



Dissertação

Mestrado em Construções Civas – Engenharia Civil

***Levantamento e caracterização das patologias da
Capela do Fundador do Mosteiro da Santa Maria da
Vitória***

Flávio José Mota Vazão

Leiria, *Setembro* de 2015



Dissertação

Mestrado em Construções Civas – Engenharia Civil

***Levantamento e Caracterização das patologias da
Capela do Fundador do Mosteiro da Santa Maria da
Vitória***

Flávio José Mota Vazão

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Florindo Gaspar, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria e coorientação do Doutor Hugo Rodrigues, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, *Setembro de 2015*

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

À Minha Família

“As grandes ideias surgem da observação dos pequenos detalhes”

(Augusto Cury)

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

Expresso os meus agradecimentos a todos os que de alguma maneira contribuíram para a elaboração deste trabalho. Em particular agradeço:

Ao Professor Florindo Gaspar, meu orientador, pela disponibilidade, permanente apoio e ensinamentos.

Ao Professor Hugo Rodrigues que como coorientador acompanhou este trabalho mostrando-se disponível.

Ao pessoal do mosteiro, que facilitou o acesso ao interior e à cobertura da Capela do Fundador. Em particular ao Dr. Joaquim Ruivo, que como diretor do Mosteiro disponibilizou-se para ajudar em tudo o que foi necessário e ao Dr. Pedro Redol, pela disponibilidade e informação acerca do Mosteiro e o acesso à biblioteca do Mosteiro.

Aos Professores Pedro Marques e Licínio Moreira do Departamento de Engenharia Eletrotécnica pelo empréstimo máquina termográfica.

Ao Sr. António Santos da Topcon Positioning Portugal que efetuou o Varrimento Laser à Capela do Fundador.

Ao IPL (Instituto Politécnico de Leiria), ESTG (Escola Superior de Tecnologia e Gestão) de Leiria por colocar ao dispor equipamentos e meios que foram essenciais à realização deste trabalho.

À Eng^a Vânia Marques do departamento de Engenharia Civil pela ajuda na realização de alguns ensaios.

À empresa Mármore Vazão, Lda por colocar ao dispor os blocos e chapas de pedra analisadas pelos ultrassons.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Resumo

O Mosteiro de Santa Maria da Vitória, mais conhecido por Mosteiro da Batalha, é um dos mais belos exemplos de arquitetura em Portugal e na Europa, fazendo parte da lista do Património Mundial da UNESCO desde Dezembro de 1983.

A sua construção levou 150 anos, ao longo de diversas fases e composto por vários estilos: gótico, manuelino e uns toques de renascentista. Foram feitas algumas alterações ao projeto inicial, resultando num grandioso e complexo Monástico que hoje inclui uma igreja, dois claustros com divisões anexas e dois panteões reais, a capela do fundador e as capelas imperfeitas.

O património construído reúne patologias e defeitos derivados da deterioração dos materiais, cargas repetidas, falta de manutenção e eventos excecionais. Dentro deste processo, as técnicas de inspeção e diagnóstico desempenham um papel importante, fornecendo informações e permitindo a definição de medidas de reparação adequadas.

Para iniciar este levantamento no Mosteiro de Santa Maria da Vitória a Capela do Fundador foram efetuadas campanhas de inspeção não destrutiva, ou seja, a termografia, teste ultrassónico, diagnóstico preliminar com mapeamento das patologias, varrimento laser scanning e esclerómetro.

Verificaram-se diferenças significativas nos resultados obtidos com os ultrassons e o esclerómetro segundo a orientação e patologias, que parecem estar associadas à degradação superficial da pedra. Da análise do varrimento laser foram verificados alguns deslocamentos horizontais da estrutura. Os resultados alertam para a necessidade de monitorização do Mosteiro como meio de prevenir a sua degradação.

Da análise ao mapeamento, as crostas negras é a patologia mais comum na Capela do Fundador e no Mosteiro em geral. A pátina é também uma patologia que abrange a CF em larga escala.

Palavras-chave: Património, Mosteiro da Batalha, Capela do Fundador, inspeção e manutenção, patologias, ensaios não destrutivos

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Abstract

The Monastery of Santa Maria da Vitória, also known as the Monastery of Batalha, is one of the most beautiful examples of Portuguese and European architecture and has been part of the UNESCO World Heritage List since December, 1983.

The construction took over 150 years, across various phases, and composed by several styles namely: gothic, manueline and some renaissance touches. A number of alterations were made to the initial project, resulting in a vast monastic complex that today includes a church, two cloisters with annexed dependencies and two royal pantheons, the Founder's Chapel and the Unfinished Chapels.

The built heritage permanently gathers pathologies and defects due to deterioration of materials, repeated loading, lack of maintenance and exceptional events. Within this process, inspection and diagnosis techniques, play a major role, providing information and allowing the definition of adequate remedial measures.

To start this procedure in the Monastery of Santa Maria da Vitória the Founder's Chapel was selected for advanced, non-destructive inspection, using thermography and sonic testing, preliminary diagnosis with pathology mapping and laser scanning.

There were significant differences in the results obtained with the ultrasonic and rebound hammer according to the cardinal directions and pathologies, which appear to be associated with superficial degradation of the stone. In the analysis of laser scanning some horizontal displacements of the structure were observed. The results highlight the need to monitor the monastery as a way to prevent its degradation.

Analysis of the pathology mapping indicates the black crusts as the most common pathology in the Founder's Chapel and the Monastery in general. The patina is also a condition that covers the CF on a large scale.

Keywords: heritage, Monastery of Batalha, pathologies, Founder's Chapel, inspection and maintenance, pathologies, non-destructive testing

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS	XV
LISTA DE SIGLAS	XVII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Estrutura	2
2. MOSTEIRO DE SANTA MARIA DA VITÓRIA	5
2.1. O Mosteiro	5
2.1.1. Enquadramento do Mosteiro	5
2.1.2. Construção e Mestres	6
2.2. Capela do Fundador	7
2.2.1. Enquadramento	7
2.2.2. Revisão histórica das alterações e restauros	10
3. LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DAS PATOLOGIAS	17
3.1. Principais patologias das rochas	17
3.1.1. Desagregação Granular	18

3.1.2.	Crostras Negras	19
3.1.3.	Pátina	20
3.1.4.	Manchas Humidade	20
3.1.5.	Junta Aberta	21
3.1.6.	Lacunas, elementos partidos ou danificados	21
3.1.7.	Vegetação / Colonização Biológica	22
3.1.8.	Alveolização	23
3.1.9.	Escamação / Placas	23
3.1.10.	Fissuração/ Fendilhação	24
3.2.	Mapeamento das patologias na Capela do Fundador	25
4.	ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS	41
4.1.	Ultrassons	42
4.1.1.	Generalidades	42
4.1.2.	Uso de ultrassons na avaliação de edifícios em pedra	45
4.1.3.	Campanha de Ensaios – Materiais e Métodos	49
4.1.4.	Resultados e Discussão	51
4.2.	Termografia	57
4.2.1.	Generalidades	57
4.2.2.	Aplicação da Termografia	58
4.2.3.	Campanha de Ensaios – materiais e métodos	61
4.2.4.	Resultados e Discussão	62
4.3.	Humidímetro	66
4.4.	Esclerómetro	68
4.5.	Varrimento Laser Scanning	77
5.	MEDIDAS DE REPARAÇÃO E MANUTENÇÃO	83
5.1.	Manutenção Regular	84
5.2.	Intervenções Pontuais	85
5.2.1.	Aplicação de Herbicida	85
5.2.2.	Aplicação de Biocida	85
5.2.3.	Limpeza	86
5.2.4.	Abertura de Juntas	86

5.2.5.	Fechamento da Juntas	87
5.2.6.	Colagens	88
5.2.7.	Reintegração	89
5.2.8.	Desmonte/Substituição de elementos pétreos	90
5.2.9.	Tratamento Hidrofugante	90
5.3.	Resumo de Medidas de Conservação	91
6.	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	93
6.1.	Principais conclusões	93
6.2.	Proposta de trabalhos futuros	95
7.	BIBLIOGRAFIA	97

Índice de figuras

Figura 1 - Capela do Fundador (Alçado Poente).....	8
Figura 2 - Planta do Mosteiro da Batalha.....	9
Figura 3 - Fotografia de Vigé & Plessix (1849 a 1873).....	11
Figura 4 - Desenho do projeto de restauro de James Murphy (Soares, 2001)	12
Figura 5 - Manutenção das calhas interiores dos arcobotantes (AOF - Augusto de Oliveira Ferreira & Co, Lda, 2014)	16
Figura 6 - Formas de crescimento dos líquenes nas pedras: a) crustácea; b) foleácea; c) fruticulosa; d) endolítica (Lisci, et al., 2003).....	22
Figura 7 - Esquematisação dos alçados da Capela do Fundador.....	26
Figura 8 - Mapeamento Alçado Este	27
Figura 9 - Mapeamento Alçado Sul.....	28
Figura 10 - Mapeamento Alçado Oeste	29
Figura 11 - Mapeamento Cobertura.....	30
Figura 12 - Crostas negras da escorrência de águas no contraforte.....	31
Figura 13 - Pedra recentemente limpa	31
Figura 14 - Pátina no canto de um contraforte	32
Figura 15 - Fotos das placas da primeira fiada.....	33
Figura 16 - Infiltração de água e coloração da pedra.....	33
Figura 17 - Pormenores do desenvolvimento dos elementos metálicos (AOF - Augusto de Oliveira Ferreira & Co, Lda, 2014).....	34
Figura 18 - desagregação da pedra e da argamassa da junta	35
Figura 19 - Juntas salientes	35
Figura 20 - Abertura de Juntas: a) exemplo no interior; b) no exterior	36
Figura 21 - Elementos metálicos consolidantes da cobertura da CF (AOF - Augusto de Oliveira Ferreira & Co, Lda, 2014).....	37
Figura 22 - Vandalismo nas pedras.....	37
Figura 23 - Vegetação na Capela do Fundador	38
Figura 24 - Argamassa aderente à pedra	39
Figura 25 - Alveolização	39
Figura 26 - À esquerda casulos de terra e à direita pássaro no interior da CF	40

Figura 27 - representação esquemática da degradação da pedra (Aires-Barros, 2001).....	40
Figura 28 - Métodos de transmissão dos ultrassons	43
Figura 29 - Desintegração granular em coluna de mármore (Bromblet, et al., 2012).....	47
Figura 30 - Mapeamento por classes de velocidades dos ultra-sons em 1993 (Bromblet, et al., 2012).....	47
Figura 31 - Mapeamento por classes de velocidades dos ultra-sons em 2009 (Bromblet, et al., 2012).....	48
Figura 32 - Bitola	49
Figura 33 - Gráfico comparativo entre os tempos de transmissão médios obtidos com a vaselina e com a massa de moldar	51
Figura 34 - Leitura dos tempos de velocidade para a massa de moldar	52
Figura 35 - Leitura dos tempos de velocidade para a vaselina	52
Figura 36 - Gráfico comparativo entre orientações.....	55
Figura 37 - Gráfico comparativo entre patologias	56
Figura 38 - Provetes estudados à fissuração (Silva, 2012)	59
Figura 39 - Termograma de arrefecimento e secagem da face B do provete 3 (Silva, 2012)	60
Figura 40 - Termograma dinâmico de Secagem (A, B, C) (Silva, 2012).....	60
Figura 41 - Câmara Fluke modelo ti45FT	62
Figura 42 - Termografia das crostas negras e respetiva foto da localização	63
Figura 43 - Termograma do aquecimento das saliências.....	63
Figura 44 – Termograma de modelação em 3D representativo do aquecimento nas juntas de pedras (gráfico em 3D).....	64
Figura 45 - Termografia das pedras recentes	65
Figura 46 - Gráfico termográfico do aquecimento junto ao chão	65
Figura 47 - Alveolização representada no termograma.....	66
Figura 48 – Humidímetro marca “TRAMEX CRH” (Fattore Vitale & Co., 2008).....	67
Figura 49 - Constituição do esclerómetro de Schmidt (Oliveira, 2003).....	68
Figura 50 - Esclerómetro de Schmidt digital usado nos ensaios.....	72
Figura 51 - Relação entre Esclerómetro e Ultra-sons com diferenciação do exterior do interior.....	75
Figura 52 - Esclerómetro vs ultrassons por orientação.....	76
Figura 53 - Nuvem de pontos do levantamento do Arco da Rua Augusta (Mateus, 2012). 77	
Figura 54 - Programa SCENE LT	78

Figura 55 - Corte com indicação dos níveis medidos.....	79
Figura 56 - Referencial e alinhamentos do varrimento laser.....	79
Figura 57 - Implementação das medições do varrimento laser	80

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice de tabelas

Tabela 1 - Dureza de Schmidt média e desvio padrão (Machado, 2012)	71
Tabela 2 - Valores médios e desvio padrão da Dureza de Schmidt para as 34 pedras analisadas	73
Tabela 3 - Valores médios da Dureza de Schmidt para as 34 pedras e dividido por orientação/localização	74
Tabela 4 - Desvios à verticalidade	81
Tabela 5 - Distâncias cruzadas	82
Tabela 6 - Lista ações de manutenção e correspondente proposta de calendarização	92

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de siglas

CF – Capela do Fundador

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação Ciência e Cultura

PUNDIT – Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester

IPPC – Instituto Português do Património Cultural

DGPC – Direção Geral do Património Cultural

DGEMN – Direção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais

MEV - Microscopia Eletrónica de Varrimento

DRX - Difração de Raios X

ISRM - International Society for Rock Mechanics

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

1. Introdução

1.1. Enquadramento

O Mosteiro de Santa Maria da Vitória é um símbolo marcante do nosso país, não só por ser um marco na história, mas também pela grandiosa obra de engenharia e arquitetura.

A qualidade de um monumento varia em função das técnicas de construção, arquitetura, materiais utilizados e das ações de conservação ao longo dos anos. Todos estes fatores são decisivos para a durabilidade e estado de conservação.

A pedra, material que está na essência da construção do Mosteiro, está sujeita a alterações ao longo do tempo, contudo a pedra é um material nobre que foi usado ao longo da história, aplicada desde simples peças a complexos monumentos.

Para a conservação e restauro da pedra é necessário o conhecimento de características e propriedades da pedra assim como técnicas e produtos para a reabilitação.

Existe cada vez mais a consciência para a preservação e conservação dos edifícios antigos, principalmente monumentos, levando ao aparecimento de estudos da conservação e reabilitação da pedra. Esta ciência tem vindo a expandir-se nos últimos séculos. Vai-se aprendendo cada vez mais e aperfeiçoando as técnicas e produtos de conservação e reabilitação.

Antigamente era comum o uso de ceras e água Baryta no século XIX, no século passado utilizava-se a cal e produtos sintéticos que a título de exemplo hoje suspeita-se que as ceras e alguns produtos sintéticos desencadeavam a pátina. Hoje em dia os sofisticados e inovadores métodos (ainda que sejam raros) passam por limpeza a laser e cataplasma, conservação hidroxilada e o uso de bactérias regeneradoras de calcite (Costa, 2009).

1.2. Objetivos

Esta dissertação teve como objetivo o estudo e inspeção da Capela do Fundador (CF), do Mosteiro da Batalha, através da avaliação do seu estado de conservação. Esta escolha da Capela do Fundador, deveu-se à sua construção parcialmente desintegrada da restante edificação (apenas um lado em comum com a Igreja), pois a sua construção não estava planeada no projeto inicial.

Em primeira instância está a caracterização do Mosteiro da Batalha desde a história à própria construção. Segue-se o enquadramento da CF e os respetivos restauros.

O desenvolvimento do estudo baseou-se na observação visual com apoio em ensaios não-destrutivos, nomeadamente a medição da propagação dos ultrassons, termografia, termómetro infravermelho e humidímetro sendo estes equipamentos disponibilizados pelo IPL. Foi realizada ainda em colaboração com a TOPCON o varrimento laser scanning do interior da CF. Todos os ensaios foram realizados no local e faseadamente por etapas.

Além dos ensaios não destrutivos avaliaram-se as patologias existentes, realizando o seu mapeamento, tentando enquadrar as possíveis causas. No final descrevem-se medidas de reparação e manutenção que independentemente da periodicidade devem ser tidas em conta.

1.3. Estrutura

Relativamente à organização da dissertação estão sucintamente enunciados a seguir os 6 capítulos e a bibliografia no final.

No primeiro Capítulo consta uma introdução, onde se insere o enquadramento, objetivos e a presente estrutura.

No Capítulo 2 é feito um enquadramento ao Mosteiro da Batalha e referidas as etapas de construção e os seus mestres. Ainda neste capítulo é abordada a Capela do Fundador, fazendo-lhe um enquadramento e referidos os restauros até à atualidade.

O terceiro Capítulo trata as patologias, descrevendo sucintamente cada uma, apresentando possíveis justificações ao seu aparecimento e posteriormente segue a ilustração do mapeamento das anomalias.

Os ensaios não destrutivos tiveram lugar no quarto Capítulo. Os ensaios efetuados foram os ultrassons, termografia, esclerómetro e varrimento laser scanning, completando-se com o humidímetro e termómetro.

O quinto Capítulo aborda as medidas de reparação e manutenção, descrevendo as intervenções regulares e pontuais. No final encontra-se um quadro resumo.

No sexto e último Capítulo estão as conclusões retiradas da elaboração desta dissertação e sugestões de trabalhos futuros.

2. Mosteiro de Santa Maria da Vitória

2.1. O Mosteiro

2.1.1. Enquadramento do Mosteiro

Mandado construir em 1388 por D. João I, o Mosteiro de Santa Maria da Vitória, mais conhecido por Mosteiro da Batalha, surgiu de uma promessa à virgem Maria caso saísse vitorioso de uma batalha decisiva contra as tropas castelhanas, para subir ao trono de Portugal (por isso o nome atribuído de Mosteiro de Santa Maria da Vitória) e assim garantir a independência de Portugal. Esta foi a batalha de Aljubarrota de 14 de agosto de 1385, tendo-se iniciado a construção do Mosteiro entre 1 a 2 anos depois.

O Mosteiro situa-se na Quinta do Pinhal (4 km a Norte do local da Batalha de Aljubarrota). Localizado num vale, oferece melhores condições de oferta de água (vinda do Rio Lena e seus afluentes), e com solos ricos para a agricultura. As pedreiras, de onde era extraída a pedra calcária, eram também relativamente próximas.

Inicialmente, e até cerca de 1834, o Mosteiro foi utilizado pelos frades pregadores mendicantes, passando posteriormente para o Estado após se extinguirem as ordens religiosas.

Este símbolo da História da Arte Portuguesa e Europeia que é o Mosteiro da Batalha ficou marcado no final do Séc. XIV como um dos maiores complexos religiosos do Gótico Português e assim influenciando as edificações em Portugal naquele tempo (Dias, 1994).

O Mosteiro é monumento nacional desde o séc. XIX e atualmente está na dependência do Direção-Geral do Património Cultural (DGPC) e faz parte da UNESCO desde dezembro de 1983 (Andrade, 1989).

2.1.2. Construção e Mestres

O mosteiro é formado por vários elementos conventuais como a grande igreja. A capela do fundador e as capelas imperfeitas formam os panteões reais, o Claustro Real e o Claustro de D. Afonso V, com as respetivas divisões anexas.

A primeira parte a ser construída foi a Igreja sendo a última a construção das Capelas imperfeitas em 1533, não se tendo acabado a construção nestas capelas. As obras foram faseadas e duraram mais de 150 anos (Batalha, 2014).

Em 1551 ainda se começou a construir um 3º claustro que acabou por ser invadido e destruído pelas tropas francesas. Tudo o que se desenvolveu depois foram trabalhos de reparação e manutenção como é o caso dos que fizeram em 1751, na década de 1820 e na campanha de 1840 a 1900.

Os três estilos presentes são os seguintes:

- Estilo gótico é o predominante e notável em diferentes etapas do mosteiro;
- Estilo manuelino presente principalmente na zona das capelas imperfeitas;
- Estilo renascentista notável num ponto singular no panteão e no Claustro de D. João III (atualmente inexistente). (Andrade, 1989)

A construção do Mosteiro entre 1388 e 1533 dividiu-se em 3 principais fases:

- A primeira fase é a joanina de 1388 a 1438, decorre no Reinado de D. João e D. Duarte. Nesta fase construiu-se a Igreja, sacristia, o Claustro e os seus anexos. Não se sabia ao certo os elementos que consistiam na construção da primeira fase. Começou-se ainda a construir a Capela do fundador e “projetou-se” as Capelas Imperfeitas. Os dois mestres mais marcantes deste período foi Afonso Domingues e Huguet.
- A outra fase é a Afonsina de 1438 a 1481 referindo-se ao rei D. Afonso V e ao Regente Infante D. Pedro. Na continuação da fase anterior, desenvolveu-se bastante o Mosteiro e é neste período que são executados os túmulos dos Infantes na Capela do Fundador, dá-se início ao Claustro de D. Afonso V. Os dois mestres aqui presentes são Martin Vasques e o seu sobrinho Fernão de Évora.
- A última fase foi a Manuelina, ou seja, durante o reinado de D. Manuel e ainda apanha uma parte do reinado do seu sucessor. Nesta última etapa

fazem-se alguns acabamentos de segundos pisos, terminaram-se as Capelas, fizeram intervenções no Claustro Real. O principal mestre desta época foi Mateus Fernandes, contudo atuaram outros mestres como Boitaca, João de Castilho e Miguel de Arruda.

- Acabada esta terceira fase chega-se ao fim a fase do Monumento régio, dando agora lugar ao “período conventual”. (Andrade, 1989)

2.2. Capela do Fundador

2.2.1. Enquadramento

Projetada pelo arquiteto Huguet e construída no segundo quartel do século XV, a Capela do Fundador não estava prevista aquando da construção inicial do Mosteiro. É uma bela capela concebida para panteão régio albergando vários túmulos das figuras mais importantes da história de Portugal. Entre elas estão D. João I e a sua esposa Dona Filipa de Lencastre na zona central, os seus filhos (Infante D. Henrique, D. Fernando, D. João e sua mulher D. Isabel, D. Pedro e a sua mulher D. Isabel de Urgel) na parede sul. Na parede do lado oeste estão os túmulos dos reis D. Afonso V, D. João II e o seu filho, o infante D. Afonso (<http://www.mosteirobatalha.pt/pt/index.php>, acedido em setembro de 2015).

Localizada a sudoeste da Igreja a Capela do Fundador é constituída no interior pelos túmulos descritos anteriormente e 8 pilares sustentando a cobertura do octógono com 8 águas. Tem uma planta quadrada e após a primeira cobertura periférica de 4 águas levanta-se um octógono por cima de pilares descrevendo um “segundo andar” fechado por uma cúpula nervurada em forma de estrela (Branco & Azevedo, 1990).

A Capela é constituída por três alçados pelo exterior onde em cada um é composto por quatro contrafortes e três janelas sendo a do meio maior que as laterais. Acima do primeiro lanço da cobertura existem 8 arcobotantes ligando os contrafortes ao octógono sobressaindo-se à cobertura na forma de pináculos¹, à semelhança da finalização dos pilares e contrafortes.

¹ Finalização do topo ou coroamento de contrafortes ou elementos estruturais verticais, em forma de pirâmide com acabamentos trabalhados.

Todo o perímetro das coberturas inferior e superior está circundado por uma platibanda composta por grillhagem e rematada por cima com flores-de-lis². A Figura 1 é uma foto à CF do Alçado Poente.



Figura 1 - Capela do Fundador (Alçado Poente)

As grandes janelas em forma de ogiva no perímetro exterior do edifício facilitam a entrada de luz em várias direções incidindo com maior intensidade no centro da Capela. Os diversos arcos cruzeiros constituem a abobada ligando a parede aos pilares que dão seguimento ao octógono (<http://www.mosteirobatalha.pt/pt/index.php>, acedido em setembro de 2015).

² Elemento arquitetónico decorativo em pedra servindo de remate às platibandas

A cobertura é composta por telhões de pedra calcária. Na cobertura inferior os telhões têm uma forma ondular simples. Na cobertura superior os telhões têm uma bordadura de um lado que os permite sobrepor ao telhão lateral, encaixando uns nos outros de forma semelhante à telha corrente atual. Os arcobotantes além da sua função estrutural também servem para o escoamento às águas pluviais da cobertura superior para o nível da cobertura inferior, sendo a água descarregada pelas gárgulas. Este era um inovador sistema de drenagem para a época, pois a água escorria internamente no arcobotante.

Na Figura 2 está representada a planta do Mosteiro de Santa Maria da Vitória com a indicação das respetivas partes, onde se assinala a Capela do Fundador.

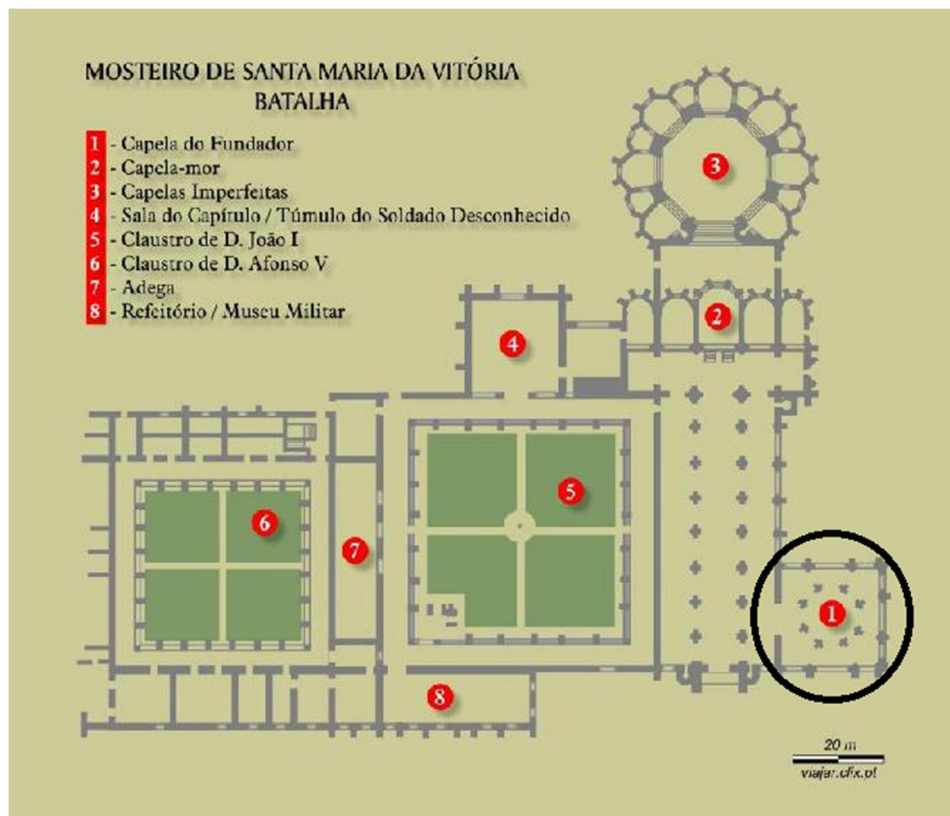


Figura 2 - Planta do Mosteiro da Batalha

2.2.2. Revisão histórica das alterações e restauros

Segundo Mousinho de Albuquerque (1854) “*A maior parte dos ornatos externos superiores do monumento foram pouco e pouco mutilados com o andar dos tempos, e alguns com os abalos do solo, como a pyramide ou corucheo que cobria a parte central da capella sepulchral do fundador, cuja base octogona se acha hoje limitada superiormente por uma simples plataforma de telhoes de cantaria.*”

Com a degradação natural ao longo do tempo a somar com os terramotos de 1755 e 1969, as Invasões Francesas e a extinção das ordens religiosas para além das manutenções são fundamentais os restauros para manter um bom/razoável estado de conservação.

