

Congresso Construção 2007 - 3.º Congresso Nacional
17 a 19 de Dezembro, Coimbra, Portugal
Universidade de Coimbra

Estado da arte sobre tijolos antigos

Francisco M. Fernandes e Paulo B. Lourenço

Investigador Pós Doutoramento, Professor Catedrático
Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães
e-mail: fmcpf@civil.uminho.pt, pbl@civil.uminho.pt

Resumo

A prática moderna na conservação de edifícios históricos é uma tarefa complexa, que requer um diagnóstico profundo e cuidadoso. A investigação preliminar é essencial afim de intervir correctamente. A recolha de informação apropriada sobre o edifício e a avaliação das propriedades mecânicas dos materiais são fundamentais. No entanto, a avaliação das propriedades dos materiais é difícil devido à complexidade dos materiais antigos. É ainda imprescindível conhecer o estado de conservação da estrutura, a extensão dos danos, a ocorrência de humidades, a geometria e características escondidas tais como vazios, fendas e destacamentos.

Assim, com o intuito de aumentar o conhecimento sobre materiais de construção antigos utilizados em Portugal, foi efectuada a caracterização de tijolos cerâmicos provenientes de seis mosteiros Portugueses do século XII a XIX. Os resultados mostraram uma grande dispersão, evidenciando as seguintes características: porosidade e sucção elevadas e baixa resistência à compressão. A composição química indica igualmente que estes tijolos não foram fabricados com o mesmo tipo de matéria-prima que os artefactos antigos de cerâmica. A estes resultados foram adicionados os resultados duma pesquisa sobre tijolos cerâmicos utilizados em monumentos espalhados por todo o mundo e de diversas épocas.

Palavras-chave: alvenaria antiga, tijolos cerâmicos, propriedades físicas, caracterização mecânica, análise química.

1 Introdução

Nas últimas décadas, os estudos efectuados em estruturas históricas e materiais antigos aumentaram significativamente devido ao reconhecimento da importância estratégica que os edifícios históricos constituem, devido a razões culturais e económicas. Estas estruturas caracterizam-se por uma elevada variedade de materiais e propriedades. No caso da alvenaria de tijolo de argila, os estudos têm focado essencialmente as principais propriedades mecânicas (resistência à compressão e módulo de elasticidade) e no comportamento do material composto [1], as técnicas de reabilitação [2], a vulnerabilidade sísmica, a deterioração física e química e a poluição [3, 4], entre outras propriedades com menos expressão.

A informação sobre tijolos de argila antigos é bastante escassa. Os materiais antigos são geralmente diferentes dos modernos e, frequentemente, exibem características mais fracas, tais como uma porosidade e absorção de água elevadas e uma resistência à compressão e módulo de elasticidade baixos. A maioria dos estudos tem por objectivo o processo de envelhecimento dos materiais, a durabilidade e a deterioração físico-química dos tijolos de argila antigos [9, 10, 11], etc. Outros autores estudaram o processo de produção afim de conseguir obter propriedades físicas (porosidade e absorção de água) e mecânicas (resistência à compressão) apropriadas [5, 6], assim como os efeitos de alguns aditivos nas propriedades dos tijolos novos de argila [7] e o efeito da poluição e do meio ambiente [4].

Geralmente, a caracterização completa de tijolos antigos oriundos de monumentos é uma tarefa muito morosa devido à complexidade dos materiais antigos e estruturas históricas, mas muito importante, já que permite definir o estado de conservação dos materiais assim como da possibilidade de reutilizar ou de substituir material antigo. A reparação e a substituição de material antigo são uma matéria de interesse em cada intervenção no património, embora a reparação de monumentos tenha sido sistematicamente realizada ao longo dos séculos, geralmente utilizando materiais similares encontrados na vizinhança ou recuperados das ruínas de uma estrutura próxima. No entanto, nas últimas décadas, as intervenções no património foram efectuadas com recurso a materiais modernos, o que resultou, na maioria dos casos, em intervenções de fraca qualidade. A maioria dos materiais modernos é, geralmente, incompatível com os materiais antigos, porque apresentam uma resistência e módulo de elasticidade muito mais elevados. Hoje em dia, a falta de procedimentos padrão pelos quais os tijolos antigos possam ser caracterizados [5] e a falta de conhecimento das características desses mesmos materiais dificulta significativamente a reutilização de material existente e a seleção de materiais de substituição mais apropriados a cada caso. O conhecimento das propriedades físicas e mecânicas de tijolos antigos de argila e a identificação da matéria-prima mais apropriada permitirá obter tijolos novos mais apropriados para a substituição dos tijolos antigos. Nesse sentido, foram avaliadas as principais propriedades físicas (densidade, porosidade e absorção de água) e a resistência à compressão de uma amostra de tijolos de argila antigos obtidos de seis monumentos Portugueses dos séculos XII a XIX.

