

Cartografia e caracterização composicional cerâmica de argilas comuns da região de Torres Vedras – Bombarral

J. V. Lisboa^{1*}, R. Sardinha¹, A. Oliveira¹ & J. F. Carvalho¹

© Associação Portuguesa de Geólogos



Resumo: Na região de Torres Vedras – Bombarral ocorrem importantes depósitos de argila comum, que foram cartografados amostrados e caracterizados em termos composicionais e cerâmicos. Resultou um mapa litológico evidenciando os recursos de argila identificados. As argilas ocorrem preferencialmente no topo da sequência detritica do Títoniano e são silto-argilosas, ilitico-cauliníticas ou caulinitico-iliticas. A homogeneidade composicional e tecnológica das amostras sugere acentuada continuidade lateral e vertical de fácies dos corpos argilosos. As propriedades e comportamento cerâmico conferem às argilas aptidão para o fabrico de cerâmica de construção, depois de lotadas. A cartografia realizada é acompanhada por colunas tipológicas nas áreas de maior potencial reconhecido permitindo a perceção da tipologia das argilas aí ocorrentes. Estimou-se na área de ocorrência dos depósitos de argila, um volume de 125 Mm³ deste recurso.

Palavras-chave: Argila, recurso, coluna tipológica, cerâmica de construção.

Abstract: Important deposits of common clay occur in the Torres Vedras – Bombarral region. These deposits were mapped and sampled for compositional and ceramic characterization, from which resulted a lithological map evidencing the clay resources. The clays occur preferentially at the top of the Tithonian detritic sequence. They encompass clayey silts, with an illite-kaolinite or kaolinite-illite composition. The compositional and technological homogeneity of the samples suggests that the clay bodies have important lateral and vertical facies homogeneity. The properties and ceramic behaviour of the studied clays make them suitable for the ceramic construction manufacture, after adequate blending. The resulting map presents the typological columns which concern areas of higher resources potential. This enables the knowledge of the clays typology, which occur there. In the clay deposits occurrence area, it is estimated a resource volume of 125 Mm³.

Keywords: Clay, resource, typological column, construction ceramics.

¹Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Apartado 7586 – Alfragide, 2610-999 Amadora, Portugal

*autor correspondente: vitor.lisboa@lneg.pt

Introdução

A região de Torres Vedras – Bombarral constitui uma das principais áreas do país com po-

tencial de recursos argilosos para cerâmica de construção (Lisboa, 2014; Sardinha, 2013), o qual é manifesto pela importante atividade afeta a este sector da indústria extrativa. As matérias-primas são as argilas comuns (vermelhas) do Jurássico Superior e da base do Cretácico Inferior.

Um anterior projeto de prospeção na presente área envolveu reconhecimento geológico e amostragem de argilas (Pereira, 2003), mas os trabalhos foram interrompidos. Considerando a importância dos recursos em argila nesta região a nível local e nacional, pretendeu-se dar continuidade àquele projeto, daí resultando o presente estudo de cartografia e caracterização de argilas comuns da região de Torres Vedras - Bombarral.

1.1. Aspectos de produção

A extração intensiva de argila vermelha para cerâmica de construção constitui uma atividade tradicional na região de Torres Vedras – Bombarral, desde o segundo quartel do século XX, tendo-se a maior parte das cerâmicas em atividade na área, instalado nas décadas de 60 e 70 (Fig. 1).

As fábricas de cerâmica atualmente com maiores produções, Torreense e Lusoceram, localizam-se na área de Outeiro da Cabeça, concelho de Torres Vedras e fabricam telha e acessórios, tijolo furado, face à vista e abobadilha. As outras fábricas em laboração na área, Cerâmica Avelar (Ramalhal), Cerâmica Outeiro do Seixo (Campelos), no concelho de Torres Vedras e, Cerâmica da Floresta, no concelho de Cadaval, produzem tijolo e abobadilha, e têm menor dimensão.

A opção pelo fabrico de tijolo e abobadilha está relacionada geralmente com aspetos industriais e económicos e não com a própria qualidade da matéria-prima. A área estudada dista cerca de 70 km

tríticos ricos de bivalves. A parte superior compreende sequências de depósitos siliciclásticos margino-litorais, associados a margas e calcários.

De acordo com o reconhecimento geológico, é a parte superior da Formação de Lourinhã que aflora. Litologicamente está representada essencialmente por arenitos finos a grosseiros (exibindo estratificação horizontal, entrecruzada e outras figuras de canal) com calhaus rolados, possuindo intercalações lenticulares de siltitos e argilitos mais ou menos siltíticos, que apresentam tonalidades que vão do vermelho arroxeadado ao castanho amarelado e cinzento (Fig. 3). No geral, as camadas apresentam estratificação inclinada para os quadrantes sul, com pendores inferiores a 10° .

A unidade terá sido depositada em áreas deltaicas ou aluviais e em linhas de água meandri-formes, em que os acarreios siliciclásticos tive-

ram origem nos quadrantes ocidental e oriental da bacia (Montenat *et al.*, 1988; Hill, 1988). Sobre a Formação de Lourinhã assentam discordantemente depósitos da Formação de Serreira (Tito-niano? - Berriasiano Inf?) (Rey, 1992, 1999) e do Grupo de Torres Vedras (Berriasiano Superior a Aptiano) (Rey, 1993), não abrangido por este estudo. Durante o Cretácico Inferior, o Maciço Hespérico, a Este, constitui a principal fonte de sedimentos clásticos devido ao seu levantamento e erosão, mas com importante contribuição do *horst* marginal granito-gnáissico da Berlenga, a Oeste (Montenat *et al.*, 1988; Kullberg *et al.*, 2006). Os reconhecimentos de campo confirmam as observações de Rey (1993) que afirma que a Formação de Serreira é constituída por alternâncias de conglomerados e arenitos cinzentos, amarelos e vermelhos, exibindo estratificação entrecruzada e in-

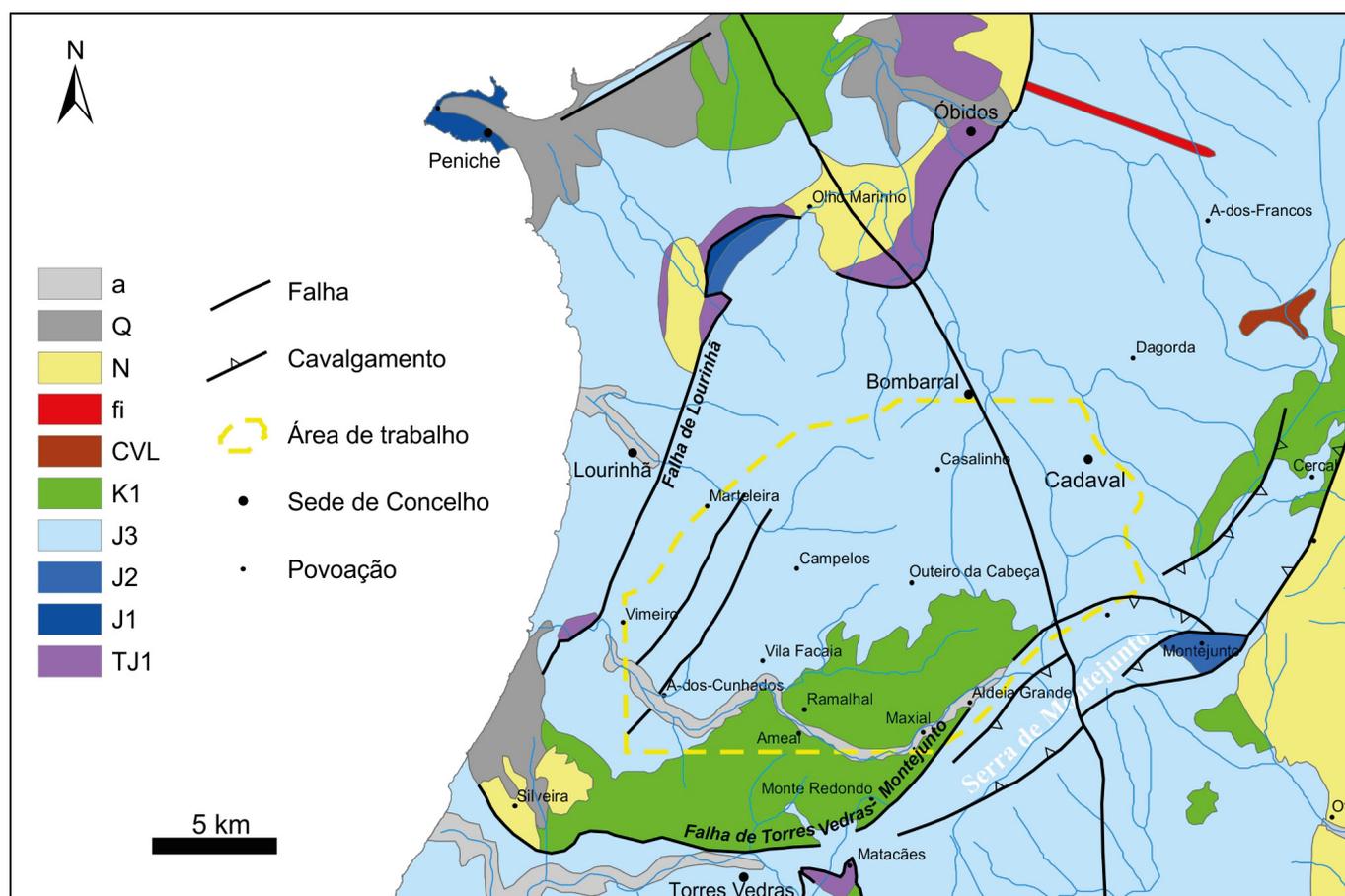


Figura 2 - Enquadramento geológico da região de Torres Vedras – Bombarral. Adaptado da Carta Geológica de Portugal à escala de 1/1000000 (LNEG, 2010). A, Holocénico; Q, Quaternário; N1 + N2, Neogénico; fi, filão básico; CVL, Cretácico Superior; K1, Cretácico Inferior; J3, Jurássico Superior; J2, Jurássico Médio; J1, Jurássico Inferior; TJ1, Triássico Superior.

Figure 2 - Geological setting of the Torres Vedras - Bombarral region. Adapted from the Geological Map of Portugal on the 1/1000000 scale (LNEG, 2010). A, Holocene; Q, Quaternary; N1 + N2, Neogene; fi, basic vein; CVL, Upper Cretaceous; K1, Lower Cretaceous; J3, Upper Jurassic; J2, Middle Jurassic; J1, Lower Jurassic; TJ1, Late Triassic.



