

**JORGE MANUEL VIEIRA PAMPLONA**

**TECTÓNICA DO ANTIFORMA DE VIANA DO CASTELO-CAMINHA (ZCI)  
REGIME DE DEFORMAÇÃO E INSTALAÇÃO DE GRANITÓIDES**

UNIVERSIDADE DO MINHO  
ESCOLA DE CIÊNCIAS – DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DA TERRA

2001

**JORGE MANUEL VIEIRA PAMPLONA**

**TECTÓNICA DO ANTIFORMA DE VIANA DO CASTELO-CAMINHA (ZCI)  
REGIME DE DEFORMAÇÃO E INSTALAÇÃO DE GRANITÓIDES**

Dissertação apresentada à Universidade  
do Minho para a obtenção do grau de  
Doutor em Ciências

UNIVERSIDADE DO MINHO  
ESCOLA DE CIÊNCIAS – DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DA TERRA

2001

*“ O indivíduo é capaz de existir por entre situações nas quais ele não consegue perceber tudo o que se passa; todavia, continua a trabalhar na resolução, apesar da falta de homeostasia.”*

(Morris Stein)

## **AGRADECIMENTOS**

Sem a colaboração e o incentivo de algumas pessoas este trabalho não teria sido levado a bom termo, por isso para elas os meus mais sentidos agradecimentos.

Ao Professor Doutor António Ribeiro, sob cuja orientação realizei este trabalho, manifesto o meu profundo reconhecimento pelo seu imprescindível contributo na minha formação em geologia estrutural, pela sua disponibilidade no esclarecimento de dúvidas quer no campo quer no seu gabinete, pelos contactos que me forneceu possibilitando-me a aquisição de novos conhecimentos e pelas críticas e sugestões que permitiram a execução deste trabalho.

À Doutora Amália, minha orientadora da Universidade do Minho, quero expressar a minha gratidão pela forma amiga como sempre sabe dar palavras de incentivo e compreensão, pelas críticas e sugestões que fez na correcção de alguns aspectos do trabalho e, acima de tudo, por estar sempre presente.

Ao Rui, queria agradecer especialmente o modo como está sempre ao dispor para ajudar efectuando, inclusive, deslocações para tirar dúvidas de campo. A minha gratidão para o apoio científico que me forneceu a vários níveis e, em particular, nos estudos de deformação finita. Também desejava agradecer-lhe a forma empenhada e esclarecida como corrigiu e sugeriu alterações no texto do trabalho que lhe pedi para rever. Por último, ainda gostava de lhe agradecer a sua permanente atenção ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao Gabi, estou imensamente grato pela total disponibilidade que mostrou para me ensinar a determinar e a interpretar os resultados dos eixos-c de quartzo. Agradeço-lhe, também, o *software* que me cedeu. Gostaria, ainda, de dizer-lhe obrigado pela forma como me fez sentir em casa, em Salamanca.

Ao Professor Doutor Miguel Miranda e ao Pedro Silva estou grato pelo inestimável ajuda em todo o trabalho relativo aos estudos de ASM (trabalho de campo, trabalho de laboratório, *software* e bibliografia). Também lhes queria agradecer as correcções efectuadas ao texto relativo à ASM.

Ao Leal queria agradecer a atenção que prestou ao decorrer do trabalho, ao modo como discutiu e me esclareceu muitas dúvidas de, entre outras, aspectos relacionados com as estruturas de fluxo e de deformação de rochas magmáticas e filonianas e, ainda, estou-lhe grato pelo apoio e incentivo dados.

Ao Lima quero exprimir o meu profundo reconhecimento pelo ilimitado apoio que me forneceu e, em particular, na fase terminal do trabalho, pela ajuda no trabalho de campo, pelas interrogações suscitadas e sugestões fornecidas e, ainda, pelo permanente incentivo e ânimo que me deu.

Ao Carlos Alberto agradeço o modo paciente e sistemático como corrigiu as “gralhas” do texto, as sugestões de cariz gramatical e, por vezes, científico que forneceu, assim como, a tradução do resumo para inglês. Por fim, gostava de agradecer-lhe as palavras de apoio que me foi dando.

Ao Sr Sendas agradeço a ajuda que me deu no trabalho de campo.

Ao Dr. Dias, o meu obrigado pela execução das lâminas delgadas.

A todos os funcionários do DCT-UM que de uma forma ou outra me apoiaram, expresso a minha gratidão.

À Fernanda, uma palavra de muito carinho e apreço...por tudo.

## Índice

Resumo .....	i
Abstract .....	iii
Abreviaturas .....	v
I. Introdução .....	1
I.1. Estruturação da tese, finalidades, objectivos.....	4
I.1.1. Estruturação da tese .....	4
I.1.2. Finalidades .....	6
I.1.3. Objectivos .....	7
I.2. Metodologia .....	7
I.2.1. Cartografia Geológica .....	7
I.2.2. Anisotropia de susceptibilidade magnética .....	8
I.2.2.1. Amostragem .....	8
I.2.2.2. Medição .....	9
I.2.2.3. Tratamento dos dados .....	10
I.2.3. Eixos-c de quartzo .....	11
I.2.3.1. Amostragem .....	11
I.2.3.2. Medição e tratamento de dados .....	12
I.2.4. Deformação finita a 2D .....	12
I.2.4.1. Recolha de dados.....	12
I.2.4.2. Tratamento de dados .....	13
I.2.5. Deformação finita a 3D .....	14
I.2.5.1. Amostragem .....	14
I.2.5.2. Tratamento de dados .....	15
II. Enquadramento Geológico .....	18
II.1. Ciclo Varisco .....	18
II.1.1. Ciclo Varisco (ZCI) e tectónica de Placas.....	18
II.1.2. Arco Ibero-Armoricano.....	22
II.1.2.1. Caracterização geométrico-estrutural.....	22
II.1.2.2. Génese do Arco Ibero-Armoricano .....	23
II.2. Caracterização geológica do sector NW da ZCI.....	30
II.2.1. Estratigrafia .....	31
II.2.2. Estrutura.....	36
II.2.3. Metamorfismo .....	47
II.2.4. Magmatismo.....	49

