

# CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DE PRECIPITADOS SILICIOSOS ASSOCIADOS A CISALHAMENTOS D<sub>1</sub> (SOUTO DA VELHA, CARVIÇAIS)

A. Mateus<sup>1</sup>, R. Dias<sup>2</sup>

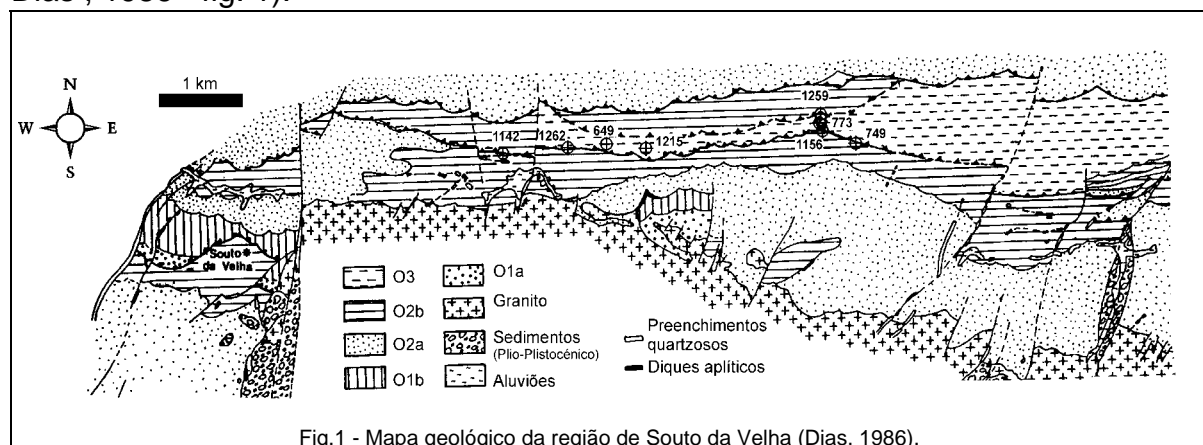
<sup>1</sup>Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1700 Lisboa, Portugal

<sup>2</sup>Departamento de Geociências da Universidade de Évora, Apartado 94, 7001 Évora Codex, Portugal

## Abstract

Left-lateral, E-W, sin-D<sub>1</sub> shears observed in Souto da Velha (Carviçais) region acquired a thrust component of movement during their reactivation in the course of D<sub>2</sub> variscan deformation phase. Several segments of these shear zones contain polyphasic, siliceous, hydrothermal precipitates whose deformation patterns consist of complex microfracture arrays that postdate earlier microstructures (sin-D<sub>1</sub> - sin-D<sub>2</sub>) due to plastic yielding under 300-350°C and in presence of significant amounts of (metamorphic) fluids. The former brittle systems are ascribable to deformation events that occurred mainly in late-D<sub>2</sub> times under average temperatures of the order of 250°C.

Na região de Souto da Velha (Carviçais), localizada a cerca de 5 km a Sul das Unidades Alóctones características do NE transmontano, é possível identificar quatro unidades metassedimentares de idade Ordovícica (Ribeiro, 1974; Rebelo & Romano, 1986). Estas dispõem-se ao longo do flanco Norte da estrutura anticlinal de Carviçais desenvolvida durante a primeira fase de deformação varisca (D<sub>1</sub>), em cujo núcleo aflora um batólito granítico com idade 300±10 M.a. (Ribeiro, 1974). Relações geométricas e critérios cinemáticos de vária ordem revelam que a natureza heterogénea da deformação transpressiva esquerda atribuível a D<sub>1</sub> (Dias, 1986, 1994; Dias & Ribeiro, 1991) se deve à acomodação diferencial da mesma nos vários tipos litológicos, bem como à concentração da componente de cisalhamento esquerda ao longo das zonas de cisalhamento D<sub>1</sub>. O desenvolvimento das estruturas D<sub>2</sub> reconhecidas na região, circunscreve-se à vizinhança de zonas de cisalhamento D<sub>1</sub>, com direcção geral E-W, de que são exemplos paradigmáticos os acidentes esquerdos de Souto da Velha, Quinta do Major e Ribeira do Inferno (Ribeiro, 1974; Dias, 1986 - fig. 1).



