

MARTIM PORTUGAL V. FERREIRA  
Coordenação

# A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos

VOL. 2 • RECURSOS GEOLÓGICOS E FORMAÇÃO



Coimbra • Imprensa da Universidade

## ESTUDO DA PRÁTICA ANCESTRAL ROMANA DE INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE TIJOLO PARA ARGAMASSAS COM PRESA HIDRÁULICA

A. L. VELOSA<sup>1</sup>, J. COROADO<sup>2</sup>, M. R. VEIGA<sup>3</sup> e F. ROCHA<sup>4</sup>

**PALAVRAS-CHAVE:** argamassas, incorporação de resíduos, período romano.

**KEY WORDS:** mortars, incorporation of residues, roman era.

### RESUMO

Actualmente, visitando as ruínas das antigas conurbações Romanas, é possível constatar o excelente estado de preservação de rebocos com séculos de existência. Com o intuito de aprofundar conhecimentos sobre a composição destas argamassas foram recolhidas amostras em Cetóbriga (Tróia) e Conimbriga, tendo a amostragem sido efectuada em revestimentos de tanques e habitações e tendo-se constatado a presença quase invariável de partículas cerâmicas nas amostras retiradas. A caracterização destas argamassas envolveu a realização de análises e ensaios tais como: determinação do traço das argamassas através de dissolução ácida, a micro-morfologia através do estudo de lâminas delgadas ao microscópio óptico com luz transmitida e polarizada (MOLTP), a granulometria dos agregados utilizados através da peneiração a seco, a composição mineralógica utilizando a Difractometria de Raios X (DRX) e a composição química através da análise química por Fluorescência de Raios X (FRX) e por Espectroscopia de Absorção Atómica (AAS). Após o conhecimento da composição das argamassas e da interacção química entre os seus componentes, procedeu-se ao desenho de novas argamassas com propriedades semelhantes, recorrendo quer à redução de materiais cerâmicos até

<sup>1</sup> S.A.Engº. Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, avelosa@civil.ua.pt

<sup>2</sup> Instituto Politécnico de Tomar, Dep. Arte, Arqueologia e Restauo, Tomar, jcoroado@ipt.pt

<sup>3</sup> L.N.E.C., Lisboa; rveiga@lnec.pt

<sup>4</sup> Dep. Geociências, Universidade de Aveiro, Aveiro, frocha@geo.ua.pt

às granulometrias observadas naquelas argamassas quer a cozeduras controladas (por análises térmicas gravimétricas (ATG), diferenciais (DSC) e dilatométricas (ATD)) de materiais argilosos para obter destes a maior reactividade pozolânica.

**ABSTRACT: Study of the ancient Roman practice of brick residue incorporation in mortars with hydraulic hardening**

Nowadays, visiting the ruins of the old Roman cities, it is possible to verify the excellent preservation state of renders with centuries of existence. With the ordeal of deepening knowledge on the composition of these mortars, specimens were collected both in Tróia (Cetóbriga) and Conímbriga from renders in tanks and residential buildings, having the almost constant presence of ceramic particles in these specimens been verified. The characterization of these mortars led to the execution of a series of laboratorial tests, such as: determination of the mortar's volumetric composition by acid dissolution, its micro-morphology through the study of thin sections at the optical microscope with polarized and transmitted light (OMPTL), the granulometric analysis of the aggregates by dry sieving, the mineralogic composition using X Ray Diffractometry (XRD) and the chemical composition through chemical analysis by X Ray Fluorescence (XRF) and Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). After obtaining this knowledge on mortar composition and of the chemical interaction between its components, new mortars with similar properties were developed, using grinded ceramic materials with a studied granular curve and heating at controlled temperatures (using Thermo Gravimetric Analysis (TGA), Differential (DSC) and Dilatometric (TDA)) of argillaceous materials in order to obtain higher pozzolanic reactivity.