II.3. Granitóides do NW Peninsular (ZCI): quadro tectónico.....	50
III. Segregação, ascensão e instalação de rochas plutónicas.....	55
III.1. Segregação magmática.....	55
III.2. Ascensão e instalação plutónica.....	56
III.2.1. Mecanismos de ascensão e instalação plutónica.....	59
III.2.2. Quadros geodinâmicos de ascensão e instalação plutónica.....	68
IV. Antiforma de Viana do Castelo-Caminha.....	77
IV.1. Caracterização das litologias do Paleozóico.....	78
IV.1.1. Rochas metassedimentares.....	78
IV.1.1.1. Metamorfismo.....	80
IV.1.1.2. Aspectos macroscópicos.....	84
IV.1.1.2.1. Formação da Desejosa (Câmbrico).....	84
IV.1.1.2.2. Formação de Sta Justa (Ordovícico – Tremadociano/Arenigiano).....	85
IV.1.1.2.3. Formação de Valongo (Ordovícico – Lanvirniano/Landeiliano).....	85
IV.1.1.3. Petrografia.....	86
IV.1.1.3.1. Formação da Desejosa (Câmbrico).....	87
IV.1.1.3.2. Formação de Sta Justa (Ordovícico – Tremadociano/Arenigiano).....	89
IV.1.1.3.3. Formação de Valongo (Ordovícico – Lanvirniano/Landeiliano).....	89
IV.1.2. Rochas intrusivas – granitos de duas micas.....	91
IV.1.2.1. Aspectos macroscópicos.....	92
IV.1.2.2. Petrografia.....	93
IV.1.3. Corpos intrusivos filonianos.....	95
IV.1.4. Veios de segregação metamórfica.....	97
IV.1.5. Correlações litológicas e estratigráficas com a Galiza.....	98
IV.2. Tectónica.....	102
IV.2.1. Rochas metassedimentares.....	102
IV.2.1.1. 1ª fase de deformação varisca (F <sub>1</sub> ).....	102
IV.2.1.2. 2ª fase de deformação varisca (F <sub>2</sub> ).....	125
IV.2.1.3. 3ª fase de deformação varisca (F <sub>3</sub> ).....	131
IV.2.2. Rochas intrusivas.....	135
IV.2.2.1. 2ª fase de deformação varisca (F <sub>2</sub> ).....	135
IV.2.2.2. 3ª fase de deformação varisca (F <sub>3</sub> ).....	140
IV.2.3. Deformação sin a tardi-F <sub>3</sub> .....	163
IV.2.4. Deformação tardi a pós-F <sub>3</sub> .....	163
V. Conclusões.....	168
Bibliografia.....	172

## **RESUMO**

Foi efectuado um estudo da tectónica do antifórma de Viana do Castelo – Caminha (NW de Portugal), tendo incidido na análise dos regimes de deformação e da instalação dos granitóides.

As rochas metassedimentares que afloram na área de estudo pertencem ao autóctone da ZCI, fazendo parte das formações da Desejosa (Câmbrico Inferior), Sta Justa (Tremadociano-Arenigiano) e Valongo (Lanvirniano-Landeiliano).

Do ponto de vista tectónico poderemos definir três fases de deformação variscas fundamentais. A primeira fase,  $F_1$ , caracteriza-se por: i) dobras de plano axial subvertical e eixos ondulantes; ii) xistosidade de plano axial, por vezes, transectando as dobras; iii) importantes corredores de cisalhamento sinestrógiro, originando, mesmo, estruturas em dominó e estiramento segundo o eixo cinemático **b**. Nalguns sectores (a Norte), o estiramento é segundo o eixo cinemático **a**, ocorrendo, também, dobras em bainha com vergência para Este. Os estudos de petrofabric realizados confirmaram, para o autóctone, a tectónica transpressiva sinestrógiro, associada a grande parte da  $F_1$ , assim como a estabelecida para o final da  $F_1$ , a qual é caracterizada por uma deformação tangencial para Este resultante do transporte dos mantos alóctones. Os estudos de deformação finita indicam o comportamento heterogéneo da  $F_1$  nos Quartzitos Armoricanos (constituindo as superfícies de estratificação anisotropias principais capazes de condicionar a deformação Varisca), sendo possível a justaposição de bancadas muito pouco deformadas a bancadas mais deformadas. Os elipsóides são maioritariamente prolatos para o sector de Carreço e oblatos para o sector da Praia Norte – Viana do Castelo. Algumas direcções dos eixos maiores dos elipsóides têm paridade com: i) o estiramento em **a** e a vergência das dobras em bainha do sector de Carreço; ii) o estiramento em **b** do sector da Praia Norte – Viana do Castelo.

A segunda fase,  $F_2$ , é evidenciada por: i) xistosidade (de cisalha) moderadamente inclinada; ii) dobras com acentuada vergência para Oeste. É de referir, associado a esta fase, o aparecimento de falhas inversas e cavalgamentos. A génese destes cisalhamentos está relacionada com o transporte dos mantos de carreamento para Este, responsável pelo Carreamento de Vila Verde e, também, pelo extravasamento de plutonitos para W.

A terceira fase,  $F_3$ , é posta em evidência através de importantes corredores de cisalhamento relacionados com movimentos transpressivos dextrógiros, originando dobramentos com ângulos interflancos bastante abertos e cisalhamentos conjugados. A tectónica desta fase pode ser dividida em duas partes: a primeira, sin- $F_3$ , transpressiva dextrógiro e, uma segunda, sin a tardi- $F_3$ , transpressiva sinestrógiro. Os estudos de ASM efectuados, no maciço de Caminha, apoiaram a existência da transpressão dextrógiro.

