

6. Zonas de Cisalhamento no Maciço Ibérico

6.1. Fundamento Teórico

A deformação das rochas não se distribui de forma homogénea, sendo comum que a deformação se concentre em zonas planares que acomodam a deformação entre blocos relativamente rígidos (Passchier & Trouw, 2005). Estas zonas planares apresentam geralmente deformação não coaxial que reflecte o deslocamento entre os blocos rígidos que a delimitam, sendo usualmente denominada de zona de cisalhamento. A deformação nestas zonas de cisalhamento leva ao desenvolvimento de *fabrics* e paragénese mineral que reflectem as condições de pressão e temperatura, o tipo de fluxo, assim como a cinemática destas zonas (Passchier & Trouw, 2005).

As zonas de cisalhamento podem ser subdivididas em dois grandes grupos: zonas de cisalhamento frágil (também designada por zona de falha) e zonas de cisalhamento dúctil. Evidentemente, estes grupos representam situações extremas, havendo situações de transição onde a deformação pode ser descrita como frágil-dúctil ou dúctil-frágil. Em zonas de cisalhamento em regime dúctil a deformação é acompanhada por metamorfismo, formando-se normalmente dobras, uma foliação muito penetrativa e não raras vezes por uma lineação de estiramento, enquanto em regime frágil formam-se na maioria dos casos uma rede de planos de falha espaçados entre si (Davis & Reynolds, 1996).

A terminologia utilizada para as rochas presentes em zonas de cisalhamento é, em parte, independente da sua litologia (fig.6.1; Passchier & Trouw, 2005). Tipicamente em regimes mais frágeis as rochas mostram um *fabric* aleatório, podendo ser visíveis litologias pertencentes à série cataclásica; em regimes mais dúcteis os *fabrics* são foliados, sendo comum a presença de milonitos e de gnaisses listrados.

Uma mesma zona de cisalhamento pode conter troços onde a deformação é essencialmente dúctil e outros onde a deformação é mais frágil. A transição entre os domínios mais frágeis e mais dúcteis, depende não só da profundidade, mas também de outros factores entre os quais se podem destacar a taxa de deformação, o gradiente geotérmico, o tipo de rocha que afecta, a presença de fluidos e o campo de tensões actuante (Passchier & Trouw, 2005).

6. Zonas de Cisalhamento no Maciço Ibérico

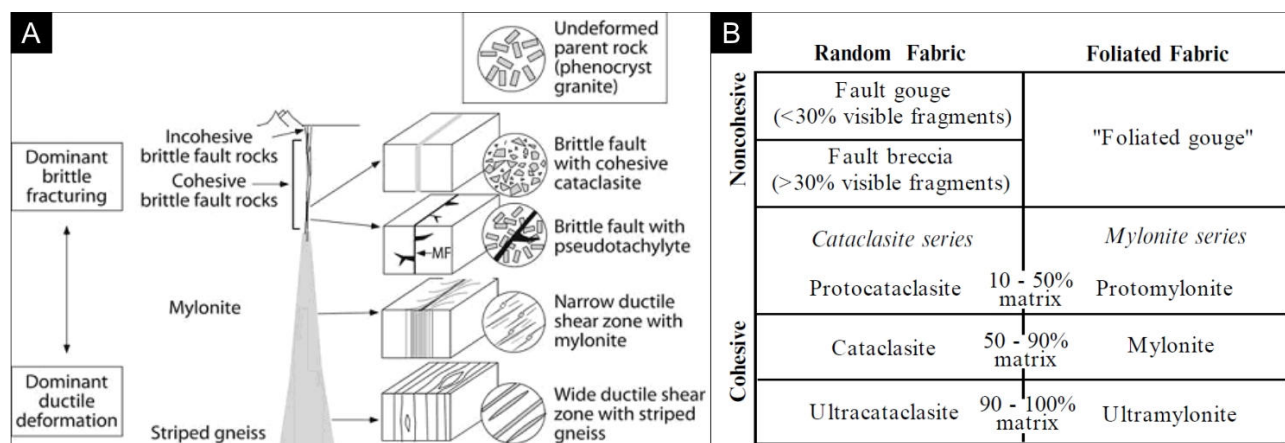


Fig. 6.1 – A – Corte esquemático em profundidade através de uma zona de cisalhamento, com a distribuição dos principais tipos de rochas em zonas de cisalhamento, desde o regime frágil ao regime dúctil. O esquema não apresenta escala vertical pelas razões anteriormente enunciadas no texto – MF: principal plano de falha (adaptado de Passchier & Trouw, 2005); B – Classificação de rochas em zonas de cisalhamento (segundo Sibson, 1977); considera-se matriz todo o material de dimensões inferiores a 50 µm.

As zonas de cisalhamento mostram, não raras vezes, estágios sobrepostos de actividade em condições metamórficas diferentes e por vezes com cinemáticas distintas, sendo que é comum o *overprinting* dos estágios anteriores, uma vez que estruturas como estas são facilmente reactivadas, uma vez que a reactivação de uma estrutura pré-existente é normalmente mais fácil do que a criação de uma nova estrutura.

As zonas de cisalhamento formam-se nos diversos tipos de ambientes tectónicos, podendo ocorrer quer nos limites entre placas (interplaca), quer no seio das mesmas (intraplaca). Estas podem por exemplo acomodar a deformação em regimes de extensão crustal (*e.g.* Basin and Range, EUA), em zonas de colisão continental (*e.g.* Cintura orogénica Alpes-Zagros-Himalaias), ou associadas a falhas transformantes (*e.g.* Falha de San Andreas; Davis & Reynolds, 1996). A compreensão das mesmas é por isso bastante importante quer a nível científico, quer a nível social e económico.

A cadeia Varisca não é uma excepção à regra, existindo uma série de zonas de cisalhamento em toda a sua extensão. No Maciço Ibérico, a presença de zonas de cisalhamento é bastante usual, sendo que algumas delas têm importância não só regional mas também ao nível da compreensão da evolução da cadeia orogénica.

As zonas de cisalhamento do Maciço Ibérico são bastante heterogéneas quer a nível do regime de cisalhamento (frágil ou dúctil) actuante na sua formação, quer a nível do intervalo temporal de actuação, e até mesmo quanto à sua cinemática.

Destacam-se em regime dúctil (fig. 6.2) as zonas de cisalhamento associadas à instalação dos Complexos Alóctones do NW Ibérico, a Zona de Cisalhamento Malpica-Lamego, a Tomar-

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

Badajoz-Córdoba, a Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo, a Juzbado-Penalva do Castelo e o Sulco Carbonífero (*e.g.* Iglésias & Ribeiro, 1981; Ribeiro *et al*, 1990; Chaminé 2000; Llana-Funez & Marcos, 2001; Ribeiro *et al*, 2007; Pereira *et al*, 2008; Moreira *et al*, 2010; Dias *et al*, *in press*).