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS CERÂMICOS EM ARGAMASSAS NA ÉPOCA ROMANA**

A utilização de material cerâmico de construção fragmentado, “pó de tijolo”, em argamassas de revestimento era prática comum durante a época Romana, como é possível constatar nas numerosas ruínas que subsistem com os seus edifícios rebocados com argamassas em tons rosados. De facto, pensa-se que o recurso a este material com o intuito de fabricar argamassas que tivessem melhores propriedades, se dava principalmente em zonas onde não era possível o acesso à pozolana natural. O cerâmico moído, com certas características (temperatura de cozedura, granulometria e composição), reage com a cal, na presença de água, da mesma forma que a pozolana, formando compostos (silicatos de cálcio hidratados) que conferem às argamassas algumas propriedades hidráulicas, melhorando o seu

desempenho em obra. Estas argamassas, dotadas de alguma hidraulicidade, foram as primeiras argamassas hidráulicas, capazes de endurecerem debaixo de água e precursoras das argamassas actuais. Através da publicação 'Os Dez Livros de Architectura'(1) da autoria de Vitruvius, é possível obter um relato bastante completo das técnicas de construção durante o Período Romano. Nesta compilação é mencionada por diversas vezes a utilização de material cerâmico moído como constituinte de argamassas, no intuito de melhorar as suas características. No Capítulo 5 do Livro 2, Vitruvius afirma que a adição de uma terceira parte de material cerâmico moído a uma argamassa com duas partes de areia e uma parte de cal produzirá uma argamassa melhorada. A utilização deste material em pavimentos é igualmente mencionada, por Vitruvius, no Capítulo 1 do Livro 7, como componente da camada superior; em situações húmidas, a aplicação de argamassas com pó de tijolo é também sugerida (Capítulo 4 do Livro 7).

Para além destes testemunhos da forma como era utilizado o material cerâmico moído em argamassas, pouco mais é do conhecimento actual, subsistindo várias questões relativas à tecnologia subjacente à execução de rebocos com tão elevada durabilidade. Em primeiro lugar, em relação à matéria-prima, não se sabe qual a sua exacta proveniência, se eram restos cerâmicos indiferenciados ou material produzido especificamente para o efeito. A maioria dos tijolos produzidos nesta altura não era cozida, eram apenas sujeitos a secagem ao sol (Vitruvius, Livro 2, Capítulo 2). Contudo, os produtos de base argilosa que eram sujeitos a cozedura, eram-no em fornos tradicionais com menor capacidade calorífica do que os fornos modernos e proporcionando cozeduras a temperaturas mais baixas do que as que são utilizadas na actualidade. Quanto à granulometria do material cerâmico, é necessário determiná-la e verificar a sua aleatoriedade ou se era utilizada de forma estudada. Finalmente, embora alguns traços sejam mencionados por Vitruvius, é fundamental verificar a proporção de materiais empregues em cada camada de reboco e para cada tipo de construção, de forma a aferir possíveis diferenças.

## RECOLHA DE AMOSTRAS

A amostragem foi efectuada em dois conjuntos de ruínas da Época Romana: Conímbriga e Tróia. Conímbriga foi urbanizada no séc. I A.C., tendo sofrido intervenções/crescimento nos séc. I e III; trata-se de um aglomerado com configuração de cidade, com zona habitacional, termas, aqueduto, forum e templo (2). O aglomerado de Tróia é mais tardio, com a sua época de construção estendendo-se desde o séc. I ao séc. VI. Composto por uma área habitacional, um balneário, 4 zonas de enterramento, um núcleo religioso e vários núcleos industriais, tinha como actividade fundamental a indústria conserveira, da qual subsistem vários conjuntos de cetárias (tanques de salga para peixe) (2).