No entanto, as características da matéria-prima (argila) desempenham igualmente um papel fundamental nas propriedades finais do tijolo de argila [8]. Deste modo, foi avaliada a constituição química da mesma amostra. Através da identificação dos constituintes químicos mais importantes, foi possível estimar o local de origem da matéria-prima. Esta informação pode revelar-se muito importante pois poderia ser usada para produzir tijolos novos que poderiam ter, potencialmente, uma constituição química similar e, conseqüentemente, um comportamento expectável, desde que a técnica da produção continue tradicional.

2 Descrição da origem dos tijolos

A amostra de tijolos de argila antigos recolhida para este estudo é constituída por um grupo de tijolos oriundos de seis monumentos nacionais, sendo que a maioria deles estão localizados no Norte do país, como ilustrado na Figura 1. A Tabela 1 apresenta uma breve descrição do material antigo em termos de acrónimo, número de espécimes recolhidos, período e origem, com exemplos destes ilustrados nas Figura 2 e Figura 3. Note-se que a amostra de tijolos antigos concentra-se no Norte de Portugal, devendo-se essencialmente a restrições na recolha de materiais de edifícios antigos.



Figura 1 – Mapa com a localização dos monumentos e das oficinas de tijolos tradicionais.

Tabela 1 – Descrição da origem e número de espécimes do material antigo recolhido.

Monumento	Acrónimo (espécimes)	Período de construção (século)	Localização
Igreja de Santo Cristo do Outeiro	OU (10)	XVII	Outeiro (Bragança)
Mosteiro do Pombeiro	PO (34)	XII a XVI	Pombeiro (Felgueiras)
Mosteiro de Salzedas	SA (27)	XII a XVIII	Salzedas (Tarouca)
Mosteiro de São João de Tarouca	TA (28)	XII a XVII	São João de Tarouca (Tarouca)
Mosteiro de São Martinho de Tibães	TI (32)	XVII	Mire de Tibães (Braga)
Convento de Cristo	TO (16)	XVIII a XIX	São João Baptista (Tomar)



Figura 2 – Exemplos de tijolos do Mosteiro de Salzedas (SA), da Igreja do Outeiro (OU) e do Mosteiro do Pombeiro (PO).



Figura 3 – Exemplos de tijolos dos Mosteiros de São João de Tarouca (TA), Tibães (TI) e do Convento de Cristo, em Tomar (TO).

3 Resultados

Foram determinadas as grandezas físicas e mecânicas mais importantes para a caracterização do estado de conservação dos tijolos antigos, tais como a densidade, porosidade e absorção de água, assim como a resistência à compressão. Os resultados obtidos dos tijolos recolhidos dos seis monumentos citados foram depois comparados com os obtidos através de uma pesquisa bibliográfica exaustiva, abrangendo dezenas de estudos e livros sobre diversos monumentos construídos com tijolo maciço de várias épocas e espalhados por todo o mundo.

Para a determinação das grandezas físicas sugeridas, foram utilizadas normas elaboradas para o tijolo moderno, na falta de regulamentos específicos para estes materiais. Assim, as normas em questão foram: RILEM LUMA4 TC 76 (1991) e LNEC E394 (1993) para a determinação da absorção de água, e ASTM C67-98a (1998) e os métodos sugeridos pelo ISRM (1978) para a determinação da resistência à compressão. Já a porosidade e a densidade foram obtidas através dos resultados obtidos pelo ensaio de absorção de água.

3.1 Propriedades físicas

Os resultados obtidos nos ensaios efectuados com os tijolos recolhidos nos monumentos nacionais estão apresentados na Tabela 2. Os resultados mostram que a amostra é relativamente homogénea, tendo os tijolos exibido valores próximos e com baixa variabilidade. Uma nota para os tijolos oriundos de Tomar (TO) que exibem uma porosidade e absorção mais baixos, apesar de possuírem uma densidade igualmente mais baixa que os restantes tijolos.

