MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES E COMUNICAÇÕES

Laboratório Nacional de Engenharia Civil

DEPARTAMENTO DE MATERIAIS Núcleo de Materiais Metálicos

Procº 0204/11/16163

CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSAS DO PERÍODO ROMANO E ÁRABE DA VILA DE MÉRTOLA

RELATÓRIO ??/06- NMM

Lisboa, Julho de 2006

I&D MATERIAIS

CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSAS DO PERÍODO ROMANO E ÁRABE DA VILA DE MÉRTOLA

RESUMO

Neste trabalho foram analisadas argamassas provenientes da Vila de Mértola de dois períodos históricos diferentes, nomeadamente do Período Romano (Torre do Rio) e Período Árabe e Baixa Idade Média (Igreja Matriz).

A metodologia de caracterização empregue recorreu a diversas técnicas, nomeadamente difracção de raios X (DRX), análise termogravimétrica (ATG), microscopia óptica (MO), microscopia electrónica de varrimento acoplada a espectroscopia de raios X por dispersão de energias (MEV-EDS), espectrofotometria de absorção atómica (EAA), potenciometria e gravimetria.

Com este estudo foi possível determinar as composições e os traços característicos das várias argamassas, a proveniência dos materiais utilizados na sua formulação e identificar produtos de alteração. Esta informação, de grande valor documental, poderá servir de suporte técnico a futuras intervenções de conservação e restauro nos monumentos estudados.

MORTARS CHARACTERIZATION OF ROMAN AND ISLAMIC PERIODS FROM MÉRTOLA'S TOWN

ABSTRACT

In this work were analysed mortars from Mertola's town of two historic periods, namely Roman Period (Torre do Rio) and Islamic Period (Igreja Matriz).

The methodology of characterization has involved different physico-chemical techniques, such as X-ray difractometry (XRD), thermogravimetric analysis (TGA/DTG), optical microscopy (OM), scanning electron microscopy with an energy dispersive X-ray analysis system (SEM-EDS), atomic absorption spectrophotometry (AAS), potenciometry and gravimetry.

With this study it was possible to obtain the composition, the aggregate-binder ratio of each mortar, to identify alteration products and to determine the origin of the used constituents in its manufacturing. This information could be used as technical support in future interventions of conservation and repair in the studied monuments.

CARACTÉRISATION DE MORTIERS DE LES PÉRIODE ROMAINE ET ARABE DE LA VILLE DE MÉRTOLA

RESUMÉ

Dans ce travail on a analysé mortiers provenant de la ville de Mértola de deux périodes historiques, nommément du Période Romaine (Torre do Rio) et du Période Arabe (Igreja Matriz).

La méthodologie de caractérisation appliquée à employé différents techniques, nommément la diffractométrie des rayons X (DRX), l'analyse thermogravimétrique (ATG/DTG), la microscopie optique (MO), la microscopie électronique à balayage (MEB) avec la microanalyse des rayons X par dispersion d'énergie (EDS), la spectrophotométrie d'absorption atomique (AAS), la potentiomètrie et la gravimétrie.

Avec cet étude était possible l'obtention des donnés sur la composition des mortiers, le rapport granulat/liant, l'origine des matériaux utilisés dans la confection de ces mortiers et l'identification des produits d'altération. Cette information, de grande valeur technoscientifique, peut servir de support technique à des interventions futures de conservation et restauration dans ces monuments.

CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSAS DO PERÍODO ROMANO E ÁRABE DA VILA DE MÉRTOLA

ÍNDICE DO TEXTO

	Pág.
PREÂMBULO	1
1 – INTRODUÇÃO	1
2 – CASOS DE ESTUDO - AMOSTRAS	2
2.1 - Torre do Rio	3
2.2 - Igreja Matriz de Mértola	4
3 – METODOLOGIA DE CARACTERIZAÇÃO	9
4 – RESULTADOS	11
4.1 – Observação visual das amostras	11
4.1.1 – Torre do Rio	11
4.1.2 – Igreja Matriz	12
4.2 – Caracterização mineralógica por difractometria de raios X (DRX)	14
4.2.1 – Torre do Rio	14
4.2.2 – Igreja Matriz	16
4.3 – Análise térmica (ATG/DTG)	20
4.3.1 – Torre do Rio	20
4.3.2 – Igreja Matriz	22
4.4 – Resíduo Insolúvel e Granulometria	25
4.4.1 – Torre do Rio	26
4.4.2 – Igreja Matriz	29
4.5 – Análise Química	36
4.5.1 – Torre do Rio	36
4.5.2 – Igreja Matriz	37

4.6 – Caracterização microestrutural	39
4.6.1 – Microscopia Óptica	39
4.6.1.1 – Torre do Rio	39
4.6.2 – Microscopia electrónica de varrimento	42
4.6.2.1 – Torre do Rio	42
4.6.2.2 – Igreja Matriz	44
4.7 – Composição das argamassas	49
4.7.1 – Torre do Rio	49
4.7.2 – Igreja Matriz	51
5 – APRECIAÇÃO GERAL DOS RESULTADOS	52
BIBLIOGRAFIA	54
ANEXO	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.
Figura 1 – a) Foto panorâmica da Vila de Mértola, com a localização dos monumentos que foram objecto de
estudo; b) Pormenor da zona evidenciada na imagem a) 1
Figura 2 - Planta de Mértola com o centro histórico assinalado a linha vermelha e com indicação dos
monumentos estudados
Figura 3 – a) Vista geral da Torre do Rio; b) Pormenor das torres de onde foram recolhidas as amostras 3
Figura 4 - a) Aspecto do interior das torres da Torre do Rio sendo visível a diversidade de materiais
empregues; b) Pormenor da extracção da argamassa MT1, retirada das juntas de alvenaria de blocos de
mármore na torre 1
Figura 5 – Pormenor da extracção da argamassa MT2 na torre 3, retirada das juntas de alvenaria de xisto 4
Figura 6 – a) Fachada principal a Sul, da Igreja Matriz de Mértola, que apresenta uma torre sineira prismática,
rasgada por ventanas na parte superior, terminando em pináculo cónico. Portal de vão rectangular,
enquadrado por molduras com baixos relevos e colunelos e encimado por óculo moldurado; b) Interior da

Figura 12 – Aspecto das amostras da Igreja Matriz antes de desagregadas: a) MT3; b) MT4.12

Figura 18 – Difractograma da argamassa MT3 - EXT (Fracção global – azul; Fracção fina – vermelho). Notação utilizada: Q – Quartzo, C – Calcite, F – Feldspatos, M – Mica (moscovite), Cl – Clorite, Af – Anfíbolas.

Figura 19 – Difractograma da argamassa MT4 (Fracção global – azul; Fracção fina – vermelho). Notação utilizada: G – Gesso, Q – Quartzo, C – Calcite, F – Feldspatos, M – Mica (moscovite), Cl – Clorite
Figura 20 – Curvas ATG/DTG da amostra MT120
Figura 21 – Curvas ATG/DTG da amostra MT220
Figura 22 – Curvas ATG/DTG da amostra MT3-INT22
Figura 23 – Curvas ATG/DTG da amostra MT3-IM23
Figura 24 – Curvas ATG/DTG da amostra MT3-EXT23
Figura 25 – Curvas ATG/DTG da amostra MT424
Figura 28 – Distribuição granulométrica das amostras da Torre do Rio27
Figura 29 – Aspectos gerais das fracções de 0,630 mm à mesma ampliação: a) Amostra MT1; b) Amostra MT2
Figura 30 – Agregados observados à lupa binocular: a) Quartzo hialino observados na amostra MT2; b) Quartzo verde e rosa observados na amostra MT1; c) Grãos rolados de quartzo leitoso observados na amostra MT1; d) Fragmentos cerâmicos observados na amostra MT1
Figura 31 – a) Fragmentos de xisto observados na amostra MT2; b) Diversas variedades de xisto observadas na amostra MT1
Figura 32 – Análise granulométrica da areia (R.I.) da amostra MT3-INT e respectiva curva granulométrica29
Figura 33 – Análise granulométrica da areia (R.I.) da amostra MT3-IM e respectiva curva granulométrica30
Figura 34 – Análise granulométrica da areia (R.I.) da amostra MT3-EXT e respectiva curva granulométrica30
Figura 35 – Análise granulométrica da areia (R.I.) da argamassa MT4 e respectiva curva granulométrica30
Figura 36 – Distribuição granulométrica dos agregados da Igreja Matriz: a) Amostra MT3; b) Amostra MT431
Figura 37 – Aspecto do resíduo insolúvel do ataque com HCl da amostra MT4 observada à lupa binocular: a) Fragmentos de gesso na fracção de 1,25 mm; b) Fragmentos de gesso partidos com a pinça na fracção de 0,630 mm
Figura 38– Aspecto do resíduo insolúvel do ataque com HNO ₃ da amostra MT4 observado à lupa binocular: a) Fragmentos de gesso com partículas de pó de tijolo agregadas (indicado pela seta); b) Sedimentos que ficaram agarrados ao papel de filtro
Figura 39 – Aspectos gerais das fracções de 0,630 mm à mesma ampliação: a) Amostra MT3-INT; b) Amostra MT3-IM

Figura 40 – Aspecto geral da fracção de 0,630 mm da amostra MT3-EXT
Figura 41 – Variedades de quartzo observadas à lupa binocular: a) Quartzo hialino observado na amostra MT3-EXT; b) Quartzo verde e fumado observado na amostra MT3-EXT
Figura 42 – a) Quartzo rosa observado na amostra MT3-EXT; b) Quartzo hialino-rosa evidenciando a fractura conchoidal característica do quartzo
Figura 44 – Minerais observados à lupa binocular na amostra MT3-EXT: a) Moscovite; b) Biotite
Figura 45 – Aspecto geral da argamassa MT1: a) ampliação 7,5x evidenciando um nódulo de cal (apontado pela seta); b) ampliação de 30x
Figura 46 – Aspecto geral da argamassa MT2: a) ampliação de 7,5x; b) ampliação de 30x. A seta assinala uma camada clara de alteração que circunscreve um grão de agregado40
Figura 47– Lâminas delgadas das amostras: a e b) Amostra MT1; c) Amostra MT2. A imagem a) mostra um fragmento cerâmico entre diversos agregados de quartzo e dois nódulos de CaO. A presença de xisto (imagem c)) é compreensível se for tida em consideração a geologia local, no entanto a presença de anfíbolas é coerente com o uso de sedimentos transportados de diversas áreas geológicas
Figura 48 – Aspectos microestruturais da pasta carbonatada: a) MT2 e espectro EDS (b); c) MT142
Figura 49 – a) Aspecto microestrutural revelador da existência de colonizações biológicas observados na amostra MT1; b) Microestrutura de uma zona onde se observaram cristais de calcite observados na amostra MT1; c) Pormenor dos cristais de calcite da imagem (b) e respectivo espectro EDS (d)43
Figura 50 – Microestrutura de um local onde se observaram cristais de aluminosilicatos de cálcio hidratados na amostra MT1 e respectivo espectro EDS43
Figura 51 – Microestrutura de um agregado de quartzo degradado observado na amostra MT2 e respectivo espectro EDS44
Figura 52 – Aspectos microestruturais da amostra MT3: 1- camada externa; 2a e 2b - camadas de aplicação da camada intermédia; 3- camada externa
Figura 53 – Aspectos microestruturais da pasta carbonatada e respectivos espectros EDS: a) MT3-INT; b) MT3-IM; c) MT3-EXT
Figura 54 – a) Observação (modo SEI) e identificação das várias camadas de caiação, contadas a partir da camada externa; b) Observação no modo compo das mesmas camadas46
Figura 56 – Aspectos microestruturais das camadas de caiação da amostra MT3 e respectivos espectros EDS: a) camada 3; b) camada 4