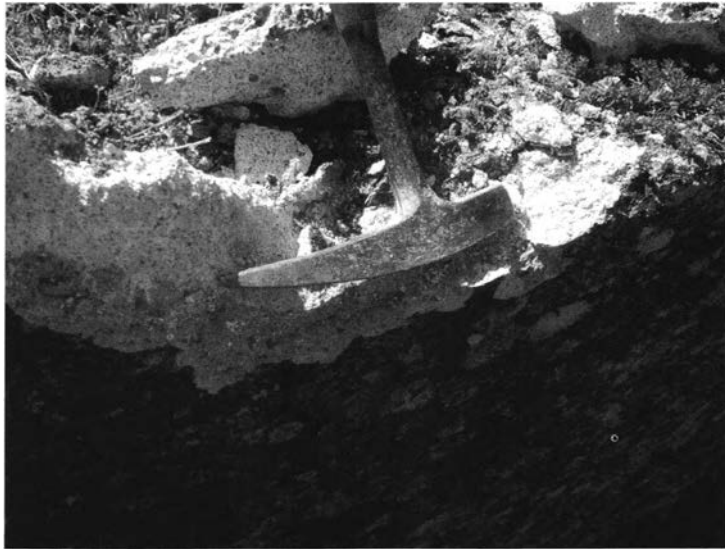


Foto 1 – Recolha de amostras em Conímbriga.

De forma a provocar o mínimo dano possível nos rebocos existentes, a remoção de argamassas para estudo foi apenas efectuada preferencialmente em zonas onde o reboco se encontrava facilmente destacável e nas quantidades mínimas necessárias para análise, sendo critério fundamental a obtenção de amostras originais.

Em ambos os casos, a amostragem foi efectuada em construções de utilização diversa, conforme Quadro I.

Quadro I – Localização e Tipo de Edifício das amostras estudadas.

Amostra	Local de Extração	Tipo de Edifício
30	Tróia	Cetária do núcleo principal da fábrica de salga
31	Tróia	Cetária junto estuário
32/33	Tróia	Fábrica de salga
34	Tróia	Balneário, tanque de água fria
35	Tróia	Cetária junto estuário
CON1	Conímbriga	Termas do sul/piscina de água fria
CON2	Conímbriga	Termas do sul/piscina de água fria
CON3	Conímbriga	Termas do sul/tanque de água fria
CON4	Conímbriga	Termas do sul/tanque de água fria
CON5	Conímbriga	Termas do sul/tanque de água fria
CON11	Conímbriga	Tanque Casa Cantaber
CON12	Conímbriga	Peristilo Casa Cantaber
CON13	Conímbriga	Revestimento interior C24
CON14	Conímbriga	Revestimento pintado C24
CON15	Conímbriga	Revestimento interior C34

## METODOLOGIA E FUNDAMENTAÇÃO DA ANÁLISE

### – Determinação do traço por dissolução ácida

A separação entre ligante (fundamentalmente cal) e agregado (cerâmico moído e areia) foi efectuada utilizando ácido acético, de forma a evitar o ataque das fase silicatadas. A metodologia adoptada implicou a secagem da amostra a 110°C, a pesagem de 20g da amostra e adição de 400ml de ácido acético. Após filtragem, lavagem e secagem até peso constante do resíduo obtido foi possível determinar a quantidade de agregado (cerâmico e areia) e conseqüentemente de ligante, utilizados na argamassa.

### – Granulometria do resíduo

Partindo do resíduo obtido na dissolução ácida, foi efectuada a análise granulométrica a seco do agregado utilizando a seguinte série de peneiros (mm): 63, 75, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 e 8000.

### – Micro-morfologia

A execução de lâminas delgadas das argamassas foi efectuada tendo em conta a sua consolidação devido à elevada friabilidade de algumas amostras. A visualização das lâminas ao microscópio óptico com luz transmitida e polarizada fornece informações sobre a estrutura das argamassas, fundamentalmente sobre os materiais constituintes e a sua interacção.

### – Composição mineralógica

Após limpeza, secagem e redução a pó, amostras das diversas argamassas foram sujeitas à análise por Difracção de Raios X (DRX), a forma a permitir a obtenção de informação sobre a sua composição mineralógica. Através destes dados, é possível indicar quais os materiais constituintes das argamassas e verificar a existência de reacções pozolânicas através da formação de certos minerais.

### – Composição química

A determinação da composição química das argamassas permite, juntamente com a análise por DRX, verificar a potencialidade de ocorrência de reacções pozolânicas na argamassa, para além de fornecer mais dados sobre a sua composição. Para estimar a ocorrência de fases hidráulicas procedeu-se à determinação do teor em sílica solúvel pelo método clorimétrico a partir do primeiro filtrado após a fusão da amostra de argamassa com Carbonato de sódio.