Tabela 2 – Propriedades físicas das amostras de tijolos antigos (número de elementos considerados entre parênteses rectos).

Amostra	Densidade [kg/m ³]	Absorção de água [%]	Porosidade [%]
OU (9)	1742	21.3	33.0
PO (34)	1754	15.8	26.3
SA (27)	1800	17.6	28.2
TA (25)	1747	17.8	29.2
TI (33)	1739	18.8	30.4
TO (16)	1656	15.0	27.5

A pesquisa de diversos estudos sobre avaliação de matérias e estruturas antigas permitiu recolher um grande volume de dados, dos quais vão ser apresentados os principais resultados. Em geral, o tijolo histórico exhibe uma elevada dispersão das suas propriedades.

Relativamente à porosidade, valores situados entre os 15 e 40 % eram comuns [28]. Tijolos do período bizantino com porosidades compreendidas entre os 26 e 55 % foram reportados por Livingston [29] e tijolos oriundos de igrejas dos séculos IX, X e século XIII [30] apresentavam valores de porosidade entre 21 a 35 %. A dimensão e distribuição dos poros são influenciados pela qualidade da argila, a quantidade de água e a temperatura de cozedura. Diversos estudos demonstraram que a presença de poros de grandes dimensões e com poucas conexões entre poros é benéfica para a resistência e durabilidade dos tijolos [17, 31] relativamente a redes conectadas de poros de pequena dimensão, que tendem a favorecer a ocorrência de eflorescências e a circulação de água. Este fenómeno foi reportado em [32]. A porosidade de tijolos cozidos a baixas e altas temperaturas nos séculos XII-XII e nos séculos XII-XIV, respectivamente foram reportados em [13]. Os primeiros exibiram uma porosidade de 32.5 % e um diâmetro médio do poro de 0.13 μm , enquanto que os segundos apresentavam uma porosidade mais elevada, 43.1 %, e um diâmetro médio do poro ainda maior de 0.61 μm . Já relativamente à absorção de água, os valores apresentados na Tabela 3 demonstram uma elevada dispersão dos valores.

Tabela 3 – Valores da absorção de água obtidos na pesquisa bibliográfica [9, 13, 19].

Data (século)	Local	Absorção de água [%]
III-IV	S. Lorenzo, Itália	14.5 a 17.5
XII-XIII	Paredes medievais, Itália	19.0
XIII-XIV	Habitacões, Itália	22.0
XV-XVI	S.M. Incononata, Itália	14.5 a 17.5
XVI	Hospital de Sevilha, Espanha	11.0 a 22.0
XVII-XVIII	S. Eustorgio, Itália	14.5 a 17.5

Finalmente, valores típicos para a densidade parecem estar situados entre 1200 e 1900 kg/m^3 [29, 32]. Tijolos do século XIII-XIV apresentam valores à volta de 1780 kg/m^3 [9]. Em diversas amostras de tijolos da cidade de Toledo, valores de 1600 e 1510 kg/cm^3 foram reportados, respectivamente, em estruturas dos séculos XII e XIII e casas dos séculos XIII e XIV [13]. Finalmente, em [30], tijolos do século X exibiam valores de porosidade de cerca de 1600 kg/m^3 enquanto que tijolos do século XIII apresentavam valores ligeiramente superiores (1600-1830 kg/m^3).

3.2 Propriedades mecânicas

A avaliação das propriedades mecânicas de tijolos pertencentes a edifícios antigos é muito difícil devido à sua elevada variabilidade. Adicionalmente, os resultados dos testes são influenciados pela deterioração dos tijolos pelo meio ambiente e por acção química, física e mecânica, tais como sais solúveis, ciclos de gelo/degelo, carga/descarga, e pelas condições de ensaio. As propriedades originais dos tijolos são, muitas vezes difíceis de obter, sendo unicamente possível obtê-las através da produção de tijolos por métodos tradicionais e matéria-prima similar à usada pelos tijolos antigos [32].