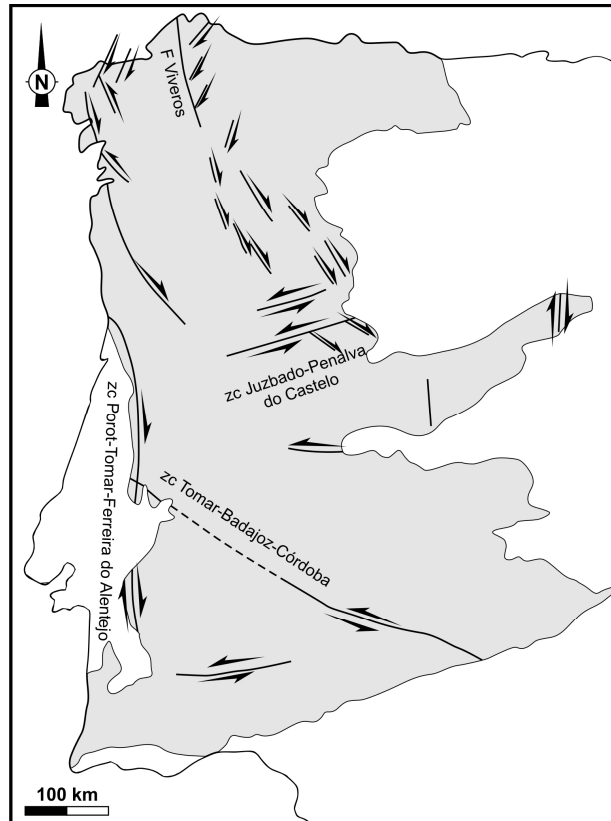


Fig. 6.2 – Zonas de cisalhamento dúcteis do Maciço Ibérico (adaptado de Iglésias & Ribeiro, 1981).

Para além destas, tardiamente e já em regime frágil, surge uma família de falhas de direcção grosso modo NNE-SSW, daqui para a frente denominada de Tardi-Varisca, que afectam as estruturas anteriores. Destacam-se três falhas principais deste tipo em território nacional: Falha da Messejana, Penacova-Vilarica e Régua-Chaves-Verin. Esta família para a generalidade dos autores (*e.g.* Ribeiro *et al*, 1979; Iglésias & Ribeiro, 1981) parece apresentar uma cinemática esquerda global, tendo reactivações posteriores durante o ciclo Alpino. Contudo, mais recentemente alguns autores têm atribuído a esta família uma cinemática direita, afirmando que a cinemática esquerda observada é na realidade resultante do rejogo Alpino (Marques *et al*, 2002; Mateus & Noronha, 2010).

Algumas destas zonas de cisalhamento têm sido alvo de vários estudos desde há vários anos a esta parte, sendo que algumas destas parecem desde logo serem estruturas herdadas policíclicas, apresentando indícios de actuação pré-varisca, mais especificamente durante o Ciclo Cadomiano (*e.g.* Chaminé, 2000, Ribeiro *et al*, 2007; 2009; Romão *et al*, 2008). São exemplo do anteriormente

6. Zonas de Cisalhamento no Maciço Ibérico

referido a Zona de Cisalhamento Porto-Tomar Ferreira do Alentejo (*e.g.* Gama Pereira e Macedo, 1983; Chaminé, 2000; Pereira *et al*, 2009) e a Zona de Cisalhamento Tomar-Badajoz-Córdoba (*e.g.* Lefort & Ribeiro, 1980; Ribeiro *et al* 2007; Romão *et al*, 2008).

Estas duas zonas de cisalhamento foram durante largos anos, consideradas uma mesma zona de cisalhamento com movimentação esquerda associada (Zona de Cisalhamento Porto-Tomar-Badajoz-Córdoba; *e.g.* Oliveira *et al*, 1992). Contudo, avanços ao nível do conhecimento geológico desta estrutura de primeira ordem, principalmente no que toca à cartografia estrutural, permitiu separá-la em duas zonas de cisalhamento com cinemáticas e histórias evolutivas distintas. A descrição destas duas zonas será realizada mais aprofundadamente nos subcapítulos seguintes, pela sua importância para a compreensão da estrutura na área em estudo.

6.2. Zona de Cisalhamento Tomar – Badajoz – Córdoba

A caracterização desta zona de cisalhamento foi realizada em grande parte nos capítulos anteriores (ver capítulo 5), sendo que neste capítulo se dará especial ênfase aos modelos geodinâmicos propostos para a mesma, tendo em conta os dados de cariz estrutural, metamórfico, estratigráfico e magmático.

Como já foi referido anteriormente, esta zona de cisalhamento tem sido alvo de vários estudos, sendo uma das principais zonas de cisalhamento do SW Ibérico (*e.g.* Iglésias & Ribeiro, 1981; Ribeiro *et al*, 2007). Apresenta no seu sector mais oriental uma direcção NW-SE, que tende a rodar para uma atitude mais próxima do NNW-SSE na região proximal a Abrantes. Esta apresenta na generalidade do seu traçado uma movimentação sinistrógiara (*e.g.* Pereira, 1999; Pereira & Silva, 2006; Ribeiro *et al*, 2009; Romão *et al*, 2008), definindo uma estrutura em flor quilométrica associada a um *fabric* tectónico plano-linear (S-L) desenvolvido durante o Ciclo Varisco em regime transpressivo esquerdo (*e.g.* Pereira, 1999; Pereira & Silva, 2002; 2004; Ribeiro *et al*, 2007), que se encontra próxima ou no limite entre a Zona de Ossa-Morena e a Zona Centro Ibérica (ver capítulo 5.2.1 referente a esta temática). Segundo os autores anteriormente referidos, a zona central apresenta estruturas planares verticalizadas que separa duas regiões de vergências distintas: o flanco NE com vergência para NE e o flanco SW com vergência para SW. Esta geometria mantém-se desde o sector de Abrantes até Hinojosa del Valle–Hornachos (fig. 6.3 B; Romão *et al*, 2008; 2010; Ribeiro *et al*, 2009; 2011).

Para Romão *et al* (2008) e Ribeiro *et al* (2009), na região de Abrantes, os dois ramos da estrutura em flor conectam-se por meio de uma dobra em bainha à escala quilométrica, com o nariz apontando para NW, sendo que a foliação se apresenta deitada, com sentido de cisalhamento de

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

topo para o mesmo sentido (fig. 6.3 C); esta estrutura, segundo os autores anteriormente referidos, é consequência do efeito de barreira de uma outra importante zona de cisalhamento do SW Ibérico a de Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo (que alguns autores defendem ser uma transformante intraplaca; *e.g.* Chaminé, 2000; Ribeiro *et al* 2007; 2009; 2011; Romão *et al*, 2008; 2010; *vide* capítulo 6.3) que impede a propagação da Zona de Cisalhamento Tomar-Badajoz-Córdoba com orientação NW-SE, típica dos sectores mais orientais.

Na zona axial deste cisalhamento de 1ª ordem é possível observar rochas de alto grau metamórfico, como são exemplo migmatitos, granulitos, orto- e paragneisses, anfibolitos e lentículas de eclogitos anfibolitizados. Uma parte das rochas anteriormente referidas apresenta evidências de um ciclo orogénico anterior ao Ciclo Varisco, preservando idades pertencentes ao Ciclo Cadomiano (*e.g.* Bandrés *et al*, 2004; Salman, 2004; Simancas *et al*, 2004; Tornos & Chiaradia, 2004; López-Guijarro *et al*, 2008).

Como já foi referido anteriormente, alguns autores (*e.g.* Ribeiro *et al*, 1990; Quesada, 1992; Abalos & Cusí, 1995; Bandrés *et al*, 2004; Pereira & Silva, 2006; Ribeiro *et al*, 2011) consideram que esta zona de cisalhamento é consequência de uma reactivação durante o Ciclo Varisco em regime transpressivo esquerdo de uma sutura cadomiana herdada, resultado de um processo de subducção oblíqua, sendo contudo discutível a polaridade desta subducção (Bandrés *et al*, 2004), devido à actuação em regime de desligamento esquerdo intraplaca durante o Ciclo Varisco, que oblitera parcialmente a sutura Cadomiana (*e.g.* Bandrés *et al*, 2004; Ribeiro *et al*, 2007; 2009).

