

## Cartografia geológica e geomorfológica para a caracterização de riscos naturais à escala do planeamento regional: aplicação ao concelho de Castelo de Paiva (NW de Portugal)

Alberto Gomes, *Universidade do Porto*  
Helder I. Chaminé, *ISEP (Porto) / Universidade de Aveiro*

**RESUMO.** O presente estudo pluridisciplinar, no âmbito do planeamento territorial do concelho de Castelo de Paiva, permitiu a execução e a sistematização de uma série de informação georreferenciada que abrange um leque variado de mapas temáticos (*e.g.*, mapa geológico, mapa geomorfológico, mapa de ocupação do solo, mapa de declives e mapa de vulnerabilidades). O diagnóstico produzido referente às condicionantes naturais desta área concretizou-se num mapa de síntese que expressa as vulnerabilidades naturais deste território, após uma análise exaustiva e criteriosa, baseada nas características, constrangimentos e potencialidades da área concelhia de Castelo de Paiva. Por fim, são esboçadas uma série de recomendações que visam a busca de estratégias de equilíbrio entre as dinâmicas do meio natural e as modificações impostas pela intervenção no território.

*Palavras-chave:* cartografia geológica e geomorfológica, riscos naturais, planeamento do território, concelho de Castelo de Paiva (NW de Portugal)

**ABSTRACT.** A multidisciplinary study on land planning at Castelo de Paiva municipality (N Portugal) is presented. A set of geo-referenced data comprising several thematic maps (*e.g.*, geology, geomorphology, land cover, slope and hazard maps) was assembled to create a global map which describes the natural hazards detected in the area. Careful analysis of the area's constraints and potentiality allowed to delineate guideline in order to achieve a balance between its natural dynamics and the changes due to human intervention.

*Keywords:* geological and geomorphological mapping, natural hazards, landscape planning, Castelo de Paiva municipality (NW Portugal)

Recibido: 9 de marzo de 2005.

Aceprado: 1 de septiembre de 2005.

## 1. Introdução

O presente estudo pluridisciplinar, no âmbito do planeamento biofísico regional do concelho de Castelo de Paiva, baseia-se na execução e síntese de uma série de informação georreferenciada que abrange um leque variado de mapas temáticos (e.g., mapa geológico, mapa geomorfológico, mapa de ocupação do solo, mapa de declives e mapa de vulnerabilidades).

O município de Castelo de Paiva está situado entre as regiões naturais da Beira e do Douro Litoral, distando aproximadamente 50 km da cidade do Porto (NW de Portugal). Tem como traço geomorfológico principal o facto de ser constituído por uma série de elevações quartzítico-xistentas e graníticas. Globalmente, todo o concelho pertence à parte terminal da bacia hidrográfica do rio Douro, individualizando-se na área concelhia as sub-bacias do Rio Arda, do rio Paiva e do Rio Sardoura. A densidade e a configuração da rede hidrográfica são diferenciadas e reflectem, em grande parte, as características geológicas da área.

As principais metodologias e documentação de base empregues no presente trabalho foram as seguintes:

- 1) A observação estereoscópica de fotografia aérea e análise morfoestrutural dos mapas topográficos militares (IGeoE), escala 1/25.000, da região entre Lomba e Folgoso, o que revelou a presença de uma fracturação regional secundária associada a falhas maiores. A análise da fracturação foi também apoiada na consulta dos seguintes documentos: i) Carta Geológica de Portugal, escalas 1/50.000 (folha 13-B, Castelo de Paiva; Medeiros *et al.*, 1964), 1/200.000 (Pereira *et al.*, 1989) e 1/500.000 (5ª edição; Oliveira *et al.*, 1992); ii) Carta Tectónica de Portugal, escala 1/1.000.000 (Ribeiro *et al.*, 1972); iii) Carta Neotectónica de Portugal, escala 1/1.000.000 (Cabral e Ribeiro, 1988); iv) estudos de interpretação de fotografias de satélites de Conde (1983); v) cartas geomorfológicas dos trabalhos de Rebelo (1975, 1984), de Brum Ferreira (1978) e de D. Brum Ferreira (1981); vi) cartografia geológica, a escalas de pormenor, em sectores específicos da região nomeadamente as dos relatórios da EDM (1983/87), da ECD (1992, 1995), e de trabalhos monográficos sobre esta região (e.g., Schermerhorn, 1956; Chaminé, 1992; Pinto de Jesus, 2001).
- 2) O tratamento e síntese da informação cartográfica georreferenciada foi executado com um Sistema de Informação Geográfica (SIG), nomeadamente, na produção de modelos digitais de terreno e no cálculo automático de declives.

## 2. Traços geotectónicos regionais

A região de Castelo de Paiva é constituída fundamentalmente pelas seguintes unidades geológicas (Medeiros *et al.*, 1964; Lemos de Sousa, 1978; Ferreira *et al.*,

1987; Pinto de Jesus, 2001, 2003): i) uma extensa mancha de rochas metassedimentares, incluindo parte do importante megadobramento de orientação NW-SE, designado por Anticlinal de Valongo e um extenso afloramento de Carbonífero superior continental pertencente à Bacia Carbonífera do Douro; ii) granitóides relacionados, em geral, com megacisalhamentos dúcteis ligados com a orogenia varisca (fig. 1).

Em termos de geologia regional considera-se que a Bacia Carbonífera do Douro, constitui o mais extenso afloramento de Carbonífero continental existente em Portugal, estendendo-se desde São Pedro Fins (Este do Porto) até Janarde (Este de Arouca), ao longo de uma estreita faixa, de orientação geral NW-SE, com cerca de 50 km de comprimento e, raramente, ultrapassando os 500 m de largura (Lemos de Sousa, 1978; Pinto de Jesus, 2001, 2003). Do ponto de vista geotectónico, a região de Castelo de Paiva insere-se, em termos da zonação definida para o Maciço Ibérico, na Zona Centro-Ibérica do Terreno Autóctone Ibérico (Ribeiro *et al.*, 1990).

Na Bacia Carbonífera do Douro, a sequência tectonossedimentar consta, genericamente, de conglomerados, arenitos, xistos cinzentos amarelados a negros onde se assinalam a presença de fósseis e níveis de carvão. O Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão (SCDB) preserva o carbonífero superior (Estefaniano C inferior, Wagner e Lemos de Sousa, 1983) continental, depositado em bacias límnicas de características intramontanhosas. Aflora localmente numa faixa descontínua, de possança métrica e extensão quilométrica, desde as localidades de Pedorido até Pejão. Apenas numa parte da Bacia Carbonífera do Douro foram reconhecidas e exploradas camadas de carvão (Machado, 1970) as quais foram estudadas em pormenor e caracterizadas por Lemos de Sousa (1978), como sendo metantracites.

Em traços gerais, o Complexo Xisto-Grauváquico (CXG) na região de Castelo de Paiva é constituído por uma sequência '*flyschóide*' com alternâncias de xistos argilosos e de metagrauvaques e com intercalações de níveis conglomeráticos. Os xistos e os metagrauvaques, de grão fino a médio, têm matriz quartzo-micácea abundante com clastos quartzo-feldspáticos e raros elementos líticos (Medeiros *et al.*, 1964; Teixeira, 1981); por outro lado, assinala-se que as intercalações conglomeráticas e/ou quartzíticas são particularmente possantes na parte ocidental do SCDB.