## RESULTADOS EXPERIMENTAIS

### – Determinação de traço

A dissolução de 20,0g de cada argamassa em ácido acético revelou os resultados que figuram no Quadro II.

Quadro II – Valores da relação da quantidade de ligante e de agregado nas amostras estudadas

Argamassa	Ligante (g)	Agregado (g)	Razão Líg./Agr.
Tróia 30	7,31	12,69	1:1,75
Tróia 35	5,70	14,30	1:2,50
CON 1	6,01	13,99	1:2,33
CON 4	3,86	16,14	1:4,18
CON 5int	5,48	14,52	1:2,65
CON 5ext	5,90	14,10	1:2,34

As argamassas estudadas apresentam alguma variabilidade quanto à quantidade de ligante e agregado, com a mínima quantidade de ligante encontrada em Conímbriga (3,86g) e a máxima quantidade encontrada em Tróia (7,31g). Os valores da razão entre o ligante e o agregado são, no caso das argamassas de Tróia superiores, relativamente às argamassas de Conímbriga.

#### – Análise Granulométrica

Os resultados da análise granulométrica do agregado de algumas argamassas estudadas encontram-se representadas nas figuras 1 a 4.

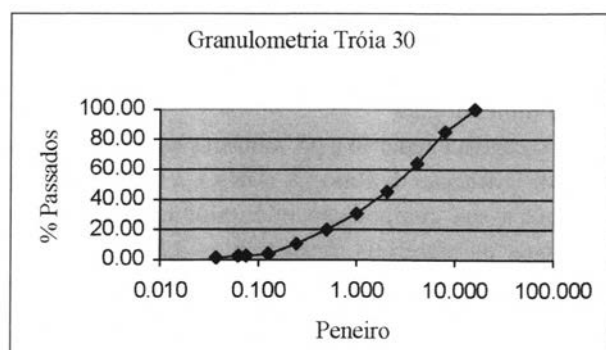


Fig. 1 – Análise Granulométrica Tróia 30.

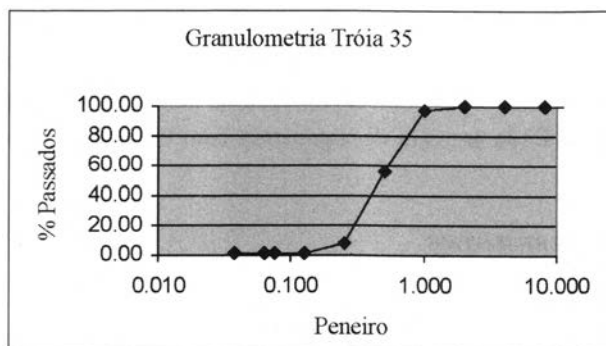


Fig. 2 – Granulometria Argamassa 35.

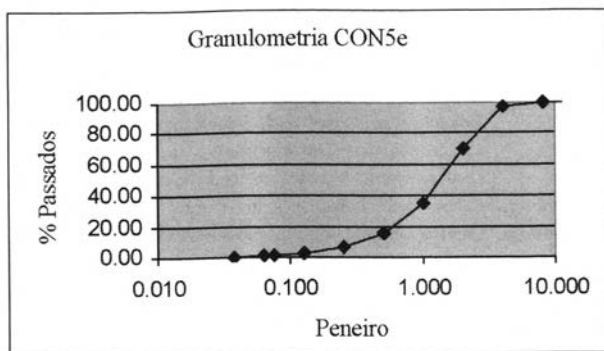


Fig. 3 – Granulometria Argamassa CON5e.

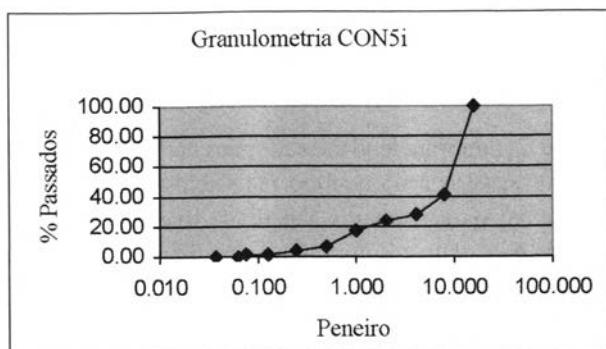


Fig. 4 – Granulometria Argamassa CON5i.