Figura 3 - Aspeto característico da Formação da Lourinhã com tonalidades vermelhas dominantes e alternância de corpos argilosos e areníticos, no barreiro da Cerâmica Torreense, na área de A-dos-Cunhados.

Figure 3 - Characteristic aspect of Lourinhã Formation showing dominant red hues and alternating clay and sandstone bodies in the clay pit of Cerâmica Torreense (A-Dos-Cunhados area).



Figura 4 - Aspeto da Formação de Serreira, no barreiro da Cerâmica da Floresta, área de Outeiro da Cabeça.

Figure 4 - Characteristic aspect of Serreira Formation at Cerâmica da Floresta clay pit (Outeiro da Cabeça area).

terestratificados com argilitos mais ou menos siltíticos, vermelhos e violáceos (Fig. 4). Os depósitos, característicos de ambiente fluvial meandriforme (30 m de espessura), organizam-se em sequências fluviais granodecrescentes com espessura de 2 a 5 m e, litologicamente, não diferem substancialmente da Formação de Lourinhã, subjacente.

4. Metodologia

As tarefas empreendidas para cumprir os objetivos propostos compreenderam, compilação da informação existente, trabalho de campo e trabalho laboratorial.

Os estudos no terreno envolveram a identificação e cartografia (escala 1:25000) das sequências de níveis argilosos, com descrição de perfis litológicos, em locais considerados importantes para a compreensão e definição da geologia e da coluna sedimentar. Nos perfis estudados colheram-se 13 amostras de fácies argilosas da Formação da Lourinhã (AI a AI4, exceto AII) e uma da Formação de Serreira (AII), para caracterização químico-mineralógica e tecnológica tendo em consideração a sua articulação sequencial. A informação litostratigráfica, mineralógica e tecnológica, para cada perfil foi reproduzida através de colunas tipológicas (Carvalho *et al.*, 2000) na carta elaborada. Para a digitalização da cartografia e edição do mapa litológico e de recursos argilosos da área de Torres Vedras – Bombarral utilizou-se o package ArcGIS versão 9.3 da ESRI.

Os procedimentos laboratoriais são indispensáveis para a classificação tipológica das argilas e foram realizados no Laboratório do LNEG (Unidade de Ciência e Tecnologia Mineral), de acordo com normas nacionais, internacionais ou próprias do mesmo Laboratório.

A análise mineralógica semi-quantitativa das amostras integrais, previamente secas (40 °C) e moídas num moinho de ágata a dimensão de grão inferior a 74 µm, e da respetiva fração inferior a 2 µm foi estimada por difração de raios X (DRX), a partir das áreas dos picos das reflexões basais ponderadas por fatores empíricos (Schultz, 1964; Thorez, 1976; Brindley & Brown, 1980). Os difractogramas dos pós das amostras foram obtidos num espectrómetro Philips PW 1380. Este aparelho é composto por um gerador PW 1830, goniómetro PW1820 e contador de impulsos PW

1710. Utilizou-se uma ampola de Co de 2700 W (PW2256/20). Os dados e leitura foram processados com o *software* PW1877 Automatic Powder Diffraction version 3.6 h (condições operativas: diferença de potencial 40 kV, intensidade 40 mA). Esta análise foi complementada pela análise térmica gravimétrica e diferencial. Para o estudo das amostras foram utilizados cerca de 15 mg de amostra em pó crivada a 200 mesh e seca a uma temperatura de 40 °C. Os termogramas foram obtidos num analisador térmico diferencial e ponderal Shimadzu, que permite obter as curvas ATD e ATG simultaneamente. O programa Informatic Analysis permitiu obter e tratar os registos na forma gráfica. A taxa de aquecimento foi 10 °C/min até à temperatura de 1200 °C, em atmosfera oxidante. Foram utilizados termopares de Pt e Rh (com 10 % Pt). O padrão de referência utilizado foi a alumina calcinada e as curvas de calibração foram efetuadas com sulfato de cálcio. Para a identificação das reações, recorreu-se às transformações sofridas por cada espécie mineral de acordo com Blazek (1972) e Mackenzie (1957).

A análise química (elementos maiores) das amostras (A2, A4, A6, A7, A8, A10, AI4), previamente moídas num moinho de ágata a 200 mesh foi realizada por espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) em discos vítreos obtidos por calcinação dessas amostras com fundente (mistura de meta e tetraborato de lítio) na proporção de 1:10, num espectrómetro sequencial Panalytical – PW 2404 equipado com uma ampola de ródio (4 kW) e monocronómetro (condições operativas: diferença de potencial 40 kV, intensidade 60 mA). Para cada amostra, os valores da perda ao rubro (PR) traduzem a perda de massa da amostra por calcinação (1050 °C) durante 1 hora. A exatidão e precisão são, respetivamente, 1 % e 5 %, em geral, para todos os elementos maiores (Oliveira, 2010).

O pH foi determinado pelo método de elétrodos seletivos de acordo com o procedimento interno do laboratório, com base na norma E203 (1967), utilizando um medidor de pH Sentron 2001 (calibração a 20 °C). Para a realização dos ensaios foram utilizados 20 g de uma amostra moída a 60 mesh, posteriormente misturada com 50 ml de água desmineralizada, previamente fervida. São feitas duas medições por amostra: ao fim de 1 minuto e após intervalo de 15 minutos, para estabilização do pH. Para o estudo da distribuição de tamanho dos grãos nas amostras foi primeiro efetuado um corte

(via húmida), utilizando o peneiro de malha 355 μm ; a fração inferior a 355 μm analisou-se num granulómetro Coulter LS 130 (módulo de líquidos) e a fração superior a 355 μm (quando > 10 %) foi sujeita a peneiração (via seca), segundo normas E 239 (1970) e ASTM D 422-63 (reaprovado em 2002). O índice de plasticidade (IP) foi calculado com base nos limites de Atterberg segundo a Norma Portuguesa NP-143 (1969). Após moagem da argila a 60 mesh, pesaram-se cerca de 2 kg de material. Posteriormente adicionou-se água e misturou-se, manualmente, até se obter uma pasta homogénea. Por amostra, foram prensados 15 provetes de secção trapezoidal (2,3 x 2 x 1,5 cm) e 12 cm de comprimento, que foram marcados com uma bitola de 10 cm e numerados. Os 15 provetes foram divididos em 3 lotes, sendo cada lote encaminhado para os ensaios após secagem e após cozedura a temperaturas de 850, 950 e 1050 °C.

A estimativa da resistência mecânica à flexão (RMF) dos provetes das amostras realizou-se de acordo com procedimento padrão do laboratório do LNEG, baseado na norma ASTM C 689/93, usando um tensómetro Zwick ZO10 com uma célula de carga de 2 kN para RMF em seco. Condições operativas: 10cm espaçamento entre as lâminas de apoio e a velocidade de carregamento de 10 mm/minuto. Após cozeduras cerâmicas a 850, 950, 1050 °C, o procedimento foi baseado na norma ASTM C 674/88, com as mesmas condições de funcionamento do teste em seco, mas com uma célula de carga de 10 kN. Os valores de retração linear verde/seco ($\text{Ret.}_{v/s}$) e total (Ret._{tot}), após cozeduras (850, 950, 1050 °C), foram obtidos com base na norma ASTM C 326/82.

A determinação da capacidade de absorção de água ($\text{Abs.}_{\text{água}}$) às mesmas temperaturas efetuou-se segundo especificação E216 (1968). Para a classificação das argilas nas colunas tipológicas foi considerada a mineralogia das amostras integrais e os parâmetros tecnológicos: granulometria, IP, RMF, $\text{Ret.}_{v/s}$, $\text{Ret.}_{\text{total}}$ e $\text{Abs.}_{\text{água}}$ a 900 °C. Quanto à cor, as argilas são avermelhadas não apresentando variações relevantes.

5. Resultados e discussão

5.1. Caracterização granulométrica

As amostras evidenciam uma acentuada homogeneidade dimensional do grão enquadrando-se

no silte argiloso (Shepard, 1954). Excetua-se a amostra A3, que se posiciona no campo da argila silto-arenosa (Fig. 5).

A análise das curvas de distribuição granulométrica cumulativa (Fig. 6) revela por um lado que a maioria das amostras tem composições medianamente graduadas e calibração baixa, e por outro lado que a graduação e calibração são relativamente homogéneas. Também podemos observar que a percentagem de elementos de diâmetro esférico equivalente (d.e.e.) superior a 50 μm é, em geral, inferior a 20 %. E que a maioria das amostras tem 50 % das partículas com d.e.e. máximo entre 6 e 15 μm . O sector da curva correspondente à fração inferior a 1 μm é na maioria, pouco inclinado, denotando boa graduação, mas com contributo muito reduzido das frações granulométricas inferiores àquela dimensão. Ao nível da distribuição granulométrica das amostras distinguem-se dois conjuntos diferindo apenas ligeiramente, no grau de calibração (fig. 6). Verifica-se também diferenciação no grau de calibração em níveis sucessivos da coluna sedimentar, indicando variações de condições de energia aquando da deposição.

5.2. Caracterização mineralógica

As composições mineralógicas dos materiais estudados (tabela 1) mostram a predominância dos filossilicatos, na maioria das amostras em percentagem superior a 50 %, sendo o quartzo o mineral predominante nos minerais não argilosos. Globalmente e em termos médios, as amostras são constituídas em proporções próximas, por caulinite e quartzo, com predomínio da caulinite e em menor quantidade por ilite/mica, que se apresenta em percentagens bastante homogéneas ($x_m = 15 \pm 2$ %). A caulinite revela uma maior dispersão que a ilite/mica (Fig. 7).

Foram detetados vestígios de interestratificados de ilite/esmectite em 4 amostras. Relativamente a outros minerais acessórios não argilosos, o feldspato alcalino ocorre em todas as amostras em percentagens significativas ($x_m = 8 \pm 3$ %), assim como os óxidos de ferro, geralmente sob a forma de óxidos e hidróxidos também em percentagens elevadas ($x_m = 8 \pm 2$ %). Na composição mineralógica semiquantitativa da fração argila (< 2 μm) há naturalmente um enriquecimento nos minerais argilosos das amostras, os quais não diferem

substancialmente dos minerais identificados nas amostras integrais correspondentes (tabela 1). As argilas são ílítico-cauliníticas ou caulínítico-íliticas. Entre outros minerais argilosos observados, os interstratificados de ilite/esmectite ocorrem na quase totalidade das amostras, em muito pequena quantidade e, a esmectite e clorite, apenas na amostra A14. Esta composição diferenciada das outras amostras sugere deposição em condições ambientais diversas, provavelmente com características de maior confinamento. Relativamente aos minerais não argilosos, os feldspatos estão quase ausentes nesta fração, mas o quartzo, tem uma representação ainda significativa, assim como os minerais de ferro, sob a forma de óxidos e hidróxidos.