Os ensaios efectuados foram constituídos por ensaios de compressão uniaxiais, cujos detalhes podem ser encontrados em [27]. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 4. O valor médio de resistência à compressão está compreendido entre os 6.7 e os 21.8 N/mm^2 , com coeficientes de variação elevados (40 a 50 %), o que indica uma elevada variabilidade da resistência à compressão. Em particular, a resistência à compressão dos tijolos de Tomar (TO) e Salzedas (SA) varia significativamente dos outros quatro grupos de tijolos, e parece estar relacionada com o diferente período de construção destes materiais e com os processos tecnológicos de fabrico disponíveis na altura da produção, devido ao facto destes tijolos serem os mais recentes da amostra, e o local onde estes foram recolhidos. Os tijolos de Outeiro (OU), Pombeiro (PO), Tarouca (TA) e Tibães (TI) foram recolhidos de abóbadas, restos enterrados, aterros e material de enchimento, enquanto que os tijolos de

Tomar (TO) e Salzedas (SA) foram essencialmente obtidos de elementos construídos. Do mesmo modo, a deterioração e o meio ambiente podem ter contribuído para os resultados obtidos.

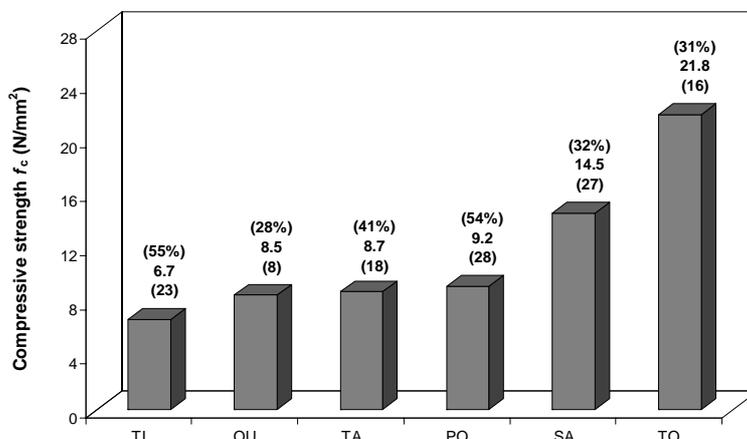


Figura 4 – Resistência à compressão média f_c , com o coeficiente de variação e número de elementos entre parênteses.

Valores típicos para a resistência à compressão obtidos na literatura estão apresentados na Tabela 4. A gama de valores é consideravelmente ampla (cerca de 4 a 32 MPa), o que significa que ensaios *in situ* ou ensaios destrutivos em amostras devem ser realizadas nos casos em que a resistência à compressão seja requerida. Outros autores reportam valores entre os 1.5 e os 30 MPa [28, 32]. Resistências superiores a 50 MPa foram igualmente reportadas por [18]. Em geral, os estudos indicam uma dispersão significativa dos valores, com coeficientes de variação entre os 25e os 55 %.

Tabela 4 – Valores para a resistência à compressão de tijolos antigos [19, 20, 33].

Data (século)	Local	Resistência à compressão [MPa]
VIII-XIII	Catedral de Cremona, Itália	8.0 a 25.4
XV	Parede de Colle Val d'Else, Itália	19.0
	Hospital de Sevilha, Espanha	14.3 a 32.9
XVI	Mosteiro de Monte Oliveto Maggiore, Itália	31.1
	Torre sineira da Catedral de Cremona, Itália	4.0 a 12.0
XVII-XVIII	Lazzaretto de Ancona, Itália	18.5

3.3 Análise química

A caracterização da matéria-prima argila é primeiramente efectuada através da determinação da sua composição química e mineralógica [4, 15, 16, 17, 18]. Estes estudos são frequentes em arqueologia para a caracterização de cerâmicas e argamassas antigas [19, 20]. A determinação da composição química dos tijolos antigos permite a identificação de possíveis deficiências que ocorreram durante a sua produção, tal como a presença de matéria orgânica, calcário, sais solúveis e outras impurezas [21] que podem influenciar a durabilidade dos tijolos. Estes últimos são um dos mais importantes factores de deterioração dos tijolos [15, 22] e são muito frequentes em alvenaria antiga. A composição química permite igualmente obter informação sobre a temperatura de cozedura e o grau de vitrificação [4],

parâmetros relevantes para a produção de tijolos de substituição [5, 12, 13]. Finalmente, pode potencialmente explicar a cor dos tijolos detectando a presença de potenciais corantes e outros aditivos.