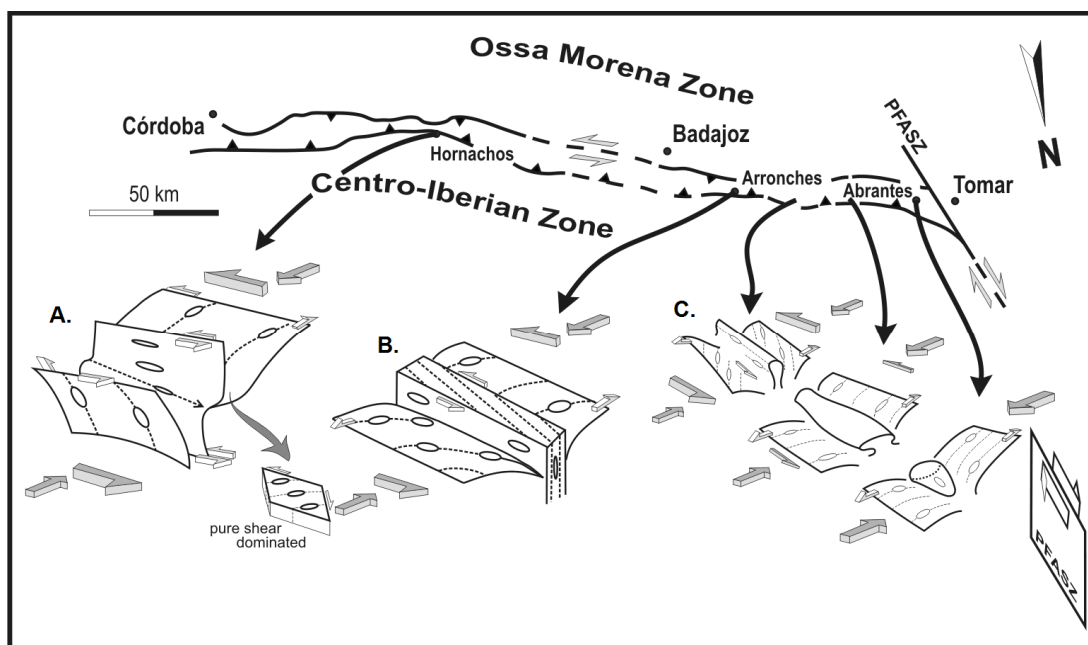


Fig. 6.3 – Cinemática e estrutura profunda da Zona de Cisalhamento Tomar-Badajoz-Córdoba (adaptado de Ribeiro *et al*, 2009). De SE para NW: A – Sector de Hinojosa del Valle–Hornachos, zona de acomodação; B – Sector de Badajoz-Portalegre, estrutura em flor em regime transpressivo esquerdo; C – Sector de Abrantes, dobra em bainha quilométrica na zona de interferência com a Zona de Cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo.

6. Zonas de Cisalhamento no Maciço Ibérico

Para além dos dados estruturais que mostram a presença de uma foliação e um metamorfismo anterior ao Ciclo Varisco, os dados geocronológicos parecem apoiar os dados de campo, tendo sido obtido em rochas com afinidade eclogítica uma idade de $611 \pm 17/-12$ Ma (U-Pb em zircões; Schafer, 1990). A isto acrescenta-se ainda a presença de várias datações de rochas magmáticas associadas a esta zona de cisalhamento com idades que variam desde o Proterozóico ao Ordovícico (*e.g.* Eguiluz *et al*, 1998; Bandrés *et al*, 2004; Salman, 2004; Simancas *et al*, 2004; López-Guijarro *et al*, 2008; Ribeiro *et al*, 2009).

Alguns autores sugerem que esta anisotropia profunda vai controlar o desenvolvimento do *rift* intracontinental no Paleozóico inferior (*e.g.* Romão *et al*, 2008). As rochas de idade Cadomiana aqui presentes são então afectadas por fusão parcial relacionada com eventos extensionais que ocorrem no Paleozóico inferior, ou seja, associada às fases distensivas do ciclo Orogénico Varisco (Salman, 2004; Simancas *et al*, 2004). Todas as características indicam que as rochas de alto grau preservadas no interior da Tomar-Badajoz-Córdoba representam um substrato Cadomiano retrabalhado durante o ciclo orogénico seguinte (*e.g.* Brandrés *et al*, 2004; Romão *et al*, 2008). Os dados anteriormente referidos são compatíveis com a actuação do regime cinemático esquerdo associado a esta anisotropia crustal durante o episódio Varisco, podendo esta estrutura ter uma evolução policíclica.

Contudo, e como veremos no capítulo 6.3, a consensualidade quanto à extensão desta zona de cisalhamento é também um assunto em debate. Enquanto autores defendem que esta zona de cisalhamento termina na região de Abrantes-Tomar com a geração de um dobra em bainha quilométrica (Ribeiro *et al*, 2009), outros prolongam a zona de cisalhamento até à região do Coimbra, sendo que por acção em regime frágil-dúctil da Porto-Tomar, esta seria posteriormente rejeitada até à região do Porto (Pereira *et al*, 2009).

No que respeita ao metamorfismo no interior da zona de cisalhamento no sector de Portalegre, foram separadas cinco unidades tectono-metamórficas com características distintas (Pereira, 1999; Pereira & Apraiz, 2002; Pereira & Silva, 2002; 2004; 2006; Pereira *et al*, 2008; 2010). Seguidamente apresentar-se-á separadamente as características metamórficas e litológicas destas unidades, uma vez que o metamorfismo não se distribui de forma homogénea em toda a zona de cisalhamento:

- Unidade de Ouguela

Constituída por gnaisses blastomiloníticos feldspáticos, segregações leucocráticas, paragnaisses ricos em silimanite e biotite e micaxistos granatíferos e com distena. Para esta unidade Pereira & Apraiz (2002), realizaram ensaios de termobarometria em gnaisses

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

leucocrata com granada que indicaram um pico metamórfico em torno dos 600-700°C e pressões na ordem dos 7-9 kbar. Mais recentemente Pereira *et al* (2008) realizaram análises mais detalhadas em gnaisses pelíticos indicando pico metamórfico em condições termobarométricas de 730-790°C e 7,5-7,9 kbar, com retrogradação com temperaturas 525-600°C e pressões 3,5/4,5-5,5/7,5 kbar;

- Unidade de Campo Maior

Esta unidade inclui paragnaisses com silimanite e biotite, gnaisses blastomiloníticos quartzo-feldspáticos, anfibolitos granatíferos, gnaisses migmatíticos e granitóides associados, e ainda granulitos félsicos e máficos. Pereira *et al* (2010) através de análises de termobarometria calcularam picos metamórficos para granulitos máficos (T=850-880°C e P=14,5-16,5 kbar), anfibolitos (T=615-675°C e 9,5-11,5 kbar), gnaisses (T=750-850°C e P=11,5-15,5 kbar) e migmatitos (T=675-725°C e P=9-11,5 kbar). A este metamorfismo na fácies granulítica segue-se uma retrogradação na fácies anfibolítica;

- Unidade da Contenda-Barragem do Caia

Esta unidade apresenta quartzitos miloníticos, anfibolitos granatíferos, mármore calcossilicatados, micaxistos e gnaisses blastomiloníticos quartzo-feldspáticos. Para esta unidade foi calculado um pico metamórfico em anfibolitos ricos em granada com T=550-600°C e P=8-10 kbar e em *boudins* do mesmo material com temperaturas compreendidas entre os 650-700°C e pressões na ordem dos 8,5-9,5 kbar (Pereira & Apraiz, 2002);

- Unidade de Arronches

Formada por micaxistos granatíferos, metachertes negros, mármore, anfibolitos granatíferos, gnaisses blastomiloníticos quartzo-feldspáticos com hastingsite, micaxistos granatíferos com estauroilite, paragnaisses biotíticos e granatíferos. Para esta unidade, ensaios de termobarometria em anfibolitos granatíferos apontam para T=550-600°C e P=8-10kbar (Pereira *et al*, *in press*);

- Unidade de Azeiteiros

Esta unidade apresenta paragnaisses biotíticos e gnaisses hornblêndicos e anfibolitos granatíferos.