Vários são os precipitados siliciosos que sublinham as zonas de cisalhamento D<sub>1</sub>. O seu significado geodinâmico, embora importante, não é fácil de precisar mercê do carácter progressivo de D<sub>1</sub> e da subsequente reactivação das zonas de cisalhamento em D<sub>2</sub> como cavalgamentos. De acordo com os dados de natureza cine-

mática, os precipitados siliciosos estudados podem ser agrupados em seis famílias principais:

a) Veios milimétricos dobrados apresentando clivagem  $S_1$  de plano axial (amostra 1262B). Estes veios, relativamente raros, representam muito provavelmente precipitados antecinemáticos ou contemporâneos dos estádios mais precoces de  $D_1$ , discordantes relativamente à estratificação, conforme é sugerido pela discrepância entre a atitude dos eixos das dobras que os afectam ( $32^\circ, S68^\circ E$ ) e as orientações variscas reconhecidas em toda a região de Souto da Velha ( $2^\circ, N80^\circ W$ ). À escala microscópica, as microestruturas devidas a endurecimento heterogêneo seguido de recuperação mais ou menos apreciável são particularmente evidentes nos domínios apertados, convexos, das dobras, e flancos curtos das mesmas, locais onde, inclusivamente, é possível identificar numerosos grãos recristalizados. Regra geral, os cristais primários, revelando orientação preferencial óbvia, evidenciam forte indentação e apresentam numerosas bandas e lamelas de deformação. Nos domínios de charneira, desenvolvem-se fracturas tardias, transgranulares, parcialmente seladas por quartzo e clorite; este filossilicato ocorre ainda sob a forma de agregados micrométricos ricos em óxidos de ferro.

b) Veios de quartzo centimétricos a decimétricos subparalelos à clivagem  $S_1$  e fortemente “boudinados” (amostras 649, 749A, 773, 1142A, 1142B e 1259), sendo o alongamento dos *boudins* subperpendicular à lineação de estiramento  $D_1$ . Correspondem, portanto, a estruturas sin- $D_1$  cuja génese terá sido favorecida pela criação de condições apropriadas ao estabelecimento de pressões de fluidos superiores à compressão tectónica (porquanto  $S_1$  representa o plano de achatamento máximo do elipsóide de deformação). Os veios em causa encerram numerosas microestruturas que, em conjunto, denunciam a forte deformação a que os agregados cristalinos foram sujeitos. A extinção ondulante dos cristais individuais é invariavelmente forte (com ângulos de extinção que, regra geral, se cifram acima dos  $20^\circ$ ); as bandas de deformação são frequentes; os subgrãos intragranulares, morfologicamente alongados, descrevem direcções preferenciais subparalelas às deduzidas com base na assimetria do serrilhado definido pela suturação das junções intergranulares; as faixas de subgranulação intergranular adquirem, regra geral, excepcional importância e, com alguma frequência, compreendem grãos recristalizados. Nestes agregados, a cedência frágil traduz-se via desenvolvimento de fracturas intergranulares e inter-transgranulares, vulgarmente seladas por quartzo + sericite  $\pm$  clorite ou por clorite  $\pm$  sericite. As estruturas inter-transgranulares apresentam numerosas ramificações e outros tipos de arranjos geométricos geralmente atribuíveis a condicionamentos exercidos por microdescontinuidades pré-existentes no decurso da sua propagação dinâmica (em particular via coalescimento de fracturas intergranulares); a reactivação tardia de alguns dos troços das fracturas transgranulares conduz ao desenvolvimento local de cataclase. A influência exercida pela estruturação das fronteiras intergranulares no traçado das descontinuidades inter-transgranulares pode ser apreciada com invulgar detalhe nos exemplares 1142A e 1142B, onde se reconhecem também numerosas microfendas intragranulares, especialmente abundantes nos domínios periféricos dos cristais

fortemente endurecidos. À luz das observações petrográficas efectuadas nestes dois últimos exemplares, importa ainda mencionar o desenvolvimento de sistemas complexos (não raras vezes anastomosados) de microfracturas associadas a domínios onde o traçado da descontinuidade intergranular evidencia inflexão brusca; a sua génese afigura-se assim atribuível à acumulação de tensões que poderá ter ocorrido naqueles domínios durante a propagação da fractura intergranular (fig. 2).

