)	0,17 – 0,29
Igreja Matriz de Espinho – granito de grão grosseiro ($2,12\% \leq N_{48} \leq 4,00\%$) (Begonha, 2003b)	0,05 – 0,12
Igreja Matriz de Espinho – granito de grão médio ($2,75\% \leq N_{48} \leq 3,58\%$) (Begonha, 2003b)	0,10 – 0,15
Convento de São Gonçalo de Amarante – granito de grão fino ($3,02\% \leq N_{48} \leq 4,19\%$) (Begonha, 2004a)	0,08 – 0,20
Igreja de Santa Maria de Leça – Granito do Porto ($3,00\% \leq N_{48} \leq 3,66\%$) (Moutinho, 2005)	0,10 – 0,15
Igreja Matriz de Caminha – granito de grão médio ($7,08\% \leq N_{48} \leq 10,30\%$) (Fojo, 2006)	0,49 – 0,86
Igreja Matriz de Caminha – granito de grão médio ($4,85\% \leq N_{48} \leq 6,19\%$) (Fojo, 2006)	0,25 – 0,39
Igreja Matriz de Caminha – microgranito ($4,04\% \leq N_{48} \leq 4,48\%$) (Fojo, 2006)	0,18 – 0,24
Sé Catedral de Évora (Costa, 2007)	0,45±0,04
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiróide, meteorizado ($2,26\% \leq N_{48} \leq 2,49\%$) (Costa Leite, 2008)	0,05 – 0,06
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiróide, muito meteorizado ($5,87\% \leq N_{48} \leq 6,81\%$) (Costa Leite, 2008)	0,21 – 0,32
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico, meteorizado de cor cinzenta muito clara ($2,58\% \leq N_{48} \leq 2,82\%$) (Costa Leite, 2008)	0,07 – 0,08

Quadro 11 – Valores limite do coeficiente de capilaridade B obtidos em granitos de monumentos e edifícios de Portugal.

Monumento ou edifício estudado	B (cm×h ^{-1/2})
Capela do Senhor da Pedra – granito porfíroide, de grão grosseiro, em geral biotítico (Granito de Lavadores) (4,42 <N₄₈ <5,26)	4,50 – 6,00
Granito de Braga (5,63%≤N ₄₈ ≤7,19%) (Alves, 1997)	2,70 – 3,10
Granito de Gondizalves (2,32%≤N ₄₈ ≤7,31%) (Alves, 1997)	2,80 – 5,10
Mosteiro de São Miguel de Refojos – granito de grão médio a grosseiro (7,36%≤N ₄₈ ≤8,53%) (Begonha, 2000)	5,15 – 7,12
Mosteiro de São Miguel de Refojos – granito de grão médio a grosseiro (4,61%≤N ₄₈ ≤4,88%) (Begonha, 2000)	3,45 – 4,61
Granito do Porto (6,26%≤N ₄₈ ≤8,31%) (Begonha, 2001)	3,01 – 6,36
Granito do Porto (4,04%≤N ₄₈ ≤4,94%) (Begonha, 2001)	2,67 – 4,66
Granito do Porto (2,26%≤N ₄₈ ≤3,18%) (Begonha, 2001)	2,59 – 4,66
Hospital de Santo António – pedras de Granito do Porto afectadas por placas (6,29%≤N ₄₈ ≤7,46%) (Begonha, 2001)	3,01 – 4,89
Hospital de Santo António – pedras de Granito do Porto afectadas por placas (3,38%≤N ₄₈ ≤5,27%) (Begonha, 2001)	2,82 – 3,12
Hospital de Santo António – pedras de Granito do Porto afectadas por desagregação granular (3,96%≤N ₄₈ ≤4,29%) (Begonha, 2001)	2,45 – 3,11
Mosteiro de São João de Tarouca – Granito de Vila Chã (6,83%≤N ₄₈ ≤8,58%) (Begonha, 2002a)	1,57 – 3,51
Igreja de São Pedro de Rates – granito de grão médio a grosseiro (6,09%≤N ₄₈ ≤7,68%) (Begonha, 2003a)	4,73 – 7,00
Igreja de São Pedro de Rates – granito de grão médio a grosseiro (4,16%≤N ₄₈ ≤5,87%) (Begonha, 2003a)	2,48 – 7,20
Igreja de São Pedro de Rates – granito de grão fino a médio (6,08%≤N ₄₈ ≤7,26%) (Begonha, 2003a)	4,26 – 6,77
Igreja de São Pedro de Rates – granito de grão fino a médio (4,77%≤N ₄₈ ≤5,88%) (Begonha, 2003a)	3,96 – 6,46
Igreja Matriz de Espinho – granito de grão grosseiro (2,12%≤N ₄₈ ≤4,00%) (Begonha, 2003b)	2,14 – 3,58
Igreja Matriz de Espinho – granito de grão médio (2,75%≤N ₄₈ ≤3,58%) (Begonha, 2003b)	3,75 – 4,66
Convento de São Gonçalo de Amarante – granito de grão fino (3,02%≤N ₄₈ ≤4,19%) (Begonha, 2004a)	3,14 – 5,66
Igreja de Santa Maria de Leça – Granito do Porto (3,00%≤N ₄₈ ≤3,66%) (Moutinho, 2005)	3,98 – 6,17
Igreja Matriz de Caminha – granito de grão médio (7,08%≤N ₄₈ ≤10,30%) (Fojo, 2006)	7,98 – 9,63
Igreja Matriz de Caminha – granito de grão médio (4,85%≤N ₄₈ ≤6,19%) (Fojo, 2006)	5,61 – 7,14
Igreja Matriz de Caminha – microgranito (4,04%≤N ₄₈ ≤4,48%) (Fojo, 2006)	5,14 – 6,60
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfíroide, meteorizado (2,26%≤N ₄₈ ≤2,49%) (Costa Leite, 2008)	2,42 – 2,76
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfíroide, muito meteorizado (5,87%≤N ₄₈ ≤6,81%) (Costa Leite, 2008)	4,3614 – 6,1254
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico, meteorizado de cor cinzenta muito clara (2,58%≤N ₄₈ ≤2,82%) (Costa Leite, 2008)	2,71 – 3,39

7.5. Evaporação

No Quadro 3, apresentam-se os valores do fluxo de evaporação constante q , relativo ao primeiro segmento da curva de evaporação dW/S , da saturação crítica S_c (saturação no instante a partir do qual a evaporação deixa de se realizar à superfície do provete, passando a efectuar-se no seu interior) e do instante t_{Sc} em que a saturação crítica é atingida nos quatro provetes cilíndricos. O cálculo de q corresponde ao declive da recta ajustada pelo método dos mínimos quadrados aos resultados de dW/S e de t .

As Figuras 24, 25, 26, e 27, mostram as curvas de evaporação obtidas nos provetes CSP 11.1, CSP 11.2, CSP 12.1, CSP 12.2.

Através da análise das figuras anteriormente enumeradas, verifica-se que a curva da perda de peso por unidade de superfície (dW/S) em função do tempo (t) se divide em três segmentos distintos: o primeiro constituído por um segmento de recta de forte declive que corresponde a um período no qual o fluxo de evaporação do vapor de água q é constante; o segundo formado por um segmento intermédio curvo em que há uma diminuição progressiva do valor do fluxo de evaporação; o terceiro composto por um segmento rectilíneo com fluxo de evaporação constante, mas de declive muito inferior ao do primeiro segmento.

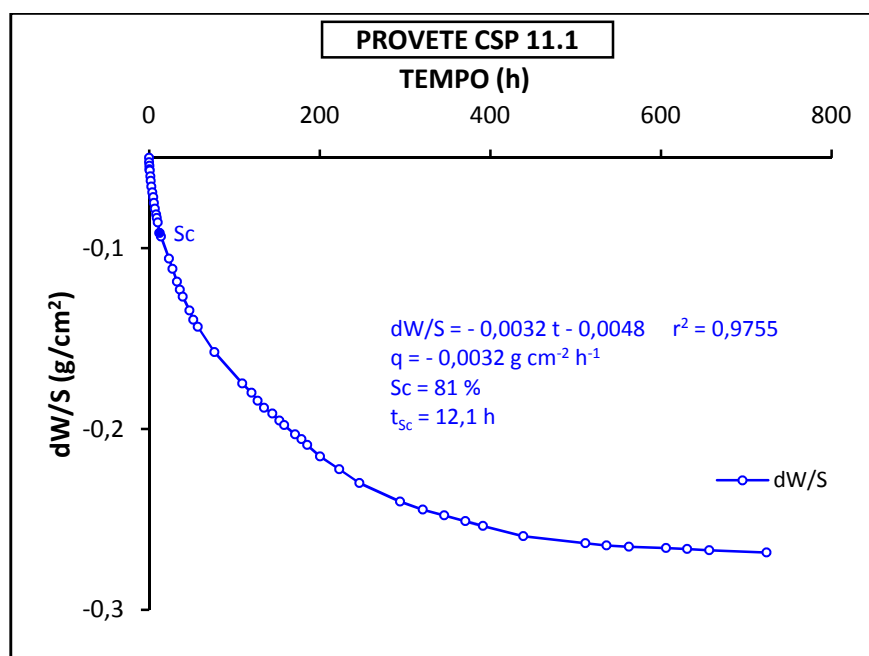


Figura 24 – Curva de evaporação do provete CSP 11.1.

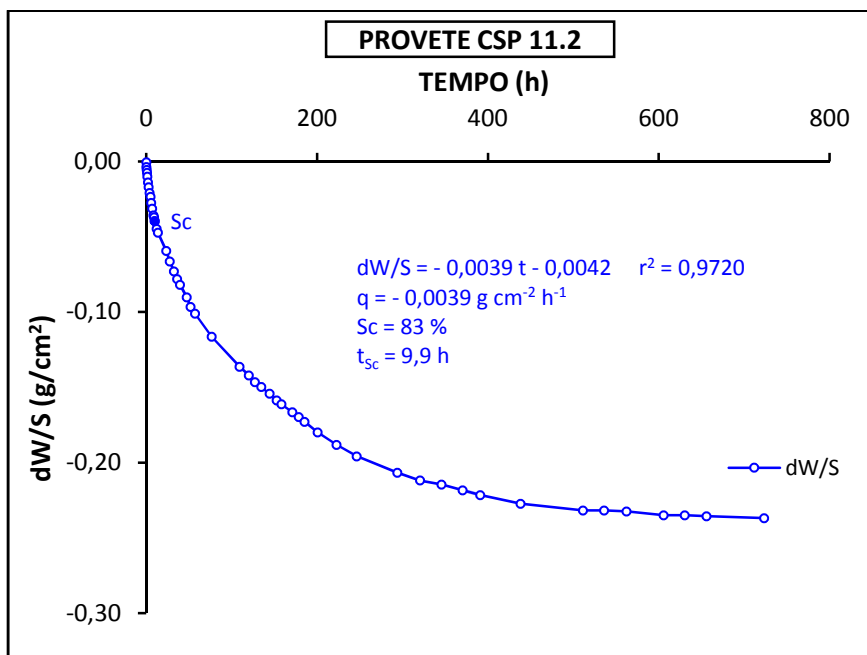


Figura 25 – Curva de evaporação do provete CSP 11.2.

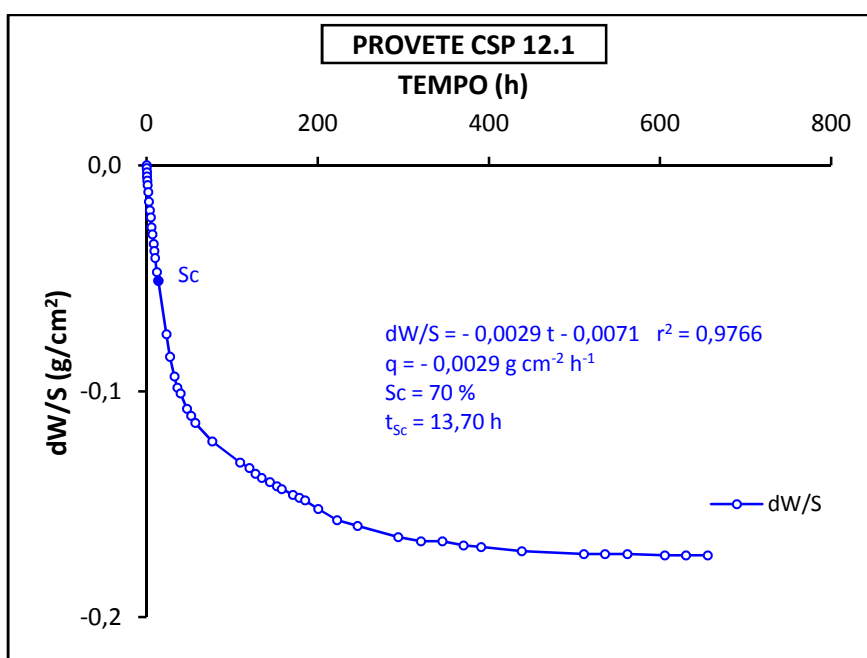


Figura 26 – Curva de evaporação do provete CSP 12.1.

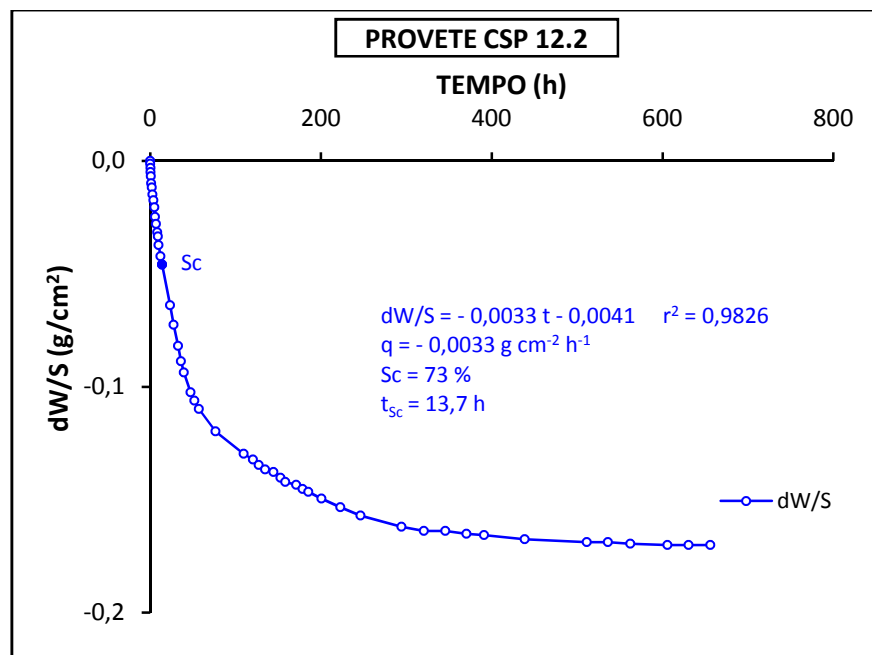


Figura 27 – Curva de evaporação do provete CSP 12.2.

O fluxo de evaporação constante (q) assume, nos quatro provetes, valores compreendidos entre $-0,0024 \text{ g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1}$ e $-0,0039 \text{ g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1}$. Estes resultados são da mesma ordem de grandeza dos obtidos por Begonha (2001) em provetes de Granito do Porto em pedras do Hospital de Santo António, por Fojo (2006) no granito de grão médio de duas micas e no microgranito empregues na Igreja Matriz de Caminha e por Costa Leite (2008) em dois tipos de granito aplicados na Igreja de Santa Clara em Vila do Conde (Quadro 12).

Quadro 12 – Valores limite do fluxo de evaporação q obtidos em granitos empregues em monumentos e edifícios do Norte de Portugal.

Monumento ou edifício estudado	q ($\text{g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1}$)
Capela do Senhor da Pedra – granito porfiróide, de grão grosseiro, em geral biotítico (Granito de Lavadores) ($4,42 < N_{48} < 5,26$)	- 0,0024 a - 0,0039
Hospital de Santo António – pedras de paredes interiores de Granito do Porto meteorizado mas não deteriorado ($1,70\% \leq N_{48} \leq 2,84\%$) (Begonha, 2001)	- 0,0038 a - 0,0053
Hospital de Santo António – pedras de Granito do Porto afectadas por placas ($6,29\% \leq N_{48} \leq 7,46\%$) (Begonha, 2001)	- 0,0041 a - 0,0042
Hospital de Santo António – pedras de Granito do Porto afectadas por desagregação granular ($3,96\% \leq N_{48} \leq 4,29\%$) (Begonha, 2001)	- 0,0026 a - 0,0041
Igreja Matriz de Caminha – granito de grão médio ($7,08\% \leq N_{48} \leq 10,30\%$) (Fojo, 2006)	- 0,0018 a - 0,0030
Igreja Matriz de Caminha – granito de grão médio ($4,85\% \leq N_{48} \leq 6,19\%$) (Fojo, 2006)	- 0,0015 a - 0,0023
Igreja Matriz de Caminha – microgranito ($4,04\% \leq N_{48} \leq 4,48\%$) (Fojo, 2006)	- 0,0020 a - 0,0032
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiróide, meteorizado ($2,26\% \leq N_{48} \leq 2,49\%$) (Costa Leite, 2008)	- 0,0029 a - 0,0036
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiróide, muito meteorizado ($5,87\% \leq N_{48} \leq 6,81\%$) (Costa Leite, 2008)	- 0,0023 a - 0,0033
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico, meteorizado de cor cinzenta muito clara ($2,58\% \leq N_{48} \leq 2,82\%$) (Costa Leite, 2008)	- 0,0036 a - 0,0048

Os resultados da saturação crítica (S_c) variam entre 70% e 83%. Estes valores da saturação crítica são mais elevados do que os obtidos por Begonha (2001) em provetes de Granito do Porto em pedras do Hospital de Santo António, por Fojo (2006) no granito de grão médio de duas micas e no microgranito empregues na Igreja Matriz de Caminha e por Costa Leite (2008) em dois tipos de granito aplicados na Igreja de Santa Clara em Vila do Conde (Quadro 13).

Quadro 13 – Valores limite da saturação crítica S_c obtidos em granitos empregues em monumentos e edifícios do Norte de Portugal.

Monumento ou edifício estudado	S_c (%)
Capela do Senhor da Pedra – granito porfiróide, de grão grosseiro, em geral biotítico (Granito de Lavadores) ($4,42 < N_{48} < 5,26$)	70 – 83
Hospital de Santo António – pedras de paredes interiores de Granito do Porto meteorizado mas não deteriorado ($1,70\% \leq N_{48} \leq 2,84\%$) (Begonha, 2001)	58 – 61
Hospital de Santo António – pedras de Granito do Porto afectadas por placas ($6,29\% \leq N_{48} \leq 7,46\%$) (Begonha, 2001)	45 – 47
Hospital de Santo António – pedras de Granito do Porto afectadas por desagregação granular ($3,96\% \leq N_{48} \leq 4,48\%$) (Begonha, 2001)	64 – 71
Igreja Matriz de Caminha – granito de grão médio ($7,08\% \leq N_{48} \leq 10,30\%$) (Fojo, 2006)	29 – 41
Igreja Matriz de Caminha – granito de grão médio ($4,85\% \leq N_{48} \leq 6,19\%$) (Fojo, 2006)	34 – 45
Igreja Matriz de Caminha – microgranito ($4,04\% \leq N_{48} \leq 4,48\%$) (Fojo, 2006)	36 – 55
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiróide, meteorizado ($2,26\% \leq N_{48} \leq 2,49\%$) (Costa Leite, 2008)	50 – 59
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiróide, muito meteorizado ($5,87\% \leq N_{48} \leq 6,81\%$) (Costa Leite, 2008)	32 – 49
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico, meteorizado de cor cinzenta muito clara ($2,58\% \leq N_{48} \leq 2,82\%$) (Costa Leite, 2008)	67 – 75

O intervalo de tempo até se atingir a saturação crítica (t_{Sc}), na Capela do Senhor da Pedra varia entre 9,9h e 13,7h.

Na Capela do Senhor da Pedra, os resultados obtidos para o tempo saturação crítica são da mesma ordem de grandeza, mas um pouco inferiores aos obtidos, em provetes com porosidade livre semelhante, por Begonha (2001) em provetes de Granito do Porto obtidos em pedras do Hospital de Santo António e por Costa Leite (2008) no granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiróide, meteorizado e no aplito moscovítico, meteorizado de cor cinzenta muito clara, aplicados na Igreja de Santa Clara em Vila do Conde (Quadro 14).

Quadro 14 – Valores limite do tempo de saturação crítica tSc obtidos em granitos empregues em monumentos e edifícios do Norte de Portugal.

Monumento ou edifício estudado	tSc (h)
Capela do Senhor da Pedra – granito porfiróide, de grão grosseiro, em geral biotítico (Granito de Lavadores) ($4,42 < N_{48} < 5,26$)	9,9 – 13,7
Hospital de Santo António – pedras de paredes interiores de Granito do Porto meteorizado mas não deteriorado ($1,70\% \leq N_{48} \leq 2,84\%$) (Begonha, 2001)	7,6 – 11,6
Hospital de Santo António – pedras de Granito do Porto afectadas por placas ($6,29\% \leq N_{48} \leq 7,46\%$) (Begonha, 2001)	39,6 – 51,7
Hospital de Santo António – pedras de Granito do Porto afectadas por desagregação granular ($3,96\% \leq N_{48} \leq 4,48\%$) (Begonha, 2001)	15,3 – 21,5
Igreja Matriz de Caminha – granito de grão médio ($7,08\% \leq N_{48} \leq 10,30\%$) (Fojo, 2006)	81,3 – 175,8
Igreja Matriz de Caminha – granito de grão médio ($4,85\% \leq N_{48} \leq 6,19\%$) (Fojo, 2006)	72,2 – 120,9
Igreja Matriz de Caminha – microgranito ($4,04\% \leq N_{48} \leq 4,48\%$) (Fojo, 2006)	32,1 – 59,8
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiróide, meteorizado ($2,26\% \leq N_{48} \leq 2,49\%$) (Costa Leite, 2008)	15,2 – 15,4
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiróide, muito meteorizado ($5,87\% \leq N_{48} \leq 6,81\%$) (Costa Leite, 2008)	63,4 – 103,3
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico, meteorizado de cor cinzenta muito clara ($2,58\% \leq N_{48} \leq 2,82\%$) (Costa Leite, 2008)	9,0 – 9,2

No Anexo, mostram-se todas as leituras e os quadros e gráficos obtidos no ensaio de evaporação.

**8. CARACTERIZAÇÃO MACROSCÓPICA DAS DETERIORAÇÕES DA PEDRA NA
CAPELA DO SENHOR DA PEDRA**

8. Caracterização macroscópica das deteriorações da pedra na Capela do Senhor da Pedra

As deteriorações mais comuns em granitos são as seguintes:

- desagregação granular e alvéolos ;
- placas;
- plaquetas em geral afectadas por desagregação granular;
- filmes negros;
- crostas negras;
- eflorescências;
- juntas abertas;
- fissuração;
- colonização biológica.

Na Capela do Senhor da Pedra, apenas se observaram pedras afectadas por desagregação granular, eflorescências, fissuração e colonização biológica.

8.1. Caracterização macroscópica e localização das deteriorações da Capela do Senhor da Pedra

Para a construção da Capela do Senhor da Pedra foi utilizado um granito porfiróide, de grão grosseiro, em geral biotítico (granito de Lavadores, Perosinho e Argoncilhe).

Através de uma inspecção visual da capela, foi possível verificar que o granito apresenta, em determinados locais, estados de deterioração muito avançados. Em seguida, referem-se os tipos de deterioração e as zonas mais afectadas.

Apesar de não se ter observado por microscopia electrónica de varrimento (MEV) minerais secundários como a gibsite e a caulinite, as pedras usadas na Capela do Senhor da Pedra no momento da sua construção já exibiam meteorização herdada da pedreira, como aliás é corrente nos monumentos e edifícios construídos com rochas graníticas (Begonha & Sequeira Braga, 1993, Begonha et al., 1994, Alves, 1997, Teles & Begonha, 1999, Begonha & Teles, 2000, Begonha, 2000, 2001, 2002a, 2002b, 2003a, 2003b, 2003c, 2003d, 2004a, 2004b, 2005, 2006, Oliveira, 2001, Ferreira, 2004, Moutinho, 2005, Fojo, 2006, Costa, 2007, Costa Leite, 2008, Cardoso, 2008, Madureira et al., 2008).

A maior parte das pedras de granito da Capela do Senhor da Pedra apresentam-se muito degradadas. A desagregação granular é a deterioração mais importante no monumento, afectando a generalidade das pedras quer no exterior quer no interior, estando associadas a alvéolos em muitas pedras. As eflorescências são frequentes no interior.

8.1.1. Exterior da capela

8.1.1.1. Desagregação granular e alvéolos

A desagregação granular pode ainda ser designada como desagregação arenosa, desintegração granular ou, erradamente, arenização. É o mais importante tipo de deterioração, estando presente em grande parte das pedras que constituem a capela. Este tipo de deterioração, caracteriza-se pelo aumento da rugosidade das superfícies devido a presença de grãos minerais salientes, provenientes do desgaste dos grãos por acção das forças de cristalização de sais solúveis e consequente perda de material.

