

Depósitos de caulino asociados à faixa metamórfica de Espinho–Albergaria-a-Velha (NW de Portugal): quadro geológico estrutural e morfotectónico

Kaolin deposits along the Espinho–Albergaria- a-Velha metamorphic belt (NW Portugal): structural geology and morphotectonics framework

COELHO, A.¹, CHAMINÉ, H. I.^{2,1}, GOMES, A.³, FONSECA, P. E.⁴ and ROCHA, F. T.¹

(1) Centro GeoBioTec (Grupo de Georrecursos, Geotecnia e Geomateriais), Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Portugal (frocha@geo.ua.pt)

(2) Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (Labcarga), Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal (hic@isep.ipp.pt)

(3) Departamento de Geografia, Universidade do Porto, Portugal (atgomes@netcabo.pt)

(4) Departamento de Geologia e Centro de Geologia da Universidade de Lisboa, Portugal (gpetfons@fc.ul.pt)

Recibido: 16/9/2008

Revisado: 8/11/2008

Aceptado: 15/12/2008

Abstract

This work synthesizes the present knowledge of the main occurrences of the kaolin deposits located near the NW of Portugal and Galicia Atlantic shoreline, namely throughout the Espinho-Albergaria-a-Velha metamorphic belt. A geodynamic insight of the geotectonic and morphostructural control of the several outcropping kaolin deposits is presented in order to establish possible exploration guidelines of the georesources. The observation of a geological resources map of the Iberian Peninsula testifies that kaolin deposits exist all over the territory. Nevertheless, one may conclude that along the NW Iberia this geological resource is well located, being fitted with major tectonic lineaments. The genesis of these deposits is dependent on several constraints, namely lithology, tectonics and

morphology. A multidisciplinary approach was applied to the systematization of residual kaolin deposits located on the South of Porto city, as well on the vicinities of Aveiro region. The deposits that resulted from the hydrothermal alteration of granitic and gneissic rocks, located along the ante-Mesozoic crystalline bedrock of the NW Iberia, were analysed. This georesource is related to high deformed metamorphic rocks, following particular tectonic corridors (NNW-SSE and NE-SW) and structural nodes, related with the Porto–Coimbra–Tomar shear zone. The data obtained by photo-interpretation (at several scales) as well as the analysis of field geologic and morphological aspects allowed us to conclude that all the studied deposits were similarly geotectonic framework. All the studied deposits are located in a similar geologic and geomorphological background. The deposits are established at a maximum altitude of 250 m, on granitic or gneissic substratum, in which there are frequent tectonic nodes and shear zones. This way, we may conclude that the association of the geotectonical, geomorphological, mineralogical and palaeoenvironmental factors were responsible for the kaolin deposits formation, in a first stage by a hydrothermal action and afterwards through a continuous alteration originated by the action of meteoric geofluids.

Key words: Kaolin, hydrothermal alteration, tectonic lineaments and nodes, Espinho-Albergaria-a-Velha metamorphic belt, NW Portugal.

INTRODUÇÃO GERAL

São vários os recursos geológicos disponíveis para que o Homem os processe, e com essa acção, os aplique para seu benefício. Um dos materiais mais amplamente utilizado e difundido em várias indústrias é o caulino. Desde a antiguidade que a aplicação desta matéria-prima se faz, primordialmente, na produção de porcelana. O caulino é actualmente usado numa verdadeira miscelânea de aplicações, apesar de mais de 50% da produção mundial de caulino ter como única finalidade a indústria de papel (GOMES, 1988, 2002). O caulino, para além do objectivo que lhe é historicamente atribuído na indústria da cerâmica, é utilizado para inúmeras finalidades. A variada aplicação industrial do caulino deve-se em muito às características cristal químicas da caulinite e às suas propriedades físico-químicas (GRIM, 1962). É, em regra, empregue na indústria do papel onde é fundamental na produção do papel para impressão e escrita, em que o caulino entra como carga e/ou pigmento de cobertura ou revestimento, proporcionando características essenciais aos materiais, tais como: elevado grau de branquura e brilho, boa capacidade de recepção de tintas e baixa abrasividade (GOMES, 1988, 2002; LOPES VELHO et al., 1998). Para além das aplicações referidas onde o caulino se mostra muito importante, indústrias como a farmacêutica, cimenteira, materiais refractários, química, entre outras, incluem o caulino nos seus materiais visando o melhoramento das características do seu produto final (e.g., GOMES, 1988, 2002; LOPES VELHO et al., 1998; LOPES VELHO, 2005, 2006).

Uma das primeiras referências ao termo caulino (derivado do mandarim *Kao-Ling*

ou *Gaoling*) encontra-se num documento chinês da dinastia Ming, datado do século XVII (CHEN et al., 1997; RODRIGUEZ & TORRECILLAS, 2002), período este considerado de grande importância na manufatura da requintada porcelana chinesa a nível mundial, apesar de estudos recentes efectuados em materiais argilosos (nomeadamente, caulino) indicarem que o povo chinês utilizaria esta matéria-prima desde, pelo menos, o século VII AC. Nos nossos dias, a porcelana do período Ming é altamente procurada, devido às suas características excepcionais no que se refere à qualidade e nível artístico.

Na Península Ibérica existem inúmeras ocorrências de caulino. Em Espanha, as ocorrências de caulino distribuem-se um pouco por todo o território (figura 1), com principal destaque para as regiões da Galiza e das Astúrias (FERREIRA et al., 1946; LORITE, 1984; BORJA, 2001). No NW da Península, constata-se que estas duas regiões são, globalmente, responsáveis por mais de 35% da produção espanhola de caulino (MME, 1998). Relativamente aos depósitos em território espanhol, verifica-se que estes se localizam em condições geotectónicas peculiares. As ocorrências de caulino estão associadas a bacias sedimentares Cenozóicas e resultam da caulinização de materiais graníticos (e.g., Lugo, Galiza). Existem também, mas em número reduzido, depósitos de caulino associados a rochas básicas (e.g., Burela e Lugo, Galiza) ou ainda, depósitos associados a rochas graníticas caulinizadas por processos hidrotermais, posteriormente alteradas por acções meteóricas (e.g., Santa Comba, Galiza). As ocorrências de caulinos no território português, relacionam-se, na sua grande maioria, directamente com rochas granitoides e gnaisses presentes no bordo NW Peninsu-

lar do soco cristalino ante-Mesozóico, em faixas intensamente tectonizadas. A grande maioria dos depósitos mencionados distribuem-se segundo um corredor com orientação tectónica bem definida (NNW-SSE a N-S), a qual, frequentemente se encontra associada a fracturação característica (e.g., bandas de cisalhamento e de deformação frágil; com mecanismos associados de cataclase, milonitização e geração de “*fault gouge*”). Os nós tectónicos relacionam-se, para além desta acção mecânica de esma-

gimento (e.g., SANDERSON & MARCHINI, 1984; PASSCHIER & TROUW, 1996; VROLIJK & van der PLUIJIM, 1999; Davis et al., 2000; RUTTER et al., 2001; WARR & COX, 2001), com fluxos de canais crustais preferenciais propícios à circulação profunda de geofluidos responsáveis pelos fenómenos do hidrotermalismo conducente, entre outros, à caulínização (e.g., PSYRILLOS et al., 1998; BOULVAIS et al., 2000; WEINBERG et al., 2004; TAKIZAWA et al., 2005; BROWN, 2007).

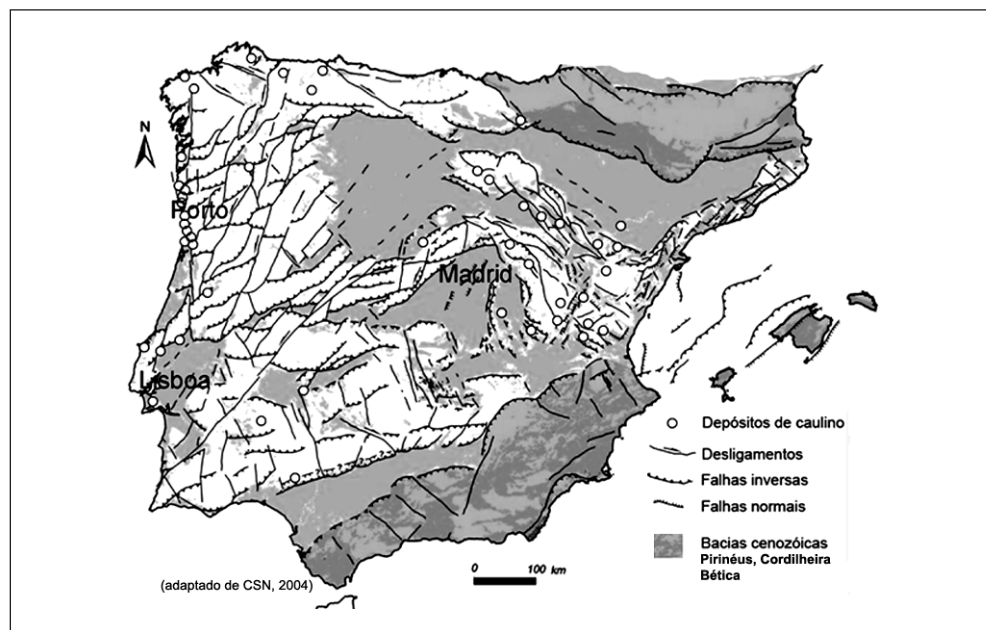


Fig. 1. Ocorrências de caulino na Península Ibérica (adaptado de MME, 1988 e de LOPES VELHO et al., 1998), segundo a base do CSN – Consejo de Seguridad Nuclear, 2004, in De VICENTE et al., 2004).

ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO REGIONAL

A região compreendida entre as cidades do Porto e de Ovar (figura 2) integra-se na faixa metamórfica de Espinho-Albergaria-a-

Velha (CHAMINÉ, 2000; CHAMINÉ et al., 2003a). Esta faixa é composta por terrenos do Proterozóico médio-superior e do Paleozóico (NORONHA & LETERRIER, 2000; CHAMINÉ et al., 2003b, 2007), fazendo parte do denominado Terreno Autóctone Ibéri-

co, e inclui-se, tradicionalmente, na Zona de Ossa-Morena [ZOM] (RIBEIRO et al., 1990; CHAMINÉ et al., 2003a). Além disso, contacta localmente a oriente, por intermédio da faixa blastomilonítica de Oliveira de Azeméis (RIBEIRO et al., 1980; CHAMINÉ et al., 2004), com a Zona Centro-Ibérica [ZCI] da Cadeia Varisca Ibérica. Uma parte substancial da região está ocupada por depósitos de cobertura (GOMES, 2008) de idade holocénica e/ou pliocénica (depósitos aluvionares,

dunas fósseis, areias de praia e de duna actuais), e de idade plio-pleistocénica (depósitos de praias antigas e de terraços fluviais). As rochas granitóides e filonianas ocupam uma área considerável desta região, denunciando sobretudo eventos tectonomagmáticos contemporâneos com os diversos períodos de instalação relativamente à orogenia Varisca ou anterior, i.e., genericamente afloram na região granitóides precoces e/ou ante-variscos, sin-variscos e tardi- a pós-variscos.

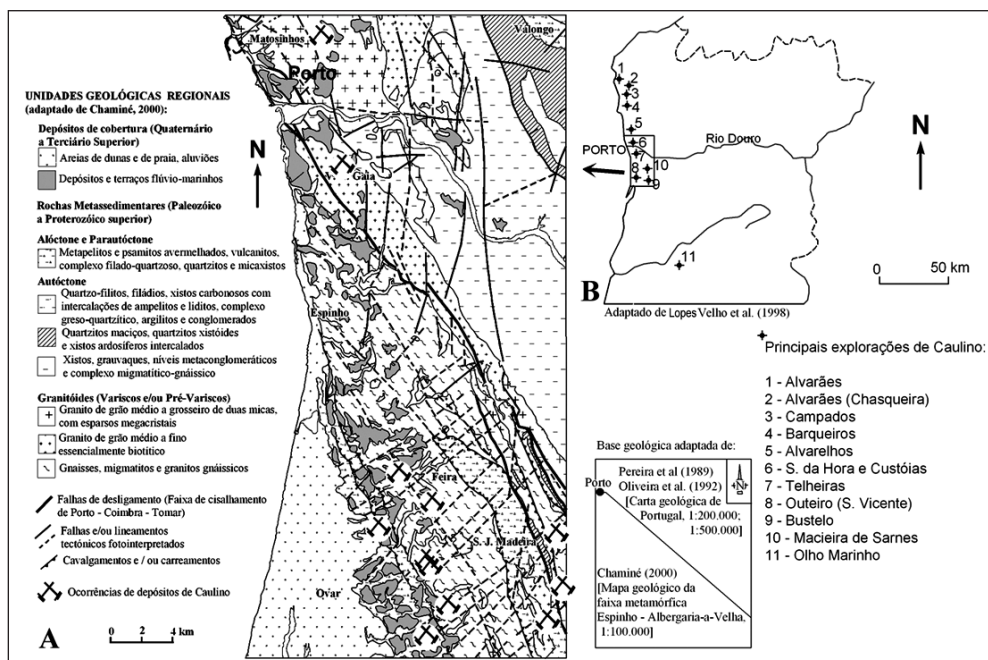


Fig. 2. Enquadramento regional. A) Esboço geológico da faixa metamórfica de Porto-Albergaria-a-Velha, com as ocorrências de caulino (base geológica adaptada de CHAMINÉ, 2000); B) Principais ocorrências de caulino no NW de Portugal (adaptado de LOPES VELHO et al., 1998).