Anteriormente a 1840 não há registo de ações de restauro. Existe contudo uma importante campanha de restauro entre 1840 e 1900. Posteriormente a 1900 existiram intervenções da Direção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais.

Campanha de Restauro e intervenções de 1840 a 1900

O terramoto de 1755 destruiu o coruchéu da lanterna existente no cimo do octógono da Capela do Fundador (Sousa, 1767). As obras do restauro surgiram a mando de D. José I, contudo nunca se chegou a reconstruir a esguia pirâmide (coruchéu da lanterna) existente. Para agravar ao terramoto, sucederam-se as Invasões Francesas que provocaram destruição do Mosteiro onde se destacou a violação dos túmulos da Capela do Fundador. Posteriormente a estes acontecimentos, Luís Mouzinho de Albuquerque em 1840 inicia os restauros na Capela. Nos restauros, o túmulo do Infante D. Henrique foi uma das principais preocupações de Mouzinho, mas a infiltração das águas pluviosas para o interior da Capela era um fator mais urgente a resolver, o que fez com que se suspendessem as obras no túmulo. Isto fez com que as obras de restauro se iniciassem pelo exterior. A fotografia que se segue estava datada de entre 1849 a 1873 de Vigé & Plessix. Contudo de acordo com Soares (2001) em 1862 já se tinham terminado os arcobotantes, refinando o intervalo de tempo da foto de 1849 a 1862. Nesta fotografia é visível a inexistência dos arcobotantes e que o pavimento envolvente da CF foi rebaixado e cerca de 65 cm novos elementos de cantaria surgiram.



Figura 3 - Fotografia de Vigé & Plessix (1849 a 1873)

O Arquiteto Lucas Pereira seguiu o restauro exterior da Capela do Fundador. Com base em documentos e gravuras, procurou ser fiel à originalidade. Um desenho do Arquiteto Inglês James Murphy ajudou a perceber a arquitetura, elaborado a partir da sua própria imaginação e com base na descrição de Frei Luís de Sousa (Neto, 1997). Murphy foi uma pessoa importante uma vez que veio para Portugal em 1788 para desenhar o Mosteiro da Batalha, encontrando-o nesta altura muito danificado devido ao terramoto e agravando-se devido às invasões francesas entre 1807 e 1811 e posteriormente em 1834 a extinção das ordens religiosas e consequentemente a venda dos seus bens. (Soares, 2001)

De acordo com um documento os restauros na Capela dividiam por várias vertentes com o intuito: “[...] em fazer de novo sete botaréus, um dto consertado, - a cúpula externa que serve de remate assentar grilhajes e lises em todos os terraços, consertar as janelas altas e as de baixo [...]” (Soares, 2001). Este era um projeto de restauro de outubro de 1859. Fizeram-se alterações notáveis no seu exterior, como por exemplo acrescentaram-se sete arcobotantes, existindo apenas um único inicialmente, não haviam platibandas, a parte de baixo do edifício (parte quadrangular) estava por rematar e na parte de cima (parte octogonal) as janelas estavam sem bandeiras esculpidas.

Os primeiros trabalhos começaram por lavrar cantaria em 1858 para em 1860 os pedreiros a assentarem nas platibandas (constituídas por grilhagens e por cima flores-de-lis) e as bandeiras nas janelas assim como o restauro da madeira e vidros.

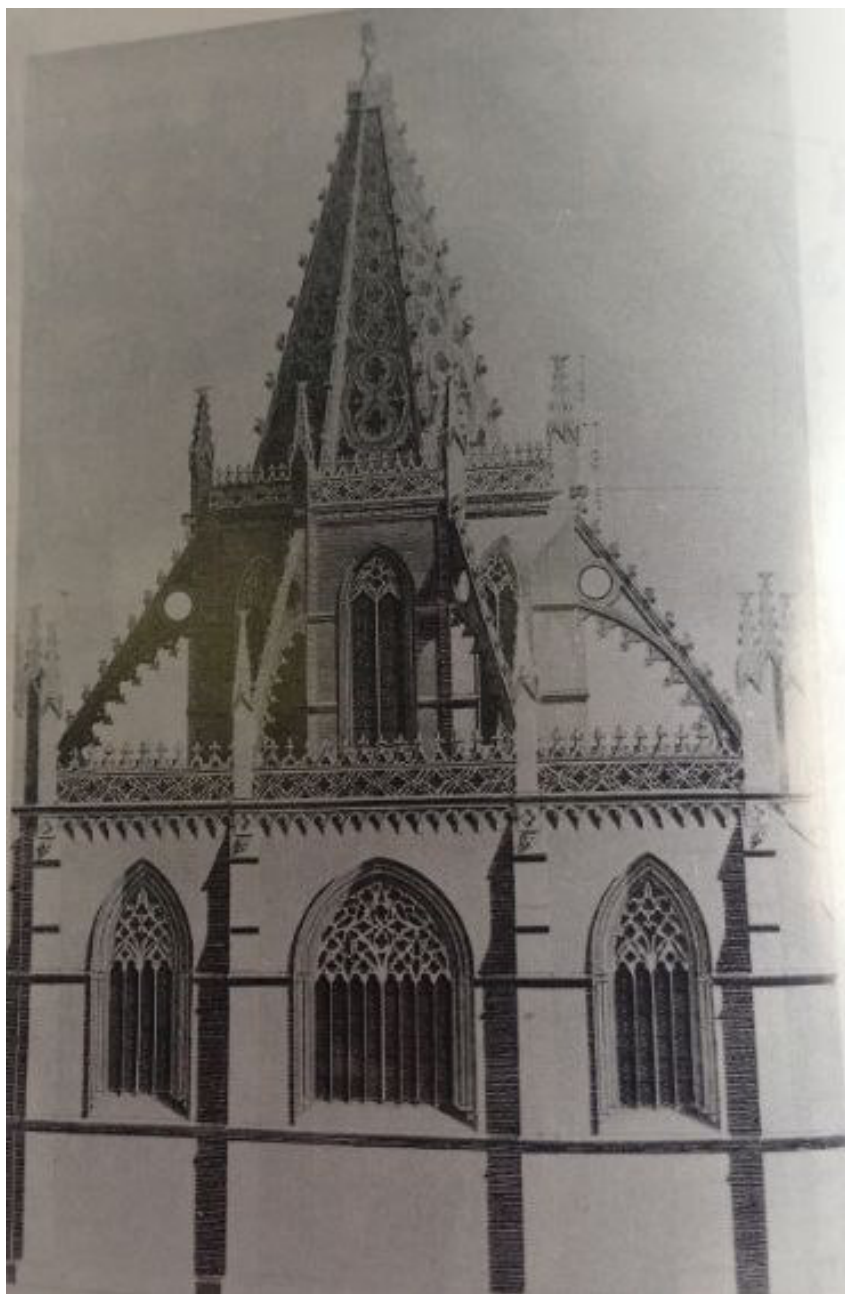


Figura 4 - Desenho do projeto de restauro de James Murphy (Soares, 2001)

Deram-se os principais restauros no exterior da Capela do Fundador em 1859, isto após a conclusão dos restauros dos muros e da torre sineira da sala do capítulo, o coruchéu da cegonha ainda estava a ser concluído. Até 1862 a direção de obra estava a cargo do Arquiteto Lucas Pereira.

Os sete arcos botantes são construídos em dois anos e ficaram concluídos em 1862. Durante a década de 60 assentam-se os telhões em pedra nos terraços, acabam-se as bandeiras das janelas, reconstroem-se as pirâmides e fazem-se outros restauros como o das janelas existentes. Os canteiros lavram pedras de elevada complexidade como as das bandeiras das janelas (vazadas), grilhagem ou mesmo as flores-de-lis, tendo sido desenhadas de acordo com os desenhos de James Murphy com um estilo do Gothic Revival inglês. Finalizado o trabalho dos canteiros e pedreiros as obras prologaram-se com o restauro das janelas, platibandas, pirâmides e iniciam-se os trabalhos de envidraçamento e carpintaria até meados da década de 70.

As obras de restauro na Capela do Fundador coincidiram com as obras no Claustro Real. Por volta de 1885 acabam os arranjos no exterior da Capela do Fundador, seguindo-se pelo restauro dos túmulos no interior, já começados a restaurar, concluindo-se em 1890 e em 1891 inicia-se a construção dos túmulos novos localizados na parede oeste inseridos nos arcosólios.

No fundo do túmulo de D. João I e D. Filipa De Lencastre, entre as colunas existia um altar designado “da Cruz” que se danificaram com as invasões e acabando por ser demolido com os restauros ainda antes de se proceder aos restauros dos túmulos. Como já referido anteriormente também este túmulo foi gravemente danificado pelos soldados juntamente com as estátuas tendo sido alvo de reclamações pois o seu restauro passou para segundo plano, ficando os restauros exteriores como prioridade.

No que diz respeito aos restauros no interior da Capela a saliência existente do chão onde assentara o túmulo do fundador foi nivelado com o pavimento circundante, incluindo também o espaço entre as colunas. Na parede oeste da capela foram acrescentados 3 novos túmulos nos arcosólios iniciando-se a construção em 1891, supostamente para sepultar os restos mortais de D. Afonso V, rainha D. Isabel, D. João II e seu filho príncipe D. Afonso. Estes novos túmulos eram iguais aos túmulos dos Infantes, distinguindo-se apenas a decoração dos três escudos entre a folhagem dos frontais. Sendo diferente a descrição dos brasões de armas ou escudos para cada um dos túmulos elaboraram-se novos frontais.

Em suma a eliminação dos altares na Capela do Fundador e a concentração dos túmulos naquele sítio foram as principais modificações no seu interior já que este espaço tinha sido pensado para o efeito de panteão. Relativamente aos túmulos os seus frontais decorados não foram devidamente identificados no sentido heráldico por falta de conhecimento ou cuidado dos restauradores. (Soares, 2001)

Restauros e intervenções posteriores a 1900

Existiram alguns restauros posteriores a 1900, nomeadamente devidos ao terramoto de 28 de Fevereiro de 1969. Estes foram efetuados a cargo da DGEMN³. Relativamente não só à Capela do Fundador mas também à Capela-mor e Nave Central, em maio de 1969 previram-se obras no exterior que consistiram no ajuste de elementos de cantaria que se desligaram do seu local devido ao sismo, o mesmo aconteceu a peças das pirâmides que ligavam ao gigante⁴ e substituição dos seus terminais, pois alguns caíram e ficaram danificados e outros desapareceram.

Mais tarde em outubro do mesmo ano foram previstas outras obras de valorização e conservação, revisão das janelas do octógono da Capela do Fundador. O enchimento e refechamento das juntas das pedras de lajedo da cobertura da Capela do Fundador foi previsto em 1971.

Recentemente o Mosteiro sofreu 2 fases de intervenção podendo ser considerada como uma manutenção “extraordinária”, tendo sido das últimas ações de conservação de maior relevo lá efetuadas, sabe-se por isso pormenorizadamente o que foi feito. (AOF - Augusto de Oliveira Ferreira & Co, Lda, 2014).

No intuito da intervenção de restauro e conservação de elementos pétreos do Mosteiro da Batalha efetuados pela AOF (2014), a seguir descrevem-se as fases de intervenção.

³ Antigo Serviço Central do Ministério do Equipamento do Planeamento e da Administração do Território do Governo de Portugal

⁴ Grandes Pilares

Na 1ª fase de intervenção que decorreu entre agosto e dezembro de 2013, abrangeu a pedra de revestimentos da cobertura e terraços de vários espaços do Mosteiro, entre eles estão o Transepto da Igreja, Nave Central, Capelas Colaterais, Claustro D. João I, Adega dos Frades, Lavabo e terraço da eucaristia. Relativamente às coberturas as obras de reabilitação abrangeram os pináculos do Transepto Sul e nave da Igreja, Claustro D. João I e Lavabo, as flores de lis nas platibandas do Claustro D. João I, Capelas Colaterais da Igreja, Lavabo e Capelas imperfeitas e o Coruchéu da Cegonha também foi alvo de intervenção. Contudo nesta 1ª fase não abrangeu nenhuma obra na Capela do Fundador. (AOF - Augusto de Oliveira Ferreira & Co, Lda, 2014)

Foi na 2ª fase que se intervencionou a Capela do Fundador, a par desta estão obras nas Caleiras e terraços das Naves Laterais da Igreja, terraço e escadas da entrada principal, passadiço sobre a Sacristia, caleiras e muretes sobre a Sala do Capítulo e terraços superiores das Capelas Imperfeitas. Em relação às coberturas foram recuperadas flores-de-lis das platibandas do terraço e escadas da entrada principal, Naves laterais da Igreja, Passadiço sobre a Sacristia, Antigo refeitório, Cozinha, Adega dos Frades e Sala do Capítulo e os Pináculos nas Capelas Imperfeitas. Na Capela do Fundador foram intervencionadas as Coberturas, Caleiras, Flores-de-lis, Pináculos e Arcobotantes. A 2ª fase decorreu entre outubro de 2013 e março de 2014.

De forma geral os trabalhos de conservação e restauro desenrolaram-se na base da limpeza, estabilização e consolidação das pedras. Estes trabalhos decorreram no âmbito da preparação da extensão das visitas à cobertura. (AOF - Augusto de Oliveira Ferreira & Co, Lda, 2014)

Na Capela do Fundador foi aplicado herbicida e biocida tanto na cobertura superior como inferior, foi feita uma limpeza geral pela cobertura de modo a remover a negridão das pedras calcárias, originada pela colonização biológica clareando assim a pedra. Ainda houve uma ação de abertura e refecimento das juntas. Aqui procedeu-se à manutenção das juntas uma vez que o material de enchimento estava degradado, pondo em causa a estanquidade do edifício.

As obras de reparação e restauro propriamente ditas passaram por colagens de elementos de pedra soltos, deixando-os da forma mais original possível não descurando a sua limpeza, reintegração dos elementos passando por estucagem, micro-estucagem e volumes, os elementos metálicos que fazem parte da Capela do Fundador também foram alvo de proteção contra a corrosão e no final a aplicação de hidrofugante na pedra. Outros trabalhos de menor relevo se fizeram como desentupimentos, arranjos de flores-de-lis, pináculos e arcobotantes.

Nas Figura 5 está o arcobotante como função de drenagem das águas. A foto da esquerda ilustra o estado de entupimento em que se encontrava e à direita observa-se o interior com as tampas de pedra retiradas para se proceder à limpeza.



Figura 5 - Manutenção das calhas interiores dos arcobotantes (AOF - Augusto de Oliveira Ferreira & Co, Lda, 2014)

3. Levantamento e Caracterização das Patologias

3.1. Principais patologias das rochas

São várias as condições que proporcionam a alteração das rochas naturais, tais como a termodinâmica, os agentes químicos do meio ambiente ou até mesmo produtos para a sua conservação. Da alteração do material pétreo podem surgir patologias como a desagregação, decomposição e coloração como é o caso da pátina.

De acordo com Costa (2009) “*A alteração provoca a destruição das redes cristalinas dos minerais e a movimentação dos iões para posições em estruturas mais abertas.*”

O mecanismo de meteorização ou deteriorização da rocha acontece aquando da passagem a um novo equilíbrio, depois de estar sujeita a ações de variações de amplitude termodinâmicas (Costa, 2009)

A meteorização desencadeia-se com as seguintes ações físicas:

- Expansão derivada de amplitudes térmicas;
- Expansão consequente do congelamento (aumento de volume) da água na rede porosa da rocha;
- Expansão por descompressão;
- Mecanismos provocados por seres vivos;
- Ações eólicas (vento).

A ação da água e do ar são fontes de alterações químicas tais como:

- Oxidação;
- Redução;
- Dissolução;
- Hidrólise;
- Oxidação-Hidratação.

A alteração endógena e exógena depende de fatores intrínsecos e extrínsecos e todos contribuem para a meteorização. Os fatores intrínsecos dependem da natureza e tipo de rocha, fracturação e vazios. Os fatores extrínsecos são o pH, temperatura, quantidade de água e forças bióticas.

A porosidade na rocha é dos fatores mais condicionantes pois proporciona a atividade biológica e permite a percolação da água nos vazios, favorecendo a perda de material como Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , entre outros (Costa, 2009)

A sujidade ou depósito de partículas secas e carbonosas é outra forma de degradação onde não existem alterações físico-químicas, as crostas negras é a patologia onde se observa esta degradação.

Nas secções seguintes faz-se uma descrição mais detalhada das principais patologias das pedras. Na secção 3.2 apresentam-se alguns exemplos destas patologias observadas na CF do Mosteiro da Batalha.

3.1.1. Desagregação Granular

A desagregação granular é um tipo de deterioração da pedra, que consiste no desgastar e queda dos grãos minerais constituintes da pedra, existentes à superfície da pedra, que com o tempo ou em certos casos alastra-se. Esta perda de material provoca um aumento de rugosidade. Esta patologia é também conhecida como desintegração granular, desagregação arenosa ou enfarinhamento para rochas grãos muito finos.

No caso de pedra trabalhada esta patologia faz perder a forma vincada da escultura, boleando as arestas, rebaixando as zonas mais salientes.

A desagregação granular tem como origem a cristalização dos sais solúveis existentes na pedra, que quanto mais porosa for a sua rede capilar, maior ou mais depressa é a sua deterioração. Os sais solúveis deste fenómeno são principalmente o gesso mas também existem outros tais como halite⁵ e thenardite⁶. A humidade acelera o processo de desagregação (Begonha, 2001).

⁵ Sal de rocha sedimentar de aspeto transparente idêntico ao vidro.

⁶ Mineral de sulfato de sódio

De forma a caracterizar melhor esta patologia pode-se recorrer ao ensaio da difração de raio x, obtendo-se o comprimento de onda e assim estudar as características do material. A microscopia eletrónica de varrimento é outro ensaio não destrutivo para a análise do material pétreo (Begonha, 2001). O ensaio de determinação da tensão de rotura por compressão é um ensaio destrutivo que quando analisado em pedra com desagregação apresenta valores reduzidos de capacidade de compressão (Costa, 2009).

3.1.2. Crostas Negras

As crostas negras destacam-se pela sua cor negra como o nome indica. A crosta é o resultado do depósito de micro-organismos existentes no ar que assentam na pedra, muitas das vezes vindo na chuva ou vento. Esta patologia agrava-se com os ciclos de molhagem-secagem, isto é, quanto maior for número de ciclos mais espessa é a crosta atingindo espessuras entre 0,05mm e 10mm. Esta patologia não aparece na pedra se esta tiver desagregação pois a constante queda de material não dá tempo de se formar (Freitas, 2012).

Esta patologia tem maior incidência em zonas de escorrência de águas e na pedra mais porosa o que facilita os micro-organismos a entranharem-se na porosidade da pedra.

Um aspeto positivo das crostas negras é o impedimento de degradação da pedra, uma vez que estas formam uma barreira protetora. Embora dificilmente seja perceptível, as crostas negras criam embaulamento na pedra.

Os micro-organismos constituintes das crostas descritos anteriormente podem ser de diversas origens tais como as cinzas volantes que é o material do fumo resultante da queima de combustível fóssil e as poeiras das ruas e solos. A maior rugosidade do material também ajuda à penetração destas crostas.

Para esta patologia podem-se fazer ensaios da termografia, microscopia eletrónica de varrimento (MEV), difração de raios x (DRX) e ultrassons.

3.1.3. Pátina

A pátina é uma fina película (50 a 150µm) que reveste a superfície da pedra com cor entre o laranja e castanho (Aires-Barros, 2001). A sulfatação e a solubilização salina são possíveis causas para a manifestação desta patologia, provocando micritização⁷ e consequentemente a arenização. A par das crostas negras a queima de combustíveis fósseis e outros agentes químicos largados na atmosfera e que através da reação (micritização) podem estar na origem da pátina. Campanhas de limpeza da pedra com produtos orgânicos como ácido sulfúrico diluído, ceras e óleos para a consolidação das peças podem estar também na origem da pátina.

Para a recolha de informação desta patologia na pedra podem-se recorrer a ensaios como ultrassons, DRX, MEV e termografia.

3.1.4. Manchas de Humidade

As manchas de humidade são perceptíveis devido à sua tonalidade mais escura. Aparecem em geral nas paredes mais rente ao chão, tetos ou mesmo na parte superior da parede. Para diferentes localizações da humidade poderão surgir de diferentes causas.

A ascensão capilar é um dos fenómenos comuns em que a humidade sobe através da porosidade da pedra ou pelas juntas da pedra sendo a sua evaporação ou secagem lenta. A infiltração das águas provenientes da precipitação é outra das causas quando a cobertura tem problemas de permeabilização. A condensação é por sua vez uma causa no interior do edifício.

Através do higrómetro ou humidímetro tomamos valores da humidade existente na pedra.

⁷ Processo diagenético modificador que resulta na abrasão de carbonatos (cruz, 2012)

3.1.5. Junta Aberta

A junta aberta está associada frequentemente a esforços atuantes no edifício, afastando os elementos da parede. Na maioria das vezes uma abertura de junta trespassa a parede de um lado ao outro. As aberturas de junta são mais frequentes e intensas no topo dos edifícios, aumentando a sua espessura da base para o topo. Em situações extremas pode levar à ruína. Esta patologia é em muitos casos responsável pela infiltração de humidade e consequentemente desagregação granular, placas entre outras.

Os assentamentos diferenciais das fundações são uma das principais causas. Problemas de projeto, execução das obras, variações de temperatura e sismos são potenciais causadores de aberturas de junta.

Um dos melhores ensaios para acompanhar a evolução da espessura da junta caso esta esteja em movimento são os testemunhos de gesso e extensómetros. Esta é uma solução que não foi usada devido às aberturas de junta mais instáveis serem por cima das janelas do octógono da Capela, tornando-se de difícil acesso devido à altura. Mais à frente irá se falar sobre a termografia onde também está incluída a patologia de abertura de junta. Em altura o ideal seria a colocação de um sistema de monitorização. Com o varrimento laser forma-se uma nuvem de pontos que através das coordenadas se consegue perceber e quantificar os movimentos.

3.1.6. Lacunas, elementos partidos ou danificados

Apesar de não se tratar de uma patologia específica, este tópico trata elementos constituintes do edifício que foram partidos devido a fatores provocados pelo homem ou pelo desgaste da própria natureza.

O homem danifica por acidente ou por vandalismo. A natureza atua com os seus agentes como o vento, precipitação, gelo, degelo e o sismo.

Para a melhor compreensão das causas e efeitos destas patologias o registo cartográfico das deteriorações é imprescindível, assim como para todas as outras patologias. A inspeção visual é uma ação básica e a mais importante que se faz, aplicando-se a todas patologias.

3.1.7. Vegetação / Colonização Biológica

A vegetação encontra-se maioritariamente nas juntas da pedra e está associada à presença de humidade e zonas sombrias. A vegetação é um tipo de colonização biológica de grande e médio porte. A colonização biológica de pequeno porte é composta por musgo ou líquenes. A biodeterioração dos líquenes é um tipo de colonização comum na pedra que se adaptam facilmente às pedra e crescem de diferentes formas.

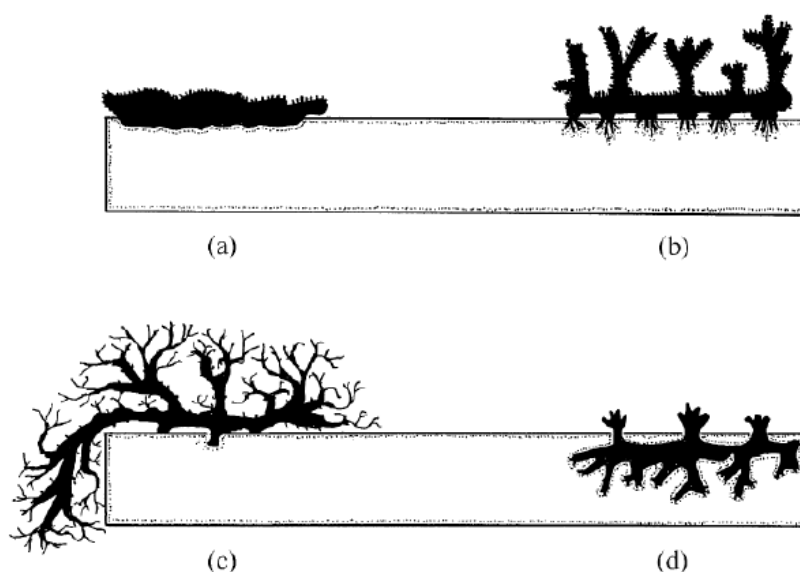


Figura 6 - Formas de crescimento dos líquenes nas pedras: a) crustácea; b) foleácea; c) fruticulosa; d) endolítica (Lisci, et al., 2003)

A forma mecânica é a ação de destruição da vegetação sobre a estrutura que com o crescimento das raízes faz com que se degrade a argamassa de preenchimento das juntas e as próprias juntas. Os musgos e líquenes podem-se ainda depositar na rede capilar e alveolização da pedra, contribuindo para a sua degradação (Lisci, et al., 2003).

Nas causas desta patologia está a presença de zonas sombrias, humidade e/ou zona de escorrência de água na parte exterior do edifício. As juntas abertas são o local de eleição para o desenvolvimento de vegetação. A falta de manutenção proporciona a existência de juntas abertas e zonas de humidade.

O ensaio do humidímetro pode ser útil para saber através da humidade existente na pedra se apresenta condições propícias ao desenvolvimento de colonização biológica, pois a humidade é crucial ao seu desenvolvimento.

3.1.8. Alveolização

A alveolização é uma patologia que dissolve a pedra formando alvéolos (cavidades). É um tipo de desagregação granular superficial com acumulação de bolsas de sais, formando na pedra perfurações em forma idêntica à de meia esfera. Em geral estas perfurações são múltiplas e juntas umas às outras, podendo variar as suas dimensões e formas. Em muitos casos poderão já ser extraídos da pedreira assim, sendo a pedra um material natural não é homogéneo (Freitas, 2012).