A desagregação granular provoca o arredondamento das arestas, o adoçamento das formas e a perda de pormenores em cantarias. Quando se verifica a queda abundante de material de granulometria arenosa através do toque nas superfícies afectadas, está-se perante situações de deterioração mais severa.

A desagregação granular designa-se por uniforme, quando provoca o recuo de toda a superfície da pedra paralelamente à superfície original, ou diferencial, quando leva à formação de zonas em relevo relativamente às mais afectadas pela deterioração.

Na Capela do Senhor da Pedra, a desagregação granular, é visível em quase todo o edifício, sendo mais intensa nas zonas orientadas para os ventos provenientes de Sul e Sudoeste associados a episódios de precipitação (Figuras 28). Nestas zonas, há queda abundante de material pétreo de que resulta o recuo significativo da superfície da pedra.

A desagregação granular no exterior da capela é intensa devido à localização geográfica do monumento, inserido num ambiente marítimo. Efectivamente, as pedras encontram-se particularmente sujeitas à influência da água do mar através das gotículas resultantes do bater das ondas do mar nos rochedos, do nevoeiro e dos elevados valores da humidade relativa do ar.

Segundo Aires-Barros (1991), o preenchimento dos poros das rochas dos monumentos por água, além de se fazer continuamente pela condensação/evaporação, faz-se ainda por ascensão da água subterrânea, por capilaridade, e por molhagem directa pela acção das chuvas. Os ciclos de secagem-molhagem induzem alterações severas pelo que as acções das águas das chuvas, de condensação ou dos solos, dos ventos e da radiação solar, comandam o comportamento da pedra dos monumentos.



a) Pilastra Oeste



b) Pilastra Oeste



c) Porta lateral para Sudeste



d) Pilastra Sul

Figura 28 – Desagregação granular de intensidade forte (Maio, 2007).

Em muitas juntas, foram aplicadas argamassas de cimento que, para além do seu aspecto inestético, contribuem para a aceleração do processo de deterioração do granito (Figura 29). Grande parte das juntas existentes na capela encontram-se preenchidas por argamassa de cimento, sendo evidente a sua acção nas zonas adjacentes das pedras, contribuindo para a queda de material pétreo e provocando uma desagregação granular diferencial das mesmas, com maior recuo da superfície próximo das juntas e menor na zona central das pedras (Figura 30).

Segundo Lopes (2004), as intervenções efectuadas com argamassa de cimento contribuem para a aceleração da desagregação, já que são uma fonte de sais solúveis.

As argamassas de cimento foram também empregues para substituição do granito em locais onde a perda de material pétreo havia sido acentuada (Figura 29). A esfera do pináculo Sudoeste da sacristia foi substituída por uma esfera de betão (Figura 31).

Grande parte das pedras de granito apresenta-se afectada simultaneamente por desagregação granular e por alvéolos.



Figura 29 – Utilização de argamassas de cimento para substituição do granito (Setembro, 2007).



a) Pilastra Sul

Figura 30 – Desagregação granular de intensidade forte ao lado de juntas preenchidas com argamassas de cimento na Pilastra Sul (Maio 2007).



Figura 31 – Esfera de substituição em betão do pináculo Sudoeste da sacristia (Setembro, 2008).

Este tipo de situação pode ser observado em grande parte das pedras que constituem a capela, mas mais acentuadamente nas fachadas orientadas para Sudoeste e Oeste (Figura 32).

Os alvéolos têm normalmente abertura mais ou menos circular com diâmetro em geral não ultrapassando os 10 mm e profundidade máxima idêntica ao diâmetro da abertura. Distribuem-se por todas as fachadas desde as cotas mais baixas junto aos pavimentos até as pedras da cornija.

Segundo Beaucourt (1975), Beaucourt & Jaton (1975), Jeannette (1980), Silva Hermo et al. (1996), López (1998), Begonha, (2001, 2004a), a formação de alvéolos em calcários, arenitos e granitos é considerada como fenómeno extremo de desagregação granular diferencial.

De acordo com Aires-Barros (1991) a alveolização é a desagregação superficial da rocha numa espessura que vai de décimos de milímetro a cerca de meio centímetro, mantendo-se a parte interna sã. A velocidade de alteração e erosão varia, originando zonas escavadas mais ou menos profundas, separadas por tabiques. O aspecto geral é o de alvéolos múltiplos, de formas e dimensões variadas.

Pedras graníticas afectadas simultaneamente por desagregação granular e alvéolos foram estudadas por Begonha (2003b, 2004a) respectivamente na Igreja Matriz de Espinho e na Igreja de São Gonçalo de Amarante.



a) Pilastra Sul (Maio, 2007)



b) Pilastra Noroeste (Maio, 2008)



c) Pilastra Sul (Maio, 2007)

Figura 32 – Alvéolos em pedras com desagregação granular de intensidade forte.

8.1.1.2. Fissuração

As fissuras surgem nos materiais quando solicitado por forças de tracção superiores à sua capacidade de resistência sendo este o principal factor responsável pela sua ocorrência.

A fissuração pode resultar da concentração de tensões em determinados pontos, surgindo sobretudo em arestas e vértices de pedras, com formação, em alguns casos, de cunhas que se separam e caem.

No caso da Capela do Senhor da Pedra, a fissuração é um tipo de deterioração pouco significativo, aparecendo em número reduzido nas pedras (Figura 33).



Figura 33 – Fissuras (Setembro, 2007).

8.1.1.3. Colonização biológica

A colonização biológica resulta do desenvolvimento de plantas em áreas mais húmidas e/ou sombrias, fendas e fissuras, juntas abertas e sobre zonas planas horizontais onde a escorrência ou a permanência de humidade são maiores.

Na Capela do Senhor da Pedra a actividade biológica é pouco significativa, verifica-se apenas a ocorrência de alguns líquenes amarelos nos pináculos e cruzeiros existentes no telhado (Figura 34).

A colonização biológica é inexistente nas zonas inferiores da capela, provavelmente devido a uma maior concentração de sais solúveis que impedem o seu crescimento.



Figura 34 – Colonização biológica – Líquenes amarelos (Setembro, 2008).

8.1.2. Interior da capela

8.1.2.1. Desagregação granular

Entre 1995 e 1996 o interior da capela sofreu remodelações e foram colocadas placas de revestimento de granito. Apesar de a sua aplicação ter sido recente, o granito das placas de revestimento apresenta-se afectado por desagregação granular de forte intensidade (Figura 35).



Figura 35 – Desagregação granular de intensidade forte – Capela (Maio, 2007).

As pedras da sacristia datam da construção da mesma e exibem desagregação granular muito intensa, (Figura 36). Também aí, foram aplicadas argamassas de cimento nas juntas que contribuíram para uma maior desagregação do granito.



Figura 36 – Desagregação granular de intensidade forte – Sacristia (Maio, 2007).

8.1.2.2. Eflorescências

As eflorescências caracterizam-se como o desenvolvimento de cristalizações de sais solúveis sobre a superfície de meios porosos, nomeadamente pedras graníticas e argamassas. Na Capela do Senhor da Pedra, as eflorescências são do tipo *fluffy* de cor branca, sendo facilmente removidas com a passagem de um pincel de textura suave. As eflorescências são abundantes e observam-se quer no interior da capela (Figura 37) quer na sacristia (Figura 38).

As eflorescências que se encontram no interior da capela e na sacristia estão associadas às seguintes características:

- zonas inferiores das paredes submetidas à ascensão capilar de soluções salinas provenientes do solo (Figura 37b);

- zonas sujeitas a ascensão capilar de soluções provenientes do solo, formando-se sobre juntas preenchidas com argamassa de cimento ou sobre as pedras graníticas no contacto com as referidas argamassas (Figuras 37a e 38).



a)



b)

Figura 37 – Eflorescência do tipo *fluffy* – Interior da capela (Maio, 2007).



Figura 38 – Eflorescência do tipo *fluffy* – Sacristia (Maio, 2007).

8.2. Cartografia e localização das deteriorações

As cartografias foram executadas de acordo com Fitzner (1990), Fitzner & Heinrichs (1991, 1994), Fitzner et al. (1992).

A elaboração de uma cartografia das deteriorações representa um elevado volume de trabalho, para além da dificuldade em observar de perto determinadas zonas onde se encontram as degradações. Não é habitual, por este motivo realizar cartografias de um edifício completo, mas sim escolher uma ou mais zonas do edifício representativas do estado de conservação do mesmo. No levantamento cartográfico das deteriorações adopta-se uma metodologia que têm como objectivo:

- a classificação e documentação das formas de deterioração;
- a cartografia das formas de deterioração;
- a medição e amostragem do edifício.

Na definição e cartografia das formas, foi considerado um esquema hierárquico que compreende dois níveis. O primeiro nível considera três grupos principais de formas de deterioração:

- perda de material pétreo e fissuras;
- descoloração e depósitos na superfície das pedras ou nos poros perto da superfície;
- destacamento do material.

O segundo nível propõe uma subdivisão dos três grupos do nível anterior em formas principais de deterioração. As formas principais de deterioração relativas à perda de material estabeleceram-se com base na descrição das perdas de material e através da morfologia da superfície das pedras.

As formas principais de deterioração referentes a depósitos na superfície das pedras foram diferenciadas pelo tipo de material depositado.

No último grupo, as formas principais de deterioração que envolvem o destacamento de material distinguem-se pela geometria do material pétreo destacado.

Na Capela do Senhor da Pedra, foi realizada a cartografia das deteriorações na fachada orientada para Sudoeste (Figura 39), nas portas lateral e principal da capela (Figuras 40 e 41), na fachada orientada para Oeste (Figura 42) e na pilastra orientada para Noroeste (Figura 43).

Nos cinco locais cartografados, foi efectuado um levantamento das deteriorações pedra a pedra atribuindo-se cores aos diferentes tipos de deteriorações existentes nas cinco zonas em estudo.

Na desagregação granular, escolheu-se uma escala que representa a intensidade da deterioração, em que o amarelo corresponde à intensidade fraca ou inexistente, o laranja à intensidade média e o vermelho à intensidade forte.

A fissuração representou-se a preto, a argamassa de cimento a cinzento escuro, o betão a cinzento claro e a colonização biológica a verde.

As Figuras 39 a 43 permitem associar o desenvolvimento das deteriorações com as condições de orientação e exposição aos agentes climáticos.

Na Capela do Senhor da Pedra, a desagregação granular mais intensa tende a aparecer associada a áreas com as seguintes características:

- zonas expostas, sobretudo orientadas para os ventos chuvosos de Sul e Sudoeste (Figuras 39 e 40);

- zonas húmidas não lixiviadas, situadas abaixo da cornija e sob o alpendre (Figuras 39 a 42).

As Figuras 39 a 43 mostram que, em todas as zonas cartografadas, a desagregação granular de intensidade forte é dominante, comprovando a influência da localização do monumento em ambiente marítimo. Os mapeamentos apontam para uma intensidade um pouco maior da desagregação granular nas pedras da fachada Sudoeste, porta orientada a Sudeste e pedras da ou sob a cornija e/ou alpendre.

Na Capela do Senhor da Pedra, os alvéolos aparecem em pedras com todas as orientações conforme mostram as Figuras 39 a 43.

O monumento está frequentemente sujeito a ventos com diversas orientações (sobretudo de Sudoeste, Oeste, Norte e Este) que propiciam rápidas velocidades de evaporação nas pedras húmidas, confirmando as observações de Begonha (2003b, 2004b). Este autor refere que na Igreja Matriz de Espinho e na Igreja Matriz de S. Gonçalo de Amarante, os alvéolos se formam em pedras expostas directamente à chuva ou à ascensão capilar a partir do solo e onde existem simultaneamente fortes correntes de ar que dão origem a fortes velocidades de evaporação, caso do piso com as janelas com venezianas da torre da Igreja Matriz de Espinho e das colunas da fachada Oeste da Igreja de S. Gonçalo de Amarante.




0 1m








0 1m



0 1m

 DESAGREGAÇÃO GRANULAR DE INTENSIDADE FRACA

 DESAGREGAÇÃO GRANULAR DE INTENSIDADE FORTE
 DESAGREGAÇÃO GRANULAR DE INTENSIDADE MÉDIA
 DESAGREGAÇÃO GRANULAR COM ALVÉOLOS

 DESAGREGAÇÃO GRANULAR DE INTENSIDADE FORTE COM ALVÉOLOS
 ARGAMASSA DE CIMENTO

 FISSURA

Figura 39 – Cartografia das deteriorações existentes na fachada Sudoeste da Capela do Senhor da Pedra.

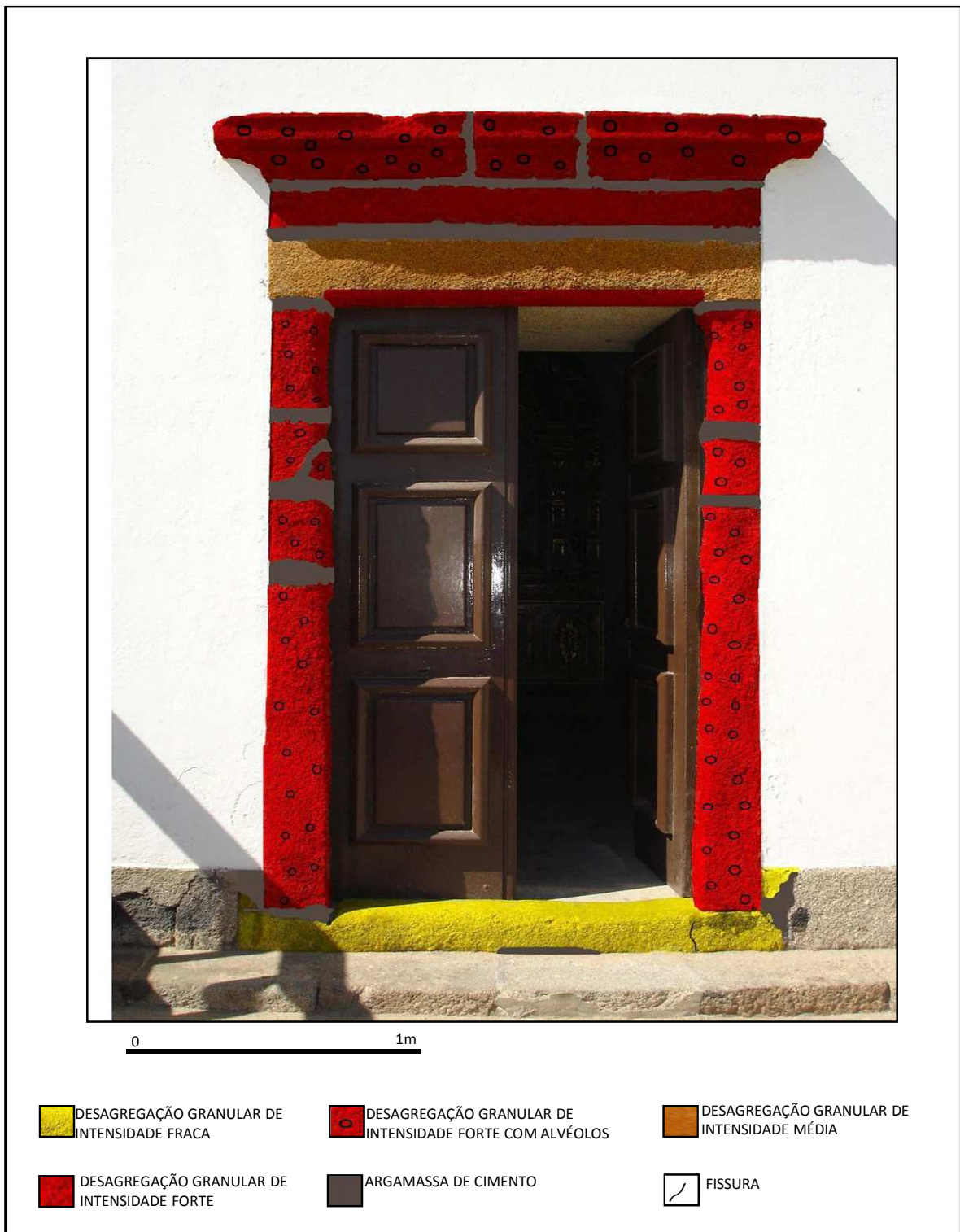


Figura 40 – Cartografia das deteriorações existentes na porta lateral da Capela do Senhor da Pedra orientada a Sudeste.



Figura 41 - Cartografia das deteriorações existentes na porta principal da Capela do Senhor da Pedra orientada a Este.



Figura 1 – Cartografia das deteriorações existentes na fachada Oeste da Capela do Senhor da Pedra.

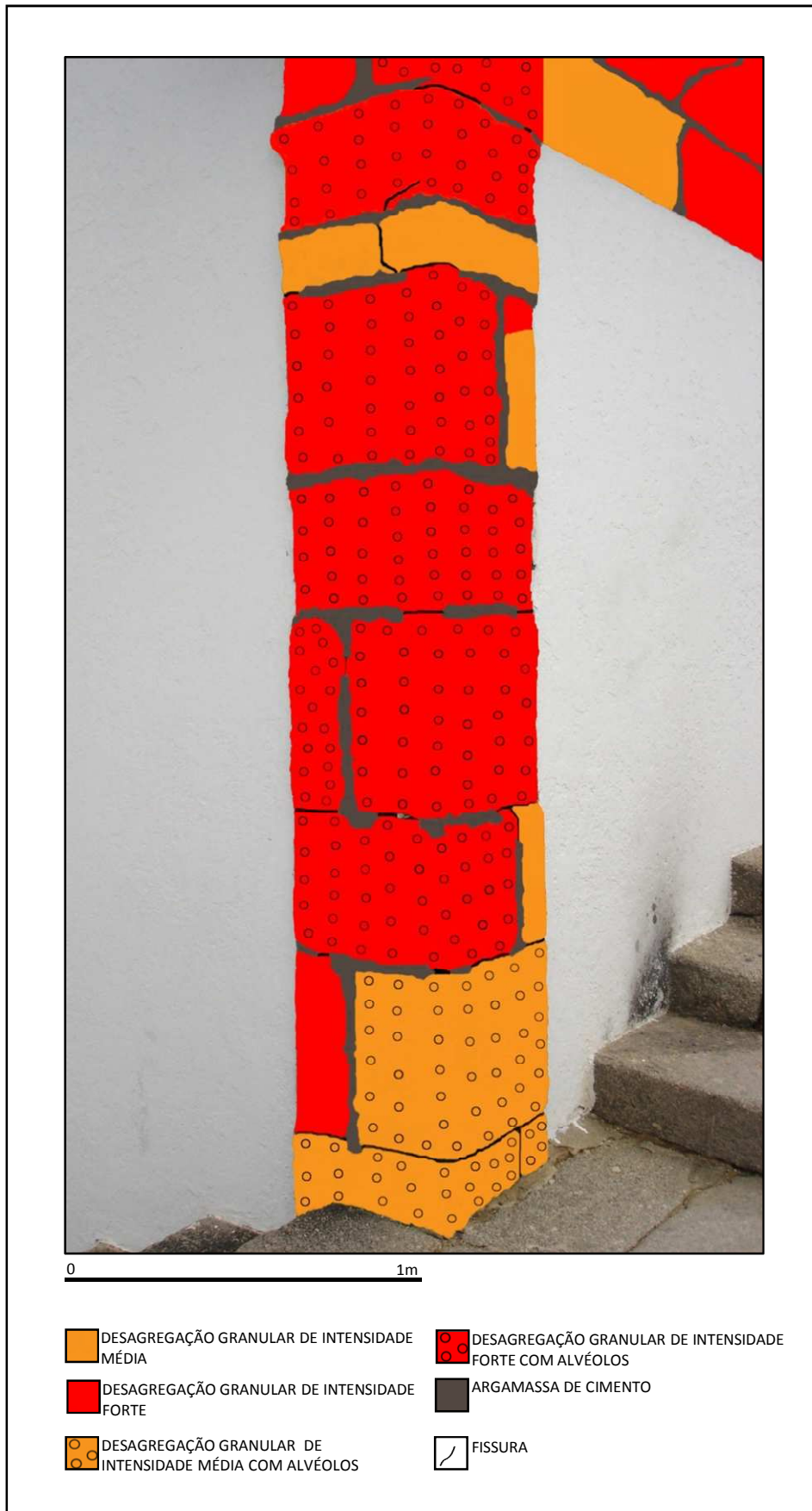


Figura 2 – Cartografia das deteriorações existentes na pilastra Noroeste da Capela do Senhor da Pedra.

1. ESTUDO MINERALÓGICO DAS DETERIORAÇÕES DA PEDRA

9. Estudo mineralógico das deteriorações da pedra

As amostras CSP 1, CSP 2, CSP 3, CSP 6, CSP 7, CSP 8, CSP 9 e CSP 10 foram observadas e analisadas por microscopia electrónica de varrimento (MEV-EDS). Na difracção de raios X (DRX), analisaram-se as amostras CSP 7 e CSP 8, uma vez que não foi possível por MEV-EDS determinar em concreto que tipos de carbonatos de sódio estavam presentes nestas duas amostras.

Os resultados obtidos por difracção de raios X e por microscopia electrónica de varrimento permitiram identificar diversos minerais de sais solúveis, nomeadamente: cloretos - halite (NaCl); sulfatos - gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$); carbonatos - trona ($\text{Na}_3\text{H}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$); e termonatrite ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

No Quadro 15, apresentam-se os minerais de sais solúveis identificados por DRX e por MEV.

Quadro 1 – Minerais de sais solúveis identificados por DRX e por MEV.

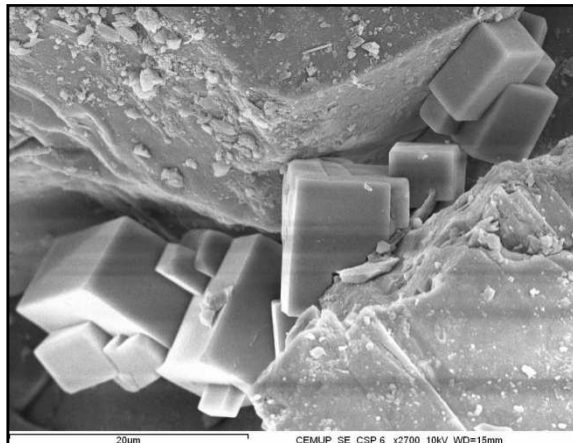
DETERIORAÇÃO	LOCALIZAÇÃO	MINERAIS DE SAIS SOLÚVEIS
Desagregação granular	Pilastra Sudeste	Halite
		Halite + gesso
	Entrada principal – lado esquerdo	Halite + gesso
	Sacristia	Gesso
Eflorescências do tipo <i>fluffy</i>	Interior da capela	Trona + termonatrite
	Sacristia	Halite + gesso

A cristalização dos minerais de sais solúveis na rede porosa do granito utilizado na Capela do Senhor da Pedra está na origem da maior parte das deteriorações da pedra. A acção destes minerais é tanto mais destrutiva, quanto maior for a sua solubilidade e higroscopicidade, quanto maiores as forças de cristalização que desenvolvem no seu processo de crescimento, bem como quanto maior o número de ocorrências de ciclos de cristalização/dissolução ou cristalização/deliquescência (Hammecker, 1993, Begonha, 2001).

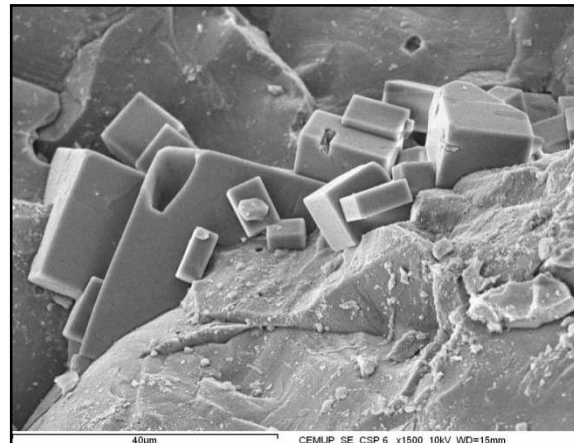
A Figura 44 apresenta quatro imagens obtidas por MEV-EDS da cristalização de minerais de sais solúveis ao longo de fissuras intragranulares no interior do meio poroso do granito.

Arnold (1984) refere que a ocorrência de sais solúveis nos materiais de construção porosos dos edifícios, sob a forma de soluções aquosas ou de cristais nos poros ou nas superfícies, está fortemente ligada à migração da água nas paredes. Aparecem concentrados nos locais onde a água se move numa direcção e se evapora, caso das zonas mais altas da humidade ascensional, lateralmente a zonas onde a água corre ao longo da superfície e zonas onde a água atinge a superfície e se evapora. Em qualquer destas zonas, os sais precipitam, quando a solução se torna saturada relativamente a um sal particular. Steiger & Zeunert (1996) mostraram que os sistemas

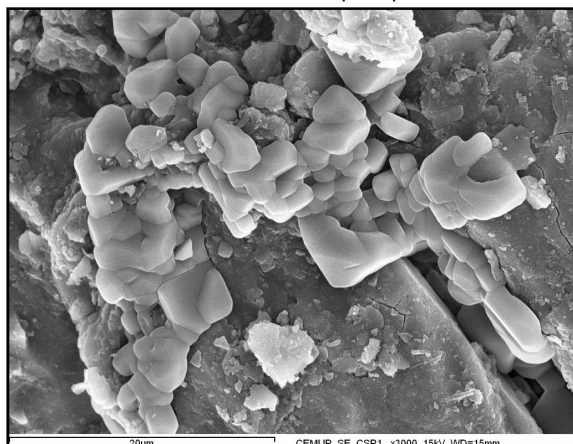
salinos que se aproximam dos que ocorrem em casos reais (constituídos por misturas de sais solúveis) diferem muito em termos das suas características físicas e químicas dos sistemas constituídos por um único sal solúvel. O conceito de humidades de saturação de um sal individual não se aplica às misturas de sais. As humidades relativas de deliquescência dos sais num sistema salino são inferiores às obtidas de soluções com um único sal (Begonha, 2004a, 2004b).