3.3.1 Metodologia de ensaio

A composição química da massa constituinte dos tijolos foi determinada por espectrometria de fluorescência de raios X, sendo uma das técnicas mais utilizadas na determinação da composição química de cerâmicas antigas [5]. Esta técnica é tradicionalmente utilizada no estudo de rochas, mas devido ao facto de que os tijolos podem ser considerados rochas sedimentares metamorfoseadas artificialmente, a mesma técnica pode ser aplicada nestes materiais. O equipamento é constituído por um espectrómetro Philips X'Unique II X-Ray do Departamento de Engenharia Mecânica.

Os elementos químicos considerados neste estudo são os mais usuais e relevantes, e incluem: sílica (SiO_2), alumínio (Al_2O_3), ferro (Fe_2O_3), potássio (K_2O), dióxido de titânio (TiO_2), óxido de sódio (Na_2O), cal (CaO), óxido de magnésio (MgO), bário (Ba), zircónio (Zr), strontio (Sr), rubídio (Rb) e manganês (Mn). Os teores nos elementos Ba, Zr, Sr, Rb e Mn estão indicados em *ppm* (partes por milhão), enquanto que os restantes componentes têm os seus teores expressos em % ponderal.

3.3.2 Resultados e interpretação

Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 5. Verifica-se que a composição química da massa dos tijolos tem uma base relativamente constante, que é composta por 55 a 60 % de sílica (SiO_2) e 25 a 30 % de alumínio (Al_2O_3). A variabilidade dos resultados entre amostras é moderada, sendo inferior a 45 % para a maior parte dos constituintes. No entanto, a variação do SiO_2 e do Al_2O_3 é muito baixa, apresentando valores médios na ordem dos 4-5 % e 9-12 %, respectivamente, pelo que parece que a matéria-prima utilizada é bastante similar.

Tabela 5 – Composição química média dos tijolos antigos.

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	TiO_2	CaO	MgO	Ba	Zr	Sr	Rb	Mn
OU	56.2	25.3	11.4	3.5	0.5	1.0	0.3	1.5	698	285	75	195	758
PO	57.5	25.1	8.4	4.9	0.5	1.3	0.4	1.6	986	392	147	302	496
SA	54.4	32.2	4.1	5.1	2.0	0.3	0.8	0.9	352	102	99	319	313
TA	55.6	30.9	4.1	5.0	1.9	0.4	0.9	1.0	440	147	121	317	335
TI	53.8	29.4	8.1	4.4	0.5	1.2	0.9	1.4	856	406	116	282	474
TO	60.8	21.6	7.0	3.6	0.4	0.8	3.6	2.2	410	113	40	139	328

As diferenças na proporção de ferro são elevadas (Fe_2O_3). Outeiro (OU) possui cerca de 2 a 3 vezes mais ferro que os outros tijolos, enquanto que Salzedas (SA) é onde este elemento se encontra menos presente, explicando assim a sua coloração mais clara. No caso de Salzedas, também se verifica uma maior quantidade de cal do que nas outras amostras. No entanto, é possível que esta percentagem elevada de cal decorra de uma contaminação devido à argamassa.

Por outro lado, os elementos CaO , Na_2O e TiO_2 apresentam uma dispersão significativa. A presença dos dois primeiros elementos é devida, geralmente, à contaminação por argamassas de cal ou por terem estado em salas onde se preparava comida. Os tijolos de Tomar (TO) exibem uma proporção significativa de CaO , que se suspeita serem devido à contaminação por argamassa de cal encontrada fixada no corpo dos tijolos que poderiam ter resvalado para as amostras do ensaio, e a maior proporção de MgO . Finalmente, o dióxido de titânio é um corante natural dos tijolos de argila que dá uma coloração amarelada quando presente em pequenas quantidades.

Os resultados obtidos correspondem aos valores encontrados para as proporções destes elementos em tijolos históricos dos séculos XII-XIII [13], de onde resultaram os seguintes valores dos seguintes elementos químicos: 38 % de sílica, 21.5 % de alumínio e 32.5 % de ferro.