Do ponto de vista geotectónico, definiram-se as seguintes unidades tectonoestratigráficas incluídas na ZOM (e.g., CHAMINÉ, 2000; CHAMINÉ et al., 2003a, 2004): I) *sector do Porto*, situado junto à orla litoral entre a foz do rio Douro e o Forte S. Fran-

cisco Xavier. Neste sector afloram metamorfitos que se incluem em duas unidades tectonoestratigráficas: a Unidade de Lordelo do Ouro (micaxistos e quartzito-tectonitos) e a Unidade dos Gnaisses da Foz do Douro (gnaisses, migmatitos e blastomilonitos). Es-

tas unidades definem no seu conjunto o denominado Complexo Metamórfico da Foz do Douro (NORONHA & LETERRIER, 2000) como parte integrante do bordo oeste da ZOM; II) *sector de Espinho-Albergaria-a-Velha*: para a ZOM, as Unidades de Lourosa inferior e superior, a Unidade de Espinho e a Unidade de Arada (unidades do parautoctone e autóctone relativo), e a Unidade de Pindelo bem como a Unidade de S. João-de-Ver como unidades do alóctone; para a ZCI, a Unidade de Carvoeiro e a Unidade do Quartzito 'Armoricano' de Caldas de S. Jorge, como unidades do parautoctone. Ocorrem, ainda, uma série de unidades tectonoestratigráficas, fora-de-sequência, do paleozóico superior, imbricadas tectonicamente no substrato do proterozóico superior (CHAMINÉ, 2000; CHAMINÉ *et al.*, 2003b, 2007; VÁZQUEZ *et al.*, 2007; MACHADO *et al.*, 2008).

O segmento Porto-Albergaria-a-Velha (*s.str.*) da faixa de cisalhamento de Porto-Coimbra-Tomar corresponde a uma faixa com uma série de acidentes tectónicos regionais de 1ª e de 2ª ordem com extensão local de *ca.* 80km por *ca.* 2,5km de largura, localmente apresentando uma deformação muito acentuada (CHAMINÉ, 2000). No conjunto, estes corredores de deformação (que apresentam não raras evidências de milonitização intensa ou em níveis superiores catáclase violenta com a geração de "*fault gouge*") são caracterizadas por corresponderem a cisalhamentos, com direcção N-S a NNW-SSE, com movimentação direita. É possível distinguir acidentes maiores (ou ramos) desta faixa de cisalhamento entre a região do Porto e Albergaria-a-Velha que tomam as seguintes denominações (CHAMINÉ, 2000; CHAMINÉ *et al.*, 2003a): i) *ramo Oeste da faixa de cisalhamento de*

Porto-Albergaria-a-Velha que se desenvolve desde a região de Carvoeiro-Mouquim (Albergaria-a-Velha) até próximo a Fiães, pondo em contacto as unidades da ZOM com as unidades do Paleozóico inferior da ZCI (sinforma de Carvoeiro-Caldas de S. Jorge); nesta última localidade materializa-se por falhas discretas (com características de esmagamento intenso), com direcção NW-SE, no granitóide pós-tectónico de Lavadores. Este segmento da faixa de cisalhamento observa-se na cidade do Porto, entre a Arrábida e o Castelo do Queijo (Forte de S. Xavier), contactando tectonicamente com o Complexo Metamórfico da Foz do Douro (ZOM) e o granitóide sin-tectónico do Porto, localmente deformado; ii) *ramo Leste da faixa de cisalhamento de Porto-Albergaria-a-Velha* que corresponde ao contacto tectónico, com orientação geral NNW-SSE, que se faz entre o quartzito 'Armoricano' e o Complexo Xisto-Grauváquico (Grupo das Beiras indiferenciado) desde a região de Caldas de S. Jorge até Ribeira de Fráguas-Carvoeiro; iii) outros acidentes, sub-paralelos aos anteriores, com alguma importância regional.

Para além dos acidentes anteriormente descritos, foi também reconhecida uma rede de acidentes tectónicos de natureza frágil, originada durante as fases tardi- a pós-variscas, que se encontra em regra subordinada aos sistemas de fracturação de atitudes NE-SW a ENE-WSW e NW-SE a NNW-SSE. São também de extrema importância os sistemas de fracturas, com orientação N-S a NNW-SSE e suas conjugadas, discretas, E-W a ENE-WSW. Estes últimos alinhamentos, devido ao processo de reactivação de estruturas e como resposta de um substrato pré-deformado sujeito a um campo de tensões tectónicas, correspondem a

direcções de cisalhamento dúcteis desenvolvidas nas fases tardias da orogenia Varisca (e.g., PARGA-PONDAL, 1969; RIBEIRO, 1979; CABRAL, 1995). Aliás, a região em estudo encontra-se directamente relacionada com a sua estrutura maior, a faixa de cisalhamento de Porto–Coimbra–Tomar, que se caracteriza por ser um importante corredor tectónico com uma complexa evolução geodinâmica, pelo menos, desde os tempos paleozóicos (e.g., SEVERO GONÇALVES, 1974; RIBEIRO et al., 1980; GAMA PEREIRA, 1987, 1998; DIAS & RIBEIRO, 1993; CHAMINÉ, 2000; CHAMINÉ et al., 2003a,b, 2004; GOMES et al., 2007; CHAMINÉ et al., 2007; GOMES, 2008).

Para GAMA PEREIRA (1987) e CHAMINÉ (2000), a faixa de cisalhamento de Porto–Coimbra–Tomar é constituída por megaestruturas de primeira ordem, podendo as falhas cartografadas ser interpretadas como diversos ramos do acidente tectónico principal e/ou estruturas secundárias associadas. Esta ossatura geotectónica, erigida segundo uma complexa zona de cisalhamento principal ante-mesozóica, condiciona a compartimentação morfotectónica e toda a evolução geomórfica regional, quer do relevo quer dos depósitos cenozóicos (GOMES, 2008). As faixas de cisalhamento deste tipo sublinham habitualmente o contraste entre diferentes níveis crustais nos quais determinadas estruturas se manifestam com uma geometria típica, por exemplo, estruturas em flor, ou estruturas ‘*Riedel*’ (e.g., GAMA PEREIRA, 1987; DIAS & RIBEIRO, 1993). Estas geometrias reforçam a existência de vários ramos de um mega-acidente tectónico principal ou de uma faixa de cisalhamento com estruturas dúcteis, ductéis-frágeis e frágeis, muitas delas sublinhando grande quantidade de movimento.

ENQUADRAMENTO GEOMORFOLÓGICO REGIONAL

A área estudada estende-se por uma faixa de orientação aproximada NNW-SSE, tendo como limites o Rio Douro (limite Norte) e Oliveira de Azeméis (limite Sul), incluindo os concelhos de Vila Nova de Gaia, de São João da Madeira e de Ovar (figura 3). A região emersa de Porto–Albergaria-a-Velha–Águeda caracteriza-se por um relevo aplanado correspondente a uma plataforma litoral que termina num relevo acentuado para o interior (BRUM FERREIRA, 1978, 1980; ARAÚJO, 1991; ARAÚJO et al., 2003; GOMES, 2008). Desse modo, esta área corresponde na sua grande parte a uma rampa de fraco declive que não excede os 150 metros de altitude que termina nalgumas estruturas de relevo mais elevadas a Leste, no geral, compostas por rochas graníticas e que não ultrapassam os 260 metros. O topo da plataforma está bem delineado por um contorno sinuoso, com direcção NNW-SSE. A Leste do rebordo interior da plataforma litoral, segundo um corredor meridiano entre S. João da Madeira e Vale de Cambra, o relevo é dominado por colinas formadas por rochas metassedimentares e quartzíticas, rigidamente alinhadas, com orientação NNW-SSE. Entre elas e, lateralmente, definem-se áreas deprimidas com a mesma orientação, de características tipológicas próprias denominadas por alvéolos, cuja origem estará ligada à presença de rochas cristalinas e ao papel da alteração diferencial (e.g., BRUM FERREIRA, 1978; ROCHETTE CORDEIRO, 1992a,b). A oriente destes relevos encontra-se o maciço da Gralheira que constitui um conjunto complexo de elevações situado entre os rios Douro–Paiva e Vouga-Sul, com cotas que variam entre os 1100m e os 750m (GIRÃO, 1922; RIBEIRO et al., 1943a).

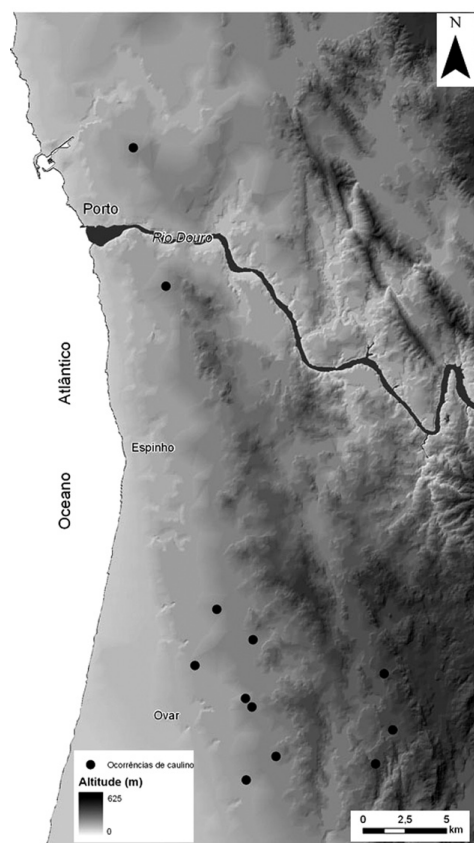


Fig. 3. Modelo Digital de Terreno da área compreendida entre a região do Porto e Ovar, com as principais ocorrências de caulino.

A organização da rede de drenagem reflecte o condicionamento tectónico da área, especialmente, dos sistemas de fracturação regional (i.e., NW-SE a NNW-SSE, NE-SW a NNE-SSW e W-E), impondo os traços morfoestruturais à região entre Porto e Albergaria-a-Velha (*e.g.*, BRUM FERREIRA, 1978; ARAÚJO, 1991; CHAMINÉ, 2000; GOMES *et al.*, 2007; GOMES, 2008). Assim, estas estruturas maiores produzem uma compartimentação tectónica que, por sua vez, condiciona a distribuição das linhas

de água, e consoante a litologia e a estrutura observam-se redes hidrográficas, em geral, do tipo rectangular e/ou dendrítico.

OS DEPÓSITOS DE CAULINO DA FAIXA METAMÓRFICA DE PORTO-ALBERGARIA-A-VELHA

São várias as ocorrências e depósitos de caulino conhecidos, descritos e explorados nesta região. Desde o dealbar do Século XX que há referências aos depósitos de caulino portugueses, nomeadamente, quanto a aspectos regionais por DELGADO (1905), SOUZA-BRANDÃO (1914a,b), CARRINGTON DA COSTA (1938), PEREIRA (1944), SOARES DE CARVALHO (1944), COTELO NEIVA (1945), LAPA (1969) e BARBOSA (1983-85). Mais recentemente, autores como GOMES *et al.* (1990), BOBOS & GOMES (1996, 1998), MIRANDA *et al.* (1998), TARI *et al.* (1999) e BOBOS *et al.* (2001) aprofundaram o conhecimento destas ocorrências, especialmente em termos de mineralogia e geoquímica de argilas. Defendem esses autores que alguns depósitos referidos manifestam uma geometria em funil, típica do corpo pegmatóide onde os processos de meteorização, relacionados com processos hidrotermais e pneumatolíticos, são fundamentais para que se promova a caulinização. COELHO *et al.* (2006a,b) e COELHO (2006), apresentaram uma síntese actual e exploratória dos principais constrangimentos cartográficos, geotectónicos e morfoestruturais que caracterizam as ocorrências de caulino na região em estudo.

Uma das primeiras alusões directas a ocorrências de caulinos e sua exploração é feita por DELGADO (1905), o qual, descreve alguns afloramentos de caulino em Souto, próximo a Mosteiró, no concelho de Santa

Maria da Feira. Este autor refere que o material provém da alteração dos cristais de feldspato existentes num corpo pegmatítico ou num granito moscovítico existentes no seio de rochas gnáissicas. Menciona, também, a presença de outro material caulinitico originário da alteração de massas graníticas moscovíticas de forma lenticular e concordante com a foliação patente nos gnaisses.

Alguns anos mais tarde, SOUZA-BRANDÃO (1914a,b), refere uma série de ocorrências e depósitos de caulino nos concelhos da Feira e de Ovar. Nestes trabalhos menciona *Valle Rico* (na grafia actual Vale Rico), exploração que terá sido descoberta, por mero acaso, em meados de 1832 e abandonada aquando dos inícios dos trabalhos exploratórios em Fijô de Teobalde que segundo o autor, estaria em plena laboração em 1903. Além destas ocorrências, menciona também, depósitos em S. Vicente de Pereira Jusã e Válega. Todas as ocorrências referidas por SOUZA-BRANDÃO (1914a,b) eram, há época, concessões da empresa Vista Alegre. Alude, fundamentalmente, aos aspectos litológicos e estruturais das rochas circunvizinhas dos depósitos de caulino, que porventura lhe terão dado origem. O depósito de Valle Rico, historicamente, é de grande importância para a *Vista Alegre* como empresa de referência portuguesa de porcelana. A sua descoberta ocorre pouco tempo depois da empresa ter obtido a designação de “*Real Fábrica da Vista Alegre*”, título que marca o reconhecimento pela sua arte e sucesso industrial. Aliado a estes factores, a descoberta deste depósito ocorre no início do período áureo da empresa, durante o qual a produção de porcelana portuguesa atinge o seu clímax em termos artísticos, qualidade de matéria-prima (de que o depósito de Valle Rico não é alheio) e procura

por parte de compradores nacionais e estrangeiros (FRASCO, 2005).