As unidades anteriormente referidas revelam que a Zona de Cisalhamento Tomar-Badajoz-Córdoba apresenta grandes variações no grau metamórfico Varisco, embora normalmente apresentem temperaturas elevadas pressões intermédias (em geral na fácies anfibolítica ou granulítica). As rochas foram em geral posteriormente retrogradadas em ambientes de baixa temperatura e pressão (em geral na fácies dos xistos verdes; Pereira & Apraiz, 2002; Pereira *et al*,

6. Zonas de Cisalhamento no Maciço Ibérico

2008; 2010). Os dados anteriormente referidos revelam a importância desta zona de cisalhamento intra-orogénica durante o ciclo Varisco, funcionando em regime de transpressivo esquerdo (*e.g.* Ribeiro *et al*, 1979; 2007 e referências inclusas; Iglésias & Ribeiro 1981; Pereira *et al*, 2010; *in press*).

Para além do anteriormente referido, salienta-se que as litologias da transição entre a Zona Centro-Ibérica e a Zona de Ossa-Morena (que inclui a Zona de Cisalhamento de Portalegre-Esperança definida por Pereira, 1999; Pereira e Silva, 2001, 2002; Pereira *et al*, 2009) apresentam metamorfismo na fácies dos xistos verdes ($T=300-350\text{ }^{\circ}\text{C}$; $P=2-3\text{ kbar}$; Pereira *et al*, *in press*).

6.3. Zona de Cisalhamento Porto – Tomar – Ferreira do Alentejo

Tal qual como a Zona de Cisalhamento Tomar-Badajoz-Córdoba, a de Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo é uma estrutura de primeira ordem à escala litosférica (*e.g.* Iglésias & Ribeiro, 1981; Chaminé 2000; Shelley & Bossière, 2000 Chaminé *et al*, 2003; Ribeiro *et al*, 2007). Esta zona de cisalhamento apresenta uma orientação global compreendida entre NNW-SSE e N-S, prolongando-se desde a região do Porto até à zona de Ferreira do Alentejo, encontrando-se parcialmente coberta pelos depósitos de idade Terciária nos seus domínios mais meridionais. Esta zona de cisalhamento atravessa a região de Espinho, Albergaria-a-Velha, Coimbra, Tomar, prolongando-se até Ferreira do Alentejo (*e.g.* Gama Pereira, 1987; Chaminé 2000; Chaminé *et al*, 2003; Ribeiro *et al*, 2007).

Como já foi anteriormente referido, esta zona de cisalhamento foi durante vários anos interpretada como sendo um prolongamento da zona de cisalhamento Tomar-Badajoz-Córdoba (*e.g.* Oliveira *et al*, 1992). Contudo, a generalidade dos trabalhos separam estas duas zonas de cisalhamento de 1ª ordem que apresentam inclusive cinemáticas distintas. Ao contrário da Tomar-Badajoz-Córdoba que apresenta uma cinemática predominantemente esquerda, a Zona de Cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo é caracterizada por uma cinemática direita em regime dúctil a dúctil-frágil (*e.g.* Leford & Ribeiro, 1980; Iglésias & Ribeiro, 1981; Dias & Ribeiro 1993; Ribeiro *et al*, 2007; 2009; Pereira *et al*, 2009; Romão *et al*, *in press*).

Contudo, e apesar da concordância geral no que respeita à sua cinemática, as interpretações geodinâmicas desta estrutura é ainda hoje umas das temáticas em grande discussão por parte da comunidade geológica.

O sector de Espinho Albergaria-a-Velha, pelos estudos de pormenor de cariz litoestratigráfico e estrutural realizados por Chaminé (2000) e Chaminé *et al* (2003) e mais recentemente por Ribeiro *et al* (*in press*), revela-se um sector fulcral para a compreensão da evolução geodinâmica da zona de cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo, razão pela qual será abordado com mais detalhe

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

seguidamente. Para além do anteriormente referido, nos subcapítulos subsequentes tentar-se-á descrever de forma sintética os modelos geodinâmicos apresentados para a Zona de Cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo.

6.3.1 Litoestratigrafia da faixa de cisalhamento Espinho-Albergaria-a-Velha

Como referido anteriormente, esta a Zona de Cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo apresenta características estruturais próprias, condicionando a litoestratigrafia entre Espinho e Albergaria-a-Velha. De fato quer a proximidade a duas zonas paleogeográficas distintas (Zona Centro-Ibérica e Zona de Ossa-Morena) quer o próprio contexto geodinâmica que originou esta estrutura vai condicionar a geologia da região.

A Zona de Cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo foi considerada por alguns autores como estabelecendo o limite ocidental entre a Zona de Ossa-Morena e a Zona Centro Ibérica (*e.g.* Oliveira *et al*, 1992; Chaminé, 2000; Chaminé *et al*, 2003), sendo que a sua estratigrafia é englobada naquilo que Oliveira *et al* (1992) definiu por sector de Espinho-Tomar-Campo Maior.

Contudo, esta é uma interpretação tradicional que tem sido recentemente alvo de uma reformulação ao nível da tectónica de placas varisca. Alguns autores (Ribeiro *et al*, 2007; 2009; *in press*; Romão *et al*, *in press*) reinterpretam o significado desta zona de cisalhamento, colocando-a como uma falha transformante (algo que já tinha sido referido por exemplo por Chaminé, 2000 e Chaminé *et al*, 2003), que limita a Zona Centro Ibérica e uma microplaca a Oeste que designaram de Finisterra.

Os trabalhos realizados por Chaminé (2000) e Chaminé *et al* (2003) permitiram um melhor conhecimento da estratigrafia da faixa metamórfica Espinho-Albergaria-a-Velha. Seguidamente apresentar-se-á de forma bastante resumida as características estratigráficas das unidades descritas para este sector e com afinidade à zona de Ossa-Morena (fig. 6.4):

- Unidade de Lourosa

A unidade de Lourosa é uma unidade parautóctone, correspondendo a uma faixa larga com rochas metamórficas de alto grau, nomeadamente gnaisses granitóides, ortognaisses biotíticos, migmatitos e micaxistos, por vezes granatíferos, com intercalações de xistos anfibólicos e anfibolitos. O predomínio relativo de migmatitos ou de anfibolitos granatíferos, com a sua posição relativa às unidades adjacentes, permitiu a diferenciação entre um membro inferior (constituída maioritariamente por migmatitos e gnaisses) e outro superior (com predomínio de micaxistos biotíticos de cor castanha escura, por vezes granatíferos).