c) Veio de quartzo (amostra 749D) com cerca de 20 cm de espessura (N56°W,66°N) que, cortando claramente  $S_1$  (N84°W,58°N), apresenta “boudinagem” notória. O alongamento dos *boudins* (54°,N76°E), sendo aproximadamente perpendicular à lineação de estiramento  $X_1$  (8°,N80°W), sugere que o veio foi ainda sujeito aos derradeiros incrementos de  $D_1$ . Esta interpretação encontra igualmente eco nos resultados adquiridos no âmbito da análise microestrutural. Efectivamente, tal como nos precipitados quartzosos boudinados pela  $D_1$ , as microestruturas sugestivas de cedência plástica significativa (endurecimento forte seguido de recuperação apreciável e recristalização dinâmica incipiente) são numerosas. A heterogeneidade da deformação manifesta-se sobretudo via desenvolvimento de: (i) extinção ondulante proeminente; (ii) bandas de deformação; e (iii) subgranulação intra e intergranular apreciável, particularmente evidente em certos domínios do agregado cristalino (que originalmente, talvez, compreendessem cristais convenientemente orientados face às tensões aplicadas). A fracturação intra e intergranular, genericamente condicionada pela distribuição das microestruturas devidas a cedência plástica, compreende diversas descontinuidades com traçado irregular que, na maioria das situações, se encontram seladas por quartzo e quartzo + clorite, respectivamente. A fracturação transgranular, mais incipiente, traduz-se por sistemas irregulares, vulgarmente preenchidos por quartzo ou por quartzo + sericite + clorite.

d) Veios de quartzo centimétricos sub-paralelos a  $S_1$  que se apresentam brechificados (amostra 1215). Neste caso, os critérios de campo não permitem estabelecer qualquer relação cronológica entre estes precipitados hidrotermais e a primeira fase de deformação. A sua génese poderá ter ocorrido imediatamente após o desenvolvimento dos veios da família e), mas ainda no decurso da  $D_1$  ou, pelo contrário, poderá ter acontecido posteriormente a  $D_1$ ; aceitando a última possibilidade, a deformação registada pelo veio será devida a  $D_2$ . O carácter heterogéneo da deformação traduz-se pela presença das microestruturas seguintes: (i) extinção ondulante forte, apresentando ângulos de extinção geralmente compreendidos entre 15 e 20°; (ii) subgranulação intragranular significativa, conduzindo com frequência a verdadeiras texturas de espuma onde os subgrãos adquirem morfologia alongada típica; (iii) fracturação intragranular evidente, por vezes bastante pronunciada, permitindo o desenvolvimento de fendas parcial ou totalmente seladas por quartzo micrométrico e cuja geometria é claramente condicionada pela disposição das microestruturas devidas a cedência plástica; estas descontinuidades exibem frequentemente disposição regular, grosseiramente *en échelon*, e, em variadíssimos contextos, são retomadas tardiamente pelos sistemas frágeis intertransgranulares; (iv) fracturação intergranular apreciável adquirindo particular

importância nos domínios onde a suturação intergranular se faz sentir com menor intensidade; a geometria irregular apresentada por este tipo de fracturas constitui, na sua essência, um reflexo dos constrangimentos impostos pelo traçado das junções intergranulares, tanto mais significativo quanto mais forte for a suturação dos cristais; os precipitados minerais que as selam compreendem vulgarmente quartzo + sericite; e (v) fracturação transgranular tardia, gerando uma rede profusa constituída por descontinuidade com geometria irregular (por vezes anastomosada) e que, regra geral, exibem numerosas ramificações; estas descontinuidades, retomando muitas das que se desenvolvem em domínios intergranulares, encontram-se sempre preenchidas por quartzo ou por quartzo + clorite  $\pm$  sericite; fenómenos de cataclase ou brechificação podem ser reconhecidos em certos troços das fracturas transgranulares principais, talvez fruto da reactivação local destas estruturas (fig. 3).

e) O exemplar 749B representa, por sua vez, um veio de quartzo centimétrico a decimétrico claramente dobrado em  $D_2$ , no qual se identifica uma clivagem  $S_2$  de plano axial. Este precipitado hidrotermal encontra-se deformado heterogeneamente em condições de ductilidade apreciável. São assim notórias as microestruturas devidas a subgranulação intra e intergranular, localmente complementadas por recristalização pronunciada, para além da extinção ondulante forte ( $> 15^\circ$ ), lamelas e bandas de deformação. A recristalização observada em alguns dos mantos intergranulares conduz ao desenvolvimento de agregados micrométricos de cristais com textura poligonal característica. Neste agregado cristalino a fracturação intragranular é bastante incipiente. O mesmo não acontece com a fracturação inter-transgranular, a qual abarca estruturas irregulares, polifásicas, com abundantes ramificações geralmente seladas por quartzo + clorite; a cataclase que localmente se associa às principais descontinuidades transgranulares é, regra geral, atribuível a eventos de reactivação tardia (fig. 4).