CARRINGTON da COSTA (1938) refere a ocorrência de vários tipos de argila depositadas sobre o substrato ígneo, metamórfico ou aluvionar, em que o material apresenta várias cores, desde amarela a vermelha e, por vezes, até branca. Faz menção às litologias de natureza ígnea e metamórfica, existentes na região e atenta que as litologias que se encontram, preferencialmente, caulinizadas são os granitos alcalinos em detrimento aos granitos porfiróides. RIBEIRO et al. (1943b) referem-se, muito sucintamente, ao depósito de caulino de Telheira, em Vila Nova de Gaia. Enquanto que PEREIRA (1944), reporta as formações geológicas existentes em Portugal com haloisite, caulinite ou montmorilonite. Na sua investigação dedicada à cristalquímica e mineralogia de argilas, aprofunda os estudos, entre outros, sobre os depósitos de caulino da região do Porto (nomeadamente o de S. Gens) e o de S. Vicente de Pereira Jusã.

SOARES de CARVALHO (1944), num esboço geológico dedicado à região de Oliveira de Azeméis, faz referência a um depósito na localidade da Branca que assenta sobre xistos. Menciona também, que na estrada de ligação entre Lações e Bustelo, aflora uma mancha de gnaiss que se encontra alterado em “salão” (na região de Oliveira de Azeméis, dá-se o nome de “salão” a uma massa esbranquiçada, essencialmente, constituída por caulino, resultante da alteração de gnaisses ou granitóides). Cita, também, a existência de manchas de caulino nos arredores de S. Vicente de Pereira Jusã e de S. Martinho da Gândara e zonas pegmatíticas associadas a caulino na região do Pinhão. COTELO NEIVA (1945), menciona novamente a exploração de caulino

existente em Telheira, Vila Nova de Gaia. Neste contributo relativo aos microturmalinitos da região a sul do Douro, e de modo mais pormenorizado relativamente à exposição realizada por RIBEIRO *et al.* (1943b), dois anos antes, o autor enuncia várias considerações sobre o depósito de caulino de Telheira e faz uma breve referência a uma outra exploração de caulino em Canidelo. Incide o seu estudo em vários aspectos desta exploração, nomeadamente o grau de alteração da rocha-mãe e das estruturas filonianas presentes. Refere-se, também, a possíveis processos que terão dado origem ao caulino explorado neste local.

TEIXEIRA *et al.* (1962), enquadrado na Carta Geológica de Portugal (folha de Espinho), refere uma série de depósitos de caulino na área de Vila Nova de Gaia (Telheiras), de Rio Meão e de Beire. Relativamente a estes dois últimos depósitos (Beire e Rio Meão), afirmam que a caulinizacão surge de modo diferenciado, originando locais onde o caulino é mais branco; tais zonamentos, segundo os autores correspondem a bolsas de natureza pegmatítica. Segundo TEIXEIRA & ASSUNÇÃO (1963), na região de Ovar destacam-se vários locais onde, na altura, se procedia à exploração de caulino. Esses depósitos localizam-se em Travanca, Souto, São Vicente de Pereira Jusã, São Martinho da Gândara e Barrocas. Ainda acerca do depósito da Telheira, LAPA (1969) ocupou-se, então, do estudo geológico e mineralógico desta exploração (inactiva actualmente) que é caracterizado pela ocorrência de horizontes caulíníticos no seio do granitóide de Lavadores, com possança métrica, intercalados nos depósitos flúvio-marinhos de idade plio-pleistocénica da região. TEIXEIRA & ZBYSZEWSKI (1976) registam a ocorrência de duas exploração

de caulino na região de Aveiro, nomeadamente na região de Eirol. PEREIRA *et al.* (1980), referindo-se aos depósitos existentes na região de Oliveira de Azeméis (Macieira de Sarnes e Bustelo), emitem algumas opiniões relativas à sua génese. Segundo esses autores, o caulino explorado em Macieira de Sarnes resulta da alteração de granitóides gnáissicos albitos-moscovíticos, onde coexistem, também, produtos de alteração de corpos pegmatíticos. Relativamente, ao caulino localizado em Bustelo, este resulta da alteração, de igual modo, de granitóides gnáissicos de duas micas.

BARBOSA (1983-85), faz um estudo global dos depósitos e ocorrências de caulino ao longo do NW de Portugal, estabelecendo que as condições litológicas, geomorfológicas e geológico-estruturais são constrangimentos essenciais para a caulinizacão. Este autor sintetiza e descreve os principais depósitos de caulinos relacionados com as rochas graníticas e, em particular, refere-se às características geológicas e à génese destes depósitos aflorantes na faixa metamórfica de Espinho-Albergaria-a-Velha (caulinos de S. Vicente de Pereira Jusã na região de Ovar, caulinos de Macieira de Sarnes, na região de S. João da Madeira e caulinos de Pindelo e Bustelo, na região de Oliveira de Azeméis).

GOMES *et al.* (1990), referem-se aos depósitos de caulino portugueses, residuais e sedimentares sob o ponto de vista geológico, mineralógico e geoquímico. BOBOS & GOMES (1996, 1998, 2000), BOBOS *et al.* (1996a,b, 1998, 2001), MIRANDA (1997), MIRANDA *et al.* (1998) e TARI *et al.* (1999) publicaram um conjunto de trabalhos de índole mineralógica sobre os depósitos de caulino de S. Vicente de Pereira Jusã (Ovar). BOBOS *et al.* (1996a,b,

1998, 2001), descrevem o processo de greisenização no depósito de S. Vicente de Pereira Jusã e apresentam uma proposta de integração no quadro da geologia regional. BOBOS & GOMES (1996, 1998), reportam investigações pormenorizadas, numa perspectiva mineralógica, geoquímica e genética, acerca do depósito de S. Vicente de Pereira Jusã. Enquanto que MIRANDA (1997) e MIRANDA et al. (1998), focalizam as suas investigações em estudos detalhados sobre a alteração deutérica para a génese do depósito de caulino de S. Vicente de Pereira Jusã, relacionando os processos hidrotermais e com a fracturação local. A principal conclusão das investigações mineralógicas supracitadas pelos diversos autores, é a de que o depósito de caulino de S. Vicente de Pereira Jusã atesta uma contribuição de fluidos hidrotermais que terão uma origem metamórfica. Estes depósitos caracterizam-se, assim, por terem dois períodos de alteração: i) hidrotermal, caracterizado por uma alteração do tipo *greisen*, ou seja, representado pelas associações de quartzo+moscovite e quartzo+turmalina, um processo sin- a pós-fase D2 varisca; ii) supergénico, sobreposto a uma alteração pós-greisenização e expresso pela associação caulinite $\pm$ ilite, com uma transição da caulinite até haloisite-7Å. Para os autores referidos a actividade hidrotermal do depósito de caulino de S. Vicente de Pereira Jusã está relacionada com o facto do afloramento estar associado a uma zona de cisalhamento dúctil e os fluidos hidrotermais estarem genética e espacialmente associados com intrusões félsicas e/ou com fluidos de origem metamórfica.

OS CASOS DE ESTUDO: ESTRATÉGIA DA INVESTIGAÇÃO ADOPTADA

Metodologias e técnicas

A região objecto de estudo é, de certo modo, extensa pelo que, para a concretização deste estudo, se procedeu a uma abordagem faseada e integradora. De uma forma geral, e como ponto de partida, procurou-se ter uma visão mais abrangente da região em causa, seguindo-se posteriormente, uma abordagem temática mais restrita e minuciosa a nível local, tendo sempre como principal objectivo o conhecimento das possíveis condições de génese do material caulinítico.

Antes do início efectivo dos trabalhos de campo, elaborou-se uma síntese bibliográfica para que fosse possível ter uma visão global que permitisse estabelecer pontos-alvo a considerar, estrategicamente coerentes, nomeadamente ao nível de importância e impacto neste estudo. Simultaneamente, elaborou-se uma cartografia geológica de base, à escala 1/100.000, acompanhada pela elaboração de um Modelo Digital de Terreno (MDT) da faixa litoral NW do país, delimitada à área em análise. A aplicação e elaboração deste método cartográfico têm como intuito primordial estabelecer uma representação digital, recorrendo para tal, a modelos 3D de uma determinada região. Para a sua concretização, precedeu-se ao necessário levantamento, exaustivo e moroso, da distribuição espacial das variações de altitude numa dada área, isto é, vectorização das curvas de nível e dos pontos altimétricos da região. No entanto, há dois inconvenientes quanto à utilização exclusiva de curvas de nível e pontos cotados: i) o volume de dados amostrais, que pode ser enorme, tanto para a manipulação como para o armaze-

namento do MDT; ii) a possibilidade deste apresentar, mesmo assim, inconsistências geomorfológicas. Apesar desta limitação, este método mostra-se eficaz ao tornar facilmente perceptível a geomorfologia de uma determinada região, e a partir desta observação, permitir inferir, por exemplo, a razão da existência de alinhamentos tectónicos, de inflexões aparentemente inexplicáveis na rede hidrográfica, a existência de estruturas de relevo com dimensões que só se tornam visíveis a escalas e perspectivas diferentes das usualmente utilizadas.

Uma vez que os depósitos considerados neste estudo ocorrem de forma pontual ao longo da faixa metamórfica de Espinho-Albergaria-a-Velha, foi feita uma abordagem cognitiva gradual de forma a perspectivar o tema a várias escalas; numa primeira aproximação foi utilizada fotografia aérea, às escalas 1/15.000 e 1/30.000, procedendo à respectiva fotointerpretação. Concomitantemente, recorreu-se a cartografia base à escala 1/50.000 e 1/25.000 de forma a complementar esta fase do estudo. Numa fase ulterior, restringiu-se a investigação aos pontos-alvo obtidos através da fotointerpretação e análise bibliográfica realizada na abordagem preliminar do tema. Nesta etapa, já a nível dos trabalhos de campo, analisaram-se, individualmente cada um dos depósitos de caulino definidos anteriormente como pontos-alvo, considerando factores como: rochas circunvizinhas, rocha-mãe do material, estruturas relevantes ao estudo, tais como rochas filonianas, grau de fracturação e a sua respectiva disposição no depósito.

Para que fosse possível o cruzamento de todos os dados, adquiridos após a aplicação de diferentes métodos e abordagens, realizaram-se uma série de mapas que permitem ter uma visão alargada de toda a área em estudo, quer do ponto de vista geomorfoló-

gico, quer do ponto de vista geotectónico. Foram, ainda, realizados estudos geológico-estruturais e geomorfológicos de pormenor na maioria dos depósitos cauliniticos, em particular nos depósitos de Bustelo e de S. Vicente de Pereira Jusã, recorrendo a duas abordagens complementares para o estudo dos graus de fracturação e de alteração. Assim, numa primeira fase, procedeu-se ao reconhecimento cartográfico, à escala 1/1.000, das áreas seleccionadas e, numa segunda fase, realizaram-se estudos geológico-estruturais recorrendo à técnica de amostragem linear aplicada a estudos de geoengenharia de maciços. Com efeito, as feições geológicas do material-rocha, no que se refere à heterogeneidade litológica, aos graus de alteração e de fracturação, reflectem-se em termos de estabilidade e de condições hidrogeomecânicas dos maciços rochosos (CFCFF, 1996).

Em síntese o presente estudo foi desenvolvido em duas fases complementares, a saber: uma primeira fase, referente ao trabalho de campo enquadrada na fase de reconhecimento geológico e geomorfológico estrutural e de cartografia; uma segunda fase, ligada ao processamento, análise e interpretação dos dados para uma caracterização da compartimentação geológica do maciço rochoso. É de extrema importância o estudo da rede de fracturação regional, com base na análise morfotectónica de mapas topográficos e dos reconhecimentos geológicos do local do georrecurso a caracterizar. Devem-se, ainda, comparar os resultados obtidos à mega- e macro-escala no sentido de averiguar a presença de um padrão de fracturação com dimensão multi-escala.

Na vectorização dos mapas de cartografia regional, foi utilizado o programa "OCAD 9.0" e o programa "Surfer 8.0" para a obtenção dos modelos digitais de terreno. Para o tratamento de dados dos

estudos geológico-estruturais recorreu-se à elaboração de diagramas de densidade de pólos (diagrama de “Schmidt-Lambert”, projecção hemisfério inferior) e diagramas de rosetas. Para o efeito, utilizaram-se os programas informáticos “StereoNet 3.03” e “Dips 5.1, RocScience”.

Considerações iniciais

Este estudo faz parte de uma investigação multidisciplinar, actualmente em curso. Assim, foi encetada uma abordagem integradora dos aspectos cartográficos, geotectónicos e geomorfológicos fundamentais de terreno com ênfase nas áreas onde se localizam os depósitos de caulino (e.g., enquadramento geológico e geomorfológico regional e local, geologia das rochas circunvizinhas ao depósito, geometria do depósito, caracterização do material, estruturas mais relevantes, estado de fracturação e de alteração,...). Por uma questão de conveniência na sistematização dos dados relativos aos diferentes depósitos, optou-se por separá-los em grupos distintos, consoante a similitude da sua localização geográfica e geológica.