Figura 57 – Aspecto microestrutural da camada de pintura da amostra MT3 e respectivo espectro EDS	48
Figura 59 – Amostra MT4: a) Microestrutura de uma zona onde se encontra um fragmento de tijolo;	b)
Pormenor do fragmento de tijolo observado em (a).	49
Figura 60 – Amostra MT4: Microestrutura de outro fragmento de tijolo e respectivo espectro EDS	49
Figura 61 – Curva de calibração obtida por EAA para o cálcio	58
Figura 62 – Curva de calibração obtida por EAA para o sódio	58
Figura 63 – Curva de calibração obtida por EAA para o potássio	59
Figura 64 – Curva de calibração obtida por EAA para o magnésio	59
Figura 65 – Curva de calibração do método potenciométrico.	59

ÍNDICE DE QUADROS

Pág.
Quadro 1 – Registo do local e da época (provável) das amostras de Mértola em estudo 9
Quadro 2 – Descrição dos principais aspectos observados à vista desarmada nas amostras da Torre do Rio e Igreja Matriz de Mértola14
Quadro 3 – Composição mineralógica qualitativa das argamassas das amostras da Torre do Rio16
Quadro 4 – Composição mineralógica qualitativa das amostras da Igreja Matriz19
Quadro 5 – Perdas de massa (em %) das amostras de argamassa da Torre do Rio21
Quadro 6 — Teor de CaCO ₃ obtido através de ATG nas argamassas da Torre do Rio21
Quadro 7– Perdas de massa (em %) das amostras de argamassa
Quadro 8 – Perdas de massa (em %) das amostras de argamassa24
Quadro 9 – Teores de CaCO ₃ (calcite), CaMg(CO ₃) ₂ , (dolomite) e CaSO ₄ ·2H ₂ O (gesso) obtidos por ATG nas argamassas da Igreja Matriz (em % mássica)
Quadro 10 – Descrição mineralógica dos agregados das amostras da Torre do Rio e da Igreja Matriz de Mértola por observação à lupa binocular
Quadro 11 – Composição química (em % mássica) da fracção solúvel das amostras da Torre do Rio36
Quadro 12 – Teores de CaCO ₃ (em %) obtidos por ATG e EAA

Quadro 13 – Análise química da fracção solúvel com os respectivos desvios padrão das argamassas	37
Quadro 14 – Valores dos teores de CaCO3 obtidos a partir de ATG e EAA	38
Quadro 15 – Composição simplificada das argamassas da Torre do Rio (% em massa)	50
Quadro 16 – Traços reconstituídos (em massa) das amostras da Torre do Rio	50
Quadro 17 – Composições simplificadas das argamassas da Igreja Matriz (% em massa)	51
Quadro 18 – Traços reconstituídos (em massa) das argamassas da Igreja Matriz	51

CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSAS DO PERÍODO ROMANO E ÁRABE DA VILA DE MÉRTOLA

PREÂMBULO

No presente relatório apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos no âmbito de um trabalho de estágio, realizado no Núcleo de Materiais Metálicos do Departamento de Materiais e com a colaboração do Departamento de Química da Universidade de Évora (U.E.), duma aluna da Licenciatura em Química da U.E., e que se inseriu no estudo "*Desenvolvimento de métodos de caracterização química e microestrutural e de diagnóstico da patologia dos materiais*", Proc^o 0204/11/16163, incluído no projecto de investigação programada do LNEC para 2005-2008 "*Qualidade dos materiais*".

1 – INTRODUÇÃO

Neste trabalho apresentam-se e discutem-se os resultados da caracterização físico-química de amostras de argamassa dos períodos romano e árabe, respectivamente provenientes da Torre do Rio e da Igreja Matriz, ambas da Vila de Mértola.

A Myrtilis romana, Mirtolah árabe e Mértola portuguesa (figura 1), debruçada sobre o rio Guadiana foi um importante entreposto comercial fenício, cartaginês, romano e árabe, devido à facilidade de navegação, rio acima, a partir da foz. Terra de muito remota origem, esteve sempre intimamente ligada à via fluvial que lhe assegurava as comunicações na região em que se localiza.



Figura 1 – a) Foto panorâmica da Vila de Mértola, com a localização dos monumentos que foram objecto de estudo; b) Pormenor da zona evidenciada na imagem a).

A situação de Mértola, num ponto-chave das comunicações terrestres e fluviais com o sul da península e como baluarte de defesa dessas vias, conferiu-lhe uma enorme importância ao longo de séculos. Se os muitos monumentos pré-históricos da região de Mértola provam uma densa ocupação humana desta região, o cais romano, as moedas romanas cunhadas em Myrtilis e muitos outros vestígios da mesma época, esclarecem sobre o seu prestígio e influência durante o início da nossa era. Integrada numa vasta zona continental situada a norte e estendida para nascente e poente, cabia a Mértola drenar para sul as mercadorias trazidas através das várias vias terrestres. Metais, certamente na época mais antiga, depois também cereais, nomeadamente ainda na época cristã e até muito recentemente. Mértola é pois uma povoação que, atravessando o tempo, guarda dentro de si grandes memórias do passado [IPPAR; Carlos Ribeiro].

2 – CASOS DE ESTUDO - AMOSTRAS

Da Vila de Mértola foram estudadas amostras de dois monumentos de períodos históricos diferentes, a Torre do Rio do Período Romano e a Igreja Matriz do Período Árabe e Baixa Idade Média – figura 2.



Figura 2 – Planta de Mértola com o centro histórico assinalado a linha vermelha e com indicação dos monumentos estudados.

2.1 - Torre do Rio

A Torre do Rio é uma estrutura arcada que parece ter correspondido não a uma ponte, como foi interpretado em tempos, mas a um cais torreado que se integraria no conjunto de obras defensivas da cidade amuralhada datada presumivelmente do século V-VI (figura 3). Esta enorme e sólida estrutura tem um comprimento total de 45 m e é constituída por seis arcos e seis torres. Foi utilizada durante o Período Romano para proteger a aquisição da água indispensável para o consumo da população; para fiscalizar e impedir, quando fosse preciso, a passagem de barcos a montante do rio; para vigiar e repelir qualquer invasão tentada pelo rio ou pela margem oposta; para o embarque, desembarque e despacho dos géneros do comércio em trânsito fluvial; para auxiliar a saída de forças militares [Veiga, 1880]. A estrutura é constituída por uma alvenaria de xisto e barro, embora blocos de mármore e de granito também se encontrem presentes. A elevada qualidade, tamanho e regularidade dos blocos de mármore e granito indicam que estes pertenceram a um edifício romano de grande porte (do Período Imperial) cuja localização se presume que se situaria na acrópole da cidade [Santos Silva et al, 2006].

Foram estudadas duas argamassas deste monumento, uma retirada do interior da torre 1, a mais próxima do rio, que foi designada por MT1, e a outra retirada do interior da torre 3 que foi designada por MT2 (figura 3 e quadro 1).



Figura 3 – a) Vista geral da Torre do Rio; b) Pormenor das torres de onde foram recolhidas as amostras.



Figura 4 – a) Aspecto do interior das torres da Torre do Rio sendo visível a diversidade de materiais empregues; b) Pormenor da extracção da argamassa MT1, retirada das juntas de alvenaria de blocos de mármore na torre 1.



Figura 5 – Pormenor da extracção da argamassa MT2 na torre 3, retirada das juntas de alvenaria de xisto.

2.2 - Igreja Matriz de Mértola

A Igreja Matriz de Mértola é um reaproveitamento cristão da antiga mesquita muçulmana dos séculos XII-XIII. Foi com os cavaleiros da Ordem de Santiago, em 1238, depois de sagrado para o uso do ritual cristão, que este edifício recebeu a sua primeira intervenção, que lhe alterou a sua primitiva configuração de mesquita árabe.

Hoje, a Igreja Matriz de Mértola apresenta uma temática mudéjar do século XVI. Mas, apesar disso, torna-se possível, a partir de certos elementos arquitectónicos e decorativos, reconstituir o templo mourisco.

Merece referência a estrutura quadrangular de cinco naves, com a central mais alargada, o nicho poligonal do "Mihrab" – nome dado ao nicho que integra os grandes santuários de oração muçulmanos e que tinha por finalidade indicar aos fiéis a direcção de Meca – com decoração de arcos polilobados, e as colunas de suporte da mesquita, ordenadas em fiadas de seis, que sustentavam as quatro sequências de arcos. Uma torre quadrangular, até aos finais do século XVII, foi a nota dominante nos cinco telhados de duas águas que cobriam o edifício. Actualmente, ainda subsistem quatro portas de arco ultrapassado com o seu alfiz. O seu exterior, com a frontaria coroada por ameias intercaladas por grandes coruchéus, deve-se ao reinado de D. Manuel.

Da arquitectura religiosa almóada ao gótico final alentejano de tradição mudéjar com o abobadamento do interior e marcada transformação da volumetria exterior com acrescentos estruturais (contraforte cilíndrico) e ornamentais (merlões denteados e chanfrados, pináculos cónicos), sobressai ainda nesta diversidade o portal de decoração clássica reflectindo o gosto e a marca da corrente renascentista (figura 6).