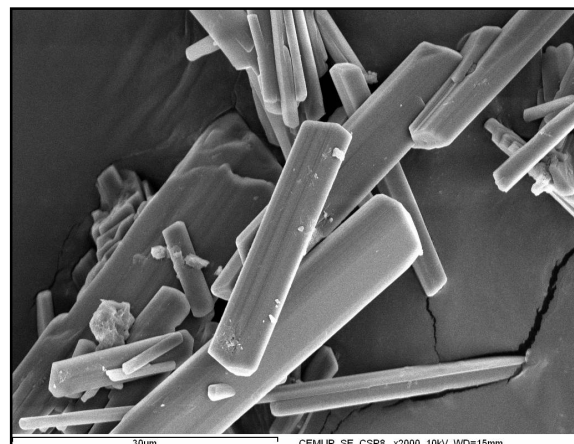
a) CSP 6 – Cristais euédricos cúbicos e prismáticos de halite em fissura de feldspato potássico



b) CSP 6 – Cristais euédricos cúbicos e prismáticos de halite



c) CSP 1 – Cristais halite



d) CSP 8 – Cristais prismáticos e aciculares de trona

Figura 3 – Cristalização de halite e trona ao longo de fissuras intragranulares.

Imagens obtidas por MEV-EDS.

De acordo com Arnold & Kueng (1985) e Arnold & Zehnder (1985, 1987), a maior parte dos hábitos cristalinos dos minerais de sais solúveis não é estável, transformando-se durante o processo de envelhecimento. Assim, devido às condições de cristalização no interior da rede porosa do granito, os minerais de sais solúveis aparecem não só sob a forma de cristais euédricos e isomórficos, mas também sob a forma de pêlos ou de cristais de hábitos prismático, acicular e tabular, formas e hábitos que se afastam dos atribuídos a esses minerais pela cristalografia clássica, exibindo ainda frequentemente figuras de dissolução.

9.1. Desagregação granular no exterior da Capela do Senhor da Pedra

As amostras de desagregação granular CSP 1, CSP 2 e CSP 6 foram analisadas e observadas por MEV-EDS.

No Quadro 16, apresentam-se os minerais de sais solúveis identificados em cada amostra. As Figuras 45 a 47 mostram imagens e espectros dos minerais de sais solúveis obtidos por MEV-EDS e ainda uma imagem de material biológico presente na amostra CSP 1.

Quadro 2 – Minerais de sais solúveis identificados por MEV-EDS nas amostras de desagregação granular no exterior da capela.

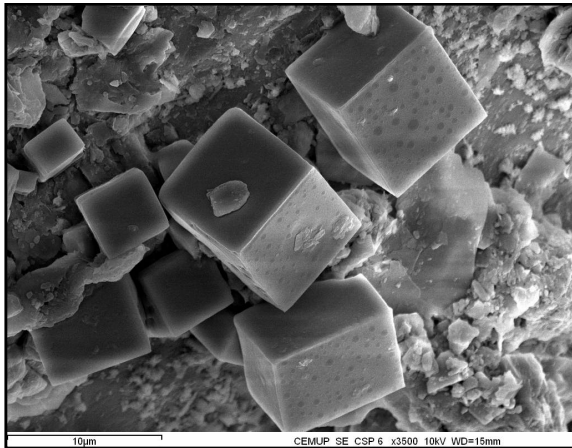
Deterioração	Localização	Amostra	Cota (m)	Minerais de sais solúveis
Desagregação granular	Pilastra orientada para Sudeste	CSP 1	0,30 – 0,68	Halite
	Pilastra orientada para Sudeste	CSP 2	1,35 – 1,65	Halite + gesso
	Entrada principal – lado esquerdo	CSP 6	3,42 – 3,57	Halite + gesso

A halite e o gesso foram os minerais de sais solúveis identificados, sendo a halite dominante. Apenas na amostra CSP 1 foi observada colonização biológica através da presença de uma diatomácea.

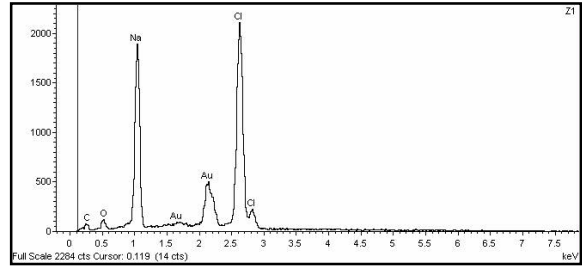
Nas amostras observadas e analisadas por MEV-EDS a halite aparece sob a forma de cristais cúbicos euédricos (Figuras 45a, 45c, 45d, 45e, 45f, 46a, 46b), cristais prismáticos (Figuras 46b, 46c), cristais com formas simples cubo+octaedro (Figura 46c), cristais com figuras de dissolução com formas simples ainda evidentes (Figuras 46d, 46e, 46f, 47a, 47b, 47c, 47d), cristais com figuras de dissolução sem formas simples evidentes (Figuras 47b, 47c, 47d, 47e, 47f) e de pequeníssimos cristais dispersos sobre os minerais constituintes do granito (Figuras 46a e 46b).

O gesso aparece sob a forma de cristais tabulares subédricos (Figuras 48c, 48e, 49a, 49c, 49d), cristais tabulares com hábito pseudo-hexagonal (Figuras 48c, 48e), cristais anédricos mais ou menos isomórficos exibindo figuras de dissolução (Figura 48f), cristais tabulares de bordos arredondados (Figuras 49c, 49d), cristais prismáticos subédricos (Figura 49a) e cristais tabulares em forma de ponta de lança (Figura 49c, 49d). O gesso está frequentemente associado à halite (Figuras 49c, 49d, 49e).

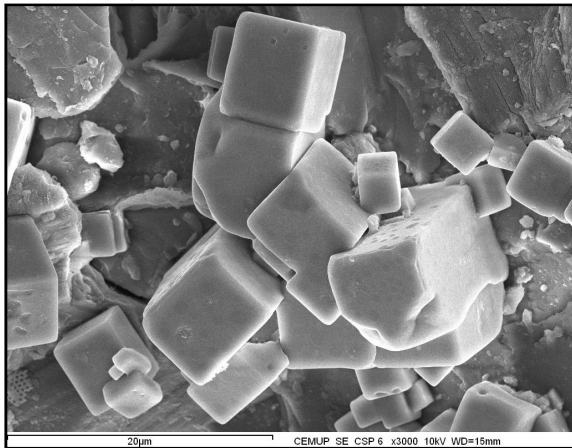
A colonização biológica é pouco intensa ou mesmo inexistente, tendo sido apenas observada na amostra CSP 1 (Figura 49f).



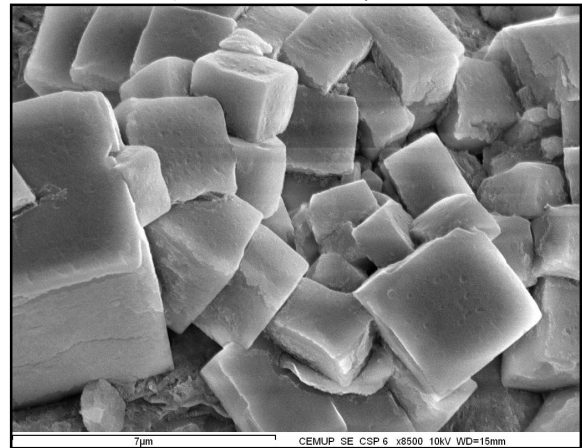
a) CSP 6 – Cristais cúbicos de halite



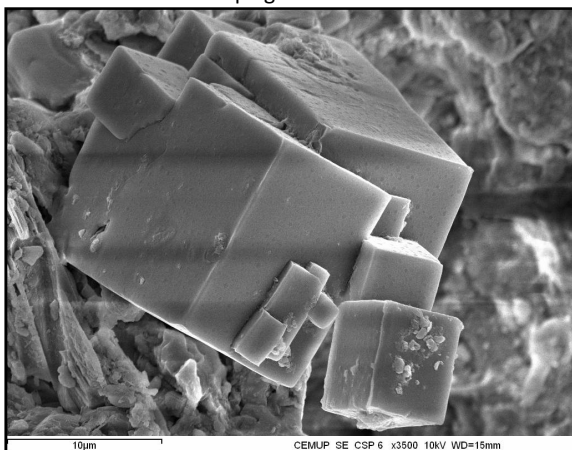
b) CSP 6 – Halite – espectro



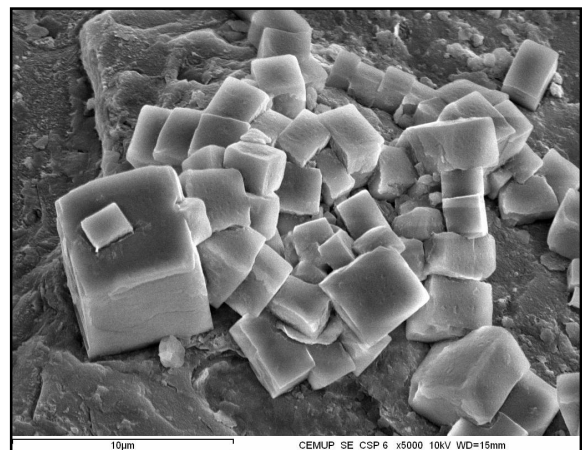
c) CSP 6 – Cristais cúbicos de halite sobre biotite e plagioclase



d) CSP 6 – Cristais cúbicos de halite sobre quartzo

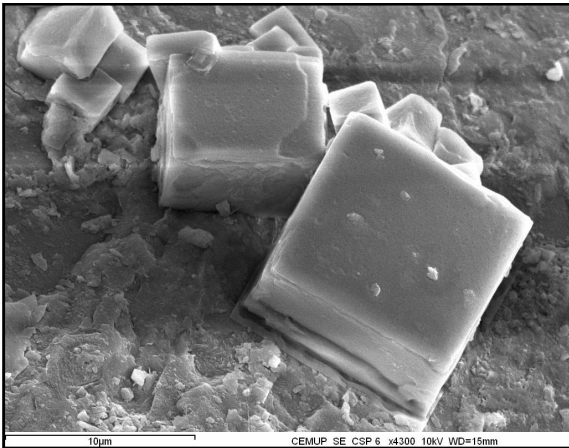


e) CSP 6 – Cristais cúbicos de halite

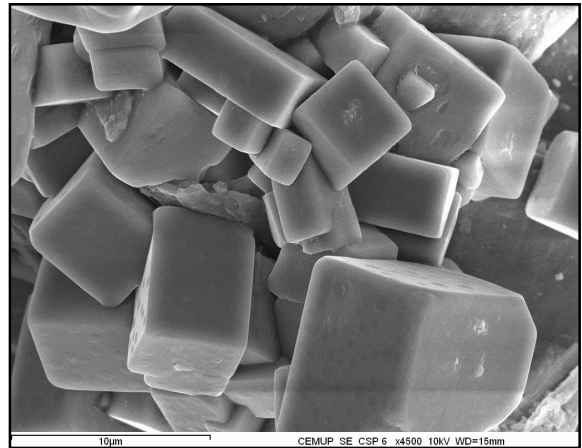


f) CSP 6 – Cristais cúbicos de halite

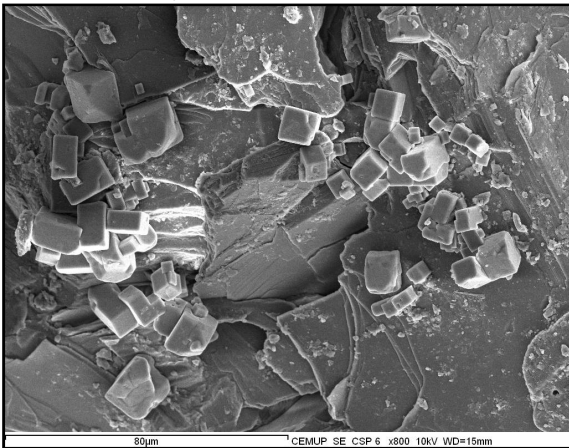
Figura 4 – Desagregação granular – Exterior da capela. Imagens e espectro da halite obtidos por MEV-EDS.



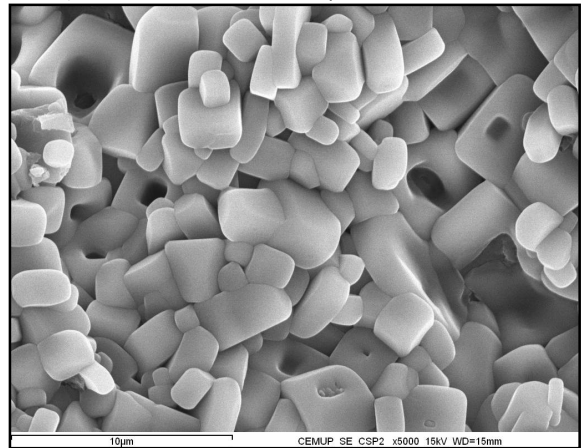
a) CSP 6 – Cubos de halite



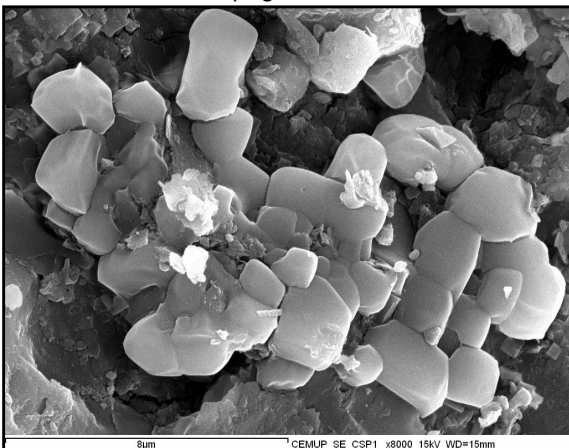
b) CSP 6 – Cristais cúbicos e prismáticos de halite



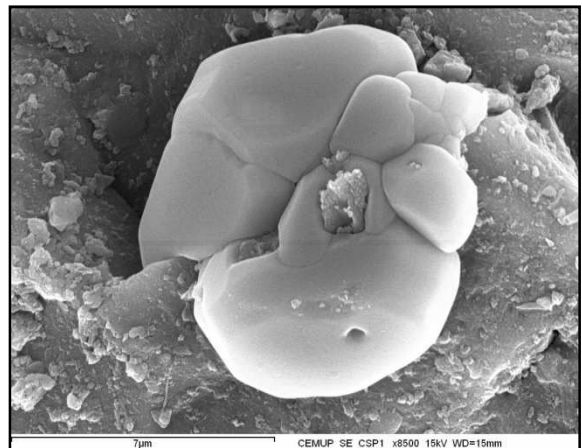
c) CSP 6 – Cristais de halite cúbicos, prismáticos e com as formas simples cubo + octaedro sobre biotite e plagióclase



d) CSP 2 – Halite com figuras de dissolução

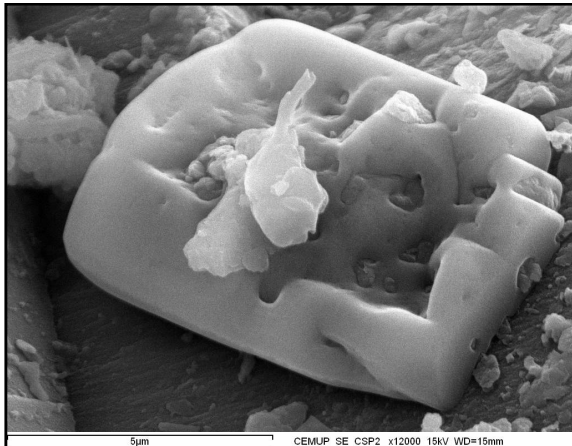


e) CSP 1 – Halite com figuras de dissolução

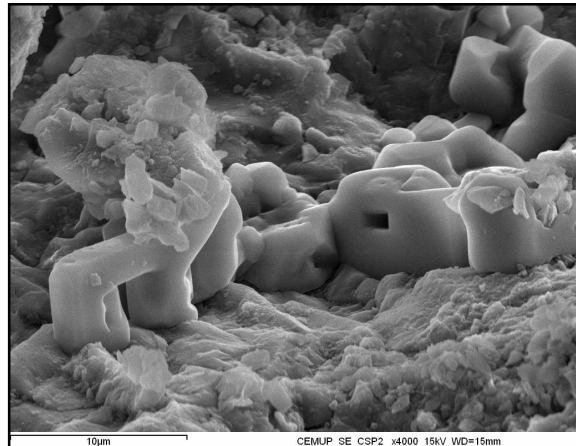


f) CSP 1 – Halite com figuras de dissolução

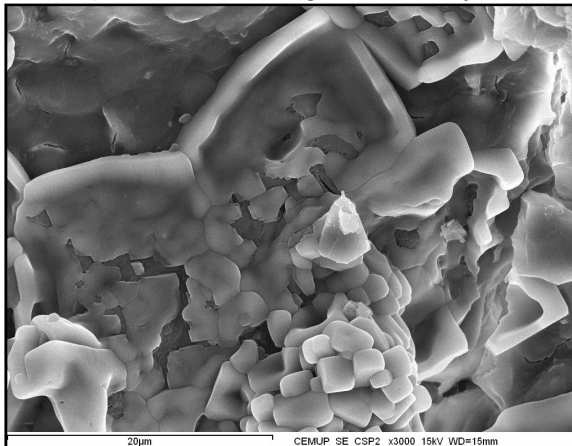
Figura 5 – Desagregação granular – Exterior da capela. Imagens da halite obtidas por MEV-EDS.



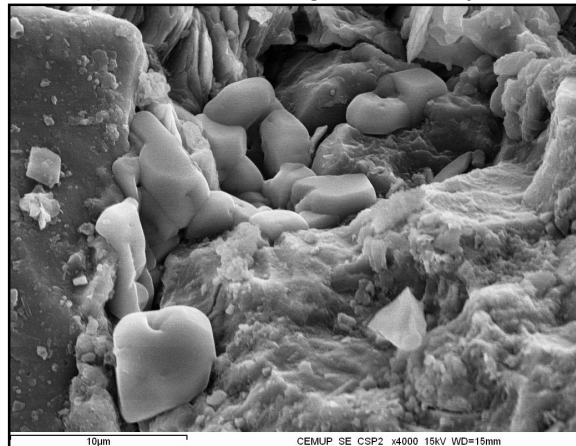
a) CSP 2 – Halite com figuras de dissolução



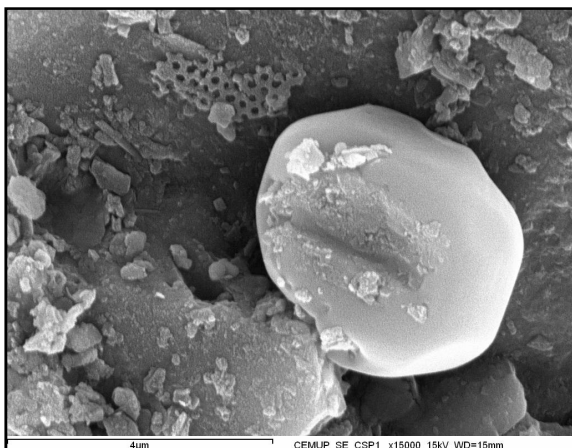
a) CSP 2 – Halite com figuras de dissolução



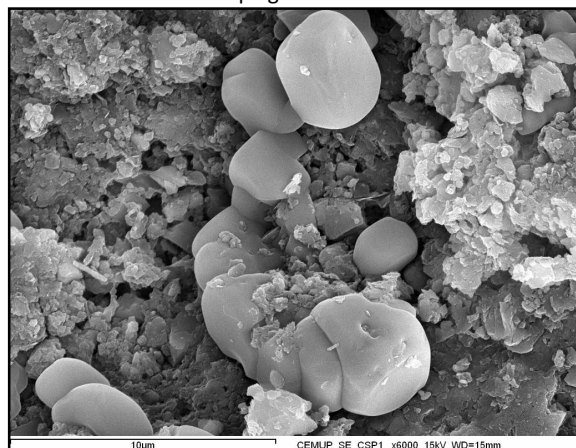
c) CSP 2 – Halite com figuras de dissolução



d) CSP 2 – Halite com figuras de dissolução sobre plagioclase

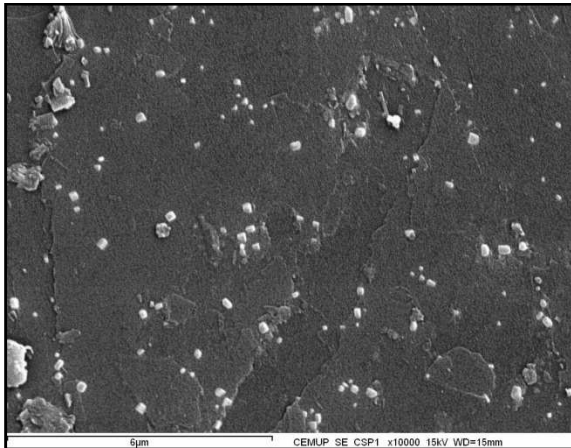


e) CSP 1 – Cristal de halite dissolvido e diatomácea

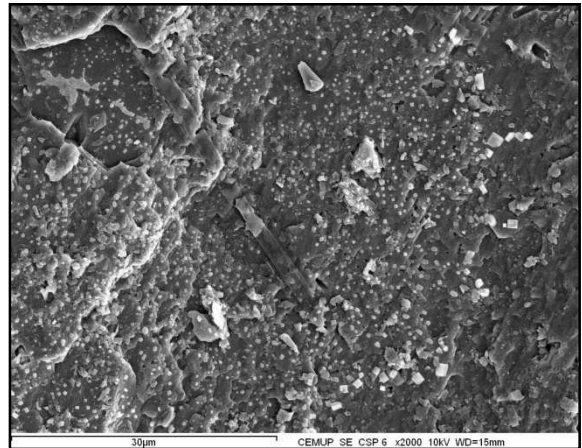


f) CSP 1 – Halite com figuras de dissolução

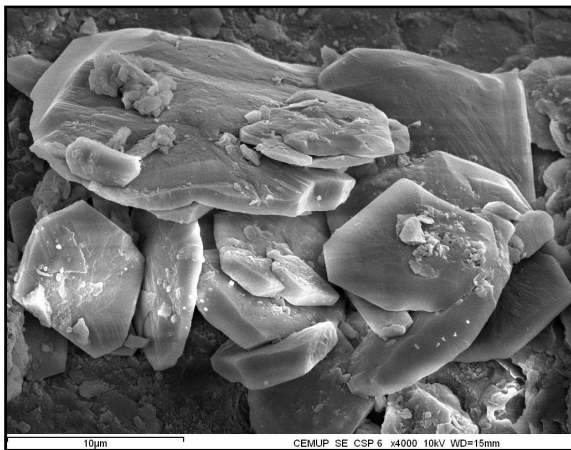
Figura 6 – Desagregação granular – Exterior da capela. Imagens da halite obtidas por MEV-EDS.