Constata-se um aumento mais significativo da proporção de ilite relativamente à caulinite, em relação aos valores da fração integral, o que implica que parte importante da ilite se concentra na fração argila. Da análise da correlação entre estes minerais e as frações granulométricas areia, silte e argila, constata-se correlação positiva e negativa, respetivamente, entre a caulinite na fração menor que 2 µm ($r = 0,87$) e caulinite na fração entre 2 e 63 µm ($r = -0,36$); as correlações de ilite/mica com fração menor que 2 µm

e fração entre 2 e 63 µm, são respetivamente, $r = -0,61$ e $r = 0,77$. As relações observadas indicam concentração da caulinite na fração menor que 2 µm e preferencial da mica na fração de 2 a 63 µm.

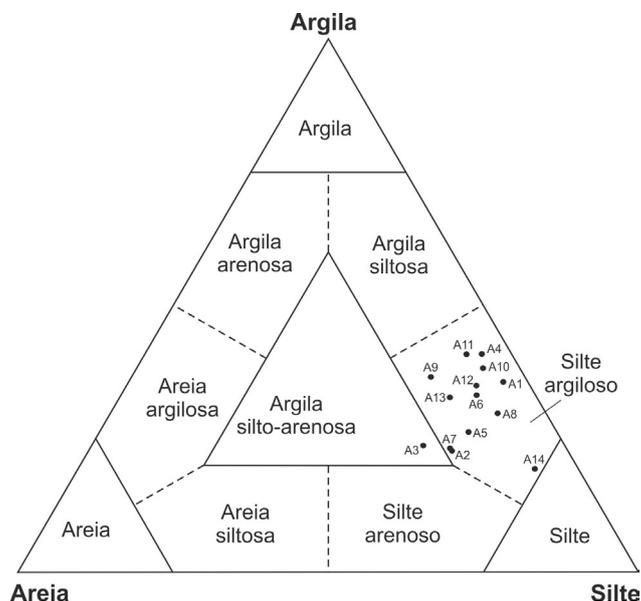


Figura 5 - Diagrama ternário (Shepard, 1954) da distribuição dimensional do grão dos materiais amostrados.

Figure 5 - Classification of sampled sediments based on sand-silt-clay ratios (Shepard, 1954).

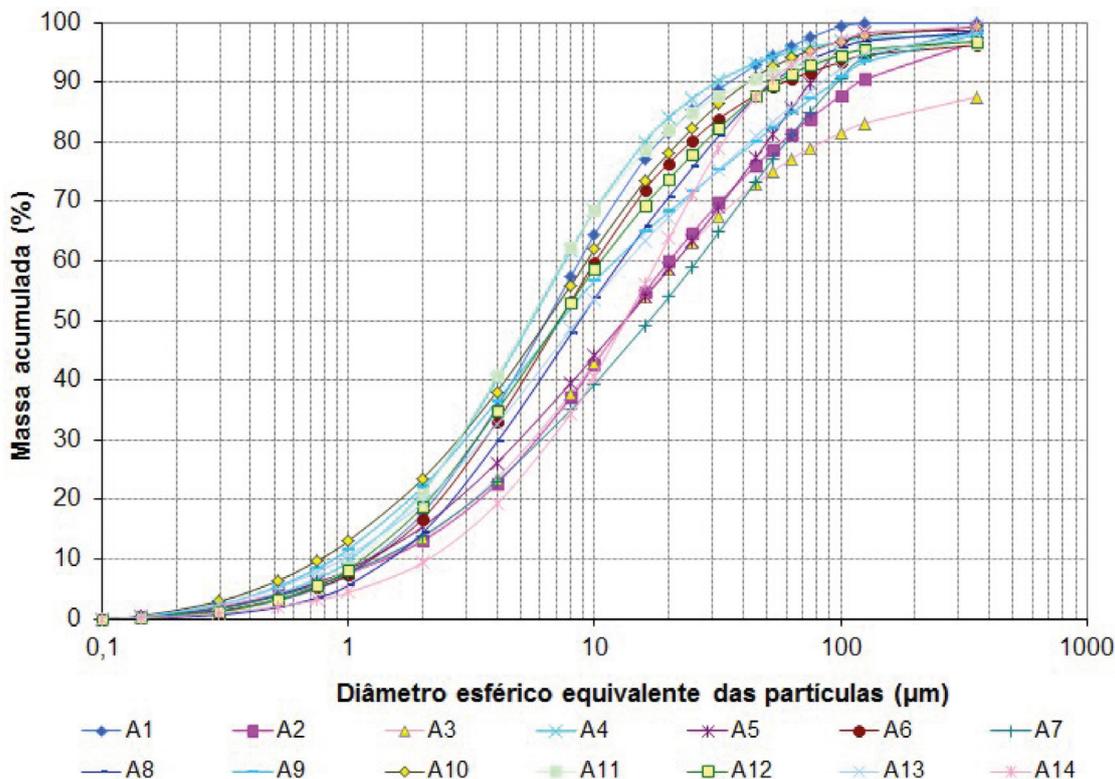


Figura 6 - Curvas de distribuição granulométrica das amostras estudadas.

Figure 6 - Cumulative grain size curves of the samples.

Tabela 1 - Composição química (FRX), dos elementos maiores (%) das amostras integrais; composição mineralógica semiquantitativa (DRX) das amostras totais e fração inferior a 2 µm; propriedades tecnológicas cerâmicas. LL- limite de liquidez, LP- limite de plasticidade; Vest.- vestígios.

Table 1-chemical composition (FRX), of larger elements (%) of samples integrals; semiquantitative mineralogical composition (DRX) of the total samples and fraction of less than 2 µm; ceramic technological properties. LL-liquidity limit, LP-plasticity limit; Vest-traces.

Amostra	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14
SiO ₂		61,60		57,44		60,06	62,40	63,76		54,70				59,51
Al ₂ O ₃		18,70		19,49		19,12	17,84	17,89		22,17				18,38
Fe ₂ O ₃		7,58		8,25		7,36	6,86	6,01		8,72				6,87
MnO		0,05		0,05		0,04	0,06	0,02		0,03				0,06
CaO		0,07		0,20		0,11	0,08	0,12		0,11				0,23
MgO		0,72		1,09		0,96	0,81	0,66		0,76				1,74
Na ₂ O		<0,20		<0,20		<0,22	<0,23	<0,20		<0,20				<0,20
K ₂ O		3,39		2,98		3,47	3,56	3,39		3,01				3,67
TiO ₂		1,06		1,42		1,26	1,20	1,08		1,34				1,04
P ₂ O ₅		0,05		0,04		0,04	0,04	0,04		0,04				0,07
PR		6,49		8,75		7,25	6,78	6,67		8,91				8,10
Total		99,71		99,71		99,67	99,63	99,64		99,79				99,67
SiO ₂ /Al ₂ O ₃		3,29		2,95		3,14	3,50	3,56		2,47				3,24
<i>Fração integral</i>														
Ilite- Esmect.	Vest.								Vest.		Vest.	Vest.		
Ilite/Mica	14	15	17	12	19	14	13	18	15	15	17	14	13	20
Caulinite	38	33	23	41	40	36	33	29	37	60	40	27	39	29
Quartzo	27	29	47	31	28	33	34	32	33	15	29	46	34	38
Feld K	10	16	9	4	6	8	8	11	7	3	5	6	7	8
Min de Fe	11	7	4	12	7	9	12	10	8	7	9	7	7	5
Caulinite /Ilite	2,7	2,2	1,4	3,4	2,1	2,6	2,5	1,6	2,5	4,0	2,4	1,9	3,0	1,5
<i>Fração <2 µm</i>														
Clorite														7
Esmectite														4
Ilite-Esmect,	1		1	2	1	1	1	1	1		2	2	1	
Ilite	39	49	40	41	35	40	41	41	43	44	46	45	42	49
Caulinite	42	43	47	42	50	42	44	45	49	48	36	34	47	29
Quartzo	11	4	9	10	13	12	10	10	4	6	10	15	6	6
Feld K	1	1	Vest.					Vest.	1		1		1	1
Min. de Fe	6	3	3	5	1	5	4	3	2	2	5	4	3	4
Caulinite /Ilite	1,1	0,9	1,2	1,0	1,4	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,8	0,8	1,1	0,6
<2 µm	17,76	13,09	13,64	21,29	15,45	16,82	13,88	14,46	22,14	23,51	20,98	18,80	19,48	9,44
2-63 µm	78,27	68,29	63,54	73,93	70,19	73,74	67,30	77,73	62,66	70,60	71,70	72,61	66,54	83,55
>63 µm	3,97	18,62	22,82	4,78	14,36	9,44	18,82	7,81	15,20	5,89	7,32	8,59	13,98	7,01
Abs 850 °C	15,48	16,93	16,26	13,95	16,85	15,04	16,26	14,03	15,53	15,41	14,63	14,54	15,88	17,18
Abs 950 °C	14,40	15,72	15,51	12,55	15,80	13,05	15,44	12,09	14,27	14,62	12,98	13,66	15,32	15,33
Abs 1050 °C	12,07	14,44	14,54	9,16	14,55	12,40	14,01	11,08	13,10	12,37	10,10	10,88	13,62	14,02
pH _{1'}	7,40	7,19	7,54	7,53	7,49	7,32	7,65	7,34	7,52	7,08	6,82	7,53	7,68	7,80
pH _{15'}	7,49	7,32	7,55	7,41	7,46	7,35	7,67	7,13	7,47	7,06	6,89	7,49	7,60	7,76
RMF seco	35	19	19	22	20	45	29	48	24	36	33	36	26	37
RMF 850 °C	50	46	26	37	54	54	33	116	83	107	51	48	38	117
RMF 950 °C	124	73	120	171	80	249	91	161	95	135	117	180	48	136
RMF 1050 °C	215	131	131	294	181	259	151	180	191	270	183	272	172	264
Ret _{vs}	6	6	9	7	9	7	5	11	10	8	8	9	7	8
Ret tot 850 °C	6	6	9	8	9	8	5	14	11	8	9	11	8	8
Ret tot 950 °C	8	9	10	10	12	10	8	15	11	9	11	12	9	9
Ret tot 1050 °C	8	9	10	11	13	11	8	16	11	10	11	12	10	9
LL	46,97	39,81	36,03	55,04	39,16	49,80	36,41	67,72	42,15	53,41	54,75	48,08	38,55	46,91