Os agregados utilizados nas argamassas de Tróia, figuras 1 e 2, apresentam granulometria muito variável, consoante o local de recolha da amostra. No que se refere aos agregados utilizados nas argamassas de Conímbriga, figuras 3 e 4, encontram-se representadas as curvas granulométricas da camada interior e exterior de um mesmo revestimento, sendo possível denotar que a camada interior da argamassa CON5 possui mais grossos do que a camada exterior sendo contudo necessário verificar se este é um padrão comum aos revestimentos Romanos através de um maior número de análises.

– Composição mineralógica

Os resultados obtidos para as amostras das diversas argamassas que foram sujeitas à análise por Difrração de Raios X (DRX) estão apresentados no Quadro III.



Quadro III – Caracterização mineralógica.

Amostra	Localização	Caracterização mineralógica
30	Tróia	Quartzo>calcite>feldspatos>filossilicatos>dolomite>sulfatos
31	Tróia	Quartzo>calcite>dolomite>feldspatos>cloreto>sulfatos>filossilicatos
31 revestimento	Tróia	Dolomite>calcite>quartzo>feldspatos>filossilicatos
33	Tróia	Calcite>dolomite>quartzo>feldspatos>filossilicatos>cloreto
35	Tróia	Quartzo>calcite>feldspatos>dolomite>cloreto>sulfatos>filossilicatos
Con 1	Conímbriga	Calcite>quartzo>feldspatos>filossilicatos>magnesite>dolomite>sulfatos>cloreto
Con 3	Conímbriga	Quartzo>calcite>feldspatos>filossilicatos>magnesite>dolomite>sulfatos>cloreto
Con 4	Conímbriga	Quartzo>calcite>filossilicatos>feldspatos>dolomite>sulfatos>cloreto
Con 5	Conímbriga	Quartzo>calcite>filossilicatos>feldspatos>dolomite>cloreto>sulfatos
Con 5 Cam. Int.	Conímbriga	Calcite>quartzo>feldspatos>filossilicatos>sulfatos
Con 5 Cam. Ext.	Conímbriga	Quartzo>calcite>filossilicatos>feldspatos>magnesite>dolomite>cloreto>sulfatos
Con 12	Conímbriga	Quartzo>calcite>feldspatos>filossilicatos>dolomite>sulfatos>cloreto
Con 13	Conímbriga	Quartzo>calcite>feldspatos>filossilicatos>dolomite>sulfatos>cloreto
Con 14 int. front.	Conímbriga	Quartzo>calcite>feldspatos>filossilicatos>dolomite>sulfatos>cloreto
Con 15 reb.int escavação	Conímbriga	Calcite>>quartzo>cloreto>dolomite

As amostras de Conímbriga tendem a ser mais carbonatadas (chegando a soma dos carbonatos a ultrapassar a do quartzo mais feldspatos) e também algo mais ricas em filossilicatos; os carbonatos são mais diversificados, registando-se a presença não apenas de calcite e dolomite mas também de magnesite e, nalgumas amostras, de siderite. Cloretos e sulfatos são mais comuns. As amostras de Tróia são consequentemente menos ricas em filossilicatos e em carbonatos (com excepção da 33 e da 31 revestimento), estando estes representados apenas por calcite e dolomite, com este último a assumir importância relevante nas amostras atrás referidas.

#### – Composição química

Os resultados obtidos para as amostras que foram sujeitas à análise por Fluorescência de Raios X (FRX) estão apresentados nos Quadros IV e V.

Comparativamente com as de Tróia, as amostras de Conímbriga apresentam valores tendencialmente mais elevados em  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  e  $SiO_2$ , reflectindo a sua maior riqueza relativa em filossilicatos, e mais baixos em  $MgO$  e  $Na_2O$ .

398

Comparativamente com as de Tróia, as amostras de Conímbriga tendem a ser mais ricas em Ba, Sn, Zr, Y, Zn, Cr e V, e mais pobres em Sr e Nb.