Figura 6 – a) Fachada principal a Sul, da Igreja Matriz de Mértola, que apresenta uma torre sineira prismática, rasgada por ventanas na parte superior, terminando em pináculo cónico. Portal de vão rectangular, enquadrado por molduras com baixos relevos e colunelos e encimado por óculo moldurado; b) Interior da Igreja – foto de 1947 (1-Altar colateral (Mihrab entaipado); 2-Coro alto; 3-Guarda-vento (portal renascentista); 4-Púlpito) [Cruz, 2005].

O templo religioso de composição arquitectónica de volumes escalonados e de planta composta (figura 6), cuja grande nave quadrangular se adossa a um pequeno anexo rectangular, a Norte, a forma pentagonal do Mihrab a Este e a torre sineira de planta quadrada no canto Sudeste. Possui cobertura diferenciada em telhado de duas águas sobre a Igreja e anexos (sacristia) em coruchéu sobre a torre. O interior de cinco naves de quatro tramos é coberto por abóbadas de cruzaria de ogivas sobre colunas de fuste e mísulas adossadas às paredes, sendo o espaço consagrado ao altar-mor coberto por abóbada estrelada. Um nicho em arco redondo sobre colunelos demarca o enquadramento do Mihrab de volume e forma facetada, com arcos cegos polilobados [Cruz, 2005].

A Igreja Matriz de Mértola apresenta uma expressão manuelina, resultante da transformação que sofreu em meados do século XVI. Porém conservou a estrutura do antigo edifício islâmico, datado da época almóada (século XII), bem como parte do seu Mihrab. É ainda importante referir que o edifício incorpora vestígios de construções anteriores, nomeadamente da época romana, reaproveitados como material de construção (ex: fragmentos de mármore nos fustes que suportam a abóbada).

Desde 1238 que a Igreja tem vindo a ser alvo de sucessivas modificações e recuperações. No século XVII operaram-se diversas reformas no interior da igreja, como o entaipamento do espaço do Mihrab e de portas, apeamento do coro alto de alvenaria e tijolo (que foi transferido para o alçado Sudoeste, sobre a porta principal e feito em madeira). A última intervenção, efectuada no século XX levada a cabo pela DGEMN¹ empreendeu um vasto programa de obras de recuperação do edifício resultando na consolidação do templo, colocação de um telhado novo, substituição do pavimento degradado de madeira por um de pedra e tijoleira, demolição de anexos, da capela-mor e sacristia, entaipamento de janelões seiscentistas e setecentistas, desentaipamento do mihrab (figura 7) e das três portas de arco ultrapassado com alfiz, deslocação do altar-mor para a parede Sudeste.

¹ Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais



Figura 7 – Fotos do Mihrab durante a campanha de obras realizadas pela DGEMN em finais dos anos 40 (1949): a) antes e b) após o restauro [Cruz, 2005].

O Mihrab conforme refere Cruz [Cruz, 2005] surge no cruzamento da nave central com a transversal formando um recanto poligonal de cinco panos de excepcional execução técnica, coberto por uma abóbada em quarto de esfera. Apesar de se encontrar bastante mutilado, apresenta um alçado dividido em dois andares, sendo o inferior liso e o superior decorado com arcaturas cegas. A decoração do andar superior é constituída por três arcos cegos polilobados com motivos serpentiformes que assentam em colunas adossadas ao centro de cada uma das faces, sendo rematado o nicho por uma cimalha moldurada pelo "cordão do infinito". As colunas e os arcos destacam-se do plano de fundo cerca de 22 a 28 mm. Ainda nesse trabalho é referido que no andar superior surgem apontamentos de cor e vestígios de pintura a leite de cal. Na face esquerda, uma "legenda em letra gótica" e linhas de contorno de uma figura (incompleta) foram executadas sobre uma fina camada de cal (barramento a cal com a execução da legenda e do desenho a fresco - esgrafitos), enquanto na face direita surge, uma pintura com motivos geométricos realizada directamente sobre a superfície. Em ambos os registos pictóricos são bastante acentuadas as perdas de pigmentos, dificultando a sua leitura e interpretação. A estrutura e a decoração do Mihrab, segundo os arabistas Torres Balbás e Christian Ewert, tem paralelismos com o da Mesquita de Almeria e sobretudo nos das mesquitas do Norte de África. A variedade de sobreposições e de composições, motivos geométricos e florais, que revestem o alçado do Mihrab (figura 8), reflectem a importância que esse espaço teve ao longo do tempo, bem como as múltiplas empreitadas levadas a cabo no interior da igreja.



Figura 8 – Localização dos diferentes trabalhos decorativos existentes no vão por detrás do altar-mor (aspecto geral) 1- Mihrab; 2- Vestígios de pintura mural e esgrafitos (lateral esquerda); 3- Vestígios de trabalho de massas e esgrafitos (interior do arco); 4- Vestígios de motivos geométricos esgrafitados (lateral direita); 5- Revestimento esgrafitado com flores de quatro pétalas (parede fundieira, lateral esquerda e direita); 6-Trabalho de massas em forma de concha (arco exterior) [Cruz, 2005].

A Mértola muçulmana está, assim, representada pelo edifício da antiga mesquita, que seria reconvertido ao culto cristão ainda na Idade Média. Deste monumento foram estudadas duas argamassas, a argamassa com a designação MT3, que foi retirada do exterior da Igreja Matriz, e a argamassa designada de MT4 retirada do embasamento do Mihrab (figura 9 e quadro 1).



Figura 9 – Planta da Igreja Matriz de Mértola após a reconstituição histórica datada da década de 50 do século XX à actualidade [Cruz, 2005] com os locais assinalados de onde foram retiradas amostras.

Argamassa	Designação	Época (Séc. provável)	Localização			
1	MT1	V-VI	Pilar externo da Torre do Rio (figura 3)			
2	MT2		Pilar intermédio da Torre do Rio (figura 3)			
3	MT3	XII-XIII	Exterior da Igreja de Mértola – Mihrab/Sacristia (figura 9)			
4	MT4		Embasamento do Mihrab (figura 9)			

Quadro 1 – Registo do local e da época (provável) das amostras de Mértola em estudo

3 – METODOLOGIA DE CARACTERIZAÇÃO

A metodologia de caracterização utilizada neste trabalho é semelhante há que se encontra descrita em pormenor no trabalho referente à caracterização de argamassas da Sé de Évora [Adriano e Santos Silva, 2006], e que se baseou na aplicação dum conjunto diversificado de técnicas físico-químicas de caracterização de materiais, que procuram completar-se de forma a obter uma grande fiabilidade na análise final e simultaneamente maximizar os objectivos da caracterização e minimizar as limitações inerentes a cada uma das técnicas empregues. Na figura 10 apresenta-se duma forma esquemática a metodologia que foi usada.

A metodologia de caracterização utilizada baseia-se numa cuidada observação inicial das amostras, que serviu também à decisão sobre o tipo de análises a realizar posteriormente. A amostra depois de desagregada foi preparada de acordo com a especificidade de cada técnica de análise. Empregaram-se diferentes técnicas de análise química instrumental com o objectivo principal de quantificar o teor dos elementos químicos presentes na fracção solúvel das argamassas e determinar o teor de areia siliciosa. A difractometria de raios X (DRX) foi utilizada para determinar a composição mineralógica dos vários constituintes bem como a natureza de eventuais produtos de alteração. A análise termogravimétrica e térmica diferencial (ATG/DTG) foi empregue essencialmente para a determinação do teor dos carbonatos presentes e o tipo de ligante. A microscopia óptica (MO) e electrónica de varrimento (MEV/EDS) foram empregues com o objectivo de determinar as morfologias e tipos dos constituintes, realizar o diagnóstico do estado de conservação das argamassas e validar as informações obtidas pelas outras técnicas.



Figura 10 - Metodologia utilizada para a caracterização das argamassas [Adriano e Santos Silva, 2006]

4 – RESULTADOS

4.1 – Observação visual das amostras

4.1.1 – Torre do Rio

Na figura 11 apresenta-se o registo fotográfico das amostras da Torre do Rio antes de serem desagregadas. Estas amostras eram constituídas por apenas uma camada, de tonalidade clara no caso da amostra MT1 e creme para a amostra MT2. Os agregados observados apresentavam diversas dimensões e colorações. Nas superfícies externas das duas amostras observaram-se fragmentos de xisto de cor verde escura, provavelmente alterados, de grandes dimensões. Observaram-se ainda nódulos de cal e fragmentos cerâmicos de várias dimensões.



Figura 11 – Aspecto das amostras da Torre do Rio antes de desagregadas: a) amostra MT1; b) amostra MT2.

As argamassas apresentavam um aspecto muito compacto e resistente, que foi confirmado durante a desagregação das amostras.

Os aspectos de maior interesse observados nestas amostras após a desagregação foram a presença de nódulos brancos de cal de forma arredondada e fragmentos cerâmicos. A presença de fragmentos cerâmicos nestas amostras era esperada devido ao seu uso ser bastante comum no Período Romano, particularmente nas construções que estariam em contacto permanente com a água, como cisternas, tanques, pontes, etc.. A adição de fragmentos de cerâmica tinha como objectivo aumentar a hidraulicidade das argamassas, tornando-as mais impermeáveis à água. Quanto aos nódulos de cal, a sua presença conforme foi sugerido em outros estudos [Degryse et al, 2002; Schouenborg et al, 1993]

pode indicar que a cal viva foi mal extinta ou, em alternativa, que utilizaram o método de extinção seca (do inglês, "dry slacking") que consistia em adicionar uma quantidade mínima de água para converter o CaO em Ca(OH)₂.

4.1.2 – Igreja Matriz

Na figura 12 apresenta-se o registo fotográfico das amostras da Igreja Matriz antes de serem desagregadas.



Figura 12 – Aspecto das amostras da Igreja Matriz antes de desagregadas: a) MT3; b) MT4.

A observação à vista desarmada da amostra MT3 permitiu identificar a existência de pelo menos cinco camadas, que a seguir se descrevem partindo da camada interior para a mais exterior:

- 1) Argamassa de reboco de cor amarelada, referenciada por MT3-INT;
- Argamassa de reboco de cor castanha clara com cerca de 10 mm de espessura, referenciada por MT3-IM;
- Argamassa de reboco de cor castanha escura, referenciada por MT3-EXT. Esta camada foi aplicada em duas vezes, uma das aplicações tem cerca de 15 mm de espessura e a outra cerca de 5 mm;
- Camada de caiação (diversas camadas com espessura fina) de cor branca, designada por pintura-caiação;
- 5) Camada de pintura vermelho forte, designada por camada-pintura.

A argamassa da camada externa é mais resistente e a mais compacta das três primeiras argamassas observadas, enquanto a camada interna é a menos resistente e menos compacta. Os agregados destas três camadas apresentavam pequena dimensão e não foram observados fragmentos cerâmicos.