5.2.1. Interpretação das curvas obtidas por análise térmica diferencial e gravimétrica

Durante a cozedura, as transformações térmicas ocorridas são relativamente homogêneas. Exemplificativamente apresentam-se os gráficos correspondentes a uma amostra com elevada componente quartzosa, caulínítico-ilitica (A3) e outra predominantemente caulínítica (A10) (Fig. 8). A ocorrência de um primeiro pico endotérmico a temperatura inferior a 100 °C, correspondente à libertação de água higroscópica, precede outros até próximo de 200 °C durante o qual se dá a continuação da libertação de água adsorvida. Os efeitos endotérmicos manifestam-se através de picos mais ou menos intensos na dependência da composição, respetivamente, mais ou menos ílitica das amostras. Não são perceptíveis picos duplos, característicos da esmectite, devido aos teores vestigiais deste mineral. A perda de massa relacionada com a libertação da água higroscópica e adsorvida varia entre 0,76 % (amostra A2) e 3,35 % (amostra A8). Em todos os termogramas, é observável uma reação endotérmica entre 294 °C e 311 °C, explicada pela desidroxilação de hidróxidos de ferro que confirma os elevados teores de ferro que estas argilas contêm. A perda de massa registada nesta reação, considerando a totalidade das amostras, não ultrapassa 0,5 %. Entre 496 – 508 °C verificam-se picos endotérmicos correspondentes à reação de desidroxilação dos minerais argilosos. O comportamento termodiferencial das amostras neste intervalo é influenciado pela relação do teor em ilite/mica e caulinite, com temperaturas mais elevadas e picos mais intensos nas amostras mais caulíníticas (Fig. 8B). As perdas de massa de 1,92 % (A3) a 3,25 % (A10), ocorrentes entre 436 e 557 °C e atribuídas à desidroxilação, confirmam as observações baseadas nas curvas

termodiferenciais. Existe uma marcada correlação entre a caulinite e a ilite/mica e, as perdas de massa verificadas naquele intervalo de temperatura.

Os picos endotérmicos verificados em todas as amostras entre 567 – 572 °C, exceto em A8, relativo à transformação $\alpha \rightarrow \beta$ do quartzo, a 573 °C, evidenciam o teor elevado de quartzo, na generalidade dos materiais em estudo. Não são perceptíveis variações acentuadas nos termogramas diferencial e gravimétricos após a reação de transformação do quartzo.

A percentagem de perda total de massa entre 5,28 % (A13) e 10,62 % (A8), aumenta com o enriquecimento em minerais argilosos e a redução dimensional do grão, concordante com um material argiloso com baixa percentagem de elementos grosseiros (> 63 μm).

5.3. Caracterização química

Nos resultados da análise química por FRX (tabela 1), os conteúdos de sílica (valor médio de 59,92 % \pm 3,09) e alumina 19,08 % \pm 1,49, refletem a relativa homogeneidade a nível mineralógico, nomeadamente o teor de quartzo e os teores de minerais argilosos e micáceos. Os valores mais elevados de Al_2O_3 ocorrem nas amostras mais argilosas, em especial caulíníticas, caso do máximo observado na amostra A10 (22,2 %). A razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ é em geral elevada ($x_m = 3,16$), concordante com composições ricas em quartzo e feldspatos e compatível com o tipo de argilas em estudo (argilas comuns). Os teores de ferro total são elevados (min = 6,01 %; max = 8,25 %) e enquadrados nos valores esperáveis em argilas comuns ($x_m = 7,38$ %). Admite-se que parte do ferro se encontre sob a forma de óxidos e hidróxidos amorfos e criptocristalinos, e na rede cristalina dos minerais argilosos, nomeadamente da ilite, montmorilonite, clorite, interestratificados e feldspato, já que não foram claramente identificados minerais de ferro nos diagramas de DRX. Os teores reduzidos de CaO e MgO refletem a ausência de minerais carbonatados, gesso ou talco.

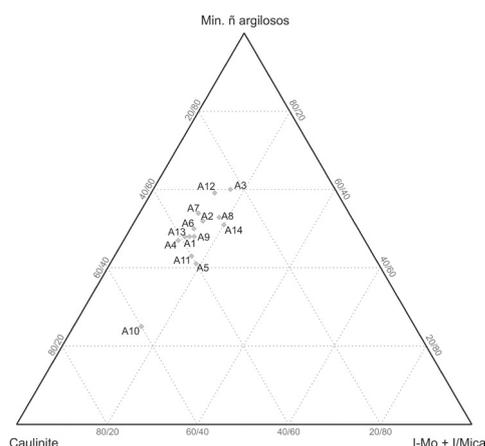


Figura 7 - Diagrama ternário baseado nas características mineralógicas das amostras integrais estudadas:

Minerais não argilosos / Caulinite /
Ilite + interestratificados.

Figure 7 - Ternary diagram based on the mineralogical characteristics of the whole samples: non-clay minerals / kaolinite /
illite + interstratified clay minerals.

ficados minerais de ferro nos diagramas de DRX. Os teores reduzidos de CaO e MgO refletem a ausência de minerais carbonatados, gesso ou talco. Os teores mais elevados de MgO estarão relacionados com a presença de pequenas quantidades de esmectite ou interstratificados deste grupo de minerais (amostra A14 e A4).

O K_2O é o componente alcalino predominante, devido à componente ilítica das amostras e aos teores frequentemente significativos de feldspato-K. Nos difratogramas não foi reconhecido rútilo ou anátase, devendo os valores de TiO_2 estar relacionados com a estrutura cristalina da moscovite, caulinite e possivelmente, vestígios de rútilo associado ao quartzo. Os teores de titânio são próximos de 1 % ou ligeiramente superiores, pelo que podem influir na cor da argila (Santos, 1975). Os valores da PR refletem a composição argi-

losa e também os hidróxidos existentes. Tendem para valores inferiores nas amostras siliciosas e ilíticas e, aumentam quando a percentagem dos minerais argilosos, sobretudo caulinite, aumenta relativamente à dos não argilosos.

Os valores de pH (tabela I) apresentam homogeneidade elevada. O valor médio ($x_m = 7,40 \pm 0,24$) é ligeiramente superior ao normal em argilas cerâmicas (em geral, 4 a 6), o que se explicará pela presença de pequenas quantidades de sais solúveis. Os catiões dos elementos suscetíveis de troca na estrutura dos minerais argilosos variam essa capacidade de troca, condicionando propriedades como a plasticidade e a viscosidade (Kirsch, 1968), pelo que se analisou a eventual influência do pH nas propriedades tecnológicas através das correlações verificadas. Para a correlação negativa verificada entre o pH e os limites de consistência e IP ($r_{pH-LL} =$

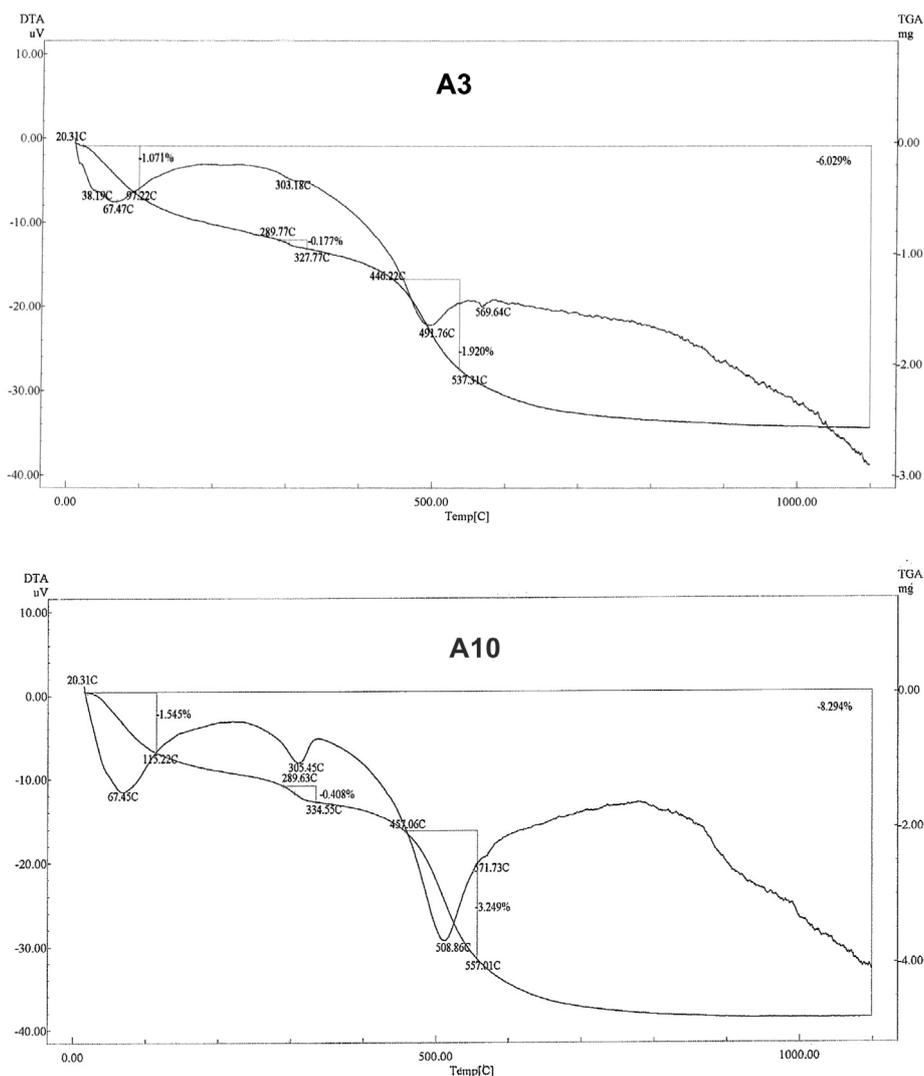


Figura 8 - Diagramas de ATD/ATG exemplificativos das amostras estudadas aquecidas até 1200 °C (amostras A3 e A10).

Figure 8 - ATD / ATG diagrams of the studied samples heated to 1200 °C (A3 and A10 samples).

-0,61; $r_{pH-LP} = -0,47$; $r_{pH-IP} = -0,67$) poderá contribuir a maior quantidade relativa de caulinite, em que as forças de atração entre partículas provocam floculação quando o pH é baixo (Gori, 1994). Pelo contrário, verifica-se correlação positiva entre pH e a Abs._{água} às três temperaturas ($0,41 < r < 0,56$).