As chuvas ácidas são uma das causas da alveolização associado às fracas propriedades da pedra. A elevada porosidade aberta facilita a entrada da água da chuva onde começa o efeito de meteorização das chuvas ácidas.

O ensaio de DRX, a MEV e ensaio de porometria são alguns ensaios em que se pode perceber as características da pedra e assim relacionar com a velocidade ou aceleração da dissolução da pedra. O pHmetro serve para medir o pH da água, ou seja, o nível de acidez da pluviosidade. Quanto mais o pH se afastar do ponto neutro (7) mais é a água nociva para a pedra (Freitas, 2012).

3.1.9. Escamação / Placas

A escamação ou tecnicamente mais conhecida por placas é um tipo de degradação na superfície exterior da pedra, formando o destacamento de camadas podendo chegar a 2 ou 3 cm de espessura que se acabam por cair com o passar do tempo. Estas desenvolvem-se em grande área de superfície são geralmente mais ou menos compactas e duras consoante a sua espessura. Em casos extremos podem-se observar mais do que uma camada paralela e após o início da degradação e a queda da primeira camada a pedra fica mais suscetível entrando em desagregação granular, enfarinhamento ou mesmo geradas novas placas já com menos espessura e com menos desenvolvimento. Estes casos de camadas inferiores a 2mm são designadas plaquetas.

À semelhança da desagregação e alveolização a causa está, como na maioria das patologias, a constituição da pedra, como a porosidade, um mineral de sal solúvel e gesso. Em contacto com a excessiva humidade, ventos e variações de temperaturas, provocam a cristalização do gesso que expande, segue-se a evaporação dos sais existentes na rede porosa da pedra. Desta transformação dos sais sobra o gesso encontrado no interior das camadas. (Ferreira, 2011)

Os ensaios possíveis a realizar são a DRX, MEV e termografia. O ensaio da velocidade ultrassónica e esclerométricos apenas são aconselháveis quando a degradação está no início, depois disso os valores vão ser instáveis e excessivamente baixos. O mesmo acontece para a alveolização e placas.

3.1.10. Fissuração/ Fendilhação

Em primeiro lugar há que distinguir fissuração de fendilhação. A fissuração são aberturas que não atravessam a peça na globalidade, já a fendilhação separa a peça em duas, ou seja, a abertura interseta uma secção na totalidade. Uma fissura com o passar do tempo pode se alastrar a fenda.

A fissuração e fendilhação é provocada pela rotura dos materiais. A maioria das fissuras são inferiores a 2mm e fendas inferiores a 5mm. As juntas abertas são um caso de fendas que ocorre na ligação pedra-argamassa-pedra. Normalmente estas aberturas a par da abertura de juntas dão-se com maior destaque no topo do edifício evoluindo para baixo.

À semelhança da abertura de junta a fissuração e a fendilhação a causa genérica é a acumulação de tensões causadas por assentamentos diferenciais das fundações, problemas de projetos e execução das obras. Ainda genericamente alguns dos problemas de projeto são a falta de travamento do paramento e a falta de confinamento. A alteração do tipo de utilização, modificações estruturais, ações térmicas e sísmicas são outras das potenciais causas.

Para a medição da abertura temos o extensómetro e testemunhos de gesso, com este ensaio podemos acompanhar a evolução da espessura da fenda/fissura ao longo do tempo.

3.2. Mapeamento das patologias na Capela do Fundador

A elaboração de uma representação gráfica da localização das zonas onde estão presentes manifestações de patologias, danos ou elementos degradados com indicação da sua intensidade permite ter uma melhor perceção do estado de conservação do caso de estudo, e permite também entender as suas possíveis causas. Este método complexo envolve os três alçados exteriores e uma planta de cobertura da Capela do Fundador. Devido à extensão da área a mapear torna-se complicado um detalhe rigoroso, a agravar à impossível, por falta de meios, observação de perto das zonas mais elevadas.

O mapeamento foi dividido em vários tipos de degradação, tais como os referidos no subcapítulo anterior, sendo eles os seguintes:

- Desagregação granular;
- Crostas negras;
- Pátina;
- Manchas de humidade;
- Junta Aberta
- Lacunas/Partido/Danificado
- Vegetação/ colonização biológica
- Pedras recentes ou limpas
- Musgo seco
- Sujidade entranhada
- Alveolização
- Escamação/ placas
- Fissuração/ fendilhação

Englobou-se as pedras recentes ou recentemente limpas, que apesar de não ser uma patologia são notáveis características diferentes das outras pedras como a coloração e a maior suscetibilidade à degradação da pedra. Na desagregação granular, crostas negras e pátina optou-se por dividir em dois graus, o grau 1 de maior intensidade e o grau 2 de menor. Inseriu-se no mapeamento o musgo seco, patologia idêntica às crostas negras mas com uma espessa camada e mais seca.

O mapeamento foi elaborado em forma cromática. As cores atribuídas para a desagregação granular grau 1 foi um vermelho mais intenso e mais claro para grau 2, as crostas negras aparecem a cinzento-escuro no grau 1 e cinzento mais claro no grau 2. A cor escolhida para a pátina foi o laranja de maior intensidade para o grau 1 e um laranja mais claro para o grau 2. O azul-escuro foi escolhido para a humidade e um azul mais claro vulgarmente designado de azul-bebé representando as juntas abertas.

Com um castanho-escuro estão as lacunas, peças partidas ou danificadas, a verde está a vegetação e colonização biológica, as pedras novas ou limpas a rosa e a sujidade entranhada a bordô. O amarelo representa a alveolização, a escamação e placas a lilás e por último a fissuração e fendas com a cor violeta. Nas figuras a seguir estão representadas a cartografia do alçado Este, Sul, Oeste e a planta de cobertura da CF.

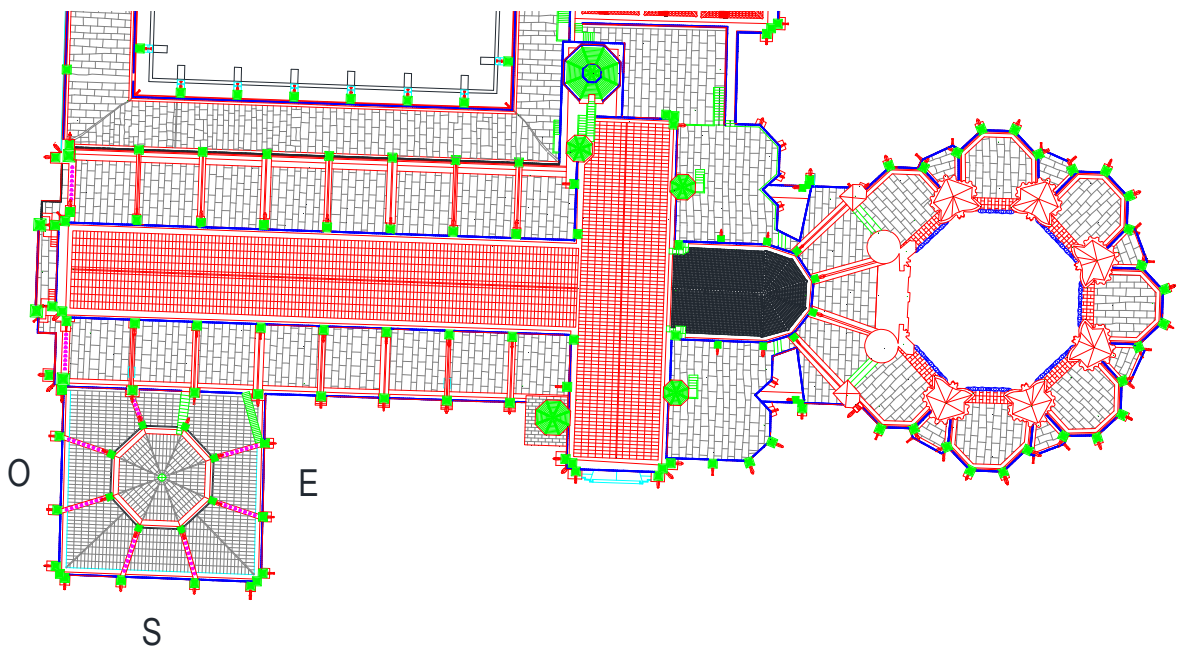
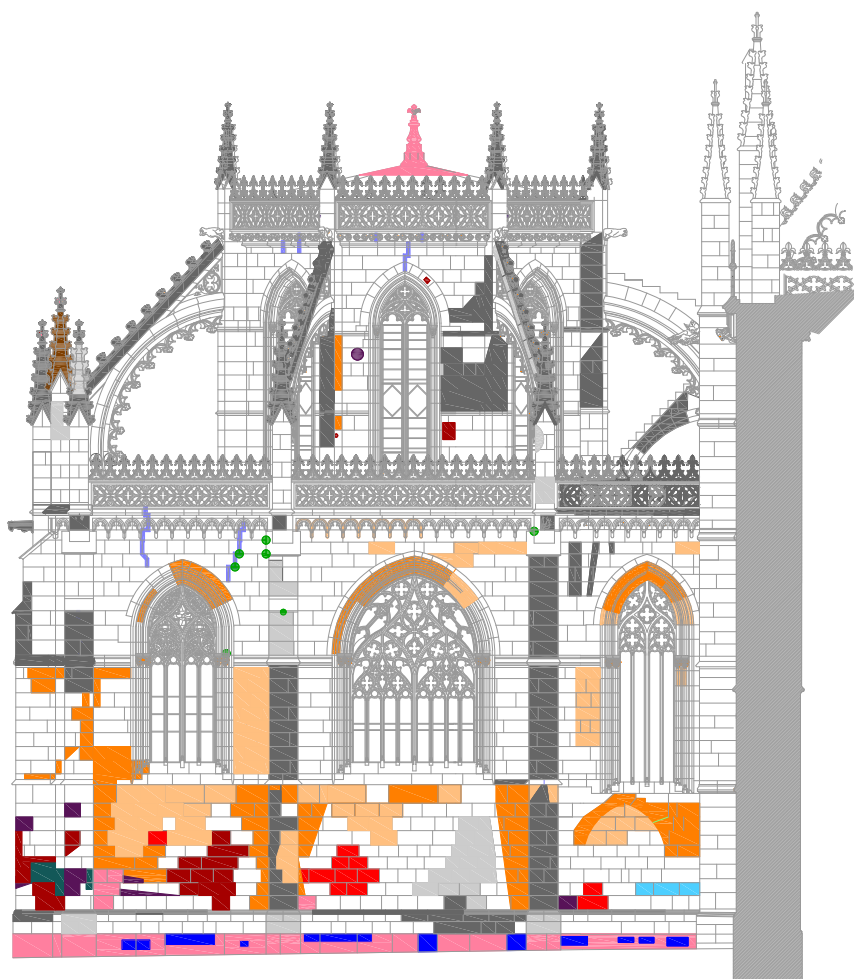


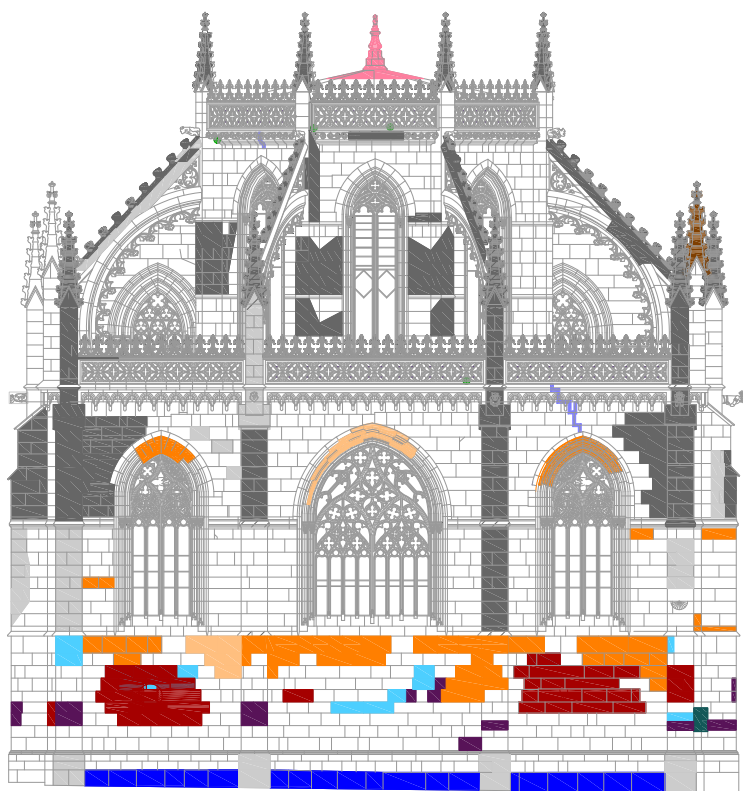
Figura 7 - Esquematização dos alçados da Capela do Fundador



Legenda:

1-Desagregação granular Grau 1	3-Pátina Grau 1	6-Inexistente Partido	10-Sujidade (cimento...)
1-Desagregação granular Grau 2	3-Pátina Grau 2	7-Vegetação	11-Alveolização
2-Crostas negras Grau 1	4-Humidade	8-Pedras novas/limpas	12-Escamação
2-Crostas negras Grau 2	5-Junta Aberta	9-musgo seco	13-Fissuração

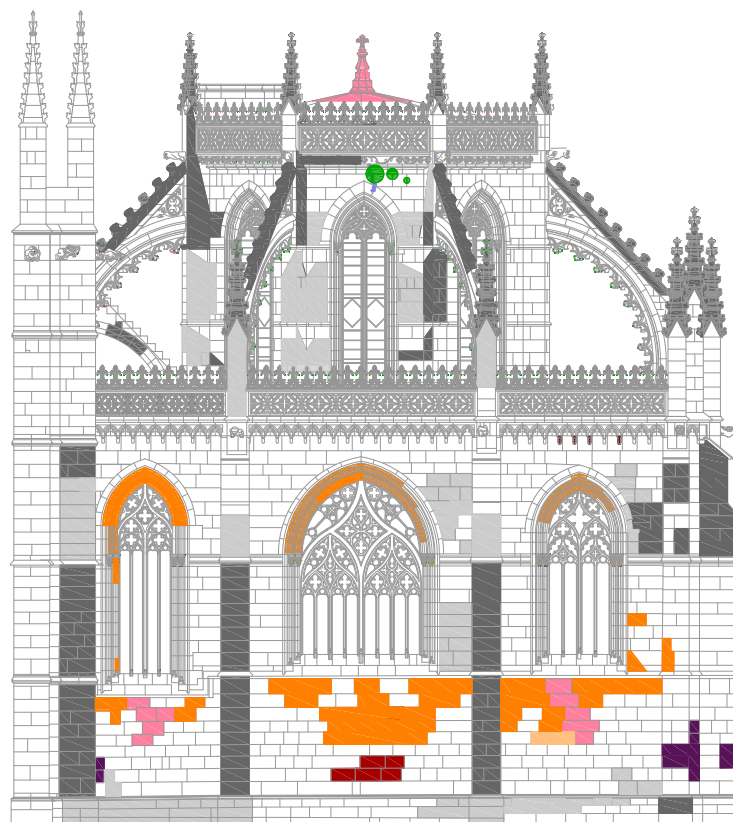
Figura 8 - Mapeamento das patologias no Alçado Este



Legenda:

1-Desagregação granular Grau 1	3-Pátina Grau 1	6-Inexistente Partido	10-Sujidade (cimento...)
1-Desagregação granular Grau 2	3-Pátina Grau 2	7-Vegetação	11-Alveolização
2-Crostas negras Grau 1	4-Humidade	8-Pedras novas/limpas	12-Escamação
2-Crostas negras Grau 2	5-Junta Aberta	9-musgo seco	13-Fissuração

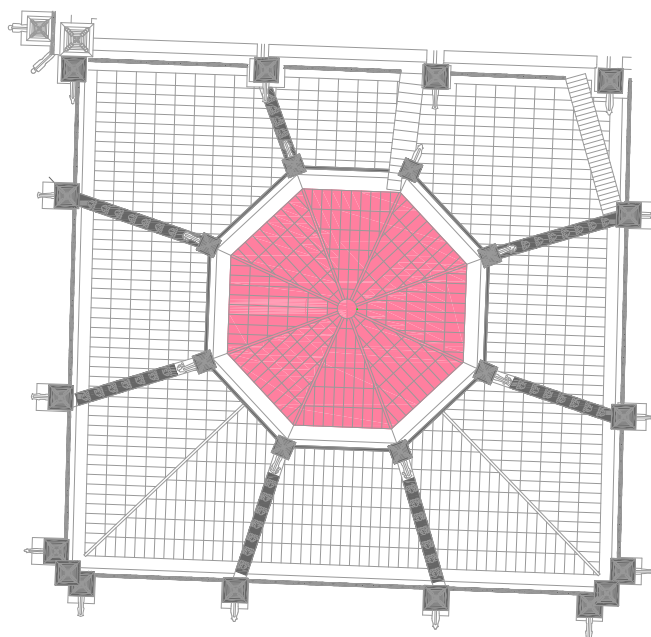
Figura 9 – Mapeamento das patologias no Alçado Sul



Legenda:

1-Desagregação granular Grau 1	3-Pátina Grau 1	6-Inexistente Partido	10-Sujidade (cimento...)
1-Desagregação granular Grau 2	3-Pátina Grau 2	7-Vegetação	11-Alveolização
2-Crostas negras Grau 1	4-Humidade	8-Pedras novas/limpas	12-Escamação
2-Crostas negras Grau 2	5-Junta Aberta	9-musgo seco	13-Fissuração

Figura 10 - Mapeamento das patologias no Alçado Oeste



Legenda:

1-Desagregação granular Grau 1	3-Pátina Grau 1	6-Inexistente Partido	10-Sujidade (cimento...)
1-Desagregação granular Grau 2	3-Pátina Grau 2	7-Vegetação	11-Alveolização
2-Crostas negras Grau 1	4-Humidade	8-Pedras novas/limpas	12-Escamação
2-Crostas negras Grau 2	5-Junta Aberta	9-musgo seco	13-Fissuração

Figura 11 – Mapeamento das patologias na Cobertura

Os elementos pétreos constituintes do Mosteiro da Batalha, sejam eles decorativos, estruturais ou de revestimento, padecem de um conjunto de patologias. Consoante a qualidade do material pétreo e a exposição aos agentes de degradação, as patologias estão num estado mais ou menos avançado.

A partir do mapeamento são várias as conclusões provenientes de diferentes causas a que se podem chegar.

A patologia mais abrangente na pedra são as crostas negras. Esta camada negra que reveste o Mosteiro deve-se à proliferação da colonização biológica, como líquenes, fungos e micro-organismos. As crostas negras estão presentes nos pináculos, na parte superior dos arcobotantes, flores-de-lis e contrafortes maioritariamente a jusante das gárgulas. A localização desta patologia deve-se sobretudo a zonas de escorrência de água, onde os micro-organismos transportados pela água ficam depositados na pedra. A fotografia ilustra as crostas negras no contraforte motivado pela escorrência de águas.



Figura 12 - Crostas negras da escorrência de águas no contraforte

As coberturas foram limpas recentemente e não se apresentam enegrecidas nem com depósitos de musgos ou outro tipo de colonização como demonstra a foto abaixo.



Figura 13 - Pedra recentemente limpa

De uma forma geral observa-se a pátina nos três alçados em zonas mais abrigadas. A consolidação das pedras com ceras e óleos em campanhas antigas podem ter originado esta patologia, que em ambientes menos expostos podiam se ter conservado na pedra, ao contrário de ambientes mais expostos que se dissolveram com o tempo. Este fenómeno é mais visível nos interiores das ogivas das janelas e nas paredes junto e entre aos contrafortes, apresentado na figura a seguir.



Figura 14 - Pátina no canto de um contraforte

No alçado Sul é notável a humidade na primeira fiada da parede. Apesar ter sido substituída nos três alçados da Capela, apresenta sinais de absorção e infiltração de água. Não se sabe se este revestimento é original da época das obras de rebaixamento da cota exterior ou posterior a isso. Na primeira pedra do lado Este, assim como outras é claramente visível que se trata apenas de uma placa com 3/4cm e com grandes espaçamentos entre esta e a alvenaria adjacente, levando à conclusão que as restantes pedras estejam nas mesmas condições. A forte humidade no arranque da parede Sul pode dever-se à passagem de um ribeiro entre a Capela e a estátua de D. Nuno Alvares Pereira. As manchas na pedra poderão dever-se também à absorção de sais vindos da alvenaria adjacente, alterando cromaticamente a pedra. Uma vez enterrada durante alguns séculos a

alvenaria recolheu em si a matéria salina da terra. Assinala-se nas fotos a seguir a existência de placas de revestimento.



Figura 15 - Fotos das placas da primeira fiada

A absorção de água pela cobertura antes das últimas obras levaram à alteração cromática do teto da Capela para uma cor laranjada. Este fenómeno observa-se com mais incidência na zona central. A cor deve-se certamente ao arrastamento dos finos da degradação dos tijolos de burro que fazem de enchimento ao assentamento dos telhões e envolvem os tirantes. Nas duas ilustrações a seguir observa-se a coloração do teto na primeira e um conjunto de fotos na segunda de pormenores dos elementos metálicos.

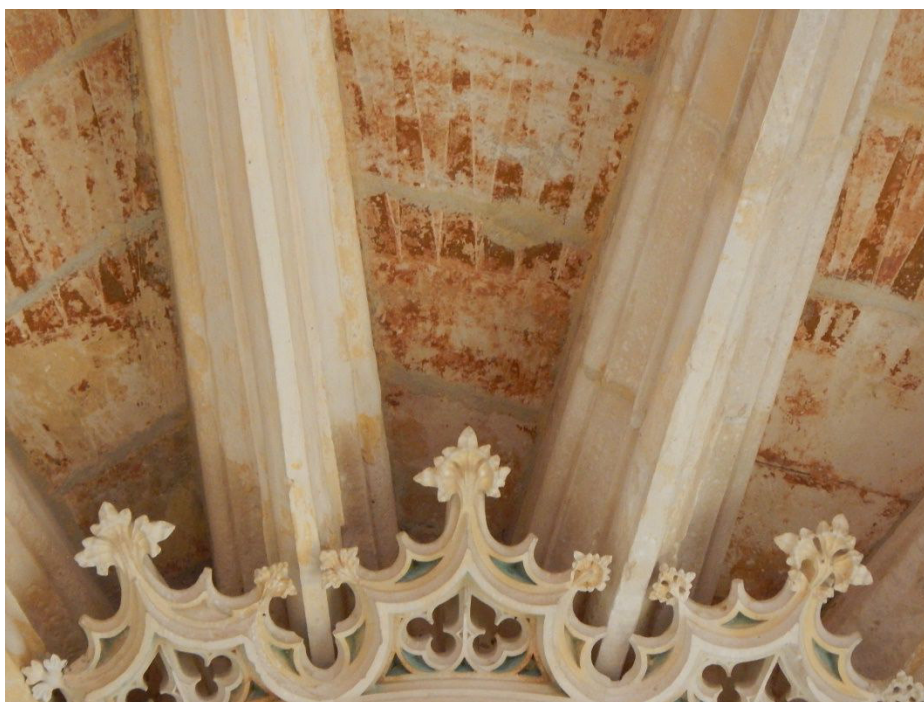


Figura 16 - Infiltração de água e coloração da pedra



Figura 17 - Pormenores do desenvolvimento dos elementos metálicos (AOF - Augusto de Oliveira Ferreira & Co, Lda, 2014)

A generalidade da desagregação granular e escamação acontece até cerca de três metros de altura, desconfiando-se que grande parte dos casos são pedras que não são de origem da construção inicial do Mosteiro, talvez sejam da campanha de restauros do séc. XIX. Pontualmente existem outras pedras de revestimento aparentemente trocadas, supondo-se que foram colocadas apenas placas à semelhança do que acontece na primeira fiada. Nos ensaios de termografia observaram-se algumas situações que parecem ser originadas por este motivo, visto as pedras terem temperaturas diferentes e consequentemente inércias térmicas diferentes. A desagregação da pedra observa-se na Figura 18 onde também se observa que a junta não tem argamassa.



Figura 18 - Desagregação da pedra e da argamassa da junta

Existem alguns casos, embora que raros, onde a argamassa é de melhor qualidade que a pedra, desfazendo-se a pedra e ficando a junta saliente como ilustra a foto seguinte.



Figura 19 - Juntas salientes

Os arcobotantes além da função estrutural têm a função de escoar as águas da cobertura até ao descarregamento pelas gárgulas. Antigos entupimentos levaram a infiltrações de água na cobertura da Capela para o interior e aceleraram a degradação da pedra dos arcobotantes, provocando desagregação granular nas zonas de intradorso e colonização biológica, vegetação e crostas negras no extradorso. Estas patologias poderiam ter sido aceleradas nos arcobotantes devido à pedra dos restauros ser de pior qualidade. Na Figura 5 mostra o estado de falta de manutenção que as caleiras se encontravam.

As juntas abertas são visíveis principalmente na parte central por cima das janelas do octógono e também nalgumas janelas inferiores. Conforme será apresentado na análise do varrimento laser scanning (subcapítulo 4.5), este facto poderá dever-se a deslocamentos na parte superior do octógono. Para um controlo da espessura destas aberturas, devia-se proceder a um sistema de monitorização. Existe contudo a cintagem metálica envolvente em redor da CF que ajuda ao confinamento da cobertura. Nela fazem parte espigões verticais, tirantes cruzados e tirantes descrevendo o perímetro. Muito provavelmente os tirantes atravessam de uma ponta à outra o octógono, passando dentro da cobertura. Os tirantes ligam-se aos espigões em forma de argola e desconhece-se se interligam os dois tirantes ao centro. As aberturas de junta podem ser observadas nas figuras a seguir onde se representa um exemplo no exterior à direita e o da esquerda no interior. Abaixo destas estão um conjunto de fotografias dos elementos metálicos e pormenores, tiradas aquando da última campanha de intervenção.



Figura 20 - Abertura de Juntas: a) exemplo no interior; b) no exterior



Figura 21 - Elementos metálicos consolidantes da cobertura da CF (AOF - Augusto de Oliveira Ferreira & Co, Lda, 2014)

São várias as causas que levam à danificação dos elementos. O vandalismo principalmente no exterior é uma das causas em que se observa a pedra riscada com recurso a ferramentas pontiagudas ou mesmo arestas e cantos esquinados. Na Figura 22 está um exemplo de vandalismo numa pedra do alçado sul. As fendas em certos elementos pétreos isolados e/ou suspensos levam à sua desagregação e queda.