Não foi possível analisar a estratigrafia da amostra por observação ao microscópio óptico devido à pequena quantidade de amostra disponível.

As várias camadas foram cuidadosamente separadas com o auxílio de um martelo de borracha, um escopro de pequenas dimensões e um estilete. Apenas as três primeiras camadas de argamassa permitiram a realização completa de caracterização, enquanto que as camadas com designação "camada-caiação" e "camada-pintura", devido à escassez de amostra, foram apenas observadas ao MEV.

A amostra MT4 apresentava uma cor clara e era constituída por apenas uma única camada. Observaram-se fragmentos cerâmicos moídos de pequena dimensão (pó de tijolo) bem distribuídos por toda a amostra (figura 13) e agregados de forma alongada e coloração verde semelhantes aos xistos da região. A argamassa apresentava um aspecto compacto e resistente embora fosse facilmente riscada.



Figura 13 – a) Aspecto geral da amostra MT4 à lupa binocular; b) Pormenor da imagem anterior, evidenciando o pó de tijolo (indicado pela seta preta) e agregados de forma alongada e coloração verde (seta vermelha).

No quadro 2 apresenta-se uma descrição sucinta dos principais aspectos observados nas amostras da Torre do Rio e da Igreja Matriz de Mértola.

Amostra	Nº Camadas	Identificação	Cor	Tipo de agregados	Presença de materiais pozolânicos	Outros aspectos	
MT1	1	MT1	Clara	Superfície externa – grãos de grandes dimensões e cores escuras.	Fragmentos cerâmicos em pequena quantidade	Fragmentos de xisto verde de grandes dimensões. Resistente, compacta, nódulos de cal	
MT2	1	MT2	Creme	Várias dimensões e colorações	Fragmentos cerâmicos	Resistente, compacta, pequenos nódulos de cal	
MT3	5	MT3-INT	Amarela				
		MT3-IM	Castanha clara	a Várias dimensões e coloracões		Pouco resistente	
		5	5 MT3-EXT	Castanha escura		Ausência	Resistente e compacta
		MT3-Caiação	Branca	-		Dougo registento	
		MT3-Pintura Vermelha -		-		Foucoresistente	
MT4	1	MT4	Branca	Fragmentos de xisto verde	Pó de tijolo	Resistente	

Quadro 2 – Descrição dos principais aspectos observados à vista desarmada nas amostras da Torre do Rio e Igreja Matriz de Mértola

4.2 – Caracterização mineralógica por difractometria de raios X (DRX)

4.2.1 – Torre do Rio

Nas figuras 14 e 15 apresentam-se os difractogramas obtidos e no quadro 3 as composições mineralógicas qualitativas das várias amostras. Para cada amostra realizaram-se dois difractogramas, um correspondente à amostra global (fracção global) e outro duma fracção mais enriquecida em ligante, que se designou de fracção fina.



Figura 14 – Difractogramas da amostra MT1 (Fracção global – azul; Fracção fina – vermelho) Notação utilizada: Q – Quartzo, C – Calcite, F – Feldspatos, M – Mica (moscovite), Cl – Clorite, Af – Anfíbolas, G – Gesso ou carboaluminatos de cálcio hidratado, Z – Mineral zeolítico.



Figura 15 – Difractogramas da amostra MT2 (Fracção global – azul; Fracção Fina - vermelho) Notação utilizada: Q – Quartzo, C – Calcite, F – Feldspatos, M – Mica (moscovite), Af – Anfíbolas, CI – Clorite, Ch – Carboaluminatos de cálcio hidratado ou gesso.

Compostos	Amostras						
cristalinos	МТ	[1	MT2				
identificados	Fracção Global	Fracção Fina	Fracção Global	Fracção Fina			
Quartzo ²	+++	+	+++	+/++			
Feldspatos ³	+	vtg	+/++	vtg			
Mica (moscovite)⁴	+	vtg	+	vtg			
Clorite⁵	vtg/+	vtg	vtg/+	?/vtg			
Anfíbolas ⁶	vtg	vtg	vtg	vtg			
Carboaluminatos de cálcio hidratado	-	vtg	vtg/?	vtg/+			
Mineral zeolítico ⁷	-	vtg	_	-			
Calcite ⁸	++/+++	+++/++++	+/++	+++			

Quadro 3 - Composição mineralógica qualitativa das argamassas das amostras da Torre do Rio

Notação utilizada em DRX:

++++ - proporção muito elevada (composto predominante)

+++ - proporção elevada

++ - proporção média

+ - existe em fraca proporção

vestígios

vtg

?

- dúvidas na presença

não detectado

Os resultados da DRX nas amostras da Torre do Rio, indicam que as argamassas possuem composição mineralógica muito semelhante sendo consistentes com argamassas de cal aérea do tipo calcítica ricas em agregado do tipo silicioso.

4.2.2 – Igreja Matriz

Os difractogramas e as composições mineralógicas qualitativas das amostras da Igreja Matriz apresentam-se nas figuras 16 a 19 e no quadro 4, respectivamente.

² Óxido de silício ou sílica – SiO₂

³ Aluminosilicatos de sódio/potássio/cálcio – albite – NaAlSi₃O₈; microcllina – KAlSi₃O₈; anortite – CaAl₂Si₂O₈

 $^{{}^4 \}text{ Mica: Moscovite} - KAl_2Si_3AIO_{10}; \text{ Biotite} - K(Mg,Fe)_3AISi_3O_{10}(OH,F)$

⁵ (Mg,Fe,Al)₆(Si,Al)₄O₁₀(OH)₈

⁶ NaCa₂(Mg,Fe)₄Al₃Si₆O₂₂(OH,F)₂

⁷ (fórmula geral) – (Na₂,K₂,Ca,Ba)[(Al,Si)O₂]_n xH₂O

⁸ Carbonato de cálcio – CaCO₃



Figura 16 – Difractograma da argamassa MT3 – INT (Fracção global – azul; Fracção fina – vermelho). Notação utilizada: Q – Quartzo, C – Calcite, F – Feldspatos, M – Mica (moscovite), CI – Clorite, Af – Anfíbolas, Ch - Carboaluminatos de cálcio hidratados ou gesso, D – Dolomite.



Figura 17 – Difractograma da argamassa MT3 – IM (Fracção global – azul; Fracção fina – vermelho). Notação utilizada: Q – Quartzo, C – Calcite, F – Feldspatos, M – Mica (moscovite), CI – Clorite, Af – Anfíbolas, G – Gesso ou Carboaluminatos de cálcio hidratados.



Figura 18 – Difractograma da argamassa MT3 - EXT (Fracção global – azul; Fracção fina – vermelho). Notação utilizada: Q – Quartzo, C – Calcite, F – Feldspatos, M – Mica (moscovite), Cl – Clorite, Af – Anfíbolas.



Figura 19 – Difractograma da argamassa MT4 (Fracção global – azul; Fracção fina – vermelho). Notação utilizada: G – Gesso, Q – Quartzo, C – Calcite, F – Feldspatos, M – Mica (moscovite), CI – Clorite.

Common to a	Amostras							
cristalinos	MT3-INT		MT3-IM		MT3-EXT		MT4	
identificados	Fracção Global	Fracção Fina	Fracção Global	Fracção Fina	Fracção Global	Fracção Fina	Fracção Global	Fracção Fina
Quartzo	+++	+/++	+++	+	+++	+	+	+
Feldspatos	+/++	+	++	vtg	++	vtg	vtg	?
Mica (moscovite)	+/++	+/++	+/++	vtg	+/++	?	vtg	vtg
Clorite	+	+	+	-	+	-	vtg	-
Anfíbolas	vtg/+	?	vtg/+	-	vtg/+	-	-	-
Gesso	?	?	-	?/vtg	-	-	+++/++++	+++/++++
Carboaluminatos de cálcio hidratado	vta/?	vta/+	-	?/vta	-	-	-	-
Calcite	+	++	++	+++/++++	++	+++/++++	vtg	+
Dolomite	vtg/+	+	-	-	-	-	-	-

Ouadro 1 -	Composição	minoralógica	evitetileun	dae amoetrae	da la	iroia	Matriz
Quadio 4 –	COMPOSIÇÃO	mineralogica	qualitativa	uas amosilas	uai	li ela i	ivialiiz

Notação utilizada em DRX:

++++ - proporção muito elevada (composto predominante)

+++ - proporção elevada

++ - proporção média

? -

vtg

vestígios
dúvidas na presença

- não detectado

+ - existe em fraca proporção

Os resultados de DRX para as três camadas da amostra MT3 indicam composições mineralógicas semelhantes e são características de argamassas de cal aérea calcítica com agregados essencialmente do tipo silicioso. No entanto, a presença de dolomite na camada interna, associada à coloração dessa argamassa, sugere tratar-se duma argamassa de um período mais antigo.

Os resultados indicam que a amostra MT4 é uma argamassa constituída essencialmente por gesso e por uma pequena quantidade de agregados do tipo silicioso e calcite. A presença de uma pequena quantidade de calcite pode ser devida à adição de cal ao gesso durante a preparação da argamassa.

4.3 – Análise térmica (ATG/DTG)

4.3.1 – Torre do Rio

Nas figuras 20 e 21 apresentam-se os termogramas obtidos para as amostras de argamassa MT1 e MT2.



Figura 20 – Curvas ATG/DTG da amostra MT1.



Figura 21 – Curvas ATG/DTG da amostra MT2.

No quadro 5 apresentam-se as perdas de massa correspondentes às gamas de temperatura, que foram obtidas tendo em consideração a composição mineralógica de cada amostra e o início e fim de perdas definidas a partir das curvas DTG.

Gamas de temperatura (°C)									
Amostras	20→240	240→500	500→900	900→1000	20→1000				
MT1	1,66	1,06	14,46	0,05	18,23				
MT2	1,38	1,15	8,99	0,05	11,55				

Quadro 5 - Perdas de massa (em %) das amostras de argamassa da Torre do Rio

Os termogramas obtidos são típicos de argamassas de cal aérea calcíticas com acentuadas perdas de massa entre 500 e 900°C, atribuídas à descarbonatação do carbonato de cálcio. Entre 20 e 240°C verifica-se a desadsorção de vapor de água, essencialmente de metalosilicatos, enquanto que entre 240 e 500°C ocorre essencialmente desidroxilação de diferentes tipos de minerais, em particular aluminosilicatos [Moroupolou et al, 1995; Santos Silva et al, 2005].