5.4. Propriedades e comportamento cerâmico

5.4.1. Propriedades relacionadas com distribuição dimensional do grão, limites de consistência e plasticidade

As matérias-primas argilosas utilizadas na cerâmica estrutural englobam uma vasta gama de distribuições dimensionais de grão, que têm uma particular influência nos processos de moldagem e

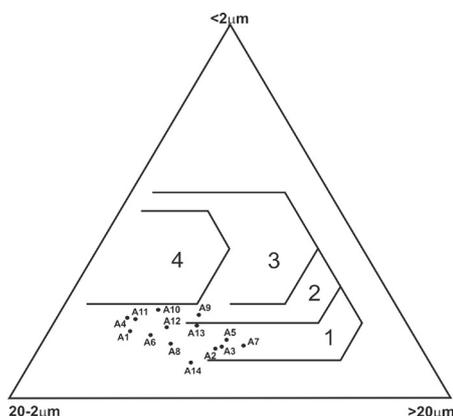


Figura 9 - Diagrama de Winkler (1954) com a classificação tecnológica de matérias-primas para cerâmica estrutural: 1- tijolo maciço; 2- tijolo furado; 3- telha; 4- tijoleira.

Figure 9 - Winkler diagram (1954) for the technological classification of bodies for structural clay products: 1- solid bricks; 2- vertically perforated bricks; 3- roofing tiles; 4- thin-walled hollow bricks.

Figura II - Diagrama de Casagrande com os domínios relativos à extrusão de matérias-primas cerâmicas segundo Gippini (1969): A-ótimo, B-satisfatório; a linha a corresponde a uma fronteira empírica que separa as argilas inorgânicas (acima da linha) dos siltes inorgânicos e solos orgânicos; a linha b faz a separação entre os materiais com baixa e elevada plasticidade.

Figure 11 - Casagrande diagram with domains regarding the extrusion of ceramic raw materials according Gippini (1969): the great, B-satisfactory; the line corresponds to an empirical border separating the inorganic clays (above the line) of silts, inorganic and organic soils; the line b makes the separation of the materials with low and high plasticity

secagem dos corpos cerâmicos, bem como nas suas propriedades mecânicas após cozedura (Dondi *et al.*, 1998). Projetaram-se os pesos das classes granulométricas das amostras, consideradas no diagrama de Winkler (1954), verificando-se que parte significativa das amostras cai fora dos campos de aplicabilidade definidos (Fig. 9). Da interpretação direta do diagrama deduz-se um défice, da generalidade das amostras, simultaneamente em fração argila e areia e que, a aplicação dos materiais representados em cerâmica de construção implicaria, na sua maioria, lotação com outras argilas.

A facilidade de conformação das pastas, bem como a aptidão destas à extrusão, são também fatores fundamentais para a caracterização cerâmica. Neste sentido, o IP é frequentemente utilizado como

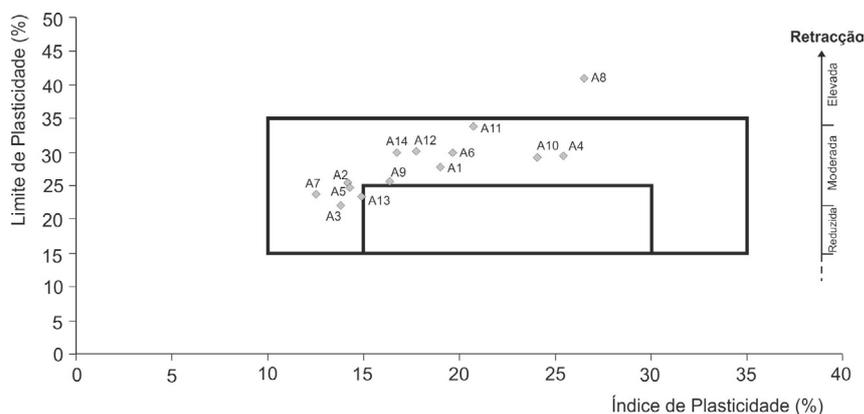
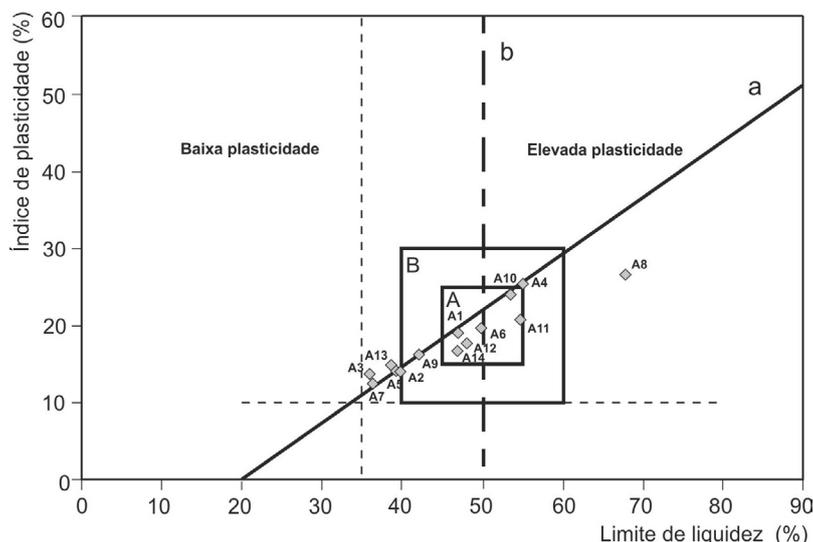


Figura 10 - Diagrama de trabalhabilidade de argilas adaptado de Bain & Highley (1978): aceitável (retângulo maior) e ótima (retângulo interno).

Figure 10 - Clay workability chart (after Bain and Highley, 1979): acceptable (large rectangle) and optimum (inner rectangle).



guia indicativo para o conhecimento da trabalhabilidade e extrudabilidade dos materiais argilosos.

Na tabela I figuram os limites de consistência de Atterberg e os índices de plasticidade das amostras estudadas. As amostras foram projetadas no diagrama de trabalhabilidade de argilas (Bain & Highley, 1978) verificando-se que a generalidade das amostras terá uma trabalhabilidade aceitável (fig. 10). A amostra A8 apresenta limite de plasticidade acima do campo de trabalhabilidade aceitável e a que corresponderá uma retração crescente, o que se verifica (tabela I). As amostras foram também projetadas no diagrama de Casagrande (1932) com os campos de inidos por Gippini (1969). Verifica-se que a grande maioria das amostras se situa abaixo da linha a e no campo da extrusão ótima e satisfatória (Fig. II).

5.4.2. Resistência mecânica à flexão e retração linear após secagem

Admite-se que os fatores mais determinantes nos valores da RMF sejam a natureza mineralógica, tamanho relativo dos grãos e o conseqüente empacotamento. Relativamente à RMF em seco (tabela I), os valores calculados são moderados ($x_m = 31 \pm 9$ kg/cm²). Os valores mais baixos da RMF correspondem preferencialmente às amostras mais arenosas (A2 e A3, tabela I).

De acordo com Santos (1975), a RMF em seco (valor médio = 31 kg/cm²) satisfaz os valores mínimos exigidos para o fabrico de tijolo (RMF_{seco} > 15 kg/cm²) e em parte das amostras os exigidos para o fabrico de telha (RMF_{seco} > 30 kg/cm²). Os valores obtidos não satisfazem no entanto, os mínimos de referência mencionados por Martins (2007, tabela 2).

A retração que um corpo argiloso sofre, quer após secagem, quer após cozedura, depende sobretudo da mineralogia e distribuição granulométrica,

sendo normalmente superior quando as argilas são mais plásticas e apresentam maior quantidade de partículas de dimensão coloidal. No conjunto, os valores de Ret._{v/s} das amostras são moderados a altos ($x_m = 8 \pm 2$ %) e ligeiramente superiores aos valores de referência em Martins (2007, tabela 2). Os valores mais elevados deste parâmetro podem estar relacionados, com a maior quantidade de minerais argilosos, principalmente ilite, dado esmectite e interestratificados serem negligenciáveis ou muito pouco significativos. Importa referir que os valores obtidos para a RMF em seco têm de ser considerados subestimados, pois os provetes ensaiados foram extrudidos num aparelho sem dispositivo de vácuo. Este condicionamento também se reflete na obtenção de valores mais elevados da retração linear, embora a sobrestimação dos valores desta propriedade seja, relativamente à RMF, em geral, menos significativa.

5.4.3. Resistência mecânica à flexão, retração linear e capacidade de absorção de água após cozedura cerâmica (850 °C, 950 °C e 1050 °C)

Os valores de RMF após cozeduras cerâmicas da totalidade das amostras evidenciam heterogeneidade, ao contrário da registada para os valores de RMF em seco, onde as variações são menos significativas, para a mesma população. Os minerais argilosos têm uma importância crucial neste parâmetro, que se reflete particularmente através das correlações positivas RMF₉₅₀ – IP e RMF₁₀₅₀ – IP.

Os valores obtidos para a RMF₈₅₀ ($x_m = 61$ kg/cm²) satisfazem para algumas amostras (Tabela I), os valores mínimos exigidos, segundo Santos (1975), para o fabrico de tijolo (RMF_{cozido} > 55 kg/cm², amostras A8, A9, A10 e A14) e até de telha (RMF_{cozido} > 65 kg/cm², amostras A8, A9, A10 e A14). Esses valores de referência são ul-

Parâmetros	Tijolo	Abobadilha	Telha
RMF _{seco}	45-50 kg/cm ²	50-60 kg/cm ²	70-90 kg/cm ²
Ret _{v/s} (valor max.)	5 %	5 %	6 %
Ciclo de secagem	24-48 h	24-36 h	48 h
Temp. de cozedura	900 °C ± 50 °C		1000 °C ± 50 °C
RMF _{cozido}	≥100 kg/cm ²	≥130 kg/cm ²	≥160 kg/cm ²
Ret _{tot}	5 – 6 %		
Abs. água	10 – 17 %		Max 10 %

Tabela 2 - Valores de referência em pastas cerâmicas para o fabrico de tijolo, abobadilha e telha (Martins, 2007).

Table 2 - ceramic paste Reference Values for the manufacture of bricks, blocks, and tile (Martins, 2007).

trapassados para a generalidade das amostras a 950 °C ($x_m = 127 \text{ kg/cm}^2$), exceto amostra A13. Após cozedura a 850 °C verifica-se que os valores médios de retração seco-cozido são, em geral, baixos ($x_m = 1 \%$), com incrementos médios semelhantes (1 %) às temperaturas crescentes (950 °C, 1050 °C, tabela 1).

As cozeduras cerâmicas dos materiais estudados proporcionam para as temperaturas ensaiadas, produtos finais com porosidade decrescente, com médias de $Abs._{\text{água}}$, entre 15,6 % (850 °C) e 12,6 % (1050 °C).