Há ainda a registar uma tectónica tardi a pós-varisca, em frágil, que originou vários sistemas de desligamentos conjugados.

O núcleo do antifforma da  $F_3$ , entre Caminha e Viana do Castelo, é ocupado por diferentes fácies de granitos de 2 micas. Preconiza-se que a injeção destes granitos tenha ocorrido em multi-impulsos. Os dados indiciam uma ascensão de magma granítico, no final da  $F_2$ , associada a retrocisalhamentos, que condicionaram a morfologia laminar (para Oeste) do plutonito de Bouça de Frade e, provavelmente, do plutonito de Sta Luzia. O mecanismo de ascensão e instalação proposto prevê a acção combinada da migração difusa (*pervasive*) de magma félsico à mesoescala e da tectónica tangencial para E, que gerou retrocisalhamentos,  $F_2$ , com vergência para W.

Durante a  $F_3$  instalaram-se as outras fácies graníticas. De um modo geral, instalaram-se primeiro as fácies sem turmalina e, posteriormente as fácies com turmalina. As estruturas analisadas são compatíveis com uma instalação dos granitos numa zona de cisalhamento dextrógira, com sectores de distensão local (relacionados com o campo de tensões regional), os quais permitiram a ascensão magmática. A instalação efectuou-se, aproximadamente, de Este para Oeste, uma vez que o posicionamento dos plutonitos mais precoces, com estrutura laminar, poderia servir de barreira, a E, à ascensão de magma. Também se defende que a própria génese do antifforma contribua para a instalação dos plutonitos aproximadamente com uma orientação N-S (com morfologia alongada), isto é, paralelamente ao plano axial do antifforma  $F_3$ .

## **ABSTRACT**

A tectonic study, concerning the analyses of deformation regimes and the emplacement of granitoids, was developed in the Viana do Castelo – Caminha antiform (NW Portugal).

The metasedimentary rocks of the studied area belong to several formations of the CIZ autochthonous: Desejosa Formation (Cambrian), Sta. Justa Formation (Tremadocian-Aregian) and Valongo Formation (Lanvirnian-Landeilian).

Three main deformation phases may be defined.

The first deformation phase ( $D_1$ ) is characterised by: i) folding with sub-vertical axial plane and undulant fold axis; ii) axial plane schistosity, occasionally transecting the folds; iii) important sinistral shear corridors that give origin to bookshelf structures and stretching lineation, generally along the kinematic **b** – axis. However, in some northern sectors occurs stretching lineation along the kinematic **a**-axis, occurring sheath folds with East verging. Petrofabric studies confirm, for the autochthonous formations, a sinistral transpressive tectonics for most of  $D_1$ . The end of  $D_1$  is characterised by an East tangential deformation, resulting from allochthonous nappe movements. Finite deformation studies in the Armorican Quartzites formation shows a heterogeneous behaviour during  $D_1$ , with the overlapping of layers presenting different deformation (stratification acts as a main anisotropic surface that condition the Variscan deformation). Strain ellipsoids are mainly prolate in the Carreço sector and oblate in the Praia Norte – Viana do Castelo sector. Some major axis direction are parallel to: i) stretching along **a** axis and to sheath folds verging in Carreço sector; ii) stretching along **b** axis of the Praia Norte – Viana do Castelo sector.

The second deformation phase ( $D_2$ ) is expressed by: i) shear schistosity slightly dipping; ii) folds with steep verging to West. Associated with  $D_2$  also occur thrust faults. These shears are related to the nappe movements to East, which originates de Vila Verde's Thrust and the Bouça do Frade plutonite extravasating.

The third deformation phase ( $D_3$ ) is characterised by major shear corridors related to dextral transpressive movements that causes folding with very wide interlimbs angle and conjugated shears. Two different tectonic stages could be considered for  $D_3$ , being the first one, sin  $D_3$ , dextral transpressive and the second one, sin to late  $D_3$ , sinistral transpressive. MSA studies in the Caminha massif support the existence of dextral transpressive tectonics.

It is observed, too, a brittle late to post-variscan tectonics, characterised by many strike-slip faults systems.

Different *facies* of two-mica granites are found in the core of the  $D_3$  antiform, between Caminha and Viana do Castelo. It is postulated that the intrusion of these granites occurred in several impulses. The granitic magma raised at the end of  $D_2$ , associated with backthrusts that

conditioned the laminar morphology (to the West) of the Bouça do Frade plutonite and, probably, of the Sta. Luzia plutonite. A mechanism of pervasive migration of felsic magma combined with D<sub>2</sub> West verging backthrusting is proposed for the rising and emplacement of these plutonites

The other granitic *facies* were emplaced during D<sub>3</sub>. Generally, tourmaline-free granites were emplaced before tourmaline-bearing granites. The studied structures are compatible with granites emplacement in a dextral shears zone, with local distension sectors (related to the regional stress field), which allowed the magmatic rising. The emplacement of the granites was made from East to West, since the position of the earliest plutonites (with laminar structure) could have act as a barrier, to the East, for the magmatic rising. It is also proposed that antiform genesis contributed to the plutonites emplacement (with elongate morphology) along a near North-South orientation, i.e. along the direction of the D<sub>3</sub> antiform axial plane.