6. Zonas de Cisalhamento no Maciço Ibérico

- Unidade de Espinho

Corresponde a uma estreita faixa constituída por micaxistos biotíticos de cor cinzenta escura, luzente e acetinados, nos quais ocorrem porfiroblastos de granada e estauroлите, visíveis em amostra de mão. É possível observar intercalações de quartzitos, quartzo-milonitos granatíferos, e mais raramente metarenitos.

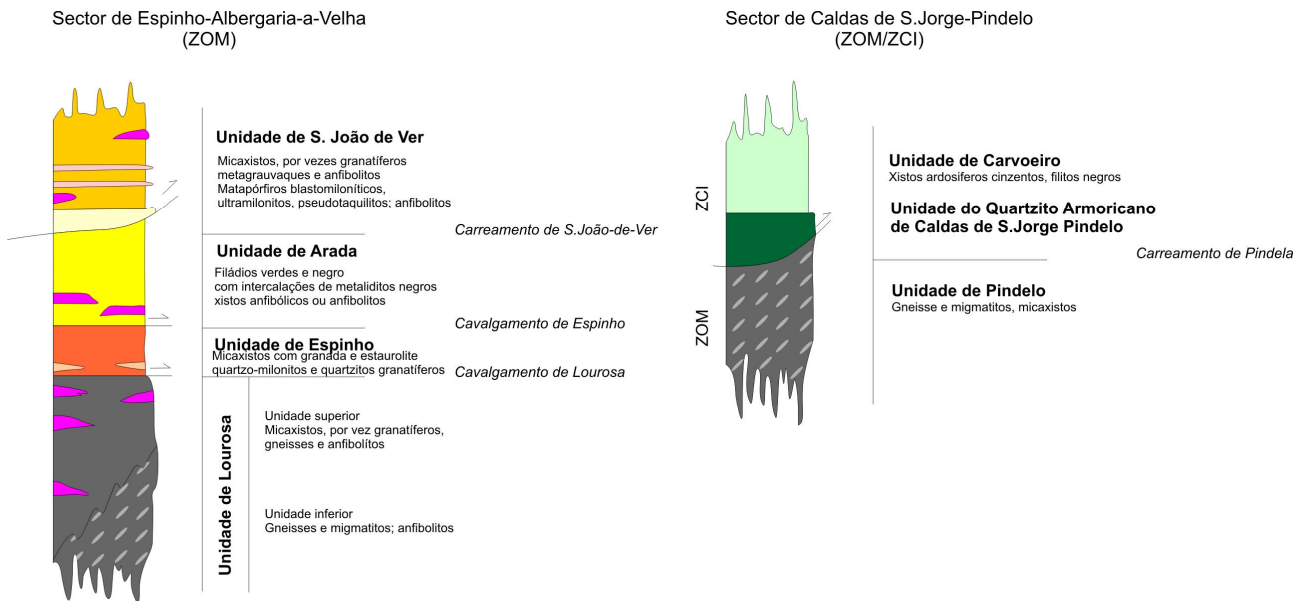


Fig. 6.4– Coluna tectonoestratigráfica sintética da faixa metamórfica de Espinho-Albergaria-a-Velha, Zona de Ossa-Morena (adaptado de Chaminé, 2000 e Chaminé *et al*, 2003).

- Unidade de Arada

Esta unidade corresponde a uma faixa de rochas metassedimentares, constituída por uma sucessão monótona de filádios negros e esverdeados, com raras e finas intercalações de metaliditos de cor escura. Os filádios apresentam tipicamente cor cinza escura (por vezes negra) a esverdeada, podendo quando alterados adquirir tonalidades amareladas e/ou avermelhadas. Na base, é possível observar no seio dos filádios, intercalações de rochas anfibolíticas esverdeadas (anfibólitos e xistos anfibólicos de Maceda). É possível ainda observar nesta unidade observar ainda quartzos de exudação em abundância.

- Unidade de S. João de Ver

Constituída por rochas metassedimentares, de carácter alóctone, com metamorfismo de grau médio, com corpos de rochas granitóides sublinhando contactos de índole tectónica com as restantes unidades. Esta unidade caracteriza-se por apresentar um conjunto de rochas porfiróides (metapórfiros blastomiloníticos e graníticos) e rochas gnaissicas muito deformadas, de granularidade média a fina. A topo surge, em aparente concordância

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

geométrica, uma sequência de micaxistos, por vezes granatíferos, com intercalações de metagrauvaques e anfibolitos.

- **Unidade de Pindelo**

Unidade constituída por rochas de alto grau metamórfico, de carácter alóctone. Esta engloba migmatitos e gnaisses, com blastese de feldspatos e, mais raramente, micaxistos. Chaminé (2000), refere ainda que a unidade em causa é equiparável do ponto de vista litológico, à Unidade de Lourosa.

Segundo os autores, as unidades anteriormente descritas apresentam bastantes similaridades com unidades descritas para os restantes sectores das zonas de cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo (no sector entre Porto e Tomar) e Tomar-Badajoz-Córdoba. Contudo, estas similaridades serão abordadas no capítulo subsequente, destinado à correlação estratigráfica entre a litostratigrafia da região de Abrantes e dos restantes sectores da Zona de Ossa-Morena (*vide cap. 7.2*).

No que respeita à correlação entre as unidades tectonoestratigráficas definidas por Chaminé (2000) e as descritas para as zonas de cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo e Tomar-Badajoz-Córdoba, o autor atribui a seguinte similaridade litoestratigráfica:

- Unidade de S. João-de-Ver paralelizável à Formação de Urra e Unidade de Amarelos (localizada na região de Coimbra);
- Unidade de Arada e de Espinho equivalente da Formação de Mosteiros e de Morenos (Grupo da “Série Negra”) respectivamente, sendo-lhe atribuída uma idade Neoproterozóica;
- Unidade de Lourosa (e de Pindelo) corresponderá ao Complexo Metamórfico da Foz do Douro, aos “Gnaisses e Migmatitos de Arega e do Beco” (também para o sector de Coimbra), ao Complexo de Gnaisses e Migmatitos e à Formação de Campo Maior, todas elas de idade proterozóica média a superior.

Importa referir que mais recentemente Ribeiro *et al* (*in press*) definem para esta região de Albergaria-a-Velha novas relações do ponto de vista tectonoestratigráfico, através da revisão cartográfica do sector de Oliveira de Azeméis, ao qual se acrescentaram novos dados (Ribeiro *et al*, *in press* e referências e inclusas). Os autores anteriormente referidos colocam a Unidade de Lourosa, Espinho e Arada de Chaminé (2000) naquilo que designam como Terreno Finisterra, que apresenta deformação policíclica (Cadomiana e Varisca). A sucessão definida para este terreno é composta, da base para o topo, pelas seguintes unidades:

- **Lourosa Inferior** (representada por orto- e paragneisses, migmatitos e intercalações de anfibolitos);

6. Zonas de Cisalhamento no Maciço Ibérico

- **Lourosa Superior** (constituída por gnaisses, micaxistos (por vezes granatíferos) e intercalações de anfibolitos. A unidade superior diferencia-se da unidade basal pela menor quantidade de ortognaisses e migmatitos);
- **Espinho** (formando uma estreita faixa de micaxistos biotíticos com porfiroblastos de granada e estauroilite, bem como níveis de quartzitos miloníticos com granada em rosário);
- **Arada** (caracterizada por uma sequencia monótona de filitos negros e cinzentos, que, na parte superior apresentam intercalações de xistos verdes, anfibolitos, bem como alguns níveis descontínuos de rochas carbonatadas).