Figura 22 - Vandalismo nas pedras

A vegetação cresce nas zonas mais húmidas e abrigadas. É nas aberturas das juntas de pedra que se vê mais esta patologia pois tem as condições ideais ao seu desenvolvimento. As plantas são maiores quanto mais idade têm e maior é o espaço de alastramento das raízes.



Figura 23 - Vegetação na Capela do Fundador

Nos contrafortes do canto do alçado Este e Sul existe uma argamassa aderente à pedra pelo que se desconhece a sua origem mas a superfície lisa indica que serviu de fixação (ver Figura 24).



Figura 24 - Argamassa aderente à pedra

A alveolização é pontual e incide mais nos contrafortes e junto deles. Em muitos casos já criou crosta negra, daí suspeitar-se que está estável e até possa ter vindo da pedreira já com alguma alveolização. A escorrência das águas da chuva pelos contrafortes pode agravar esta patologia, pois a água arrasta os finos das cavidades levando a camada de material mais jovem ainda não consolidada.



Figura 25 - Alveolização

São em reduzido número as pedras fissuradas, porque normalmente o que acontece no caso de movimentos é a abertura de junta e também foram coladas e betumadas as fissuras e fendas nos elementos pétreos. Contudo observaram-se microfissuras na cobertura da CF. São numerosas as fissuras nas pedras da primeira fiada do exterior da Capela, isto

talvez por estarem mal assentes e a dilatação térmica ser diferente do interior da parede, já que se tratam de placas de reduzida espessura.

Os animais por sua vez também contribuem para a deterioração do Mosteiro. Os dejetos das aves na pedra conjuntamente com a água da chuva originam a lixiviação, contribuindo para a desagregação granular, placas e plaquetas. Além disto as aves ainda dão bicas nas pedras em maior estado de desagregação. Na parte inferior de molduras é comum encontrar casulos de terra feitos por insetos voadores.

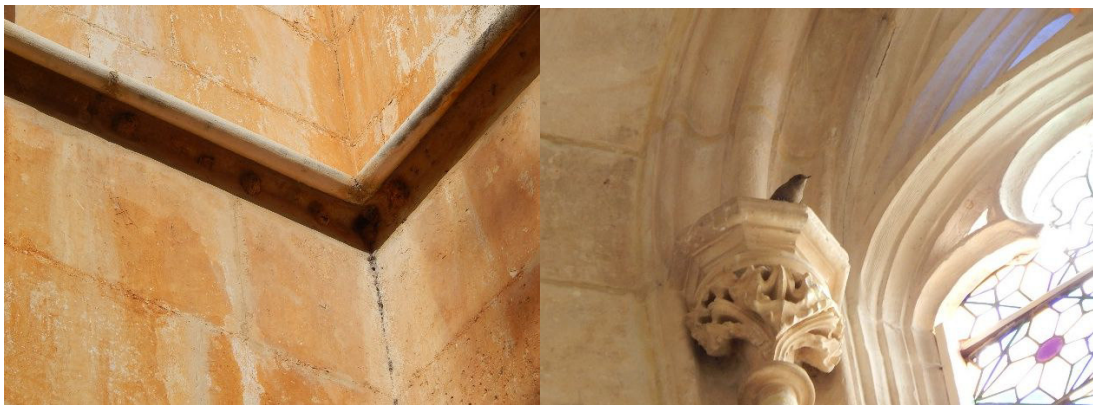


Figura 26 - À esquerda casulos de terra e à direita pássaro no interior da CF

Segundo Aires-Barros (2001) a transformação da pedra dos pináculos e a pedra no geral deve-se a “Fenómenos de escamação bem localizado e orientado face aos principais fatores da intempérie: direção e intensidade das principais chuvas e do regime de ventos”, como observável na figura abaixo. Contudo a génese da pedra é crucial para a evolução dos agentes de meteorização. Sabe-se que a pedra usada nos restauros do século XIX é de pior qualidade que a original da construção.

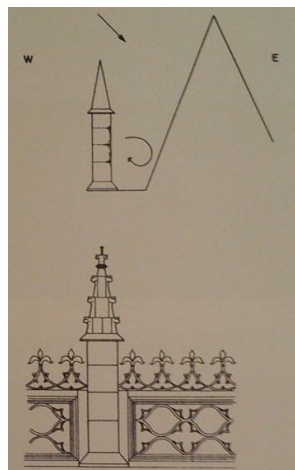


Figura 27 - representação esquemática da degradação da pedra (Aires-Barros, 2001)

4. Ensaaios Não Destrutivos

Num Monumento histórico como o Mosteiro da Batalha, o diagnóstico deve ser apoiado preferencialmente com ensaios não destrutivos. Os ensaios efetuados foram a avaliação da propagação da velocidade dos ultrassons na pedra, a análise da temperatura superficial através da termografia, medição da dureza superficial da pedra com o esclerómetro, e ainda nas pedras analisadas com os ultrassons mediu-se a temperatura e a humidade. Os ensaios não destrutivos têm diversas vantagens e desvantagens que são enunciadas a seguir (Sampaio, 2010):

Vantagens:

- Como o próprio nome indica são ensaios onde o material analisado permanece intacto, não sendo necessário destruir a amostra;
- Menor custo, comparativamente aos ensaios destrutivos;
- Mais rápidos, e em certos casos o ensaio é automatizado, necessitando de menor mão-de-obra;
- Podem-se fazer inspeções ao longo do tempo no mesmo local de forma a avaliar o desenvolvimento de algum tipo de patologia e assim relacionar com o tipo de serviço do edifício;
- Sendo os ensaios efetuados no próprio local a amostra está na íntegra intacta, não levantando problemas de representatividade.

Desvantagens:

- A análise é em certos casos qualitativa e não quantitativa, servindo os valores neste caso de comparação entre eles.
- Para ensaios mais complexos os valores devem ser analisados por pessoal com experiência. Na interpretação dos resultados com discrepâncias é elementar verificar a veracidade e conjugação dos resultados.

4.1. Ultrassons

4.1.1. Generalidades

Este ensaio tem como objetivo relacionar as propriedades de um material com a velocidade de propagação dos ultrassons nesse mesmo material. Através da emissão de impulsos ultrassônicos no material e a sua receção a uma determinada distância obtém-se a velocidade do atravessamento das ondas entre esses dois pontos (emissão/ receção) através da seguinte equação:

$$V = \frac{L}{T} \quad (1)$$

em que V (m/s) é a velocidade da propagação dos ultrassons, L (m) é a distância entre os transdutores e T (s) é o tempo de transferência dos ultrassons entre os transdutores, sendo este o valor indicado pelo equipamento.

O uso de ultrassons permite a realização de ensaios não destrutivos de forma eficiente, podendo ser bastante útil na determinação das características e estado de conservação de variados materiais, nomeadamente na pedra. No caso da caracterização petrológica, é capaz, através da variação do tempo de transmissão dos ultrassons, de detetar diferentes valores devidos a fissuras, porosidades, reorganização dos grãos ou degradação como a meteorização da rocha. (Moreira, 2013)

A variação da velocidade deve-se à variação da densidade. Quanto mais compacto for o material maior vai ser a velocidade visto que as ondas no material propagam-se por vibração.

Vulgarmente os aparelhos de medição dos ultrassons são constituídos por dois transdutores em que um terá a função de emissor e outro de recetor. Existem três métodos de realizar o ensaio: método direto, método semi-direto e o método indireto. (Coelho, 2010)

A figura a seguir mostra esquematicamente o posicionamento dos transdutores para os três métodos em que Tx é a sonda transmissora e Rx a recetora.

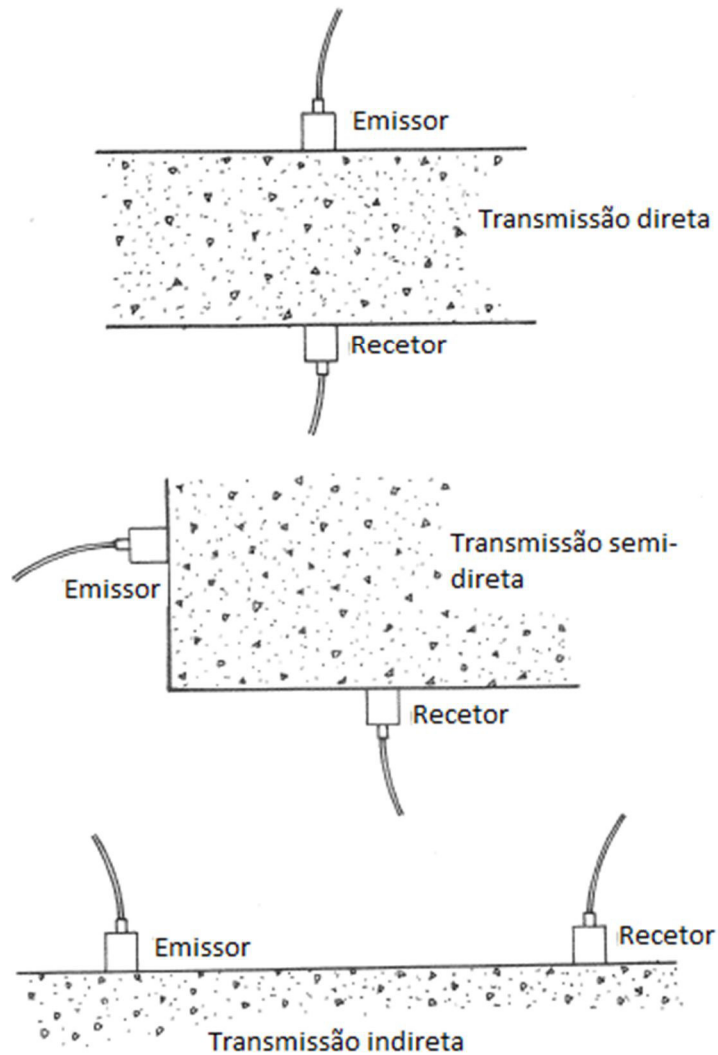


Figura 28 - Métodos de transmissão dos ultrassons

O método direto é o mais eficiente e dá valores mais fiáveis, servindo para a análise das propriedades do material como a resistência mecânica e a regularidade. Este método é preferível sempre que haja a possibilidade de ter duas superfícies disponíveis no mínimo.

A análise da profundidade da fissura é feita através do método indireto necessitando apenas de uma superfície. A resistência mecânica e regularidade do material também podem ser testados através deste método quando não é possível pelos outros dois, levando este método a resultados com menos fiabilidade.

Este equipamento apesar de portátil e ergonómico tem como todos os tipos de ensaios as suas vantagens e desvantagens (Oliveira, 2003).

Vantagens:

- Economia (apesar do custo inicial tenha alguma relevância);
- Execução rápida e fácil;
- Ensaio não destrutivo;
- Realização em qualquer altura do ano (exceto com pedras molhadas que acelera a velocidade);
- Análise em profundidade do material.

Desvantagens:

- Necessita de várias leituras para obter coerência nos resultados;
- Tem associadas várias incertezas como a calibração, o material de acoplamento e o estado da superfície do material;
- Está em muito dependente de correlações, pois não faz análise quantitativa de propriedades mecânicas;
- A autonomia é limitada.

De acordo com Coelho (2010) existe informação que se deve ter em conta para definir a metodologia antes da realização do ensaio:

- Condições da pedra a analisar (tipo de pedra, estado de degradação...);
- Objetivo do ensaio (importante para definir planeamento);
- Levantamento/planeamento dos pontos a sondar, de forma a obter um ensaio representativo e a reduzir o tempo necessário para o ensaio;
- Preparação da superfície da pedra, como a limpeza servindo de diminuição dos erros de leitura;
- Condições ambientais adjacentes (evitar a medição em pedras molhadas e com gelo);
- Normas ou parâmetros impostos para a avaliação e aceitação dos resultados, procurando saber um intervalo de valores admissíveis.

4.1.2. Uso de ultrassons na avaliação de edifícios em pedra

Neste subcapítulo aborda trabalho de outros autores relacionados com a aplicação dos ultrassons. Os autores enunciados são (Pérez, 2009), (Moreira, 2013), (Coelho, 2010) e (Bromblet, et al., 2012).

Para os diferentes autores são abordadas a seguir diferentes temáticas de aplicação da técnica de ultra-sons. No caso de Pérez (2009) trata a importância do acoplante, para Moreira (2013) são enunciados valores de velocidade, também é relacionada a resistência com os valores da velocidade no trabalho de Coelho (2010) e em mais detalhe está a relação dos resultados ultrassônicos com o estado de degradação da pedra (Bromblet, et al., 2012).

Pérez (2009) efetuou ensaios em betão betuminoso, no sentido de prevenir esta degradação foram já pesquisadas outras soluções de acoplantes para além da muito utilizada vaselina. Alternativas como uma fina camada de cimento Portland ou gesso em pó, a aplicação de filme de plástico fino ou a simples troca de acoplante por outra massa. O uso de cimento ou gesso sofre o problema de adesão e modificação da superfície do material. O filme de plástico interfere com a medição de leituras talvez por criar uma fina camada de ar entre a superfície do material ensaiado e o filme. A solução optada foi a troca de acoplante para a bentonita⁸ em solução aquosa que apresenta propriedades de consistência semelhantes à vaselina. (Pérez, 2009)

Na pedra na Igreja da Senhora da Conceição no Porto, Moreira (2013) realizou ensaios de ultrassons na pedra de granito para a determinação de algumas propriedades mecânicas. O aparelho utilizado é da marca CONTROLS, modelo 58-E0048 indicado pela ISRM para a medição de velocidade em material rochoso.

⁸ Mistura de argilas de grãos muito finos

Com base em duas amostras graníticas, usaram para cada uma o método direto e indireto. Os valores obtidos da velocidade de propagação são muito mais baixos que os obtidos por Begonha (2001), situando-se entre 2090 m/s e 3570 m/s. Tratando-se do mesmo tipo de pedra, o denominado granito do Porto. Esta dispersão pode ser devido a uma certa área de contacto dos transdutores estar fora da pedra de ensaio, emitindo as ondas ultrassónicas também para fora da pedra. Outro fator poderá ser o diferente tipo de acoplante que também interfere na passagem das ondas entre os transdutores e o provete de ensaio. Na comparação entre os dois métodos verificou-se tal como era expectável, maior velocidade no método direto. (Moreira, 2013)

De acordo com Coelho (2010), este caso de aplicação tem como base a metodologia geral para o restauro de construções históricas, na qual os ultra-sons é uma técnica de inspeção com o intuito de diagnóstico de anomalias construtivas. Abrangeu a Igreja de Mondrões e a Capela de Bisalhães pertencentes ao concelho de Vila Real são construídas essencialmente por granito. São nestes dois edifícios antigos que foram feitos vários ensaios, incluindo os ultra-sons.

Para pedras mais porosas e conseqüentemente mais macias, a velocidade é lenta, situando-se entre 1,5 e 3 Km/s e as pedras mais duras podem chegar aos 6 Km/s. O relacionamento da velocidade de propagação dos sons com a compacidade da pedra foi o que se destacou neste ensaio. A pedra branda que apresente 2,5 Km/s tem uma resistência à compressão a rondar 1 kN/cm², uma pedra rija para uma velocidade de 6,5 Km/s a resistência à compressão passa para cerca de 20 kN/ cm². (Coelho, 2010)

A monitorização a longo prazo da degradação de colunas de pedra no claustro da igreja de Saint-Trophime de Arles em França foi alvo de análise por Bromblet, et al (2012) Este é um caso internacional cuja pedra é mármore branco e raiado com elevada degradação como desintegração granular tanto à superfície como internamente.

No contexto da análise a longo prazo a primeira investigação decorreu em 1993 e novamente em 2009. Entre estes 16 anos compararam-se os resultados da propagação das velocidades e daí separaram-se as colunas por 5 classes de danos. Na figura a seguir está uma coluna com elevado grau de desagregação granular.



Figura 29 - Desintegração granular em coluna de mármore (Bromblet, et al., 2012)

Na campanha de 1993 as velocidades médias variaram entre 800 a 6100 m/s, realizaram medições na parte superior e inferior de cada coluna, não havendo grandes diferenças em altura.

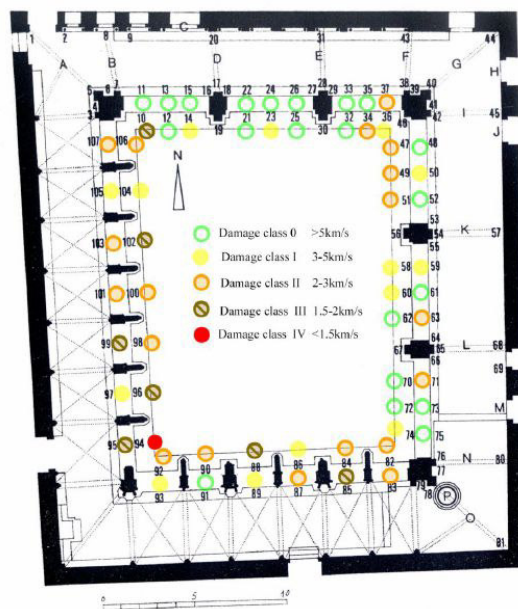


Figura 30 - Mapeamento por classes de velocidades dos ultra-sons em 1993 (Bromblet, et al., 2012)

Na segunda campanha em 2009 os ensaios foram realizados exatamente nos mesmos pontos que na 1ª campanha. As velocidades variaram de 650 a 7100 m/s. Verificaram que os elementos mais antigos eram os que tinham maior velocidade e nas galerias mais jovens estavam os materiais mais fracos. As colunas interiores tinham também maior velocidade que as exteriores e mais expostas ao tempo.

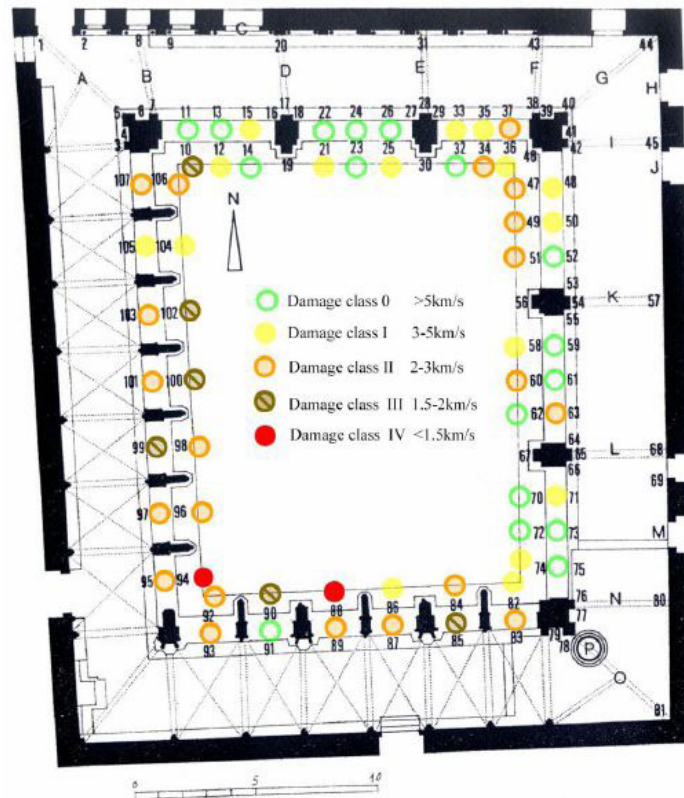


Figura 31 - Mapeamento por classes de velocidades dos ultra-sons em 2009 (Bromblet, et al., 2012)

Apesar de não ter havido nenhuma mudança significativa, 14 colunas em 107 analisadas subiram de grau de dano e 7 desceram, mostrando assim alguma instabilidade no ambiente do claustro durante os 16 anos.

Em média numa análise a 16 colunas mostraram uma redução de velocidade de 10% no decorrer dos 16 anos. (Bromblet, et al., 2012)

4.1.3. Campanha de Ensaios – Materiais e Métodos

Para a realização do ensaio dos ultrassons procedeu-se a vários métodos e procedimentos.

O acoplante, que serve para facilitar a transição dos ultrassons entre transdutores e o material a ser testado, foi selecionado com especial cuidado de modo a não danificar ou manchar a pedra do Mosteiro. A massa branca de moldar foi o material escolhido, dado que não deixava vestígios da sua aplicação, removendo-se facilmente, ao contrário da vaselina que fica entranhada na porosidade da pedra. No decorrer dos ensaios houve o cuidado de renovar a massa utilizada como acoplante, sempre que esta começava a ficar seca após um conjunto de medições, de modo a obter estabilidade nos resultados.

Em cada pedra ensaiada recolheram-se cinco leituras, pelo método indireto, ao longo de um determinado alinhamento em cada pedra, com leituras espaçadas de 15, 25, 35, 45 e 55 cm sucessivamente. Para uma maior precisão das medidas e rapidez dos ensaios usou-se uma bitola, ajudando também na fixação dos transdutores. O primeiro transdutor é fixo, deslocando-se o segundo nas diversas distâncias. Na Figura 32 apresenta-se a bitola usada nos ensaios pelo método indireto.



Figura 32 - Bitola

Os ensaios foram efetuados procurando testar pedras com diversas patologias como as crostas negras, pátina ou humidade, evitando as pedras com desagregação, pois torna-se complicado a recolha de dados nestas pedras, contudo é de esperar alguma dispersão nos resultados e na análise conjunta dos resultados, pois para além da massa não ser um acoplante perfeito ainda existem outras varáveis tais como a orientação da fachada, as diversas patologias e a localização. Ainda assim procurou-se ensaiar de forma homogénea as patologias para as diferentes orientações.

Os ensaios foram distribuídos uniformemente pela envolvente exterior da capela, sendo constituída pelos alçados oeste, sul e este, e pelo interior e na envolvente do octógono acima do primeiro nível da cobertura.

No alçado este realizaram-se 10 pontos de medição, 14 pontos no sul e no alçado oeste 13. No interior foram efetuadas 46 medições espalhadas pelas paredes colunas e túmulos: 1 ensaio no canto da parede sul com a parede este, 10 na parede este, 19 na parede norte e 3 na oeste. Nos túmulos do lado oeste foram feitos 5 ensaios e os 8 restantes nas colunas centrais da Capela.

Na envolvente ao octógono desenvolveram-se 22 ensaios. Foram realizados ainda 17 ensaios extras na parede do lado sul da Igreja, servindo de comparação aos ensaios da Capela.

Com o intuito de retirar a relação entre os resultados obtidos com a vaselina e a massa de moldar realizaram-se ensaios em 5 pedras. Os ensaios foram realizados primeiramente com a massa de moldar e posteriormente com a vaselina, nos mesmos pontos. As pedras analisadas foram um bloco de mármore Espanhol negro Marquina com 58 cm de espessura, um bloco de calcário Ataija com 38 cm de espessura e as restantes 3 pedras em calcário Moleanos em que duas chapas tinham 5 cm e outra 3 cm de espessura, sendo o Moleanos a pedra com as características mais idênticas à pedra utilizada no Mosteiro da Batalha.

As pedras mais recentes ou limpas recentemente são também pedras de interesse à análise, que além de serem pedras retiradas de pedreiras diferentes das que se utilizaram na construção inicial do mosteiro, suspeita-se que são pedras apenas de revestimento superficial de 3 a 4 cm de espessura.

Devido à dificuldade de se ensaiarem as pedras em altura, recorreu-se a escadas e escadotes para ensaiar pedras até aos 3 metros de altura acima da cota do chão. Os ensaios foram uniformemente distribuídos no perímetro exterior da Capela do Fundador, tanto na zona do pavimento, como em redor do octógono.

4.1.4. Resultados e Discussão

A análise efetuada incidiu sobre os tempos de transmissão e velocidades obtidos, fazendo-se a comparação com os resultados de outros autores noutros trabalhos anteriores.

Influência da distância das sondas na velocidade

O valor médio global da velocidade obtido para a massa de moldar é de 2362 m/s. Analisando individualmente a velocidade para cada distância das sondas os valores são 2395, 2404, 2348, 2341 e 2337 m/s para 15, 25, 35, 45 e 55cm de espaçamento entre sondas, respetivamente. Desta análise verifica-se que as diferenças não são significativas entre si, contudo com a exceção do primeiro valor, a velocidade vai decrescendo ligeiramente à medida que a distância aumenta. Esta perda de velocidade poderá dever-se ao aumento da dispersão das ondas ultrassónicas, originando quebra de transmissão ao atravessar a pedra.

Influência do acoplante

Da análise da comparação entre a vaselina e a massa de moldar, apresenta-se a figura seguinte.

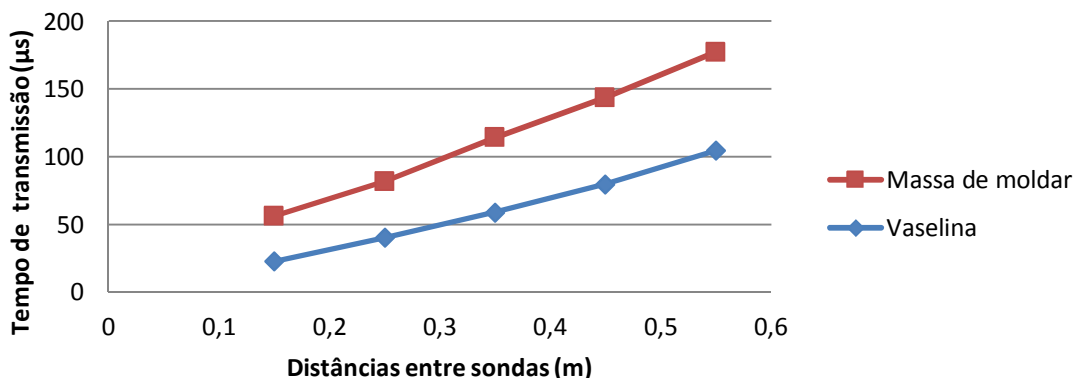


Figura 33 - Gráfico comparativo entre os tempos de transmissão médios obtidos com a vaselina e com a massa de moldar

Do gráfico anterior e análise dos dados conclui-se que a massa de moldar origina valores do tempo da propagação dos ultrassons superiores à vaselina, conforme seria espectável, porque não proporciona transmissão tão efetiva.

Entre as diferentes pedras analisadas a dispersão dos valores é menor para os resultados obtidos com a vaselina (Figuras 34 e 35).