## ABREVIATURAS

Ao longo do texto, por vezes, as estruturas planares e lineares serão referenciadas por uma abreviatura:

PA<sub>n</sub>- plano axial de dobra (índice n)

E<sub>n</sub>- eixo de dobra

S<sub>0</sub>- superfície de estratificação

S<sub>n</sub>- superfície de xistosidade

F<sub>p</sub>- fluidalidade

F<sub>s<sub>n</sub></sub>- foliação

L<sub>p</sub>- lineação fluidal

L<sub>c<sub>n</sub></sub>- lineação de crenulação

X<sub>n</sub>- lineação de estiramento

**Obs-** O índice n varia de 1 a 3 de modo a relacionar a estrutura com a respectiva fase de deformação varisca.

Outras abreviaturas utilizadas:

ASM- anisotropia de susceptibilidade magnética

F<sub>1</sub>- 1ª fase de deformação varisca

F<sub>2</sub>- 2ª fase de deformação varisca

F<sub>3</sub>- 3ª fase de deformação varisca

□<sub>1</sub>- tensão tectónica máxima

□<sub>2</sub>- tensão tectónica intermédia

□<sub>3</sub>- tensão tectónica mínima

□<sub>1</sub>- eixo maior do elipsóide de deformação finita

□<sub>2</sub>- eixo intermédio do elipsóide de deformação finita

□<sub>3</sub>- eixo menor do elipsóide de deformação finita

M.O.- microscópio óptico de luz transmitida

N- norte

NW- noroeste

NNW- nor-noroeste

NE- nordeste

NNE- nor-nordeste

S- sul

SW- sudoeste

SSW- su-sudoeste

SE- sudeste

SSE- su-sueste

W- oeste

WSW- oés-sudoeste

WNW- oés-noroeste

E- este

ENE- és-nordeste

ESE- lés-sueste

## **I. INTRODUÇÃO**

É fundamental antes de focar qualquer outro aspecto, mesmo para que se entenda o motivo e a razão de ser do trabalho que se realizou, começar por fazer uma síntese dos estudos de cariz geológico mais significativos ( de âmbito mais lato ou mais específico) com incidência ou que incluam de algum modo a área de Viana do Castelo – Caminha. Nesta acepção, passamos a apresentar de seguida, embora sumariamente, alguns desses estudos:

- Teixeira & Assunção (1961) e Teixeira *et al.* (1972) nas cartas geológicas de Portugal, 1-C e 5-A, efectuam a cartografia geológica e estudos petrográficos não existindo, no entanto, referências a aspectos tectónicos;

- Riding (1974) Badham & Halls (1975) e Badham (1982) expõem teorias relativas à tectónica de microplacas, à colisão oblíqua interplacas e à evolução da cadeia Varisca;

- Matte & Ribeiro (1975) e Ribeiro (1978) adiantam hipóteses e apresentam um modelo sobre a génese do arco Ibero – Armoricano;

- Barr & Areias (1980) abordam aspectos relacionados com a petrologia e geoquímica das intrusões graníticas em Viana do Castelo;

- Iglesias & Choukroune (1980) fazem referência às zonas de cisalhamento do arco Ibérico;

- Matte & Burg (1981) fazem uma interpretação em termos de tectónica de placas do arco Varisco da Europa Ocidental;

- Brun & Burg (1982) propõem um modelo de colisão para o arco Ibero-Armoricano resultante da intersecção entre uma falha transformante e uma zona de convergência com subducção para Norte;

- Iglesias *et al.* (1983) caracterizam geométrica e estruturalmente o arco Ibero – Armoricano;

- Ribeiro *et al.* (1983) apresentam um modelo geodinâmico para a formação da cadeia Varisca Ibérica;

- Lorenz & Nicolls (1984) estabelecem um modelo para a génese do arco Ibero-Armoricano;
- Ribeiro (1984) caracteriza a evolução geodinâmica da zona Centro-Ibérica;
- Ribeiro *et al.* (1985) definem a estrutura em *flake tectonics* da cadeia Varisca do NW Ibérico;
- Pereira (1985) baseado em estudos paleogeográficos da Península Ibérica caracteriza o ciclo varisco no sector entre Douro e Minho;
- Matte (1986) publica um trabalho em que descreve a tectónica e elabora um modelo de tectónica de placas para a cadeia Varisca europeia;
- Burg *et al.* (1987) definem o estiramento e a direcção de transporte no arco Ibero – Armoricano no decurso da colisão Silúrico – Devónica;
- Ferreira *et al.* (1987) num estudo, de âmbito geral, sobre o enquadramento geodinâmico dos granitóides da zona Centro-Ibérica classificam os granitos que afloram na área de Viana do Castelo e Caminha como sin-F<sub>3</sub>.
- López-Plaza & Martínez Catalán (1987) ao efectuarem a síntese estrutural dos granitóides variscos do maciço Hespérico incluem também o maciço granítico de Viana do Castelo – Caminha, no entanto só referem Moledo como ponto de estudo estrutural e petrográfico, restringindo assim o estudo a somente uma litofácies granítica cuja deformação, atribuída à F<sub>3</sub>, extrapolaram para todo o maciço.
- Pereira (1988) estabelece um quadro de evolução geodinâmica do Soco Varisco da Zona Centro-Ibérica;
- Ribeiro *et al.* (1988) apresentam um estudo sobre a geodinâmica e as estruturas profundas da cadeia Varisca da Ibéria;
- Díez Balda *et al.* (1990) caracterizam estruturalmente o Autóctone da zona Centro – Ibérica, subdividindo esta em duas subzonas a partir da atitude do plano axial do dobramento observado;

- Ribeiro *et al.* (1990) caracterizam estruturalmente o autóctone do NW da Península Ibérica no que respeita à  $F_1$ ;

- Ribeiro *et al.* (1990) traçam um modelo de evolução geodinâmica para o Maciço Ibérico;

- Pereira *coord.* (1992) caracteriza litologicamente, cronoestratigraficamente e estruturalmente as formações metassedimentares que afloram nesta área. Considera as litologias graníticas como síncronas da 3ª fase de deformação varisca;

- Pereira & Meireles (1992) apontam alguns aspectos estruturais, embora muito localizados, relativos à deformação varisca nos metassedimentos da faixa litoral compreendida entre Viana do Castelo e Carreço;