Em amostras seleccionadas determinou-se o teor da sílica solúvel, pelo método colorimétrico (Quadro VI).

Os valores obtidos são meramente indicativos, uma vez que o número das amostras é diminuto e o método analítico não está ainda suficientemente aferido com outros materiais. Verifica-se que a amostra que foi recolhida na camada interior é aquela que contém maior teor de sílica reactiva.

Quadro IV – Caracterização química (elementos maiores, %).

Amostra	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MNO	TiO <sub>2</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	P.R.
Tróia 30	2,04	0,03	0,33	19,80	1,15	0,25	43,04	6,58	2,96	0,82	19,51
Tróia 31 Rev	0,67	0,03	0,07	27,79	0,48	0,16	24,58	1,82	5,05	2,93	32,96
Tróia 31	0,59	0,02	0,04	31,49	0,10	0,05	1,09	0,55	16,25	1,19	45,18
Tróia 33	1,02	0,02	0,19	36,52	0,20	0,15	8,01	1,28	8,51	0,32	39,28
Tróia 35	0,21	0,01	0,03	17,50	0,81	0,16	52,13	1,56	1,58	1,07	18,58
Con. 1	2,29	0,03	0,34	20,32	1,16	0,32	35,48	8,93	2,51	0,69	21,06
Con. 3	3,88	0,05	0,57	12,05	0,94	0,26	42,61	10,87	4,66	0,38	15,67
Con. 4	2,93	0,05	0,45	13,90	1,03	0,31	41,21	9,41	4,48	0,39	17,13
Con. 5	3,17	0,04	0,45	17,69	0,86	0,29	34,90	9,12	4,16	0,33	19,96
Con. 5 C.int	2,81	0,04	0,39	22,05	0,71	0,31	28,42	7,52	4,01	0,32	24,37
Con. 5 C. ext	3,16	0,04	0,47	14,77	0,70	0,22	39,48	8,27	4,23	0,27	17,88
Con. 12	2,69	0,06	0,40	11,84	1,97	0,39	43,04	9,70	4,09	0,51	13,59
Con. 13	0,57	0,03	0,07	13,33	0,39	0,20	54,43	1,68	2,70	0,17	14,02
Con. 14	0,74	0,01	0,09	6,16	1,31	0,10	67,06	3,29	0,53	0,51	10,08
Con. 15	0,27	0,02	0,03	40,80	0,10	0,09	8,67	0,38	1,27	0,08	38,37
Conimbriga1	2,37	0,03	0,38	22,65	1,15	0,32	36,43	9,25	2,52	0,57	23,21
Conimbriga2	3,59	0,02	0,63	12,95	1,36	0,35	51,21	11,31	1,46	0,58	14,48
Conimbriga3	4,52	0,05	0,67	11,12	1,03	0,33	47,04	12,04	5,44	0,45	14,44

Quadro V – Caracterização química (elementos menores, ppm).

Amostra	Ba	Sn	Zr	Nb	Y	Sr	Rb	Pb	As	Zn	W	Cu	Ni	Co	Cr	V
Tróia 30	184	3	83	24	14	86	55	20	10	9	<5	21	21	5	37	34
Tróia 31 rev.	84	4	28	38	10	88	29	11	<5	<5	<5	5	18	<5	12	19
Tróia 35	132	6	27	28	11	83	32	68	<5	<5	<5	8	15	<5	19	12
Con 1	172	8	131	24	19	77	72	49	5	92	<5	8	27	3	38	36
Con 3	192	11	165	8	19	48	58	63	9	110	<5	15	29	7	69	46
Con 4	179	11	151	16	19	47	68	38	14	137	<5	15	26	6	53	49
Con 5	161	9	131	19	17	63	55	136	6	120	<5	14	25	6	47	45
Con 5 C. Int.	123	5	95	25	15	49	49	24	5	95	5	10	21	5	36	37
Con 5 C. Ext.	155	10	126	2	16	46	51	52	11	150	12	18	25	5	54	34
Con 12	246	23	179	18	22	60	99	81	<5	83	<5	43	25	5	30	34
Con 13	117	2	47	20	12	37	27	15	5	38	<5	15	16	<5	24	19
Con 14	202	8	68	25	16	29	70	26	6	51	<5	16	18	<5	39	17
Con 15	257	8	130	29	9	34	26	32	<5	21	<5	5	15	<5	21	11
Conimb.1	152	10	162	18	18	81	68	72	7	21	<5	10	21	5	28	31
Conimb.2	158	12	183	31	20	67	72	42	5	9	<5	12	24	7	59	44
Conimb.3	214	13	174	17	20	48	61	66	5	29	<5	18	28	6	68	57