3.3.3 Origem da argila

A composição química pode fornecer informação necessária para poder estimar a origem da matéria-prima [16], permitindo o fabrico de tijolos de substituição compatíveis com os existentes. Devido ao elevado número de dados obtidos, assim como a sua dispersão, os resultados foram analisados estatisticamente. Este tratamento estatístico foi efectuado com base numa metodologia estatística desenvolvida anteriormente, [23, 24], baseada na comparação entre as distâncias euclidianas dos vectores “composição química”, referidas aos grupos formados no âmbito deste trabalho e aos grupos constantes numa base de dados com amostras provenientes de cerâmicas arqueológicas e etnográficas. Primeiramente, as amostras foram agrupadas consoante a sua similitude química, sendo cada grupo caracterizado pelo valor médio e desvio padrão para os vários componentes. Este estudo permitiu verificar a homogeneidade dos elementos de cada origem (ver Tabela 6). Dos 146 tijolos analisados, só 20 não encaixaram em nenhum grupo. Estes exibiam uma distância significativa dos outros tijolos e foram removidos de futuras análises. Assim, verifica-se que os tijolos de Salzedas e Tomar são muito similares entre eles, enquanto que os restantes grupos evidenciam uma grande disparidade no seio da amostra recolhida do respectivo local. A diferença principal residia na coloração destes tijolos (branco a castanho escuro), na uniformidade das dimensões e na densidade similar.

Tabela 6 – Número de grupos de amostras com composição química similar.

OU	PO	SA	TA	TI	TO
2	3	1	4	3	1

Uma análise detalhada revelou que o componente SiO_2 (sílica), que é o componente com maior expressão em argilas, contribuiu muito pouco para a distinção entre amostras antigas, não podendo ser utilizada para a distinção duma característica particular dos tijolos. No final, verificou-se que não existe um elemento em particular que influencie de maneira significativa a construção dum determinado grupo de amostras, o que significa que a análise estatística é o resultado de todos os constituintes.

Com a informação anterior, foi possível efectuar uma comparação dos grupos de tijolos antigos com grupos já presentes numa base de dados contendo os componentes químicos de várias cerâmicas oriundas de diversos pontos de Portugal [24, 25]. A este nível de comparação, foi determinado que os tijolos de PO e TI exibem uma forte similitude e apresentam a composição típica de argilas oriundas de amostras de cerâmicas etnográficas encontradas na região do Prado, Braga e Guimarães [25, 26]. Os locais citados correspondem aos locais de construção dos monumentos referidos, nomeadamente o Mosteiro de Tibães, em Braga, e o Mosteiro do Pombeiro, em Felgueiras, que é uma cidade próxima de Guimarães. Para os restantes grupos não foi possível determinar qualquer tipo de correspondência porque apresentam uma distância Euclidiana muito grande relativamente aos valores presentes na base de dados. Assim, a composição química dos tijolos antigos é distinta dos elementos de cerâmica presentes na base de dados, o que parece sugerir que as argilas utilizadas na manufactura dos tijolos foram obtidas localmente. Adicionalmente, os grupos de tijolos são geralmente mais parecidos entre eles, mesmo que sendo muito distantes geograficamente, do que relativamente às composições químicas disponíveis na base de dados. Este resultado indica claramente que as cerâmicas oriundas de vestígios arqueológicos não são comparáveis com antigos tijolos para a construção. Adicionalmente, parecem ser necessárias investigações históricas sobre o procedimento de selecção das argilas para tijolos e artefactos de cerâmica. No entanto, este tópico está fora do âmbito deste trabalho.

4 Conclusões

A pesquisa bibliográfica resultou na conclusão de que os tijolos antigos exibem um nível elevado de porosidade (15-40 %) e absorção de água (10-20 %), enquanto que a densidade apresenta valores baixos (1500-1800 kg/m³). A resistência à compressão mostrou igualmente uma elevada dispersão, com os valores mais frequentes a estarem situados entre 1.5 e 30 N/mm². A partir dos resultados obtidos nos ensaios efectuados nos tijolos de seis monumentos portugueses, conclui-se que estes apresentam valores e dispersões em muito semelhantes ao que foi encontrado na literatura para outros tijolos. Adicionalmente, devido à elevada dispersão dos valores, uma melhor caracterização dos tijolos Portugueses é necessária.

Por outro lado, a composição química dos tijolos demonstrou que estes são muito diferentes das cerâmicas oriundas de vestígios arqueológicos. A análise dos constituintes revelou que a argila é diferente em todas as amostras, sendo que, muito provavelmente, a argila utilizada foi obtida localmente a não transportada para o local de construção.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao IPPAR a cedência de material, para a realização do presente trabalho. O primeiro autor agradece o financiamento parcial deste trabalho pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, através da bolsa de investigação POCTI SFRH/BPD/26706/2005.