- Pamplona *et al.* (1993) efectuam um estudo tectónico do Autóctone de Viana do Castelo (Praia Norte);

- Pamplona & Ribeiro (1993) fazem a caracterização estrutural duma intrusão laminar de uma litofácies do maciço de Viana do Castelo - Caminha (Granito de Bouça do Frade);

- Simões, P. (1993) apresenta uma caracterização petrográfica, mineralógica e geoquímica de granitos de duas micas do submaciço granítico de Viana do Castelo, assim como, uma cronologia relativa das litofácies graníticas conjuntamente com uma abordagem estrutural, se bem que muito superficial;

- Pamplona (1994) e Pamplona *et al.* (1995) apresentam um estudo geológico estrutural no qual caracterizam os regimes de deformação do Autóctone do flanco W do antiforma da  $F_3$  de Viana do Castelo – Caminha;

- Dias & Ribeiro (1995) e Ribeiro *et al.* (1995) refinam o modelo de Matte & Ribeiro (1975);

- Pamplona *et al.* (1997), a partir da quantificação da deformação em Viana do Castelo referem o carácter heterogéneo da transpressão Varisca neste sector da zona Centro-Ibérica;

Dias (1998) caracteriza a estrutura Varisca do autóctone do Terreno Ibérico português referenciando-a como uma herança das descontinuidades existentes no soco Precâmbrico;

- Shelley & Bossière (2000) estabelecem um novo modelo para a evolução geodinâmica do Arco Ibero-Armoricano.

O presente trabalho surge, então, pela necessidade de cobrir uma lacuna, em termos do conhecimento geológico-estrutural, na área que compreende o antiforma de Viana do Castelo – Caminha, dado que, como acima se viu, os trabalhos existentes terem abordagens ou muito abrangentes e genéricas ou, pelo contrário, demasiado localizadas. É também de notar o baixo número de trabalhos, de pormenor, de índole estrutural relativos a esta área. Assim, a realização deste trabalho teve, por um lado, o intuito de analisar com maior pormenor a estruturação dos granitóides, com vista a tentar compreender o seu modo de ascensão e instalação e a referenciação à deformação varisca das diferentes litofácies e, por outro lado, pretendeu efectuar um aprofundamento do conhecimento da tectónica e da deformação finita da região.

## ***1.1. Estruturação da tese, finalidades, objectivos***

### ***1.1.1. Estruturação da tese***

Neste ponto pretende-se, por um lado, justificar os motivos que levaram à opção pela organização e escolha de capítulos a que se procedeu e, por outro lado, explicar sumariamente os aspectos tratados em cada um destes capítulos.

As finalidades e objectivos que se apresentam nos pontos I.1.2. e I.1.3., respectivamente, surgem no intuito de tentar aprofundar e dissecar o mais possível os problemas de índole geológica relativos ao antiforma de Viana do Castelo – Caminha, cujos flancos são constituídos por rochas metassedimentares do Câmbrico e Ordovícico e o núcleo por rochas intrusivas graníticas. Neste capítulo também se descrevem as principais metodologias utilizadas no presente trabalho.

Os critérios que presidiram à estruturação dos capítulos seguintes deste trabalho fundaram-se no princípio de aproximação gradual ao objecto de estudo e, por isso, de focagem às finalidades e objectivos propostos. Assim, inicia-se o capítulo II - Enquadramento geológico com o enquadramento geodinâmico (ciclo Varisco) da região, passando-se, de seguida, para a

caracterização geológica do sector NW da Zona Centro-Ibérica (ZCI) e, por fim, faz-se referência aos granitos do NW Peninsular, cuja cronologia e quadro geológico, em particular dos granitos de duas micas, terá relevância no capítulo IV.

No capítulo III – Segregação, ascensão e instalação de rochas plutónicas salientam-se aspectos relativos à segregação de granitos peraluminosos, modelos de ascensão e instalação de rochas plutónicas e respectivos quadros geodinâmicos. Este capítulo terá grande importância para a compreensão da discussão, no capítulo IV, do(s) mecanismo(s) de instalação para as rochas plutónicas do antiforma de Viana do Castelo – Caminha.

A colocação do Capítulo IV – Antiforma de Viana do Castelo – Caminha nesta posição resulta da intenção de fazer um aproximação até à área de estudo, após a utilização dos capítulos anteriores para, de algum modo, enquadrar e teorizar aspectos fulcrais para a compreensão, nomeadamente, do quadro geológico e geodinâmico e dos mecanismos de ascensão e instalação plutónica. Aqui começa-se por fazer o enquadramento geográfico e geomorfológico da área de estudo. De seguida procede-se à descrição macroscópica (entre outros aspectos descrevem-se algumas relações estruturais entre as diferentes litofácies graníticas) e a caracterização metamórfica e petrográfica das litologias do Paleozóico presentes na área de estudo. Discutem-se também, sucintamente, assim como, alguns aspectos relativos ao carácter comagmático das litofácies graníticas e tenta-se, ainda, estabelecer uma cronologia relativa destas fácies. De seguida, e em função de cada uma das fases de deformação varisca, faz-se a caracterização estrutural das formações metassedimentares e dos plutonitos graníticos, através da apresentação dos resultados (cartas estruturais, projecções estereográficas, estudos de *petrofabric*, estudos de deformação finita e estudos de anisotropia de susceptibilidade magnética) e da sua discussão. Por fim, sempre que se justifique, extraem-se algumas conclusões parciais.

O Capítulo V – Conclusões, faz referência às principais conclusões a que se chegou com este trabalho, podendo ser recorrente relativamente à utilização de algumas conclusões parciais já extraídas no Capítulo IV.

O quadro I.1 resume os aspectos mais relevantes a que se fez menção em cada capítulo.

Quadro I.1 – Resumo, por capítulos, dos aspectos focados na tese.