Aplicando esta abordagem, estabeleceram-se dois grupos, o primeiro dos quais inclui os depósitos de S. Vicente de Pereira Jusã, S. Martinho da Gândara e Outeiro, sem esquecer referências como Souto e Mosteiro, que se designou por *Grupo de S. Vicente de Pereira Jusã*. O segundo desses grupos inclui os depósitos do Bustelo e de Macieira de Sarnes, além das ocorrências do Pinhão-Pindelo, e que se optou por designar por *Grupo do Bustelo*. Actualmente, nenhuma das explorações, a de Macieira de Sarnes e do Bustelo se encontra em laboração. Um terceiro grupo foi definido tendo como único elemento, o *depósito da Telheira* (V. N. Gaia), o que se localiza mais a Norte na área estabelecida para este estudo.

O objectivo do trabalho aqui apresentado tenciona demonstrar a relação existente entre a presença de depósitos ou simples ocorrências de caulino ao longo da faixa metamórfica de Espinho-Albergaria-a-Velha e as estruturas tectónicas regionais. Desta forma, foi dada redobrada importância a todos os dados relacionados com as estruturas geológicas cartografadas no local da exploração e na envolvente. O trabalho que se mostrou mais fecundo para consumir este objectivo foi a análise exhaustiva de fotografia aérea e o seu cruzamento com dados ligados à morfologia e geologia da região. Tal método permitiu, além da confirmação de dados cartográficos e bibliográficos, efectuar um enquadramento mais abrangente e rigoroso de toda a região onde se localizam as explorações, assim como da área de concessão em especial; além disso, permitiu também interpretar o padrão preferencial da fracturação regional. No terreno, analisou-se pormenorizadamente, o grau de fracturação local patente em dois depósitos de caulinos, cruzando-a com a rede de fracturação regional previamente definida e, assim, conceptualizar o sistema de fracturação multi-escala.

Ocorrências e depósitos de caulinos entre Porto e Albergaria-a-Velha: um breve enquadramento

Na área da cidade do Porto, conhecem-se e exploram-se desde há muito jazigos de caulino (SAMPAIO, 1969). Apesar da abundância deste recurso geológico, com a evolução demográfica registada e a consequente expansão das zonas residenciais, as áreas de exploração de caulino na região do Porto encontram-se actualmente abandonadas. As principais ocorrências são: Senhora da Hora (São Gens), Monte dos Burgos, São Mamede de Infesta, Leça do Balio e Custóias.

A Sul do rio Douro afloram uma série de depósitos de caulino, donde se destacam, especialmente, os depósitos de Telheiras (Gaia), de Rio Meão e Beire (Feira), de S. Vicente de Pereira Juzã (Ovar), de Macieira de Sarnes (S. João da Madeira), de Pindelo e Bustelo (Oliveira de Azeméis). A maioria dos corpos granitóides e pegmatóides caulinizados afloram em rochas gnáissicas e graníticas da faixa metamórfica de Porto-Albergaria-a-Velha. Os depósitos de Beire e Rio Meão ocorrem em terrenos constituídos por rochas gnáissicas com diferenciações pegmatíticas irregulares de reduzidas dimensões. Na região de Ovar localizam-se vários corpos granitóides caulinizados, com orientação NNW-SSE. Esses depósitos encontram-se, de modo descontínuo, em Travanca, Souto, São Vicente de Pereira Jusã, São Martinho da Gândara e Barrocas. Reconhecem-se estruturas filonianas quartzosas e turmalinitos, com orientação média N60°E. Na área de Oliveira de Azeméis destacam-se os depósitos de caulino de Macieira de Sarnes e Bustelo. O caulino aflorante em Macieira de Sarnes resultou da alteração de granitóides gnáissicos albitos-moscovíticos, onde coexistem, também, produtos de alteração de corpos pegmatíticos. Relativamente ao caulino explorado em Bustelo, este deriva de processo de alteração idêntico, em rochas granitóides gnáissicas de duas micas. Os afloramentos cauliniticos de Macieira de Sarnes ocorrem no seio de gnaisses albitos-moscovíticos de grão grosseiro, que patenteiam uma orientação preferencial N20°W. A área encontra-se intensamente tectonizada e com inúmeras estruturas filonianas

quartzosas e/ou aplito-pegmatíticas, com uma direcção média N45°E. A ocorrência de Bustelo aflora num granito gnáissico, de duas micas de grão grosseiro. Toda a área se encontra igualmente tectonizada e abundam estruturas filonianas, com orientações médias N30°W e N60°E.

A maioria dos autores (e.g., GOMES *et al.*, 1990; MIRANDA *et al.*, 1998; TARI *et al.*, 1999; BOBOS *et al.*, 2001) que estudaram em pormenor a mineralogia e geoquímica dos materiais cauliniticos sugerem que os processos primordiais para a formação dos depósitos referidos, estão relacionados intrinsecamente com processos hidrotermais e pneumatolíticos, materializados pela presença frequente de turmalinização e greisenização. Além disso, estes processos explicar-se-iam, em parte, pelo contexto geotectónico dos depósitos, i.e., o contributo dos geofluidos ao longo das megaestruturas tectónicas regionais do segmento de Porto-Albergaria-a-Velha enquadradas na faixa de cisalhamento de Porto-Coimbra-Tomar (CHAMINÉ *et al.*, 2003a, 2007; GOMES *et al.*, 2007). Estas estruturas seriam fundamentais para gerar sectores com blocos crustais com uma elevada densidade de fracturação, materializados por nós tectónicos (i.e., intersecção das orientações principais regionais, nomeadamente, NNW-SSE a N-S, NE-SW a ENE-WSW) que promoveriam o estado de alteração (caulinização), associada a processos hidrotermais e paleoambientais, dos materiais granitóides e gnáissicos (COELHO *et al.*, 2006a,b). O quadro 1 apresenta uma síntese das principais características dos depósitos de caulino entre a região do Porto e Ovar.

Localização	Litologia	Estruturas	Tipo de depósito	Observações	Referências
Porto (Sra. da Hora)	Granito do Porto	Corredores de fracturação e alteração NNE-SSW a NNW-SSE	Residual	- Terraços Pliocénicos - Alteração superficial	Barbosa (1983-85) Gomes <i>et al.</i> (1990)
Porto (Viso de Cima)	Granito do Porto	Filões pegmatíticos, NNE-SSW a NNW-SSE	Residual	- Depósito em "funil" - Evidências de processos hidrotermais e pneumatólicos	Barbosa (1983-85) Gomes <i>et al.</i> (1990)
V. N. Gaia (Telheiras)	Granito de Lavadores	Corredores de fracturação NW-SE	Residual + Sedimentar	- Depósito do Pliocénico - Evidências de processos hidrotermais e pneumatólicos - Alternância de granitos e filões aplito-pegmatíticos que cortam o caulino sedimentar	Ribeiro <i>et al.</i> (1943) Cotelo Neira (1945) Lapa (1969) Camilo (1975) Barbosa (1983-85) Pereira (1992)
Espinho (Rio Meio e Beire)	Micaxisto e gnaiss (Unidade de Lourosa)	Bolsadas pegmatíticas responsáveis pelo zonamento na caulnização	Residual	- Terraços Pliocénicos - Caulnização irregular e diferenciada - Contaminações de Óxidos de Ferro	Barbosa (1983-85) Teixeira & Perdigão (1962)
Ovar (S.Vicente de Pereira Jusã)	Granito médio a grosseiro, de duas micas	Intrusões feldspáticas, filões de quartzo e tumalina	Residual	- Plataforma Pliocénica - Depósito hidrotermal - Depósito alinhado NNW-SSE - Caulnização coincidente com a direcção de fracturação	Souza-Brandão (1914) Pereira (1944) Soares Carvalho (1944) Barbosa (1983-85) Gomes <i>et al.</i> (1990) Miranda (1997) Bobos & Gomes (1996, 1998) Bobos <i>et al.</i> (1996, 1998, 2001) Miranda <i>et al.</i> (1998)
Oliveira de Azeméis (Macieira de Sames e Pinhão-Pindelo)	Granito gnáissico, albito-moscovítico	Filões de quartzo e aplito - pegmatitos	Residual	- Presença de produtos de alteração de material pegmatítico - Foliação do granito gnáissico N 20°-30° W - Tumalinização e greisenização - Índices de processo hidrotermais e pneumatólicos	Souza-Brandão (1914) Soares Carvalho (1944) Barbosa (1983-85) Gomes <i>et al.</i> (1990)
Oliveira de Azeméis (Bustelo)	Granito gnáissico, de duas micas de grão grosseiro	Filões de quartzo	Residual	- Foliação do granito gnáissico N 20°W - Caulnização até 20 m de profundidade, irregular - Cotas de 250 a 260 m - Índices de processos hidrotermais e pneumatólicos	Souza-Brandão (1914) Soares Carvalho (1944) Barbosa (1983-85) Gomes <i>et al.</i> (1990)

Quadro 1. Síntese das principais características dos depósitos de caulino da região do Porto e Ovar.

Os casos de estudo: enquadramento, morfologia, litologia e estrutura

Grupo de S. Vicente de Pereira Jusã

A existência de depósitos de caulinos (em exploração activa ou abandonada) é bastante prolífera na região de Ovar. O designado Grupo de S. Vicente de Pereira Jusã, é constituído pelo próprio depósito de São Vicente Pereira Jusã, juntamente com os de São Martinho da Gândara e do Outeiro. A região onde estes depósitos se encontram é composta por uma vasta área aplanada, coberta maioritariamente por aluviões no

fundo dos vales mais amplos e por depósitos fluviais Plio-Plistocénicos no topo da plataforma litoral. A extensão do depósito de caulino está estimada em cerca de 11km².

Os relevos mais importantes na área onde se enquadram o depósito de S. Vicente de Pereira Jusã, encontram-se a NE e a SE da cidade de Ovar, entre Vila da Feira e S. Martinho da Gândara, sendo que as cotas mais elevadas correspondem aos v.g. de S. Estêvão, nas imediações de Mosteiro, com 273m, ao de Crasto, em S. Martinho da Gândara, com altitude de 242m e ao v.g. de Agoncida com 229m. Estas elevações

constituem o denominado *Relevo Marginal* (ARAÚJO, 1991), que se dispõe de modo quase rectilíneo e contínuo, com direcções

variáveis entre NNW a NNE, os quais delimitam morfologicamente a divisão entre a plataforma litoral e o interior (figura 4).

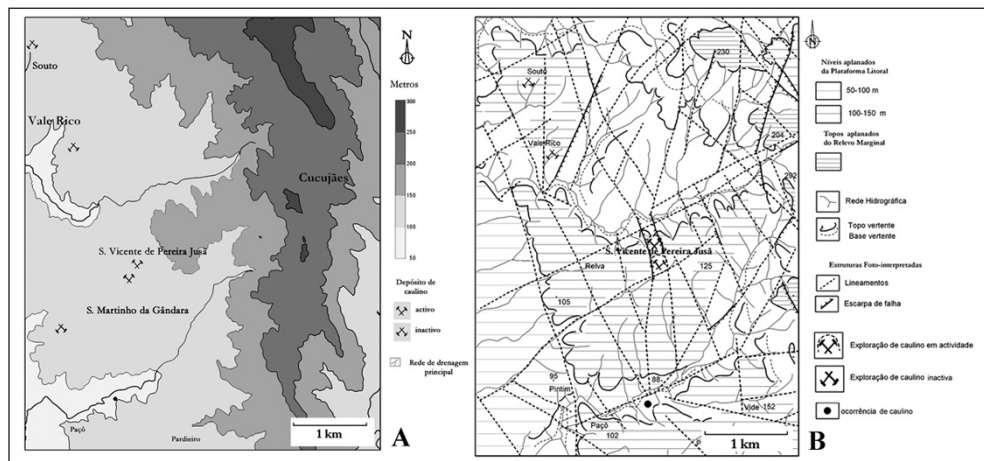


Fig. 4. Enquadramento morfoestrutural da área do Grupo de S. Vicente de Pereira Jusã (depósitos de S. Vicente de Pereira de Jusã). A) Mapa hipsométrico; B) Esboço geomorfológico.

A exploração de S. Vicente de Pereira Jusã localiza-se no topo de uma extensa plataforma aplanada cujas cotas se encontram compreendidas entre os 100 e 150m. A superfície aplanada pertencente à plataforma litoral, neste caso, constitui o último patamar de contacto com o denominado Relevo Marginal. A superfície aplanada na qual se encontra o depósito situa-se a uma cota média de 125m, aproximadamente, a qual, se encontra condicionada por várias estruturas tectónicas (figura 4), principalmente, segundo três direcções: NNW-SSE que inclui um sistema de lineamentos tectónicos de traçado ondulado, numerosos e de significativa extensão; NE-SW, composto por um número fraco de lineamentos, mas de grande extensão e que condicionam o desenvolvimento da rede hidrográfica nos sectores mais elevados da plataforma litoral; NNE-SSW, que abrange um número

elevado de lineamentos tectónicos, mais expresso, a norte de S. Vicente de Pereira Jusã e que define pequenas escarpas de falha que compartimentam a plataforma litoral e as elevações interiores, com a particularidade de terminarem no encontro com lineamentos com as direcções anteriores.