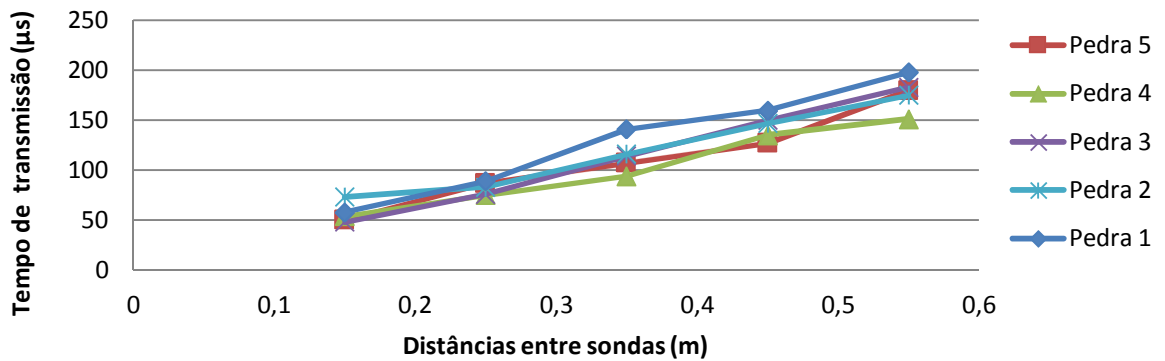


Figura 34 - Leitura dos tempos de velocidade para a massa de moldar

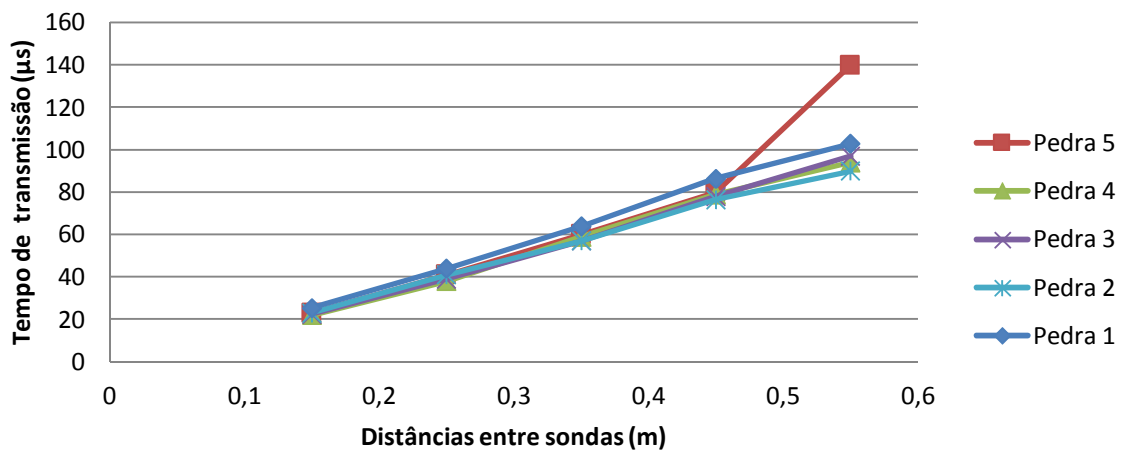


Figura 35 - Leitura dos tempos de velocidade para a vaselina

Da análise dos resultados dos ultrassons verificou-se que não parecem existir diferenças devidas às diferentes espessuras de pedra.

Os valores do tempo de propagação afastam-se à medida que aumenta a distância entre as sondas, como resultado do aumento da dispersão dos ultrassons (Figura 33). Para cada distância (15, 25, 35, 45 e 55 cm) o quociente entre os valores médios dos tempos de

transmissão obtidos com a vaselina e com massa de moldar são 0,410, 0,495, 0,519, 0,556, 0,591, respetivamente.

Para os valores de cada ensaio realizado nas pedras do Mosteiro foram multiplicados os coeficientes anteriores pelos tempos de transmissão para obter um valor espectável para o ensaio caso este fosse realizado com vaselina. A velocidade média global para a vaselina é 4657 m/s cerca do dobro da velocidade obtida para a massa de moldar (2362 m/s).

Os valores da velocidade estimados para a vaselina variam entre 3578 e 5713 m/s em 90% dos casos.

Quando comparado com valores de outros trabalhos, 4657 m/s é inferior aos 6300 m/s de Kahraman (2007) que apesar de ser pedra calcária e usar massa lubrificante como acoplante, trata-se de blocos recentemente extraídos da pedreira. A massa volúmica e a resistência à compressão do calcário analisado por Kahraman é de 2660 Kg/m³ e 100,9 MPa respetivamente, valores superiores à pedra do Mosteiro da Batalha que tem valores de 2340 Kg/m³ e 37 MPa relativamente (Branco & Azevedo, 1990).

Bromblet, et al (2012) apresenta valores médios semelhantes ao da Capela do Fundador, com 4715 m/s para uma zona norte da galeria e 4500 m/s para o sul da galeria na campanha de 2009 em que foram usados pedaços de camara de ar das bicicletas como acoplante entre pedra e transdutores no Claustro da Igreja de Saint-Trophine em Arles, França

Estimativa do módulo de elasticidade

Para comparação com outros trabalhos os valores tratados foram os estimados para a vaselina sendo estes valores mais coerentes.

Segundo um trabalho desenvolvido por Branco e Azevedo (1990) sobre a análise da pedra do Mosteiro da Batalha, o módulo de elasticidade estático é de 7 GPa, um valor excessivamente pequeno quando comparado com o módulo de elasticidade estático referido por Mockovciaková (2003) que foi de 56,5 GPa para pedra calcária. O valor indicado por Branco e Azevedo (1990) foi obtido através de ensaio de apenas um provete do calcário inicial utilizado no mosteiro, pelo que não deverá ser representativo do módulo de elasticidade médio do calcário usado no mosteiro.

O módulo de elasticidade dinâmico foi obtido de acordo com a equação seguinte que relaciona o módulo de elasticidade dinâmico com o coeficiente de Poisson, a massa volúmica e a velocidade dos ultrassons.

$$E = \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{1 - \nu} \rho * V^2 \quad (2)$$

E – Modulo de elasticidade dinâmico (kN/m²)

ρ - Massa volúmica (ton/m³)

ν - Coeficiente de Poisson

V- Velocidade dos ultrassons (m/s)

A massa volúmica foi retirada do trabalho de inspeção e avaliação estrutural ao Mosteiro da Batalha (Branco & Azevedo, 1990), cujo valor é 22,94 kN/m³. Segundo Guimarães (2009), o coeficiente de Poisson para a pedra estima-se ser entre 0,20 e 0,30, podendo considerar-se o valor médio de 0,25.

O valor estimado para o módulo de elasticidade dinâmico foi de 41,6 MPa. O valor convertido para o módulo de elasticidade estático de acordo com Najibi et al (2014) foi de 22,5 MPa. Esta conversão foi obtida de acordo com a relação a seguir:

$$Es = 0.541 \times Ed + 12.852 \quad (3)$$

Es - Modulo de elasticidade estático (kN/m²)

Ed - Modulo de elasticidade dinâmico (kN/m²)

Na estimativa dos módulos de elasticidade podem associar-se diversos fatores de erro como a exatidão do coeficiente de Poisson e devido à conversão dos valores da massa de moldar para o equivalente à vaselina e erros de captação da velocidade ultrassónica com a massa de moldar, pois não permite uma transferência perfeita entre os transdutores e a pedra. Além destes fatores de imprecisão, há a possibilidade da pedra ter perdido ao longo do tempo propriedades, principalmente nas superfícies exteriores, levando à maior resistência da propagação dos ultrassons.

Influência da orientação e localização

Na análise da influência da orientação e localização das pedras, bem como da influência das patologias usaram-se os valores do tempo ou velocidade para a massa de moldar como acoplante.

Os valores médios do tempo de transmissão obtidos por orientação/localização ilustram-se no gráfico abaixo (Figura 36). Nele estão englobadas as médias dos tempos no interior da Capela, lado este, lado sul, lado oeste e cobertura (envolvente do octógono). Engloba-se a linha tracejada que é a média global.

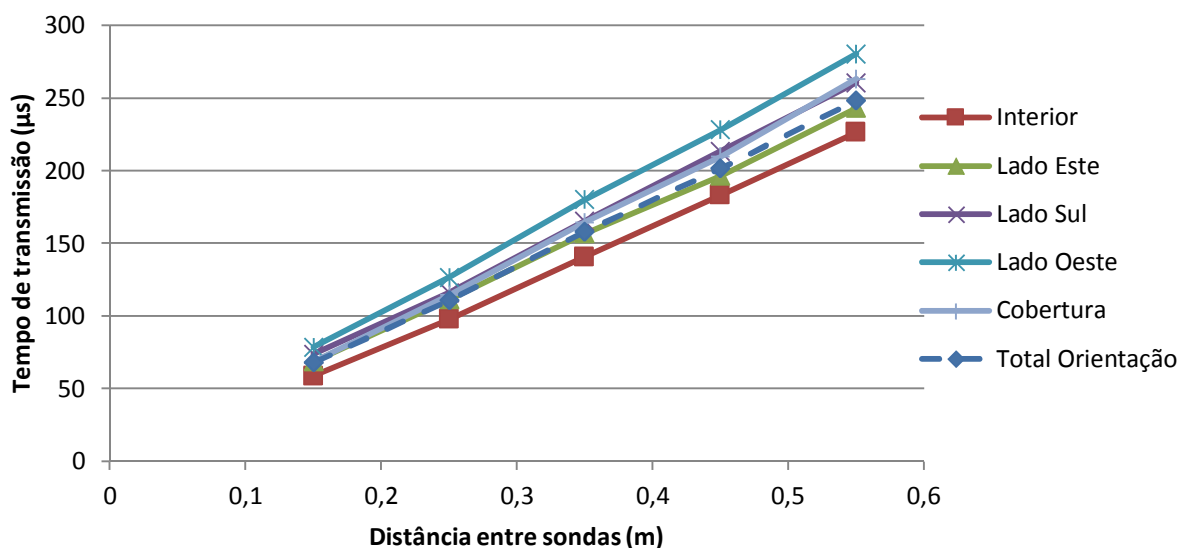


Figura 36 - Gráfico comparativo entre orientações

As elações retiradas do gráfico acima são as seguintes:

- A média da cobertura e alçado sul andam na mesma ordem de tempo de propagação de som;
- O tempo de propagação do som do alçado este, sul e cobertura é equivalente à média global;
- Quanto à orientação pode-se concluir que a pedra do alçado oeste é a que apresenta menor tempo de transmissão. Este facto pode dever a ser um alçado mais exposto aos agentes atmosféricos e também à maior poluição produzida pelos veículos no IC2 que poderá ter levado a maior degradação da pedra;

- Na generalidade com o aumento da distância das sondas, os tempos de propagação tendem a dispersar, ou seja, para a distância de 15 cm os tempos estão mais próximos do que para os 55 cm.

Influência das patologias

Da análise por patologia apresenta-se o gráfico abaixo (Figura 37).

As patologias consideradas são a pátina, humidade e crostas negras. Além destas ainda foram incorporadas as pedras sem patologias e as pedras recentes que apesar de não se tratarem de patologias, têm propriedades diferentes das outras pedras. À semelhança do gráfico anterior também se apresenta a média total.

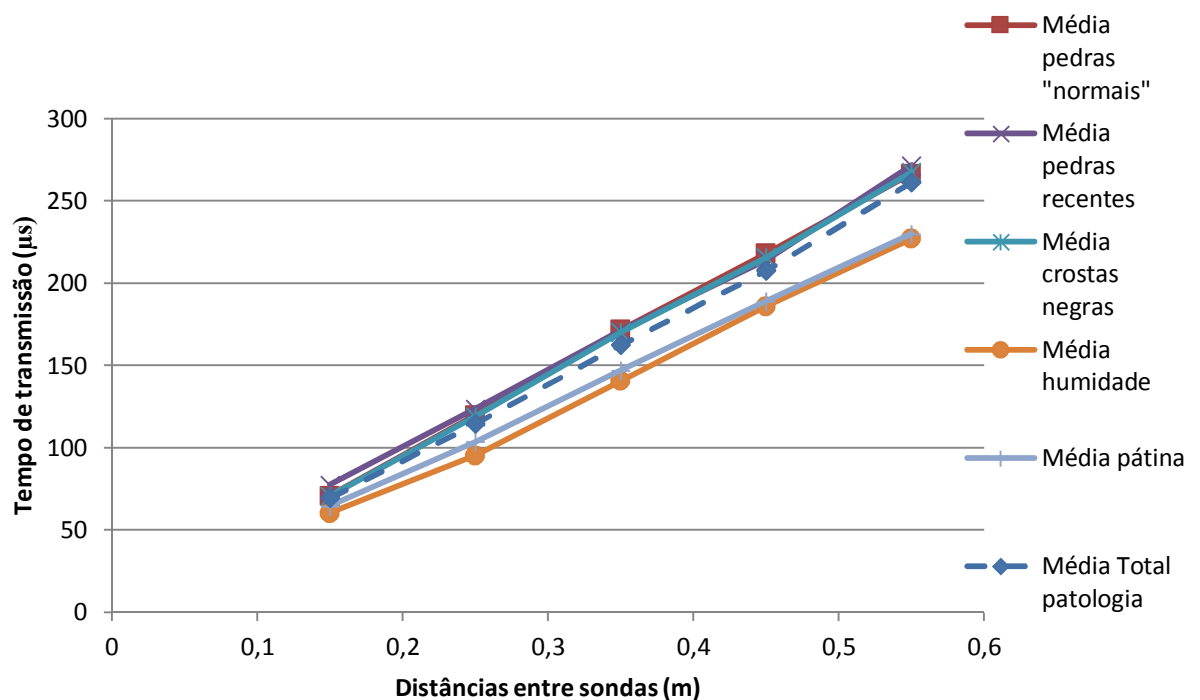


Figura 37 - Gráfico comparativo entre patologias

De acordo com o apresentado no gráfico obtém-se diversas conclusões, dispostas a seguir:

- As médias dos tempos das crostas negras, pedras sem patologias e pedras recentes têm valores muito próximos e na generalidade acima da média;
- Os menores tempos são relativos à pátina e humidade. A água na pedra, como já referido, é um fator que ajuda na propagação de sons, pois preenche os

espaços vazios. A pátina contribui para a mais rápida propagação eventualmente por criar um filme aderente à pedra, diminuindo a porosidade exterior e protegendo o material pétreo;

- Todas as variáveis demonstram proporcionalidade na relação distancia/tempo.

4.2. Termografia

4.2.1. Generalidades

A termografia consiste num mapeamento a cores de um determinado corpo ou objeto referenciando as diferentes temperaturas. A cada região está associada uma cor, mudando de intensidade consoante a temperatura.

É através da radiação infravermelha emitida por uma superfície do corpo que o aparelho recebe e converte a informação recebida numa escala de cores. Vulgarmente vemos o vermelho associado a cores quentes e o azul a cores frias.

Este ensaio serve não só para a área da construção mas também na mecânica, eletrónica, indústria química, aeronáutica, na medicina e inicialmente surgindo para fins militares na deteção de pessoas durante a noite e equipamentos. Na engenharia civil é útil na distinção de diferentes tipos de materiais assim como a heterogeneidade e compacidade, deteção de cavidades, humidade e o estado de degradação.

Nos antigos métodos para avaliar objetos como paredes era preciso demolir revestimentos, tornando-os processos lentos e destrutivos. A termografia permite fazer estudos com grande rapidez, exatidão e sem necessidade decorrer a demolições.

Existem dois parâmetros para a determinação do comportamento térmico nos materiais: o calor específico e a condutibilidade térmica. Estes parâmetros fazem com que nas mesmas condições térmicas os materiais tenham diferentes temperaturas. (Coelho, 2010)

Nesta técnica destacam-se as seguintes vantagens:

- Economia (apesar do custo inicial do equipamento ter algum peso);
- Execução rápida e fácil, nomeadamente devido ao facto do equipamento ser leve e portátil;
- Ensaio não destrutivo, não necessitando que contacto com o objeto para obtenção das temperaturas;
- Eficácia e precisão, dado que se obtém um mapa das temperaturas de toda a superfície e com valores reais da temperatura caso seja selecionada a emissividade correta.

E as seguintes desvantagens e limitações:

- Apenas fornece informação da temperatura superficial da pedra;
- A autonomia é limitada principalmente nos ensaios de campo onde não é possível ter energia elétrica;
- Necessita de informação de valores como a emissividade e temperatura de plano de fundo.

4.2.2. Aplicação da Termografia

São vários os autores que estudaram e aplicaram a técnica da termografia. Spínola (2015) estudou a caracterização física e mecânica em pedras naturais com recurso à termografia. Neste trabalho estudaram-se várias pedras de origem ígnea, metamórfica e sedimentar, sendo estas últimas as de maior interesse. De todas as rochas analisadas neste trabalho o Moleanos Macio é a pedra com as características mais idênticas à pedra do Mosteiro da Batalha. Esta é extraída na localidade de Prazeres de Aljubarrota, concelho de Alcobça. É um calcário de tons cinzento a creme claro formado ao longo da parte oeste da Serra de Candeeiros a par de outros calcários existentes naquela zona com tonalidades ligeiramente diferentes.

Não obstante que o objetivo principal gira em torno das patologias, não sendo abordado neste caso de estudo, são apresentadas comparações importantes com outras rochas. O Moleanos foi a rocha com menor massa volúmica, apenas 2408 Kg/m³. Ao inverso da baixa densidade tem grande porosidade (8,68%) e absorção de água, como é

expectável (3,88%). Os coeficientes de dilatação térmica a par da massa volúmica também são baixos ($3,6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$).

Neste caso ainda com base na termografia analisaram-se as diferentes pedras em estudo quanto à aplicação prática do piso radiante, avaliando o seu comportamento face ao aquecimento e arrefecimento.

Em torno da termografia Silva (2012) realizou vários ensaios. Para o presente trabalho tem especial interesse a deteção de fissuras em elementos construtivos. Estudaram um provete de betão leve de argila expandida (P1) e dois provetes de pedra de Ançã (P2 e P3), conforme se ilustra na Figura 38.

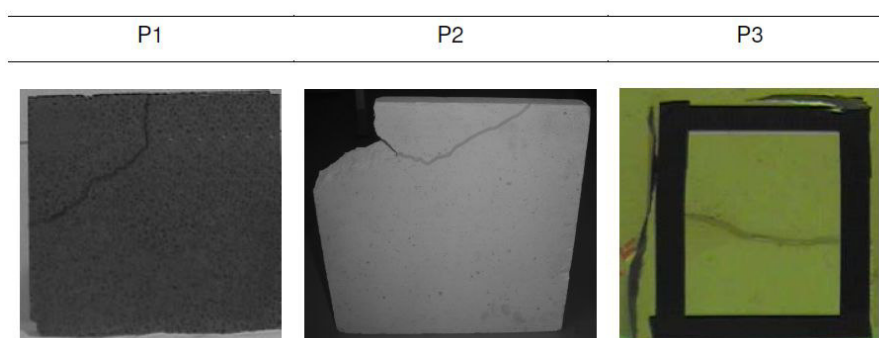


Figura 38 - Provetes estudados à fissuração (Silva, 2012)

Para além de testarem vários provetes também os testaram em diversas condições:

- Humidificação
- Secagem
- Aquecimento
- Arrefecimento

Este autor concluiu que a deteção de fissuras através de termografia depende das condições referidas anteriormente. As diferenças destas condições entre a fissura e restante parte da pedra fazem com que em algumas fases de variação de temperatura e/ou humidade seja perceptível termograficamente patologias como fissuras ou desagregação granular.

A figura a seguir mostra o resultado obtido dos termogramas das duas faces do provete e a situação onde é mais notável a fissura.

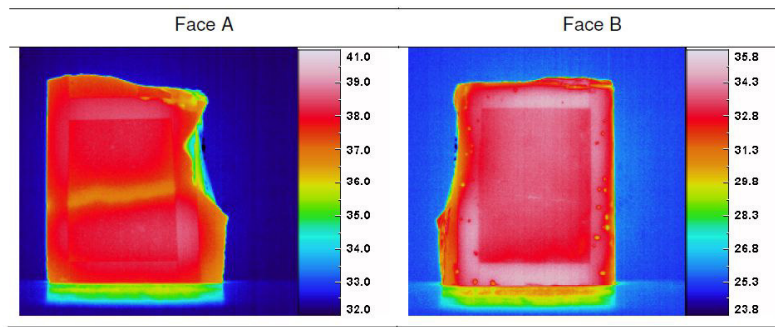


Figura 39 - Termograma de arrefecimento e secagem da face B do provete 3 (Silva, 2012)

É na face A que a fissura é visível e a face oposta foi submersa em água. Isto deve-se à humidade atravessar a espessura do provete mais rapidamente na fissura que no resto da amostra, baixando a temperatura no sítio da fenda.

Silva (2012) fez estudos “in situ” referentes à fendilhação de um muro e ao destacamento do seu revestimento. Chegou à conclusão que só com a avaliação do efeito de secagem é que a fissura é mais notável. Quanto ao destacamento apresenta-se a seguir um termograma dinâmico da secagem ao longo do tempo.

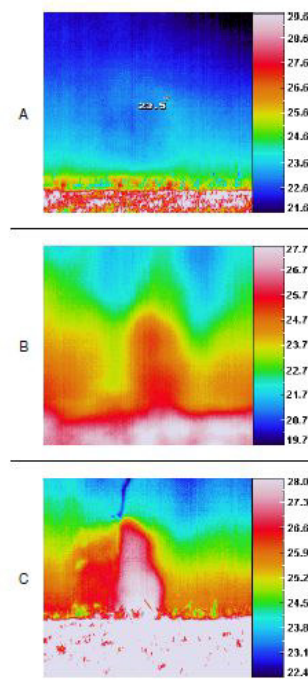


Figura 40 - Termograma dinâmico de Secagem (A, B, C) (Silva, 2012)

No processo de secagem após humedificação, passadas algumas horas a diferença térmica acentua-se em resultado da zona do destacamento conservar mais a humidade e consequente aumento da temperatura.

A termografia tem sido aplicada na inspeção e avaliação do património histórico, nomeadamente para classificação e visualização dos materiais de construção sob a camada de acabamento, a identificação fissuras estruturais e monitorização da humidade. Grinzato (2012) e Wiecek & Poksinska (2006), mostram a utilidade deste método para a conservação de monumentos. Grinzato (2012) usa a termografia na avaliação do risco sísmico. Este autor vai um pouco mais além e com a ajuda da deteção termográfica identifica potenciais pontos fracos em como delaminações ou rachaduras estruturais que são uma ameaça em caso de terramoto.

Wiecek & Poksinska (2006) para além de conjugar pesquisas analíticas com a aplicação dinâmica da termografia, ainda efetuou medições em monumento medievais como o Castelo de Malbork, Castelo de Kwidzyn e a Igreja de Lady Mary em Torun.

4.2.3. Campanha de Ensaios – materiais e métodos

O aparelho usado na termografia foi uma Fluke Ti45FT, uma tecnológica e inovadora máquina que conjuga as imagens visuais com imagens infravermelhas. A leitura e edição das imagens no computador foi realizada pelo software SmartView 3.1. Na Figura 41 ilustra-se o modelo da câmara usado nos ensaios. Na análise de resultados utilizou-se o valor de 0,95 para a emissividade de acordo com Mendonça (2005). Para a campanha de ensaios não se analisou a termografia usando a secagem, dinâmica e arrefecimento como no caso de estudo referido anteriormente, pois o objetivo não era o estudo aprofundado da influência das patologias na termografia mas sim a deteção das patologias. Contudo algumas anomalias da pedra como pequenas fissuras só são possíveis de encontrar com efeitos de secagem como refere Silva (2012).



Figura 41 - Câmara Fluke modelo ti45FT

Os ensaios foram efetuados de forma homogénea na Capela do Fundador, procurando abranger todos os alçados, cobertura e interior e analisando a influência de outras variáveis como a idade da pedra, patologias e humidade, procurando-se identificar diferenças na temperatura devido às diversas variáveis.

A campanha de ensaios decorreu no período da manhã, altura em que a pedra se encontrava em fase de aquecimento.

4.2.4. Resultados e Discussão

Da análise das imagens recolhidas com a camara termográfica obtiveram-se diversas conclusões, procurando conjugar esta informação com as patologias, idade da pedra, humidade e a orientação da fachada, como já descrito.

É notável a baixa temperatura da pedra nas zonas sombrias pois pela manhã o sol aqueceu rapidamente as zonas expostas.

Com o estudo da temperatura da superfície da pedra do Mosteiro através da camera termográfica podemos chegar a diversas conclusões mencionadas nos parágrafos abaixo, fazendo-se acompanhar de termogramas.

Um dos aspetos que se puderam observar foi a temperatura ser mais elevada nas pedras com a superfície mais escura, o que será devido à sua maior emissividade, ou seja, absorve mais radiação solar ao contrário das pedras mais claras que a refletem. Estas superfícies escuras na pedra devem-se às crostas negras ou à pátina demonstrando-se na escala cromática que se segue acompanhada da foto inerente.



Figura 42 - Termografia das crostas negras e respetiva foto da localização

Nas zonas em que a pedra está mais saliente (como o caso das molduras nas paredes) sofrem maior alteração de temperatura pois a inércia térmica é mais reduzida e para além disso estão mais expostas e com maior área de superfície para absorver a radiação. De manhã com o sol em contacto com a pedra estas superfícies aquecem mais rápido, como se pode ver na Figura 43.

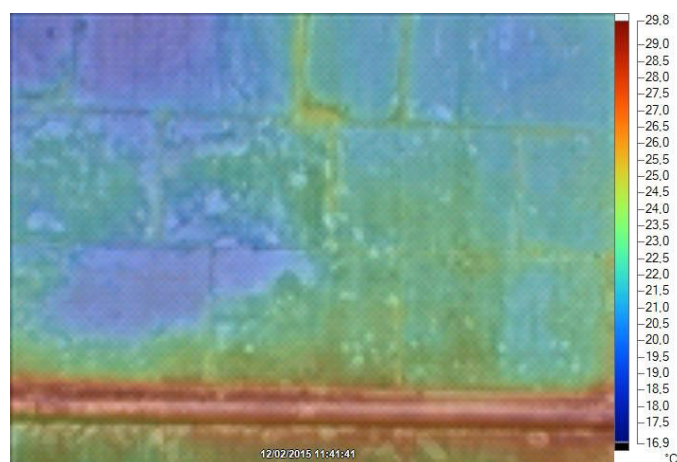


Figura 43 - Termograma do aquecimento das saliências

Nas juntas entre as pedras a temperatura é superior à temperatura superficial das pedras. A argamassa da junta sendo um material de diferentes características em relação à pedra, a junta mal preenchida (não preenchida em profundidade) pode ser a origem desta variação de temperaturas. Este facto é constatado pelo gráfico térmico em 3D representado a seguir onde se distingue as zonas avermelhadas, coincidindo com as juntas.