<i>Capítulos</i>	<i>Aspectos focados</i>
I (Introdução)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estrutura do trabalho;</li> <li>- Finalidades e objectivos;</li> <li>- Descrição das metodologias utilizadas.</li> </ul>
II (Enquadramento geológico)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Descrição do ciclo Varisco a partir de reconstituições paleogeográficas;</li> <li>- Modelo de evolução geodinâmica para o NW Peninsular;</li> <li>- Caracterização genética e geométrico-estrutural do Arco Ibero-Armoricano;</li> <li>- Caracterização geológica da ZCI abordando aspectos estratigráficos, estruturais, metamórficos e magmáticos;</li> <li>- Distribuição cronológica (do Precâmbrico ao Paleozóico), com referência à orogenia Varisca, da instalação dos granitóides.</li> </ul>
III (Segregação, ascensão e instalação de rochas plutónicas)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Classificação genética dos granitóides e segregação de granitos peraluminosos;</li> <li>- Mecanismos de ascensão e instalação plutónica;</li> <li>- Quadros geodinâmicos colisionais e distensivos para a ascensão e instalação plutónica.</li> </ul>
IV (Antiforma de Viana do Castelo – Caminha)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Enquadramento geográfico e geomorfológico.</li> <li>- Caracterização metamórfica e petrográfica das litologias do Paleozóico;</li> <li>- Descrição macroscópica (entre outros aspectos descrevem-se algumas relações estruturais entre as diferentes litofácies graníticas);</li> <li>- Discussão, sucinta, de alguns aspectos de carácter geoquímico das litofácies graníticas;</li> <li>- Estabelecimento de uma cronologia relativa das litofácies graníticas;</li> <li>- Caracterização estrutural das formações metassedimentares e dos plutonitos graníticos, em função de cada uma das fases de deformação varisca, através da apresentação dos resultados (cartas estruturais, projecções estereográficas, estudos de <i>petrofabric</i>, estudos de deformação finita, estudos de anisotropia de susceptibilidade magnética);</li> <li>- Discussão de resultados;</li> <li>- Conclusões parciais.</li> </ul>
V (Conclusões gerais)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conclusões relativas aos aspectos mais importantes e mais abrangentes.</li> </ul>

### ***1.1.2. Finalidades***

- Caracterização geométrica, cinemática e dinâmica da deformação Varisca;
- Elaboração de modelos de ascensão e instalação para o maciço granítico;

- Determinação do significado geodinâmico da evolução tectónica.

### ***1.1.3. Objectivos***

- Descrever do ponto de vista geométrico e cinemático as estruturas geológicas;
- Estimar a deformação finita durante  $F_1$ ;
- Fazer a cronologia relativa dos episódios de instalação plutónica com base nas relações estruturais observadas entre as diferentes fácies de granitóides;
- Explicar a influência estrutural recíproca entre os plutonitos e o metaencaixante.
- Explicar a transição entre os diferentes regimes de deformação durante a deformação Varisca:
  - Caracterizar o regime de deformação transpressivo e tangencial no Autóctone e Parautoctone durante a  $F_1$  Varisca;
  - Caracterizar a transpressão em  $F_3$ ;
- Correlacionar os diferentes episódios plutónicos com as fases de deformação Varisca:
  - Relacionar os retrocisalhamentos  $F_2$  com a instalação dos granitos;
  - Relacionar a transpressão  $F_3$  com a instalação dos granitos;
- Estabelecer mecanismos de ascensão e instalação plutónica adaptados ao quadro geodinâmico e ao tipo de granitóides presentes.

## ***1.2. Metodologia***

### ***1.2.1. Cartografia geológica***

A cartografia geológica foi realizada no antiforma de Viana do Castelo – Caminha tendo as formações metassedimentares do flanco Este sido cartografadas à escala 1:10.000 e as litofácies graníticas que afloram no núcleo à escala 1:25.000. Quanto às formações metassedimentares do flanco Oeste (sector compreendido entre a Praia Norte e a Praia de Carreço) recorreu-se à cartografia geológica, às escalas 1:2.000 e 1:5.000, efectuada por

Pamplona (1994). Neste sector, em resultado da erosão costeira dos anos mais próximos, ficaram expostos metaconglomerados da Formação da Desejosa que, assim, foram acrescentados à cartografia anteriormente realizada. Ainda, no sector em questão, foi feita cartografia estrutural de pormenor (às escalas 1:2.000 e 1:5.000) da deformação tardivarisca.

Recorreu-se à fotografia aérea (escala 1:25.000), tanto numa fase prévia como no decurso de todo o trabalho de campo com vista à elaboração das cartas geológicas, de forma a definir os principais contactos litológicos e a rede de fracturação. Neste sentido, convém salientar que as cartas geológicas de Portugal à escala 1:50.000 (folha 1-C e folha 5-A) e à escala 1:200.000 (folha 1) também constituíram ferramentas de decisiva importância.

Um elemento fundamental de apoio à cartografia geológica consistiu na colheita de amostras orientadas para petrografia e análise microtextural.

## ***1.2.2. Anisotropia de susceptibilidade magnética***

### ***1.2.2.1 Amostragem***

A amostragem para o estudo da anisotropia de susceptibilidade magnética (ASM) requer as seguintes normas:

- (i) Em cada local/afloramento seleccionado deve proceder-se à recolha de múltiplas amostras com azimutes distintos, de modo a diminuir desvios resultantes de anisotropias composicionais e estruturais da litologia. Dever-se-á, também, medir todas as estruturas geológicas mesoscópicas (e.g., lineações e foliações). A perfuração da rocha, por intermédio de uma sonda mecânica (com brocas de 25 mm de diâmetro), deverá ser feita de modo a que a amostra fique ligada à rocha pela superfície inferior para que, posteriormente, esta seja orientada e referenciada (figura I.1). A orientação da carote (amostra) faz-se a partir do ângulo de declive e do sentido do declive (azimute) referenciado ao Norte Geográfico.