O Anticlinal de Valongo está limitado a oeste pelo megacisalhamento esquerdo—Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão (Lemos de Sousa, 1978; Pinto de Jesus, 2001, 2003)— activo desde as fases precoces da orogenia varisca. Nesta megaestrutura foram reconhecidas, para além do CXG, uma sucessão de unidades estratigráficas de idade Ordovícica (Medeiros *et al.*, 1964; Pereira *et al.*, 1989). Estas unidades escalonam-se na seguinte sequência típica, da base para o topo: Formação do Quartzito 'Armoricano' (quartzitos maciços, dispostos em níveis alternantes com quartzitos xistóides e conglomeráticos; estes afloramentos constituem importantes relevos de resistência na região; *cf.* Rebelo, 1975, 1984); Formação de Valongo (xistos ardósíferos e

xistos argilosos finos); Formação de Sobrido (quartzitos, metarenitos e grauvaques, com intercalações de materiais orgânicos). As rochas graníticas afloram fundamentalmente na região de Castelo de Paiva-Tarouquela e enquadram-se na faixa de granitóides variscos, de orientação geral NW-SE, do Alto Minho-Beiras. A distribuição espacial destes granitóides está relacionada, em regra, com megacisalhamentos dúcteis (Ferreira *et al.*, 1987; Dias *et al.*, 2000). Trata-se de um granito porfiróide, de grão grosseiro a médio (sin-fase D<sub>3</sub> Varisca) que localmente forma uma extensa faixa de orientação NW-SE, com corneanas metapelíticas e xistos mosqueados a ocorrerem, nas bordaduras destes granitóides, por metamorfismo de contacto no limite com o CXG —granitóide de Castelo de Paiva (Medeiros *et al.*, 1964). Os granitóides da série intermédia (sin a tardi-fase D<sub>3</sub>) distribuem-se em largas faixas, lateralmente aos megacisalhamentos do SCDB, e estão controlados tectonicamente por sistemas de fracturas frágeis conjugadas, de orientações regionais médias, NW-SE e NE-SW. Associadas, geralmente, a este sistema de fracturas ocorrem algumas rochas filonianas de quartzo, de quartzo-feldspato e de pórfiros graníticos. Alguns destes sistemas filonianos apresentam mineralizações de volfrâmio e estanho (Portugal Ferreira, 1971).

À parte das rochas metassedimentares e graníticas referidas podemos ainda indicar, para a região de Castelo de Paiva, a presença de escassos afloramentos de depósitos de cobertura (aluviões e terraços) de idade quaternária recente (Medeiros *et al.*, 1964). Assim, ao longo do rio Douro e seus tributários, assinalam-se extensas acumulações de areias e/ou cascalheiras aluviais e no fundo dos vales fluviais acumulam-se, frequentemente, depósitos finos e argilosos.

A rede de fracturação e lineamentos tectónicos fotointerpretados constituem, fundamentalmente, os sistemas subparalelos aos acidentes tectónicos maiores, ou seja, às estruturas tectónicas de orientação N-S a NNE-SSW (*e.g.*, Cabral e Ribeiro, 1988), e ao megacisalhamento do SCDB de orientação NW-SE. Assim, destacam-se dois sistemas de fracturação regionais: i) sistema NNE-SSW a N-S e conjugados, menos frequentes, NNE-SSE a W-E; ii) sistema NW-SE e conjugado NE-SW.

Da análise da “Carta Neotectónica de Portugal Continental” (Cabral e Ribeiro, 1988), verifica-se que a região em estudo é afectada apenas por duas estruturas maiores, com orientação N-S a NNE-SSW, com alguma actividade neotectónica importante. A divisão regulamentar vigente delimita o território português continental em quatro zonas potencialmente sísmicas (que por ordem decrescente de sismicidade, isto é, de risco sísmico, são designadas por A, B, C e D; *cf.* Sousa Oliveira, 1986) e define o tipo de construção aconselhável em cada zona (*cf.* RSAEEP, 2000 e, mais recentemente, no âmbito do Euro-Código 8; Sousa Oliveira *et al.*, 1999). O concelho de Castelo de Paiva encontra-se incluído na zona D, onde se admite não serem de reear os efeitos dos sismos nas construções, muito embora se tenham já verificado alguns epicentros de sismos históricos e instrumentais nas proximidades da região (Ribeiro

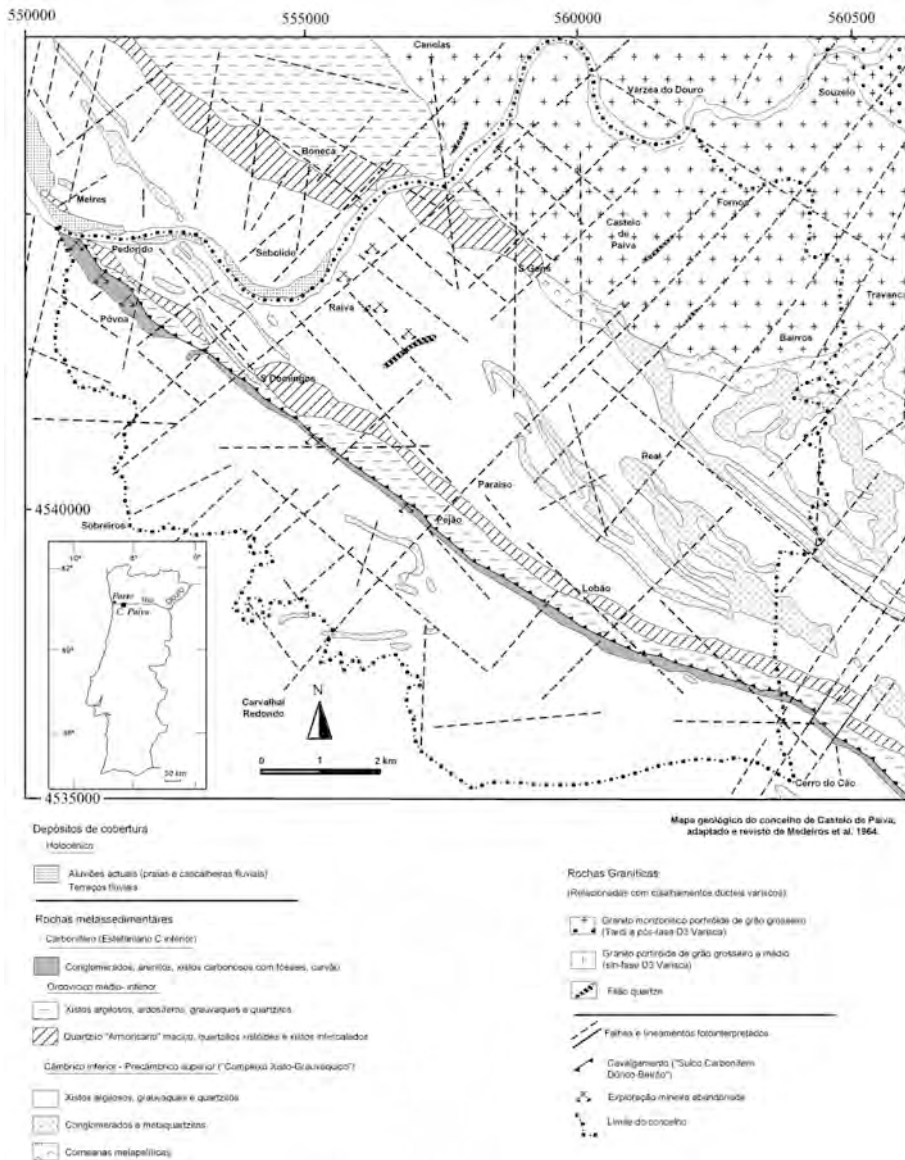


Figura 1 - Esboço geológico regional do concelho de Castelo de Paiva (adaptado e reinterpretado de Medeiros et al., 1964).

e Cabral, 1992). Contudo, a sismicidade da região Minhota é moderada, com sismos de magnitude inferior a 5, mas com frequência acima da média para o território português (Cabral, 1995). Este facto denuncia que a neotectónica se mantém activa, existindo mesmo indícios geomorfológicos que confirmam uma actividade tectónica recente para a região.