O afloramento de S. Vicente de Pereira Jusã encontra-se em terrenos da plataforma litoral coberta por depósitos areno-conglomeráticos plio-pleistocénicos, assumindo-se como terreno de cobertura de um substrato altamente metamorizado, composto fundamentalmente por micaxistos, gnaisses e migmatitos. Considerando a região circundante ao limite da exploração, registam-se vários afloramentos de rochas granitóides, incluídas estratigraficamente no membro superior da denominada Unidade de Lourosa (CHAMINÉ, 2000; CHAMINÉ *et al.*, 2003a). A Unidade de Lourosa é uma unidade tec-

tonoestratigráfica composta por materiais de natureza metamórfica, nomeadamente gnaisses, migmatitos e micaxistos (por vezes com granada), além de intercalações de xistos anfibolíticos e anfibolitos. Esta unidade encontra-se dividida em dois membros (CHAMINÉ, 2000), superior e inferior; uma vez que se verifica uma predominância de litologias migmatíticas e anfibolíticas, com posições bem definidas entre si e as unidades adjacentes. O membro inferior da Unidade de Lourosa é constituído por migmatitos, nos quais se constata a presença de corpos lenticulares com orientação NW-SE de ortognaisses biotíticos e gnaisses granitóides, enquanto que o membro superior é basicamente constituído por micaxistos biotíticos de cor castanha escura, por vezes, granatíferos e, bem assim, com níveis de quartzo. Em alguns pontos, estes micaxistos, assumem uma cor avermelhada e/ou amarelada em virtude do estado de alteração que apresentam. Por vezes, estas rochas metassedimentares encontram-se intruídas por gnaisses granitóides tomando a forma de apófises, de rosários ou de lenticulas, chegando mesmo desenvolver estruturas migmatíticas.

Os afloramentos granitóides denotam um alinhamento geral NW-SE. Trata-se de afloramentos de um granito de grão médio a grosseiro, com intrusões de várias naturezas, nomeadamente feldspáticas, quartzosas e pegmatíticas, e com uma certa tendência para constituírem granitóides gnáissicos. Estes corpos, nomeadamente as intrusões quartzosas, assumem direcções preferenciais coincidentes com a orientação dos corpos graníticos, NW-SE (SOARES de CARVALHO, 1944; BARBOSA, 1983-85; CHAMINÉ, 2000). O grupo de S. Vicente de Pereira Jusã relaciona-se com a alteração de litologias pertencentes ao membro superior

da Unidade de Lourosa, nomeadamente os gnaisses granitóides.

O depósito de S. Vicente de Pereira Jusã encontra-se implantado em terrenos de características fundamentalmente de natureza ígnea ou metamórfica, onde se observam afloramentos de rochas granitóides e metassedimentares, nomeadamente granitos, gnaisses e micaxistos, nas imediações do depósito. Este contacta por falha com os micaxistos pertencentes ao membro superior dessa mesma unidade.

Na região circundante ao depósito ocorrem uma série de afloramentos graníticos que evidenciam um nítido alinhamento NNW-SSE, direcção esta, que se verificou, estatisticamente, ser a direcção mais comum da fracturação patente na região. No entanto, observa-se que a caulinizacão segue um alinhamento NE-SW, coincidente com a orientação de outra família de fracturas, a segunda mais comum na região. Constata-se que a rede de fracturação é bastante intensa, factor que promove a elevada taxa de circulação de fluidos de várias naturezas, nomeadamente de natureza hidrotermal e meteórica. Consequentemente, e como resultado deste fenómeno, constata-se a existência em toda a região, assim como na zona de exploração de caulino, uma série de filões mineralizados com turmalina, quartzo (*greisen*) e também pegmatitos. Verifica-se que é ao longo destes lineamentos que, de um modo preferencial, a alteração da rocha migmatítica ocorre, originando o caulino que é explorado comercialmente.

Grupo do Bustelo

Os depósitos de Bustelo e de Macieira de Sarnes encontram-se referenciados na área de S. João da Madeira. O depósito de Bustelo situa-se próximo da povoação com o

mesmo nome, no local da Mata do Covo (ou Quinta do Covo). O depósito de Macieira de Sarnes localiza-se no lugar da Devesa.

O relevo da região é condicionado, na sua grande parte, pelas direcções estruturas Variscas, facto esse que se evidencia pela orientação geral das estruturas e litologias aflorantes ser NW-SE a NNW-SSE e NE-SW a NNE-SSW. A área é composta por um relevo muito irregular, comportando elevações com topos de altitudes entre os 250 e 300 metros. O arranjo morfológico das elevações define vários sectores de compartimentação morfotectónica (BRUM FERREIRA, 1978; TEIXEIRA *et al.*, 2007; GOMES, 2008). No que respeita ao posicionamento da exploração de caulino do Bustelo (figu-

ra 5), pode constatar-se que este depósito está implantado no topo de uma superfície aplanada estreita, que atinge valores entre os 200m e os 250m de altitude. Esta superfície desenvolve-se na base de uma escarpa de falha, a leste, a qual é inferida pela variação de importante cota e pelo prolongamento do abrupto topográfico para NW. Toda a superfície em questão encontra-se altamente afectada pela fracturação regional que será responsável pelo traçado da rede hidrográfica; neste caso, a rede de drenagem principal assume direcções NNE-SSW a NE-SW, enquanto que a rede hidrográfica secundária dispersa-se segundo NNW-SSE e, em alguns locais, com direcção média N-S.

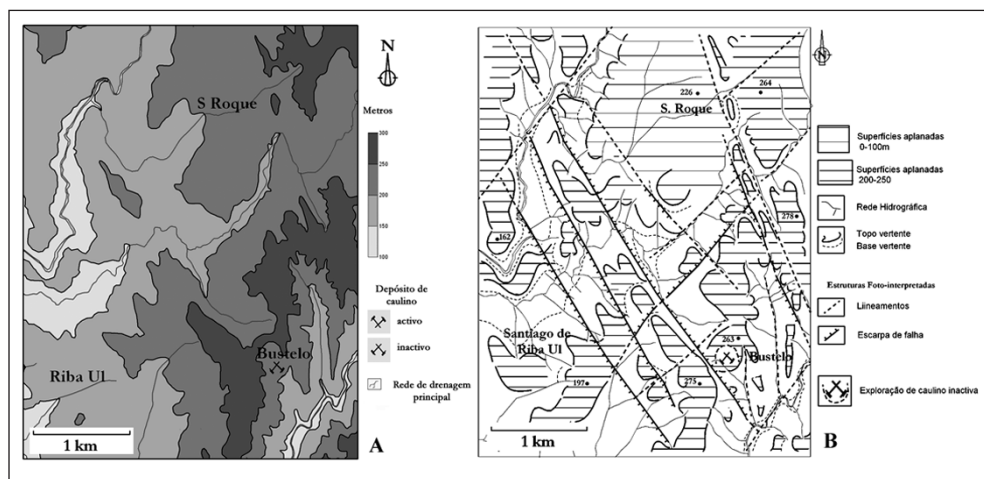


Fig. 5. Enquadramento morfoestrutural da área do Grupo do Bustelo (depósito de Bustelo). A) Mapa hipsométrico; B) Esboço geomorfológico.

O depósito de Macieira de Sarnes (figura 6) composto por duas frentes de exploração (aqui diferenciadas como frentes norte e sul), encontra-se também ele, e tal como ocorre nos depósitos até agora referidos, no topo de uma plataforma, cuja cota não ultrapassa

os 300m. A plataforma na qual se situam as frentes de exploração corresponde, litologicamente, a terrenos onde afloram rochas granitóides e metassedimentares. Nas proximidades do depósito de Macieira de Sarnes, a leste deste, regista-se uma variação de altitude

substantial e abrupta que deve corresponder a uma escarpa de falha, cuja presença impõe no relevo uma configuração diferente. Quer a exploração do Bustelo, quer a exploração de Macieira de Sarnes localizam-se muito perto de relevos muito vinculados na paisagem correspondentes às cristas quartzíticas do Arenigiano do domínio estrutural de Caldas de

S. Jorge-Carvoeiro-Águeda (CHAMINÉ *et al.*, 2004; TEIXEIRA *et al.*, 2007; GOMES, 2008). No entanto, ao contrário do que ocorre no depósito do Bustelo que localiza a Oeste das cristas quartzíticas, o depósito de Macieira de Sarnes encontra-se numa depressão localizada entre os dois ramos quartzíticos existentes na região.

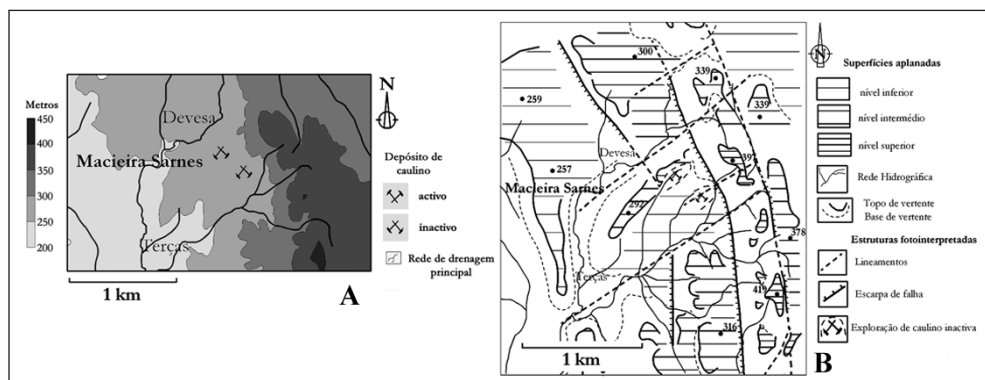


Fig. 6. Enquadramento morfoestrutural da área do Grupo do Bustelo (depósito de Macieira Sarnes). A) Mapa hipsométrico; B) Esboço geomorfológico.

Os depósitos deste grupo, encontram-se em terrenos constituídos por rochas graníticas, mais ou menos tectonizadas, com a ocorrência esporádica de corpos filonianos, compostos principalmente por quartzo e, por vezes, por turmalinitos. As características litológicas do local da concessão do Bustelo são em muito semelhantes às referidas anteriormente para a exploração de Macieira de Sarnes. Trata-se de um granito gnáissico, de duas micas e de grão grosseiro, também ele apresentando um alinhamento NW-SE. Após um reconhecimento de campo verificou-se que as litologias patentes na área são fundamentalmente de natureza ígnea, cuja disposição é coincidente com a direcção preferencial da rede de fracturação,

NNW-SSE (figura 7). Além disso, na área envolvente à exploração individualizam-se uma série de estruturas filonianas de natureza quartzosa e anfibolítica, que tal como o granito se encontram com uma orientação geral NNW-SSE. É de registar a proximidade da faixa de cisalhamento de Porto-Albergaria-a-Velha, com orientação NNW-SSE. Localmente é materializada pelo contacto mecânico entre as litologias do domínio estrutural de Caldas de S. Jorge-Carvoeiro da ZCI (constituída litologicamente por quartzitos maciços, xistos ardósiferos e filitos; CHAMINÉ *et al.*, 2004) e a Unidade de S. João-de-Ver da ZOM (micaxistos e meta-grauvaques; CHAMINÉ *et al.*, 2003a).

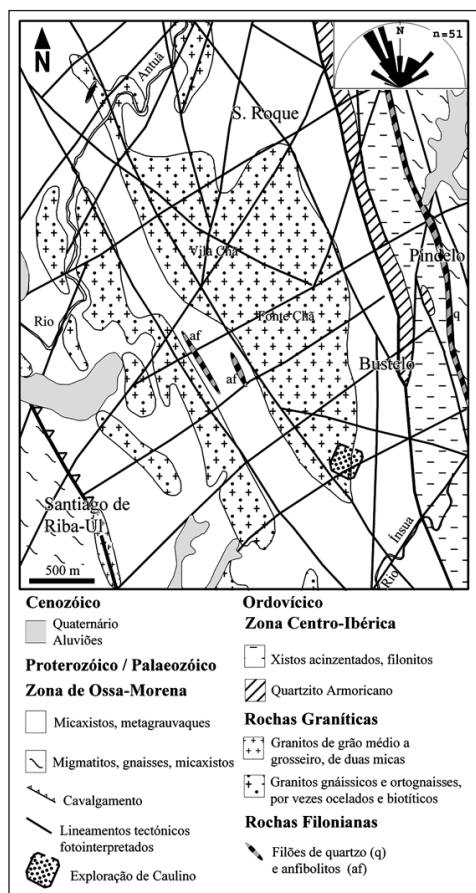


Fig. 7. Enquadramento geológico local da área da exploração de caulino de Bustelo (base geológica reinterpretada de CHAMINÉ, 2000). Diagrama de rosetas: $n=51$ lineamentos tectónicos.

Considerando a exploração de Macieira de Sarnes, a litologia aqui patente caracteriza-se por ser já de natureza gnáissica albitomoscovítico e de grão grosseiro, em que ocorrem estruturas filonianas quartzíticas e aplito-pegmatíticas, com orientação média NE-SW. Constata-se que esta litologia surge com um alinhamento preferencial traduzido pela direcção aproximada de NW-SE, per-

pendicular às estruturas filonianas evidenciadas no área.

Os depósitos do grupo do Bustelo encontram-se implantados numa plataforma cuja cota se situa entre os 200 e os 250 m. A topografia envolvente a ambos dos depósitos está intimamente relacionada pela presença das já referidas cristas de Quartzito Armoricano, que são as responsáveis por definirem na paisagem um relevo mais imponente, e que contactam por falha com os terrenos onde os depósitos se localizam. A rede hidrográfica e morfologia dos terrenos onde se encontram as frentes de exploração são dependentes de factores estruturais, já que a presença da fracturação imprime a sua presença concedendo orientações NE-SW e NW-SE nas linhas de água e na compartimentação do terreno. Estas orientações, são, respectivamente, as direcções principal e conjugada da denominada zona de cisalhamento Porto-Albergaria-a-Velha, as direcções predominantes da região.