Os valores observados devem-se, principalmente, às suas características granulométricas, frequentemente com baixa percentagem de fração argila. A diminuição da $Abs._{\text{água}}$ a temperaturas crescentes é também influenciada pela presença significativa de minerais de ferro “amorfos” que atuando como fundentes contribuem para a vitrificação. No domínio da cerâmica de construção, considerando os valores médios obtidos para esta propriedade, os materiais ensaiados têm aptidão para produzir tijolo e abobadilha necessitando, na generalidade, de ser lotados com outras argilas para o fabrico de

telha ou outros produtos cerâmicos mais nobres. Analisando comparativamente o comportamento das amostras, relativamente à RMF, $Ret._{\text{tot}}$ e $Abs._{\text{água}}$, às temperaturas de cozedura ensaiadas, verifica-se (Fig. 12):

- A RMF tem um incremento diferenciado, de 100 °C (seco) a 1050 °C. Até 850 °C, constatou-se que a maioria das amostras tem variação reduzida de RMF, indicando que a esta temperatura, a fase vítrea formada é ainda incipiente, tendendo depois a ter forte aumento a 950 °C e a 1050 °C. Por outro lado, nas amostras onde o aumento de RMF foi mais pronunciado ocorre no intervalo 850 a 950 °C (A3 e A6), com variação menos relevante entre 950 e 1050 °C, existiria já a 950 °C, uma fase vítrea importante.
- A retração seco-cozido manifesta um incremento ligeiramente superior no intervalo 850-950 °C, devido à maior influência da desidroxilação de hidróxidos de ferro e minerais argilosos.
- A redução de $Abs._{\text{água}}$ tende a apresentar incrementos contínuos entre 850 e 1050 °C, traduzindo a formação de vidro e da muli-

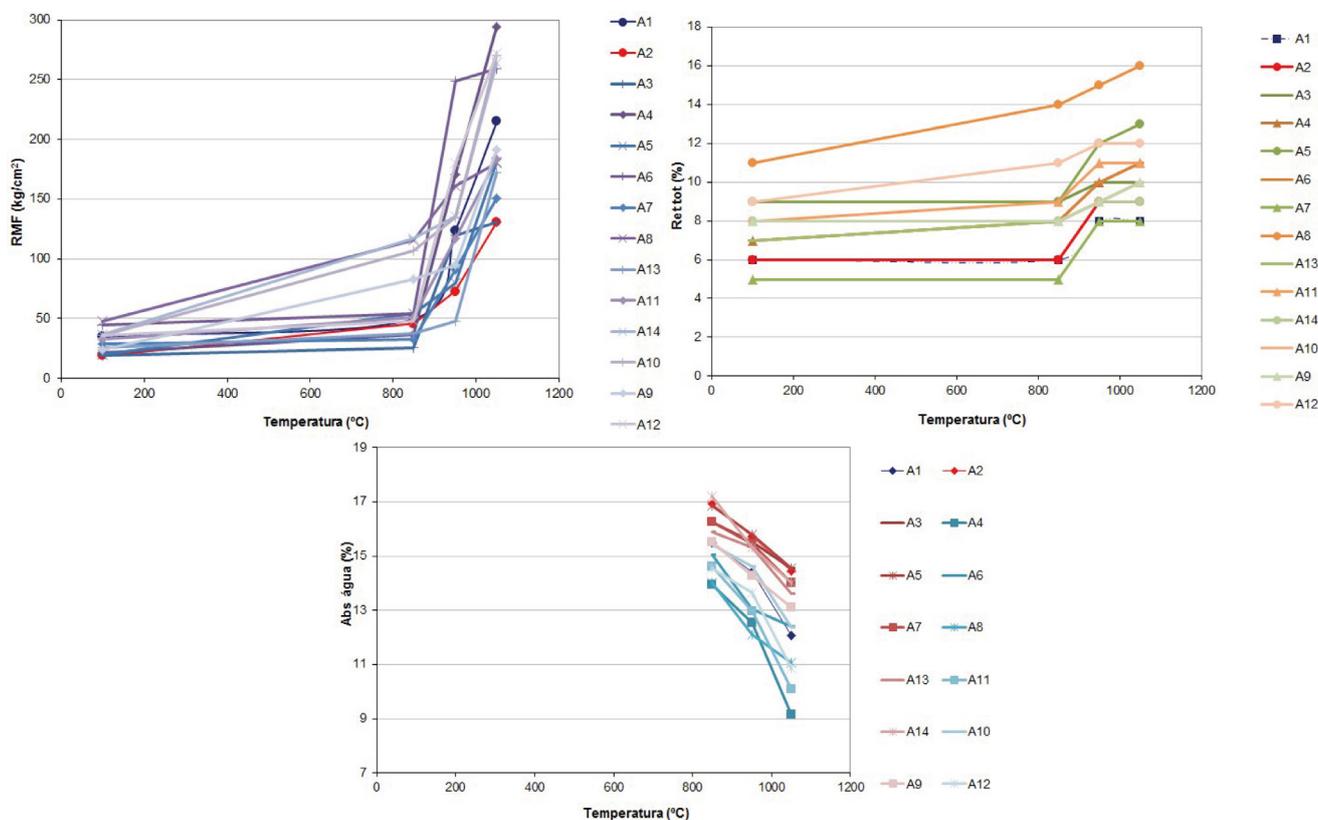


Figura 12 - Propriedades cerâmicas após cozedura das amostras na região de Torres Vedras – Bombarral. a) RMF, b) $Ret._{\text{tot}}$, c) $Abs._{\text{água}}$

Figure 12 - Ceramic properties of the samples after firing. a) Bending strength (RMF), b) Total shrinkage ($Ret._{\text{tot}}$), c) Water absorption ($Abs._{\text{water}}$).

te (esta geralmente a temperatura superior a 1000 °C), com preenchimento de vazios. Tal como para os ensaios realizados após secagem, também após cozeduras os valores obtidos têm de ser considerados subestimados no caso da RMF e sobestimados para a retração linear e Abs. água. A maior probabilidade de ocorrência de heterogeneidades na extrusão e conformação poderá contribuir também para a variação elevada, particularmente na RMF. Considerando que às vezes a diferença de valores obtida segundo os dois métodos se aproxima de 50 % e que os valores obtidos são geralmente satisfatórios, as argilas ensaiadas podem considerar-se no conjunto, como argilas de qualidade para cerâmica de construção.

5.5. Cartografia dos recursos argilosos

A cartografia geológica dos níveis argilosos da região teve como objetivo a representação dos recursos observados e inferidos. As características litológicas textura, mineralogia e cor constituíram o principal critério para a definição das litótopos representados, tendo em consideração as unidades litostratigráficas, cujos limites geológicos se adaptaram ao critério cartográfico seguido neste trabalho.

Também a investigação laboratorial forneceu indicações composicionais quanto aos níveis argilosos identificados, contribuindo para a aferição da se-

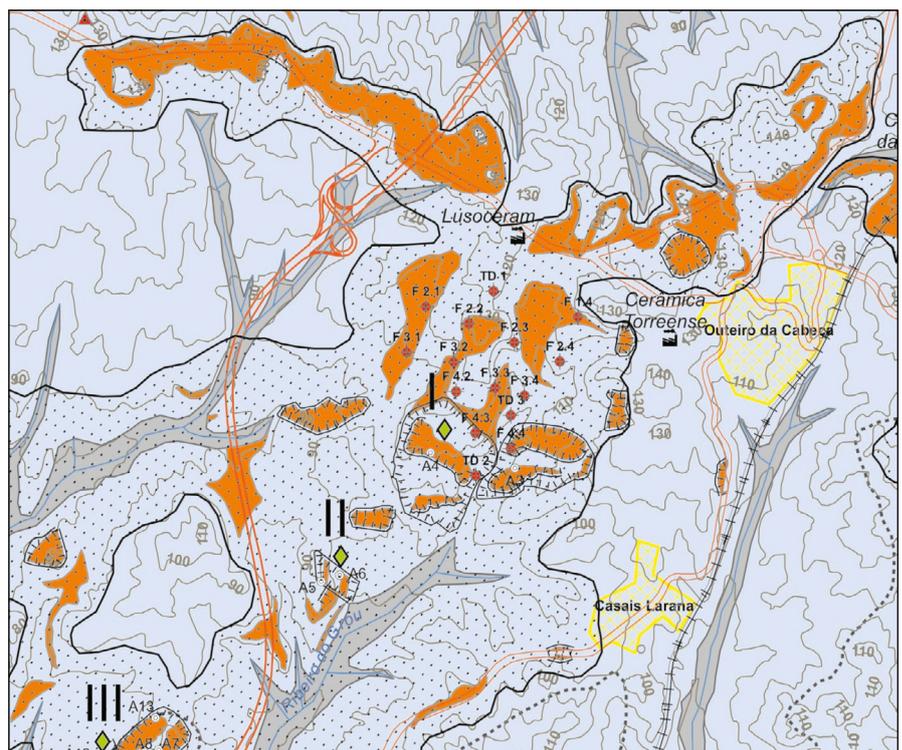
quência cartografada. Maximizou-se a informação existente representada no mapa, delimitando, áreas de ocorrência provável de recursos em argilas, não aflorantes, mas com elevada probabilidade de existirem a profundidades de exploração economicamente viáveis (< 10 m, dependendo da topografia). Estas áreas definiram-se por: correlação estratigráfica de afloramentos assinalados ou não assinalados (por ausência de expressão cartográfica), sondagens (Lusoceram) e, informação indireta, local (Fig. 13).

Os litótopos cartografados compreendem depósitos siliciclásticos e argilosos, ocorrentes em níveis ou camadas, organizados em cinco unidades informais:

- **Depósitos aluvionares** – depósitos fluviais recentes, constituídos por lodos siltosos e cascalheiras, na base; encontram-se relacionados com as principais linhas de água (rios Grande, Corga, Real e Alcabrichel), podendo atingir cerca de 20 m de espessura (Manuppella *et al.*, 1999);
- **Areias e cascalheiras** – englobam corpos sedimentares predominantemente arenosos acastanhados a amarelados, apresentando às vezes níveis com conchas, e cascalheiras. Integram os depósitos do Plio-Plistocénico e Plistocénico, onde se incluem terraços fluviais;
- **Arenitos e conglomerados avermelhados** – arenitos finos a grosseiros e conglomerados

Figura 13 - Extrato do Mapa Litológico e de Recursos Argilosos da Região de Torres Vedras – Bombarral, na zona de Outeiro da Cabeça ilustrando uma área de ocorrência de argila sub-superficial a profundidade inferior a 10m.