Considerando que, a reacção de descarbonatação do carbonato de cálcio ocorre entre 500→900°C é possível determinar o teor (em %) de CaCO₃ nas amostras de argamassa, de acordo com a seguinte expressão de cálculo:

$$%CaCO_{3} = \frac{P_{CO_{2}} \times MM_{CaCO_{3}}}{MM_{CO_{2}}}$$
[Equação 1]

Em que: P_{CO2} - Perda (em %) de CO2;

 MM_{CaCO_3} - Massa Molar do CaCO₃; MM_{CO_2} - Massa Molar do CO₂

Os teores de carbonato de cálcio (em %) nas argamassas estão apresentados no quadro 6.

Amostra	Teor de CaCO₃ (%)		
MT1	35		
MT2	20		

Quadro 6 — Teor de CaCO $_3$ obtido através de ATG nas argamassas da Torre do Rio

4.3.2 – Igreja Matriz

Os termogramas obtidos para as amostras MT3 e MT4 da Igreja Matriz apresentam-se nas figuras 22 a 25.

Os termogramas das três camadas da amostra MT3 apresentaram acentuadas perdas de massa entre 550 e 900°C atribuídas à descarbonatação do carbonato de cálcio. A amostra MT3-INT (figura 22) apresenta ainda uma outra perda de massa entre 450 e 550°C que foi atribuída, de acordo com a informação obtida por DRX, à descarbonatação do carbonato de magnésio do mineral dolomite. Os termogramas obtidos são portanto característicos de argamassas de cal essencialmente calcítica.

A curva termogravimétrica da amostra MT4 (figura 25) é, tal como indicou a DRX, bastante diferente das observadas anteriormente. Esta apresenta uma perda de massa acentuada entre 100 e 250°C, característica da desidratação do gesso.



Figura 22 - Curvas ATG/DTG da amostra MT3-INT.


Figura 23 – Curvas ATG/DTG da amostra MT3-IM.



Figura 24 – Curvas ATG/DTG da amostra MT3-EXT.



Figura 25 – Curvas ATG/DTG da amostra MT4.

Nos quadros 7 e 8 apresentam-se as perdas de massa correspondentes às várias gamas de temperatura consideradas, e que são semelhantes às apresentadas para as amostras da Torre do Rio.

Gamas de temperatura (°C)								
Am	Amostras 20→240 240→400 400→550 550→900 900→1000 20→1000							
	INT	0,65	0,53	1,11	5,69	0,03	8,01	
MT3	IM	0,38	1,04		10,32	0,05	11,79	
	EXT	0,24	0,86		11,84	0,05	12,99	

....

Quadro 8 – Perdas de massa (em %) das amostras de argamassa

Gamas de temperatura (°C)							
Amostra 20→100 100→250 250→580 580→900 900→1000 20→1000							
MT4	0,12	17,89	0,66	1,29	0,04	19,99	

Seguindo o mesmo procedimento que foi utilizado para as argamassas da Torre do Rio, determinou-se o teor de carbonato de cálcio nas várias amostras de argamassa (quadro 9).

Para a amostra MT3-INT determinou-se o teor de dolomite a partir do valor da perda de massa entre 400 e 550°C segundo a seguinte expressão:

$$\text{\%Dolomite} = \frac{\mathsf{P}_{\mathsf{CO}_2} \mathsf{x}\mathsf{MM}_{\mathsf{Dolomite}}}{\mathsf{MM}_{\mathsf{CO}_2}}$$
[Equação 2]

com: P_{CO_2} - Perda de massa (em %) do CO₂; MM_{Dolomite} - Massa Molar da dolomite; MM_{CO2} - Massa Molar do CO₂.

No caso da amostra MT4, determinou-se o teor de gesso a partir da perda de massa entre 100 e 250°C, característica da desidratação deste composto, de acordo com a seguinte expressão:

$$\label{eq:CaSO4} \ensuremath{^{}}\ensuremath$$

com: P_{Ho0} - Perda de massa (em %) das moléculas de água;

 $MM_{CaSO_4 \cdot H_2O}$ - Massa Molar do gesso;

 MM_{H_2O} - Massa Molar do H₂O

Quadro 9 – Teores de CaCO₃ (calcite), CaMg(CO₃)₂, (dolomite) e CaSO₄·2H₂O (gesso) obtidos por ATG nas argamassas da Igreja Matriz (em % mássica)

Amostras		Teor de CaCO₃	Teor de CaMg(CO ₃) ₂	Teor de CaSO₄ ·2H₂O
	INT	10	5	-
MT3	IM	23	-	-
	EXT	27	-	-
MT4		3	-	86

Em termos gerais os resultados obtidos por análise termogravimétrica, estão de acordo com as composições mineralógicas obtidas (quadro 4).

4.4 - Resíduo Insolúvel e Granulometria

A determinação do resíduo insolúvel (RI) foi efectuada em duas condições diferentes:

- Ataque da amostra desagregada com ácido clorídrico (HCI) 1:3
- Ataque da amostra moída (<106 µm) com ácido nítrico (HNO₃) 1:50

O ataque com HCl foi efectuado com o intuito de realizar a separação granulométrica dos agregados presentes e elaborar as respectivas curvas granulométricas, bem como observar o tipo de minerais em cada fracção. O ataque com HNO₃ sobre uma fracção moída de amostra permitiu determinar com maior rigor o teor de resíduo insolúvel (agregado não carbonatado) presente na amostra. Este ataque tem a vantagem de permitir separar toda a fracção de ligante da areia.

4.4.1 – Torre do Rio

Nas figuras 26 e 27, apresentam-se as análises granulométricas de cada uma das amostras e a respectiva curva granulométrica. Os valores obtidos de resíduo insolúvel (em % mássica) apresentam--se no quadro 15.

Fracções (mm)	% material retido	% material que passa	
< 0,075	1,72	0,00	
0,075 – 0,160	3,01	1,72	
0,160 – 0,315	6,00	4,73	
0,315 – 0,630	20,92	10,73	
0,630 – 1,250	20,46	31,65	
1,250 – 2,500	21,32	52,11	
2,500 - 5,000	12,37	73,43	
> 5,000	14,20	85,8	



Figura 26 – Análise granulométrica da areia (R.I.) da argamassa MT1 e respectiva curva granulométrica.

Fracções (mm)	% material retido	% material que passa
< 0,075	4,32	0,00
0,075 – 0,160	4,66	4,33
0,160 – 0,315	5,69	8,99
0,315 – 0,630	16,53	14,68
0,630 – 1,250	29,70	31,21
1,250 – 2,500	27,02	60,91
2,500 – 5,000	9,67	87,93
> 5,000	2,40	97,6



Figura 27 – Análise granulométrica da areia (R.I.) da argamassa MT2 e respectiva curva granulométrica.

Na figura 28 apresenta-se a distribuição granulométrica das amostras da Torre do Rio.



fracções granulométricas (mm)

Figura 28 – Distribuição granulométrica das amostras da Torre do Rio.

A análise granulométrica das amostras da Torre do Rio (figura 28) revelou que a maioria dos agregados apresenta dimensão compreendida entre 0,315 e 2,5 mm.

Nas figuras 29 a 31, apresentam-se alguns dos aspectos mais representativos da observação à lupa binocular das fracções granulométricas referentes a cada uma das amostras. De um modo geral, pode-se concluir que os grãos apresentam forma rolada ou subrolada (figura 29), típica de sedimentos de rio, o que leva a pensar que parte dos agregados utilizados no fabrico destas argamassas são de origem aluvionar provavelmente devido à grande proximidade do Rio Guadiana. O quartzo é o mineral mais abundante nas diversas fracções e está presente em várias variedades, nomeadamente citrino (coloração laranja), hialino (transparente – figura 30a), verde, rosa (figura 30b) e leitoso (branco – figura 30c), também foi possível observar fragmentos cerâmicos (figura 30d) e alguns fragmentos de xisto de diversas variedades (figura 31). Tratando-se de uma zona xistosa, a existência de xistos, leva a crer que, conjuntamente com as areias de rio, os romanos terão utilizado saibros desta rocha da região.



Figura 29 – Aspectos gerais das fracções de 0,630 mm à mesma ampliação: a) Amostra MT1; b) Amostra MT2.



Figura 30 – Agregados observados à lupa binocular: a) Quartzo hialino observados na amostra MT2; b) Quartzo verde e rosa observados na amostra MT1; c) Grãos rolados de quartzo leitoso observados na amostra MT1; d) Fragmentos cerâmicos observados na amostra MT1.



Figura 31 – a) Fragmentos de xisto observados na amostra MT2; b) Diversas variedades de xisto observadas na amostra MT1.

4.4.2 – Igreja Matriz

No quadro 17, apresentam-se os teores de resíduo insolúvel obtidos para as amostras da Igreja Matriz.

Nas figuras 32 a 35, apresentam-se os resultados obtidos referentes ao material retido e ao material que passa em cada peneiro.

Fracções (mm)	% material retido	% material que passa
< 0,075	9,46	0,00
0,075 – 0,160	7,84	9,46
0,160 – 0,315	19,00	17,30
0,315 – 0,630	40,76	36,30
0,630 – 1,250	13,72	77,06
1,250 – 2,500	5,08	90,78
2,500 – 5,000	4,14	95,86
> 5,000	0,00	100



Figura 32 – Análise granulométrica da areia (R.I.) da amostra MT3-INT e respectiva curva granulométrica.

Fracções (mm)	% material retido	% material que passa
< 0,075	0,90	0,00
0,075 – 0,160	2,39	0,9
0,160 – 0,315	12,06	3,29
0,315 – 0,630	72,66	15,34
0,630 – 1,250	11,41	88,01
1,250 – 2,500	0,58	99,42
2,500 – 5,000	0,00	100
> 5,000	0,00	100



Figura 33 – Análise granulométrica da areia (R.I.) da amostra MT3-IM e respectiva curva granulométrica.

Fracções (mm)	% material retido	% material que passa
< 0,075	1,13	0,00
0,075 – 0,160	3,10	1,13
0,160 – 0,315	18,48	4,23
0,315 – 0,630	67,28	22,71
0,630 – 1,250	9,73	89,99
1,250 – 2,500	0,28	99,72
2,500 - 5,000	0,00	100
> 5,000	0,00	100



Figura 34 – Análise granulométrica da areia (R.I.) da amostra MT3-EXT e respectiva curva granulométrica.

Fracções (mm)	% material retido	% material que passa	
> 5,000	2.81	97.19	
5,000 – 2,500	5.06	92.13	
2,500 – 1,250	1.83	90.3	
1,250 – 0,630	12.66	77.64	
0,630 – 0,315	12,69	57.95	
0,315 – 0,160	17.72	40.23	
0,160 – 0,075	17.44	22.79	
< 0,075	22.78	0.00	



Figura 35 – Análise granulométrica da areia (R.I.) da argamassa MT4 e respectiva curva granulométrica.