Do ponto de vista litológico ambas as ocorrências situam-se em terrenos constituídos por granito gnáissico que evidencia uma orientação preferencial com direcção NW-SE, resultado da já mencionada acção da orogenia Varisca. Quando presentes, as estruturas filonianas instalam-se aproveitando a presença de fracturação; no entanto ao contrário do que seria de esperar, é de referir que na exploração do Bustelo, não se observam qualquer tipo de estrutura filoniana, sendo esta evidente somente no depósito de Macieira de Sarnes.

À semelhança de outros, estes depósitos apresentam evidências relacionadas com a sua origem: o facto de se verificar a presença de estruturas filonianas e litologias de natureza metamórfica nas proximidades dos depósitos é uma indicação de uma eventual origem

hidrotermal para o caulino existente nestes depósitos. Saliente-se a importância posterior da acção das águas meteóricas na continuação do processo de alteração da litologia, com a consequente formação do caulino.

Grupo da Telheira

Este depósito localiza-se no concelho de Vila Nova de Gaia. Actualmente já não se encontra em actividade de exploração, mas durante um vasto período de tempo funcionou como a exploração que fornecia matéria-prima para a Empresa de Cerâmica do Fojo, localizada em Coimbrões (V. N. Gaia). Este depósito localiza-se numa área aplanada, na orla Oeste do denominado Relevo Marginal, a qual não ultrapassa aqui, os 120m. Como terreno de cobertura estão presentes depósitos considerados do Plio-plistocénico, de natureza continental, nomeadamente depósitos fluviais arenocascalhentos. Na literatura de meados do século XX tais depósitos são considerados como sendo terraços de antigas praias (RIBEIRO et al., 1943b; LAPA, 1969). No entanto, actualmente, estudos geomorfológicos e sedimentológicos consideram-nos de origem continental e não marinha, face às suas características texturais, morfoscópicas e minerais de argila presentes (ARAÚJO, 1991). Esses mesmos estudos admitem a presença de uma separação, expressa em termos de cotas, imposta pela presença de falhas inversas, dos depósitos continentais dos depósitos marinhos quaternários que se encontram mais a Oeste, já na proximidade do mar: a presença de depósitos fluviais encontra-se patente a cotas compreendidas entre os 50m e os 130m, enquanto que os marinhos se encontram abaixo dos 40m (ARAÚJO et al., 2003). É possível constatar que depósitos de natureza fluvial abundam

na região circundante do depósito, servindo como terreno de cobertura de um substrato composto por rochas graníticas e metassedimentares. Morfológicamente, as formas de relevo mais imponentes e vigorosas correspondem a elevações de natureza, essencialmente granítica, em que o Monte da Virgem é um exemplo, o qual não ultrapassa os 260 metros de altitude (CARRINGTON da COSTA & TEIXEIRA, 1957).

Como já foi referido previamente, esta ocorrência encontra-se em sedimentos fluviais considerados de idade Pliocénica, localizados a cotas de 100m a 130m. Estes depósitos, com possança no local da exploração de Telheiras de cerca de 10m (RIBEIRO et al., 1943b), apresentam-se estratificados horizontalmente e são compostos por calhaus de quartzito, quartzo, granito e turmalinito; encontram-se depositados sobre uma superfície muito regular, que evidencia um ligeiro pendor para SE, constituída por um granito altamente alterado (RIBEIRO et al., 1943; COTELO NEIVA, 1945; LAPA, 1969; BARBOSA, 1983-85). Estes depósitos cobrem uma área relativamente vasta, onde se registam vários tipos de litologias no substrato, nomeadamente granito, micaxistos e migmatitos.

É aceite que a rocha-mãe do material caulínico explorado no barreiro da Telheira seja o granito de Lavadores, granito porfiróide de grão grosseiro (LAPA, 1969), apesar de haver referências (COTELO NEIVA, 1945; BARBOSA 1983-85) que mencionam o Granito do Porto como rocha primordial para a formação da ocorrência de caulino da Telheira. Esta discrepância de opiniões pode dever-se a dois factos que geram equívocos na classificação da rocha-mãe do granito. Uma das causas seria o facto de que a rocha-mãe do caulino da Telheira se apresentar com tal grau de alteração que se

tornaria impossível a sua identificação incontestável e segura como sendo granito de Lavadores ou do Porto, ou, por outro lado, pelo facto do granito de Lavadores apresentar uma mudança de fácies à medida que se progride para Este, isto é, do litoral para o interior os megacristais tipicamente associados a esta litologia tendem a surgir em menor número e a granulometria apresentar-se mais fina (LAPA, 1969). Desta forma, a rocha-mãe mais provável do caulino existente na Telheira seria uma fácies mais fina do granito de Lavadores e não o granito do Porto. Além disso, cartograficamente pode confirmar-se que o chamado granito do Porto aflora a Norte e a Nordeste desta ocorrência, mas não nas proximidades da Telheira. É possível constatar que esta ocorrência se encontra praticamente no contacto entre o granito de Lavadores e a unidade geológica constituída por micaxistos e migmatitos da ZCI que se prolongam para Nordeste desta exploração. Além destas litologias, regista-se a existência de várias litologias filonianas, nomeadamente filões aplíticos, pegmatíticos e turmaliníticos associadas quer ao granito de Lavadores quer às litologias migmatíticas. As litologias turmaliníticas foram alvo de um estudo por parte de COTELO NEIVA (1945), que as classificou como microturmalinitos. Estas litologias apresentavam uma orientação N74°-80°SE e encontram-se, também elas cobertas pelos mesmos depósitos marinhos Pliocénicos já mencionados. Os microturmalinitos seriam, segundo o mesmo autor, de origem hidrotermal, e os fluidos que os teriam originado deveriam registar temperaturas entre os 300° e os 500 °C.

O depósito da Telheira encontra-se localizado no seio de uma plataforma aplanada com cotas médias de cerca de 100 m a 130 m

e nas imediações da exploração observa-se uma série de cursos de água, a maior parte deles condicionados pela fracturação com direcção NE-SW e E-W. Esta ocorrência de caulino resulta da alteração do granito de Lavadores, por acção de fluidos que circularam ao longo da rede de fracturação perceptível na área. Os fluidos promotores desta alteração, terão sido, num primeiro estágio, fluidos de origem hidrotermal, responsáveis pela alteração profunda e inicial da rocha granitóide. Seguidamente aos fenómenos hidrotermais, iniciou-se a alteração promovida pela circulação de fluidos meteóricos. A introdução e consequente circulação de ambos os fluidos, hidrotermais e meteóricos, foi promovida pela presença do complexo sistema estrutural materializado pela grande quantidade de fracturas, que terão de certa forma permitido e facilitado toda esta movimentação de fluidos.

Discussão

No presente trabalho foram seleccionadas ocorrências de depósitos de caulino residuais, localizadas nas proximidades da faixa Atlântica da região a Sul do Porto (NW de Portugal), nomeadamente ao longo da faixa metamórfica de Porto-Albergaria-a-Velha, com vista à caracterização de cada um desses depósitos, nomeadamente no que diz respeito à gama de condicionantes geotectónicas e morfoestruturais fundamentais.

Analisaram-se características dos depósitos, nomeadamente (quadro 2): litologias principais e litologias circunvizinhas à exploração, presença de corpos filonianos nas imediações da exploração e a sua mineralogia, caracterização da rede de fracturação e a sua implicação na dispersão da rede hidrográfica e na geomorfologia da área na qual o depósito se encontra implanta-

do, valores das cotas médias das estruturas geomorfológicas. Um dos aspectos ao qual foi dada redobrada importância foi a presença de nós tectónicos, isto é, a convergên-

cia num determinado ponto de lineamentos tectónicos, que em regra, nos casos estudados coincidem com os locais de ocorrência de caulino.

Factores condicionantes para a alteração		S. Vicente de Pereira Jusã	Bustelo	Macieira de Sarnes	Telheira
Geologia	Litologia	primordial e/ou alterada	Granitóide gnáissico	Granito gnáissico	Granito porfíroide de grão grosseiro
		circunvizinha ao depósito	Metassedimentos (gnáisses, micaxistos)	Gnaisses	Metassedimentos (migmatitos, gnáisses, micaxistos)
	Corpos filonianos		Greisen	Quartzo, apilito-pegmatito	Quartzo, apilito-pegmatito, greisen
	Fracturação	Direcções predominantes	N-S; NNW-SSE; NE-SW	NW-SE; NNW-SSE; N-S; E-W	NW-SE; NNW-SSE
		Favorabilidade à existência de nós tectónicos	sim	sim	sim
	Contacto entre litologias		Litológico e tectónico	Litológico e tectónico	Litológico e tectónico
Morfologia	Expressão do afloramento ígneo/metamórfico		Aflorante nas imediações do depósito	Aflorante nas imediações do depósito	Aflorante nas imediações do depósito
	Tipo de depósito		Residual	Residual	Residual + Sedimentar
	Altitude média		125m	257m	256m
	Rede hidrográfica		Condicionada pela fracturação (NE- SW; NNW- SSE)	Condicionada pela fracturação (NNE- SSW; NNW- SSE)	Condicionada pela fracturação (NE-SW)
	Topografia		Topo de superfície aplanada próximo escarpa de falha, a leste, que condiciona a variação de cota nas imediações de ocorrência	Superfície aplanada na base de escarpa de falha que se desenvolve a oeste	Superfície aplanada muito degradada na base da escarpa de falha que se desenvolve a leste
					Topo de superfície aplanada na proximidade de escarpa de falha, a leste, que condiciona a variação de cota

Quadro 2. Síntese das características geológicas e geomorfológicas das áreas em estudo.

Localmente, verifica-se que em termos geomorfológicos há condicionantes fundamentais que estão intimamente relacionados com a presença de caulino, dado que, todas as ocorrências estão localizadas em superfícies de aplanamento que nunca excedem os 300m de altitude. Em dois dos grupos analisados, o da Telheira e o de S. Vicente de Pereira Jusã, as altitudes a que se encontram nunca ultrapassam os 130m, e tal, deve-se ao facto de ambos se encontrarem em plena plataforma litoral. O terceiro grupo, o do Bustelo, uma vez que já se encontra um pouco mais para o interior, em pleno “*Relevo Marginal*”, vai localizar-se de igual modo numa superfície de aplanamento, mas a cotas mais elevadas, em regra com 250 m de altitude. Ainda sob o ponto de vista geomorfológico, verifica-se que essas superfícies de aplanamento se encontram condicionadas por estruturas tectónicas regionais, nomeadamente por escarpas de falha que são as

responsáveis pela variação abrupta dos valores de cota nas imediações das ocorrências em todos os grupos de depósitos considerados e por lineamentos que são, por sua vez condicionam o traçado da rede hidrográfica, que assume direcções NE-SW a NNW-SSE.

Litologicamente, existe uniformidade, já que em todos as ocorrências vão estar presentes, como eventuais rochas-mãe do material caulínítico, corpos granitóides e pegmatóides, por vezes com características gnáissicas, isto é, materiais intrusivos em terrenos de natureza metassedimentar. De facto, de uma forma mais evidente ou não, estas intrusões apresentam-se com uma forma e estiramento evidente causado por um controlo geotectónico, não só a nível local mas também a nível regional, que se traduz em direcções predominantemente NNW-SSE, NE-SW e ENE-WSW, naturalmente coincidentes com a rede de fracturação regional. Também concordantes com estas mesmas direcções são

os corpos filonianos existentes mineralizados em quartzo, quartzo+turmalina (“*greisen*”) e aplito-pegmatitos.

O tipo de controlo tectónico referido anteriormente está directamente relacionado com intrusões de corpos granitóides à escala regional em contextos geológicos de zonas de cisalhamento. Estes contextos geotectónicos estão amplamente citados na bibliografia (*e.g.*, VROLIJK & van der PLUIJIM, 1999; SIMPSON *et al.*, 2001; HANDY *et al.*, 2001; WEINBERG *et al.*, 2004).

Considerando os factores geológico-estruturais e morfotectónicos, pode dizer-se que as ocorrências de caulino existentes ao longo da área em questão coincidem com os limites de corpos ígneos ou metamórficos aflorantes e/ou sub-aflorantes, em áreas de contacto litológico (e consequente diferenciação de comportamento reológico desses materiais) e tectónico com rochas metasedimentares. Estes limites mais ou menos perceptíveis, distinguidos por serem locais de fraqueza e corredores preferenciais de deformação (apresentando muitas vezes uma catáclase intensa e até, localmente, gerando o aparecimento de “*fault gouge*”), coincidem com zonas onde a circulação de fluidos, sejam eles infiltração de fluidos meteóricos ou ascensão de fluidos hidrotermais, ocorre de modo preferencial; consequentemente, estes limites e/ou corredores de deformação coincidem com locais onde, para além da acção física do esmagamento litológico se associa uma alteração intensa

dos corpos aflorantes, que terá como consequência a génese do caulino.

Um outro dado referido anteriormente, é o facto de as plataformas onde as ocorrências de caulino se localizam se encontrarem fortemente afectadas por elementos tectónicos, nomeadamente falhas regionais (cavalgamentos), escarpas de falha e sistemas de fracturação regional conjugada, que condicionam os compartimentos topográficos e a implantação da rede hidrográfica. Além disso, são essas estruturas que irão funcionar como corredores crustais preferenciais para promoverem a circulação e ascensão de fluidos. Deve por último considerar-se a existência dos depósitos de caulino associados aos limites tectonizados de corpos sigmóidais, existentes a uma escala regional, num sistema do tipo *Riedel* comumente referido para a faixa de cisalhamento de Porto-Coimbra-Tomar por GAMA PEREIRA (1987), CHAMINÉ (2000) e GOMES (2008). Neste caso, estas estruturas maiores, serão corredores, por excelência, da circulação de geofluidos que, consequentemente, promoverão a alteração das litologias primordiais ígneas ou metamórfica.