Apesar das similaridades apresentadas pelas unidades definidas pelos autores anteriormente referidos e Chaminé (2000), surgem diferenças litoestratigráficas nas unidades definidas por Ribeiro *et al* (*in press*). A título de exemplo destaca-se a ausência de metaliditos na unidade de Arada agora definida no trabalho de Ribeiro *et al* (*in press*).

Assim sendo, enquanto Chaminé (2000) e Chaminé *et al* (2003) referem que as unidades de Lourosa, Espinho e Arada que se associam ao Cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo são pertencentes à Zona de Ossa-Morena, Ribeiro *et al* (*in press*) colocam-nas num Terreno distinto (Finisterra), muito embora as unidades possam ser correlacionáveis com as unidades da Zona de Ossa-Morena. Ribeiro *et al* (*in press*) referem que estas unidades podem ter tido uma evolução distinta durante o ciclo varisco, pela sua associação à Zona de Cisalhamento Tomar-Badajoz-Córdoba.

6.3.2. Estrutura e Modelos Geodinâmicos

No que respeita à faixa metamórfica Espinho-Albergaria-a-Velha, Chaminé (2000) define dois domínios estruturais, com características distintas entre si. O primeiro domínio (autóctone relativo e parautóctone; fig. 6.5) apresenta duas fases de deformação distintas que estruturam toda a região. Contudo, pontualmente surgem vestígios de estruturas precoces às duas fases de deformação que sugerem a presença de uma estruturação ante-varisca. O segundo domínio (alóctone; fig. 6.5) apresenta por sua vez três fases de deformação Varisca.

Do ponto de vista dinâmico, o autor correlaciona a terceira fase de deformação (D₃) com a movimentação transcorrente direita da Zona de Cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo com orientação média N-S. Contudo, segundo o mesmo autor, também a primeira e segunda fase (responsáveis pela presença de cisalhamentos de orientação NW-SE com transporte para Norte nos terrenos alóctones e parautóctones e com sentido de movimentação com transporte para Sul no

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

autóctone relativo) são compatíveis com o mesmo regime cinemático, se admitirmos que o acidente mergulha para Este em profundidade provocando a sobreposição da Zona Centro-Ibérica sobre a Zona de Ossa-Morena.

A zona de Cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo (assim designada pela semelhança no conteúdo faunístico e lito-tectónicas nas unidades do Paleozóico superior entre sector de Albergaria-a-Velha e Vendas Novas-Ferreira do Alentejo; Chaminé, 2000), nos seus sectores setentrionais apresenta uma direcção variável entre o NNW-SSE a N-S, pondo em contacto a zona Centro-Ibérica com a Zona de Ossa-Morena (Chaminé 2000, Chaminé *et al*, 2003). Tendo em conta as características estruturais e estratigráficas anteriormente descritas, os autores anteriormente referidos atribuem a esta zona de cisalhamento transcorrente uma idade pelo menos silúrica superior / devónica superior, actuando desde as fases precoces das fases compressivas associadas ao Ciclo Varisco, com uma cinemática direita e funcionando num contexto interplaca (fig. 6.6 A). Contudo, os autores deixam em aberto a possibilidade deste acidente ter estado activo durante todo o Ciclo de Wilson Varisco.

Mais recentemente, Ribeiro *et al* (2007) e (2009) corroboram os estudos anteriormente referidos, colocando este acidente de primeira ordem como sendo uma importante transformante em regime dextrógiro que coloca em contacto a zona Centro-Ibérica com uma micro-placa designada pelos autores como Finisterra. Segundo os autores esta fronteira de placas estaria em funcionamento desde o Neoproterozóico.

Referência ainda para Ribeiro *et al* (*in press*) que reinterpretem a estrutura na região compreendida entre Porto e Albergaria-a-Velha. Segundo os autores, a inflexão para NW da Zona de Cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo, que adopta uma orientação geral N-S em regime transcorrente dextrógiro, vai criar na região um regime compressivo local (*restraining bend*), levando ao carreamento da Zona Centro-Ibérica sobre o Terreno Finisterra definido pelos autores.

Para os autores, no fim da orogenia Cadomiana, surgia uma sutura contínua antes do rejogo da paleotransformante Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo no início do Ciclo de Wilson Varisco, que dá origem à individualização da placa Finisterra da placa Ibérica. Esta movimentação é responsável pela localização desconhecida da sutura Cadomiana na placa Finisterra e que se individualiza na placa Ibérica. A sutura Cadomiana é materializada na placa Ibérica pela Zona de Cisalhamento Tomar-Badajoz-Córdoba, que é reactivada em regime intra-placa, associada a processos transpressivo sinistrógiros, durante o Ciclo de Wilson Varisco. A interacção entre esta paleotransformante e o regime transpressivo esquerdo da Tomar-Badajoz-Córdoba durante o Ciclo

6. Zonas de Cisalhamento no Maciço Ibérico

de Wilson Varisco, criaria então na região de Abrantes problemas de espaço que levariam por sua vez à formação de uma dobra em Bainha quilométrica.

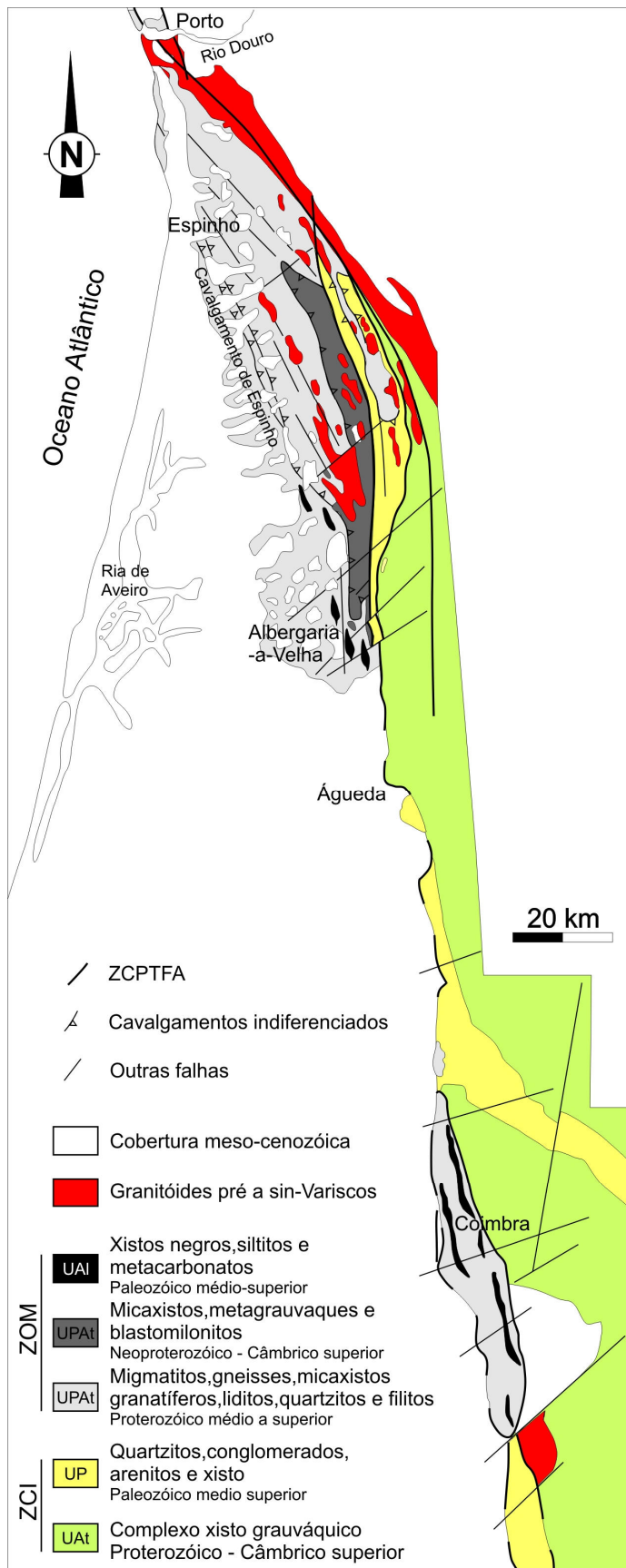


Fig. 6.5 – Esboço geológico regional da faixa de cisalhamento de Porto-Coimbra-Tomar (adaptado de Chaminé *et al*, 2003): UAi – Unidades autóctones; UP – Unidade parautoctone; UPAt – Unidades parautoctones e autóctone relativo; UAi – Unidades alóctones.