f) Os filonetes de quartzo paralelos a  $S_2$  (amostras 1156B e 1156C) representam a última família de precipitados siliciosos examinados e correspondem, com grande probabilidade, a estruturas sin- $D_2$ , visto os efeitos dos eventos de deformação posterior serem negligenciáveis na região de Souto da Velha. Estes filonetes de quartzo comportam agregados com endurecimento heterogéneo, genericamente mais intenso no exemplar 1156B. Regra geral, os cristais de quartzo exibem extinção ondulante moderada a forte, bandas de deformação e raras lamelas de deformação; a morfologia alongada (achatada) dos cristais apresenta alongamento maior subparalelo ao evidenciado pela disposição dos subgrãos intragranulares, materializando uma direcção preferencial de orientação, particularmente evidente nos domínios onde os efeitos devidos à recuperação intergranular são manifestamente incipientes. A fracturação intergranular pronunciada comporta estruturas que, seladas por agregados grosseiros de sericite + clorite + quartzo, exibem geometria complexa, fortemente ramificada, traduzindo de forma clara os constrangimentos mecânicos exercidos pelas anisotropias intragranulares e junções intergranulares. É, contudo, provável que grande parte das ramificações se tenham gerado em estádios evolutivos relativamente tardios, resultando da acumulação diferencial de tensões em domínios particulares (zonas

de forte inflexão) das descontinuidades intergranulares. A reactivação tardia e subsequente coalescimento destas estruturas conduz, por norma, ao desenvolvimento de fracturas transgranulares, as quais raramente se encontram seladas (fig. 5).

## Conclusão

Pelo exposto é possível afirmar que a deformação apresentada pelos vários preenchimentos quartzosos estudados se desenrolou globalmente em condições de temperatura favoráveis ao desenvolvimento de microestruturas atribuíveis a endurecimento pronunciado, normalmente complementado por recuperação significativa e, em alguns casos, recristalização notória. Face às associações microestruturais, valores de temperatura compreendidos no intervalo de maior probabilidade 300-350°C podem ser inferidos para os eventos de deformação sin-D<sub>1</sub> a sin-D<sub>2</sub> que, de forma geral, permitem a acção de mecanismos de cedência plástica assistidos por fluidos aquo-carbónicos de natureza metamórfica provável; a circulação dos fluidos siliciosos poderá assim relacionar-se com a formação dos denominados *xistos tectónicos* (Hutton, 1979) que, sublinhando as zonas de cisalhamento, devem representar o resíduo da dissolução parcial de alguns dos níveis constituintes da unidade O<sub>2b</sub> (Psamitos Superiores). A progressão da deformação em D<sub>1</sub> e/ou o desencadear de eventos de deformação subsequentes em D<sub>2</sub>, conduzem à génese de sistemas de fracturas intergranulares, tardiamente retomadas em regime frágil, cujo traçado se encontra invariavelmente sublinhado por precipitados minerais (quartzo + sericite ± clorite), averbando o papel decisivo dos fluidos metamórficos nos mecanismos subjacentes à sua nucleação e propagação (inicialmente subcrítica ?). A cedência frágil transgranular, correlativa de eventos posteriores (tardi-D<sub>2</sub>), decorreu muito possivelmente em condições de temperatura inferior, *i.e.* ≈ 250°C, sendo contemporânea da circulação de fluidos (predominantemente aquosos) responsáveis pela deposição de quartzo + clorite.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da JNICT através do projecto de investigação REDIBER - PBICT/P/CTA/2113/95.