A figura 8 representa uma tentativa dum esquema de síntese da relação espacial entre os corpos granitóides caulinizados, controlados tectonicamente, aflorantes e/ou sub-aflorantes ao longo de corredores de fracturação preferenciais associados a megaestruturas regionais da faixa de cisalhamento de Porto-Albergaria-a-Velha.

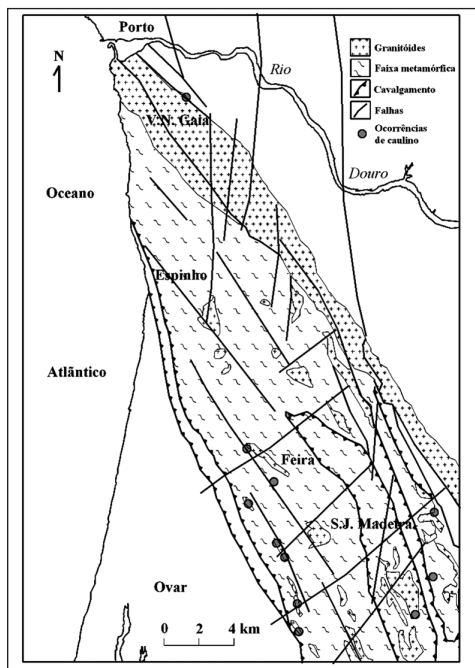


Fig. 8. Esquema de síntese da relação espacial entre os corpos granitoides ao longo de faixas de cisalhamento no caso de estudo (base geológico-estrutural adaptada de CHAMINÉ, 2000).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os depósitos de caulino portugueses abordados neste trabalho distribuem-se ao longo de uma faixa no NW de Portugal detentora de características singulares e complexas, que está afectada por vários elementos geológico-estruturais e geomorfológicos que, de certo modo, catalizaram a evolução das litologias primordiais para que ocorresse a alteração e a consequente formação de materiais como o caulino.

A abordagem desta problemática implicou, neste estudo exploratório, uma análise integradora, recorrendo para isso a várias metodologias interdisciplinares, como são a geologia estrutural, a geomorfologia, a fotogeologia e as cartografias geológica e geo-

morfológica, que possibilitam esclarecer, na medida do possível, o tema em questão. Além disso foi integrado o conhecimento mineralógico e geoquímico sobre os depósitos em análise. Desta forma, realizaram-se estudos de natureza cartográfica estrutural e morfotectónica que permitiram enumerar uma série de factores dos quais está dependente a ocorrência de caulino. Todos os depósitos analisados se enquadram num contexto geotectónico e geomorfológico idêntico, ou seja, estão todos implantados a cotas que não excedem os 250m, em terrenos graníticos ou gnáissicos, nos quais são frequentes nós tectónicos com uma maior ou menor deformação com quantidades associadas de movimento, e alinhamentos de bandas de fracturação profundas, com direcções predominantes, nomeadamente NNW-SSE, NE-SW e N-S.

Desta forma, pode afirmar-se que associação de todos estes factores promoveu a formação deste georrecurso, num estágio inicial por acção hidrotermal profunda e, numa fase posterior, através da alteração contínua originada pela acção de geofluidos de natureza meteórica.

As idades atribuídas aos depósitos de caulinos Peninsulares são muito semelhantes (e.g., LORITE et al., 1984; GOMES et al., 1990), ou seja, uma idade Cenozóica. Relativamente aos depósitos de caulino da faixa metamórfica de Porto-Albergaria-a-Velha abordados nesta síntese exploratória, pôde verificar-se que todos eles se encontram distribuídos ao longo de faixas de cisalhamento e de fracturação regionais com características singulares e complexas. Na bibliografia há descrições interessantes sobre o controlo geotectónico, à escala regional, de granitoides em faixas de cisalhamento (WEINBERG et al., 2004). Este trabalho pretende, assim, reafirmar que todos os depósitos de caulino estudados neste trabalho se encontram distri-

buídos ao longo de uma faixa de cisalhamento regional — Porto-Albergaria-a-Velha — com características peculiares. O enquadramento geológico e geomorfológico estrutural (CHAMINÉ *et al.*, 2003a, 2007; GOMES *et al.*, 2007) deve, de certo modo, reunir as condições para uma alteração profunda das litologias granito-gnáissicas para que ocorra a sua caulínização.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho recebeu apoio parcial dos projectos TBA (POCTI/CTA/38659/2001-

FEDER) e GROUNDURBAN (POCTI/CTE-GIN/59081/2004). São devidos agradecimentos a J. M. Medina (UA) pela cédência e partilha da fotografia aérea que permitiu, inequivocamente, apoiar a presente investigação. As trocas de impressões e de bibliografia sobre a temática tidas com B. Barbosa (IGM/ISEP), J. Sampaio (ISEP), L. C. Gama Pereira (UC), C. Gomes (UA), A. Soares de Andrade (UA), M. J. Lemos de Sousa (UFP), G. Soares de Carvalho (UM) e J. Lopes Velho (UA), foram fundamentais para este estudo.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M. A., GOMES, A. A., CHAMINÉ, H. I., FONSECA P. E., GAMA PEREIRA, L.C. and PINTO de JESUS, A. (2003). Geomorfologia e geologia regional do sector de Porto-Espinho (W de Portugal): implicações morfoestruturais na cobertura sedimentar cenozóica. *Cadernos Lab. Xeol. Laxe*, A Coruña, 28: 79-105.
- BARBOSA, B. (1983-1985). Origem e idade dos caulinos portugueses em granitos. *Boletim Sociedade Geológica de Portugal*, 24: 101-105.
- BOBOS, I. and GOMES, C. (1996). Kaolin deposit of São Vicente de Pereira (Portugal). *Geociências, Revista Univ. Aveiro*, 10, 1: 167-178.
- BOBOS, I. and GOMES, C. (1998). Greisen and post-greisen alteration of the São Vicente de Pereira kaolinite deposit, Portugal. *The Canadian Mineralogist*, 36, 6: 1615-1624.
- BOBOS, I. and GOMES, C. (2000). Dissolution of K-feldspar into Si-Al gel and crystallization of halloysite identified in the kaolin deposit of São Vicente de Pereira (Portugal). *Geologica Carpathica*, Bratislava, 51, 1: 49-57.
- BOBOS, I., DUPLAY, J. and GOMES, C. (1998). Alteration of muscovite to kaolinite and from this to halloysite-7Å. In: GOMES, C. (Ed.), *Proceedings of the 2nd Mediterranean Clay Meeting*, Aveiro, 2: 238-243.
- BOBOS, I., DUPLAY, J., ROCHA, J. and GOMES, C. (2001). Kaolinite to halloysite-7Å transformation in the kaolin deposit of São Vicente de Pereira (Portugal). *Clays and Clay Minerals*, 49, 6: 596-607.
- BOBOS, I., GOMES, C. and LOPES VELHO, J. (1996a). Kaolinite to halloysite-7Å transition in the kaolin deposit of São Vicente de Pereira (Portugal). *Geociências, Revista Univ. Aveiro*, 10, 1: 137-152.
- BOBOS, I., LOPES VELHO, J. and MIRANDA, A. (1996b). Greisenisation indices in the kaolin deposit of São Vicente de Pereira (Portugal). *Advances in Clay Minerals*, pp. 93.
- BORJA, J. V. C. (2001). Análisis microestructural de caolinitas y génesis de cao-

- linitas en el Macizo Ibérico. *Cadernos Lab. Xeol. Laxe*, A Coruña, 26: 11-99.
- BOULVAIS, P., VALLET, J.-M., ESTEUILLE-CHOUX, J., FOURCADE, S. and MARTINEAU, F. (2000). Origin of the kaolinization in Brittany (NW France) with emphasis on the deposits over granite: stable isotopes (O, H) constrains. *Chemical Geology*, 168: 211-223.
- BROWN, M. (2007). Crustal melting and melt extraction, ascent and emplacement in orogens: mechanisms and consequences. *Journal of the Geological Society*, 164, 4: 709-730.
- BRUM FERREIRA, A. (1978). Planaltos e montanhas do Norte da Beira – estudo de geomorfologia. *Memórias Centro Estudos Geográficos*, Lisboa, 4: 1-374.
- BRUM FERREIRA, A. (1980). Surfaces d'aplanissement et tectonique récente dans le Nord de la Beira (Portugal). *Rev. Géol. Dynam. Géogr. Phys.*, 22, 1: 51-62.
- CABRAL, J. (1995). Neotectónica de Portugal Continental. *Mem. Inst. Geol. Min.*, Lisboa, 31: 1-251.
- CARRINGTON da COSTA, J. (1938). O Porto: geografia-geologia. *Nova Monografia do Porto*, pp. 3-32.
- Carta Geológica da Península Ibérica, escala 1:5000000; <http://usuarios.lycos.es/aepect/geo-iberia/figuras/mapa-iberia.htm> (consultado em 7 de Julho 2004).
- CFCFF – Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow (1996). *Rock fractures and fluid flow: contemporary understanding and applications*. National Research Council, National Academy Press, 568 pp.
- CHAMINÉ, H. I. (2000). Estratigrafia e estrutura da faixa metamórfica de Espinho-Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa Morena): implicações geodinâmicas. Universidade do Porto, 497 pp. (Tese de doutoramento).
- CHAMINÉ, H. I., GAMA PEREIRA, L. C., FONSECA, P. E., NORONHA, F. and LEMOS de SOUSA, M. J. (2003a). Tectonoestratigrafia da faixa de cisalhamento de Porto-Albergaria-a-Velha-Coimbra-Tomar, entre as Zonas Centro-Ibérica e de Ossa-Morena (Maciço Ibérico, W de Portugal). *Cadernos Lab. Xeol. Laxe*, A Coruña, 28: 37-78.
- CHAMINÉ, H. I., GAMA PEREIRA, L. C., FONSECA, P. E., MOÇO, L. P., FERNANDES, J. P., ROCHA, F. T., FLORES, D., PINTO de JESUS, A., GOMES, C., SOARES de ANDRADE, A. A. and ARAÚJO, A. (2003b). Tectonostratigraphy of middle and upper Palaeozoic black shales from the Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo shear zone (W Portugal): new perspectives on the Iberian Massif. *Geobios*, 36, 6: 649-663.
- CHAMINÉ, H. I., GOMES, A., TEIXEIRA, J., FONSECA, P. E., PINTO de JESUS, A., GAMA PEREIRA, L. C., SOARES de ANDRADE, A. A., ARAÚJO, M. A., FERNANDES, J. P., MOÇO, L. P., FLORES, D. and ROCHA, F. T. (2004). Geologia, geomorfologia e estratigrafia dos domínios estruturais de Carvoeiro-Caldas de S. Jorge e de Arrancada do Vouga-Águeda (faixa de cisalhamento de Porto-Tomar, NW de Portugal): implicações paleogeográficas. *Cadernos Lab. Xeol. Laxe*, A Coruña, 29: 299-330.
- CHAMINÉ, H. I., FONSECA, P. E., PINTO de JESUS, A., GAMA PEREIRA, L. C., FERNANDES, J. P., FLORES, D., MOÇO, L. P., CASTRO, R. D., GOMES, A., TEIXEIRA, J., ARAÚJO, M. A., SOARES de ANDRADE, A. A.,

- GOMES, C. and ROCHA, F. T. (2007). Tectonostratigraphic imbrications along strike-slip major shear zones: an example from the early Carboniferous of SW European Variscides (Ossa-Morena Zone, Portugal). In: WONG, T.E. (Ed.), *Proceedings of the XVth International Congress on Carboniferous and Permian Stratigraphy (Utrecht, 2003)*. Royal Dutch Academy of Arts and Sciences, Amsterdam, Edita NKAU. pp 405-416.
- CHEN, P.-Y., LIN, M.-L. and ZHENG, Z. (1997). On the origin of the name kaolin and the kaolin deposits of the Kauling and Dazhou areas, Kiangsi, China. *Applied Clay Science*, 12: 1-25.
- COELHO, A., CHAMINÉ, H. I., GOMES, A., FONSECA, P. E., TEIXEIRA, J. and ROCHA, F. T. (2005). Morphotectonic control on kaolin deposits along the Porto-Albergaria-a-Velha metamorphic belt (Iberian Massif, NW Portugal). *Abstracts volume of the Sixth International Conference on Geomorphology*, Zaragoza, pp. 283.
- COELHO, A., TEIXEIRA, J., CHAMINÉ, H. I., GOMES, A., FONSECA, P. E. and ROCHA, F. T. (2006). Controlo geotectónico e morfoestrutural dos depósitos de caulino ao longo da faixa metamórfica de Porto-Albergaria-a-Velha (NW de Portugal). In: MIRÃO, J. & BALBINO, A. (Coords.), *Livro de Resumos do 7º Congresso Nacional de Geologia*, Estremoz, Universidade de Évora, 3: 999-1002.
- COTELO NEIVA, J. M. (1945). Microturmalinitos de Vila Nova de Gaia. *Boletim Sociedade Geológica de Portugal*, 4, 3: 189-194.
- DAVIS, G. H., BUMP, A. P., GARCÍA, P. E. and AHLGREN, S. G. (2000). Conjugate Riedel deformation band shear zones. *Journal of Structural Geology*, 22, 2: 169-190.
- De VICENTE, G., VEGAS, R., GUIMERÀ, J. and CLOETINGH, S. (2004). Estructura alpina del antepaís Ibérico, 7.1. Rasgos generales. In: VERA, J.A. (ed.), *Geología de España*, Sociedad Geológica de España / IGME, Madrid. pp. 589-597.
- DELGADO, J. F. N. (1905). Contribuição para o estudo dos terrenos paleozoicos. *Commun. Commiss. Serv. Geol. Portg.*, 6: 56-122.
- DIAS, R. and RIBEIRO, A. (1993). Porto-Tomar shear zone, a major structure since the beginning of the variscan orogeny. *Comun. Inst. Geol. Min.*, Lisboa, 79: 31-40.
- FERREIRA, A. B., SANTOS, J. G. and PENHA, J. A. (1946). Notas sobre jazigos de caulino da Galiza e das Astúrias. *Estudos, Notas e Trabalhos do Fomento Mineiro*, Porto, 2,1: 30-47.
- FRASCO, A. F. (2005). *Mestres pintores da Vista Alegre*. Edições Figueirinhas, Porto, 343 pp.
- GAMA PEREIRA, L. C. (1987). Tipologia e evolução da sutura entre a Zona Centro Ibérica e a Zona Ossa Morena no sector entre Alvaiázere e Figueiró dos Vinhos (Portugal Central). Universidade de Coimbra. 331 pp. (Tese de doutoramento).
- GAMA PEREIRA, L. C. (1998). A faixa de cisalhamento Porto-Tomar, no sector entre o Espinhal e Alvaiázere (Portugal Central). In: CHAMINÉ, H. I., DIAS, A. G., RIBEIRO, M. A. and BORGES, F. S. (Coords.), 4ª Conferência Anual GGET'98. *Geólogos, Revista Univ. Porto*, 2: 23-27.
- GIRÃO, A. A. (1922). *Bacia do Vouga: estudo geográfico*. Universidade de Coimbra. 190 pp. (Tese de Doutoramento).