Na figura 36 apresentam-se as curvas granulométricas para as amostras da Igreja Matriz de Mértola.

Figura 36 – Distribuição granulométrica dos agregados da Igreja Matriz: a) Amostra MT3; b) Amostra MT4.

As duas camadas mais externas da amostra MT3 (MT3-IM e MT3-EXT) apresentam uma granulometria muito semelhante (Figura 36a), com agregados de dimensão essencialmente compreendida entre 0,315 e 1,25 mm, sugerindo tratar-se de uma mesma empreitada e de aplicações sucessivas. A granulometria da amostra MT3-INT é relativamente diferente das outras duas camadas o que parece confirmar tratar-se duma argamassa de origem mais antiga.

A distribuição granulométrica da amostra MT4 não é representativa uma vez que o resíduo insolúvel obtido do ataque com HCl foi um precipitado de coloração branca (figura 37), constituído essencialmente pelo ligante de gesso. Para tentar obter a distribuição granulométrica para esta amostra realizou-se posteriormente ataque com HNO₃ à amostra desagregada tendo-se verificado que o resíduo insolúvel resultante era constituído essencialmente por partículas de pó de tijolo de dimensão inferior a 0,315 mm, conferindo uma tonalidade alaranjada ao resíduo (figura 38).

Na figuras 39 e 40 mostram-se os aspectos gerais dos agregados correspondentes à fracção de 0,630 mm para cada fracção da amostra MT3 e nas figuras 41 a 44 podem observar-se alguns aspectos particulares dos agregados observados à lupa binocular das várias amostras.

De um modo geral, pode-se concluir que os grãos apresentam forma subrolada ou subangulosa, o que indica que a maioria dos agregados sejam sedimentos de rio. O quartzo é o mineral mais abundante nas várias fracções das três camadas da amostra MT3 e apresenta-se em várias variedades, nomeadamente hialino (figura 41a), leitoso, citrino, rosa (figura 42), verde e fumado (figura 41b). Observou-se a presença de litoclastos de rochas granitóides e xistos (figura 43a), provavelmente de origem local. Na camada interna, observaram-se fragmentos cerâmicos (figura 43b) que não tinham sido detectados à vista desarmada. Na camada externa foram observadas micas, do tipo moscovite (figura 44a) e do tipo biotite (figura 44b). Esta última em grande abundância e com sinais de alteração.



Figura 37 – Aspecto do resíduo insolúvel do ataque com HCI da amostra MT4 observada à lupa binocular: a) Fragmentos de gesso na fracção de 1,25 mm; b) Fragmentos de gesso partidos com a pinça na fracção de 0,630 mm.



Figura 38– Aspecto do resíduo insolúvel do ataque com HNO₃ da amostra MT4 observado à lupa binocular: a) Fragmentos de gesso com partículas de pó de tijolo agregadas (indicado pela seta); b) Sedimentos que ficaram agarrados ao papel de filtro.



Figura 39 – Aspectos gerais das fracções de 0,630 mm à mesma ampliação: a) Amostra MT3-INT; b) Amostra MT3-IM.







Figura 41 – Variedades de quartzo observadas à lupa binocular: a) Quartzo hialino observado na amostra MT3-EXT; b) Quartzo verde e fumado observado na amostra MT3-EXT.



Figura 42 – a) Quartzo rosa observado na amostra MT3-EXT; b) Quartzo hialino-rosa evidenciando a fractura conchoidal característica do quartzo.







Figura 43 – Aspecto dos agregados da amostra MT3-INT observados à lupa binocular: a) Litoclastos de rochas granitóides e fragmentos de xisto; b) Fragmentos cerâmicos; c) Feldspato onde se observa a sua clivagem característica.



Figura 44 – Minerais observados à lupa binocular na amostra MT3-EXT: a) Moscovite; b) Biotite.

No quadro 10, apresenta-se uma breve descrição mineralógica dos agregados das amostras da Torre do Rio e da Igreja Matriz de Mértola observados à lupa binocular.

Quadro 10 – Descrição mineralógica dos agregados das amostras da Torre do Rio e da Igreja Matriz de Mértola por observação à lupa binocular

Amostra		Mineral predominante	Outros minerais/rochas	Fragmentos cerâmicos	Forma dos grãos
MT1			Xisto, feldspatos		
MT2			Xisto, litoclastos de rochas granitóides	Presentes	Subrolado
	INT	Quartzo	Feldspatos, litoclastos de rochas granitóides		Subanguloso e subrolado
MT3 IM		Xisto, gesso, feldspa		A	Subanguloso
	EXT		Xisto, biotite, moscovite	Ausente	Subanguloso e subrolado
MT4		Gesso	-	Pó de tijolo	-

A observação dos agregados à lupa binocular conjuntamente com a análise por difracção de raios X permitiu verificar a utilização nas duas argamassas de agregados com uma composição mineralógica uniforme e correlacionável com a geologia local.

4.5 – Análise Química

4.5.1 – Torre do Rio

No quadro 11, apresentam-se os resultados (média de duas determinações) obtidos por espectrofotometria de absorção atómica (EAA) que traduzem os teores de cada elemento, expressos na forma de óxidos, na fracção solúvel da argamassa. Incluem-se também os valores correspondentes ao teor de cloretos, determinado por potenciometria, e de sulfatos, determinado por gravimetria (expresso em SO₃). No Anexo, apresentam-se as curvas de calibração obtidas para os elementos determinados por EAA e para o ião cloreto determinado por potenciometria.

Óxidos dos elementos Amostras (%)	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	Cŀ	SO₃
MT1	19,3	0,2	0,3	0,4	0,1	0,2
MT2	11,3	0,1	0,2	0,6	0,1	0,3

Os teores em ião cloreto são muito baixos e semelhantes aos obtidos noutros estudos [Bruno et al, 2004; Alvarez et al, 2000; Puertas et al, 1994] revelando baixos níveis de salinidade total.

Os teores em SO₃ são igualmente baixos. Considerando que o SO₃ é um indicador da presença de gesso [Maravelaki-Kalaitzaki et al, 2003] estes resultados mostram que, não só não foi utilizado gesso na formulação das argamassas como também a reacção entre a calcite da matriz da argamassa com o SO₂ atmosférico é desprezável, o que se enquadra com o ambiente não poluído da região.

Como seria de esperar, tendo em conta que as argamassas são de cal aérea, os teores mais elevados são os de óxido de cálcio. Com base no valor de CaO obtido por EAA obteve-se o teor de CaCO₃.

Com o objectivo de confirmar o teor de CaCO₃ obtido por ATG, e também confirmar a validade da análise por EAA, apresenta-se no quadro 12 os resultados de CaCO₃ obtidos pelas duas técnicas.

Quadro						
Amostra		Teor de CaCO₃ (%) obtido por ATG	Teor de CaCO₃ (%) obtido por EAA			
Torre do Rio	MT1	35	34			
	MT2	20	20			

Quadro 12 – Teores de CaCO3 (em %) obtidos por ATG e EAA

Como se pode verificar, os teores em CaCO₃ determinados por EAA e por ATG são semelhantes, mostrando a validade da análise por EAA.

4.5.2 – Igreja Matriz

Tal como para as amostras da Torre do Rio, apresentam-se no quadro 13 os teores de cada elemento (expressos na forma de óxidos) na fracção solúvel da argamassa, obtidos por EAA. Os resultados apresentados referem-se à média de duas determinações.

Óxidos dos elementos Amostras (%)		CaO	Na₂O	K ₂ O	MgO	Cŀ	SO₃
	INT	9,0	-	0,2	2,3	0,1	0,1
MT3	IM	11,2	0,1	0,0	0,8	0,1	0,9
	EXT	13,4	0,1	0,0	0,4	0,1	0,2
M	T4	32,5	0,1	0,0	0,2	0,1	49,1

Quadro 13 - Análise química da fracção solúvel com os respectivos desvios padrão das argamassas

Para a amostra MT3, os teores em ião cloreto e em SO₃ são muito baixos e semelhantes aos obtidos nas amostras da Torre do Rio, o que revela baixos níveis de salinidade total e o ambiente não poluído da região de Mértola.

A amostra MT4 apresenta um teor de SO₃ muito elevado que, quando comparado com as amostras da Torre do Rio e com a argamassa MT3, apenas é compatível com a utilização de gesso na formulação da argamassa. Este teor elevado de SO₃ confirma os resultados de DRX e ATG/DTG que indicam que a amostra é essencialmente constituída por gesso.

Tendo em conta que as argamassas da amostra MT3 têm como ligante cal aérea calcítica, os teores mais elevados são, tal como era de esperar os de óxido de cálcio. No caso da amostra MT4, para além de CaO, o teor mais elevado é o de SO₃.

O teor de CaCO₃ da amostra MT3 obtido a partir de EAA foi determinado de forma semelhante às amostras da Torre do Rio e os resultados obtidos encontram-se expressos no quadro 14 conjuntamente com os obtidos por ATG.

Amostra			Teor de CaCO₃ (%) obtido por ATG	Teor de CaCO ₃ (%) obtido por EAA
Igreja Matriz	MT3	INT	13	16
		IM	23	20
		EXT	27	24
	MT4		3	-

Quadro 14 - Valores dos teores de CaCO3 obtidos a partir de ATG e EAA

No caso da amostra MT4 não foi possível determinar o teor de CaCO₃ a partir de EAA, uma vez que o teor obtido de CaO contabiliza não só o teor de CaO da calcite (CaCO₃), mas também o CaO do gesso (CaSO₄·2H₂O).

As diferenças observadas nos teores de CaCO₃ obtidas pelos dois métodos para as amostras da argamassa MT3, não sendo muito significativas, são superiores às obtidas para as amostras da Torre do Rio e devem-se sobretudo à maior complexidade da composição mineralógica destas amostras, nomeadamente no facto da presença de vários compostos contendo o elemento cálcio na sua composição.

4.6 – Caracterização microestrutural

4.6.1 – Microscopia Óptica

4.6.1.1 – Torre do Rio

Das observações das superfícies polidas à lupa binocular pode concluir-se que as argamassas MT1 e MT2 apresentam um ligante de cor clara. As argamassas são heterogéneas, apresentando agregados muito variados quanto à cor, natureza e tamanho. Apesar de serem bastante compactas, observam-se alguns "poros" de pequena dimensão. Foi possível observar nódulos de cal de forma arredondada de várias dimensões.