### 3. Enquadramento geomorfológico

As principais características do relevo do concelho de Castelo de Paiva são, por um lado, um aumento de altitude para Sudoeste, e por outro lado, os profundos rasgos formados pelos vales encaixados dos rios Douro, Paiva e Arda que constituem, respectivamente, os limites Norte, Leste e Oeste (fig. 2). O limite Sul é composto por uma cortina de elevações onde se encontra o ponto mais elevado do concelho (v.g. do Cerro do Cão, 723 m). O relevo deste município é marcado topograficamente por dois alinhamentos orográficos (Rebelo, 1975, 1984), grosseiramente paralelos, com uma direcção geral NW-SE. O alinhamento mais setentrional compreende as elevações do Alto de S. Paul (250 m) e Alto de S. Gens (329 m). A Sul, define-se o conjunto formado pelas elevações de Pedorido (242 m), de S. Domingos (v.g. 423 m), de Lobão (v.g. 513 m) e de S. Adrião (v.g. 647 m).

Os relevos dominantes na região estudada relacionam-se com a ocorrência de bancadas quartzíticas subverticalizadas que em larga medida, por erosão diferencial, deram origem a cristas com orientação geral NW-SE (fig. 1). A fracturação regional com orientação média NE-SW intersecta as referidas cristas, formando-se alguns cabeços subarredondados, como o de Pedrogo (Oliveira do Arda), embora, em termos gerais, a orientação média das cristas não se distancie muito da direcção NW-SE. A maior parte da rede hidrográfica principal e secundária adapta-se à resistência das rochas quartzíticas, não as atravessando e seguindo traçados mais ou menos rectilíneos e paralelos ao alinhamento das cristas, ajudando, assim, à definição das mesmas (Rebelo, 1975, 1984). Contudo, alguns cursos de água conseguem franquear os quartzitos, aproveitando, eventualmente, falhas transversais à orientação média das cristas (e.g., Chaminé, 1992; Pinto de Jesus, 2001; Chaminé *et al.*, 2004).

Deste modo, as principais unidades de relevo consideradas para o concelho de Castelo de Paiva foram as seguintes (fig. 3): i) Elevações quartzíticas; ii) Colinas e serras xistentas intercaladas por depressões; iii) Rechãs e topos aplanados graníticos; iv) Encostas dos rios Douro e Paiva.

A primeira unidade é constituída por dois ramos de elevações essencialmente compostas por quartzitos, alinhados segundo a direcção NW-SE, com topos, em regra, aplanados, exíguos e alongados, cuja altitude dos cimos vai aumentando para SE. As vertentes são em grande parte rectilíneas e muito íngremes (valores de declive na ordem dos 20° a 25° - ver fig. 4).

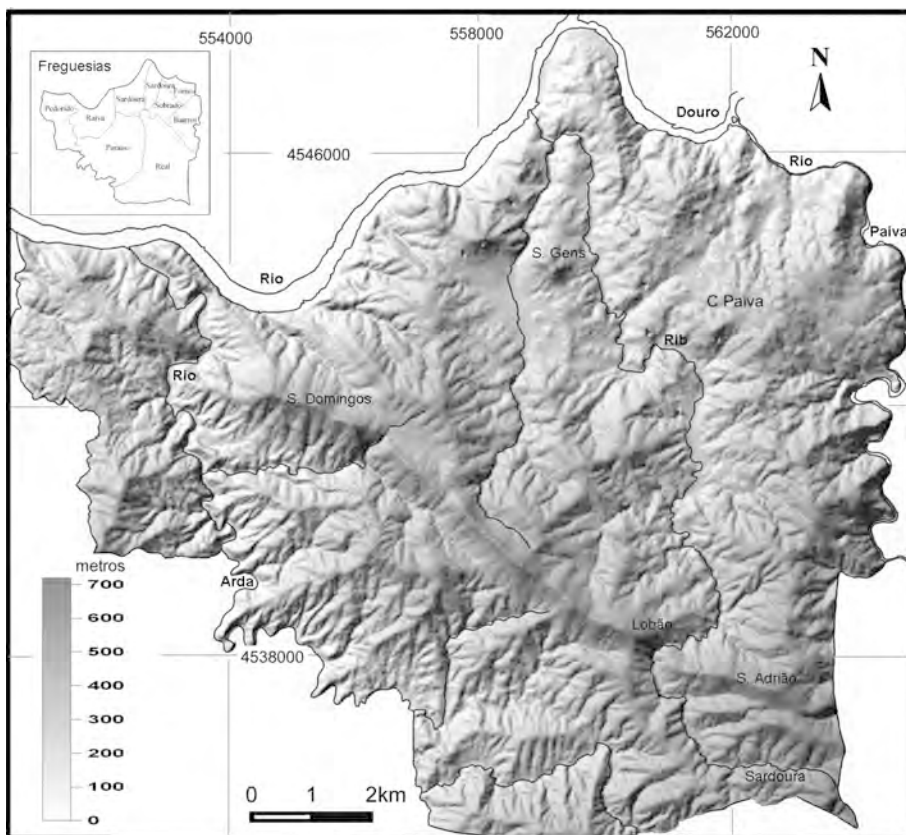


Figura 2 - Modelo Digital de Terreno da área do concelho de Castelo de Paiva.

As elevações que compõem o ramo ocidental são formadas por vertentes muito abruptas e extensas (ca. 2 km), na sua maioria rectilíneas, particularmente as viradas a SW. Assim, nestas vertentes reúnem-se algumas condições propícias para que ocorram movimentos relativos de material: são encimadas por cornijas quartzíticas compostas por um maciço rochoso compartimentado por grandes blocos fracturados e possuem vertentes com declives relativamente elevados, favoráveis à definição de superfícies de ruptura, em termos geomecânicos, propícias ao seu deslizamento e/ou desabamento.