Figure 13 - Extract of the lithology and clay resources map in the region of Torres Vedras - Bombarral, illustrating an area of occurrence of subsurface clay depth < 10 m, at Outeiro da Cabeça area.



dos, com matriz argilosa e cor predominante avermelhada. Podem ocorrer intercalações lenticulares de siltes e argilas com diferentes tonalidades, mas sem potencial cerâmico devido à limitada continuidade lateral e/ou vertical. Correspondem a fácies grosseiras da Formação de Lourinhã e da Formação de Serreira, constituindo recurso geológico com potencial para agregados para construção civil;

- **Argilas** – este litótipo corresponde aos corpos argilosos, com representação cartográfica. Integram as fácies argilosas da Formação de Lourinhã e Formação de Serreira. Nas argilas destaca-se a sua tipologia, discutida no ponto 5.6;
- **Arenitos e conglomerados de cores claras** – esta litofácies integra arenitos finos a grosseiros predominantes, feldspáticos, de cor dominante branca, amarelada a acinzentada, às vezes com laivos ferruginosos e com algumas intercalações de argilas arenosas pouco espessas, com calhaus dispersos, também de cores claras e níveis conglomeráticos. Este litótipo compreende as unidades litostratigráficas do Grupo de Torres Vedras. As argilas que o integram não têm aptidão para cerâmi-

ca de construção, mas os arenitos caulíniferos têm potencial em caulino e eventualmente para grés. Destaca-se também o potencial dos arenitos, em agregados para construção civil.

A cartografia efetuada teve como resultado um mapa de recursos em argila da região Bombarral – Torres Vedras (escala 1:50000), que constitui também uma carta previsora de potencialidade (Fig. 14).

5.6. Tipologia

No mapa de recursos argilosos elaborado figuram as colunas tipológicas dos perfis elaborados onde se efetuou amostragem (Fig. 15). A coluna tipológica corresponde a um conceito mais abrangente que a coluna litostratigráfica ou a litológica, já que além de identificar as litofácies, define-as em função das suas afinidades mineralógicas e tecnológicas (Carvalho *et al.*, 1999, 2000; Lisboa, 2009; Lisboa *et al.*, 2013). Os corpos argilosos nas áreas de exploração têm geralmente espessura entre 5 – 10 m. As argilas caracterizam-se mineralogicamente, por serem caulínítico-quartzo-iliticas, silto-argilosas, apresentando teor significativo de óxidos de ferro nos minerais não argilosos. A fração silte é dominante, sendo a fração areia a mais variável. Quanto à tec-

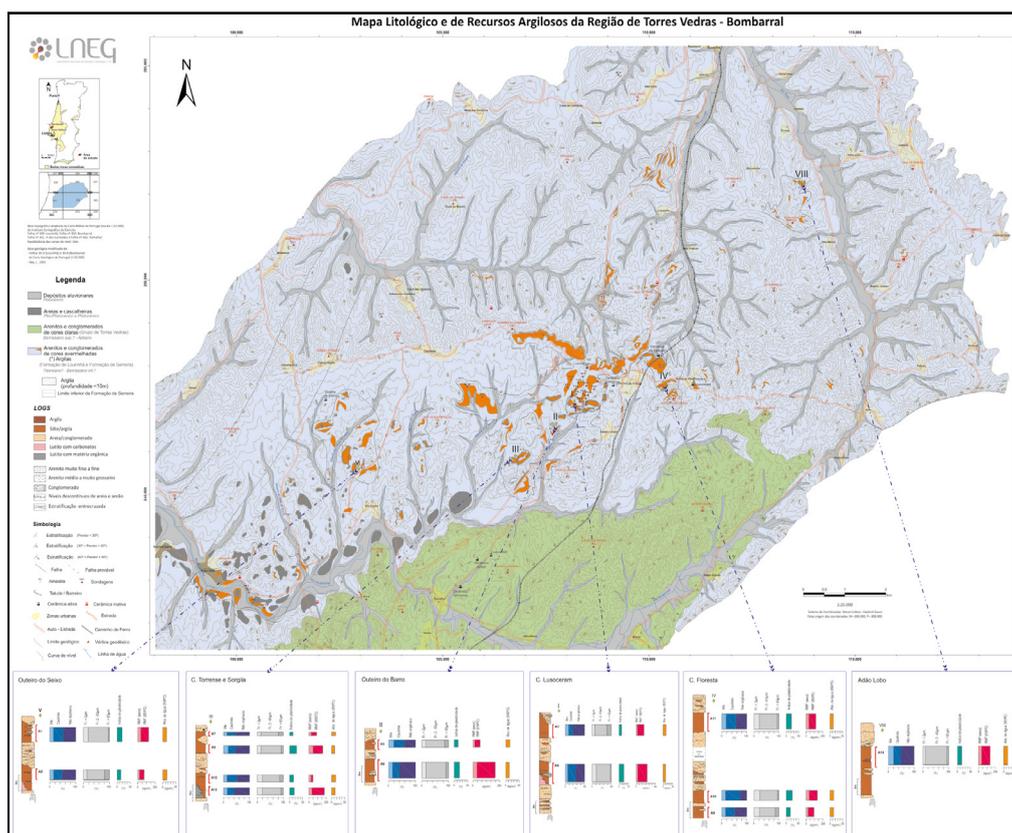


Figura 14 - Representação do mapa de recursos em argilas comuns da região de Torres Vedras – Bombarral (ver fig. 15).

Figure 14 - Representation of the common clays resource map in the Torres Vedras - Bombarral region (see Fig. 15).

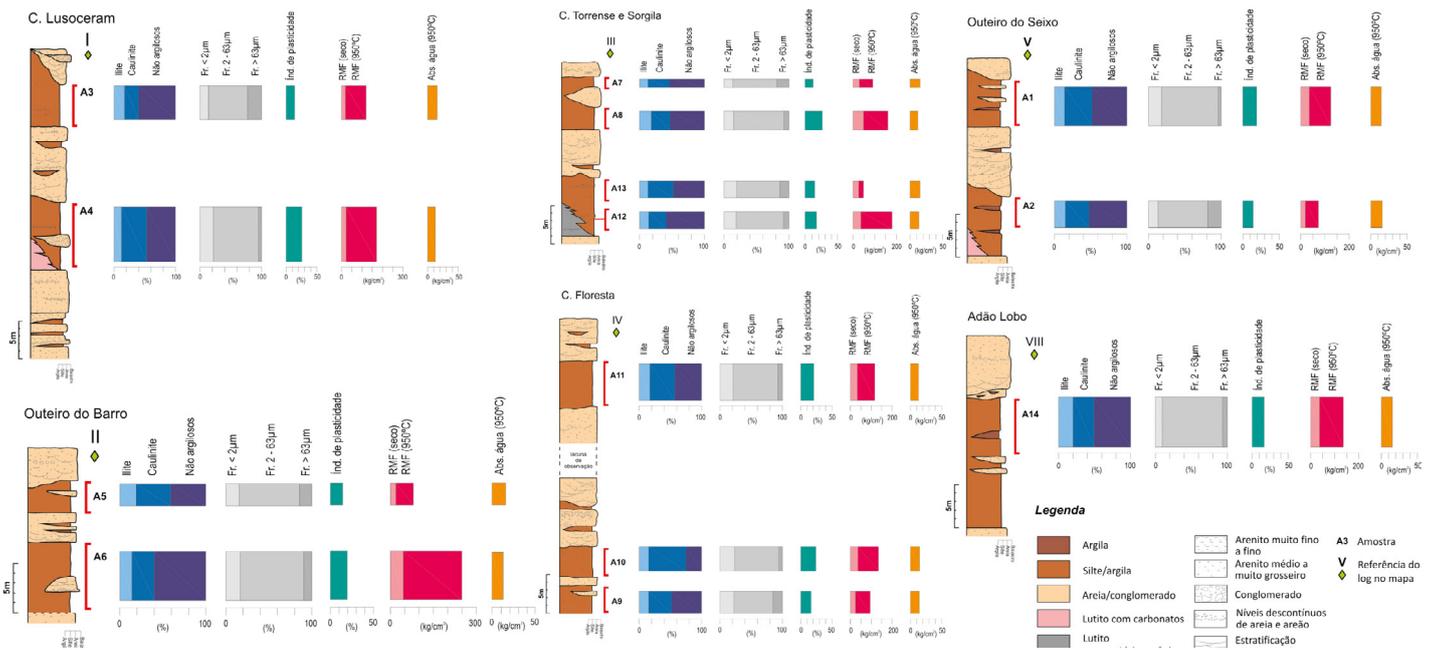


Figura 15 - Colunas tipológicas representativas de áreas com potencial reconhecido em argilas na região de Torres Vedras – Bombarral.

Figure 15 - Typological columns representing areas with recognised potential in clay resources in the region of Torres Vedras - Bombarral.

nologia dos materiais, a plasticidade é geralmente média a elevada ($12,5 < IP < 26,6 \%$); após cozedura a $950\text{ }^{\circ}\text{C}$, as propriedades tecnológicas atingem em geral, valores satisfatórios para cerâmicos de construção, fato mais evidente na RMF, consequência nomeadamente do grau de vitrificação atingido. A tipologia que apresentam aponta para uma utilização no sector do tijolo e abobadilha e também da telha, ainda que necessitando correção. A observação das colunas tipológicas, não permite tirar ilações relativamente a tendências composicionais ou tecnológicas das argilas, nomeadamente em termos geográficos. Nos perfis, os níveis de argila apresentam relativa homogeneidade, embora localmente na sequência sedimentar, se observe diferenciação nos corpos argilosos. Nas áreas de Outeiro do Barro e Outeiro da Cabeça, distinguem-se duas camadas ou níveis argilosos separados por uma camada arenítica e conglomerática (Fig. 15A).

- Nível argiloso superior – argilas vermelhas com laivos esbranquiçados, às vezes siltosas e com níveis areníticos.
- Nível argiloso inferior – argila cinzenta esverdeada, siltosa, micácea, passando a argila avermelhada na base e nível arenítico. Esta diferenciação é também manifesta nas características cerâmicas das argilas (RMF, IP, Abs. água), revelando melhor aptidão, o nível argiloso inferior.

5.7. Estimativa de recursos

A reduzida expressão dos afloramentos argilosos em grande parte da área, explica as escassas manchas cartográficas de argilas assinaladas. Esta circunstância dificulta a estimativa de recursos de argila, formulada de acordo com a morfologia e geometria dos corpos argilosos. Através do programa ArcMap do package ArcGis determinou-se a área dos afloramentos argilosos cartografados, mais as áreas de ocorrência provável de argilas não aflorantes, referidas em 5.5. Foram subtraídas as áreas já exploradas pelas cerâmicas. Para estimar o volume de argilas consideraram-se as espessuras médias dos níveis argilosos observadas nas áreas de ocorrência dos afloramentos, que para o efeito foram divididos em sectores relativamente homogêneos quanto à referida espessura dos níveis argilosos. Estima-se um volume total mínimo de recursos argilosos na área estudada da ordem de 125 Mm^3 que correspondem a 250 Mt (densidade considerada = 2). O total de argilas até agora extraído nas zonas já exploradas (recuperadas ou não) e em exploração, embora elevado é pouco significativo ao nível global, dada a volumetria de recursos estimados. Em síntese, se considerarmos os valores atuais do consumo de matéria-prima nas unidades cerâmicas da área em estudo (90000 a 400000 t/ano e um total de cerca de 1 Mt), os recursos estima-

dos permitem antever reservas efetivas, para muitas décadas de laboração, daí se comprovando a relevância dos recursos em argila vermelha na região de T. Vedras – Bombarral, a nível nacional. Além das áreas de afloramentos consideradas, não se exclui a possibilidade de existência de depósitos significativos, ainda não reconhecidos, especialmente a norte de Campelos nas margens do rio Grande, onde se verificaram algumas ocorrências.