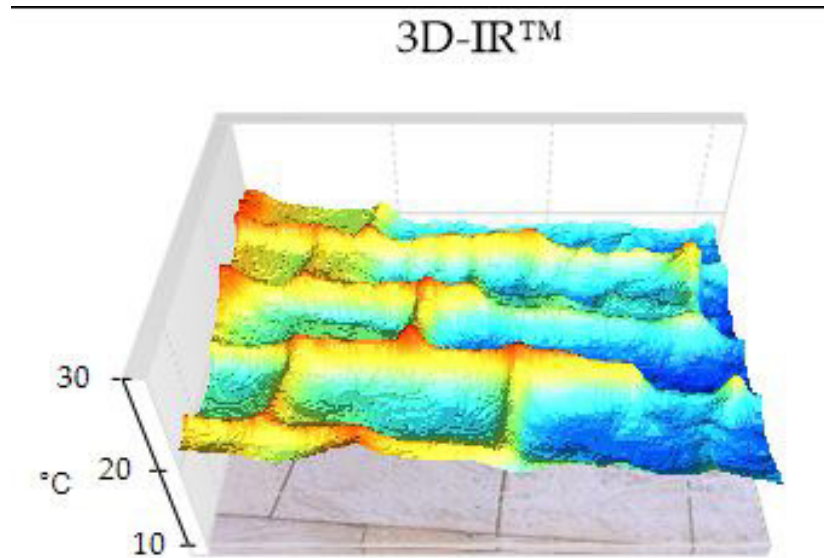


Figura 44 – Termograma de modelação em 3D representativo do aquecimento nas juntas de pedras (gráfico em 3D)

Nalguns locais foram observadas diferenças na temperatura superficial das pedras conforme se exemplifica na Figura 45. Julga-se que nestes casos as pedras poderão ter sido substituídas e se diferenciam das pedras vizinhas destacando-se no mapa de cores obtido com a câmara termográfica estando as pedras supostamente mais recentes mais frias. Estas pedras são muito provavelmente compostas por uma chapa de revestimento fina, que não acompanha a largura de toda a parede. A mancha azul do paramento representada no termograma a seguir é um exemplo das ditas pedras referidas anteriormente que possivelmente foram substituídas. A pedra de parapeito da janela apesar de estar mais fria julga-se ser original, a sua inclinação é que delimita a exposição à radiação solar.

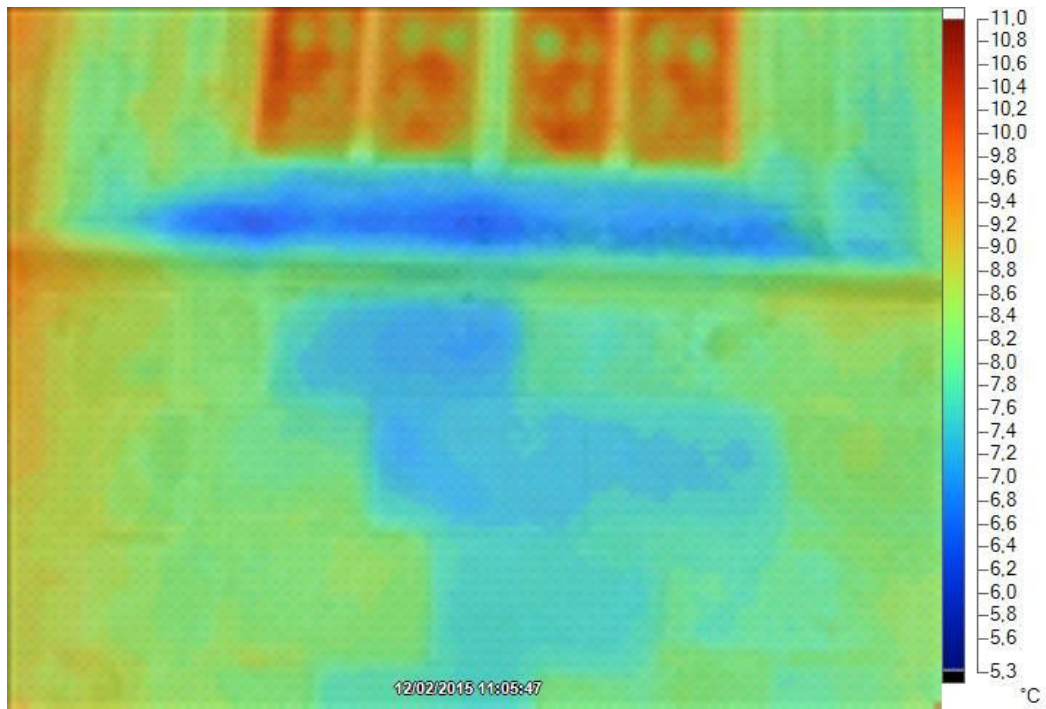


Figura 45 - Termografia das pedras recentes

É notória uma elevada temperatura na parede junto ao chão que pode ser justificada pela presença de humidade que acelera o aquecimento e leva a uma maior conservação da temperatura. Na figura a seguir está representado este fenómeno.

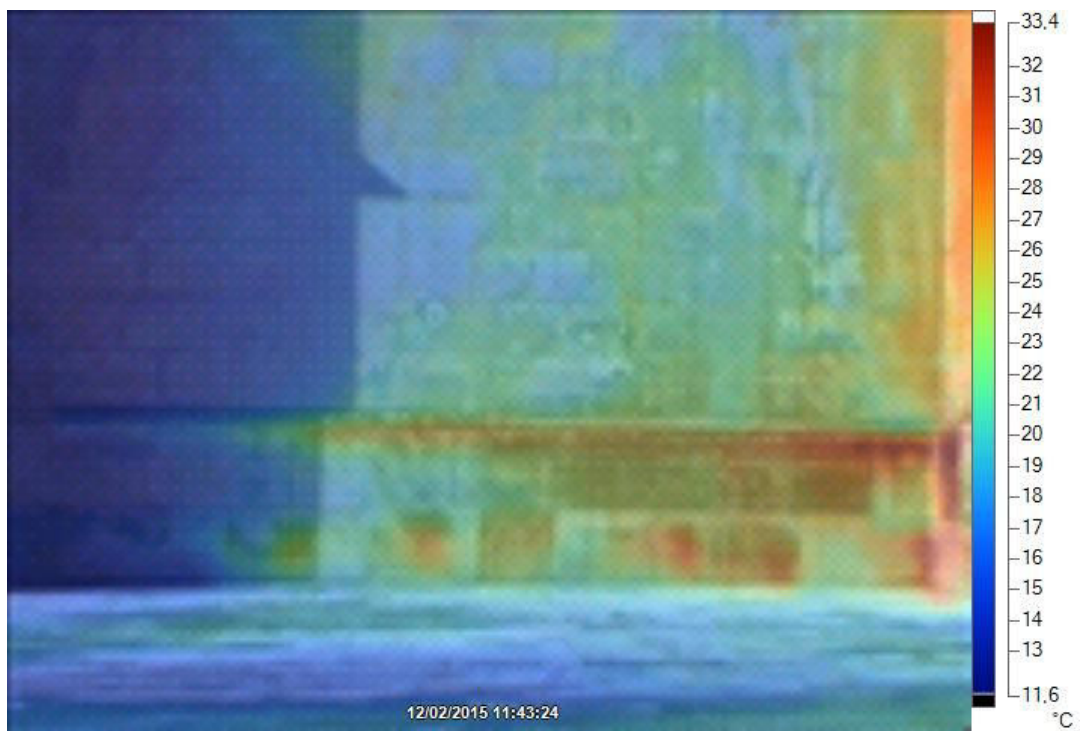


Figura 46 - Gráfico termográfico do aquecimento junto ao chão

Nas pedras que padecem de escamação, desagregação e alveolização nota-se que a pedra está mais fria, o que pode dever-se à menor compacidade da massa pétreia e à superfície irregular que se opõe à penetração da radiação solar, como se observa na próxima figura.

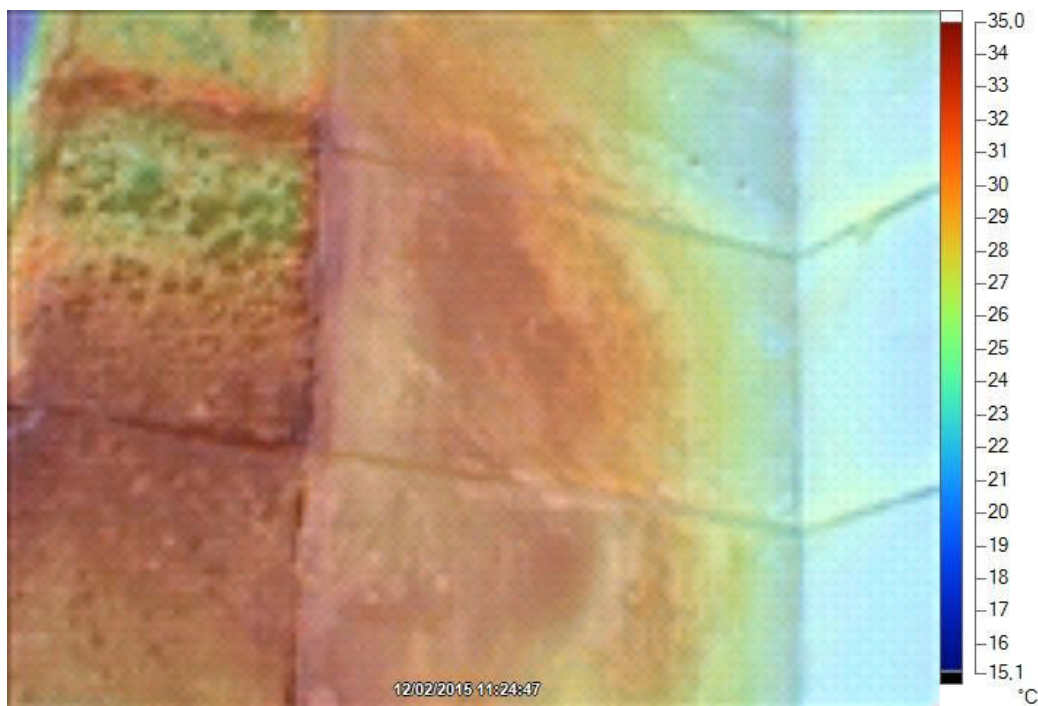


Figura 47 - Alveolização representada no termograma

4.3. Humidímetro

O humidímetro é um aparelho que serve para detetar e quantificar a humidade. Utilizou-se um aparelho da marca TRAMEX, modelo CRH (Figura 48). Este aparelho mede, para além da humidade dos materiais, a humidade relativa e a temperatura do ar, podendo ser usado em diferentes materiais como betão, gesso, madeira, estuque e pedra. É um ensaio não destrutivo, rápido e fácil de usar.



Figura 48 – Humidímetro marca “TRAMEX CRH” (Fattore Vitale & Co., 2008)

A medição da humidade com este aparelho é realizada através de eléctrodos com molas para assegurar o contacto destes com o material, em que um sinal de baixa frequência é emitido ao material, medindo a sua impedância. Este equipamento possui também um sensor rígido que mede a humidade e a temperatura.

Os valores processados pelo aparelho são visíveis no ecrã digital, ou podendo ser registados e armazenados e posteriormente descarregados para um computador num ficheiro de processamento de texto ou folha de cálculo.

Para cada pedra analisada com os ultrassons foi medida a humidade.

A gama de valores da humidade variou entre 0,1 e 6,9%, sendo a média de 4,4%. Comparando a humidade interior com o exterior verificou-se serem em média iguais a 5,0 e 4,1 respetivamente. A maior humidade no interior será proveniente da absorção pela pedra e condensação, sendo a secagem e evaporação no interior mais lenta que no exterior. O sol e o vento no exterior proporcionam evaporação mais rápida de humidade, principalmente na porosidade aberta do calcário. É de referir que os valores foram retirados no período da manhã, ou seja, durante a fase de aquecimento e evaporação.

4.4. Esclerómetro

O ensaio esclerométrico pode medir duas características diferentes mas interligadas entre si, a dureza superficial da pedra e a resistência da pedra ao desgaste. O esclerómetro de Schmidt, aparelho mais utilizado para medir a dureza superficial e não a resistência da pedra, tem como valor de medição o coeficiente de restituição entre o aço do equipamento e o material analisado.

No contexto deste equipamento determina-se a força compressiva uniaxial. Com esta força pode se chegar ao cálculo do Módulo de Young, estudar a alteração das rochas, estudar as fendas e fissuras e estimar o desgaste da rocha entre outros (Machado, 2012).

Através do esclerómetro poderá obter-se um valor de compressão da superfície de um elemento de betão, pedra ou afins. A camada superficial analisada pode ir até 5cm de profundidade, que em caso de heterogeneidade do material não fornece valores representativos. (Oliveira, 2003)

O equipamento é composto por uma massa em aço tensionada por uma mola, chocando com a superfície do material. O aparelho mede a quantidade de energia do ressalto da massa, após a colisão, mostrada numa escala graduada. A pedra é tanto mais dura quanto maior for a força do ressalto, significando conseqüentemente uma menor energia absorvida no momento do impacto. A figura a seguir mostra os elementos constituintes do esclerómetro de Schmidt.

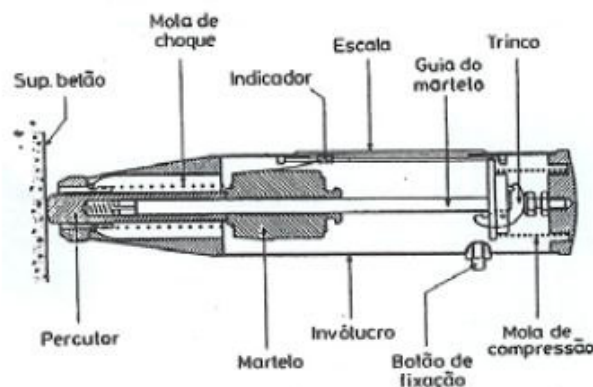


Figura 49 - Constituição do esclerómetro de Schmidt (Oliveira, 2003)

As vantagens deste tipo de ensaio são:

- Ensaio não destrutivo
- Rápida e simples execução;
- Fácil utilização e boa portabilidade;
- Resultados coesos, ou seja, os resultados são lógicos e próximos entre si num material homogéneo;
- Ensaio económico e equipamento relativamente barato.

As desvantagens são as seguintes:

- Apenas mede a dureza superficial e não a resistência;
- Se a pedra for pouco dura pode ficar a marca do martelo;
- É necessária uma amostragem com muitas leituras para uma maior precisão dos resultados.
- Os resultados são mais qualitativos que quantitativos, podendo servir de comparação entre eles;

Os resultados são afetados por vários fatores descritos a seguir:

- O aparelho tem de estar na horizontal, perpendicular ao paramento em análise;
- A porosidade e rugosidade da superfície;
- Temperatura do aparelho;
- A idade da pedra e a humidade.

Quanto ao número de medições por pedra, a norma da International Society for Rock Mechanics (1981) refere que devem ser realizadas 20 medições e apenas consideradas as 10 com valores mais altos. Outros autores como Aydin (2005) defendem que nenhuma medição seja suprimida, pois os valores fornecidos pelo esclerómetro não estão errados e os desfazamentos são devidos à heterogeneidade do material.

Vasconcelos (2005), Machado (2012), Ericson (2004), Aydin & Basu (2005) e Kiliç (2006) estudaram a partir de ensaios esclométricos a degradação da pedra. Os dois

primeiros casos são nacionais. O primeiro (Vasconcelos, 2005) consiste num trabalho experimental com intuito da avaliação das características mecânicas da alvenaria de pedra, nomeadamente o granito.

De acordo com Machado (2012) que faz um estudo acerca da caracterização das litologias e patologias da Sé de Lamego sabe-se que da análise dos resultados do esclerómetro de Schmidt muitos fatores influenciam os valores tais como:

- Porosidade;
- Densidade;
- Tamanho do grão;
- Tipo de rocha;
- Proximidade a fraturas ou fissuras;
- Tamanho das pedras;
- Teor em humidade;
- Rugosidade da superfície;
- Tipo de aparelho utilizado;
- Inclinação do aparelho no impacto;
- Espaçamento entre medições;
- Patologias na pedra.

Existem várias relações que se podem fazer entre alguns dos fatores descritos anteriormente. A diminuição dos valores de dureza de Schmidt (R) acontece com o aumento da porosidade e conseqüente diminuição da densidade, aproximação de fraturas e fissuras e quanto mais rugoso for o material. Este ensaio é de certa maneira relacionável com a velocidade de propagação das ondas para fatores como a densidade e a porosidade. Depois da elaboração de um ensaio num ponto este fica mais denso devido ao impacto, sendo a proximidade entre pontos do ensaio uma variável na obtenção de valores. Em pedras pequenas ou junto a descontinuidades de material existe elevada dissipação de energia o que leva à diminuição dos valores (R). As patologias influenciam a rugosidade e dureza da superfície pétreia e conseqüentemente os valores.

No caso de estudo efetuado por Machado (2012) foram analisadas várias pedras graníticas da região de Lamego, como o granito de Valdigem (GV), Meadas (GM), Meadas de grão grosseiro (GM²), Várzea de Abrunhais (GVA), Várzea de Abrunhais de grão fino

(GVA') e de Lamego (GL). No quadro seguinte podem-se observar as medições médias e desvios padrão da dureza de Schmidt, assim como a patologia, litologia, cota e localização.

Medição	Local/Orientação	Cota acima do pavimento (m)	Litologia	Patologias	R
MS1	Torre/Fachada S	1,10	GM	Alteração cromática	38,4 ± 6,0
MS2	Torre/Fachada S	1,10	GL	Alteração cromática	48,7 ± 3,6
MS3	Torre/Fachada W	1,30	GL	Colonização biológica	51,6 ± 2,1
MS4	Torre/Fachada W	1,30	GL	Colonização biológica	52,4 ± 1,8
MS5	Fachada W/Portal S	1,90	GV	Placa	40,4 ± 2,5
MS6	Fachada W/Portal S	1,70	GV	Crosta	47,8 ± 2,3
MS7	Fachada W/Portal S	1,70	GV	Desagregação granular média	42,6 ± 2,5
MS8	Fachada W/Portal N	1,50	GV	Desagregação granular forte	36,0 ± 2,6
MS9	Fachada W/Portal N	1,00	GV	Pátina	45,6 ± 1,5
MS10	Fachada W/Portal N	1,70	GV	Pátina	42,1 ± 1,9
MS11	Fachada W	1,20	---	Filme	35,7 ± 3,5
MS12	Fachada W	0,80	GV	Crosta	37,5 ± 2,0
MS13	Fachada W	1,20	GVA'	Alteração cromática	47,7 ± 2,0
MS14	Fachada W	1,20	GVA	Alteração cromática	32,1 ± 1,1
MS15	Fachada W	0,5	---	Colonização biológica	36,5 ± 1,0
MS16	Fachada W		GVA	Pátina	32,3 ± 1,9
MS17	Claustro/Fachada N	1,00	---	Filme e alteração cromática	43,7 ± 3,2
MS18	Claustro/Fachada W	1,00	GM'	Filme negro e alteração cromática	30,9 ± 2,8
MS19	Claustro/Fachada S	1,00	GM'	Desagregação granular forte	26,2 ± 2,8
MS20	Claustro/Fachada N	0,90	---	Crosta	28,0 ± 0,9
MS20	Claustro/Fachada N	0,90	---	Pátina	23,7 ± 1,1
MS21	Altar/Porta S	0,85	GVA'	Desagregação granular forte	31,3 ± 2,2
MS22	Altar/Porta S	1,50	GVA'	Desagregação granular forte	34,5 ± 1,9
MS23	Altar/Porta N	0,85	GVA'	Desagregação granular fraca	33,7 ± 1,2
MS24	Altar/Porta N	1,50	GVA'	Desagregação granular fraca	31,2 ± 2,4

Tabela 1 - Dureza de Schmidt média e desvio padrão (Machado, 2012)

As médias de cada leitura variam de 23,7 e 52,4, estando em concordância com valores de outros autores. Relativamente ao tamanho do grão verificou-se que quando comparado o granito de Várzeas de Abrunhais com diferentes tamanhos de observa-se que os valores de R são maiores para pedras de grão mais fino. O mesmo se verificou com o granito das Meadas de diferentes dimensões de grão. Outra das conclusões foi que a alteração da pedra diminui os valores fornecidos pelo esclerómetro e a maior meteorização da pedra leva a maior dispersão de resultados.

Apesar de rocha ser densa não implica maiores valores de (R), uma vez que como já referido podem ser influenciados por diversos fatores como as patologias atuantes, principalmente em monumentos antigos. De acordo com a última tabela para o granito de Valdigem, a patologia que mais diminui os valores (R) é a desagregação granular forte, seguindo-se a placa, crosta, desagregação granular média e por último a pátina que menos influencia (Machado, 2012)

Para a campanha de ensaios realizados na Capela do Fundador foi usado um esclerómetro de Schmidt digital como se apresenta na Figura 50.



Figura 50 - Esclerómetro de Schmidt digital usado nos ensaios

Foram analisadas várias pedras, escolhendo algumas das analisadas anteriormente nos ultrassons, homogeneamente espalhadas pela Capela. À semelhança dos ensaios de ultrassons deve-se evitar pedras com desagregação, placas e alveolização pois estas patologias iriam baixar em muito os valores de R. Para cada pedra recolheram-se 5 medições.

Os valores de cada conjunto de 5 medições situam-se no intervalo entre 30,7 e 59,2, não se distanciando muito dos valores da análise do granito da Sé de Lamego recolhidos por Machado (2012), que foram mais baixos. O desvio padrão das medições de cada pedra varia entre 0,87 e 4,64. Apesar de só terem sido recolhidas 5 medições em cada pedra mostra que não há grandes variações. Na Tabela 2 apresentam-se os valores de R para cada medição, incluindo a patologia associada e a sua localização.

Medição	Loc. Int./Ext.	Localização	Patologia	R (média ± d. pad.)
I2 - E	Interior	Este	-	41,38 ± 0,9
I3 - E			-	57,1 ± 0,9
I4 - E			-	48,02 ± 4,6
I7 - E			-	50,14 ± 2,6
I8 - E			-	47,76 ± 3,0
I9 - E			-	48,86 ± 2,4
I31 - O		Oeste	-	55,06 ± 1,2
I32 - O			-	53,06 ± 1,5
I43 - Col		Colunas	-	53,72 ± 1,6
I44 - Col			-	49,08 ± 3,7
I45 - Col			-	52,86 ± 3,9
I46 - Col			-	52,56 ± 1,3
I20 - N		Norte	Humidade	57,02 ± 2,1
I22 - N			-	55,9 ± 2,1
Cob 2	Exterior	Cobertura	Pátina ligeira	45,54 ± 1,6
Cob 1			Pátina ligeira	51,44 ± 0,9
Cob 8			Pátina ligeira	52,14 ± 1,8
Cob 11			Crostas n.	47,1 ± 2,8
S1		Sul	-	50,52 ± 2,2
S2			-	49,42 ± 3,3
S14			Humidade	47,56 ± 2,8
S8			-	48,52 ± 4,6
O6		Oeste	-	30,7 ± 4,2
O4			Crostas n.	46,98 ± 1,1
O3			-	49,88 ± 2,2
O11			Sujidade	49,88 ± 2,7
O9			-	46,38 ± 1,8
O12			Crostas n. ligeira	53,08 ± 2,0
E1		Este	Humidade	59,2 ± 1,3
E2			-	48,04 ± 2,9
E4	Pátina		52,58 ± 2,8	
E7	-		49,28 ± 1,5	
E10	Humidade		48,66 ± 2,8	
E8	-		45,88 ± 1,6	

Tabela 2 - Valores médios e desvio padrão da Dureza de Schmidt para as 34 pedras analisadas

Estes valores por si só não demonstram muito mas analisados por orientação e localização (interior e exterior) dão resultados mais conclusivos. Na Tabela 3 apresentam-se as médias por orientação/localização.

Medição	Loc. Int/ext.	Localização	R (média)	Média Int/Ext.	Média localização
I2 - E	Interior	Este	41,38	51,61	48,88
I3 - E			57,1		
I4 - E			48,02		
I7 - E			50,14		
I8 - E			47,76		
I9 - E			48,86		
I31 - O		Oeste	55,06		54,06
I32 - O			53,06		
I43 - Col		Colunas	53,72		52,06
I44 - Col			49,08		
I45 - Col			52,86		
I46 - Col			52,56		
I20 - N		Norte	57,02		56,46
I22 - N			55,9		
Cob 2	Exterior	Cobertura	45,54	48,64	49,06
Cob 1			51,44		
Cob 8			52,14		
Cob 11			47,1		
S1		Sul	50,52		49,01
S2			49,42		
S14			47,56		
S8			48,52		
O6		Oeste	30,7		46,15
O4			46,98		
O3			49,88		
O11			49,88		
O9			46,38		
O12			53,08		
E1		Este	59,2		50,61
E2			48,04		
E4			52,58		
E7			49,28		
E10			48,66		
E8			45,88		

Tabela 3 - Valores médios da Dureza de Schmidt para as 34 pedras e dividido por orientação/localização

Verifica-se que a dureza superficial da pedra é maior no interior da Capela do Fundador. No exterior os valores esclerométricos são inferiores possivelmente devido ao desgaste dos agentes atmosféricos a par da poluição.

A parede do lado norte, comum com a Igreja, apresenta os valores de dureza de Schmidt mais altos, podendo eventualmente dever-se ao facto de ser uma parede interior, não estando sujeita a fatores atmosféricos como as paredes exteriores.

Verificou-se que os valores de R para as diferentes orientações da Capela são concordantes com velocidade de propagação dos ultrassons.

O maior valor de R foi no interior, decrescendo depois no alçado este, segue-se a cobertura, o alçado sul e por fim com um R mais baixo o alçado oeste. Esta sequência faz sentido uma vez que coincide com o grau de exposição aos agentes degradadores como a poluição e agentes atmosféricos, isto é, o alçado este é o mais abrigado e o alçado oeste, localizado na fachada principal, mais desprotegido dos agentes atmosféricos. Para agravar este facto, o alçado oeste está voltado para a movimentada estrada IC2, onde a circulação de veículos fazem dela uma ativa fonte de poluição, podendo também estar na origem dos valores obtidos.

Procedeu-se à comparação gráfica dos resultados obtidos com esclerómetro com ultrassons. Em primeiro lugar relacionaram-se os valores do esclerómetro com os valores de ultrassons um a um e inseriu-se a linha de tendência linear como se pode ver no gráfico a seguir.