As áreas adjacentes às serras quartzíticas apresentam um modelado muito acidentado e caótico, tipo montículos de toupeira (Ribeiro *et al.*, 1987). Estas elevações não apresentam um padrão espacialmente definido e são compostas em grande parte por vertentes convexas ou convexo-côncavas com fortes declives. Além disso, são fortemente entalhadas pela rede hidrográfica, o que revela a fraca permeabilidade dos xistos e a dominância da escorrência superficial em detrimento da infiltração. Nesta



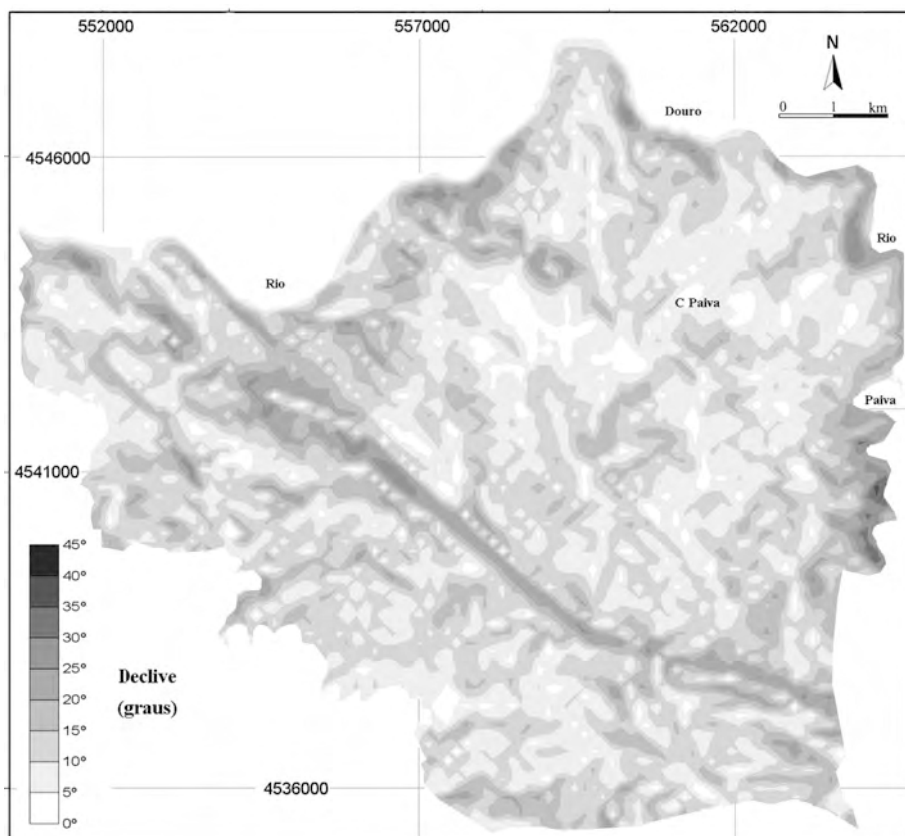


Figura 4 - Mapa de declives do concelho de Castelo de Paiva (cálculo automático segundo o método 'kriging' recorrendo ao programa informático "Surfer 8.0").

destes ferrolhos aproximam-se de uma geometria circular, expressa pelos seus elevados índices de circularidade (0,77 para a sub-bacia Ribeiro-Santo Antão; 0,70 para a sub-bacia Nojões-Real e 0,81 para a sub-bacia de Serradelo).

Deste modo, estes locais reúnem condições favoráveis à ocorrência de cheias rápidas e violentas, particularmente no leito de inundação que deverá necessariamente estar salvaguardado de construções.

A unidade morfológica onde afloram os granitos abrange a parte mais povoada do concelho. Esta unidade corresponde a uma antiga superfície de aplanamento, ainda reconhecível pelos topos aplanados. O levantamento tectónico permitiu a definição de outros níveis, a altitudes mais baixas, relacionados com o encaixe da rede hidrográfica e reconhecíveis por um conjunto de patamares que interrompem as vertentes (rechãs).

O padrão da rede hidrográfica é menos denso nestes terrenos, em parte por se tratar de um granito porfiróide, de grão grosseiro, caulinzado e arenizado, logo, mais vulnerável à meteorização química e propiciando, assim, a existência de mantos de alteração granítica francamente arenosos, de profundidade razoável.

As vertentes nesta área assumem aspectos variados, no entanto, destacamos as que apresentam forte declive e as que estão rigidamente alinhadas. Ambos os casos podem corresponder a escarpas de falha, ou seja, zonas geralmente muito fracturadas e esmagadas denunciando características geológico-geotécnicas específicas deste material, matizados pela sua deficiente coesão e por constituírem estruturas preferenciais para a circulação de águas subterrâneas. Assim, dever-se-á ter especial cuidado no planeamento e na construção de infraestruturas que envolvam estas vertentes.

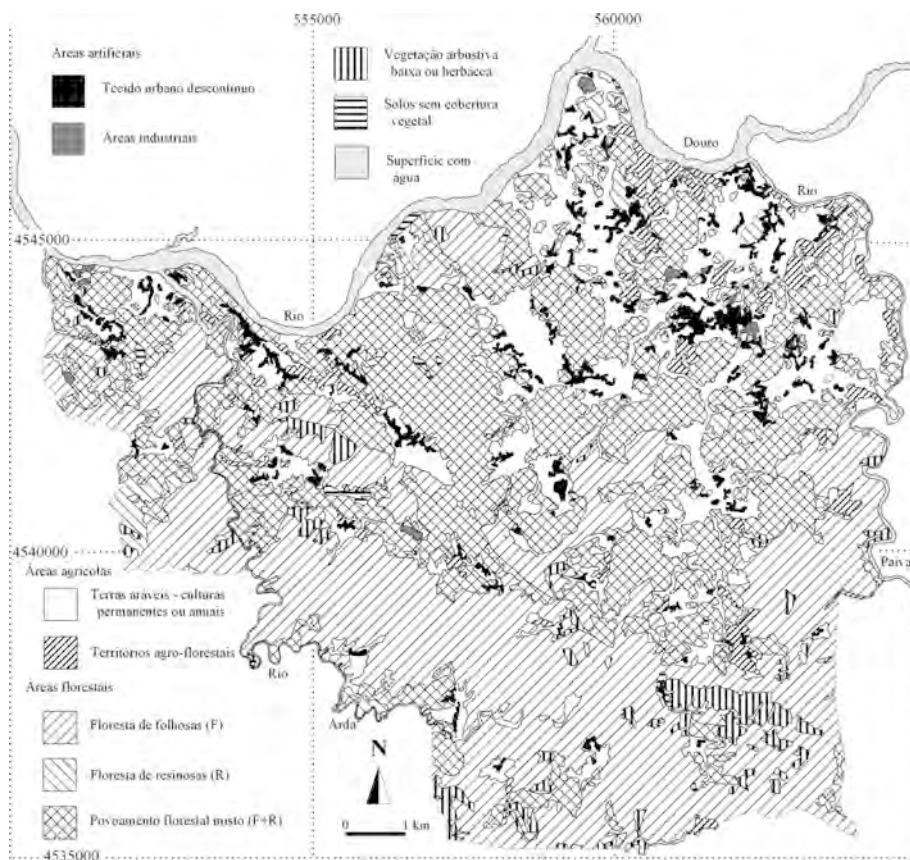
O concelho de Castelo de Paiva apenas abrange a margem esquerda dos rios Douro e Paiva. Estes vales muito encaixados, de vertentes abruptas e declivosas estão sujeitos a erosão na base, particularmente em episódios de cheia extraordinária. Nestas encostas dominam as vertentes rectilíneas que, por vezes, desenhavam concavidades. As margens côncavas merecem particular atenção por atingirem declives muito acentuados (declives superiores a 40°; *cf.* fig. 4) e pela forma que algumas assumem, que nalguns casos, parece denunciar a possibilidade de ocorrência de movimentos de vertente.