- (ii) As amostras que se utilizam com maior frequência nos estudos de ASM são as cilíndricas, sendo a altura 86% a 90% do diâmetro, de modo a respeitar uma aproximação esférica (Tarling e Hrouda, 1993). Assim, as amostras trazidas do campo deverão ser subdivididas e dimensionadas (25 mm de diâmetro por 22 mm de altura) para a sua utilização no medidor de susceptibilidade e anisotropia das rochas.

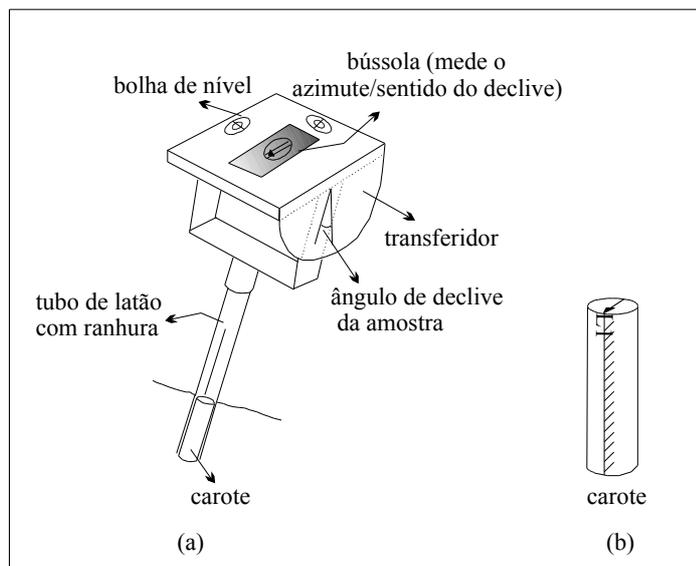


Figura I.1– Procedimento de recolha e orientação de amostras para ASM: (a) orientação e (b) referenciação (adaptado de Bouchez, 1997 e Tarling e Hrouda, 1993).

### ***1.2.2.2 Medição***

O medidor de susceptibilidade magnética e anisotropia de rochas utilizado foi o Kappabridge KLY-2 que possui uma unidade de medição (KLY-2.0) e um sensor (KLY-2.1).

Após a estabilização e a calibração do Kappabridge segue-se a escolha do intervalo de medição e a configuração dos dados de entrada para o programa ANISO20 (instalado num computador que se encontra ligado ao instrumento de medição); por último, passa-se a uma sequência de medições que envolve 15 posições diferentes, 12 das quais simétricas duas a duas. As 3 posições que não possuem medição simétrica são as correspondentes aos eixos principais do sistema de coordenadas da amostra (figura I.2).

De forma a evitar erros nas medições, e visto tratar-se da medição de propriedades magnéticas, deve-se evitar a presença (na sala de medição) de aparelhos que criem campos electromagnéticos (e.g., transformadores). Também se deve manter a sala a temperatura e humidade constantes. Dado que variações de temperatura e humidade provocam perturbações na leitura instrumental, é recomendável que o contacto das mãos do utilizador com as amostras seja o mais célere possível.

### ***1.2.2.3 Tratamento dos dados***

Como referido no ponto anterior o Kappabridge está ligado a um computador que tem instalado o programa ANISO20 (em linguagem Fortran), o qual é responsável pela recolha sequencial dos dados provenientes do Kappabridge e ulterior processamento estatístico.

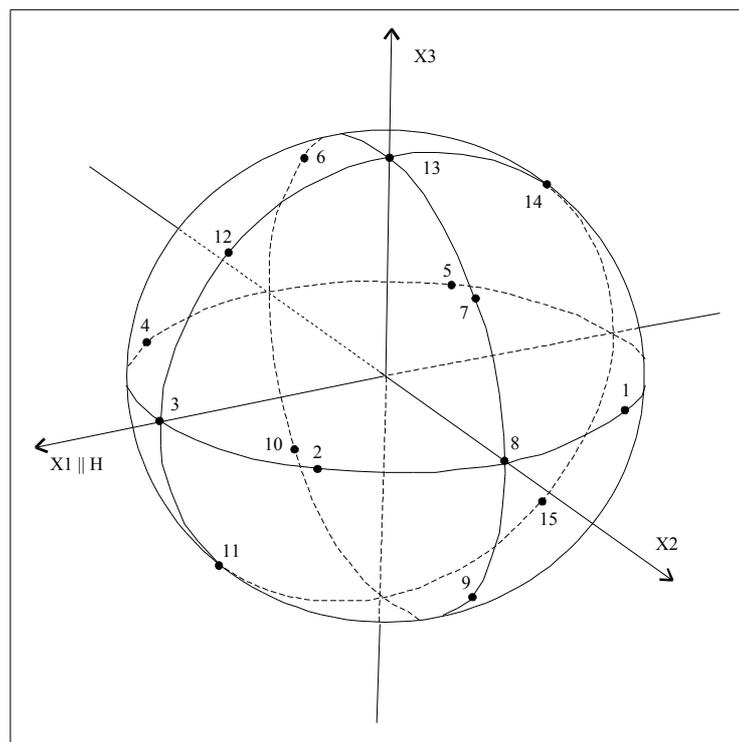


Figura I.2– Esquema representativo das 15 posições de medição (adaptado de *Kappabridge, Manual Operator's*).

Alguns dos dados provenientes da impressora vão constituir, através da utilização do programa ANIMAN (em linguagem Basic) e por inserção via teclado, ficheiros com a extensão ANY os quais serão utilizados no programa ANISO que permitirá fazer diversos estudos estatísticos complementares (e.g., projecções estereográficas de  $K_1$ ,  $K_2$  e  $K_3$  e respectivas análises bivariadas).