Nas figuras 45 e 46, apresentam-se respectivamente, os aspectos gerais das amostras MT1 e MT2 entre os quais se destacam a presença de nódulos de cal de dimensão considerável (figura 45), a variação das dimensões e natureza dos agregados (figura 46) e o aspecto dos ligantes de tonalidade clara.



Figura 45 – Aspecto geral da argamassa MT1: a) ampliação 7,5x evidenciando um nódulo de cal (apontado pela seta); b) ampliação de 30x.



Figura 46 – Aspecto geral da argamassa MT2: a) ampliação de 7,5x; b) ampliação de 30x. A seta assinala uma camada clara de alteração que circunscreve um grão de agregado.

A observação das lâminas delgadas ao microscópio petrográfico (figura 47) permitiu fornecer informações adicionais sobre a composição das argamassas.

As amostras MT1 e MT2 são muito semelhantes e apresentam uma elevada proporção de agregado quando comparado com o ligante. As amostras apresentam nódulos de cal e clastos carbonatados de contornos irregulares. Os nódulos de cal, podem ser um indicativo da extinção incompleta da cal enquanto que, a presença de rochas carbonatadas irregulares, parcialmente solubilizadas, pode ser explicada assumindo que as condições de temperatura ou do tempo de calcinação no processo de produção da cal, terão sido insuficientes para que ocorresse a descarbonatação completa das rochas calcárias.

A morfologia dos agregados varia entre rolados a subangulosos e são dominados por quartzo em várias formas (monominerálico e rochas quartzíticas), por feldspatos, fragmentos cerâmicos e por pequenas quantidades de xisto, mica, clorite, minerais de argila e anfíbolas. É possível identificar produtos de reacção na interface do quartzo e dos fragmentos cerâmicos.



Figura 47– Lâminas delgadas das amostras: a e b) Amostra MT1; c) Amostra MT2. A imagem a) mostra um fragmento cerâmico entre diversos agregados de quartzo e dois nódulos de CaO. A presença de xisto (imagem c)) é compreensível se for tida em consideração a geologia local, no entanto a presença de anfíbolas é coerente com o uso de sedimentos transportados de diversas áreas geológicas.

A presença de anfíbolas nos agregados foi o aspecto que mais ressaltou da análise petrográfica. De acordo com a carta geológica de Mértola e a geologia do Sul de Portugal é pouco provável que a origem destes agregados seja dos arredores de Mértola. Tendo em consideração que a origem mais provável se localiza a 40 km a Norte de Mértola, a explicação mais plausível é que o transporte deste material tenha sido feito através da mais importante linha de água, o Rio Guadiana.

As observações das lâminas delgadas, que mostram a presença de reacções químicas na interface da matriz-fragmentos cerâmicos [Bakolas et al, 1998] são consistentes com a presença de compostos hidráulicos, nomeadamente carboaluminatos de cálcio hidratado detectados por DRX (quadro 3).

4.6.2 – Microscopia electrónica de varrimento

4.6.2.1 – Torre do Rio

Na figura 48, apresentam-se os aspectos microestruturais da pasta carbonatada das amostras e os respectivos espectros EDS.





Estas amostras apresentam um aspecto grosseiro devido à grande dimensão dos agregados. A pasta observada era bastante rica em carbonato de cálcio (calcite). Observaram-se superfícies e "poros" cobertos de cristais de calcite (figura 49b) formados por dissolução e recristalização intraporos, sugerindo a existência de fenómenos de permeação e difusão de água na matriz da argamassa (figura 49c). Observa-se ainda a presença de aglomerados de cristais de aluminosilicatos de cálcio (figura 50) provenientes possivelmente da reacção entre o ligante e os minerais dos agregados, em

particular os provenientes das partículas cerâmicas e dos filossilicatos. Foram também observadas colonizações biológicas (figura 49a) e agregados de quartzo degradados (figura 51).



Figura 49 – a) Aspecto microestrutural revelador da existência de colonizações biológicas observados na amostra MT1; b) Microestrutura de uma zona onde se observaram cristais de calcite observados na amostra MT1; c) Pormenor dos cristais de calcite da imagem (b) e respectivo espectro EDS (d).



Figura 50 – Microestrutura de um local onde se observaram cristais de aluminosilicatos de cálcio hidratados na amostra MT1 e respectivo espectro EDS.



Figura 51 – Microestrutura de um agregado de quartzo degradado observado na amostra MT2 e respectivo espectro EDS.

4.6.2.2 – Igreja Matriz

Na figura 52 apresentam-se os aspectos microestruturais gerais das três camadas da argamassa MT3. As três camadas de argamassa da amostra MT3 apresentam um aspecto grosseiro e as composições das pastas embora semelhantes entre si (figura 53), maioritariamente constituídas por carbonato de cálcio, evidenciam uma maior proporção de silício, alumínio e magnésio na camada interna, o que parece confirmar a utilização de um menor teor de ligante nessa amostra.



Figura 52 – Aspectos microestruturais da amostra MT3: 1- camada externa; 2a e 2b - camadas de aplicação da camada intermédia; 3- camada externa.



Figura 53 – Aspectos microestruturais da pasta carbonatada e respectivos espectros EDS: a) MT3-INT; b) MT3-IM; c) MT3-EXT.

A observação ao MEV, da camada-caiação permitiu identificar pelo menos quatro camadas de caiação - figura 54.



Figura 54 – a) Observação (modo SEI) e identificação das várias camadas de caiação, contadas a partir da camada externa; b) Observação no modo compo das mesmas camadas.

Nas figuras 55 e 56, apresentam-se pormenores das microestruturas de cada camada de caiação, acompanhadas dos respectivos espectros EDS. Estes resultados mostram que a camada designada inicialmente por camada-caiação se trata da aplicação sucessiva de quatro camadas de cal.



Figura 55 – Aspectos microestruturais das camadas de caiação da amostra MT3 e respectivos espectros EDS: a) camada 1; b) camada 2.



Figura 56 – Aspectos microestruturais das camadas de caiação da amostra MT3 e respectivos espectros EDS: a) camada 3; b) camada 4.

Na figura 57, apresenta-se o aspecto microestrutural da camada de pintura de coloração vermelha bem como o seu espectro EDS. Os resultados indicam tratar-se de uma pintura de cal com pigmento de ocre vermelho (composto por aluminosilicatos argilosos e óxidos de ferro). A presença de chumbo pode indicar a utilização do pigmento branco de chumbo, que foi o pigmento branco mais utilizado até ao século XIX, e amplamente utilizado como camada de suporte e carga (pigmento que iria conferir maior opacidade à tinta).



Figura 57 – Aspecto microestrutural da camada de pintura da amostra MT3 e respectivo espectro EDS.

A observação ao MEV da amostra MT4 confirmou que se trata de uma amostra essencialmente constituída por gesso (figura 58b,c), tendo-se observado também pequenos fragmentos cerâmicos (figuras 59 e 60). Em toda a amostra foram observados espaços vazios, que parecem ter sido originalmente ocupados por partículas de agregado (figura 58a).



Figura 58 – Amostra MT4: a) Microestrutura de uma zona onde se observaram espaços vazios na amostra; b) Microestrutura de uma zona de cristais de gesso; c) Microestrutura do gesso e respectivo espectro EDS (d).



Figura 59 – Amostra MT4: a) Microestrutura de uma zona onde se encontra um fragmento de tijolo; b) Pormenor do fragmento de tijolo observado em (a).



Figura 60 – Amostra MT4: Microestrutura de outro fragmento de tijolo e respectivo espectro EDS.

A presença de materiais com características pozolânicas, como o pó de tijolo, poderão justificar-se por preocupações relacionadas com a humidade local.

4.7 – Composição das argamassas

4.7.1 – Torre do Rio

A partir dos resultados da ATG/DTG e da análise química obtiveram-se as composições simplificadas das argamassas (quadro 15), estimadas com base no método de Jedrzejewska [Jedrzejewska, 1960].

Amostra	Agregado ⁽¹⁾	Calcite ⁽²⁾	Fracção Solúvel ⁽³⁾	
MT1	61	35	4	
MT2	75	20	5	

Quadro 15 – Composição simplificada das argamassas da Torre do Rio (% em massa).

(1) Agregado = teor de RI

(2) Calcite = teor CaCO₃ obtido por ATG

(3) Fracção solúvel = 100 – Σ (Agregado + Calcite)

A partir das composições simplificadas das amostras foi possível reconstruir o traço das argamassas – quadro 16 – expressos pela razão agregado/ligante. Os teores de ligante foram calculados em termos de Ca(OH)₂, de acordo com a seguinte expressão:

$$\label{eq:CaCO3} \ensuremath{\text{\%CaCO}_3 \text{xMM}_{\text{Ca(OH)}_2}}{\ensuremath{\text{MM}_{\text{CaCO}_3}}} \ensuremath{\left[\text{Equação 4}\right]}$$

com: %CaCO₃ – Teor de calcite na amostra; MM_{Ca(OH)₂} - Massa Molar do Ca(OH)₂; MM_{CaCO₃} - Massa Molar do CaCO₃

Quadro 16 - Traços reconstituídos	(em massa) das amostras da	Torre do Rio
-----------------------------------	-----------	-------------------	--------------

Amostra	Agregado	Ca(OH)₂	
MT1	2	1	
MT2	5	1	

Em ambas as amostras, o ligante utilizado foi a cal calcítica. A presença de nódulos de cal de forma arredondada indica que a cal foi mal extinta. Foram encontrados agregados de carbonato de cálcio parcialmente dissolvidos, o que é indicativo da descarbonatação incompleta durante a produção da cal.

A observação das lâminas delgadas e das secções polidas em complemento com as análises de DRX mostram que foram utilizados dois tipos de agregados: agregados de rio constituídos essencialmente por quartzo e pequenas quantidades de mica, feldspatos, e anfíbolas e ainda fragmentos de xisto dos arredores da Vila de Mértola. Também se detectou a adição de fragmentos cerâmicos e a presença de compostos hidráulicos originados pela reacção pozolânica.

Ambas as amostras apresentavam elevada resistência mecânica durante a desagregação, tendo a amostra MT1 um traço mais forte do que a amostra MT2.

4.7.2 – Igreja Matriz

As composições simplificadas obtidas para as várias amostras, que foram determinadas de acordo com o método utilizado para as amostras da Torre do Rio, estão apresentadas no quadro 17.

Amostra		Agregado	Calcite	Fracção Solúvel
	INT	85	15 ⁽¹⁾	0
MT3	IM	74	23	3
	EXT	71	27	2
MT4		13	3	84

Quadro 17 – Composições simplificadas das argamassas da Igreja Matriz (% em massa)

(1) - 10% de CaCO₃ + 5% CaMg(CO₃)₂

No quadro 18 apresenta-se o traço reconstituído das argamassas, expresso pela razão entre agregado e ligante.