#### 4. Ocupação do solo

A área concelhia de Castelo de Paiva é em grande parte ocupada por extensas áreas florestais, conforme nos é possível perceber pelos dados expressos nas cartas de ocupação do solo referentes a 1990, à escala 1/25000, disponibilizadas pelo Instituto Geográfico Português (fig. 5). Aproximadamente 75% da área do município está coberta por floresta composta na maioria dos casos, por povoamentos mistos de pinheiro bravo (floresta de resinosas) e eucalipto (floresta de folhosas), no entanto, a floresta monoespecífica de produção de eucalipto ocupa uma área considerável, como acontece nas serras quartzíticas e elevações xistentas.

As áreas agrícolas existentes patenteiam sistemas de cultura e de divisão das parcelas complexos, reproduzindo em parte, as condições topográficas locais e a evolução do tipo de povoamento que se foi estabelecendo. Ocupam cerca de 20% da área concelhia, enquanto que as áreas urbanizadas e industriais ocupam, aproximadamente, 10%.

No que diz respeito às áreas florestais encontram-se situações muito variadas de ocupação: temos manchas contínuas e densamente plantadas de eucalipto, nos sectores sul e oeste do concelho, e pinhais contínuos ou misturados com eucalipto nos sectores a norte, principalmente, na área granítica. Ainda deparamos com áreas consideráveis em que a cobertura arbustiva ou florestal está degradada e nas quais existem, preferencialmente, povoamentos mistos de eucalipto e pinheiro.



**Figura 5** - Esboço de ocupação do solo no concelho de Castelo de Paiva, baseado nas Cartas de Ocupação do Solo referentes a 1990, à escala 1/25.000 (folhas nº 134, 135, 144, 145) disponibilizadas pelo Instituto Geográfico Português ([www.snig.igeoe.pt](http://www.snig.igeoe.pt)).

As áreas agrícolas neste concelho são importantes, não só, pela produção que delas advém e pelo valor paisagístico e económico que desempenham, mas também porque ocupam áreas ecologicamente sensíveis, tais como: os fundos de vale, certas áreas deprimidas, rechãs e algumas encostas. Em muitos casos constata-se que se pratica um sistema de exploração tradicional, onde se misturam várias culturas preferencialmente com a vinha nas bordaduras dos campos, e se alternam várias culturas ao longo do ano; de sequeiro em locais deficitários de água, ou de regadio nos locais onde ela chega em abundância, particularmente, nos solos mais férteis onde se procede à cultura do milho. O sistema tradicional de regos e levadas que transportavam a água para irrigar os campos tem sido abandonado nos tempos mais recentes, o que leva em alguns casos, à desestruturação do equilíbrio gravítico de algumas vertentes.

Nestas áreas agrícolas temos várias situações cambiantes quanto à disponibilidade de solo cultivável. Em regra, junto das povoações localizadas nas elevações existentes, as áreas agrícolas são mais reduzidas e menos importantes em termos de produção, excepto nas áreas deprimidas, como são o caso de S. Antão, Ribeiro, Nojões, Serradelo e Folgoso, em que a profundidade do solo e a disponibilidade de água melhoram a aptidão agrícola dessas áreas; e faixas mais contínuas e alargadas de ocupação agrícola, nas áreas de povoamento disperso que correspondem em grande parte aos solos derivados de rochas graníticas. A presença muito rara da oliveira e intensa da vinha (com situações diversas, tais como o campo complantado ou plantação contínua) evidenciam o travo mediterrâneo do clima deste concelho, particularmente sentido pelo longo e seco estio.

De uma forma geral, o povoamento foi-se estabelecendo de modo a não ocupar as áreas propícias para a prática da agricultura, retirando-se para a bordadura delas, particularmente, para o sopé das encostas. Esta estratégia, a nosso ver, ajudou a manter uma convivência saudável entre a implantação do povoamento e dos recursos naturais que lhe servem de suporte, daí parecer-nos que esta prática deve ser mantida e, porventura, reforçada.

As áreas industriais ocupam um território muito reduzido e revelam algumas diferenças na tipologia de ocupação. Por um lado, temos os sectores mineiros que actualmente estão inactivos e que ocupam grandes áreas correspondentes às explorações e áreas envolventes, não esquecendo que estas explorações incluem importantes galerias no subsolo (Chaminé *et al.*, 2004). As antigas áreas mineiras são muito sensíveis em termos de reconversão, uma vez que possuem problemas específicos resultantes da sua actividade, tais como: a acumulação de materiais com elevadas concentrações de minerais de alguma perigosidade, a existência de desaterros nas explorações a céu aberto, os problemas de subsidência mineira ligadas ao abandono da exploração, a possibilidade de contaminação de águas superficiais e subterrâneas pelos lixiviados das escombrelas, assim como, os malefícios derivados da degradação de infraestruturas e equipamentos próprios da actividade mineira.

As outras situações de ocupação industrial são, na maior parte dos casos, constituídas por unidades individuais dispersas, particularmente junto da sede de concelho e por um parque industrial criado recentemente, na povoação de Serrinha.

As áreas urbanizadas distribuem-se, principalmente, de modo disperso e numa banda paralela ao vale do Douro, enquanto que nos sectores meridionais do concelho, em geral, encontramos um povoamento muito rarefeito e isolado. Na parte mais habitada distinguem-se dois tipos de ocupação relativa ao edificado. Por um lado, as áreas com urbanização incipiente (casa unifamiliar) e distribuída ao longo das principais vias de comunicação, intervalando-se com o campo, particularmente no sector ocidental, caso das povoações de Serrinha, Raiva, Pedorido e Póvoa. Por outro lado,

as áreas urbanizadas descontínuas, dos sectores mais orientais e setentrionais do concelho em que o povoamento se apresenta disperso e polvilhado por vários núcleos. A ligação às vias de comunicação também é vincada, salientando-se por algum aperto da malha urbana a sede de concelho e o lugar de Castelo. A sede de concelho distingue-se do resto, em relação à tipologia da construção, em que para além da construção unifamiliar, encontra-se com algum significado outras formas mais intensivas de implantação, como os blocos de apartamentos.

Finalmente, as áreas correspondentes aos principais cursos de água e suas margens que desempenham um papel importante neste concelho, a saber, rio Douro, rio Paiva, rio Arda e rio Sardoura. Para além da beleza cénica destes espaços e da significativa área que ocupam, particularmente o espelho de água produzido pela Albufeira de Crestuma no rio Douro, eles desempenham um papel importante na manutenção e conservação da fauna e flora típica destes ambientes húmidos.

## 5. Análise de perigosidade e riscos naturais

O diagnóstico referente às condicionantes está expresso num esboço de síntese das susceptibilidades naturais deste território (fig. 6). Após uma análise exaustiva e criteriosa, baseada nas características e constrangimentos da área do concelho de Castelo de Paiva, são esboçadas uma série de recomendações que visam a procura de estratégias de equilíbrio entre as dinâmicas do meio natural e as modificações impostas pela intervenção no território.