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

Contudo a interpretação dada a esta estrutura não é de todo consensual. Pereira *et al* (2009) referem que não existem evidências para considerar a Zona de Cisalhamento Porto-Tomar como uma estrutura antiga de longa duração, activa durante a evolução Paleozóica no Norte do Gondwana como uma Falha Transformante. Com efeito, os trabalhos levados a cabo pelos autores anteriormente referidos na região de Abrantes-Martinchel consideram, por seu lado, o prolongamento da Zona de Cisalhamento Tomar-Badajoz-Córdoba (pelo autor definida como Coimbra-Córdoba) até à região do Porto, devido à acção da falha Porto-Tomar em regime dúctil-frágil (fig. 6.6 B). Para os autores, a Zona de Cisalhamento Coimbra-Córdoba esteve activa durante o Viséano-Serpukoviano, em condições dúcteis na fácies anfibolítica. Esta fase de deformação dúctil produz deformação no gnaisses de Martinchel, posteriormente intruídos por granitos, associados geneticamente ao Granito do Tramagal, de idades compreendidas entre os 335-318 Ma.

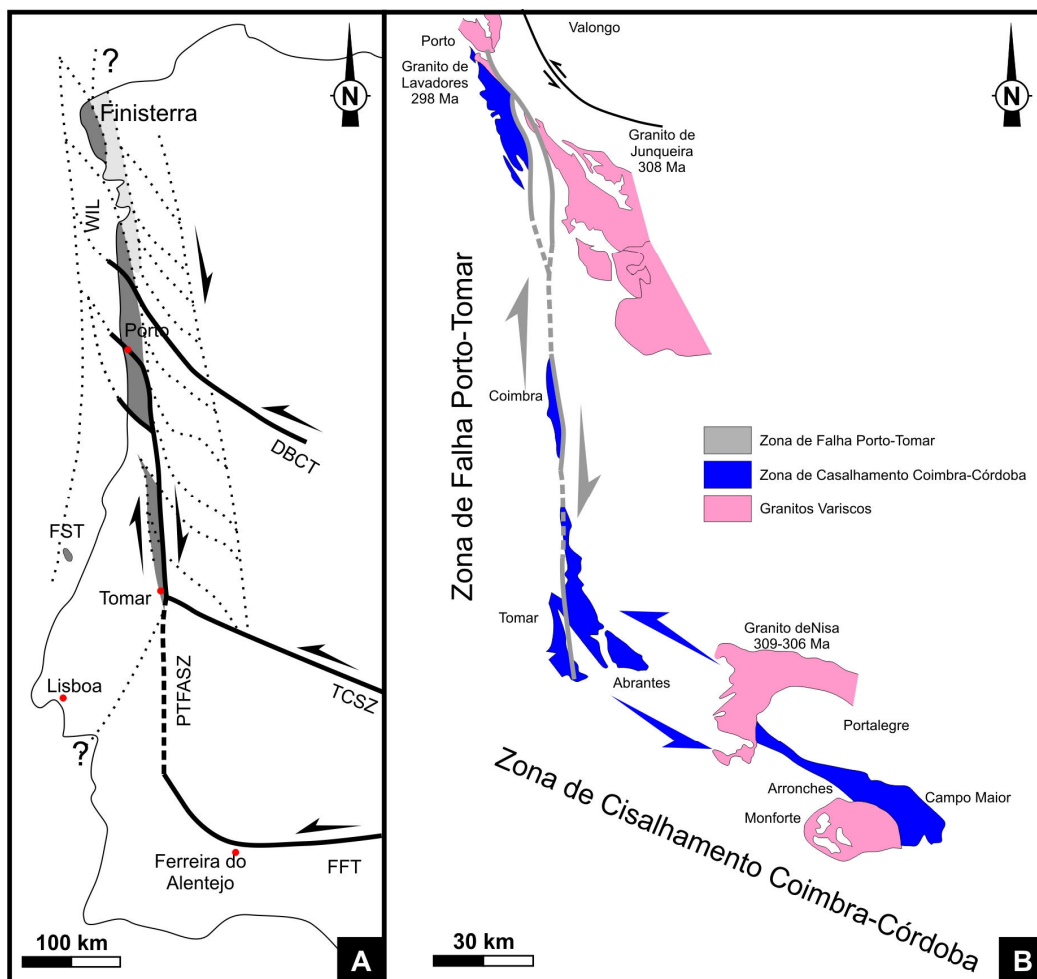


Fig. 6.6 – A – Modelo geodinâmico para os sectores orientais do Maciço Ibérico e relações entre as principais zonas de cisalhamento: WIL – Linha Ocidental da Ibéria; FST – *Terreno suspeito dos Farilhões* (Farilhões suspect terrain); FFT – Cavalgamento de Ferreira-Ficalho; TCSZ – Zona de Cisalhamento Tomar-Córdoba; DBCT – Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão; PTFASZ – Zona de Cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo (adaptado de Chaminé *et al*, 2003); B – Mapa esquemático mostrando a Zona de Cisalhamento Coimbra-Córdoba, afectada pela zona de falha Porto-Tomar (adaptado de Pereira *et al*, 2009)

6. Zonas de Cisalhamento no Maciço Ibérico

A esta zona de cisalhamento sobrepõe-se uma fase de deformação em regime dúctil-frágil com cinemática direita, que Pereira *et al* (2009) associa à Porto-Tomar (fig. 6.6 B; designada pelo autor zona de Falha Porto-Tomar), que afecta as estruturas da primeira fase de deformação assim como os corpos plutónicos que se associam. Os autores defendem que esta zona de falha apenas está activa depois do Serpukhoviano-Kasimoviano (*c.a* 318-308 Ma), deformando os granitos previamente instalados, com zonas de cisalhamento de cinemática direita, com orientação próxima do N-S. Segundo os autores, é possível diferenciar dois domínios distintos na área entre Martinchel e Abrantes: um domínio Este (que inclui a região de Abrantes) onde os critérios esquerdos são comuns e a cinemática direita está ausente, e um domínio Oeste (mais próximo da falha Porto-Tomar), onde a acção da fase dúctil-frágil se faz notar com maior intensidade.

Em suma, para Pereira *et al* (2009), a Falha Porto-Tomar funciona com cinemática direita apenas nas fases terminais da Orogenia Varisca, funcionando em regime dúctil-frágil e afectando a zona de cisalhamento Coimbra-Córdoba, transportando fragmentos da mesma até ao Porto; esta interpretação contrasta fortemente com o modelos de Chaminé (2000), Chaminé *et al* (2003), Ribeiro *et al* (2007) e (2009), que colocam esta zona de cisalhamento como um acidente importante durante a maior parte do Paleozóico, funcionando como uma importante transformante direita.