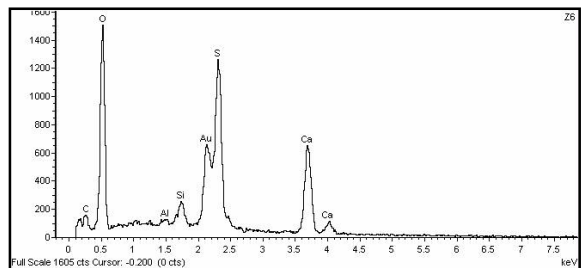
a) CSP 1 – Pequenos cristais de halite dispersos sobre biotite



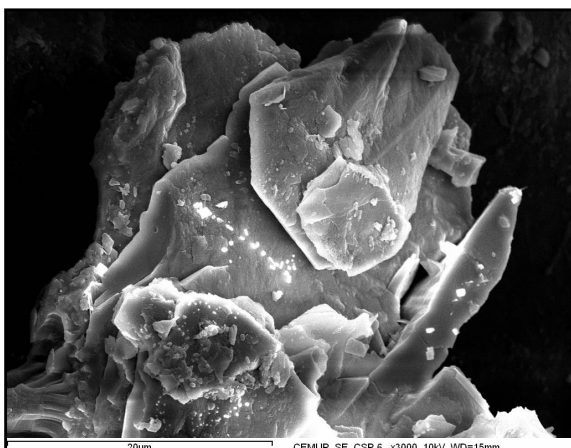
b) CSP 6 – Pequenos cristais de halite sobre os minerais constituintes do granito



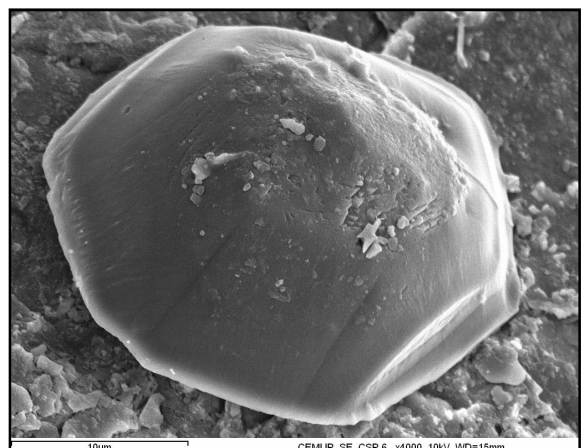
c) CSP 6 – Cristais de gesso



d) CSP 6 – Gesso – espectro

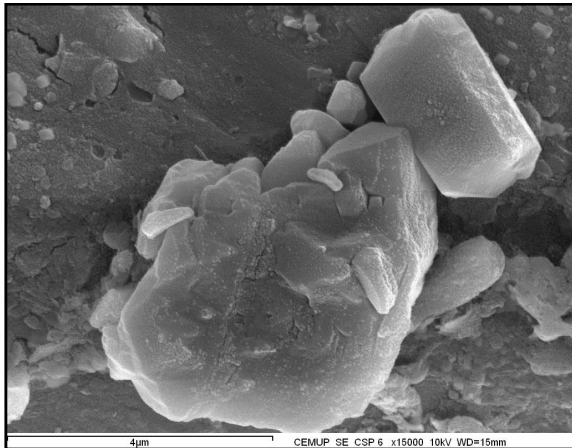


e) CSP 6 – cristais de gesso sobre feldspato potássico

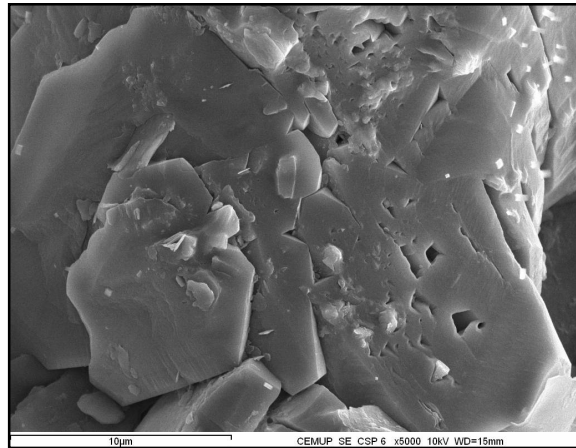


f) CSP 6 – Cristal de gesso

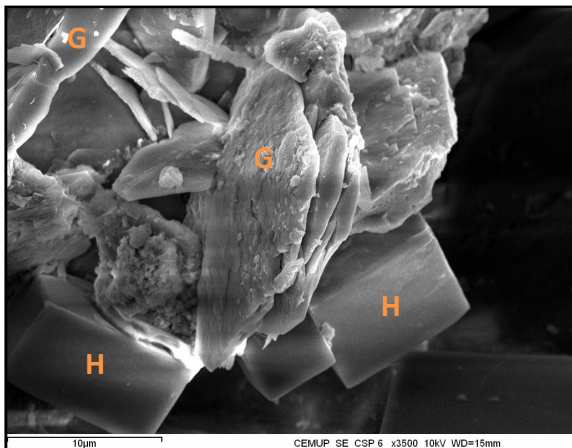
Figura 7 – Desagregação granular – Exterior da capela. Imagens da halite e gesso e espectro do gesso obtidos por MEV-EDS.



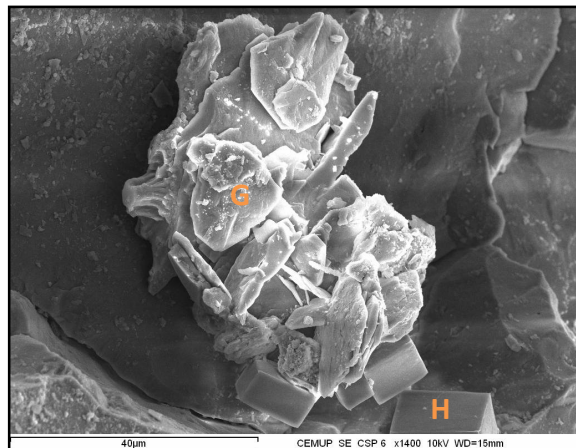
a) CSP 6 – Cristais de gesso com figuras de dissolução sobre quartzo



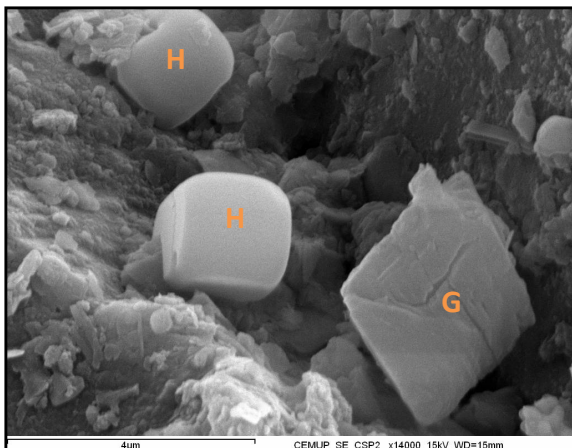
b) CSP 6 – Cristais de gesso com figuras de dissolução



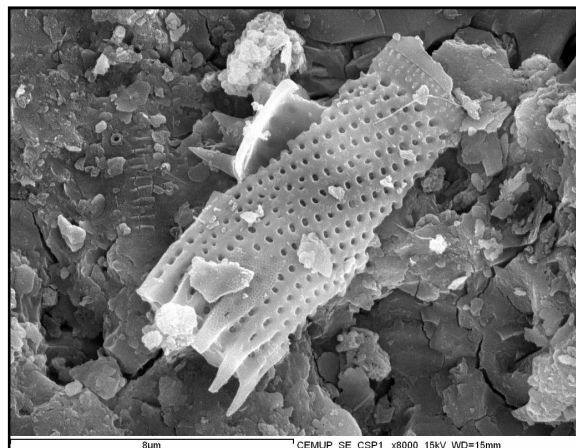
c) CSP 6 – Halite (H) e gesso (G) sobre feldspato potássico



d) CSP 6 – Halite (H) e gesso (G) sobre feldspato potássico



e) CSP 2 – Halite (H) e gesso (G)



f) CSP 1 – Fragmento de diatomácea

Figura 8 – Desagregação granular – Exterior da capela. Imagens da halite, gesso e diatomácea obtidas por MEV-EDS.

9.2. Desagregação granular existente no interior da Capela do Senhor da Pedra

A amostra de desagregação granular CSP 10 do interior da capela foi observada e analisada por MEV-EDS. O único mineral de sais solúveis presente na amostra é o gesso.

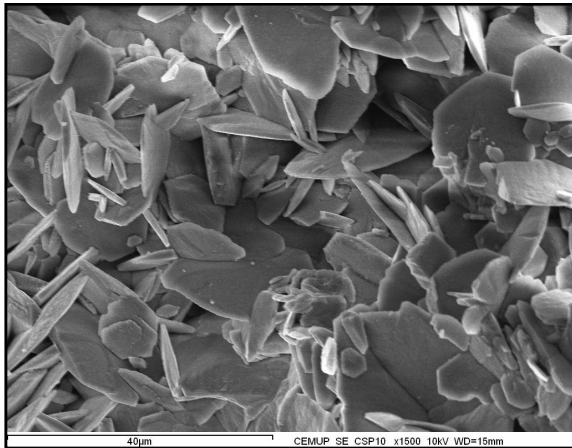
O Quadro 17 apresenta o mineral de sal solúvel identificado, bem como a localização, cota e a designação da amostra.

Quadro 3 – Mineral de sal solúvel identificado por MEV-EDS na amostra de desagregação granular no interior da capela.

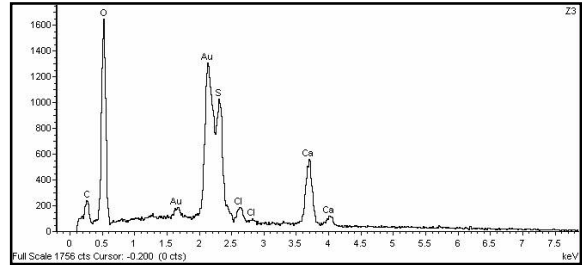
Deterioração	Localização	Amostra	Cota (m)	Minerais de sais solúveis
Desagregação granular	Sacristia	CSP 10	1,30 – 1,40	Gesso

Na Figura 50, apresentam-se as imagens e espectro do gesso obtidos por MEV-EDS.

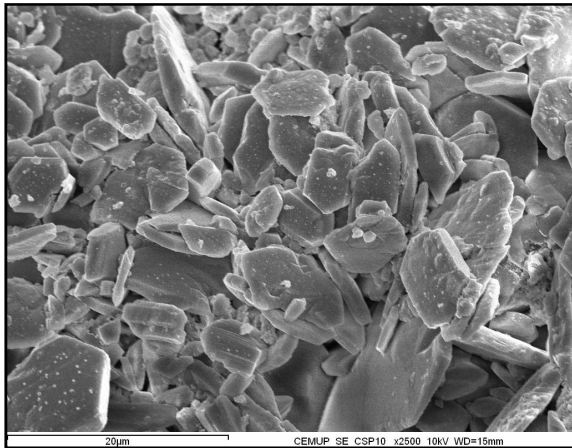
O gesso mostra-se sob a forma de cristais tabulares subédricos (Figuras 50a, 50c), cristais tabulares subédricos com hábito pseudo-hexagonal (Figuras 50a, 50c, 50e), cristais em forma de ponta de lança (Figura 50a) e massas anédricas evidenciando figuras de dissolução (Figuras 50d, 50e, 50f).



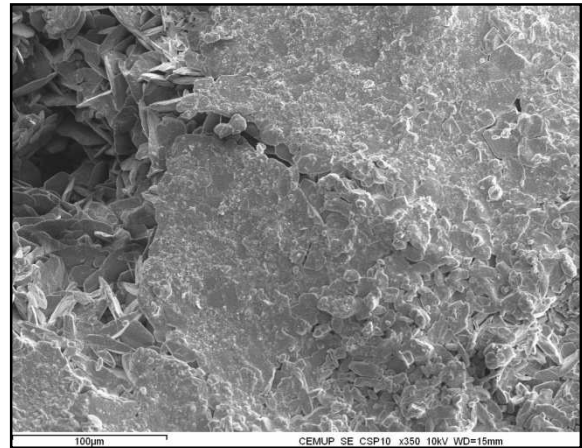
a) CSP 10 – Cristais de gesso



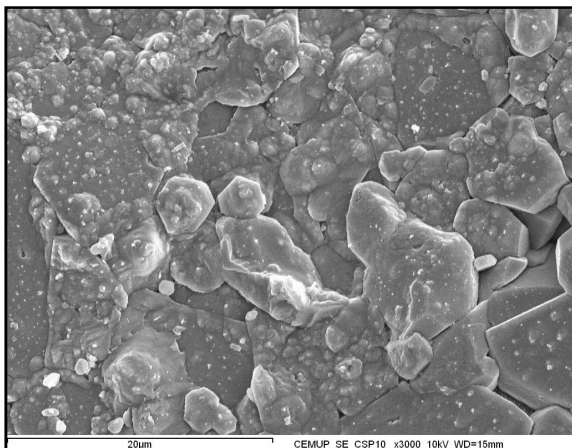
b) CSP 10 – Gesso – Espectro



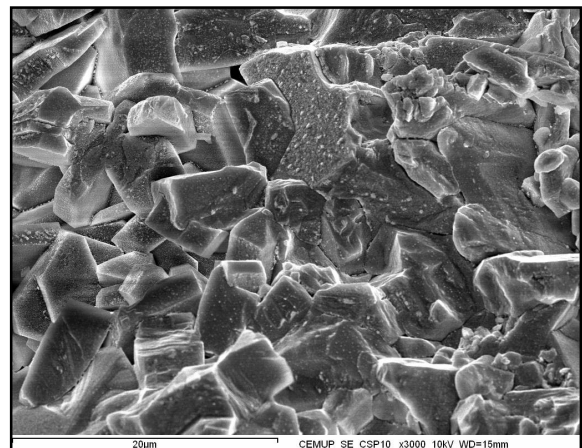
c) CSP 10 – Cristais de gesso



d) CSP 10 – Cristais de gesso com figuras de dissolução



e) CSP 10 – Cristais de gesso com figuras de dissolução



f) CSP 10 – Cristais de gesso com figuras de dissolução

Figura 9 – Desagregação granular – Interior da capela. Imagens e espectro do gesso obtidos por MEV-EDS.

9.3. Eflorescências de tipo *fluffy* existentes no interior da Capela do Senhor da Pedra

As amostras de eflorescências de tipo *fluffy* CSP 7, CSP 8 e CSP 9 foram observadas e analisadas por MEV-EDS e as amostras de eflorescência CSP 7 e CSP 8 por DRX.

No Quadro 18, indicam-se os minerais de sais solúveis presentes em cada amostra. Nas Figuras 51 e 52, mostram-se os difractogramas das amostras CSP 7 e CSP 8 e, nas Figuras 53 a 58, apresentam-se as imagens e espectros dos minerais de sais solúveis obtidos por MEV-EDS, assim como aspectos de cinzas volantes observadas nas referidas amostras. Os minerais de sais solúveis identificados por DRX nas amostras CSP 7, CSP 8 foram a trona, dominante nas duas amostras, e a termonatrite. A trona foi identificada pelos picos a 2,65 Å, 3,07-3,08 Å, 4,90 Å, 9,79 Å, 3,20 Å, 2,75-2,76 Å, 2,51 Å, 2,45 Å, 2,26 Å e 2,58 Å (Figuras 51 e 52). A termonatrite foi identificada pelos picos a 2,77 Å, 2,37 Å, 2,76 Å, 2,67 Å, 5,37 Å, 5,27 Å e 2,48 Å (Figura 51).

Na amostra CSP 9, os minerais de sais solúveis encontrados foram a halite e o gesso. Ainda nesta amostra, observam-se cinzas volantes.

Quadro 4 – Minerais de sais solúveis presentes nas amostras.

Deterioração	Localização	Amostra	Cota (m)	Minerais de sais solúveis
Eflorescências de tipo <i>fluffy</i>	Capela	CSP 7	2,86 – 2,91	Trona + termonatrite
	Capela	CSP 8	1,49 – 1,55	Trona + termonatrite
	Sacristia	CSP 9	1,30 – 1,40	Halite + gesso

A trona exhibe-se sob a forma de cristais prismáticos e aciculares euédricos e subédricos (Figuras 53a, 53c, 53d, 53e, 53f, 54a, 54b, 54c, 54d, 55a, 55c) e de agregados prismáticos e aciculares com figuras de dissolução (Figuras 54e, 54f, 55c, 55d).

A termonatrite apresenta-se em pequenos agregados constituídos por cristais anédricos exibindo figuras de dissolução, estado associada à trona (Figuras 54e, 54f, 55a, 55c, 55d).

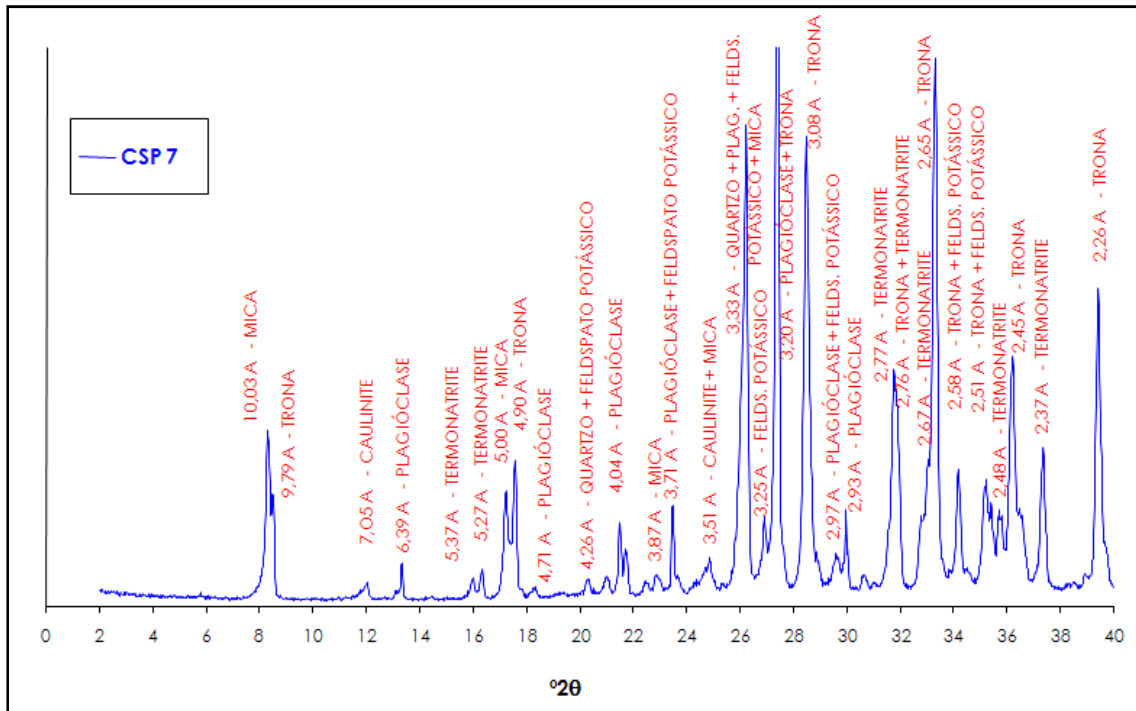


Figura 10 – Difractograma de raios X da amostra de efflorescência CSP 7.

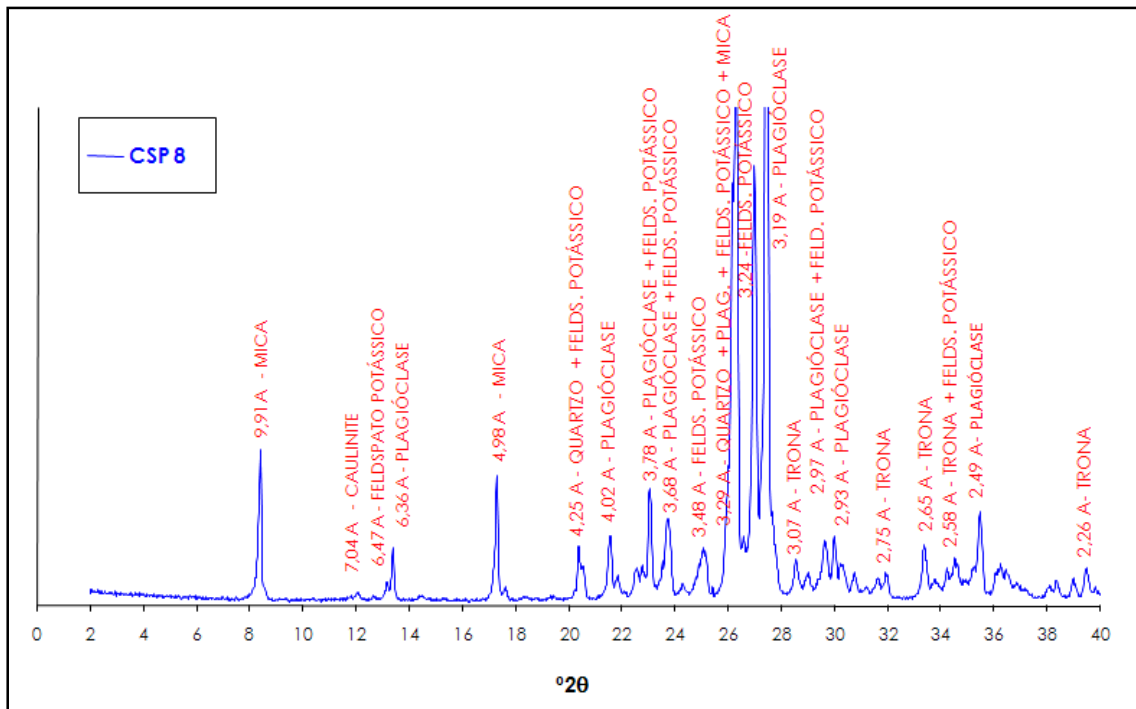
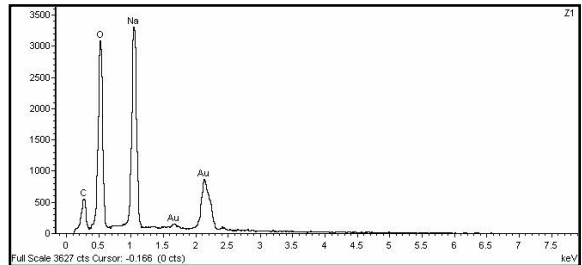


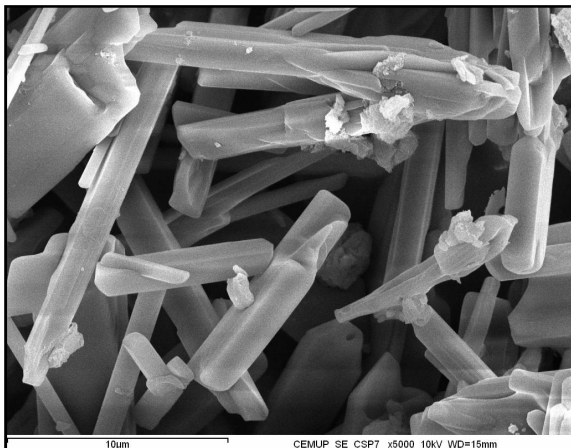
Figura 11 – Difractograma de raios X da amostra de efflorescência CSP 8.



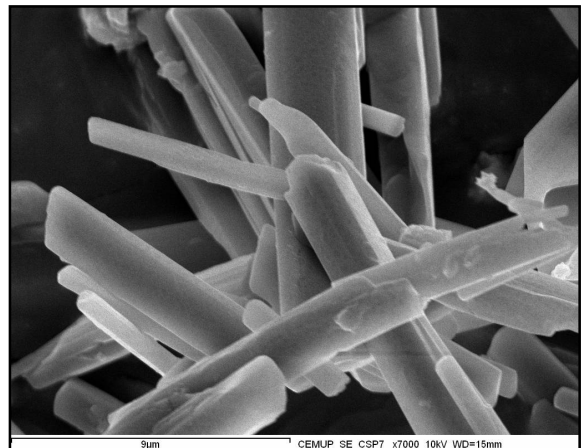
a) CSP 7 – Cristais prismáticos e aciculares de trona



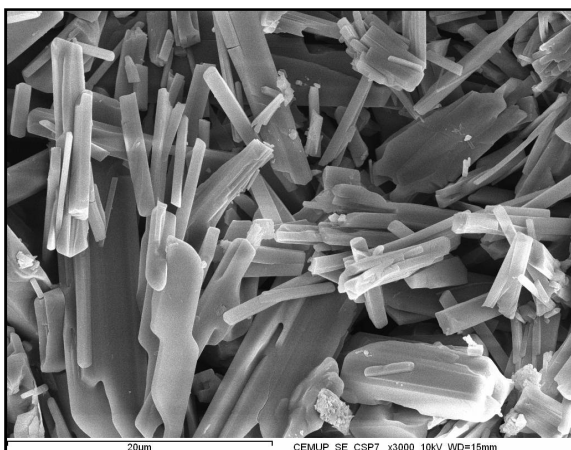
b) CSP 7 – Trona – espectro



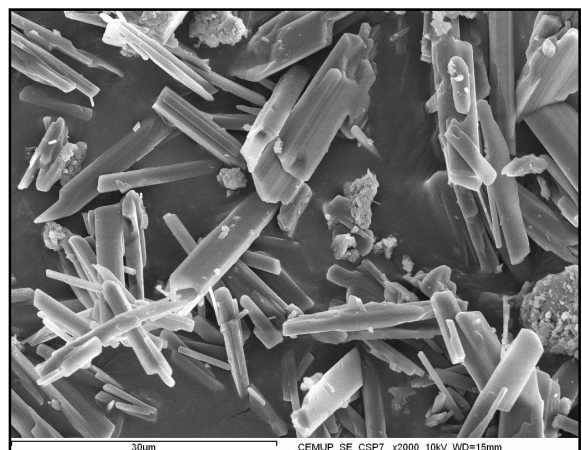
c) CSP 8 – Cristais prismáticos e aciculares de trona



d) CSP 7 – Cristais prismáticos e aciculares de trona

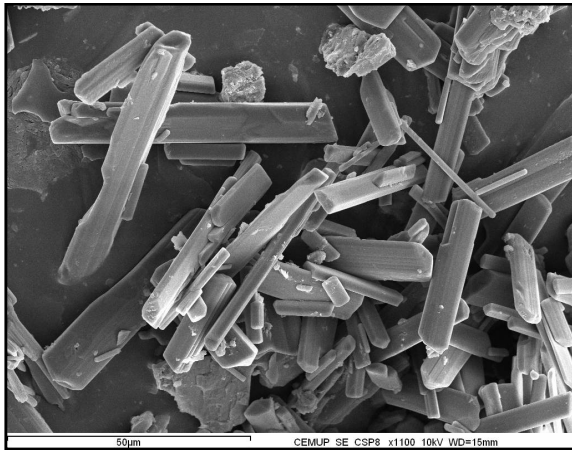


e) CSP 7 – Cristais prismáticos, aciculares e tabulares de trona

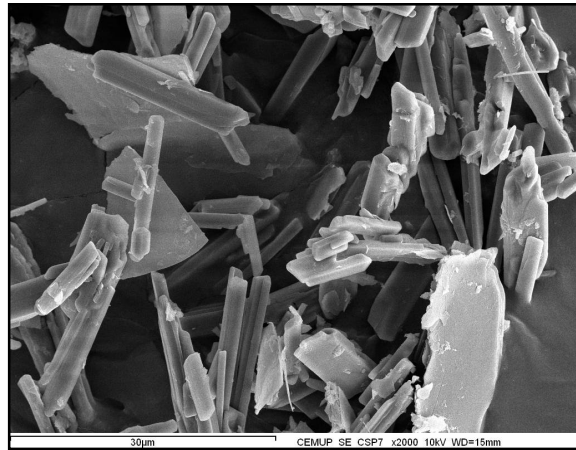


f) CSP 7 – Cristais prismáticos e aciculares de trona

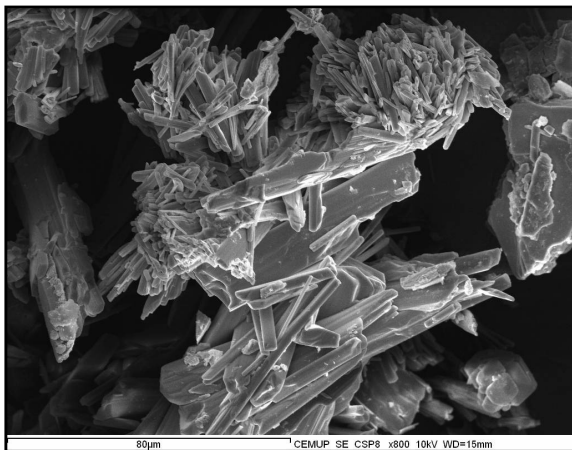
Figura 12 – Eflorescências de tipo *fluffy* – Interior da capela.
Imagens e espectro da trona obtidos por MEV-EDS.