Amostra		Agregado	Ca(OH) ₂	Mg(OH)₂	Gesso
	INT	9	1	0.3	-
MT3	IM	4	1		-
	EXT	4	1		-
MT4		1	0,2		6,5

Quadro 18 - Traços reconstituídos (em massa) das argamassas da Igreja Matriz

Como se pode constatar a camada MT3–INT apresenta um traço muito fraco, enquanto que as duas camadas mais externas da argamassa MT3 apresentam o mesmo traço característico. Este aspecto pode indicar tratar-se de duas camadas de aplicação sucessiva da mesma argamassa, como aliás era habitual em argamassas de cal para obter rebocos de maior espessura.

Até à realização deste trabalho julgou-se que todas as técnicas utilizadas no passado na Igreja Matriz de Mértola teriam como base material a cal aérea, quer na produção dos suportes (ligante das argamassas) quer na manufactura das cores (aglutinante), tendo sido efectuadas intervenções de conservação e restauro partindo deste pressuposto [Cruz, 2005]. No entanto, os resultados obtidos para a amostra do Mihrab revelaram tratar-se de uma argamassa de gesso. Embora seja frequente no Norte de África a utilização de argamassas de gesso, em Portugal é uma situação pouco comum. Os

resultados obtidos neste estudo vêm mostrar a importância deste tipo de estudos como parte de uma metodologia de conservação integrada que permita que, no futuro, sejam realizadas campanhas de intervenção que tenham em consideração os materiais existentes.

5 – APRECIAÇÃO GERAL DOS RESULTADOS

Neste trabalho analisaram-se argamassas de diferentes épocas e contextos históricos da Vila de Mértola, nomeadamente argamassas romanas (século V-VI) provenientes da Torre do Rio e argamassas do Período Árabe e da Baixa Idade Média (século XI-XIII) provenientes da Igreja Matriz.

A metodologia de caracterização adoptada neste trabalho mostrou que as argamassas da Torre do Rio (MT1 e MT2) são argamassas de cal aérea calcítica com agregados siliciosos de forma rolada e subrolada e fragmentos de xistos da região de Mértola. As amostras apresentavam fragmentos cerâmicos e nódulos de cal de forma arredondada que podem ter resultado de uma extinção incompleta da cal. Um aspecto a salientar nestas amostras foi a presença nos agregados de anfíbolas, devido à sua inexistência nas rochas da região de Mértola. Pensa-se que o transporte destes minerais, existentes a 40 km a Norte de Mértola, tenha sido efectuado através do Rio Guadiana, corroborando outras observações que indicavam os sedimentos do rio como a fonte mais provável dos agregados siliciosos.

O estudo destas argamassas permitiu concluir que no declínio do Período Romano existia um conhecimento bastante aprofundado sobre as propriedades dos materiais de construção bem como uma criteriosa selecção dos materiais para os objectivos pretendidos. Verificou-se a sistemática incorporação de materiais com características pozolânicas, nomeadamente fragmentos cerâmicos, que visavam a obtenção de argamassas de maior durabilidade e com propriedades hidráulicas.

A caracterização das argamassas do Período Árabe, argamassas MT3 e MT4, mostrou uma certa diferenciação relativamente às argamassas do Período Romano. A principal conclusão é a quase inexistência de materiais cerâmicos. Os resultados da caracterização da argamassa MT3, da Igreja Matriz, mostraram que se trata duma argamassa de cal essencialmente calcítica com agregados de natureza aluvionar. Esta argamassa de reboco era composta por três camadas provavelmente com a finalidade de aumentar a sua espessura. Esta amostra apresentava ainda quatro finas camadas de

caiação de cal calcítica e uma outra camada de pintura de cal, mais externa, com pigmento de ocre vermelho.

A argamassa extraída do Mihrab da Igreja Matriz revelou tratar-se de uma argamassa de gesso, com incorporação de pequenas quantidades de cal calcítica, pó de tijolo e fragmentos de xisto (rocha característica da região de Mértola). Este resultado contraria a ideia estabelecida que as argamassas deste monumento seriam de cal calcítica. Estes resultados vêm demonstrar, a necessidade de se empreenderem estudos de caracterização físico-química de forma a se conhecer com rigor a composição dos materiais existentes antes das intervenções de conservação e restauro. De referir, que o emprego de argamassas de gesso em monumentos deste período em Portugal não era conhecido.

Neste trabalho ficou demonstrada a necessidade do emprego de uma metodologia de caracterização físico-química, o mais completa possível, para a caracterização de argamassas antigas, pois dessa forma obtêm-se dados que permitem determinar com um maior grau de rigor o traço da argamassa, os tipos de constituintes, o seu estado de conservação e elementos que possibilitem uma confirmação da época provável do seu emprego. Constatou-se, nomeadamente, que a utilização do MEV-EDS é indispensável na caracterização de argamassas antigas, sem o que não poderiam ter sido detectados compostos resultantes de alteração química e biológica que na maioria dos casos só se encontram presentes em quantidades muito diminutas e, por conseguinte, muito difíceis de detectar com as outras técnicas.

Este trabalho também mostrou a importância do emprego de técnicas de petrologia, nomeadamente na obtenção de dados acerca da localização e tipologia dos materiais pétreos empregues.

Como também se evidenciou, o estudo de argamassas de diferentes épocas e períodos permite obter informação sobre a história dos monumentos e dos materiais utilizados na sua construção, a qual é de extrema importância para a salvaguarda do nosso Património Histórico e Cultural.

Colaborações:

Na realização dos ensaios colaboraram as Técnicas Ludovina Matos, Ana Paula Menezes, Fátima Forreta, Luzia Barracha e Ana Paula Melo.

Agradecimentos:

Ao Prof. Doutor António Candeias do Departamento de Química da Universidade de Évora (UE) pela colaboração prestada na co-orientação do trabalho de estágio. Ao Prof. Doutor José Mirão do Departamento de Geociências da Universidade de Évora pelo apoio na observação petrográfica. Os autores querem expressar o seu agradecimento aos vários técnicos envolvidos na gestão e conservação dos monumentos que serviriam de fonte de estudo neste trabalho, muito em particular às equipas chefiadas pelos Doutores Cláudio Torres e Rafael Alfenin.

Lisboa e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em Julho em 2006

VISTOS

AUTORIA

A Chefe do Núcleo de Materiais Metálicos

Eng^a Maria Manuela Salta

Patrícia Adriano Licenciada em Química

A Directora do Departamento de Materiais

Eng^a Adélia Rocha

António Santos Silva Investigador Auxiliar

BIBLIOGRAFIA

 - Adriano, P., Santos Silva, A., 2006, "Caracterização de argamassas antigas da Igreja de Santa Maria de Évora – Sé Catedral de Évora", LNEC, Relatório 59/06 - NMM

- Alvarez, J.I., Navarro, I., Martín, A., Casado, P.J., 2000, "A study of the ancient mortars in the north tower of Pamplona's San Cernin Church", Cement and Concrete Research 30, p. 1413-1419

- Alvarez, J.I., Navarro, I., Martín, A., Casado, P.J., 2000, "Thermal, mineralogical and chemical studies of the mortars used in the Cathedral of Pamplona (Spain)", Thermochimica Acta 365, p. 177--187

- **Bakolas**, A., **Biscontim**, A., **Moropoulou**, A., **Zendri**, E., 1998, "Characterization of structural Byzantine mortars by thermogravimetric analysis", Thermochimica Acta 321, p. 151-160

- Bruno, B., Calabrese, D., Di Pierro, M., Genga, A., Laganara, C., Manigrassi, D.A.P., Traini, A., Ubbríaco, P., 2004, "Chemical-physical and mineralogical investigation on ancient mortars from the archaeological site of Monte Sannace (Bari - Southern Italy)", Thermochimica Acta 418, p. 131-141

- Carlos Ribeiro, disponível em carlosribeiro.portalcen.org/portugal/mértola.htm

- **Cruz**, M.J., 2005, "Relatório da Intervenção de Conservação e Restauro dos Revestimentos Arquitectónicos do Mihrab da Igreja Matriz de Mértola, Registo Técnico, Janeiro-Março 2005

- **Degryse**, P., **Elsen**, J., **Waelkens**, M., 2002, "Study of ancients mortars from Sagalassos (Turkey) in view of their conservation", Cement and Concrete Research 32, p. 1457-1463

- IPPAR, diponível em www.ippar.pt/patrimonio/itinerarios/alent_algarve/iti_mertola.html

- Jedrzejewska, H., 1960, "Old Mortars in Poland: A New Method of Investigation", Vol. 5, nº4, p. 132-138

- Maravelaki-Kalaitzaki, P., Bakolas, A., Moropoulou, A., 2003, "Physico-chemical study of Cretan ancient mortars", Cement and Concrete 33, p. 651-661

- Moropoulou, A., Bakolas, A., Bisbikou, K., 1995, "*Characterization of ancient, byzantine and later mortars by termal and X-ray diffraction techniques*", Thermochimica Acta, 269/270, p. 779-795

- Puertas, F., Blanco-Varela, M.T., Palomo, A., 1994, "Stuccos and roman concretes of the Baelo Cláudia city (Cádiz): Characterization and causes of decay", Materiales de Construcción, Vol. 44, nº236

- Santos Silva, A., Ricardo, J.M., Salta, M., Adriano, P., Mirão, J., Candeias, A.E., 2006, "Characterisation of Roman mortars from the historical town of Mértola", Heritage, Weathering and Conservation Conference (artigo aceite para publicação)

- Santos Silva, A., Candeias, A.E., Pais, A.C., Nogueira, P.M., 2005, "*Caracterização de Argamassas do Conjunto Monumental do Castelo de Viana do Alentejo*", Conservar Património, nº1, p. 21-32

- Schouenborg, B., Lindqvist, J-E., Sandström M., Sandim, K., Sidmar, E., 1993, "Analysis of old lime plaster and mortar from southern Sweden", Swedish National, Testing and Research Institute, SP Report 34

- Veiga, Sebastião Estácio da, 1880, "Memórias das antiguidades de Mértola", Lisboa, Imprensa Nacional

ANEXO Curvas de calibração para a análise elementar quantitativa por EAA







Figura 62 – Curva de calibração obtida por EAA para o sódio.


Figura 63 – Curva de calibração obtida por EAA para o potássio.



Figura 64 – Curva de calibração obtida por EAA para o magnésio.



Figura 65 – Curva de calibração do método potenciométrico.