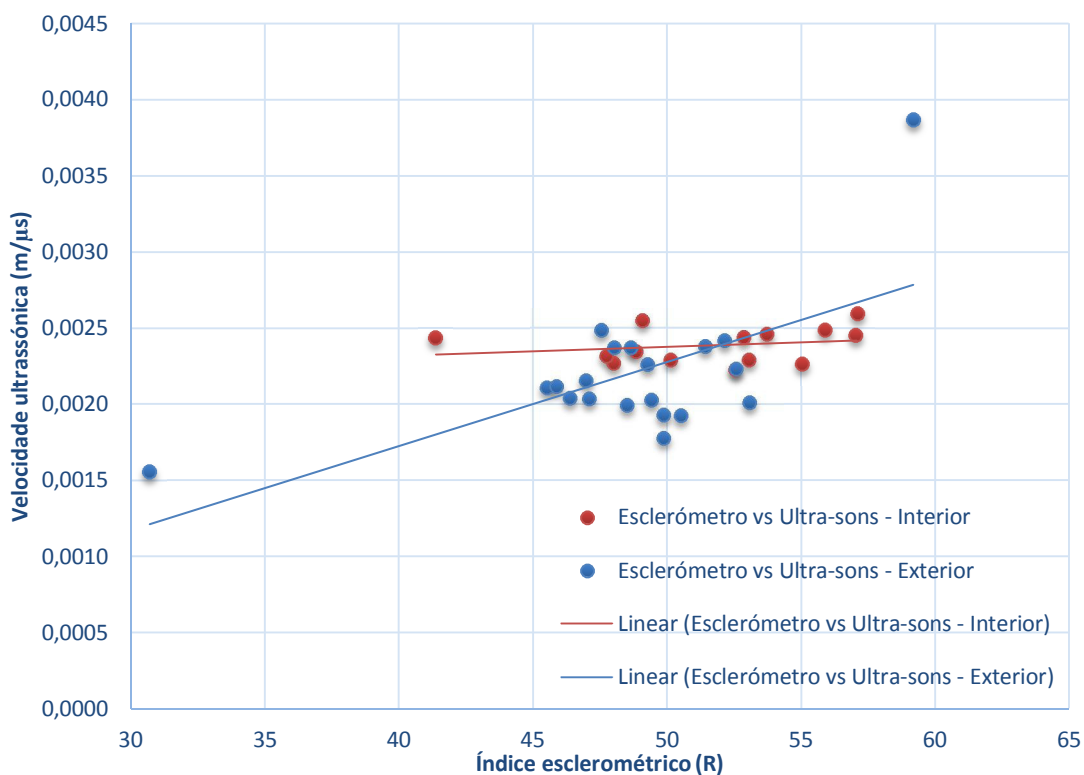


Figura 51 - Relação entre Esclerómetro e Ultra-sons com diferenciação do exterior do interior

A linha da tendência linear demonstra que existe uma relação entre a propagação da velocidade e os valores de Schmidt. Assim sendo pode-se afirmar que quanto maior forem os valores de R maior é a velocidade ultrassônica. Ambos são influenciados pela densidade e porosidade superficial da pedra.

A partir dos resultados dos gráficos conclui-se que a relação esclerómetro/ultrassons é mais baixa para o exterior e os seus valores são mais dispersos, ao contrário do interior. Chega-se ainda à conclusão que para o exterior é mais acentuada a evolução dos valores da velocidade com o aumento dos valores R. Já no interior os valores dos ultrassons mostram-se aproximadamente constantes com a evolução do índice esclerométrico.

Comparou-se também os valores da velocidade dos ultrassons com os valores obtidos com o esclerómetro, em função da variável orientação/localização (Figura 52).

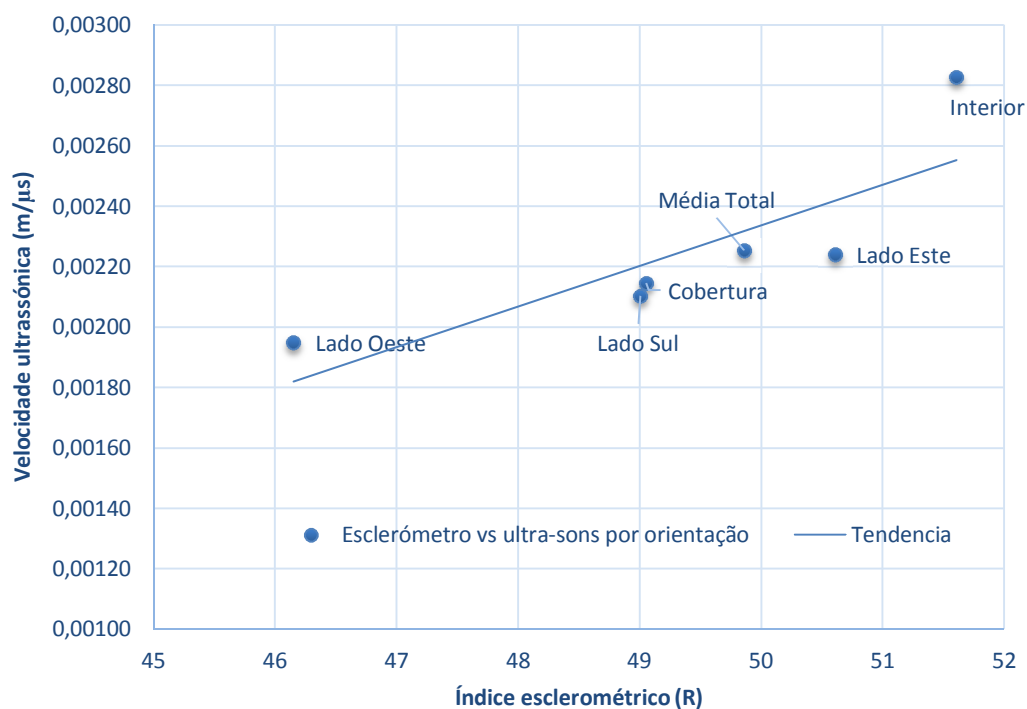


Figura 52 - Esclerómetro vs ultrassons por orientação

A sequência de evolução dos valores é igual à referida anteriormente na análise dos valores obtidos nos ultrassons, não se alterando com a conjugação da velocidade. Isto demonstra que os dois ensaios estão em consonância também para a análise das orientações.

4.5. Varrimento Laser Scanning

O varrimento laser é usado desde 1960 e é uma tecnologia que consiste em levantamentos tridimensionais ou bidimensionais, reproduzindo a digitalização espacial.

O aparelho utilizado para o varrimento laser foi o FARO Laser Scanner Focus 3D disponibilizado pela empresa TOPCON. Este é um inovador e eficiente produto de varrimento em alta velocidade, capaz de documentar e medir detalhadamente. Produz imagens tridimensionais com elevado detalhe a partir do levantamento de milhões de pontos, criando assim uma nuvem de pontos digital.

No seu funcionamento são emitidos raios laser na direção dos objetos em estudo. Esses raios laser são distribuídos verticalmente e na horizontal, sendo recebidos de volta pelo aparelho depois de refletidos. É com base nos ângulos relativos vertical e horizontal e a partir da definição de uma área que se chega aos valores das distâncias.

O varrimento laser 3D foi efetuado no levantamento do Convento de Cristo em Tomar e no Arco da Rua Augusta por Mateus (2012). Na figura seguinte apresenta-se a nuvem de pontos resultante do varrimento laser ao Arco da Rua Augusta.

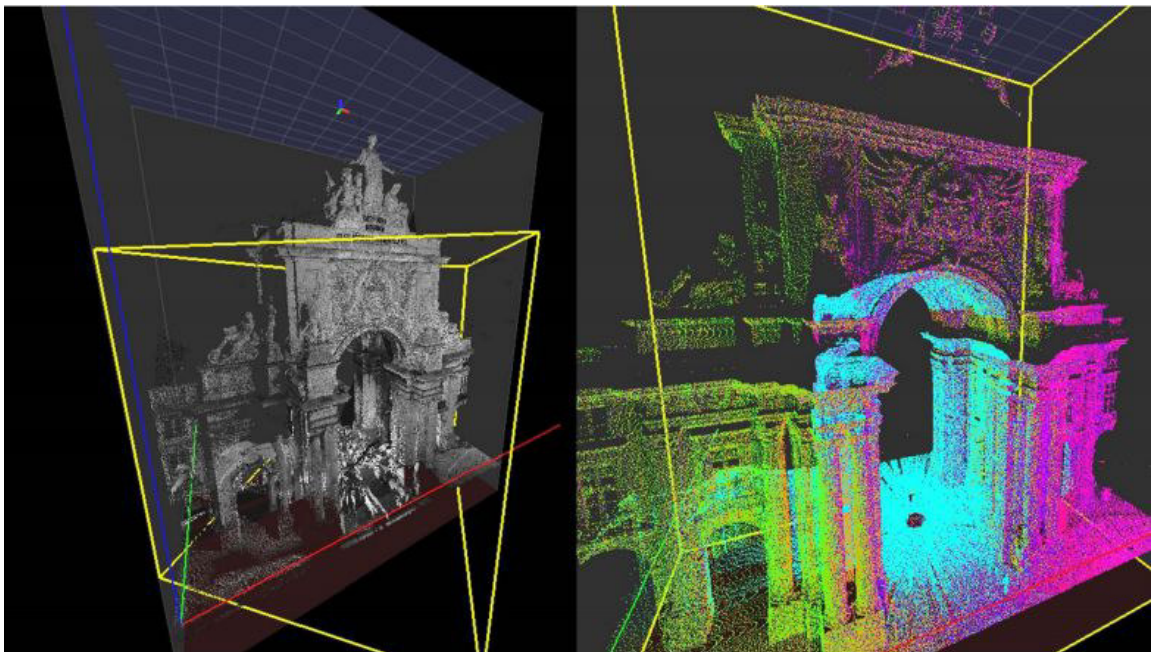


Figura 53 - Nuvem de pontos do levantamento do Arco da Rua Augusta (Mateus, 2012)

No âmbito do varrimento laser tentou-se identificar deslocamentos na Capela do Fundador. Para isso recorreu-se ao programa SCENE LT (Figura 54) e retiram-se valores de pontos específicos.

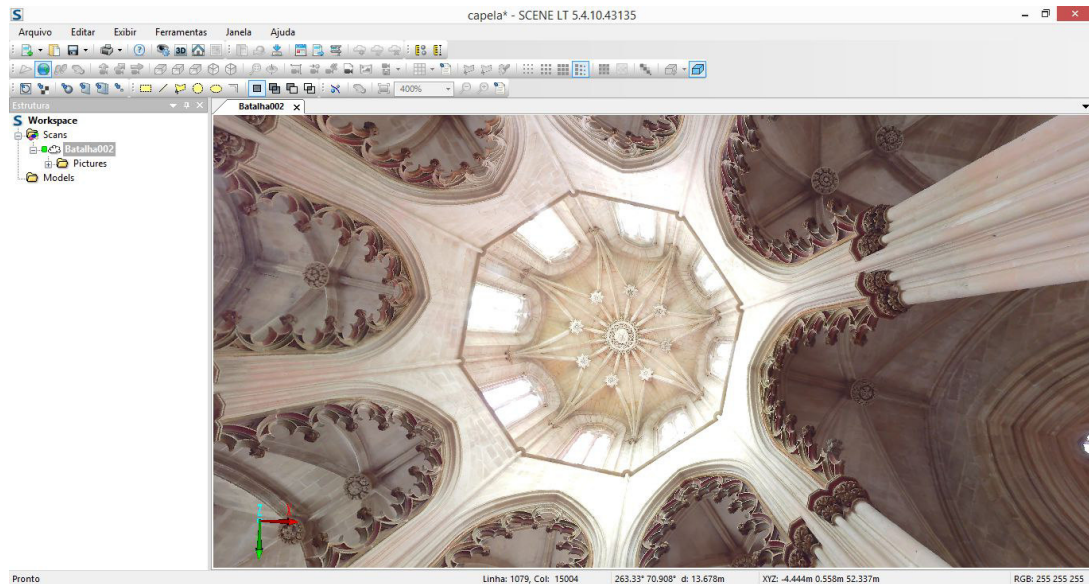


Figura 54 - Programa SCENE LT

O interior da Capela foi analisado segundo 8 alinhamentos verticais correspondentes ao intradorso dos 8 pilares que a constituem na zona central e que interligam a parte inferior da CF com a parte superior entre as janelas do octógono ao nível da cobertura. Em cada alinhamento vertical foram realizados 4 níveis de medição, 2 na parte superior da Capela às cotas de z (eixo vertical) de 16,45 m e de 13,6 m, que perfaz uma distância entre pontos de 2,85m, e os outros 2 na parte inferior às cotas de 3,7 e de 12,7, dando um desnível de 9 m.

Na obtenção dos resultados para cada alinhamento fez-se a resultante das distâncias medidas entre os eixos x e y.

Nas Figuras 55 e 56 apresentam-se o corte com indicação dos níveis medidos e a planta com indicação dos pontos, respetivamente. A planta além da referenciação dos pontos medidos também tem a linha tracejada os alinhamentos analisados mais à frente e referencial (x, y) do aparelho de varrimento laser.

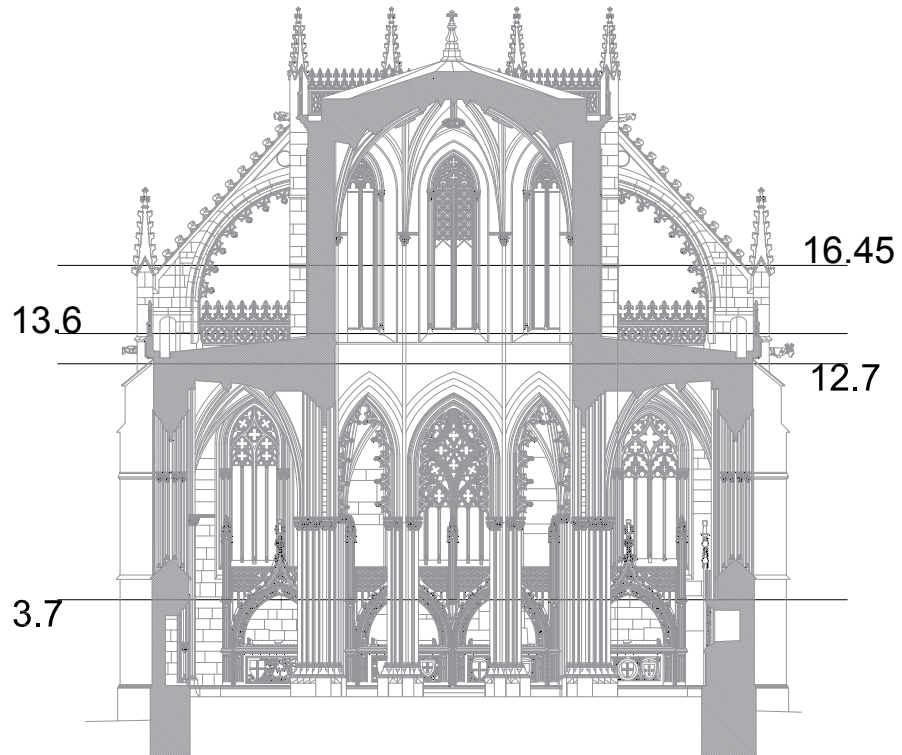


Figura 55 - Corte com indicação dos níveis medidos

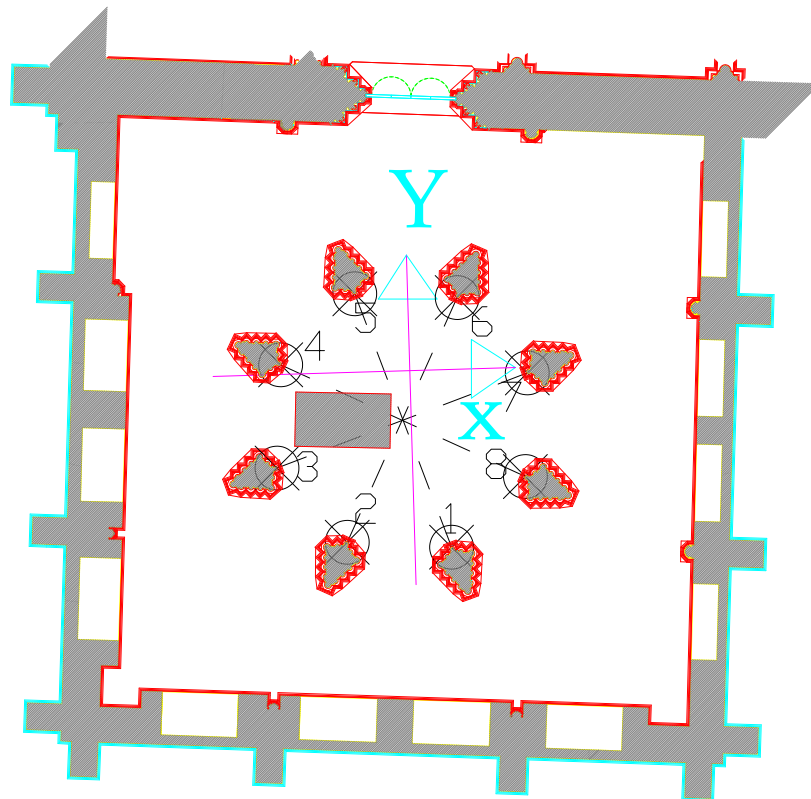


Figura 56 - Referencial e alinhamentos do varrimento laser

Da representação gráfica dos pontos retirados do varrimento laser surge a figura seguinte:

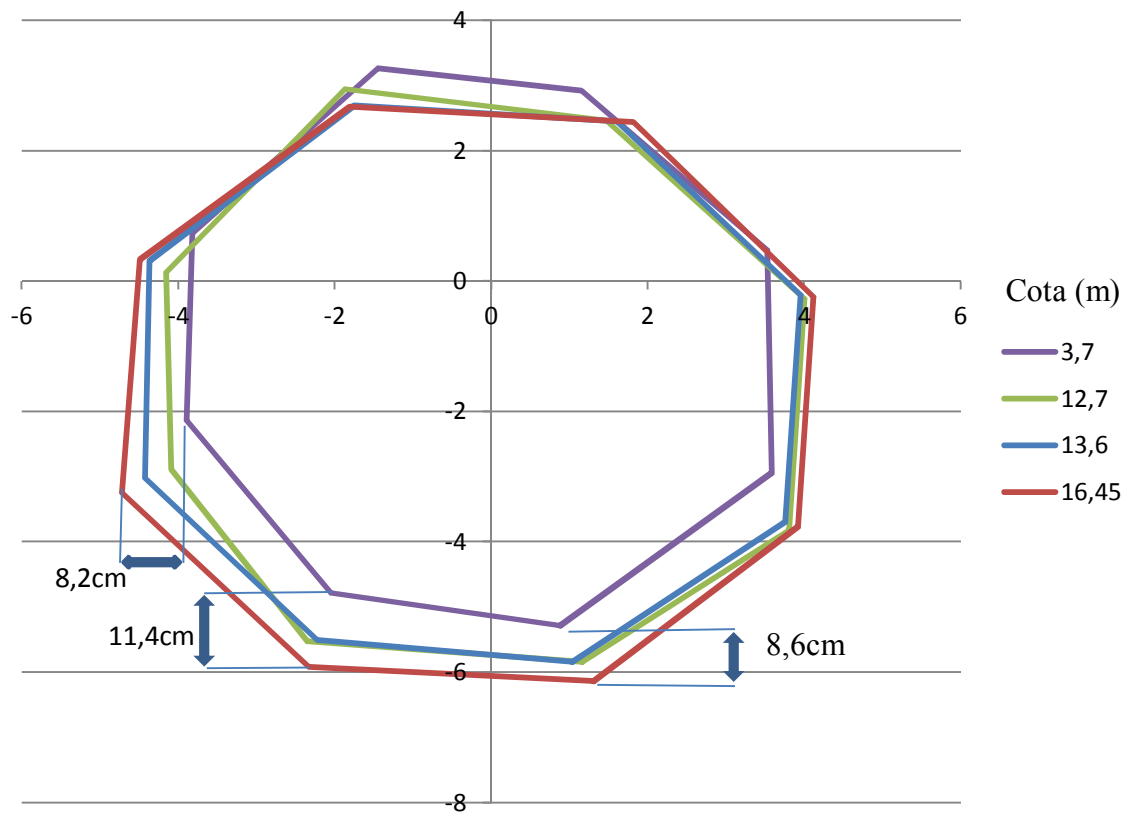


Figura 57 - Implementação das medições do varrimento laser

Neste gráfico são visíveis 4 níveis de leitura da CF. A cota 16,45 m está à escala natural, todas as outras têm um agravamento na escala de fator 10 em relação à diferença de coordenadas da cota mais elevada (16,45 m). É elucidativo que a CF apresenta um deslocamento para os lados sul, este e oeste, devendo-se eventualmente a efeitos consequenciais do deslocamento da Igreja, ou de acontecimentos mais pontuais decorrentes por exemplo da construção ou da atividade sísmica. Este fenómeno é mais notável à medida que a cota altimétrica sobe. Observa-se ainda que a parte do octógono do lado da igreja sofreu menores deslocamentos como resultado da maior rigidez da estrutura naquela zona.

Da análise dos resultados da verticalidade dos pilares na parte inferior da Capela e cantos do octógono na parte superior, as médias de inclinação vertical rondam os 8 mm por metro (Tabela 4). Nos pilares do tramo do octógono, entre as duas cotas de medição mais elevadas, o desvio na verticalidade é de 2,4cm em que o mínimo é 6mm e o máximo é 42mm, isto para uma altura de 2,85m. Na parte inferior os pilares têm uma média de desvio da verticalidade igual a 7,2cm, onde 9,2cm e 5,2cm são os valores máximos e mínimos, respetivamente para o intervalo altimétrico de 9 metros (Tabela 4).

	Altura entre cotas	Desvios à verticalidade (m)											Inclinação (m/m)
		1	2	3	4	5	6	7	8	Máx	Mín	Média	
Tramo superior (entre cota 16,45 e 13,6)	2,85	0,040	0,042	0,036	0,012	0,006	0,021	0,016	0,017	0,042	0,006	0,024	0,0084
Tramo Inferior (entre cota 12,7 e 3,7)	9,00	0,063	0,080	0,077	0,069	0,052	0,055	0,088	0,092	0,092	0,052	0,072	0,0080

Tabela 4 - Desvios à verticalidade

Além dos resultados anteriores da verificação à verticalidade, com o conjunto de coordenadas obtidas, conseguiu-se chegar a valores das distâncias cruzadas entre os pontos analisados dos pilares. Na Figura 56 está uma ilustração das medições das distâncias cruzadas retiradas entre os pilares.

Obtiveram-se 4 níveis de leitura de distâncias entre pilares (Figura 55) e verificou-se que quanto mais para cima mais uniformes são as distâncias. A diferença máxima na última medição de cima da distância cruzada (16,45m) é de 2,2 cm e na medição mais rente a baixo (3,7m) é de 11,7 cm, sendo a menor e maior diferença respetivamente. Estas diferenças registam-se entre os alinhamentos 1-5 e o 3-7. No quadro 6 refere-se esta informação de forma mais elucidativa. A média geral das distâncias é de 9,294m, variando de 9,341 a média das distâncias nos pontos mais elevados e 9,24 nas medições em baixo. Esta é uma variação uniforme da qual se retira uma análise importante, visto os pilares estarem a abrir e deslocarem-se para sul, perceptível com o desenvolvimento em altura. A variação é cerca de 10 cm mais aberto na cobertura.

Todos os valores descritos anteriormente podem estar associados erros de precisão inerentes à leitura do varrimento laser e à exatidão de extração das coordenadas, visto ter

de se centrar o ponto o mais possível no extradorso do redondo do pilar. Contudo não se sabe a precisão das medidas aquando da sua construção.

Quadro resumo - distâncias cruzadas									
(Valores em metros)		1-5	2-6	3-7	4-8	Máx.	Mín.	Dif. Máx.	Média
Parte superior	Cima (16,45)	9,351	9,334	9,329	9,351	9,351	9,329	0,022	9,341
	Baixo (13,6)	9,314	9,284	9,281	9,322	9,322	9,281	0,042	9,300
Parte Inferior	Cima (12,7)	9,345	9,286	9,247	9,306	9,345	9,247	0,099	9,296
	Baixo (3,7)	9,300	9,233	9,183	9,243	9,300	9,183	0,117	9,240
	Mais rente ao chão (39,1m)	9,292	-	-	9,236				
Somatórios						9,351	9,183	0,117	9,294

Tabela 5 - Distâncias cruzadas

5. Medidas de Reparação e Manutenção

A manutenção consiste em manter, sustentar, preservar e reparar algo desde uma simples peça a um edifício. A manutenção é importante na medida que além de colocar em risco a integridade física das pessoas circundantes em caso de falta de manutenção, também garantem a operacionalidade, funcionalidade e a confiança por parte das pessoas, podendo trazer diversas e pesadas consequências.

Neste capítulo são apresentadas algumas medidas de prevenção, reparação e manutenção que vão desde operações simples de prevenção a intervenções de reparação mais profundas. Estas sugestões são dadas de acordo com as patologias, causas e materiais, e tendo em conta os conceitos de manutenção preventiva e reativa.

Embora não se distingam exatamente umas das outras, a manutenção preventiva consiste em precaver eventuais perdas de desempenho através de revisões periódicas. Esta é uma técnica mais barata que permite a deteção e tratamento de pequenos problemas na fase inicial, daí dizer-se: “mais vale prevenir que remediar”. A manutenção reativa ou corretiva é uma técnica de reparação utilizada aquando de uma anomalia ou patologia no caso da pedra.

Com o intuito de controlar as ações anteriormente referidas torna-se importante uma boa manutenção do edifício, que deverá ser implementada com ações de manutenção regulares decorrentes do acompanhamento diário do edifícios, e ações de intervenção pontuais de frequência inferior.

A interferência de plantas ou até mesmo micro vegetação como musgo ou líquenes, são infestantes comuns que contribuem para a degradação das pedras. A par destes agentes nocivos, estão os inúmeros animais presentes no Mosteiro. Os dejetos das aves conjuntamente com a água da chuva originam a lixiviação, contribuindo para a desagregação granular, placas e plaquetas. Além disso as aves ainda dão bicadas nas pedras em maior estado de desagregação.

Nas secções seguintes descrevem-se as ações de manutenção regular e as pontuais.

5.1. Manutenção Regular

Nas ações propostas para serem implementadas de forma mais frequente está o extermínio das herbáceas. Esta manutenção faz-se pela altura da primavera durante os meses de maio e junho. Os herbicidas usados frequentemente no controlo das plantas são à base de glifossato. Os herbicidas são em geral o método mais económico, rápido e eficaz de controlo das plantas. Os produtos mais usados são de ação sistémica⁹ e não seletivo¹⁰. A aplicação destes produtos é feita com um pulverizador e a dosagem de diluição é 1/100, ou seja, uma parte do produto para 100 partes de água. Cerca de 15 dias depois da pulverização destes produtos as plantas secam e tem de se proceder à sua remoção manual.

A limpeza de sedimentos em canais e gárgulas é outra ação importante, principalmente antes do outono. A desobstrução dos circuitos onde a água passa é fundamental para não provocar acumulação de água que poderá provocar infiltrações e zonas de escorrência de água. Mais ocasionalmente devem ser abertos os arcobotantes e proceder à limpeza do canal, pois estes além da função estrutural, funcionam como sistema drenagem da água da cobertura, descarregando diretamente nas gárgulas.