## Referências

- Dias, R., 1986. *Estudo de um sector do autóctone de Trás-os-Montes oriental a ENE de Torre de Moncorvo*. Dissertação apresentada no âmbito das Provas de aptidão científica e capacidade pedagógica, Univ. Lisboa, 153 p.
- Dias, R., 1994. *Regimes de deformação no autóctone da zona Centro-Ibérica: importância para a compreensão da génese do arco Ibero-Armoricano*. Dissertação de candidatura ao grau de Doutor, Univ. Lisboa, 278 pp.
- Dias, R. & Ribeiro, A., 1991. Finite strain analysis in a transpressive regime (Variscan autochthon, northeast Portugal), *Tectonophysics*, **191**, 389-397.
- Hutton, D. 1979. Tectonic slides: a review and reappraisal. *Earth Science Reviews*, **15**, 151-172.
- Rebelo, J. & Romano, M., 1986. A contribution to the lithostratigraphy and palaeontology of the lower Paleozoic rocks of the Moncorvo region, Northeast Portugal. *Comun. Serv. Geol. Portugal*, **72**, 45-57.
- Ribeiro, A., 1974. Contribution à l'étude tectonique de Trás-os-Montes oriental. *Mem. Serv. Geol. Portugal*, **N. S. 24**, 168 pp.

## CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DE PRECIPITADOS SILICIOSOS ASSOCIADOS A CISALHAMENTOS D<sub>1</sub> (SOUTO DA VELHA, CARVIÇAIS)

R. Dias<sup>1</sup>, A. Mateus<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geociências da Universidade de Évora, Apartado 94, 7001 Évora Codex, Portugal

<sup>2</sup>Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1700 Lisboa, Portugal

Na região de Souto da Velha (Carviçais), localizada a cerca de 5 km a Sul das Unidades Alóctones características do NE transmontano, é possível identificar quatro unidades metassedimentares de idade Ordovícica. Estas dispõem-se ao longo do flanco Norte da estrutura anticlinal de Carviçais desenvolvida durante a primeira fase de deformação varisca (D<sub>1</sub>), em cujo núcleo aflora um batólito granítico com idade 300±10 M.a. Relações geométricas e critérios cinemáticos de várias ordens revelam que a natureza heterogénea da deformação atribuível a D<sub>1</sub> se deve à acomodação diferencial da mesma nos vários tipos litológicos, bem como aos efeitos duma componente de cisalhamento esquerdo, localmente bastante importante. O desenvolvimento das estruturas D<sub>2</sub> reconhecidas na região, circunscreve-se à vizinhança de zonas de cisalhamento D<sub>1</sub>, de que são exemplos paradigmáticos os acidentes esquerdos de Souto da Velha, Quinta do Major e Ribeira do Inferno.

A deformação exibida pelos precipitados siliciosos que sublinham as zonas de cisalhamento D<sub>1</sub> (localmente reactivadas em D<sub>2</sub> como cavalgamentos) desenrolou-se globalmente em condições de temperatura favoráveis ao desenvolvimento de microestruturas atribuíveis a endurecimento pronunciado, normalmente complementado por recuperação significativa e, em alguns casos, recristalização notória. Face às associações microestruturais, valores de temperatura compreendidos no intervalo de maior probabilidade 300-350°C podem ser inferidos para os eventos de deformação sin-D<sub>1</sub> a sin-D<sub>2</sub> que, de forma geral, permitem a acção de mecanismos de cedência plástica assistidos por fluidos de natureza metamórfica provável; a circulação dos fluidos siliciosos poderá assim relacionar-se com a formação dos denominados *xistos tectónicos* que, sublinhando as zonas de cisalhamento, devem representar o resíduo da dissolução parcial de alguns dos níveis constituintes da unidade O<sub>2b</sub> (Psamitos Superiores). A progressão da deformação em D<sub>1</sub> e/ou o desencadear de eventos de deformação subsequentes em D<sub>2</sub>, conduzem à génese de sistemas de fracturas intergranulares, tardiamente retomadas em regime frágil, cujo traçado se encontra invariavelmente sublinhado por precipitados minerais (quartzo + sericite ± clorite), averbando o papel decisivo dos fluidos (metamórficos ?) nos mecanismos subjacentes à sua nucleação e propagação (inicialmente subcrítica ?). A cedência frágil transgranular, correlativa de eventos posteriores (tardi-D<sub>2</sub>), decorreu muito possivelmente em condições de temperatura inferior, *i.e.* ≈ 250°C, sendo contemporânea da circulação de fluidos aquosos responsáveis pela deposição de quartzo + clorite.

Os autores agradecem o apoio financeiro da JNICT através do projecto de investigação REDIBER - PBICT/P/CTA/2113/95.