Quadro VI – Valores de sílica solúvel

Referência	(%) SiO <sub>2</sub>
Tróia 30	2,82
Tróia 35	2,98
CON - 1	5,06
CON5EXT	1,55
CON5INT	6,08

Considerando os dados disponíveis e no sentido de melhorar o conhecimento destas argamassas colocam-se algumas questões, que devem nortear as futuras recolhas e análises de materiais, sendo as mais significativas:

- Existe diferença clara entre a zona interior e a exterior duma argamassa de superfície, relativamente ao teor de sílica solúvel?
- Qual a capacidade de dissolução da sílica solúvel do meio ambiente (utilização, chuva, enterramento, etc)?

Atendendo ao caso de estudo presente a acção de lavagem das águas do mar no caso das argamassas de Tróia podem diminuir significativamente o teor de sílica solúvel.

#### **FORMULAÇÃO DE NOVAS ARGAMASSAS**

De forma a possibilitar a resolução de deficiências de reboco, resultantes da sua degradação por exposição climática, serão efectuadas formulações de novas argamassas, baseadas nas análises efectuadas às argamassas originais. É de vital importância a utilização de uma argamassa adequada para esta finalidade, sob pena de potenciação da degradação do restante reboco. Sendo assim, a nova formulação deve respeitar os requisitos de compatibilidade com o reboco existente, sendo tal objectivo mais fácil de atingir se esta for executada com materiais semelhantes aos originais e com base na mesma técnica. O respeito pelo cromatismo e pela textura e a compatibilidade física e mecânica são os requisitos básicos a atingir.

A possibilidade da existência de uma reacção pozolânica entre o cerâmico e a cal e a contribuição dessa reacção para o melhoramento do comportamento das argamassas são questões basilares neste estudo. Dado que trabalhos anteriores comprovam (3,4) que a temperatura de cozedura dos cerâmicos tem uma influência significativa na sua reactividade, a determinação da temperatura de cozedura que induza maior reactividade pozolânica, para diversos tipos de argila, permite a execução de argamassas com melhores propriedades. A determinação da temperatura de cozedura 'ideal' pode ser efectuada utilizando técnicas de ATG, DSC e ATD.

Finalmente é preciso confirmar se argamassas obtidas têm características físicas e mecânicas compatíveis com os antigos suportes, quer através de pequenas aplicações experimentais, quer através da determinação laboratorial das principais propriedades que determinam essa compatibilidade e que são as que condicionam, nomeadamente, o comportamento à água e a transmissão de tensões ao suporte (5).

## BIBLIOGRAFIA

- (1) RUA, H., 1998, *Os dez livros de arquitectura de Vitruvius*, IST, Lisboa.
- (2) [www.monumentos.pt](http://www.monumentos.pt)
- (3) VELOSA, Ana Luísa; VEIGA, Maria do Rosário, Maio 2003 – *Desempenho de argamassas de cal com pó de tijolo. Influência da temperatura de cozedura dos tijolos*, 3ºENCORE Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, LNEC, Lisboa.
- (4) TEUTONICO, Jeanne Marie; ASHAL, G.; BUTLIN, W., May 1996 – *Development of lime mortar formulations for use in historic buildings. A report on the Smeaton Project, a joint research programme of English Heritage, ICCROM; Bournemouth University and the BRE - Proceedings of the Seventh International Conference on Durability of Building Materials and Components*, Sweden.
- (5) VEIGA, Rosário; CARVALHO, Fernanda; 2002 – *Argamassas de reboco para paredes de edifícios antigos: requisitos e características a respeitar*, LNEC, Lisboa.