É de referir também os trabalhos de Romão *et al* (*in press*) na zona de intercepção entre estas duas estruturas de 1ª ordem à escala orogénica. Neste trabalho realça-se o facto dos sectores próximos a estas duas estruturas, que coincidem respectivamente com o bordo Oeste e Sul da zona Centro-Ibérica, ostentarem diferenças relativamente aos restantes sectores meridional desta zona durante a evolução geodinâmica do varisco (fig. 6.7 A). Com efeito, a generalidade dos seus sectores meridionais, é caracterizado por um regime de deformação progressiva coaxial durante o orógeno Varisco, caracterizado por um encurtamento de orientação NE-SW e consequentemente por dobramentos NW-SE com clivagem de plano axial e cavalgamentos com a mesma orientação (Romão *et al*, *in press*; fig. 6.7 B). Contudo, na proximidade das zonas de cisalhamento a situação é diferente

Na região de Portalegre, a geometria e cinemática das estruturas variscas observadas são passíveis de ser explicadas com uma situação de deformação progressiva ao longo de todo o processo colisional (fig. 6.7 C), sendo o regime claramente não coaxial dominado por uma cinemática esquerda (Romão *et al*, *in press*).

No seio da Zona Centro-Ibérica surge uma importante estrutura para compreensão das relações temporais entre a Zona de Cisalhamento Tomar-Badajoz-Córdoba e a Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo: o sinforma Amêndoa-Carvoeiro. Esta estrutura evidência a sobreposição de três eventos

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

tectónicos distintos, caracterizados por estados de tenção distintos (fig. 6.7 A e D; Romão *et al*, *in press*). A localização deste sinforma na proximidade das anisotropias que delimitam a zona Centro-Ibérica, induz uma maior complexidade do que aquela que caracteriza os sectores meridionais mais internos da zona Centro-Ibérica (Romão *et al*, *in press*).

Em suma a rotação dos campos de tensão característico da D_1 Varisca, e que caracteriza os sectores meridionais do autóctone Centro-Ibérico junto às zonas de cisalhamento (fig. 6.7 A), terá resultado da reorientação das tensões nas proximidades destas zonas (Romão, 2001; Romão *et al*, *in press*): a D_2 varisca surge então como o resultado da maior influência da cinemática direita ao longo da Zona de Cisalhamento de Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo, enquanto a D_3 evidencia o predomínio da componente esquerda da estrutura de Tomar-Badajoz-Córdoba.

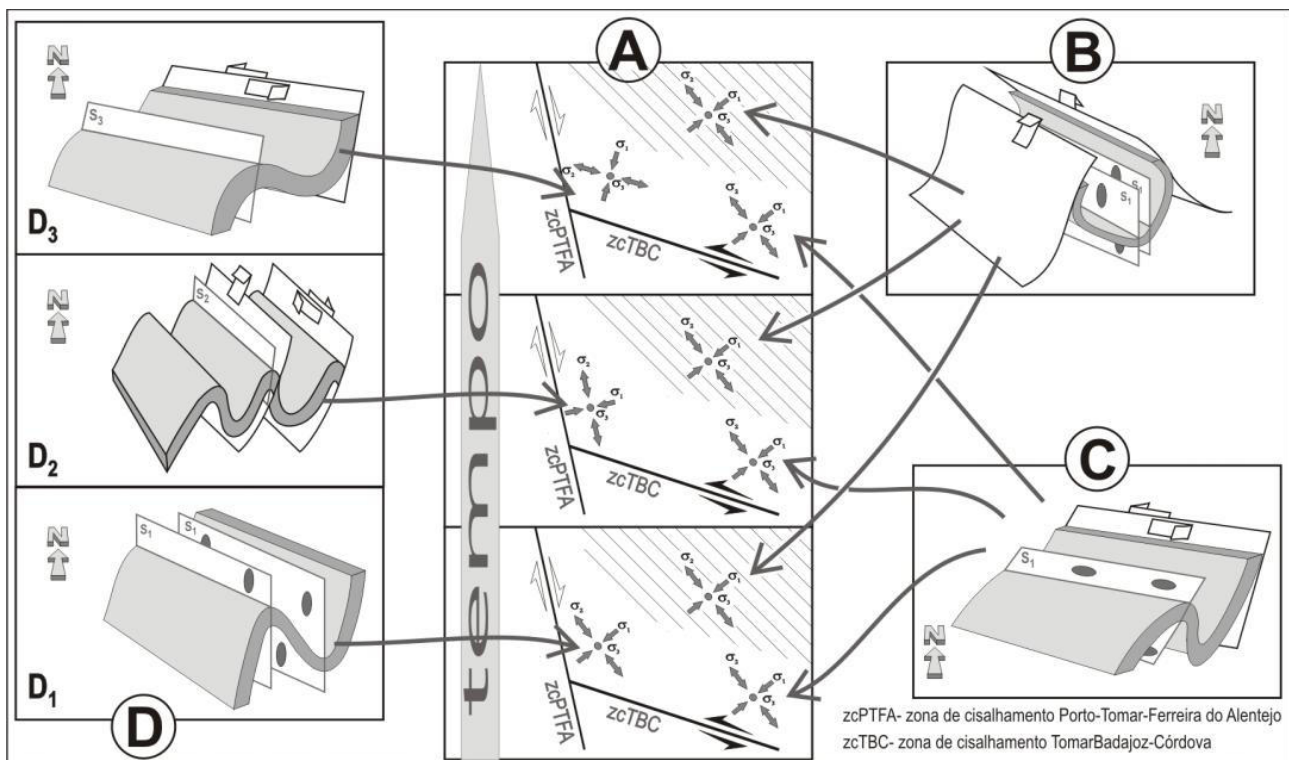


Fig. 6.7 – Distribuição espacial e temporal das características dos principais eventos tectónicos associados às fases colisionais do ciclo de Wilson Varisco nos sectores meridionais da zona Centro-Ibérica (Romão *et al*, *in press*): A – representação esquemática da evolução temporal dos padrões de tensão; B- síntese das características geométricas e cinemáticas prevaletentes a nível regional (a tracejado); C- evolução das características geométricas e cinemáticas para a região de Portalegre; D- síntese das características geométricas e cinemáticas para o sector do sinforma Amêndoa-Carvoeiro.

O trabalho anteriormente referido evidencia então a presença de uma componente de deformação D_2 , associada à Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo, sendo a D_3 (dos sectores meridionais da Zona Centro-Ibérica) associada à Tomar-Badajoz-Córdoba., que se encontra activa no sector de Portalegre desde a D_1 . Estes dados mostram que as duas zonas de cisalhamento estiveram activas

6. Zonas de Cisalhamento no Maciço Ibérico

concomitantemente afectando a região de Amendo-Carvoeiro, o que claramente levará a criação de problemas de espaço na região de Abrantes.

Para além dos trabalhos já focados, referência ainda para o trabalho de deformação finita levado a cabo na região do Buçaco por Dias & Ribeiro (1993). Os autores interpretam a variação dos elipsóides de deformação finita nessa região, como resultado da actuação da Zona de Cisalhamento Porto-Tomar com cinemática direita durante as fases precoces da orogenia varisca (D_1 ; Devónico médio-superior). Tal dado parece também ele ser um factor a favor da actuação desta zona de cisalhamento, pelo menos, desde as fases compressivas precoces associadas ao Ciclo de Wilson Varisco.