Na ponderação da perigosidade que o território concelhio apresenta, tivemos em linha de conta as condições impostas pelo meio natural e algumas que derivam da exploração antrópica do mesmo. As áreas que definimos como passíveis de alguma perigosidade prendem-se com o grau de exposição dos elementos na área afectada, e com o possível grau de perda potencial (García *et al.*, 2003; González de Vallejo *et al.*, 2002). Isto é, tendo em consideração as susceptibilidades geomorfológicas do território, identificamos áreas em que existe maior probabilidade de ocorrência de processos que conduzam a potenciais situações de risco para a população, para a manutenção de estruturas vitais ao seu desenvolvimento e para o equilíbrio entre o meio natural e construído.

As principais susceptibilidades naturais do território inventariadas prendem-se com os seguintes aspectos: i) inundação; ii) movimentos de vertente; iii) constrangimentos geológico-estruturais, iv) subsidência mineira e explorações a céu aberto (*e.g.*, Chaminé, 1992; Chaminé e Silva, 1993, 1997; Dinis da Gama e Dutra, 1994; Dinis da Gama, 2000; Chaminé *et al.*, 2004).

Na identificação das áreas sujeitas a inundação, tomamos em linha de conta os locais que historicamente e na actualidade registam este fenómeno, bem como os fun-

dos aplanados das depressões fortemente estranguladas a jusante e os leitos de inundação (largos e com fraco declive) instalados em segmentos muito sinuosos.

Em termos de potencial movimentação de material ao longo das vertentes distinguimos fundamentalmente dois tipos de situações: i) a possibilidade de ocorrência de desabamentos; ii) a possibilidade de ocorrência de deslizamentos e fluxos de material.

O contexto morfológico referente ao primeiro tipo circunscreve-se aos locais com vertentes rectilíneas de declives superiores a 20° (figs. 4 e 6), em que no topo existam cornijas quartzíticas. Estas cornijas, constituídas por bancadas quartzíticas definem um maciço rochoso não contínuo. A compartimentação do maciço resultante da sua intensa fracturação acarreta a existência de blocos de várias toneladas, mais ou menos isolados estruturalmente, situação que poderá potenciar situações de instabilidade desses blocos e como consequência extrema, o seu desabamento pela vertente.

O segundo tipo prende-se essencialmente com as vertentes que possuem declives de valor muito elevado (> 25°; cf. fig. 4), em particular aquelas que são talhadas em xistos e que possam conter, em regra, depósitos de vertente, mais ou menos espessos, a regularizá-las.

A compartimentação topográfica que o relevo de Castelo de Paiva apresenta advém, em grande parte, do condicionamento litológico e geotectónico regional (fig. 1). Assim, é sublinhado a Oeste do concelho um importante acidente tectónico regional —Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão— materializado localmente por uma escarpa de falha complexa, com orientação geral NW-SE, e composta por material muito fracturado, argilificado e de fraca coesão. Esta direcção regional, associada à presença de outras estruturas tectónicas no contexto regional, também se manifesta noutras vertentes de forte declive e rigidamente orientadas, como é o caso de alguns flancos das encostas xistentas e dos flancos do ramo quartzítico, a Norte. Transversalmente a esta atitude são de notar as prováveis escarpas de falha marcadas pelo forte declive e orientação morfoestrutural rígida, NE-SW, que afectam principalmente o sector granítico e quartzítico da área concelhia. As áreas que denunciam alguma perigosidade são: as escarpas Bairros–Real–Nogueira, as escarpas que marginam o bloco abatido da área aplanada onde está instalada a sede do concelho e a escarpa de falha de S. Domingos que continua para o vale do Douro (fig. 7A).

A área envolvente ao antigo couto mineiro do Pejão revela uma perigosidade específica a ter em linha de conta na caracterização ao nível do ordenamento local. Assim, dada a complexidade das estruturas geológicas em presença e a multiplicidade de parâmetros geomecânicos em jogo na área da antiga Mina de Carvão de Germunde, os fenómenos de subsidência mineira (fig. 7B) não se manifestam nem com regularidade temporal, nem com homogeneidade espacial (Dinis da Gama, 2000). Daqui as dificuldades em detectar, em cada instante, as origens dos focos causadores das perturbações na superfície e em prever a evolução das situações.

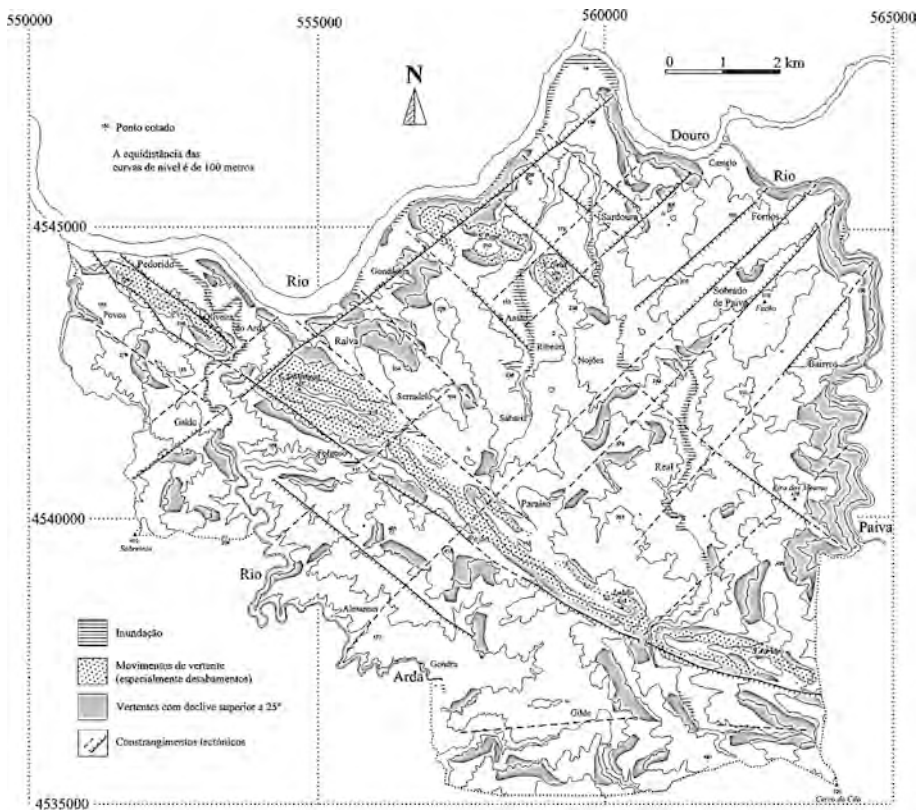


Figura 6 - Esboço de diagnóstico das principais susceptibilidades naturais no concelho de Castelo de Paiva.

A diminuição da intensidade dos fenómenos de subsidência mineira foi patente a partir de 1994, época em que ocorreu a paralisação das actividades produtivas da mina de Germunde (Dinis da Gama, 2000). Os factos que primordialmente contribuíram para estas manifestações foram a suspensão dos trabalhos de desmonte mineiro, seguidos do abatimento dos tectos, deixando de promover movimentações descendentes de volumes rochosos e, ainda, a eliminação das operações de bombagem das águas que afluíam aos vários níveis da mina, provocando uma inundação das cavidades, susceptível de as estabilizar, de modo a reduzir as rupturas de tectos dos desmontes.