- GOMES, A. (2008). *Evolução geomorfológica da plataforma litoral entre Espinho e Águeda*. Departamento de Geografia, Universidade do Porto. 339 pp. + anexos (Tese de Doutoramento).
- GOMES, A., CHAMINÉ, H. I., TEIXEIRA, J., FONSECA, P. E., GAMA PEREIRA, L. C., PINTO de JESUS, A., PÉREZ ALBERTÍ, A., ARAÚJO, M. A., COELHO, A., SOARES de ANDRADE, A. and ROCHA, F.T. (2007). Late Cenozoic basin opening in relation to major strike-slip faulting along the Porto-Coimbra-Tomar fault zone (northern Portugal). In: NICHOLS, G., WILLIAMS, E. and PAOLA, C. (Eds.), *Sedimentary Processes, Environments and Basins: a tribute to Peter Friend. Special Publications of the International Association Sedimentologists*, IAS, Blackwell Publishing, 38: 137-153.
- GOMES, C. (1988). *Argilas: o que são e para que servem*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa. 457 pp.
- GOMES, C. (2002). *Argilas: aplicações na indústria*. Aveiro. 338 pp.
- GOMES, C., LOPES VELHO, J. and DELGADO, H. (1990). Kaolin deposits of Portugal. *Geociências, Revista Univ. Aveiro*, 5: 75-89.
- GRIM, R.E. (1962). *Applied Clay Mineralogy*. McGraw-Hill, New York. 422pp
- HANDY, M.R., MULCH, A., ROSENAU, M. and ROSENBERG, C.L. (2001). The role of zones and melts as agents of weakening, hardening and differentiation of the continental crust: a synthesis. In: HOLDSWORTH, R. E., STRACHAN, R.A., MAGLOUGHLIN, J. F., KNIPE, R. J. (Eds.), *The Nature and Tectonic Significance of Fault Zone Weakening, Special Publication Geological Society of London*, 186, pp.305-332.
- LAPA, A. J. R. (1969). O caulino da Telheira (Vila Nova de Gaia). *Estudos Notas Trabalhos Serviço Fomento Mineiro*, Porto, 19 (1/2): 171-197.
- LOPES VELHO, J. (2005). *Mineralogia industrial: princípios e aplicações*. LIDEL - Edições Técnicas, Lda. 606 pp.
- LOPES VELHO, J. (2006). *Os recursos minerais: uma visão geo-histórica*. Palimage Ed., 476 pp.
- LOPES VELHO, J., GOMES, C. and ROMARIZ, C. (1998). *Minerais Industriais: geologia, propriedades, tratamentos, aplicações, especificações, produções e mercados*. Aveiro, 591 pp.
- LORITE, M. C., HUERTOS, E. G. and PENDAS, S. A. (1984). Contribucion al conocimiento de los depositos caoliniferos de Pontevedra. *Cadernos Lab. Xeol. Laxe*, 4: 1-203.
- MACHADO, G., VAVRDOVÁ, M., FONSECA, P. E., CHAMINÉ, H. I. and ROCHA, F. T. (2008). Dating and differentiation of geological units in highly deformed and metamorphosed rocks: can palynology help? Examples from the Porto-Coimbra-Tomar shear zone (W Portugal). *Book of Abstracts of the International Meeting of Young Researchers in Structural Geology and Tectonics (YORS-GET)*, Oviedo (Spain). pp.375-378.
- MIRANDA, A. (1997). *Contribuição da alteração deutérica para a génese do depósito de caulino de S. Vicente de Pereira Jusã*. Universidade de Aveiro. 161 pp. (Tese de Mestrado).
- MIRANDA, A., LOPES VELHO, J. and GOMES, C. (1998). Contribution of fluid inclusions analysis to elucidate the effect of hydrothermal alteration in São Vicente de Pereira kaolin deposit (Portugal). In: GOMES, C. (Ed.), *Proceedings*

- of the 2nd Mediterranean Clay Meeting*, Aveiro, 2: 371-374.
- MME – Mapa Minero de España (1988). Memória del Mapa Minero de España, escala 1/1000000, IGME, Direccion de Recursos Minerales. 120 pp.
- OLIVEIRA, J. T., PEREIRA, E., RAMALHO, M., TELLES ANTUNES, M. and MONTEIRO, J.H. [coords.] (1992). *Carta Geológica de Portugal, escala 1/500000*, 5^a edição. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa. (2 folhas).
- PARGA-PONDAL, J. R. (1969). Sistemas de fracturas tardihercínicas del Macizo Hespérico. *Trab. Labor. Geol. Lage*, 37: 3-15.
- PASSCHIER, C. and TROUW, R. (1996). *Microtectonics*. Springer-Verlag, Berlin 289 pp.
- PEREIRA, J. S. (1944). *Formações portuguesas com haloisite, caulinite ou montmorilonite*. Universidade do Porto. 124 pp. (Tese de doutoramento).
- PSYRILLOS, A., MANNING, D. A. C. and BURLEY, S. D. (1998). Geochemical constrains on kaolinization in the St. Austell Granite, Cornwall, England. *Journal of the Geological Society of London*, 155: 829-840.
- RIBEIRO, A. (1979). Cadre structural et géotectonique. In: RIBEIRO, A., TELLES ANTUNES, M. *et al.*, (Eds.), *Introduction à la géologie générale du Portugal*, Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa. pp.8-31.
- RIBEIRO, A., KULLBERG, M. C., KULLBERG, J. C., MANUPPELLA, G. and PHIPPS, S. (1990). A review of Alpine tectonics in Portugal: foreland detachment in basement and cover rocks. *Tectonophysics*, 184: 357-366.
- RIBEIRO, A., PEREIRA, E. and SEVERO GONÇALVES, L. (1980). Análise da deformação da zona de cisalhamento Porto-Tomar na transversal de Oliveira de Azeméis. *Comun. Serv. Geol. Portg.*, 66: 3-9.
- RIBEIRO A., MUNHÁ J., DIAS, R., MAITEUS, A., PEREIRA, E., RIBEIRO, L., FONSECA, P. E., ARAÚJO, A., OLIVEIRA, J. T., ROMÃO, J., CHAMINÉ, H. I., COKE, C. and PEDRO, J. (2007). Geodynamic evolution of the SW Europe Variscides. *Tectonics*, 26, TC6009, 24 pp.
- RIBEIRO, O., ALMEIDA, J. P. and PATRÍCIO, A. (1943a). Nota preliminar sobre a morfologia do maciço da Grazeira. *Boletim Sociedade Geológica de Portugal*, 3, 1/2: 81-85.
- RIBEIRO, O., COTELO NEIVA, J. and TEIXEIRA, C. (1943b). Depósitos e níveis pliocénicos e quaternários dos arredores do Pôrto (nota preliminar). *Boletim Sociedade Geológica de Portugal*, 3, 1/2: 95-101.
- ROCHETTE CORDEIRO, A. M. (1992a). Alvéolos graníticos do Centro-Norte de Portugal: génese e tipologia. In: *Actas do VI Colóquio Ibérico de Geografia, Publicações da Universidade do Porto*, 2: 689-697.
- ROCHETTE CORDEIRO, A. M. (1992b). O peso do factor estrutural no desenvolvimento do relevo granítico ligado à erosão diferencial (o exemplo dos alvéolos do Centro-Norte de Portugal). In: *Actas do VI Colóquio Ibérico de Geografia, Publicações da Universidade do Porto*, 2: 699-706.
- RODRÍGUEZ, L. A. D. and TORRECILLAS, R. (2002). Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, sig-

- nificados y aplicaciones. *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidrio*, 41, 5: 459-470.
- RUTTER, E. H., HOLDSWORTH, R. E. and KNIPE, R. J. (2001). The nature and tectonic significance of fault zone weakening: an introduction. In: HOLDSWORTH, R. E., STRACHAN, R. A., MAGLOUGHLIN, J. F. and KNIPE, R. J., (Eds.), *The Nature and Tectonic Significance of Fault Zone Weakening, Special Publication of the Geological Society of London*, 186, pp.1-11.
- SAMPAIO, A. C. (1969). Os caulinos da Senhora da Hora. *Bol. Minas*, Lisboa, 6, 3: 147-162.
- SANDERSON, D. J. and MARCHINI, W. R. D. (1984). Transpression. *Journal of Structural Geology*, 6: 449-459.
- SEVERO GONÇALVES, L. (1974). *Geologie und petrologie des gebietes von Oliveira de Azeméis und Albergaria-a-Velha (Portugal)*. Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde. Freien Universität Berlin. 261 pp. (Tese de doutoramento).
- SOARES de CARVALHO, G. (1944). Algumas considerações sobre os aspectos petrográficos da região de Oliveira de Azeméis. *Mem. Not.*, Coimbra, 12, 1: 3-31.
- SOUZA-BRANDÃO, V. (1914a). As barreiras (ou depósitos de kaolino) dos concelhos da Feira e Ovar. *Revista Chimica Pura Aplicada*, 10: 113-115.
- SOUZA-BRANDÃO, V. (1914b). A faixa occidental das phyllites porphyroblasticas do precâmbrico do districto de Aveiro. *Comun. Comiss. Serv. Geol. Portg.*, 10: 78-143.
- TAKIZAWA, S., KAMAIB, T. and MATSUKURA, Y. (2005). Fluid pathways in the shearing zones of kaolin subjected to direct shear tests. *Engineering Geology*, 78, 1-2: 135-142.
- TARI, G., BOBOS, I., GOMES, C. and FERREIRA, J. M. (1999). Modification of surface charge properties during kaolinite to halloysite-7Å Transformation. *Journal of Colloid and Interface Science*, 210, 2: 360-366.
- TEIXEIRA, C. and ASSUNÇÃO, C. T. (1963). *Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000. Notícia Explicativa da Folha 13-C, Ovar*. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa. 18 pp.
- TEIXEIRA, C., PERDIGÃO, J. and ASSUNÇÃO, C. T. (1962). *Carta Geológica de Portugal à escala de 1:50000. Notícia Explicativa da Folha 13-A, Espinho*. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa. 28 pp.
- TEIXEIRA, C. and ZBYSZEWSKI, G. (1976). *Carta Geológica de Portugal à escala de 1:50000. Notícia Explicativa da Folha 16-A, Aveiro*. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa. 39 pp.
- TEIXEIRA, J., GOMES, A., CHAMINÉ, H. I. and ROCHA, F. T. (2007). Geomorfologia e morfotectónica de relevos quartzíticos: a megaestrutura de Caldas de S. Jorge-Águeda, NW de Portugal. *Xeográfica: revista de xeografia, território e medio ambiente*, Universidade de Santiago de Compostela, 7: 107-133.
- VÁZQUEZ, M., ABAD, I., JIMÉNEZ-MILLÁN, J., ROCHA, F. T., FONSECA, P. E. and CHAMINÉ, H. I. (2007). Prograde epizonal clay mineral assemblages and retrograde alteration in tectonic basins controlled by major strike-slip zones (W Iberian Variscan chain). *Clay Minerals*, 42: 109-128.
- VROLIJK, P. and van der PLUIJIM, B. A. (1999). Clay gouge. *Journal of Structural Geology*, 31: 1039-1048.
- WARR, L. N. and COX, S. (2001). Clay mineral transformations and weakening

mechanisms along the Alpine Fault, New Zealand. In: HOLDSWORTH, R.E., STRACHAN, R.A., MAGLOUGHLIN, J.F. & KNIPE, R.J., (Eds.), The Nature and Tectonic Significance of Fault Zone Weakening, *Special Publica-*

tion Geological Society of London, 186, pp.85-101.

WEINBERG, R. F., SIAL, A. N. and MARIANO, G. (2004). Close spatial relationship between plutons and shear zones. *Geology*, 32, 5: 377-380.