No controlo das aves, criou-se um sistema tradicional de gaiolas que estão colocadas na cobertura em que as aves são capturadas quando entram na gaiola. Esta metodologia tem ajudado no controlo da existência de aves no Mosteiro. No entanto existem outras formas de afugentar as aves tais como (Freitas, 2012):

- Repulsivos químicos;
- Emissões de ultrassons;
- Emissões de sons de aves de rapina;
- Dispositivos eletroestáticos.

⁹ Que entra no sistema circulatório

¹⁰ Mata qualquer tipo de planta

5.2. Intervenções Pontuais

Nos tópicos a seguir descrevem-se como podem ser feitas as intervenções para as diversas patologias. De uma forma geral para as intervenções e visto tratar-se de um Monumento devem-se ter em conta os princípios base da compatibilidade, reversibilidade e intervenção mínima. (Costa, 2009)

5.2.1. Aplicação de Herbicida

Esta é uma intervenção que pode ser regular, no entanto há por vezes necessidade de a efetuar de forma pontual e alargada a uma área relativamente extensa. A função é a eliminação de plantas infestantes.

O produto usado é normalmente à base de ácido (sal de amónio) glifosato, herbicida de absorção foliar, sistémico não seletivo. A diluição usual do produto é de 2% em água destilada.

A aplicação de herbicidas é maioritariamente feita por aspersão diretamente na folhagem e posteriormente a recolha cuidadosa das plantas após cerca de 4 semanas (Freitas, 2012).

5.2.2. Aplicação de Biocida

Os biocidas são usualmente compostos de sais quaternários de amónio ou tributilestanho naftenato. São diluídos a 3% em água de baixa dureza e pH próximo de neutro, por isso em água destilada preferencialmente. O objetivo do biocida é a desagregação e secagem da colonização biológica como líquenes, musgos, fungos e devem ser aplicados antes da limpeza da pedra. À semelhança da aplicação de herbicida, o biocida também é aplicado com um pulverizador, em pelo menos 2 demãos. Antes da aplicação as superfícies a tratar devem estar isentas de sujidade. O biocida é removido posteriormente com água (Freitas, 2012).

5.2.3. Limpeza

A limpeza da pedra pode ser feita de duas maneiras. Uma é a limpeza com água e com o auxílio da escovagem com uma escova de baixa dureza. O outro método de limpeza é com recurso a jato de água com ponteira rotativa ou estático em forma de linha, ambos com controlo da pressão. Este segundo método é mais limitado pois pode ser prejudicial em pedras com problemas de degradação (Aires-Barros, 2001).

Na limpeza com a máquina, a pressão não deve ultrapassar os 90 bares, variando conforme o estado da pedra, grau de sujidade e localização da pedra. Este método pode ser efetuado com o auxílio de escova de nylon, onde a pressão da água não seja suficiente para a limpeza da pedra. Os elementos que se encontrarem soltos devem ser colados posteriormente (Fojo, 2006).

As águas sujas da limpeza não devem escorrer pelo edifício abaixo, pois irão contaminar a pedra com os micro-organismos. Por isso a solução deverá prever o seu encaminhamento direto para reservatórios. Em intervenções anteriormente realizadas no Mosteiro optou-se por colocar um funil ligado a um tubo nas gárgulas para a recolha das águas sujas, encaminhando essas águas para um tanque que é despejado periodicamente (Coelho, 2010).

5.2.4. Abertura de Juntas

A abertura de juntas consiste na remoção de argamassas de fraca qualidade, que possam permitir a infiltração de água. As juntas a limpar/remover são as degradadas, fissuradas, fraturadas, com argamassa não adequada e as obstruídas com musgos e plantas infestantes. Ainda se devem abrir juntas entre elementos pétreos que se encontrem desligados como é o exemplo de flores-de-lis.

Esta tarefa é efetuada manualmente com escopros de diferentes tamanhos e macetas ou mecanicamente com recurso a micro martelos pneumáticos para uma maior eficácia do trabalho. Em geral as juntas devem ser abertas até cerca de 5 cm de profundidade.

A seguir à abertura de juntas deve proceder-se à sua limpeza através de pás, vassouras e ar comprimido, para que a nova argamassa possa aderir à pedra da melhor maneira (Fojo, 2006).

5.2.5. Fechamento da Juntas

Na sequência da abertura das juntas segue o seu fechamento. Em caso de condições atmosféricas adversas como chuva é importante o rápido fechamento da junta, pois a infiltração de água na cobertura para o interior pode ser prejudicial.

A argamassa da junta deverá ficar ligeiramente rebaixada relativamente à pedra envolvente. Assim ficará mais compacta e conseqüentemente mais durável. Só nos casos de maior acumulação de água é aconselhável deixar a junta à face (Ferreira, 2004).

A nova argamassa não deverá ser de cimento, é recomendada a utilização de materiais compatíveis a estudar, com recurso a cal e as areias siliciosas. A sua aplicação é feita por meio de seringas de tamanho adequado à abertura da junta com o intuito do material penetrar o mais possível nas juntas.

No caso de juntas profundas e finas deve-se utilizar uma argamassa de cal fluida no fundo até cerca de 3 cm da superfície e a parte de cima cheia com a argamassa de acabamento. Para juntas onde se preveja uma fenda ou uma fissura profunda é aconselhável o uso inicial de uma argamassa mais viscosa, correndo-se no entanto o risco de se perder muita argamassa fluida.

A consolidação pode ser feita com produtos orgânicos ou inorgânicos, que devem apresentar: penetrabilidade, permeabilidade, durabilidade e colocação fácil. No final devem apresentar uma superfície resistente a futuras agressões e preservar a aparência da pedra em redor.

O silicone, resinas epóxicas, acrílicas, de poliuretano e de poliéster são exemplos de produtos orgânicos. Estes são de menor durabilidade, maior elasticidade e mais suscetíveis à luz solar que os inorgânicos.

Os produtos inorgânicos são semelhantes às rochas, sendo de maior duração, menor elasticidade, resistentes à luz solar, menos elásticos e mais frágeis, ao contrário dos produtos orgânicos. Contudo aconselha-se ensaios experimentais de consolidação com diferentes produtos e para diferentes singularidades das aberturas de junta. Qualquer que seja o material de enchimento deve ser preparado e colocado de acordo com as normas do fabricante.

Para elementos de acabamento desprendidos deve-se colocar chumbo batido com um escopro no interior das juntas. Assim vai absorver em muito as movimentações. No final fechar as juntas com argamassa (Cardoso, 2008).

5.2.6. Colagens

A colagem de elementos partidos é a melhor medida de reparação, contudo há que ter em conta uma boa limpeza das superfícies, o desengorduramento da superfície com acetona e as características do ligante.

Para assegurar um bom nivelamento das peças no período de colagem pode-se recorrer a fita-cola de pintor, cunhas e pesos. O ligante mais adequado é a cola de canteiro à base de resina epóxida em que se mistura com endurecedor. A quantidade deste é tanto maior quanto mais depressa se deseja o endurecimento da cola e mais fria estiver a pedra. No ato da colagem ambas as partes devem permanecer estáticas e com ligeira pressão uma contra a outra. Os excessos de cola deverão ser removidos com uma espátula quando começa o endurecimento.

As uniões com gatos metálicos estão a cair em desuso pois existem atualmente resinas epóxidas ou resinas de poliéster que apresentam uma elevada resistência tanto a esforços como aos raios ultra violeta, além disso com o passar do tempo as peças metálicas estão sujeitas a oxidação, originando problemas de degradação na pedra. Contudo pontualmente esta solução pode ser utilizada quando a resistência das colas não for suficiente, protegendo as peças metálicas da corrosão.

O chumbo líquido pode ser utilizado para estabilizar as pedras de maior dimensão que se tenham deslocado do local. Assim evita-se a remoção da pedra e a sua recolocação (Ferreira, 2004).

5.2.7. Reintegração

A reintegração é utilizada no tratamento de lacunas, como enchimento de pequenos volumes e estucagem derivados de alvéolos, destacamento em placas, fraturas, fissuras e lascagem, permitindo recuperar os elementos deteriorados com a reconstituição das argamassas sendo as de cal hidráulica as mais adequadas, havendo outras utilizadas como argamassas metálicas, argamassas de poliéster, resinas epóxicas e acrílicas. Qualquer uma destas resinas deve apresentar boas características de aderência, boa trabalhabilidade, boa impermeabilização, reduzida retração, inexistência de sais solúveis, boa resistência aos agentes atmosféricos exteriores e características de porometria, módulos de elasticidade e dilatação idênticas às características da pedra envolvente. Contudo a reintegração tem os seus prós e contras, que dependendo da argamassa usada pode provocar ou acelerar o processo de deterioração da pedra. Quando comparada a reintegração com a substituição dos elementos, a segunda requer mais meios e mais mão-de-obra mas fica um trabalho mais “original”, pois a colocação de argamassa na pedra torna se heterogéneo.

Em reintegrações executa-se uma camada de sacrifício com argamassa. O nome de camada de sacrifício surge no sentido em que é esta camada que vai estar sujeita às agressões externas como a chuva e o vento e conseqüentemente originaram ações internas como sais solúveis, incidindo na superfície desta camada.

Em primeiro lugar o calcário tem de ser saneado, ou seja, retirar todo o material solto resultante da desintegração granular. A superfície deve ficar rugosa ou picada para receber a argamassa com maior aderência. Na colocação da argamassa deve colocar-se uma rede com espigões em fibra de vidro e arame em inox, para poder sustentar a argamassa. Se a espessura for pouca basta apenas a rede ser segura com agrafos em inox ou/e cola de pedra. Se a espessura for elevada faz-se uma malha mais apertada e com espigões de 4 a 6 mm nas duas direções. Devem-se fazer umas cofragens guias nos cantos.

O acabamento e a forma de colocação é idêntica ao fechamento de juntas. É utilizada uma espátula ou colher de pedreiro, compactando a argamassa, afagando-a e nas juntas rebaixado entre 1mm a 2mm. No final, antes da argamassa secar a pedra envolvente é limpa com uma esponja. A argamassa deve levar um pigmento para ficar o mais possível à cor da pedra envolvente e levar umas juntas fingidas para imitar a estereotomia dos blocos.

A utilização de consolidantes, apesar de antigamente ser uma prática comum, tem se ultimamente observado resultados pouco satisfatórios na pedra. As características dos consolidantes e do material constituinte da pedra são poucos compatíveis, nomeadamente a reação dos sais solúveis do calcário com o consolidante (Cardoso, 2008).

5.2.8. Desmonte/Substituição de elementos pétreos

Inerente à substituição está o desmonte dos elementos antigos. Este é um trabalho delicado uma vez que se trata muitas vezes de pedras de elevada dimensão e peso conseqüentemente (Soares, 2001).

A substituição é aplicada aquando depois de uma análise da pedra, para isso é preciso remover todo pó e escamas da degradação até chegar ao núcleo de boa qualidade e ver se a instabilidade está em causa. No desmonte de alguns elementos calcários interligados, como os arcobotantes deve ser evitado o desmoronamento do conjunto, para isso a solução passará por amarrar os elementos uns aos outros com uma cinta e o conjunto global se possível a uma estrutura suplementar. Isto aplica-se não só à remoção completa do conjunto assim como parcialmente. No geral os assentamentos das peças inicia-se em sentido contrário ao desmonte (Cardoso, 2008).

5.2.9. Tratamento Hidrofugante

O tratamento hidrofugante deve ser feito no final de todos os tratamentos de conservação e restauro, assim como uma repetição da aplicação de biocida.

Os hidrófugos têm a função de impermeabilização da superfície à penetração de água ou diminuir a capacidade à absorção de água pela superfície da pedra. Sem água na rede capilar ou nas juntas, a cristalização e dissolução dos minerais é reduzida e assim previne a desagregação e outras patologias como a colonização biológica e as placas (Pinto, 1993). A par das argamassas tem de se garantir a preservação da pedra onde é colocado o produto

hidrofugante, devendo ser resistente à radiação ultravioleta proveniente do sol, ser incolor e deixar a pedra transpirar. A sua aplicação pode ser feita por aspersão, spray ou a trincha sempre por 2 camadas de aplicação no mínimo. As superfícies da pedra não devem estar sujas nem húmidas (Fojo, 2006).

5.3. Resumo de Medidas de Conservação

Neste capítulo sugerem-se algumas medidas de intervenção como a prevenção, reparação ou manutenção, sugeridas de acordo com a examinação das patologias existentes, as causas, os ensaios realizados, as características dos materiais e o edifício em si. Estas medidas podem ir desde uma simples limpeza a complexas ações de reabilitação.

Realizou-se um quadro resumo referindo a periodicidade, produtos e matérias a usar e equipamentos necessários para cada tipo de intervenção descritas em cima, desde a aplicação de herbicida ao tratamento hidrofugante.

Ação de inspeção a realizar	Periodicidade	Produtos e materiais (Ex.)	Equipamentos	Executante
Limpeza básica	De 3 em 3 meses	Água	Máquina jato de Água Vassouras Escovas de nylon	Funcionário do Mosteiro
Tratamento hidrofugante	Anual	Compostos fenólicos Água destilada Composto de Organosiloxanos-oligoméricos	Aspersor Balde	Funcionário do Mosteiro
Herbicida	Anual	Glifosato Água destilada	Aspersor ou pulverizador	Funcionário do Mosteiro
Biocida	Anual	Compostos fenólicos Água destilada	Aspersor ou pulverizador	Funcionário do Mosteiro

Ação de inspeção a realizar	Periodicidade	Produtos e materiais (Ex.)	Equipamentos	Executante
Fechamento de juntas	De 2 em 2 anos Ou Sempre que necessário	Cal hidráulica Pigmento Areia Carbonato de cálcio Água	Misturadora Espátula Colher de pedreiro Borrifador Balde	Empresa especializada a contratar
Colagens	De 2 em 2 anos Ou Sempre que necessário	Cola epóxida Endurecedor Cola canteiro (Koll)	Cintas e esticadores Grampos Espátula Cunhas	Empresa especializada a contratar
Reintegração	De 2 em 2 anos Ou Sempre que necessário	Cal hidráulica Pigmento Areia Carbonato de cálcio Água	Misturadora Espátula Colher de pedreiro Borrifador Balde	Empresa especializada a contratar
Abertura de juntas	De 5 em 5 anos Ou Sempre que necessário	-	Compressor Micro martelo pneumático Escopros Vassouras Maceta	Empresa especializada a contratar
Desmonte/ substituição pedras	De 5 em 5 anos Ou Sempre que necessário	Cola epóxida Endurecedor Cola canteiro Cal hidráulica Pigmento	Diferencial de correntes Cintas e esticadores Grampos Espátula Cunhas	Empresa especializada a contratar
Tratamento do ferro	Aquando de uma intervenção mais profunda	Conversor de ferrugem Brita bago de arroz Resina epóxida líquida Cal hidráulica	Pincel ou trincha Ar comprimido Escovas metálicas Alicate	Empresa especializada a contratar

Tabela 6 - Lista ações de manutenção e correspondente proposta de calendarização

6. Conclusões e trabalhos futuros

6.1. Principais conclusões

A prática da conservação em Portugal, tem-se vindo a valorizar e aperfeiçoar. Há alguns anos atrás não existia tanto a preocupação da recolha de informação sobre a utilização adequada das técnicas e produtos a utilizar. Contudo ultimamente têm-se feito cada vez mais estudos de investigação não só no a nível internacional como nacional.

A consciencialização para a conservação por parte das pessoas ligadas a monumentos tem evoluído, principalmente nos funcionários responsáveis pela manutenção. Gestos simples como (a título de exemplo) o arranque de uma planta infestante que causa problemas com as suas raízes a nível das juntas das pedras ou mesmo a rede porosa da pedra, fazem toda a diferença.

O emblemático Mosteiro de Santa Maria da Vitória tem vindo a sofrer graves patologias na sua pedra. Como já referido anteriormente a pedra mais afetada pela degradação é a da campanha de restauros do século XIX.

No exterior do edificio as crostas negras e a pátina abrangem a maioria da superfície da pedra exterior na Capela do Fundador. A desagregação granular e escamação são as patologias que se seguem e que por sua vez são mais gravosas que as primeiras. As crostas e pátina através da sua camada que envolve a superfície exterior da pedra, ajuda de certa forma à proteção contra os agentes degradadores.

No âmbito das últimas campanhas de reabilitação e restauro, após a limpeza do lajedo na nave lateral sul que se encontrava coberto por um filme biológico, foi encontrada uma película castanha infiltrada na pedra. Talvez se trate de uma camada de proteção dada em intervenções anteriores, já tendo sido localizadas situações semelhantes noutros pontos do Mosteiro.

No varrimento laser conclui-se que os pilares centrais estão a abrir. A diferença entre a primeira medição acima do nível do chão (3,7m) e a última (16,45m) foram cerca de 10cm e a abertura das juntas por cima das janelas do octógono são a prova dos deslocamentos e a razão para a implementação da estrutura metálica que envolve a cobertura do octógono da CF. Através de espigões e 2 tirantes metálicos e uma cintagem a consolidar a parte superior do octógono, minimizaram-se as suas deformações e movimentos. Ainda assim são bem visíveis as aberturas de juntas na parte superior do octógono. Existem pedras bastante desligadas e juntas que já foram fechadas. Na sequência das aberturas das juntas a cobertura também é afetada tendo sido fechadas grandes espaçamentos, levando em alguns casos à colocação de gatos metálicos.

É possível que com a destruição do coruchéu da lanterna derivada ao terramoto de 1755 e a posterior execução da cobertura mais baixa tenha acelerado a abertura do octógono. O coruchéu da lanterna devido à sua altura e forma exercia essencialmente uma força de componente vertical ao invés da baixa cobertura atual que provoca grandes esforços horizontais.

Dos ensaios realizados observa-se que os resultados dos ultrassons e esclerómetro andam em sintonia. O alçado Oeste é o que revela piores resultados de características da pedra e o alçado este onde a pedra está com melhores propriedades, isto para o exterior. O interior é o que melhores resultados apresenta e as degradações são mínimas com a exceção da desagregação de alguns túmulos.

Na termografia o mais relevante foram as pedras supostamente mais recentes que se distinguem claramente das outras por serem apenas placas de revestimento com 3 ou 4 cm de espessura, incluindo toda a primeira fiada do exterior da Capela.

O alçado oeste talvez por ser o menos abrigado e supostamente por estar mais exposto ao tráfego do IC2, é o que piores características na pedra apresenta. Neste sentido a construção da autoestrada A19 (também chamada de variante da Batalha), cujo objetivo foi desviar o excesso de trânsito do IC2, para diminuir a poluição e vibração adjacente ao Mosteiro da Batalha, não está a ter o impacto desejado.

6.2. Proposta de trabalhos futuros

No futuro podem-se desenvolver trabalhos de forma a aprofundar e acompanhar a inspeção do Mosteiro. A seguir sugerem-se algumas propostas de desenvolvimentos futuros:

- Dar sequência à realização da campanha de ensaios ao longo dos anos para avaliar a evolução das propriedades dos materiais;
- Realizar novas campanhas utilizando outras técnicas não destrutivas;
- Instalação de um sistema de monitorização, que permita o acompanhamento dos deslocamentos estruturais e das fendas;
- Alargamento destas campanhas ao Mosteiro.

7. Bibliografia

A. Aydin, A. B., 2005. The schmidt hammer in rock material characterization. *Engineering geology*, Agosto.

A. Mockovciaková, B. P., 2003. Study of the relation between the static and dynamic moduli of rocks. pp. 37 - 39.

Aires-Barros, L., 2001. *As rochas dos monumentos portugueses - Tipologias e patologias Vol.II*. Lisboa: Instituto Português do Património Arquitectónico.

Albuquerque, L. D. S. M. D., 1854. *Memoria inedita ácerca do edificio monumental da Batalha*. Leiria: Typographia Leiriense.

Andrade, S. G. d., 1989. *Mosteiro de Santa Maria da Vitória*. Lisboa: Instituto Português do Património Cultural.

AOF - Augusto de Oliveira Ferreira & Co, Lda, 2014. *1ª Fase da Conservação e Restauro de Elementos Pétreos de Revestimento - Terraços Superiores e Coberturas*, Batalha: Mosteiro da Batalha - AOF.

AOF - Augusto de Oliveira Ferreira & Co, Lda, 2014. *2ª Fase da Conservação e Restauro de Elementos Pétreos de Revestimento - Terraços Superiores e Coberturas*, Batalha: Mosteiro da Batalha - AOF.

Begonha, A. J. S. D., 2001. *Meteorização do Granito e Deterioração da Pedra em Monumentos e Edifícios da Cidade do Porto*. Porto: FEUP.

Branco, F. A. & Azevedo, J., 1990. *Mosteiro da Batalha - Inspeção e Avaliação Estrutural*. Lisboa: Centro de Mecânica e Engenharia Estruturais da Universidade Técnica de Lisboa.

Bromblet, P., Vergès-Belmin, V. & Simon, S., 2012. *Ultrasonic velocity measurements for the long-term monitoring of the degradation of marble columns in the Cloister of the Church of Saint-Trophime in Arles (France)*. New York: Columbia University.

Cardoso, F. S., 2008. *Estudo da deterioração da pedra na Igreja de Paço de Sousa - Proposta de tratamento*. Porto: Faculdade do Porto - Universidade do Porto.

Clix.pt, 2015. *Viajar.clix.pt*. [Online] Available at: http://viajar.clix.pt/foto.php?id=1936&lg=pt&w=mosteiro_da_batalha [Acedido em 9 7 2014].

Coelho, R. M. S., 2010. *Metodologia Geral Para o Restauro de Construções Históricas*. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Controls, s.d. *NDT / Protection and repair of concrete structures*. s.l.:s.n.

Costa, C. E. F. d., 2009. *Obras de Conservação e Restauro de Edifícios Antigos: Estudos Sobre a Conservação da Pedra do Convento de S. Francisco de Mesão Frio*. Trás os montes e Alto Douro: Universidade de Trás-os Mntes e Alto Douro - Escola de Ciências e Tecnologia.

cruz, A. B. d., 2012. *Detalhamento da geologia das unidades carbonáticas do grupo bambuí na região de alvorada do norte, Goiás*, Brasília: Universidade de Brasília - Instituto de Geociências.

Dias, P., 1994. *A Arquitetura Gótica Portuguesa*. s.l.:Editorial Estampa.

Fattore Vitale & Co., 2008. *Tramex*. [Online] Available at: <http://www.fattore.fi/kosteus/rakennekosteus.html> [Acedido em 8 7 2015].

Ferreira, F. O., 2004. *Caracterização da acção da água em edifícios de pedra*. Guimarães: Universidade do minho.

Ferreira, J. M. L. C. D. M., 2011. *Degradação da pedra provocada por sais em edifícios antigos*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Fojo, A. C. d. O. T., 2006. *Estudo da aplicação de consolidantes e hidrófugos em pedras graníticas da Igreja Matriz de Caminha*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Freitas, V. P., 2012. *Manual de Apoio ao Projecto de Reabilitação de Edifícios Antigos*. Porto: Ordem dos Engenheiros da Região Norte.

Grinzato, E., 2012. *IR Thermography Applied to the Cultural Heritage Conservation. 18th World Conference on Nondestructive Testing*, Abril.

Guimarães, M. I. M., 2009. *Caracterização de paredes de Alvenaria de pedra por técnica sónica*. Porto: Faculdade Engenharia da Universidade do Porto.

International Society for Rock Mechanics, 1981. Suggested Method for Determination of the Schmidt Rebound Hardness. Em: *Suggested Methods for Determining*. s.l.:s.n., pp. 95 - 96.

Lisci, M., Monte, M. & Pacini, E., 2003. Lichens and higher plants on stone: a review. *Internacional Biodeterioration & Biodegradation*.

Machado, B. C. C. A., 2012. *Caracterização das Litologias e Patologias da Sé de Lamego. Um estudo sobre alteração em monumentos graníticos..* Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Mateus, L. M. C., 2012. *Contributos para o projeto de conservação, restauro e reabilitação*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa - Faculdade de Arquitectura.

Mendonça, P. J. F. d. A. U. d., 2005. *Habitar Sob Uma Segunda Pele*. Guimarães(Minho): Universidade do Minho - Departamento de Engenharia Civil.

Moreira, A. S. P., 2013. *Estudo da pedra aplicada na Igreja da Senhora da Conceição*. Porto: Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Mosteiro da Batalha, s.d. *Mosteiro da Batalha*. [Online] Available at: <http://www.mosteirobatalha.pt/pt/index.php?s=white&pid=226> [Acedido em julho 2015].

Najibi, A. R., Ghafoori, M., Lashkaripour, G. R. & Asef, M. R., 2014. Empirical relations between strength and static and dynamic elastic properties of Asmari and Sarvak limestones, two main oil reservoirs in Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 12.

Neto, M. J. B., 1997. *James Murphy e o restauro do Mosteiro de Santa Maria da Vitória no séc. XIX*. Lisboa: Editorial Estampa.

Oliveira, R. A. F. d., 2003. *Análise de Práticas de Conservação e Reabilitação de Edifícios com Valor Patrimonial*. Porto: FEUP (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto).

Pérez, Y. A. G., 2009. *Estudo da Aplicabilidade do Ultra-Som na Avaliação das Propriedades do Concreto Asfáltico*. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina.

Pinto, A. P. P. T. F., 1993. *Conservação de pedras graníticas. Estudo da acção de hidrófugos*. Lisboa: Instituto Superior técnico - Lisboa.

S. Kahraman, U. U. M. S. D., 2007. A quality classification of buildings stones from P-wave velocity and its application to stone cutting with gang saws. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, pp. 427 - 430 Volume 107.

Sampaio, C. M. C. P., 2010. *Caracterização do Betão Através de Técnicas Não-Destrutivas*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Silva, D. D. S. D., 2012. *Diagnóstico de patologias em fachadas utilizando termografia*. Porto: Faculdade de Engenharia Universidade do Porto.

Soares, C. M., 2001. *O restauro do Mosteiro da Batalha*. s.l.:magno edições - Coleção História e Arte.

Sousa, F. L. d., 1767. *Primeira parte da história de S. Domingos*. Lisboa: Oficina de Antonio Rodrigues Galhardo.

Spínola, S. V. P. A. d. C., 2015. *Caracterização Térmica de Pedras Naturais*. Aveiro: Universidade de Aveiro.

Vasconcelos, G. d. F. M. d., 2005. *Experimental investigations on the mechanics of stone masonry: Characterization of granites and behavior of ancient masonry shear walls*. Minho: Universidade do Minho - Escola de Engenharia.

Wiecek, B. & Poksinska, M., 2006. Passive and active thermography application for Architectural Monuments.