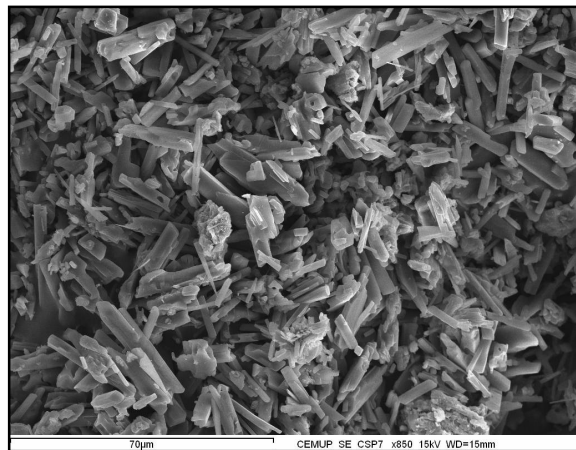
a) CSP 8 – Agregado de cristais prismáticos e aciculares de trona



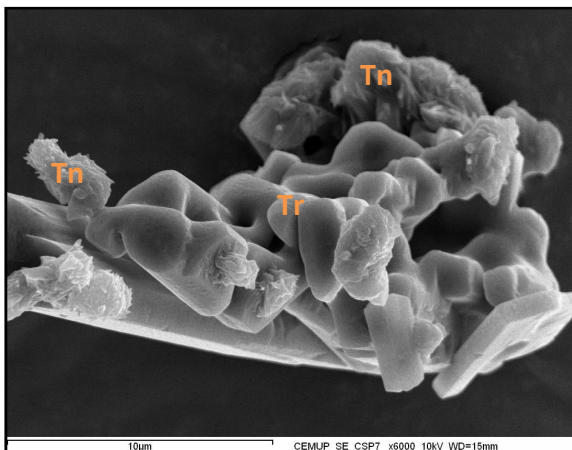
b) CSP 7 – Cristais prismáticos e aciculares de trona



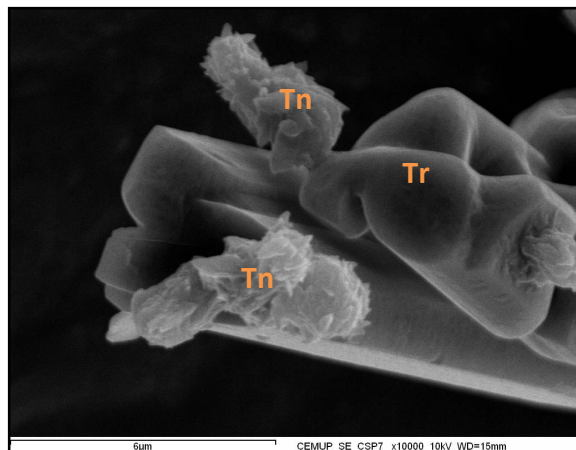
c) CSP 8 – Agregado de cristais prismáticos e aciculares de trona



d) CSP 7 – Cristais prismáticos e aciculares de trona

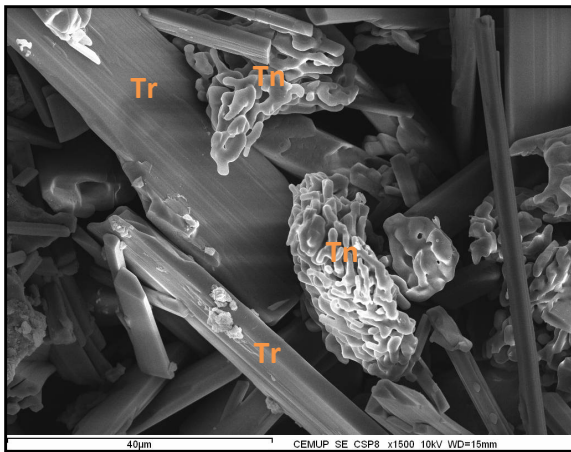


e) CSP 7 – Trona (Tr) e termonatrite (Tn)

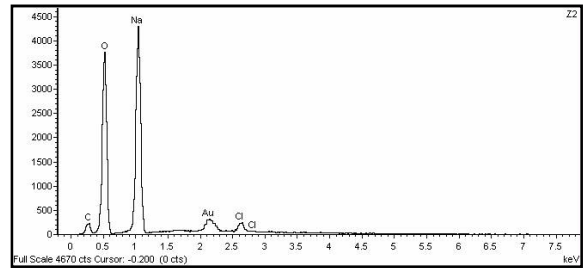


f) CSP 7 – Trona (Tr) e termonatrite (Tn)

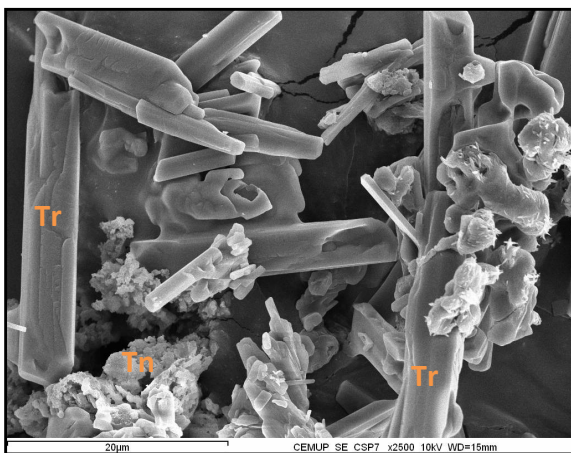
Figura 13 – Eflorescência de tipo *fluffy* – Interior da capela.
Imagens da trona e termonatrite obtidas por MEV-EDS.



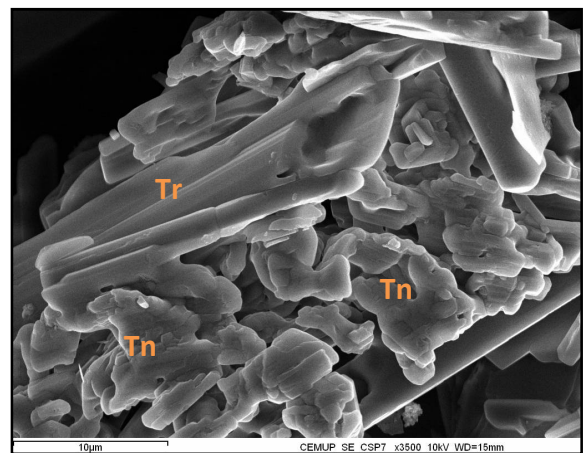
a) CSP 8 – Trona (Tr) e termonatrite (Tn)



b) CSP 8 – Termonatrite – Espectro



c) CSP 7 – Trona (Tr) e termonatrite (Tn)

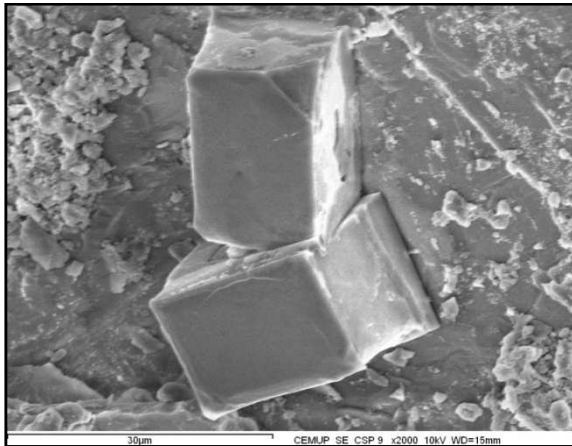


d) CSP 7 – Trona (Tr) e termonatrite (Tn)

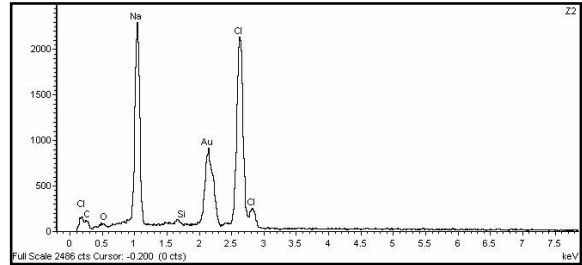
Figura 14 – Efluorescência de tipo *fluffy* – Interior da capela. Imagens da trona e da termonatrite e espectro de termonatrite obtidos por MEV-EDS.

A halite mostra-se segundo cristais cúbicos euédricos (Figuras 56a, 56c, 56d, 56e), cristais prismáticos (Figura 56c), cristais anédricos com figuras de dissolução (Figuras 56d, 56e, 56f) e cristais de pequeníssimas dimensões dispersos sobre os minerais constituintes do granito (Figura 57a).

O gesso exibe-se sob a forma de agregados de cristais lamelares e tabulares subédricos (Figuras 57b, 57c, 57e) e de cristais lamelares e tabulares anédricos, evidenciando figuras de dissolução (Figura 57f).



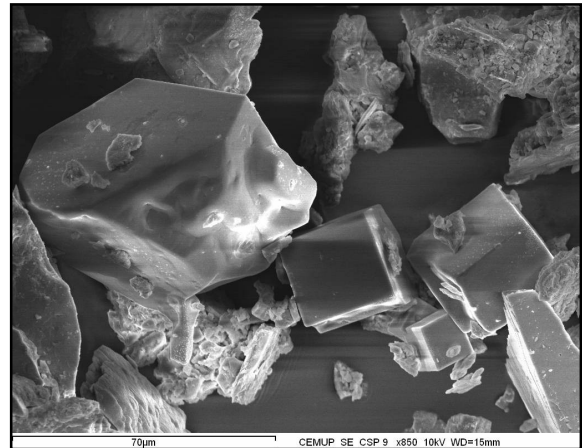
a) CSP 9 – Cristais cúbicos de halite



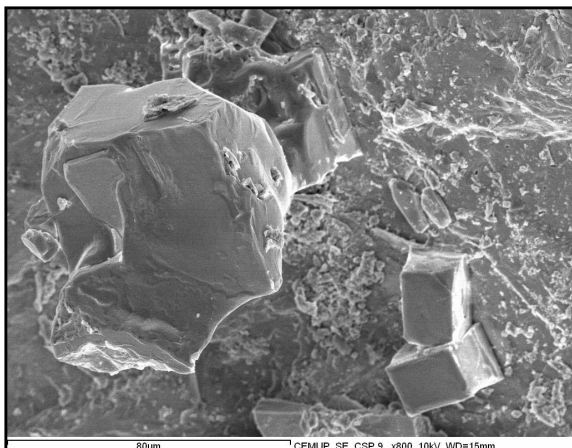
b) CSP 9 – Halite – espectro



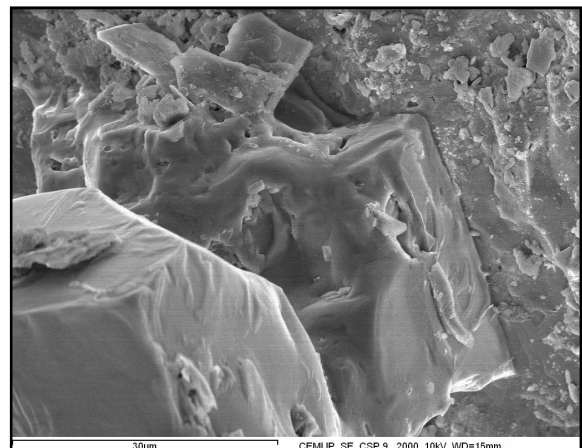
c) CSP 9 – Cristais prismáticos e cúbicos de halite



d) CSP 9 – Cristais anédricos de halite com figuras de dissolução e cristais cúbicos de halite

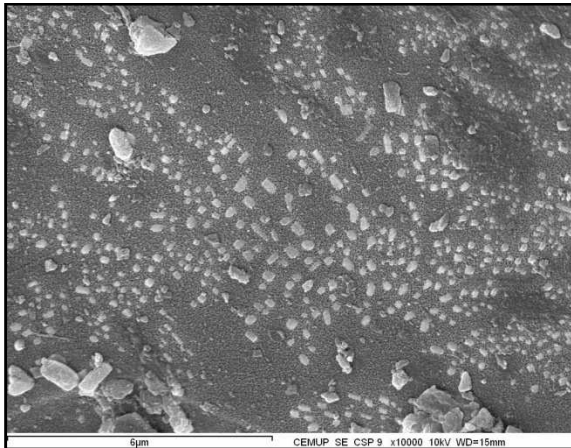


e) CSP 9 – Cristais anédricos de halite com figuras de dissolução e cristais cúbicos de halite

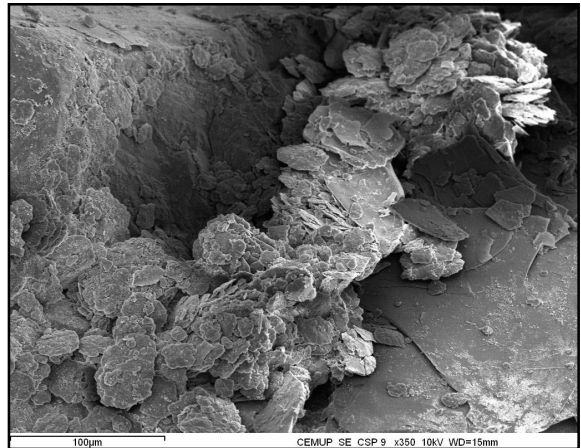


f) CSP 9 – Cristais anédricos de halite com figuras de dissolução

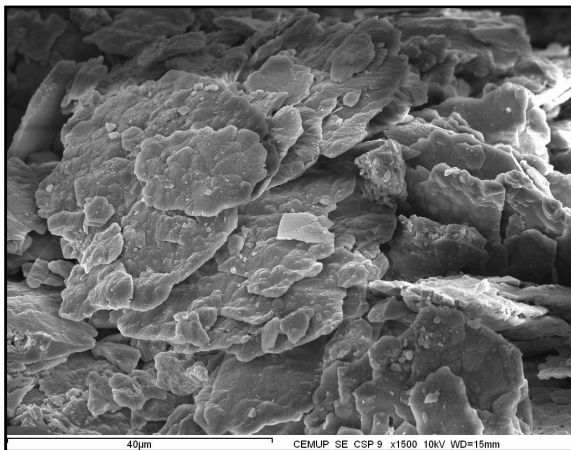
Figura 15 – Eflorescência de tipo *fluffy* – Interior da capela.
Imagens e espectro da halite obtidos por MEV-EDS.



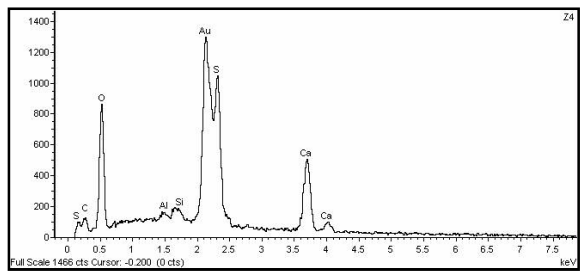
a) CSP 9 – Pequenos cristais de halite



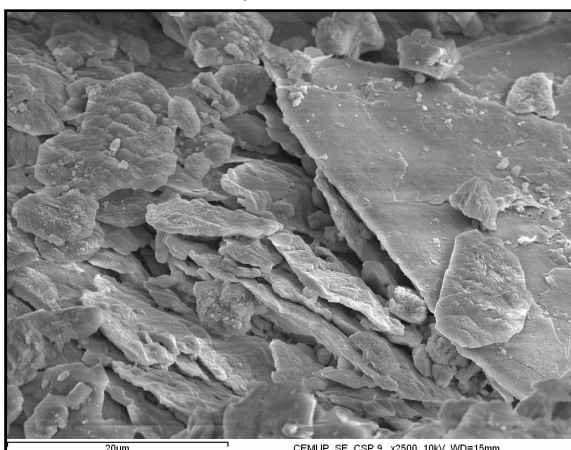
b) CSP 9 – Agregado de cristais lamelares e tabulares submícronicos de gesso feldspato potássico



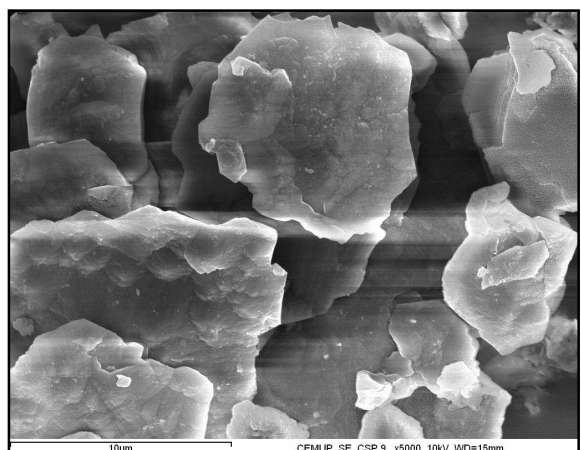
c) CSP 9 – Agregado de cristais lamelares e tabulares de gesso anédricos com figuras de dissolução sobre feldspato potássico



d) CSP 9 – Gesso – espectro



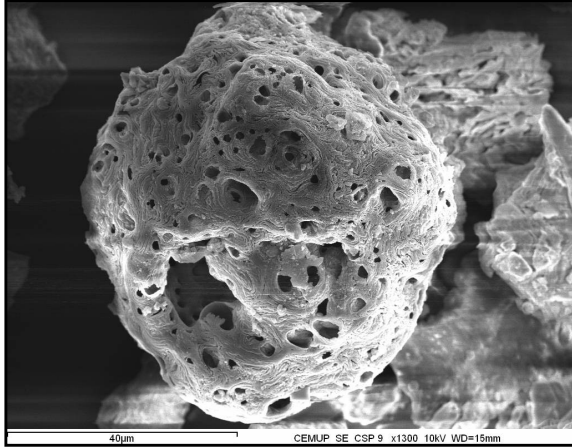
e) CSP 9 – CSP 9 – Agregado de cristais lamelares e tabulares de gesso anédricos com figuras de dissolução sobre feldspato potássico



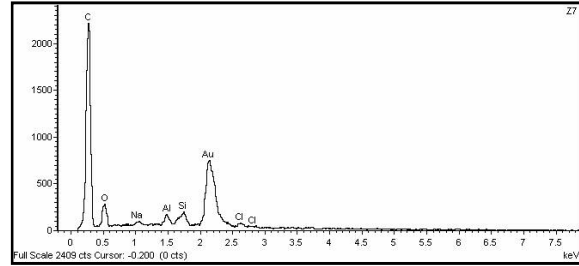
e) CSP 9 – Agregado de cristais lamelares e tabulares de gesso anédricos com figuras de dissolução

Figura 16 – Eflorescência de tipo *fluffy* – Interior da capela. Imagens da halite e do gesso e espectro do gesso obtidos por MEV-EDS.

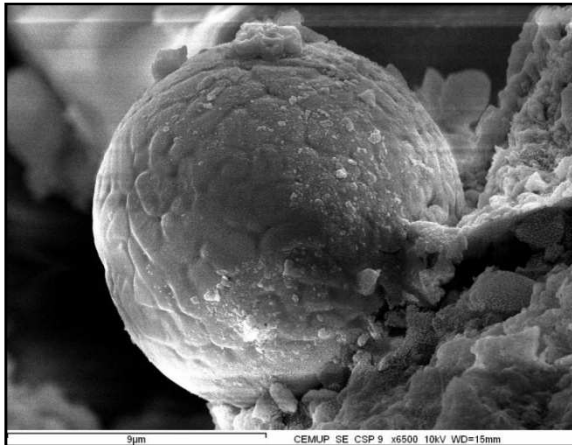
Na efluorescência CSP 9, observaram-se apenas duas cinzas volantes de dois tipos distintos. Cinzas volantes porosas de natureza carbonosa (Figura 56a) e cinzas volantes de superfície rugosa constituídas por óxido de ferro (Figura 56c).



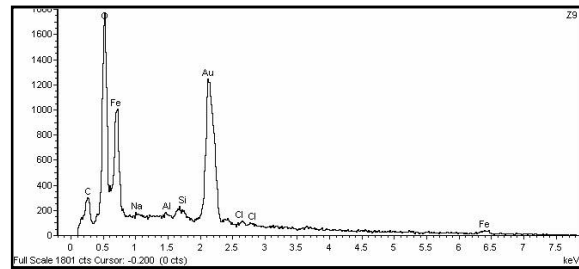
a) CSP 9 – Cinza volante porosa de composição carbonosa



b) CSP 9 – Cinza volante porosa - Espectro



c) CSP 9 – Cinza volante de superfície rugosa constituída por óxido de ferro



d) CSP 9 – Cinza volante rugosa - Espectro

Figura 17 – Efluorescência de tipo *fluffy* – Interior da capela. Imagens e espectros de cinzas volantes obtidas por MEV-EDS.

2. ANÁLISE DE RESULTADOS

10. Análise de resultados

As pedras de Granito de Lavadores utilizadas na construção da Capela do Senhor da Pedra têm, em muitos casos, consideráveis graus de meteorização.

Efectivamente, os valores da densidade aparente, da porosidade livre às 48 horas e da porosidade total ao mercúrio variam respectivamente entre 2,36 e 2,47, entre 4,42% e 5,35% e entre 5,09% e 5,44%, mostrando que as pedras de granito apresentavam diferentes graus de meteorização herdados da pedreira. Nos granitos sãos, a densidade aparente varia de 2,64 a 2,65 e a porosidade livre às 48 horas de 0,5% a 1%.

O processo de meteorização conduziu, à formação de uma rede porosa bimodal, muito bem interligada, possibilitando a transferência por capilaridade rápida e eficaz da água do mar e de soluções salinas a partir da chuva ou do solo, e permitindo fortes fluxos de evaporação.

Com efeito, a rede porosa tem uma família principal de fissuras ($15,75 \mu\text{m} \leq d_a \leq 19,06 \mu\text{m}$) e uma família secundária ($0,30 \mu\text{m} \leq d_a \leq 0,41 \mu\text{m}$) muito bem interligadas como o comprovam os elevados valores da progressão da ascensão da franja capilar por unidade da raiz quadrada do tempo ($4,5040 \text{ g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1/2} \leq B \leq 5,9952 \text{ g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1/2}$ em provetes com $4,42\% \leq N_{48} \leq 5,35\%$) e do fluxo de evaporação ($-0,0024 \text{ g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1} \leq q \leq -0,0039 \text{ g}\times\text{cm}^{-2}\times\text{h}^{-1}$).

Estes resultados estão aliás em conformidade com os referidos em diversos trabalhos realizados em monumentos graníticos do Norte de Portugal continental (Begonha et al., 1994, Alves, 1997, Begonha, 2000, 2001a, 2002b, 2002c, 2002d, 2003a, 2003b, 2004, Ferreira, 2004, Moutinho, 2005, Fojo, 2006, Costa Leite, 2008, Cardoso, 2008).

O fenómeno de deterioração da pedra teve como consequência o aumento da abertura das duas famílias de fissuras e, conseqüentemente, o aumento da porosidade. Assim, os diâmetros da família principal de fissuras e da família secundária aumentaram respectivamente para $30,16 \mu\text{m}$ e $2,71 \mu\text{m}$ na amostra meteorizada e afectada por desagregação granular de intensidade forte CSP 14. A porosidade total ao mercúrio aumentou de 5,09% - 5,44% para 8,92%, a razão $N_{\text{HgR}}/N_{\text{Hg}}$ aumentou de 83% - 84% para 93% e a razão N_{μ}/N_{Hg} diminuiu de 62% - 66% para 43%.