Referências

- [1] Binda, L.; Saisi, A.; Tiraboschi, C. Investigation procedures for the diagnosis of historic masonries. *Construction and Building Materials*, Vol. 14(4), 2000, pp. 199-233.
- [2] Binda, L.; Modena, C.; Valluzzi, M.R. Experimental studies for the choice of repair techniques applied to historic buildings." *12th General Assembly of ICOMOS*, Mexico, 17-24 de Outubro de 1999, pp. 1313-1322.
- [3] Wijffels, T.; Nijland, T.G. (2004). Deterioration of historic brick masonry due to combined gypsum, ettringite and thaumasite: a case study. *13th International Brick/Block Masonry Conference*, Amsterdam, 4-7 de Julho de 2004, pp. 809-815.
- [4] Cultrone, G.; De La Torre, M.J.; Sebastian, E.M.; Cazalla, O.; Rodriguez-Navarro, C. Behavior of brick samples in aggressive environments. *Water, Air and Soil Pollution*, Vol. 119, 2000, pp. 191-207.
- [5] Elert, K.; Cultrone, G.; Navarro, C.R.; Pardo, S.E. Durability of bricks used in the conservation of historic buildings - influence of composition and microstructure. *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 4(2), 2003, pp. 91-99.
- [6] Dondi, M.; Marsigli, M.; Venturi, I. Microstructure and mechanical properties of clay bricks: comparison between fast firing and traditional firing. *British Ceramic Transactions*, Vol. 98(1), 1999, pp. 12-18.
- [7] Bogahawatta, V.T.L.; Poole, A.B. The influence of phosphates on the properties of clay bricks. *Applied Clay Science*, Vol. 10(6), 1996, pp. 461-475.
- [8] Nyakairu, G.W.A.; Kurzweil, H.; Koebert, C. Mineralogical, geochemical, and sedimentological characteristics of clay deposits from central Uganda and their applications. *Journal of African Earth Sciences*, Vol. 35(1), 2002, pp. 123-134.

- [9] Baronio, G.; Binda, L. Physico-mechanical characteristics and durability of bricks from some monuments in Milan. *Masonry International*, Vol. 4, 1985, pp. 29-35.
- [10] Baronio, G.; Binda, L. Measurement of the resistance to deterioration of old and new bricks by means of accelerated aging tests. *Durability of building materials*, Vol. 2, 1984, pp. 139-154.
- [11] Baronio, G., Binda, L. Mechanisms of Masonry Decay Due to Salt Crystallization. *Durability of building materials*, Vol. 4(33), 1987, pp. 227-240.
- [12] Cardiano, P.; Ioppolo, S.; Stefano, C.; Pettignano, A.; Sergi, S.; Piraino, P. Study and characterization of the ancient bricks of Monastery of "San Filippo di Fragalà" in Frazzanò (Sicily). *Analytica Chimica Acta*, Vol. 519(1), 2004, pp. 103-111.
- [13] López-Arce, P.; Garcia-Guinea, J.; Gracia, M.; Obis, J. Bricks in historical buildings of Toledo City: characterization and restoration. *Materials Characterization*, Vol. 50, 2003, pp. 59-68.
- [14] Capedri, S.; Venturelli, G. Provenance determination of trachytic lavas, employed as blocks in the Romanesque cathedral of Modena (Northern Italy), using magnetic susceptibility, and petrographic and chemical parameters. *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 6, 2005, pp. 7-19.
- [15] Baronio, G.; Binda, L.; Charola, A.E. Deterioration of bricks with and without perforations due to salt crystallization. *7th International brick masonry conference*, Melbourne, Fevereiro de 1985, pp. 267-276.
- [16] Moropoulou, A.; Christaras, B.; Lavas, G.; Penelis, G.; Zias, N.; Biscontin, G.; Kollias, E.; Paisios, A.; Theoulakis, P.; Bisbikou, K.; Bakolas, A.; Theodoraki, A. Weathering phenomena on the Hagia Sophia Basilica, Konstantinople. *Structural Repair and Maintenance of Historical Buildings III*, Edinburgh, Maio de 1993, pp. 47-66.
- [17] Cultrone, G.; Sebastián, E.; Elert, K.; De La Torre, M.J.; Cazalla, O.; Rodriguez-Navarro, C. Influence of mineralogy and firing temperature on the porosity of bricks. *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 24, 2004, pp. 547-564.
- [18] Pauri, M.; Stazi, A.; Mastrosanti, F.; D'orazio, M. The decay of ancient building masonry, a case study. *10th International Brick/Block Masonry Conference*, Calgary, Julho de 1994, pp. 1295-1304.
- [19] Barrios, A.; Barrios, J.; Pólo, J.; Rodríguez, C.; Padura, C.; Vorsevi, S.A. Estudio de las Fábricas de Ladrillo del Hospital de Las Cinco Llagas de Sevilla, actual sede del parlamento de Andalucía. *12th International Brick/Block Masonry Conference*, Madrid, 25-28 de Junho de 2000, pp. 203-214.
- [20] Binda, L.; Tongini Folli, R.; Mirabella Roberti, G. Survey and Investigation for the Diagnosis of Damaged Masonry Structures: the Torrazzo of Cremona. *12th International Brick/Block Masonry Conference*, Madrid, 25-28 de Junho de 2000, pp. 237-257.
- [21] Robinson, G.; Borchelt, J. Characterization of bricks and their resistance to deterioration mechanisms. *10th International Brick/Block Masonry Conference*, Calgary, Julho de 1994, pp. 1295-1304.
- [22] Brocken, H.; Nijland, T. White efflorescence on brick masonry: towards prediction of efflorescence risk. *13th International Brick/Block Masonry Conference*, Amsterdam, 4-7 de Julho de 2004, 10p.
- [23] Castro, F.; Oliveira, P.; Fernandes, I. Development of a methodology for estimation of the provenance of archaeological ceramics. Method and Theory in Historical Archaeology. *International Conference Medieval Europe'1997*, Vol. 10, "Method and Theory in Historical Archaeology", Zelik, 1997, pp. 123-125.