## 6. Conclusões

A colaboração entre diferentes especialidades, entre outras, no domínio das Geociências, do Ambiente, do Planeamento Biofísico do Território, bem como o cruzamento de



**Figura 7** - Foto panorâmica evidenciando o risco de queda de blocos na vertente norte da escarpa de falha de S. Domingos (Chaminé *et al.*, 2004) [A] e manifestação da subsidência mineira em edifícios na área próxima à antiga mina de carvão de Germunde (Chaminé, 1992) [B].

vários níveis de informação nos processos de tomada de decisão municipal poderá revelar-se um instrumento eficaz na gestão do território que administra, e um meio de evitar custos acrescidos à implantação de infraestruturas públicas e particulares.

Após uma análise das características e dos constrangimentos naturais da área do concelho de Castelo de Paiva, são esboçadas uma série de propostas que visam a procura de estratégias de equilíbrio entre as dinâmicas do meio natural e as modificações impostas pela intervenção no território (Portas *et al.*, 2003). No entanto, as ideias que apresentamos carecem, em alguns casos, de estudos de pormenor, em particular, as áreas mais povoadas onde a pressão urbana é mais premente e as áreas potencialmente a urbanizar. Nestes locais, a ponderação da perigosidade do meio necessita de estudos mais detalhados e localizados, por técnicos credenciados, de forma a otimizar as estratégias de convivência entre o meio natural e o construído.

Dadas as características geológicas e geomorfológicas específicas elencamos as seguintes sugestões que sustentam uma estratégia de intervenção no ordenamento territorial para o concelho de Castelo de Paiva, a saber:

- o cuidado a ter com os leitos de inundação naturais dos principais cursos de água, mantendo-os livres de construções ou de outro tipo de infraestruturas;
- a preocupação com o tamanho da secção das infraestruturas que suportam vias rodoviárias ao cruzarem linhas de água, já que estas devem ser suficientes para responder a caudais fortes e violentos, em situações de pontas de cheia;
- o cuidado a ter nos desaterros, nas movimentações de grande volume de terras, e grandes desmontes de vertentes, em particular as de maior declive e/ou as escarpas de falha, ou seja, locais em que a possibilidade de induzir movimentações de material na vertente é forte e as suas consequências podem ser dramáticas para as populações;
- a conservação nas áreas deprimidas ou em pequenos sectores, de espaços consagrados à Reserva Agrícola Nacional (RAN), face à possibilidade de existência de solos trabalhados e com espessura significativa, o que lhes confere boa aptidão agrícola;
- uma estratégia promotora do revestimento vegetal das vertentes com forte declive, de modo a proteger as finas camadas de solo da lavagem pela escorrência e de modo a minorar a erosão dessas vertentes;
- a orientação das comunidades locais para o desenvolvimento de uma estratégia de ocupação do solo que mitigue os impactos negativos na paisagem e se traduza em menores custos de manutenção de infraestruturas, quer para os particulares, quer para os organismos públicos;
- o controlo da extracção de inertes do leito do Rio Douro e a monitorização batimétrica periódica do fundo, particularmente após episódios de cheias extraordinárias, de modo a prever situações de risco para infraestruturas rodoviárias vitais;

- o cuidado no arroteamento de novas áreas industriais em termos de impacto geomorfológico, uma vez que grandes obras podem ter impactos significativos na estabilidade das vertentes;
- a promoção de campanhas de monitorização, com alguma periodicidade, nos locais de explorações mineiras abandonadas, de modo a controlar problemas já conhecidos e definir, atempadamente, estratégias correctas de intervenção;
- a cautela na autorização de licenciamentos para edificar em vertentes onde o risco de desabamento de material seja previsível.

### *Agradecimentos*

HIC recebeu apoio parcial pelo projecto PRAXIS XXI (FCT-SFRH/BPD/3641/2000; MIA-UA). Ao Dr. José Teixeira (MIA, Univ. de Aveiro) pelo apoio na execução gráfica de algumas ilustrações. Gratos ao Prof. Doutor Ary Pinto de Jesus (FCUP), ao Prof. Eng. Carlos M. Arrais (ISEP) e ao Prof. Dr. José Martins Carvalho (ISEP), pela troca de impressões em alguns tópicos deste trabalho. Um agradecimento especial ao Prof. Doutor A. Pérez-Alberti (Universidade de Santiago de Compostela) pelo apoio à difusão deste trabalho. Um agradecimento especial aos dois revisores anónimos pelas achegas críticas ao manuscrito original.

### **Bibliografia**

- Brum Ferreira, A. (1978): “Planaltos e montanhas do Norte da Beira: estudo de geomorfologia”. *Memórias do Centro de Estudos Geográficos*, Lisboa, vol. 4, pp. 1-374.
- Brum Ferreira, D. (1981): “Carte géomorphologique du Portugal”. *Memórias do Centro de Estudos Geográficos*, Lisboa, vol. 6, pp. 1-54.
- Cabral, J. (1995): “Neotectónica em Portugal Continental”, *Memórias Inst. Geol. Min.*, Lisboa, vol. 31, pp. 1-256.
- Cabral, J. e Ribeiro, A. (1988): “*Carta neotectónica de Portugal Continental, escala 1/1000000*”, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Chaminé, H.I. (1992): “*Mina de Carvão de Germunde. Contribuição da geologia para o estudo da geomecânica e da subsidência mineira*”, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto/Empresa Carbonífera do Douro. Porto/Germunde, 128 pp.; 11 anexos. (Relatório de Estágio Profissionalizante, inédito).
- Chaminé, H.I. e Silva, P.B. (1993): “Contribuição da geologia para o estudo da subsidência mineira na Mina de Carvão de Germunde (NW de Portugal)”, *Cadernos Laboratório Xeológico de Laxe*, Coruña, vol. 18, pp. 281-287.
- Chaminé, H.I. e Silva, P.B. (1997): “A subsidência mineira na Mina de Carvão de Germunde. Contribuição da geologia de superfície”, *Geologos, Rev. Dep. Geol. Univ. Porto*, vol. 1, pp. 1-7.