A desagregação granular com alveolização é o tipo de deterioração mais generalizado e o que mais danos origina na Capela do Senhor da Pedra. A maior parte da deterioração da pedra é resultado da cristalização de minerais de sais solúveis no interior da rede porosa do granito. Amorosos & Fassina (1983) e Arnold & Zehnder (1987, 1988, 1989) referem que qualquer sal solúvel é um potencial agente de degradação dos meios porosos, nomeadamente da pedra natural.

A penetração, transferência capilar e evaporação das soluções salinas provenientes do mar, do solo e das águas da chuva, bem como as variações do teor de humidade do ar, importantes devido à localização geográfica da capela junto ao Oceano Atlântico, conduzem a ciclos alternados de cristalização e dissolução/deliquesência total ou parcial dos minerais de maior solubilidade e/ou higroscopicidade, principalmente da halite (Bré et al., 2008).

Segundo Begonha (2004a), em cada ciclo, durante a fase de cristalização dos minerais de sais solúveis no interior da rede porosa do granito, desenvolvem-se forças de cristalização que acabam por provocar ou o desgaste dos grão ou a formação de planos de debilidade que originam, a desagregação granular ou as placas e plaquetas. Os minerais de sais solúveis não reagem portanto quimicamente com os minerais constituintes do granito. A sua acção é mecânica (Begonha, 2001, 2005). Os ciclos alternados de cristalização e dissolução/deliquesência dos minerais de sais solúveis devem ser a causa das figuras de dissolução da maior parte dos cristais de minerais de sais solúveis, incluindo minerais com menor solubilidade como o gesso.

O zonamento em altura dos minerais de sais solúveis nas zonas afectadas pela ascensão de soluções salinas a partir do solo no exterior da capela, não foi observado, não se confirmando a teoria proposta por Arnold (1984) e Arnold & Zehnder (1987, 1988, 1989). Este facto resulta de todas as áreas das fachadas da Capela do Senhor da Pedra estarem sujeitas simultaneamente à acção directa do mar através da deposição de gotículas e aerossóis, transportados por ventos fortes e resultantes do embate das ondas nos rochedos e dos nevoeiros salinos, e à transferência capilar de soluções salinas, ricas sobretudo nos iões sódio e cloreto a partir do solo e da água da chuva. Assim se explica a presença de halite não só a cotas mais altas, mas igualmente a cotas mais baixas.

A desagregação granular de intensidade forte e os alvéolos estão presentes em todas as fachadas, mas as pedras que se encontram orientadas para Sul e Oeste estão particularmente expostas à deposição de gotículas e aerossóis de água do mar e aos episódios de precipitação, exibindo a desagregação granular de mais forte intensidade e maior número de alvéolos.

A observação e análise por microscopia electrónica de varrimento das amostras de desagregação granular mostrou que a halite é o mineral de sais solúveis dominante.

A origem da halite não deverá resultar do fenómeno de ascensão capilar de águas a partir do solo, mas de um processo de concentração a partir não só da acção directa da água do mar e da chuva, mas também da água da chuva que atinge as pedras do topo da cornija e se transferem por capilaridade a partir da mesma. Os sais solúveis também cristalizam na superfície exterior das pedras, formando eflorescências. As eflorescências, embora por si só não provoquem danos significativos, contribuem para o aspecto inestético das superfícies, indicando a presença de

elevadas concentrações de sais solúveis, sais esses, que se encontram na génese da desagregação granular e alvéolos.

A origem dos carbonatos de sódio trona e termonatrite presentes em eflorescências no interior da Capela do Senhor da Pedra deverão ter origem na reacção entre as humidades ascensionais e as argamassas de cimento empregues na colagem das placas de granito e no fechamento de juntas.

3. PROPOSTA DE TRATAMENTO DA PEDRA

11. Proposta de tratamento da pedra

Após a análise detalhada das várias técnicas de tratamento, verificou-se que, embora existindo outras possibilidades, a proposta mais adequada ao tipo de deteriorações associadas a este caso prático são as seguidamente descritas, uma vez que se apresentam como as mais económicas, de mais fácil aplicação e que a experiência tem mostrado conduzirem a bons resultados.

Para a limpeza e tratamento da pedra da Capela do Senhor da Pedra propõe-se a seguinte metodologia que compreende as seguintes fases:

- limpeza da pedra;
- limpeza e preenchimento das juntas;
- eliminação da colonização biológica;
- consolidação das áreas mais intensamente afectadas por desagregação granular;
- hidrofugação das superfícies tratadas.

Nas zonas mais baixas dos monumentos, sujeitas à ascensão de soluções salinas a partir do solo, a metodologia proposta só conduzirá a uma diminuição ou eliminação do processo de decaimento da pedra, se forem implementadas medidas que permitam uma drenagem eficaz das águas superficiais e evitem a ascensão capilar das águas. No caso presente, esta medida é de muito difícil ou mesmo quase impossível execução, uma vez que o monumento se encontra muito perto do nível médio das águas do mar, na zona de salpicos e por vezes sujeita a acção das marés.

Os trabalhos de intervenção deverão ser efectuados por empresas e técnicos de restauro com experiência preferencialmente na limpeza e tratamento de edifícios construídos com rochas graníticas, dadas as suas características específicas.

11.1. Limpeza da pedra

As pedras deverão ser limpas com uma escova macia, de modo a retirar as poeiras e a sujidade sem danificar o substrato pétreo. A escovagem deverá ser realizada a seco.

11.2. Limpeza e preenchimento das juntas

Dever-se-á proceder à remoção das argamassas de cimento usadas no preenchimento de muitas das juntas existentes, dado o seu efeito nefasto sobre as pedras. Estas argamassas, bem como as de cal que se encontrem deterioradas deverão ser retiradas por meios mecânicos sem danificar as pedras e, seguidamente, limpas com ar comprimido.

Após a limpeza, as juntas deverão ser preenchidas com uma argamassa pouco reactiva e com areias de granulometria adequada.

A aplicação das argamassas nas fachadas Sul e Oeste, orientadas para os ventos fortes associados a episódios de precipitação, deverá ser extremamente cuidada, de modo a impedir a percolação das águas através das juntas.

11.3. Eliminação da colonização biológica

Em áreas onde se verifica o crescimento de líquenes e microorganismos, deve-se proceder à sua eliminação através da aplicação de um biocida apropriado à base de sais de amónio quaternário. Este método foi referido por Castro (1984) e recomendado por Malagodi et al. (2000) em pedras de mármore e por Delgado Rodrigues e Costa (2000) e Begonha (2004a, 2004b, 2005) em pedras graníticas respectivamente no Mosteiro de Tibães, Convento de São Gonçalo de Amarante, Igreja Matriz de Caminha e Igreja de Nossa Senhora da Lapa no Porto.

Nas áreas onde a colonização se verifica mais intensa, poderá ser necessário aumentar o número de aplicações, as quais podem ser efectuadas a pincel ou com aspersor e seguindo criteriosamente as instruções do fabricante e as recomendações do mesmo relativamente à protecção a ter com o técnico aplicador e outras pessoas próximas do local. Durante a aplicação e período de acção do produto, as áreas tratadas devem ser protegidas da chuva e deposição de gotículas e aerossóis marinhos.

A raspagem dos líquenes vivos evidencia uma componente esverdeada subjacente. Quando tal suceder, será necessário efectuar nova aplicação do biocida. Após um período não inferior a quatro semanas de actuação (com confirmação de que todos os exemplares estão mortos), a colonização biológica deverá ser removida com escovas macias de piaçaba ou de nylon e, eventualmente, com o auxílio de pequenas quantidades de água, de preferência pelo sistema de água nebulizada. A limpeza deverá ser realizada de modo a que o edifício exiba uma *patine* o mais homogénea possível, e não se observem contrastes inestéticos nos tons das cores finais.

Mesmo os biocidas mais eficazes não impedem a recolonização biológica a médio ou longo prazo, devendo por isso proceder-se à sua reaplicação com certa regularidade.

11.4. Consolidação das áreas mais afectadas por desagregação granular

Nas pedras mais intensamente afectadas pela desagregação granular, dever-se-á aplicar um produto destinado a consolidar as zonas onde a coesão da rocha é fraca ou quase nula.

O consolidante a utilizar deverá ser à base de ortossilicato de tetraetilo, disponível em várias marcas no mercado. Este tipo de produto foi estudado e/ou aplicado em diversos monumentos graníticos nacionais por Castro (1984), Delgado Rodrigues e Costa (2000), Ferreira Pinto e Delgado Rodrigues (2001), Begonha (2003a), Fojo (2006), Costa e Delgado Rodrigues (2008) e Begonha e Fojo (2008) e na Coreia por Kim et al. (2008). Ferreira Pinto e Delgado Rodrigues (2008), Bracci et al. (2008) e Clercq e Zanche (2008) aplicaram em mármore e calcários.

A aplicação do consolidante deverá ser efectuada por um técnico experiente em restauro.

A presença de quantidades significativas de minerais de sais solúveis, não visíveis macroscopicamente nas pedras afectadas por desagregação granular, em virtude destes minerais cristalizarem no interior da rede porosa do granito, pode diminuir a eficácia destes produtos, pelo que se recomenda a realização de aplicações experimentais do consolidante no local, bem como a realização de ensaios em laboratório, incluindo ensaios de envelhecimento.

O consolidante deve ser aplicado até rejeição aparente, de modo a conseguir-se uma profundidade de penetração o maior possível, seguindo-se as instruções do fabricante. As pedras deverão estar limpas e secas, não podendo o produto ser aplicado em superfícies molhadas. Após a aplicação, o produto tem um tempo de cura, de pelo menos três semanas, pelo que as superfícies consolidadas deverão continuar protegidas da chuva e das gotículas e aerossóis marinhos durante este intervalo de tempo.

Relativamente a eventuais alterações cromáticas das superfícies tratadas com o consolidante, ensaios anteriormente efectuados em dois tipos de granitos usados em São Pedro de Rates, em que foram aplicados consolidantes à base de ortossilicato de tetraetilo (Begonha, 2003a) e em dois granitos da Igreja Matriz de Caminha (Fojo, 2006) mostraram não existir qualquer variação cromática significativa, nos provetes dos granitos estudados, mesmo após a realização de ensaios de envelhecimento acelerados. No entanto, recomenda-se a execução de ensaios laboratoriais que possam confirmar os resultados obtidos nos granitos empregues em São Pedro de Rates e na Igreja Matriz de Caminha.

11.5. Aplicação de um produto hidrófugo

A redução da entrada de água por capilaridade, após a aplicação de um consolidante, não impede a entrada, quer das soluções salinas a partir do solo quer das águas da chuva e do mar, não reduzindo, assim, significativamente a progressão dos processos de deterioração da pedra. É também necessário recorrer à aplicação de um produto hidrófugo após o período de cura do consolidante. De salientar que, não é recomendável a aplicação de um produto simultaneamente

consolidante e hidrófugo, dado que ensaios anteriormente realizados (Begonha, 2003a) mostraram que a profundidade de penetração deste tipo de produtos é insuficiente.

O produto hidrófugo a utilizar, deverá ser composto à base de um polisiloxano de modo a tornar as superfícies hidro-repelentes. Este tipo de produto foi estudado, recomendado e/ou aplicado em monumentos construídos com granito por Ferreira Pinto (1993), Delgado Rodrigues e Costa (2000), Ferreira Pinto e Delgado Rodrigues (2001), Begonha (2003a), Fojo (2006) e Begonha e Fojo (2008). Castro (1983) e Ferreira Pinto e Delgado Rodrigues (2001) estudaram em calcários.

O produto deve ser aplicado por um técnico de restauro, seguindo rigorosamente as instruções do fabricante. O período de eficácia de um hidrófugo não é, em geral, muito longo, pelo que se torna indispensável a sua reaplicação com certa periodicidade.

Dever-se-á ter especial atenção à aplicação do produto hidrófugo nas pedras que constituem as fachadas orientadas para Sul e Oeste, de modo a evitar a entrada e passagem de água do mar e da chuva por capilaridade através das pedras.

4. ESTUDO ECONÓMICO

12. Estudo económico

Na elaboração deste trabalho, recorreu-se a vários ensaios de diagnóstico, para determinar os agentes e mecanismo responsáveis pela deterioração da pedra.

Para o diagnóstico recorreu-se:

- à determinação da porosidade livre às 48 horas e da densidade aparente;
- à determinação da porometria com porosímetro de mercúrio;
- à determinação da absorção de água por capilaridade;
- à determinação da evaporação;
- à difracção de raios X;
- à observação e análise de sais solúveis por microscopia electrónica de varrimento.

A determinação da porometria com o porosímetro de mercúrio assumiu um custo de 100 euros mais IVA por cada amostra.

Para a observação e análise por MEV-EDS das sete amostras foi necessário realizar duas sessões, sendo de salientar que cada sessão ficou por 145 euros mais IVA.

A DRX de cada amostra analisada ficou aproximadamente por 30 euros mais IVA.

A recolha dos três tarolos assumiu um custo de 100 euros mais IVA.

O Quadro (19) apresenta o custo total inerente à elaboração do estudo das deteriorações e proposta de tratamento da Capela do Senhor da Pedra. Neste quadro, são ainda descritas todas as fases de trabalho e o mês ou meses nos quais foram executadas, bem como o seu custo. O valor para a realização do presente estudo assume uma quantia total de 6710,00 euros mais IVA.

No Quadro (20), são descritos os trabalhos necessários para o tratamento das deteriorações existentes na capela, as respectivas quantidades, bem como o preço unitário e total de cada um dos trabalhos.

Os trabalhos e produtos de tratamento a aplicar seguiram a metodologia proposta no ponto 11.

O tratamento das deteriorações que afectam as pedras graníticas da Capela do Senhor da Pedra tem um custo total de 10828,60 euros mais IVA.

Quadro 5 - Diversas fases constituintes do trabalho e respectivos custos associados a elaboração do projecto.

DESCRIÇÃO		MESES												Total
		1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º	12º	
Recolha bibliográfica	Deslocações													20,00 €
	Fotocópias													15,00 €
	Compra de Livros													45,00 €
Reconhecimento de campo e levantamento fotográfico	Deslocações													20,00 €
	Revelação de Fotografias													10,00 €
Obtenção das amostras e levantamento fotográfico	Deslocações													30,00 €
	Recolha das Amostras													120,00 €
Análise das amostras	Deslocações													60,00 €
	Porosidade Livre às 48 horas													80,00 €
	Absorção de Água por Capilaridade													440,00 €
	Evaporação													570,00 €
	Porometria com Perosímetro de Mercurio													200,00 €
	MEV-EDS													290,00 €
	DRX													60,00 €
Elaboração do estudo	Técnico Especializado													2.500,00 €
	Consultor													750,00 €
	Relatório final													1.500,00 €
Custo Total Estimado														6.710,00 €

IVA não incluído.

Quadro 6 – Orçamento para o tratamento das deteriorações presentes na capela do Senhor da Pedra.

ESTUDO ECONÓMICO						
Artº.	Designação dos trabalhos	un	Quantidade	Preço unitário	Totais Parciais	Total
	1- ESTALEIRO					
1.1	Montagem, manutenção e desmontagem de estaleiro, incluindo vedações, pré-fabricados de apoio à obra e outros equipamentos.	vg	1,00	2.250,00 €	2.250,00 €	
1.2	Montagem e desmontagem de andaimes.	m ²	253,00	4,50 €	1.138,50 €	
1.3	Aluguer dos andaimes, (preço m ² /dia=0,05€).	d	40,00	12,65 €	506,00 €	3.894,50 €
	2- TRABALHOS DE RESTAURO					
2.1	Exterior da Capela					
2.1.1	Aplicação de biocida de largo espectro.	m ²	77,00	4,50 €	346,50 €	
2.1.2	Limpeza da superfície da cantaria, por escovagem, incluindo eventual pré consolidação.	m ²	77,00	16,00 €	1.232,00 €	
2.1.3	Aplicação de biocida de largo espectro.	m ²	21,10	3,75 €	82,88	
2.1.4	Consolidação de pedras, incluindo aplicação de camada leve em toda a superfície para garantia de uniformização de cor.	m ²	77,00	27,50 €	2.117,50 €	
2.1.5	Limpeza e refechamento de juntas da cantaria.	m ²	77,00	16,00 €	1.232,00 €	
2.1.6	Aplicação de repelente de água.	m ²	77,00	4,50 €	346,50 €	5.357,38 €
2.2	Interior da Capela					
2.2.1	Limpeza da superfície da cantaria, por escovagem, incluindo eventual pré consolidação.	m ²	26,50	16,00 €	424,00 €	
2.2.2	Consolidação de pedras, incluindo aplicação de camada leve em toda a superfície para garantia de uniformização de cor.	m ²	26,50	27,50 €	728,75 €	
2.2.3	Limpeza e refechamento de juntas da cantaria.	m ²	26,50	16,00 €	424,00 €	1.576,75 €
						10.828,60€

IVA não incluído.

5. CONCLUSÕES

13. Conclusões

As deteriorações da pedra na Capela do Senhor da Pedra resultam essencialmente da cristalização de minerais de sais solúveis na rede porosa do granito.

O processo de meteorização conduziu à formação de uma rede porosa de tipo fissural, bimodal, muito bem interligada que possibilita não só a rápida e eficaz transferência de soluções salinas por capilaridade a partir do mar, da chuva e do solo, mas também a fortes fluxos de evaporação dessas soluções.

A localização geográfica da capela, inserida num ambiente marítimo, é propícia ao aparecimento de alguns dos minerais de sais solúveis identificados, principalmente a halite. A forte exposição a condições climatéricas adversas, nomeadamente a ventos fortes provenientes de Sul, Sudoeste e Norte, a elevada humidade relativa do ar, o nevoeiro e a precipitação são os grandes responsáveis pela origem, acesso e eficácia dos minerais de sais solúveis identificados nas pedras afectadas por desagregação granular e alvéolos.

As eflorescências recolhidas no interior da capela são constituídas pelos carbonatos de sódio trona e termonatrite e resultaram da reacção entre as humidades ascensionais e as argamassas de cimento empregues quer na colagem das placas de granito aplicadas em 1995 e 1996 quer no fechamento de juntas.

As eflorescências do interior da sacristia, formadas por halite e gesso resultam da transferência capilar das águas da chuva e do mar.

Com base no diagnóstico efectuado e em metodologias que se revelaram eficazes e adequadas, elaborou-se uma proposta de intervenção para a limpeza e tratamento do granito da Capela do Senhor da Pedra que compreende a limpeza da pedra, a limpeza e preenchimento das juntas, a eliminação da colonização biológica, a consolidação das áreas mais intensamente afectadas por desagregação granular e a hidrofugação das superfícies tratadas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

14. Referências bibliográficas

Aires-Barros L., 1991. Os Monumentos e a Doença da Pedra, Colóquio/Ciências, 3, n.º 9, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, pp 59-74.

Aires-Barros L., 2001, As Rochas dos Monumentos Portugueses, tipologias e patologias. Instituto Português do Património Arquitectónico – Ministério da Cultura, Lisboa, Volume I, 335 PP.

Alves C., 1997. Estudo da deterioração de materiais graníticos aplicados em monumentos da cidade de Braga (Norte de Portugal). Implicações na conservação do Património Construído. Universidade do Minho, Braga. 291 pp. (Tese de Doutoramento).

Alves C. A. S., 2000. Estudo da deterioração das pedras Ígneas aplicadas no património construído – considerações sobre algumas questões metodológicas e sobre o potencial interesse desse estudo. Associação Portuguesa de Geólogos, Geonovas Nº 14, pp. 39-46.

Amoroso G. G. & Fassina V., 1983. Stone decay and conservation, Elsevier, Materials Science Monographs, 11, pp. 453.

Araújo M. A., Gomes A., Chaminé H. I., Fonseca, P. E., Gama Pereira L. C. & Pinto de Jesus, A., 2003. Geomorfologia e geologia regional do sector de Porto-Espinho (W de Portugal): Implicações Morfoestruturais na Cobertura Sedimentar Cenozóica, Corunã, pp. 79.

Arnold A., 1984. Determination of mineral salts from monuments. Studies in Conservation, vol. 29. pp. 129-138.

Arnold A. & Kueng A., 1985. Crystallization and habits of salt efflorescences on walls I - methods of investigation and habits. Proceedings 5th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Lausanne 1985, pp. 255-267.

Arnold A. & Zehnder K., 1985. Crystallization and habits of salt efflorescences on walls II - conditions of crystallization. Proceedings 5th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Lausanne 1985, pp. 269-277.

Arnold A. & Zehnder K., 1987. Monitoring wall paintings affected by soluble salts. In: Sharon Cather (Eds.), Proceedings Symposium the Conservation of Wall Paintings-London 1987. Courtauld Institute of Art, Getty Conserv. Institute, London. pp. 103-135.

Arnold A. & Zehnder K., 1988. Decay of stony materials by salts on humid atmosphere. Proceedings 6th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone - Torun 1988. pp. 138-148.

Arnold A. & Zehnder K., 1989. Salt weathering on monuments. In: Fulvio Zezza (Eds.), Proceedings 1st Symposium La Conservazione dei Monumenti nel Bacino del Mediterraneo - Bari 1989, Grafo, Brescia. pp. 31-58.

Beaucourt F., 1975. Les types d' altérations des roches calcaires: caractères chimiques et pétrographiques. Les Monuments Historiques de la France - La Maladie de la Pierre, numéro hors série, pp. 21-26.

Beaucourt F., & Jaton C., 1975. Morphologie des altérations des calcaires. Les Monuments Historiques de la France - La Maladie de la Pierre, numéro hors série, pp. 16-21.

Beetsma J. J., 1995. The late Proterozoic / Paleozoic and Hercynian crustal evolution of the Iberian massif, N Portugal - as traced by geochemistry and Sr-Nd-Pb isotope systematics of pre-Hercynian terrigenous sediments and Hercynian granitoids. Vrije Universiteit te Amsterdam. Amsterdam. 223 pp. (Tese de Doutoramento).

Begonha A., 2000. Estudo da Patologia da Pedra do Mosteiro de S. Miguel de Refojos em Cabeceiras de Basto. Porto, 73 pp.

Begonha A., 2001. Meteorização do granito e deterioração da pedra em monumentos e edifícios da cidade do Porto. FEUP-edições. 445 pp. (Tese de Doutoramento).

Begonha A., 2002a. Igreja de S. João de Tarouca: Estudo da Deterioração da Pedra. Porto, 68 pp.

Begonha A., 2002b. Estudo da Patologia da Pedra da Igreja de S. Pedro de Rates. Relatório no âmbito do Protocolo DGEMN-FEUP – Estudo dos Materiais Pétreos e Argamassas, FEUP, Porto, 85 pp.

Begonha A., 2003a. Estudo da Aplicação de Consolidantes em Pedras da Igreja de S. Pedro de Rates. Relatório no âmbito do Protocolo DGEMN-FEUP – Estudo dos Materiais Pétreos e Argamassas, FEUP, Porto, 66 pp.

Begonha A., 2003b. Igreja de Nossa Senhora da Ajuda, Matriz de Espinho: Estudo da Deterioração e do Tratamento da Pedra. Porto, 52 pp.

Begonha A. 2003c. Chafariz de Caminha: Estudo da Deterioração e do Tratamento da Pedra. Porto, 30 pp.

Begonha A., 2003d. Igreja de S. João Baptista, Matriz de Vila do Conde: Estudo da Deterioração e do Tratamento da Pedra. Relatório no âmbito do Protocolo DGEMN-FEUP – Estudo dos Materiais Pétreos e Argamassas, FEUP, Porto, 74 pp.

Begonha A., 2004a. Convento de São Gonçalo de Amarante: Estudo Diagnóstico e Proposta de Tratamento da Pedra. Relatório no âmbito do Protocolo DGEMN-FEUP – Estudo dos Materiais Pétreos e Argamassas, FEUP, Porto, 135 pp.

Begonha A., 2004b. Igreja de Nossa Senhora da Assunção, Matriz de Caminha: Estudo da Deterioração da Pedra – Diagnóstico e tratamentos. Porto, 80 pp.

Begonha A., 2005 Patologia da Pedra na Fachada Principal da Igreja de Nossa Senhora da Lapa: Diagnóstico e Proposta de Tratamento. Porto, 87 pp.

Begonha A., 2006 Patologia da Pedra do Palácio da Bolsa no Porto: Diagnóstico e Proposta de Tratamento. Porto, 50 pp.

Begonha A. & Fojo A., 2008. Application and efficiency of water repellents and consolidating products in two two-mica granites used in the Matriz de Caminha Church. In: Lukaskewicz J. & Niemcwick P. (Eds.), Proceedings 11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Toruń, Vol. II. pp. 785-793.

Begonha A., Jeannette, D., Hammecker C. & Sequeira Braga M.A., 1994. Physical characteristics of the Oporto granite related to stone decay in monuments. In: V. Fassina, H. Ott e F. Zezza (Eds.), Proceedings 3^o Simposio Internazionale La Conservazione dei Monumenti nel Bacino del Mediterraneo-Venezia 1994, Venezia, pp. 541-546.

Begonha A., & Sequeira Braga M.A., 1993. Stone Weathering and Deterioration in a Granitic Monument. In: Ribeiro e Sousa e Grossmann (Eds.), Proceedings ISRM International Symposium on Safety and Environmental Issues in Rock Engineering EUROCK'93 – Lisboa 1993, Balkema, Rotterdam, pp. 267-274.