6. Conclusões

Os afloramentos de argilas comuns na região de Torres Vedras – Bombarral definem uma faixa segundo NE-SW, que abrange a parte superior da Formação da Lourinhã e a Formação de Serreira. Por este facto infere-se que os principais depósitos de argilas ocorrerão preferencialmente no topo da sequência do Titoniano. Verifica-se uma homogeneidade muito significativa nas características composicionais e propriedades da generalidade das argilas amostradas, diferenciando-se a argila colhida na área de Adão Lobo. Este facto sugere uma acentuada continuidade lateral e vertical de fácies para os corpos argilosos e, conseqüentemente, a mesma proveniência, assim como ambiente de sedimentação.

A norte, na área da Adão Lobo, os processos que levaram à formação das argilas terão obedecido a diferentes condições sedimentares e/ou diagenéticas, como evidencia a presença de esmectite e clorite. Relativamente à aptidão cerâmica das argilas, as características composicionais e tecnológicas avaliadas indicam a aplicação na cerâmica de construção.

Estas matérias-primas apresentam geralmente deficiência em areia, a qual pode ser suprida através do aproveitamento dos níveis areníticos intercalares, sendo adequadas para o fabrico de tijolo, abobadilha, alvenaria em geral, e telha. A cartografia realizada é acompanhada por colunas tipológicas nas principais áreas de ocorrência conhecidas permitindo uma imediata percepção da tipologia das argilas ocorrentes e tem também como mais-valia a representação de manchas de ocorrência sub-superficial de argilas. O volume calculado de recursos em argila (125 Mm³) constitui uma estimativa grosseira, no entanto, embora o montante de reservas correspondentes seja inferior, esse volume faz da região de Torres Vedras – Bombarral, uma das mais importantes para a indústria do barro vermelho, a nível nacional.

Agradecimentos

Aos revisores agradecemos as correções e sugestões apresentadas, que contribuíram para o aperfeiçoamento do trabalho.

Bibliografia

- ASTM C 326/82 1982. Standard test method for drying and firing shrinkages of ceramic whiteware clays (Reapproved 1992).
- ASTM C674/88 1988. Standard test methods for flexural properties of ceramic whiteware material (Reapproved 1994).
- ASTM C 689/93 1993. Standard test method for modulus of rupture of unfired clays.
- ASTM D422-63 1998. Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. (Reapproved 2002).
- Bain, J. A. & Highley, D. E., 1978. Regional appraisal of clay resources – a challenge to the clay mineralogist. In: *Proceedings VI International Clay Conference, Developments in Sedimentology* 27, (Mortland, M. M. & Farmer, V. C. (Eds.)), Elsevier, Amsterdam, 437-446.
- Blazek, A., 1972. Thermal analysis. Van Nostrand Reinhold Company, London, 61 p.
- Brindley, G. W. & Brown, G., 1980. *Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray Identification*. Monograph 5, Mineralogical Society, London.
- Carvalho, C., Grade, J. & Moura, A. C., 1999. Classificação tipológica de argilas. Uma contribuição para o conhecimento do jazigo de Monsarros (Anadia). *Estudos, Notas e Trabalhos*, Instituto Geológico e Mineiro, 41: 49-58.
- Carvalho, C., Oliveira, A. F. & Grade, J., 2000. From the ore deposit to the establishment of stocks of raw-materials – the typological column as a management tool. *First Latin-American Conference, Proceedings 1*, Funchal, Madeira, 17-22 Setembro, 266-269.
- Casagrande, A., 1932. Research of the Atterberg limits of soils. *Public Roads*, 13, 121-136.
- Dondi, M., Fabbri, B. & Guarini, G., 1998. Grain size distribution of Italian raw materials for structural clay products: a reappraisal of the Winkler diagram. *Clay Minerals*, 33: 435-442.
- E203, 1967. *Solos. Determinação do pH*. Especificação LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal.
- E216, 1968. *Refractários. Determinação da densidade aparente, da absorção de água e das porosidades*. Especificação LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal.
- E239, 1970. *Solos. Análise Granulométrica por Peneiração Húmida*. Especificação LNEC, MOP – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal, 3.
- Gippini, E., 1969. Contribution à l'étude des propriétés de moulage des argiles et des mélanges optimaux de matières premières. *L'Industrie Céramique*, 619, 423-435.
- Gori, U., 1994. The pH influence on the index properties of clays. *Bull. Inter. Ass. Eng. Geology*, 50: 37-42.
- Hill, G., 1988. *The sedimentology and lithostratigraphy of the upper Jurassic, Lourinhã Formation, Lusitanian Basin, Portugal*. Thesis. Open University, Milton Keynes, 290.
- Kirsch, H., 1968. *Applied Mineralogy for engineers, technologists and students*. Chapman & Hall and Science Paperbacks, 233.
- Kullberg, J. C., Rocha, R. B., Soares, A. F., Rey, J., Terrinha, P., Callapez, P. & Martins, L., 2006. A

- Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. In: Dias R., Araújo, A., Terrinha & Kullberg, J. C. (Eds.), *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*, Universidade de Évora, 317-368.
- Leinfelder, R. R. & Wilson, R. C. L., 1989. Seismic and sedimentologic features of Oxfordian-Kimmeridgian syn-rift sediments on the eastern margin of the Lusitanian Basin. *Geol. Rundschau* 78 (1): 81-104.
- Lisboa, J. V., 2009. *Matérias-primas da Plataforma do Mondego para Cerâmica*. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro.
- Lisboa, J. V., 2014. Argilas comuns em Portugal Continental: ocorrência e características. In: *Proveniência de materiais geológicos: abordagens sobre o Quaternário de Portugal*, (Dinis, P., Gomes, A. & Monteiro-Rodrigues, S. (Eds.), APEQ – Associação Portuguesa para o Estudo do Quaternário, 135-164.
- Lisboa, J. V. V., Carvalho, J. M. F., Cunha, P. P. & Oliveira, A., 2013. Typological classification of clayey raw materials regarding ceramics manufacture, in the Tábua region (central Portugal). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 72(2): 225-232.
- Mackenzie, R. C., 1957. The differential thermal investigation of clays. Mineralogical Society, London, 456.
- Manuppella, G., Antunes, M., Pais, J., Ramalho, M. & Rey, J., 1999. Carta Geológica de Portugal na escala 1/50000 (Notícia explicativa da Folha 30-A Lourinhã). *Serv. Geol. de Portugal*, Lisboa.
- Martins, R. V., 2007. *Investigação científica e tecnológica de matérias-primas minerais de Santiago do Cacém (Alentejo) e das suas potencialidades para a Indústria Cerâmica*. Tese de Doutoramento, Universidade de Évora, 263.
- Montenat, C., Guéry, F., Jamet, M. & Berthou, P., 1988. Mesozoic evolution of the Lusitanian Basin: comparison with the adjacent margin. In: Mazzullo, E. K. (Ed.), Boillot, G., Winterer, E. L., Meyer, A. W., Applegate, J., Baltuck, M., Bergen, J. A., Comas, M. C., Davies, T. A., Dunham, K., Evans, C. A., Girardeau, J., Goldberg, D., Haggerty, J. A., Jansa, L. F., Johnson, J. A., Kasahara, J., Loreau, J. P., Luna, E., Moullade, M., Ogg, J. G., Sarti, M., Thurow, J. & Williamson, M. A. *Proc. O. D. P., Sci. Res.* 103: 757-775.
- NP-143, 1969. *Solos Determinação dos limites de consistência*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal (Portuguese standard).
- Oliveira, A. F. M., 2010. *Estudo dos depósitos lutíticos da orla ocidental – Matérias-primas minerais*. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, 260 p.
- Pereira, V. B., 2003. *Prospecção de argilas comuns da região de Torres Vedras – Bombarral*. Relatório dos trabalhos realizados e programa de trabalhos propostos. Relatório interno do IGM, 23 p.
- Rey, J., 1992. Les unités lithostratigraphiques du Crétacé inférieur de la région de Lisbonne. *Com. Serv. Geol. Portugal* 78(2): 103-124.
- Rey, J., 1993. Les unités lithostratigraphiques du groupe de Torres-Vedras (Estremadura, Portugal). *Com. Instituto Geológico e Mineiro*, 79: 75-85.
- Rey, J., 1999. Lower Cretaceous Depositional Sequences in the Cascais Area. *European Palaeont. Assoc. Workshop, Field trip A*, 57 p..
- Ribeiro, A., Kullberg, M. C., Kullberg, J. C., Manuppella, G. & Phipps, S., 1990. A review of Alpine Tectonics in Portugal: foreland detachment in basement and cover rocks. *Tectonophysics*, 184: 357-366.
- Rocha, R. B., Marques, B. L., Kullberg, J. C., Caetano, P. C., Lopes, C., Soares, A. F., Duarte, L. V., Marques, J. F. & Gomes, C. R., 1996. The 1st and 2nd rifting phases of the Lusitanian Basin: stratigraphy, sequence analysis and sedimentary evolution. *Final Report C.E.C. Proj. MILUPOBAS*, Lisboa.
- Sardinha, R. P. J., 2013. *Cartografia e caracterização de matérias-primas argilosas da região de Torres Vedras – Bombarral, para aplicação em cerâmica de construção*. Tese de Mestrado, Universidade de Évora, 86.
- Santos, P. S., 1975. *Tecnologia de Argilas. Vol. 1-Fundamentos e Vol. 2-Aplicações*. Edgar Blucher (Ed.), Universidade de São Paulo, 795.
- Shepard, F. P., 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, 24(3): 151-158.
- Schultz, L. G., 1964. Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-Ray and chemical data for the Pierre Shale. *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper* 391-C: 1-31.
- Thorez, J., 1976. *Practical identification of clay minerals*. G. Lelotte (Ed.), Liege State University, Dison, 90.
- Winkler, H. G. F., 1954. Bedeutung der korngrößenverteilung und des mineral-bestandes von tonen für die herstellung grobkeramischer erzeugnisse. *Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft*, 31(10): 337-343.