- Chaminé, H.I.; Arrais, C.M.; Pinto de Jesus, A.; Silva, P.B.; Gomes, A.; Teixeira, J. e Dinis da Gama, C. (2004): “Geologia e morfoestrutura do sector de Oliveira do Arda-Folgozo (Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão, NW de Portugal): implicações nos afluxos de água à antiga mina de carvão de Germunde”, *Tecnologia da Água*, vol. 2 (Edição II), 4, pp. 28-41.
- Conde, L. E. N. (1983): “Mapa de fracturas de Portugal, escala 1/500.000: Memória descritiva”, *EDP - Empresa Electricidade de Portugal*, 118 pp.
- Dias, G.; Noronha, F. e Ferreira, N. [eds.], (2000): “Variscan plutonism in the Central-Iberian Zone, Northern Portugal”, *Eurogranites '2000 Field Meeting Guide Book*, UM/FCUP/IGM.
- Dinis da Gama, C. (2000): “Geotecnia ambiental: perspectivas e aplicações”, *Geotecnia, Rev. Soc. Portg. Geotecnia*, Lisboa, vol. 90, pp. 9-47.
- Dinis da Gama, C. e Dutra, J.I.G., (1994): “Void migration method of analysis for ground subsidence”, In: Oliveira, R.; Rodrigues, L.F.; Coelho, A.G. & Cunha, A.P., eds., *Proceedings 7<sup>th</sup> International Congress of the International Association of Engineering Geology*. A. A. Balkema. Rotterdam, Brookfield, vol. 4, pp. 1871-1877.
- ECD – Empresa Carbonífera do Douro S.A. (1992): “Modelagem computacional da subsidência mineira em jazigos de carvão muito inclinados”, Relatório Final. Comunidade Económica do Carvão e Aço; convenção nº 7220/AD/761. *Direcção Geral da Energia. Investigação Tecnológica do Carvão*. Pedrido. 105 pp.
- ECD – Empresa Carbonífera do Douro S.A. (1995): “Investigação sobre trabalhos superficiais e subterrâneos para minimizar os efeitos da subsidência de minas de carvão com camadas sub-verticais”, Relatório Final. Comissão das Comunidades Europeias, *Direcção Geral Energia-DGXVII, Investigação Tecnológica Carvão*, Convenção Nº.7220/AF/001. Pedrido. 229 pp.
- EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro (1983/1987): “Prospecção da Bacia Carbonífera do Douro”, Relatório Final. *Empresa de Desenvolvimento Mineiro*, Volumes I a V. (Relatório inédito).
- Ferreira, N.; Iglésias, M.; Noronha, F.; Pereira, E.; Ribeiro, A. e Ribeiro, M.L. (1987): “Granitóides da Zona Centro-Ibérica e seu enquadramento geodinâmico”, *Geología de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hesperico*, Editorial Rueda, Madrid, pp. 37-51.
- Garcia, R.A.C. e Zêzere, J.L. (2003): “Avaliação de riscos geomorfológicos: breve abordagem a conceitos e terminologias”, *III Seminário sobre Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território*, Universidade de Trás-os-Montes e Alto-Douro, Vila Real, pp. 299-308.
- Gonzalez de Vallejo, L.I.; Ferrer, M.; Ortuño, L. e Oteo, C. (2002): “*Ingeniería geológica*”, Prentice Hall, Madrid, 744 pp.
- Lemos de Sousa, M.J. (1978): “O grau de incarbonização (‘rang’) dos carvões durienses e as consequências genéticas, geológicas e estruturais que resultam do seu conhecimento”, *Comunicações Serv. Geol. Portg., Lisboa*, vol. 63, pp. 179-365.
- Machado, A.C.D. (1970): “As minas de carvão do Pejão”, *Boletim de Minas*, Lisboa, vol. 7, pp. 259-281.

- Medeiros, A.C.; Pilar, L. e Fernandes, A.P. (1964): “Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50000, Notícia Explicativa da Folha nº 13-B, Castelo de Paiva”, *Serviços Geológicos de Portugal*, 61 pp.
- Oliveira, J. T.; Pereira, E.; Ramalho, M.; Antunes, M. T. e Monteiro, J. H. (1992): “Carta Geológica de Portugal, escala 1/500.000, 5ª edição”. *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa. 2 folhas.
- Pereira, E.; Ribeiro, A.; Soares de Carvalho, G.; Noronha, F.; Ferreira, N. e Monteiro, J.H. [coords.] (1989): “Carta Geológica de Portugal, escala 1/200.000, Folha 1”, *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa.
- Pinto de Jesus, A. (2001): “*Génese e evolução da Bacia Carbonífera do Douro (Estefaniano C inferior, NW de Portugal): um modelo*”, Universidade do Porto. 2 Volumes [Texto: 272 pp.; Atlas: 71 pp.]. (Tese de doutoramento, inédito).
- Pinto de Jesus, A. (2003): “Evolução sedimentar e tectónica da Bacia Carbonífera do Douro (Estefaniano C inferior, NW de Portugal)”, *Cadernos Laboratório Xeológico Laxe*, Coruña, vol. 28, pp. 107-125.
- Portas, N.; Domingues, A. e Cabral, J. (2003): “*Políticas urbanas: tendências, estratégias e oportunidades*”, Fundação Calouste Gulbenkian. 295 pp.
- Portugal Ferreira, M. (1971): “Distrito metalogénico Dúrico-Beirão”, In: Jazigos uraníferos portugueses, Jazigos de Au-Ag-sulfuretos do Norte de Portugal, Livro-guia da excursão nº 5, *1º Congresso Hispano-Luso-Americano de Geologia Económica, Direcção-Geral de Minas e Serviços Geológicos*, Lisboa, pp. 55-79.
- Rebello, F.M.S. (1975): “Serras de Valongo: estudo de geomorfologia”, *Suplementos de Biblos*, Universidade de Coimbra, vol. 9, pp. 1-194. (Tese de doutoramento).
- Rebello, F.M.S. (1984): “Adaptações e inaptações às cristas quartzíticas do Noroeste Português”. In: Livro de Homenagem a Orlando Ribeiro, *Centro de Estudos Geográficos*, Lisboa, vol. 1, pp. 321-331.
- Ribeiro, A. e Cabral, J. (1992): “Tectónica recente”. In: Pereira E., Coord., *Notícia Explicativa da Folha 1 da Carta Geológica de Portugal na escala 1/200.000*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa. pp. 57.
- Ribeiro, A., Conde, L. e Monteiro, J. (1972): “Carta tectónica de Portugal, escala 1:1000.000”. *Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos*, Lisboa.
- Ribeiro, A.; Quesada, C. e Dallmeyer, R.D. (1990): “Geodynamic evolution of the Iberian Massif”. In: Dallmeyer, R.D. e Martínez-García, E., Eds., *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, pp. 397-410.
- Ribeiro, O.; Lautensach, H. e Daveau, S. (1987): “Geografia de Portugal”. Vol. I - A posição geográfica e o território, *Edições João Sá da Costa*. Lisboa, pp. 3-334.
- RSAAEP (2000): “Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (aprovado pelo decreto-lei nº235/83, de 31 de Maio)”. In: Colecção *Regulamentos, Anexo III- Elementos para quantificação da acção dos sismos*. Porto Editora, Porto, vol. 4, pp. 87-96.
- Schermerhorn (1956): “Igneous, metamorphic and ore geology of the Castro Daire – São Pedro do Sul-Sátão region (Northern Portugal)”, *Comunicações Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa, vol. 37, pp. 5-617.

- Sousa Oliveira, C. (1986): “A sismicidade histórica e a revisão do catálogo sísmico”. Relatório 99/86–NDA. Proc. 36/11/7368. Serviço de Estruturas, *Laboratório Nacional de Engenharia Civil*, Lisboa, 192 pp.
- Sousa Oliveira, C.; Sousa, M.L. e Costa, A.C. (1999): “Contribuição para a revisão da acção sísmica em Portugal Continental no contexto do Eurocódigo 8”. In: *4º encontro Nacional de sismologia e Engenharia Sísmica e da 2ªme Rencontre en Génie Parasismique des Pays Méditerranéés*, Simica’99, Faro, Algarve, pp. 153-164.
- Teixeira, C. (1981): “*Geologia de Portugal, Precâmbrico-Paleozóico*”, Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa, 629 pp.
- Wagner, R.H. e Lemos de Sousa, M.J. (1983): “The Carboniferous megaflores of Portugal: A revision of identifications and discussion of stratigraphic ages”. In: Lemos de Sousa, M.J. e Oliveira, J.T., Eds., *The Carboniferous of Portugal. Memórias Serv. Geol. Portg.*, Lisboa, vol. 29, pp. 127-152.