- [24] Castro, F. Statistical and analytical procedures for estimation of the provenance of archaeological ceramics. *4th European Congress on Old Ceramics*, Andorra, 1999, pp. 52-58.
- [25] Castro, F. A análise química como auxiliar na determinação da origem de fragmentos cerâmicos. *Olaria, Museu de Olaria*, Vol. 2, 1998, pp. 131-138.
- [26] Castro, F. Caracterização físico-química de argilas e amostras etnográficas da região de Prado/Vila Verde/Barcelos. *Olaria, Museu de Olaria*, Vol. 2, 1998, pp. 125-130.
- [27] Fernandes, F.; Lourenço, P.B.; Castro, F. Caracterização de tijolos antigos. *3^o Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios (3 ENCORE)*, Lisboa, 26-30 de Maio de 2003, pp. 385-394.
- [28] Esbert, R.M.; Ordaz, J.; Alonso, J.; Montoto, M. Propriedades físicas [de los materiales pétreos]. *Manual de Diagnosis y Tratamiento de Materiales Pétreos y Cerâmicos*, Collegi d'Aparelladors i Arquitectes de Barcelona, 1997.
- [29] Livingston, R.A. Materials analysis of the masonry of the Hagia Sophia Basilica, Istanbul. *3rd International Conference on Structural Studies, Repairs and Maintenance of Historical Building*, Maio de 1993, pp. 15-31.
- [30] Maierhofer, C.; Leipold, S.; Schaurich, D.; Binda, L.; Saisi, A. Determination of the moisture distribution in the outside walls of S. Maria Rossa using radar. *7th International Conference on Ground Penetrating Radar*, Kansas, 27-30 de Maio de 1998, 509-514.
- [31] Mamillan, M. Méthodes d'essais au gel des pierres. Problems Raised by Frost Action. Fundamental and Applied Researches (Rocks and Artificial Building Materials). *Debates and Scientific Reports of the Sixth International Congress of the Fondation Française d'Etudes Nordiques*, Le Havre, 2, 1979, pp. 225-238.
- [32] Álvarez De Buergo, M.; Limón, T.G. *Restauración de Edificios Monumentales*. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 1994.
- [33] Barbi, L.; Briccoli Bati, S.; Ranocchiai, G. Mechanical properties of ancient bricks: statistical analysis of data. *7th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries*, Belo Horizonte, 18-20 de Setembro de 2002, pp. 27-33.