Begonha A. & Teles M., 2000. Study of stone deterioration in the Palácio do Freixo in Oporto. In: Vasco Fassina (Eds.), Proceedings 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Venezia. Volume II, pp. 593-601.

Bracci S., Delgado Rodrigues J., Ferreira Pinto A., Matteini M., Pinna D., Porcinai S., Sacchi B. & Salvadori B., 2008. Development and Evaluation of new Treatments for the conservation of outdoor stone monuments. In: Lukaskewicz J. & Niemcwick P. (Eds.), Proceedings 11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Toruń, Vol. II. pp. 811-818.

Bré J., 2007. Estudo da Deterioração da Pedra da Capela do Senhor da Pedra e Proposta de Tratamento. Instituto Superior de Engenharia do Porto. 117 pp. (Projecto e estágio)

Bré J., Begonha A. & Spínola S., 2008. Estudo da deterioração da pedra na Capela do Senhor da Pedra e proposta de tratamento. In: A. Gomes Correia e L. Leal Lemos, Proceedings XI Congresso Nacional de Geotecnia. Coimbra. Vol. I pp. 205-212.

Castro E., 1983. Studies on stone treatments. LNEC. Memória, Nº. 584, Lisboa, 6 pp.

Castro E., 1984. Tratamentos de conservação da pedra em monumentos. LNEC, Lisboa, ICT, Informação Técnica Geotécnica, 40 pp.

Castro E., 1994. Determination of the pore-size distribution in stones by means of the moisture suction. LNEC. Memória, Nº. 441, Lisboa, 11 pp.

Castro E., 1977. Détermination de la porométrie et de la surface spécifique des pierres par des essais de succion. LNEC. Memória, Nº. 490, Lisboa, 16 pp.

Castro E., 1979a. Les méthodes de succion dans l' étude de l' altération des pierres. LNEC. Memória, Nº. 516, Lisboa, 29 pp.

- Castro E., 1979b. Évaluation de l'hygroscopicité des pierres. LNEC, Memória, Nº. 526, Lisboa, 22 pp.
- Castro E., 1988. The interest of pore-size distribution in the identification of marbles suction methods. LNEC, Memória, Nº. 721, Lisboa, 12 pp.
- Cardoso F. S. 2008. Estudo da deterioração da pedra na Igreja de Paço de Sousa – Proposta de tratamento. Faculdade de Engenharia do Porto. Porto. 108 pp. (Tese de Mestrado).
- Carrington da Costa J. & Teixeira C., 1957. Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000. Notícia explicativa da folha 9-C Porto. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa. 38 pp.
- Chaminé H. I., 2000. Estratigrafia e estrutura da faixa metamórfica de Espinho–Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa-Morena): implicações geodinâmicas. Universidade do Porto. 497pp., 2 anexos, 3 mapas. (Tese de Doutoramento)
- Clercq H. & Zanche S., 2008. TEOS and time: The influence of application schedules of the effectiveness of ethyl silicate based consolidants for brick. In: Lukaskewicz J. & Niemcwicz P. (Eds.), Proceedings 11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Toruń, Vol. II. pp. 847-855.
- Costa D. M. R., 2007. Avaliação de tratamentos para a conservação de superfícies graníticas arenizadas. LNEC, Lisboa. 217 pp. (Tese de Especialista do LNEC).
- Costa D. & Delgado Rodrigues J., 2008. Consolidation treatment of salt laden materials. Methodology for their laboratory Study. In: Lukaskewicz J. & Niemcwicz P. (Eds.), Proceedings 11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Toruń, Vol. II. pp. 827-835.
- Costa F. B., 1983. Memórias Paroquias: V. N. Gaia 1758, Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia – Gabinete de História e Arqueologia, Vila Nova de Gaia.
- Costa F. B., 2004. Santa Maria de Gulpilhares Notas Monográficas, Junta de Freguesia de Gulpilhares, Vila Nova de Gaia, pp. 586.
- Costa Leite A. L. F. 2008. Estudo da deterioração da pedra na Igreja de Santa Clara em Vila do Conde – Proposta de tratamento. Faculdade de Engenharia do Porto. Porto. 178 pp. (Tese de Mestrado).
- Delgado Rodrigues J. & Costa D. 2000. Parecer sobre a conservação do Mosteiro de Tibães. LNEC. Relatório 61/00 - GERO, Lisboa, 26 pp.
- Ferreira J. F. O. 2004. Caracterização da Acção da Água em Edifícios de Pedra. Universidade do Minho, Guimarães. 177 pp. (Tese de Mestrado).
- Ferreira Pinto A. P., 1993. Conservação de pedras graníticas. Estudo da acção de hidrófugos. IST. Lisboa, 345 pp. (Tese de Mestrado).
- Ferreira Pinto A. P. & Delgado Rodrigues J., 2001. Hidrofugação como protecção da pedra. Aspectos relacionados com a eficácia e sua avaliação. Congresso Construção 2001, IST. Lisboa, pp. 70-79.

Ferreira Pinto A. P. & Delgado Rodrigues J., 2008. The action of inorganic consolidants in limestone. In: Lukaskewicz J. & Niemcwick P. (Eds.), Proceedings 11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Toruń, Vol. II. pp. 873-880.

Fitzner B., 1990. Mapping of natural stone monuments – documentation of lithotypes and weathering forms. Proceedings Advanced Workshop Analytical Methodologies for the Investigation of Damaged Stones, Pavia. pp. 1-24.

Fitzner B. & Heinrichs K., 1991. Weathering forms and rock characteristics of historical monuments carved from bedrocks in Petra, Jordan. In: Baer N. S., Sabbioni C. & Sors A. I. (Eds.), Proceedings European Symposium Science. Technology and European Heritage-Bologna 1989. Commission of the European Communities, Butterworth – Heinemann, Oxford. pp. 908-911.

Fitzner B. & Heinrichs K., 1994. Damage diagnosis at monuments carved from bedrocks in Petra, Jordan. In: Fassina V., Ott H. & Zezza F. (Eds.), Proceedings 3^o Simposio Internazionale La Conservazione dei Monumenti nel Bacino del Mediterraneo-Venezia, Venezia. pp. 663-671.

Fitzner B., Heinrichs K. & Kownatzki R., 1992. Classification and mapping of weathering forms. 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisbon. pp. 957- 968.

Fojo A. C. O. T., 2006. Estudo da aplicação de consolidantes e hidrófugos em pedras graníticas da Igreja Matriz de Caminha. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto. 446 pp. (Tese Mestrado).

Guedes H. M. M., 2000. O Sítio do Senhor da Pedra – Monografia Patrimonial, Confraria do Senhor da Pedra, Vila Nova de Gaia, pp. 144.

Google Earth, 2008. Aplicação do programa.

Hammecker C., 1993. Importance des transferts d'eau dans la dégradation des pierres en oeuvre. Université Louis Pasteur de Strasbourg. Strasbourg. 254 pp. (Tese de Doutoramento).

Jeannette D., 1980. Les grès du Château du Landsberg: exemple d'évolution des grès vosgiens en milieu rural. Sciences Géologiques. Strasbourg. pp. 111-118.

Kim E. K., Won J., kim J., kang Y. S. & Kim S. D., 2008. TEOS/ GPTMS/silca Nanoparticle solutions of conservation of Korean heritage stones. In: Lukaskewicz J. & Niemcwick P. (Eds.), Proceedings 11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Toruń, Vol. II. pp. 975-982.

Lopes N. V., Moreira A. R. & Almeida S., 2004. Reabilitação da Igreja de Santa Cruz / S. Domingos, em Viana do Castelo. Trabalhos de Projecto dos Alunos de Mestrado em Reabilitação do Património Edificado 2003-2005. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Departamento de Engenharia Civil. pp. 153-165.

López M. A. B., 1988. Caracterización y estado de alteración química de los materiales empleados en la construcción de la Catedral de Sevilla. Universidad de Sevilla. Sevilla. 336 pp. (Tese de Doutoramento).

Madureira M., Begonha A. & Carvalho M., 2008. Estudo da deterioração da pedra no Mosteiro da Serra do Pilar e proposta de tratamento. In: A. Gomes Correia e L. Leal Lemos, Proceedings XI Congresso Nacional de Geotecnia. Coimbra. Vol. I, pp. 213-220.

Malagoli M., Nugari M. P., Altieri A. & Lonati G., 2000. Effects of combined application of biocides and protectives on marble. In: Vasco Fassina (Eds.), Proceedings 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Venezia. Volume II, pp. 225-233.

Meng B., 1992. Moisture - Transport - Relevant characterization of pore structure. In: J. Delgado Rodrigues, Fernando Henriques e F. Telmo Jeremias (Eds.), Proceedings 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Lisboa 1992, LNEC, vol. 1, Lisboa, pp. 387-396.

Meng B., 1993. Characterization of pore structure for the interpretation of moisture transport. In: M. J. Thiel (ed.), Proceedings International RILEM/UNESCO Congress Conservation of Stone and other Materials-Paris 1993, E & FN Spon, vol. 1, London, pp. 155-162.

Mertz J. D., 1991. Structures de porosité et propriétés de transport dans les grés. Université Louis Pasteur, Strasbourg, Sciences Géologiques, 90, Strasbourg. 149 pp. (Tese de Doutoramento)

Moutinho A. M., 2005. Estudo da deterioração da pedra da Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Contributo para o ensino das geociências. Universidade do Porto. Porto. 304 pp. (Tese de Mestrado).

Oliveira R. M. C., 2001. Deterioração de monumentos graníticos: o caso da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto – abordagem didáctica. Universidade do Porto, Porto. 206 pp. (Tese Mestrado).

Ponte M. N. & Ponte L. N., 2002. Memórias de Gaia através do Bilhete Postal Ilustrado. Miguel Nunes da Ponte, Lda – Edições e Publicações, pp. 131-139.

Silva Hermo B., Rivas Brea T. & Prieto B., 1996a. Relation between type of soluble salts and decay forms in granitic coastal churches in Galicia (NW Spain). In Zezza F. (Eds.), Proceedings of the European Commission Research Workshop Origin. Mechanisms and Effects of Salts on Degradation of Monuments in Marine and Continental Environments-Bari 1996. Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N^o. 4, pp. 183-190.

Steiger M. & Zeunert A., 1996. Crystallization properties of salt mixtures: comparison of experimental results and model calculations. In: Josef Riederer (Ed.), Proceedings 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Berlin 1996, vol. 1, Berlin, pp. 535-544.

Teixeira C., Perdigão J. & Torre de Assunção C., 1962. Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000 e Notícia Explicativa da Folha 13-A Espinho, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 28pp.

Teles M. & Begonha A., 1999. Parecer sobre o estado de conservação da pedra do Palácio do Freixo. Porto, pp. 39.

Washburn E. W., 1921. Note on method of determining the distribution of pore size in a porous material. National Academy of Science, Vol. 7, pp. 115-116.

ANEXO

Quadro A1 – Resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade para o provete CSP 11.1

PROVETE CSP 11.1									
HORA	MINUTO	DIA	MÊS	ANO	PESO	ALTURA	TEMPO (min)	HORA ^{-1/2}	dW/S
10	51	26	11	2007	209,81	0,2	0	0,0000	0,0000
10	53	26	11	2007	211,06	1,6	2	0,1826	0,0800
10	56	26	11	2007	211,47	2,15	5	0,2887	0,1063
10	59	26	11	2007	211,69	2,30	8	0,3651	0,1203
11	6	26	11	2007	212,18	3,00	15	0,5000	0,1517
11	14	26	11	2007	212,50	3,55	23	0,6191	0,1722
11	19	26	11	2007	212,79	3,55	28	0,6831	0,1907
11	34	26	11	2007	213,38	4,60	43	0,8466	0,2285
11	40	26	11	2007	213,55	4,85	49	0,9037	0,2394
11	49	26	11	2007	213,81	5,25	58	0,9832	0,2560
12	2	26	11	2007	214,13	5,51	71	1,0878	0,2765
12	44	26	11	2007	214,23		113	1,3723	0,2829
13	55	26	11	2007	214,26		184	1,7512	0,2848
16	25	26	11	2007	214,32		334	2,3594	0,2887
18	14	26	11	2007	214,33		443	2,7172	0,2893
0	29	27	11	2007	214,42		818	3,6923	0,2951
12	1	27	11	2007	214,49		1510	5,0166	0,2996
18	32	27	11	2007	214,51		1901	5,6288	0,3008
18	39	28	11	2007	214,61		3348	7,4699	0,3072
12	49	30	11	2007	214,72		5878	9,8978	0,3143
16	34	1	12	2007	214,76		7543	11,2123	0,3168
0	26	3	12	2007	214,81		9455	12,5532	0,3200

Peso - 209,81 g

Secção - 15,6228 cm²

Altura - 5,51 cm

Porosidade Livre - 6,28%

N ₄₈	
0	0,2874
14	0,2874

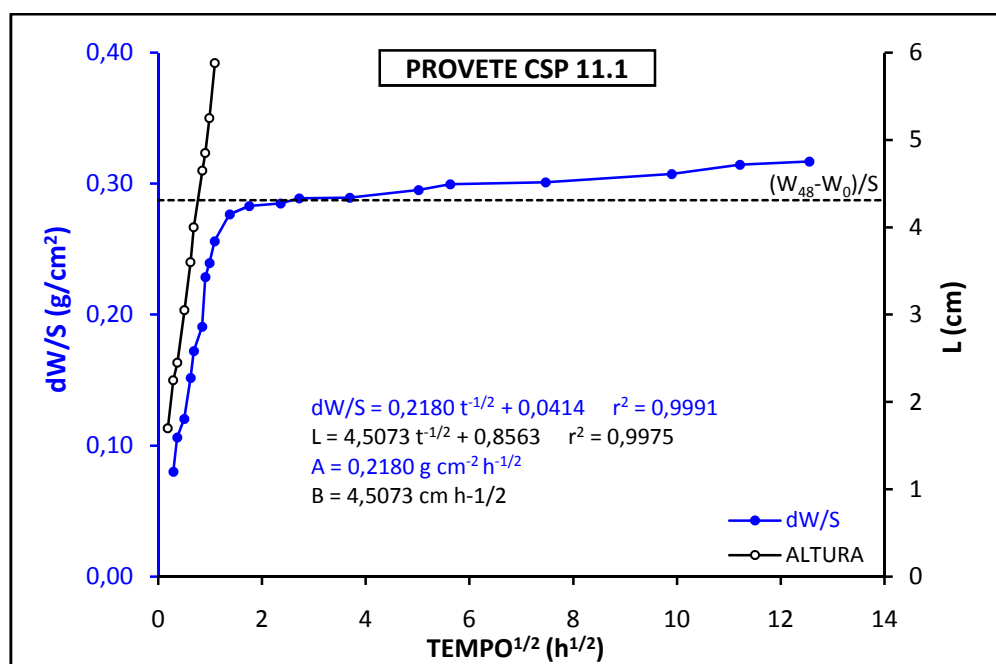


Figura A1 – Curvas do ensaio de absorção de água por capilaridade obtidas no provete CSP 11.1.

Quadro A2 – Resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade para o provete CSP 11.2

PROVETE CSP 11.2									
HORA	MINUTO	DIA	MÊS	ANO	PESO	ALTURA	TEMPO (min)	HORA ^{-1/2}	dW/S
10	51	26	11	2007	223,82	0,20	0	0,0000	0,0000
10	54	26	11	2007	225,24	1,70	3	0,2236	0,0909
10	57	26	11	2007	225,60	2,25	6	0,3162	0,1139
11	0	26	11	2007	225,83	2,45	9	0,3873	0,1287
11	7	26	11	2007	226,31	3,05	16	0,5164	0,1594
11	15	26	11	2007	226,70	3,60	24	0,6325	0,1843
11	20	26	11	2007	226,90	4,00	29	0,6952	0,1971
11	35	26	11	2007	227,45	4,65	44	0,8563	0,2324
11	41	26	11	2007	227,65	4,85	50	0,9129	0,2452
11	50	26	11	2007	227,92	5,25	59	0,9916	0,2624
12	11	26	11	2007	228,46	5,88	80	1,1547	0,2970
12	45	26	11	2007	228,58		114	1,3784	0,3047
13	56	26	11	2007	228,60		185	1,7559	0,3060
16	26	26	11	2007	228,65		335	2,3629	0,3092
18	15	26	11	2007	228,70		444	2,7203	0,3124
0	30	27	11	2007	228,77		819	3,6946	0,3168
12	1	27	11	2007	228,86		1510	5,0166	0,3226
18	33	27	11	2007	228,89		1902	5,6303	0,3245
18	40	28	11	2007	228,95		3349	7,4711	0,3284
12	49	30	11	2007	229,09		5878	9,8978	0,3373
16	35	1	12	2007	229,14		7544	11,2131	0,3405
0	26	3	12	2007	229,19		9455	12,5532	0,3437

Peso - 223,82 g

Secção - 15,6228 cm²

Altura - 5,88 cm

Porosidade Livre - 6,22%

N ₄₈	
0	0,3085
14	0,3085

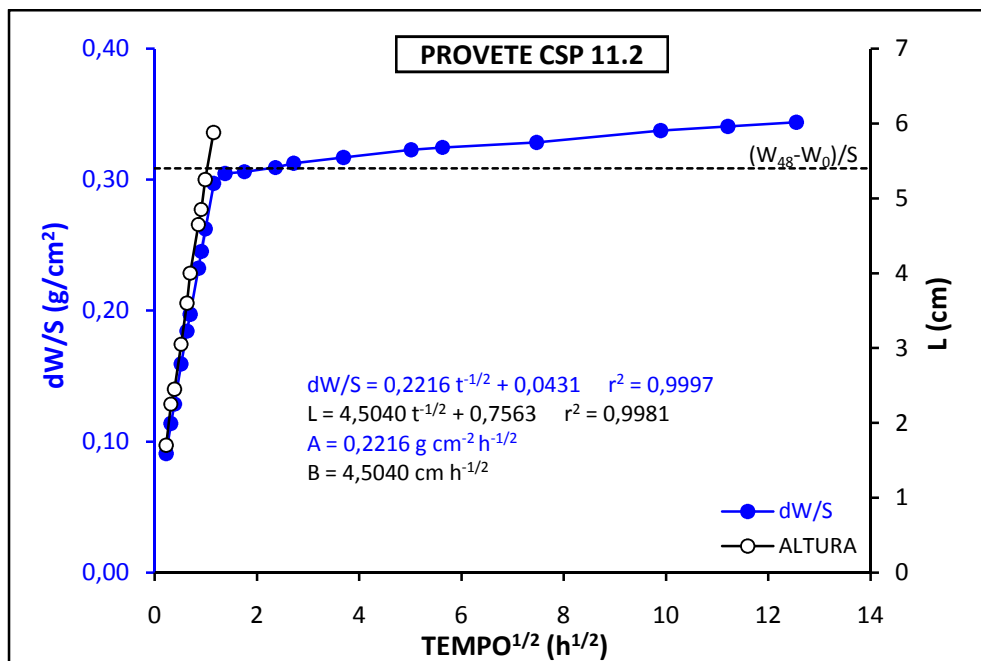


Figura A2 – Curvas do ensaio de absorção de água por capilaridade obtidas no provete CSP 11.2.

Quadro A3 – Resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade para o provete CSP 12.1.

PROVETE CSP 12.1									
HORA	MINUTO	DIA	MÊS	ANO	PESO	ALTURA	TEMPO (min)	HORA-1/2	dW/S
10	52	26	11	2007	202,13	0,20	0	0,0000	0,0000
10	55	26	11	2007	203,50	2,00	3	0,2236	0,0854
10	58	26	11	2007	203,81	2,25	6	0,3162	0,1047
11	0	26	11	2007	204,04	2,60	8	0,3651	0,1190
11	7	26	11	2007	204,54	3,55	15	0,5000	0,1502
11	16	26	11	2007	204,96	4,10	24	0,6325	0,1764
11	21	26	11	2007	205,18	4,65	29	0,6952	0,1901
11	33	26	11	2007	205,62	5,12	41	0,8266	0,2175
11	42	26	11	2007	205,67		50	0,9129	0,2206
12	45	26	11	2007	205,72		113	1,3723	0,2237
13	56	26	11	2007	205,76		184	1,7512	0,2262
16	26	26	11	2007	205,83		334	2,3594	0,2306
18	15	26	11	2007	205,85		443	2,7172	0,2318
0	30	27	11	2007	205,89		818	3,6923	0,2343
12	2	27	11	2007	205,97		1510	5,0166	0,2393
18	33	27	11	2007	206,00		1901	5,6288	0,2412
18	41	28	11	2007	206,05		3349	7,4711	0,2443
12	50	30	11	2007	206,18		5878	9,8978	0,2524
16	36	1	12	2007	206,27		7544	11,2131	0,2580
0	27	3	12	2007	206,32		9455	12,5532	0,2611

Peso - 202,13 g

Secção - 16,0460 cm²

Altura - 5,12 cm

Porosidade livre - 5,59%

N ₄₈	
0	0,2343
14	0,2343

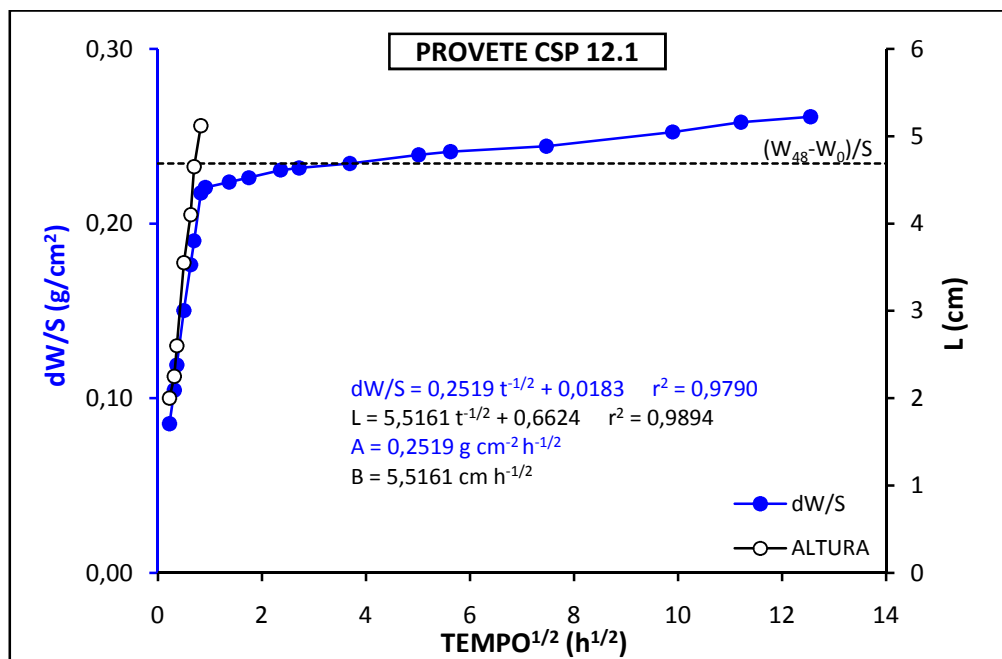


Figura A3 – Curvas do ensaio de absorção de água por capilaridade obtidas no provete CSP 12.1.

Quadro A4 – Resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade para o provete CSP 12.2

PROVETE CSP 12.2									
HORA	MINUTO	DIA	MÊS	ANO	PESO	ALTURA	TEMPO (MIN)	HORA-1/2	dW/S
10	52	26	11	2007	205,07	0,20	0	0,0000	0,0000
10	56	26	11	2007	206,49	1,95	4	0,2582	0,0881
10	58	26	11	2007	206,88	2,30	6	0,3162	0,1123
11	1	26	11	2007	207,07	2,65	9	0,3873	0,1241
11	8	26	11	2007	207,52	3,50	16	0,5164	0,1520
11	17	26	11	2007	207,92	4,30	25	0,6455	0,1768
11	21	26	11	2007	208,13	4,65	29	0,6952	0,1899
11	33	26	11	2007	208,56	5,27	41	0,8266	0,2165
11	42	26	11	2007	208,63		50	0,9129	0,2209
12	46	26	11	2007	208,68		114	1,3784	0,2240
13	57	26	11	2007	208,70		185	1,7559	0,2252
16	26	26	11	2007	208,77		334	2,3594	0,2296
18	16	26	11	2007	208,79		444	2,7203	0,2308
0	31	27	11	2007	208,85		819	3,6946	0,2345
12	3	27	11	2007	208,92		1511	5,0183	0,2389
18	34	27	11	2007	208,93		1902	5,6303	0,2395
18	41	28	11	2007	209,00		3349	7,4711	0,2438
12	50	30	11	2007	209,12		5878	9,8978	0,2513
16	36	1	12	2007	209,19		7544	11,2131	0,2556
0	28	3	12	2007	209,24		9456	12,5539	0,2587

Peso - 205,07 g

Secção - 16,1171 cm²

Altura - 5,27 cm

Porosidade livre - 5,40%

N ₄₈	
0	0,2321
14	0,2321

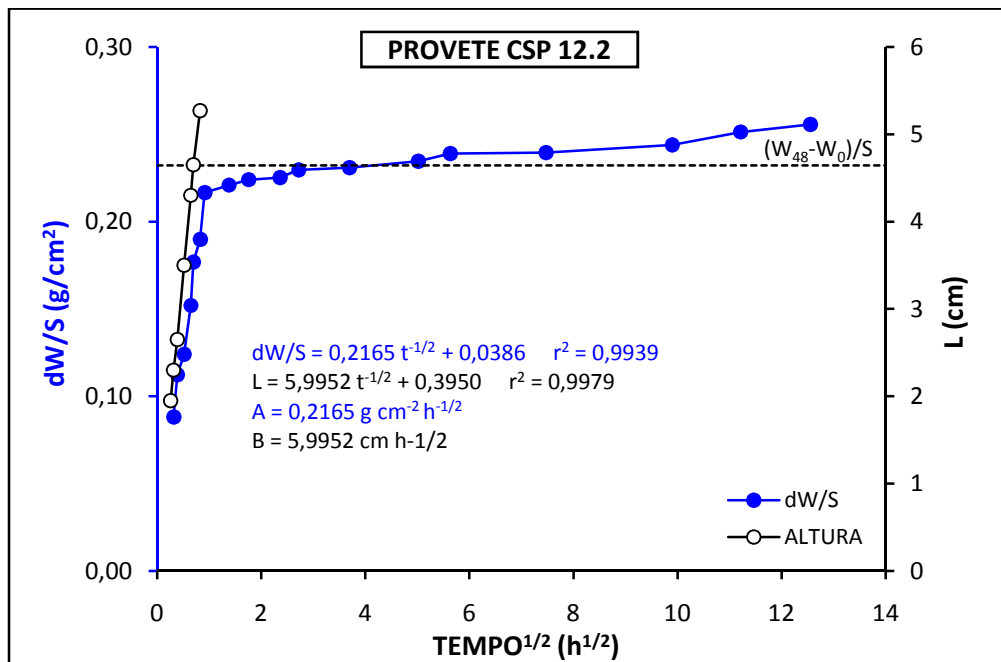


Figura A4 – Curvas do ensaio de absorção de água por capilaridade obtidas no provete CSP 12.2.

Quadro A5 – Resultados obtidos no ensaio de evaporação para o provete CSP 11.1.

PROVETE CSP 11.1								
HORA	MINUTO	DIA	MÊS	ANO	PESO	MINUTOS	HORAS	dW/S
12	6	12	12	2007	215,33	0	0,00	0,0000
12	11	12	12	2007	215,29	5	0,08	-0,0026
12	21	12	12	2007	215,26	15	0,25	-0,0045
12	23	12	12	2007	215,23	17	0,28	-0,0064
12	54	12	12	2007	215,22	48	0,80	-0,0070
13	25	12	12	2007	215,17	79	1,32	-0,0102
13	55	12	12	2007	215,13	109	1,82	-0,0128
14	51	12	12	2007	215,08	165	2,75	-0,0160
15	53	12	12	2007	215,03	227	3,78	-0,0192
16	53	12	12	2007	214,99	287	4,78	-0,0218
17	51	12	12	2007	214,94	345	5,75	-0,0250
18	51	12	12	2007	214,89	405	6,75	-0,0282
20	18	12	12	2007	214,84	492	8,20	-0,0314
21	11	12	12	2007	214,81	545	9,08	-0,0333
22	3	12	12	2007	214,77	597	9,95	-0,0358
0	14	13	12	2007	214,68	728	12,13	-0,0416
1	50	13	12	2007	214,65	824	13,73	-0,0435
11	22	13	12	2007	214,46	1396	23,27	-0,0557
15	29	13	12	2007	214,37	1643	27,38	-0,0614
20	36	13	12	2007	214,26	1950	32,50	-0,0685
0	10	14	12	2007	214,19	2164	36,07	-0,0730
3	37	14	12	2007	214,13	2371	39,52	-0,0768
11	23	14	12	2007	214,01	2837	47,28	-0,0845
16	1	14	12	2007	213,93	3115	51,92	-0,0896
21	3	14	12	2007	213,87	3417	56,95	-0,0935
16	45	15	12	2007	213,65	4599	76,65	-0,1075
1	25	17	12	2007	213,38	6559	109,32	-0,1248
12	17	17	12	2007	213,30	7211	120,18	-0,1299
19	19	17	12	2007	213,23	7633	127,22	-0,1344
2	39	18	12	2007	213,17	8073	134,55	-0,1383
12	21	18	12	2007	213,12	8655	144,25	-0,1415
20	35	18	12	2007	213,06	9149	152,48	-0,1453
2	12	19	12	2007	213,02	9486	158,10	-0,1479
15	13	19	12	2007	212,94	10267	171,12	-0,1530
22	28	19	12	2007	212,90	10702	178,37	-0,1555
5	16	20	12	2007	212,85	11110	185,17	-0,1587
20	34	20	12	2007	212,75	12028	200,47	-0,1651
18	49	21	12	2007	212,64	13363	222,72	-0,1722

Quadro A5 – Resultados obtidos no ensaio de evaporação para o provete CSP 11.1 (continuação).

18	34	22	12	2007	212,52	14788	246,47	-0,1799
18	14	24	12	2007	212,36	17648	294,13	-0,1901
20	42	25	12	2007	212,29	19236	320,60	-0,1946
21	50	26	12	2007	212,24	20744	345,73	-0,1978
22	35	27	12	2007	212,19	22229	370,48	-0,2010
19	8	28	12	2007	212,15	23462	391,03	-0,2035
18	32	30	12	2007	212,06	26306	438,43	-0,2093
19	25	2	1	2008	212,00	30679	511,32	-0,2132
20	0	3	1	2008	211,98	32154	535,90	-0,2144
22	18	4	1	2008	211,97	33732	562,20	-0,2151
17	55	6	1	2008	211,96	36349	605,82	-0,2157
18	30	7	1	2008	211,95	37824	630,40	-0,2164
20	30	8	1	2008	211,94	39384	656,40	-0,2170
15	36	11	1	2008	211,92	43410	723,50	-0,2183

Peso - 215,33 g

Secção - 15,6228 cm²

Altura - 5,51 cm

Saturação crítica - 81%

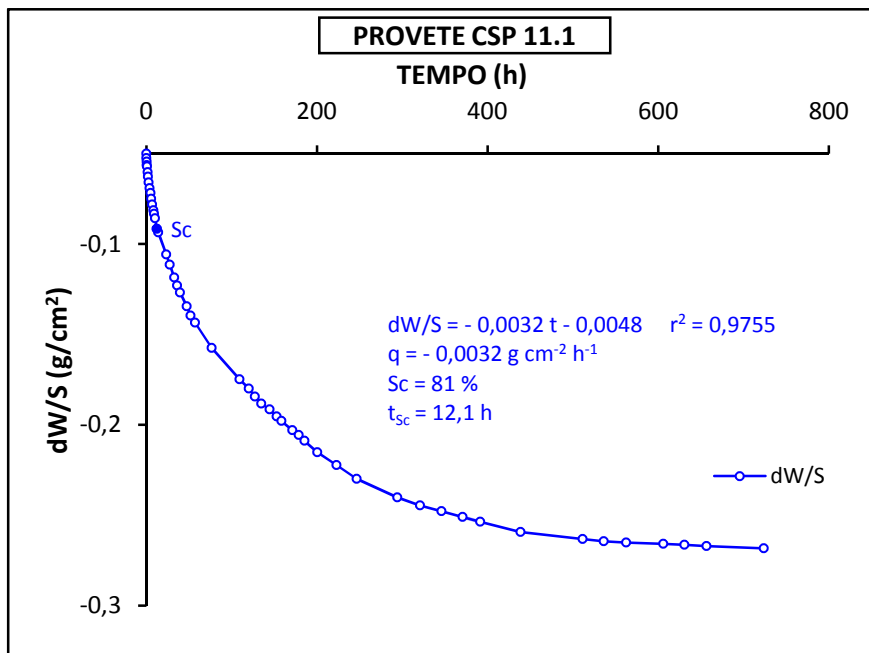


Figura A5 – Curva de evaporação do provete CSP 11.1.

Quadro A6 – Resultados obtidos no ensaio de evaporação para o provete CSP 11.2.

PROVETE CSP 11.2								
HORA	MINUTO	DIA	MÊS	ANO	PESO	MINUTOS	HORAS	dW/S
12	10	12	12	2007	229,65	0	0,00	0,0000
12	12	12	12	2007	229,64	2	0,03	-0,0006
12	23	12	12	2007	229,59	13	0,22	-0,0038
12	35	12	12	2007	229,56	25	0,42	-0,0058
12	55	12	12	2007	229,53	45	0,75	-0,0077
13	26	12	12	2007	229,49	76	1,27	-0,0102
13	56	12	12	2007	229,43	106	1,77	-0,0141
14	52	12	12	2007	229,38	162	2,70	-0,0173
15	54	12	12	2007	229,32	224	3,73	-0,0211
16	54	12	12	2007	229,28	284	4,73	-0,0237
17	53	12	12	2007	229,22	343	5,72	-0,0275
18	53	12	12	2007	229,16	403	6,72	-0,0314
20	19	12	12	2007	229,09	489	8,15	-0,0358
21	12	12	12	2007	229,07	542	9,03	-0,0371
22	5	12	12	2007	229,03	595	9,92	-0,0397
0	15	13	12	2007	228,95	725	12,08	-0,0448
1	52	13	12	2007	228,91	822	13,70	-0,0474
11	23	13	12	2007	228,72	1393	23,22	-0,0595
15	32	13	12	2007	228,61	1642	27,37	-0,0666
20	37	13	12	2007	228,51	1947	32,45	-0,0730
0	11	14	12	2007	228,43	2161	36,02	-0,0781
3	39	14	12	2007	228,37	2369	39,48	-0,0819
11	24	14	12	2007	228,24	2834	47,23	-0,0903
16	3	14	12	2007	228,14	3113	51,88	-0,0967
21	5	14	12	2007	228,07	3415	56,92	-0,1011
16	46	15	12	2007	227,83	4596	76,60	-0,1165
1	27	17	12	2007	227,52	6557	109,28	-0,1363
12	18	17	12	2007	227,43	7208	120,13	-0,1421
19	20	17	12	2007	227,36	7630	127,17	-0,1466
2	41	18	12	2007	227,31	8071	134,52	-0,1498
12	23	18	12	2007	227,24	8653	144,22	-0,1543
20	37	18	12	2007	227,17	9147	152,45	-0,1587
2	13	19	12	2007	227,13	9483	158,05	-0,1613
15	15	19	12	2007	227,05	10265	171,08	-0,1664
22	29	19	12	2007	227,00	10699	178,32	-0,1696
5	17	20	12	2007	226,95	11107	185,12	-0,1728
20	35	20	12	2007	226,84	12025	200,42	-0,1799
18	51	21	12	2007	226,71	13361	222,68	-0,1882

Quadro A6 – Resultados obtidos no ensaio de evaporação para o provete CSP 11.2 (continuação).

18	35	22	12	2007	226,59	14785	246,42	-0,1959
18	15	24	12	2007	226,42	17645	294,08	-0,2067
20	44	25	12	2007	226,34	19234	320,57	-0,2119
21	51	26	12	2007	226,30	20741	345,68	-0,2144
22	36	27	12	2007	226,24	22226	370,43	-0,2183
19	9	28	12	2007	226,19	23459	390,98	-0,2215
18	34	30	12	2007	226,10	26304	438,40	-0,2272
19	27	2	1	2008	226,03	30677	511,28	-0,2317
20	2	3	1	2008	226,03	32152	535,87	-0,2317
22	19	4	1	2008	226,02	33729	562,15	-0,2324
17	57	6	1	2008	225,98	36347	605,78	-0,2349
18	31	7	1	2008	225,98	37821	630,35	-0,2349
20	5	8	1	2008	225,97	39355	655,92	-0,2356
15	38	11	1	2008	225,95	43408	723,47	-0,2368

Peso - 229,65 g

Secção - 15,6228 cm²

Altura - 5,88 cm

Saturação crítica - 83%

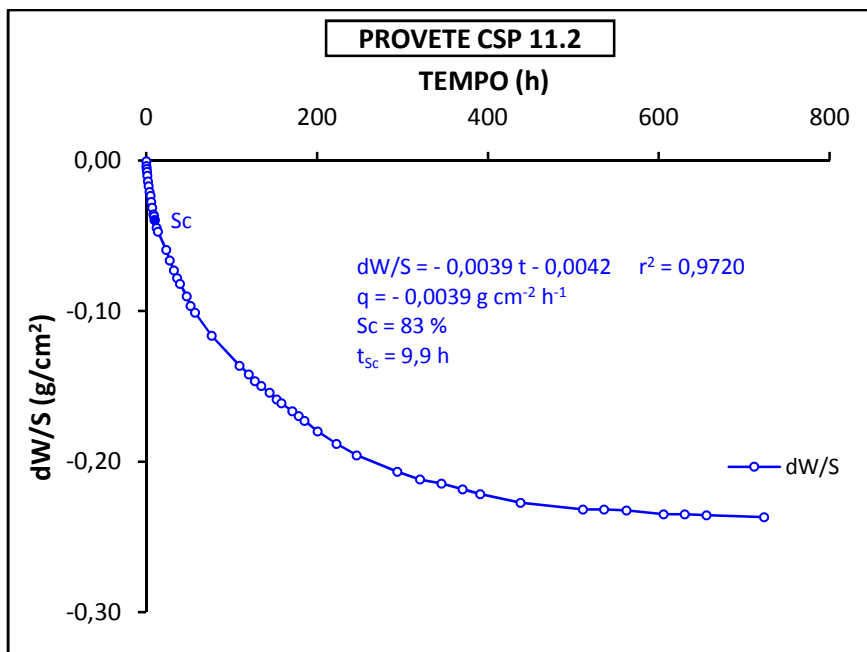


Figura A6 – Curva de evaporação do provete CSP 11.2.

Quadro A7 – Resultados obtidos no ensaio de evaporação para o provete CSP 12.1.

PROVETE CSP 12.1								
HORA	MINUTO	DIA	MÊS	ANO	PESO	MINUTOS	HORAS	dW/S
12	9	12	12	2007	206,82	0	0,00	0,0000
12	12	12	12	2007	206,80	3	0,05	-0,0012
12	22	12	12	2007	206,77	13	0,22	-0,0031
12	34	12	12	2007	206,74	25	0,42	-0,0050
12	55	12	12	2007	206,71	46	0,77	-0,0069
13	25	12	12	2007	206,68	76	1,27	-0,0087
13	56	12	12	2007	206,63	107	1,78	-0,0118
14	52	12	12	2007	206,56	163	2,72	-0,0162
15	53	12	12	2007	206,50	224	3,73	-0,0199
16	54	12	12	2007	206,45	285	4,75	-0,0231
17	52	12	12	2007	206,38	343	5,72	-0,0274
18	52	12	12	2007	206,33	403	6,72	-0,0305
20	18	12	12	2007	206,26	489	8,15	-0,0349
21	12	12	12	2007	206,21	543	9,05	-0,0380
22	4	12	12	2007	206,16	595	9,92	-0,0411
0	15	13	12	2007	206,06	726	12,10	-0,0474
1	51	13	12	2007	206,00	822	13,70	-0,0511
11	23	13	12	2007	205,62	1394	23,23	-0,0748
15	31	13	12	2007	205,46	1642	27,37	-0,0848
20	37	13	12	2007	205,32	1948	32,47	-0,0935
0	11	14	12	2007	205,24	2162	36,03	-0,0985
3	38	14	12	2007	205,20	2369	39,48	-0,1010
11	24	14	12	2007	205,09	2835	47,25	-0,1078
16	2	14	12	2007	205,04	3113	51,88	-0,1109
21	4	14	12	2007	204,99	3415	56,92	-0,1140
16	46	15	12	2007	204,86	4597	76,62	-0,1221
1	26	17	12	2007	204,71	6557	109,28	-0,1315
12	17	17	12	2007	204,67	7208	120,13	-0,1340
19	20	17	12	2007	204,63	7631	127,18	-0,1365
2	40	18	12	2007	204,60	8071	134,52	-0,1384
12	22	18	12	2007	204,57	8653	144,22	-0,1402
20	36	18	12	2007	204,54	9147	152,45	-0,1421
2	13	19	12	2007	204,52	9484	158,07	-0,1433
15	14	19	12	2007	204,48	10265	171,08	-0,1458
22	29	19	12	2007	204,46	10700	178,33	-0,1471
5	17	20	12	2007	204,44	11108	185,13	-0,1483
20	35	20	12	2007	204,38	12026	200,43	-0,1521
18	50	21	12	2007	204,30	13361	222,68	-0,1570

Quadro A7 – Resultados obtidos no ensaio de evaporação para o provete CSP 12.1 (continuação).

18	35	22	12	2007	204,26	14786	246,43	-0,1595
18	15	24	12	2007	204,18	17646	294,10	-0,1645
20	43	25	12	2007	204,15	19234	320,57	-0,1664
21	51	26	12	2007	204,15	20742	345,70	-0,1664
22	36	27	12	2007	204,12	22227	370,45	-0,1683
19	9	28	12	2007	204,11	23460	391,00	-0,1689
18	33	30	12	2007	204,08	26304	438,40	-0,1708
19	26	2	1	2008	204,06	30677	511,28	-0,1720
20	1	3	1	2008	204,06	32152	535,87	-0,1720
22	19	4	1	2008	204,06	33730	562,17	-0,1720
17	57	6	1	2008	204,05	36348	605,80	-0,1726
18	31	7	1	2008	204,05	37822	630,37	-0,1726
20	5	8	1	2008	204,05	39356	655,93	-0,1726
15	37	11	1	2008	204,04	43408	723,47	-0,1733

Peso - 206,82 g

Secção - 16,1171 cm²

Altura - 5,27 cm

Saturação crítica - 70%

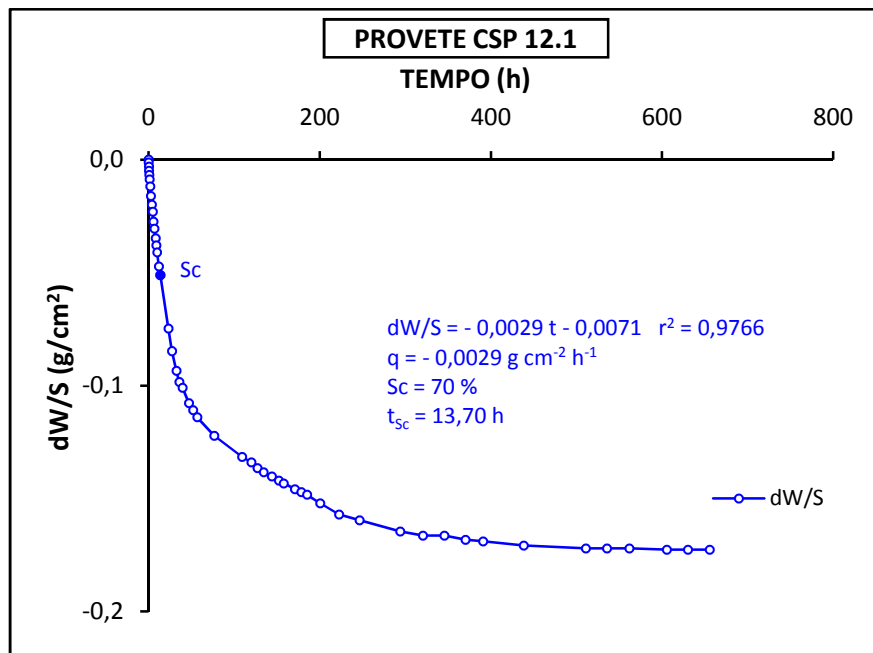


Figura A7 – Curva de evaporação do provete CSP 12.1.

Quadro A8 – Resultados obtidos no ensaio de evaporação para o provete CSP 12.2.

PROVETE CSP 12.2								
HORA	MINUTO	DIA	MÊS	ANO	PESO	MINUTOS	HORAS	dW/S
12	10	12	12	2007	209,75	0	0,00	0,0000
12	12	12	12	2007	209,73	2	0,03	-0,0012
12	23	12	12	2007	209,7	13	0,22	-0,0031
12	35	12	12	2007	209,67	25	0,42	-0,0050
12	55	12	12	2007	209,64	45	0,75	-0,0068
13	26	12	12	2007	209,59	76	1,27	-0,0099
13	56	12	12	2007	209,56	106	1,77	-0,0118
14	52	12	12	2007	209,51	162	2,70	-0,0149
15	54	12	12	2007	209,47	224	3,73	-0,0174
16	54	12	12	2007	209,42	284	4,73	-0,0205
17	53	12	12	2007	209,35	343	5,72	-0,0248
18	53	12	12	2007	209,3	403	6,72	-0,0279
20	19	12	12	2007	209,24	489	8,15	-0,0316
21	12	12	12	2007	209,21	542	9,03	-0,0335
22	5	12	12	2007	209,15	595	9,92	-0,0372
0	15	13	12	2007	209,07	725	12,08	-0,0422
1	52	13	12	2007	209,01	822	13,70	-0,0459
11	23	13	12	2007	208,72	1393	23,22	-0,0639
15	32	13	12	2007	208,58	1642	27,37	-0,0726
20	37	13	12	2007	208,43	1947	32,45	-0,0819
0	11	14	12	2007	208,32	2161	36,02	-0,0887
3	39	14	12	2007	208,24	2369	39,48	-0,0937
11	24	14	12	2007	208,1	2834	47,23	-0,1024
16	3	14	12	2007	208,04	3113	51,88	-0,1061
21	5	14	12	2007	207,98	3415	56,92	-0,1098
16	46	15	12	2007	207,82	4596	76,60	-0,1197
1	27	17	12	2007	207,66	6557	109,28	-0,1297
12	18	17	12	2007	207,62	7208	120,13	-0,1322
19	20	17	12	2007	207,58	7630	127,17	-0,1346
2	41	18	12	2007	207,55	8071	134,52	-0,1365
12	23	18	12	2007	207,53	8653	144,22	-0,1377
20	37	18	12	2007	207,49	9147	152,45	-0,1402
2	13	19	12	2007	207,46	9483	158,05	-0,1421
15	15	19	12	2007	207,44	10265	171,08	-0,1433
22	29	19	12	2007	207,41	10699	178,32	-0,1452
5	17	20	12	2007	207,39	11107	185,12	-0,1464
20	35	20	12	2007	207,34	12025	200,42	-0,1495
18	51	21	12	2007	207,28	13361	222,68	-0,1533

Quadro A8 – Resultados obtidos no ensaio de evaporação para o provete CSP 12.2 (continuação).

18	35	22	12	2007	207,22	14785	246,42	-0,1570
18	15	24	12	2007	207,14	17645	294,08	-0,1619
20	44	25	12	2007	207,11	19234	320,57	-0,1638
21	51	26	12	2007	207,11	20741	345,68	-0,1638
22	36	27	12	2007	207,09	22226	370,43	-0,1650
19	9	28	12	2007	207,08	23459	390,98	-0,1657
18	34	30	12	2007	207,05	26304	438,40	-0,1675
19	27	2	1	2008	207,03	30677	511,28	-0,1688
20	2	3	1	2008	207,03	32152	535,87	-0,1688
22	19	4	1	2008	207,02	33729	562,15	-0,1694
17	57	6	1	2008	207,01	36347	605,78	-0,1700
18	31	7	1	2008	207,01	37821	630,35	-0,1700
20	5	8	1	2008	207,01	39355	655,92	-0,1700
15	38	11	1	2008	207,01	43408	723,47	-0,1700

Peso - 209,75 g

Secção - 16,1171 cm²

Altura - 5,27 cm

Saturação crítica - 73%

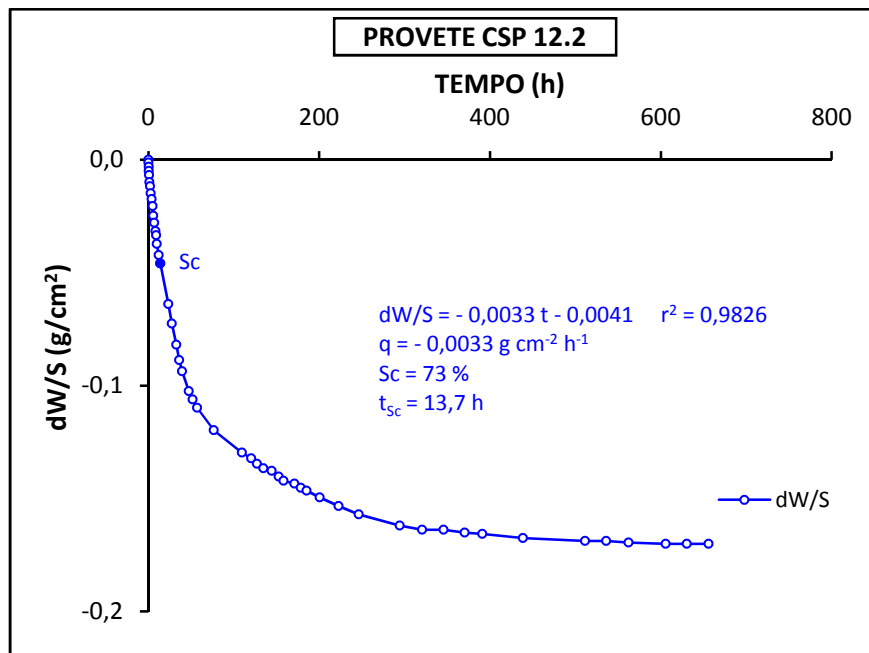


Figura A8 – Curva de evaporação do provete CSP 12.2.

(Joana Mafalda Oliveira Bré)