### ***1.2.3. Eixos-c de quartzo***

#### ***1.2.3.1 Amostragem***

Dividiu-se a área em dois sectores com comportamentos estruturais distintos: um sector, a Norte, situado em Carreço-Montedor e outro sector, a Sul, situado na Praia Norte-Viana do Castelo. Foi necessário recolher amostras orientadas em ambos os lados de dobras posteriores à  $F_1$ , para desta forma distinguir se os critérios cinemáticos observados eram prévios ou somente resultantes do dobramento. As amostras orientadas foram cortadas segundo o plano XZ, isto é paralelamente à lineação de estiramento e perpendicularmente à foliação (figura I.3). A partir da observação microscópica procedeu-se à eliminação das lâminas delgadas que: (i) apresentavam intensa recristalização do quartzo – consequência do impacto térmico do plutonismo varisco; (ii) possuísem a xistosidade da 1ª fase da deformação varisca ( $S_1$ ) pouco visível ou crenulada.

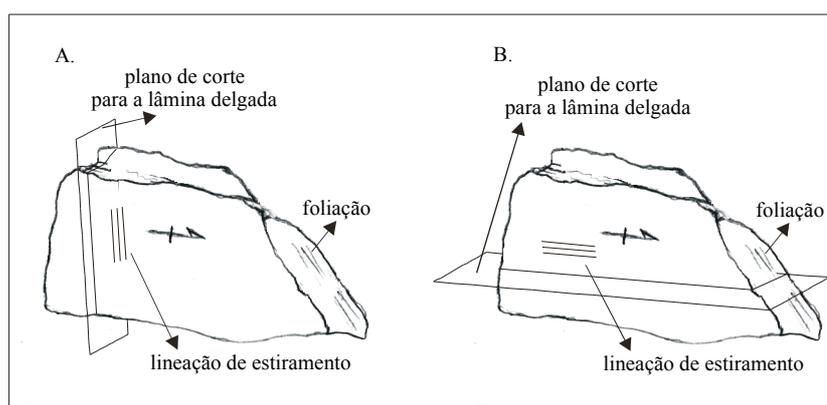


Figura I.3- Amostras orientadas cortadas segundo o plano XZ. A: Carreço-Montedor; B: Praia Norte-Viana do Castelo.

### 1.2.3.2 Medição e Tratamento de dados

A medição dos eixos-c de quartzo foi efectuada com a platina universal de Fedorov. O número de medições realizadas por lâmina delgada foi, em média, de 200. O tratamento dos dados teve como objectivo a obtenção de diagramas de frequência para determinar a orientação preferencial dos eixos-c de quartzo e, assim, conhecer o regime de deformação. Para o efeito, introduziram-se os valores obtidos a partir da leitura da platina universal num programa informático (Ejes de Quarzo, desenvolvido por Gabriel Gutierrez-Marco, Dep. Geod. – Universidade de Salamanca) que transforma os dados para o programa Stereonet (programa que permite a realização de diagramas de frequência).

### 1.2.4. Deformação finita a 2D

#### 1.2.4.1 Recolha de dados

Os dados foram obtidos a partir das Bilobites presentes nas bancadas de quartzito do Arenegiano-Tremadociano (Praia Norte-Viana do Castelo). Para cada Bilobite mediu-se o *pitch* da linha de ligação entre duas marcas de locomoção de pares de apêndices simétricos (L) e da linha de alongamento da pista fóssil (P), assim como entre a superfície de estratificação ( $S_0$ ) e a lineação de estiramento ( $X_1$ ) da bancada de que faziam parte. O passo seguinte foi a obtenção dos valores de cisalhamento angular ( $\psi$ ) e do ângulo entre o alongamento da pista e a lineação de estiramento ( $\phi'$ ) - figura I.4.

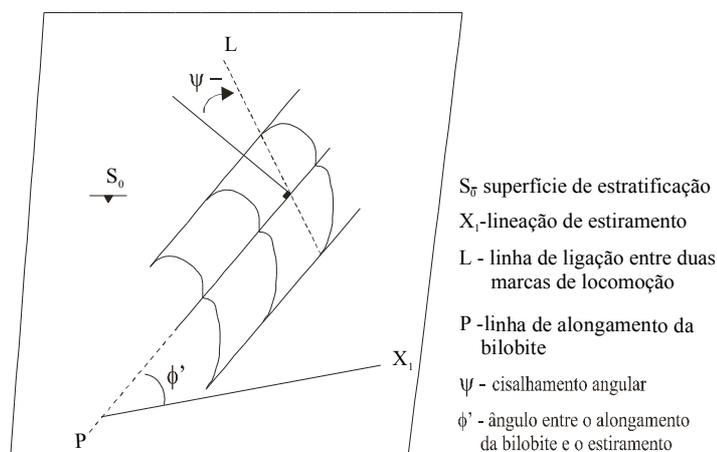


Figura I.4- Representação esquemática de uma bilobite deformada e dos elementos estruturais necessários para o cálculo da deformação finita a 2D.

**1.2.4.2 Tratamento de dados**

Conhecidos os valores de  $\epsilon$  e de  $\gamma$  constrói-se o diagrama de Mohr do seguinte modo:

(i) desenha-se um gráfico cartesiano onde os eixos  $\epsilon'$  e  $\gamma'$  representam a aplicação da forma paramétrica do círculo às equações de deformação - círculo de Mohr (figura I.5A e figura I.5B):

$$\epsilon' = (\epsilon'_1 + \epsilon'_2)/2 - (\epsilon'_2 - \epsilon'_1)/2 * \cos 2\phi' \text{ e } \gamma' = (\epsilon'_2 - \epsilon'_1)/2 * \sin 2\phi'$$

(ii) a partir da origem (O) constrói-se uma linha fazendo o ângulo  $\psi$  com o eixo  $\epsilon'$  -

figura I.5C;

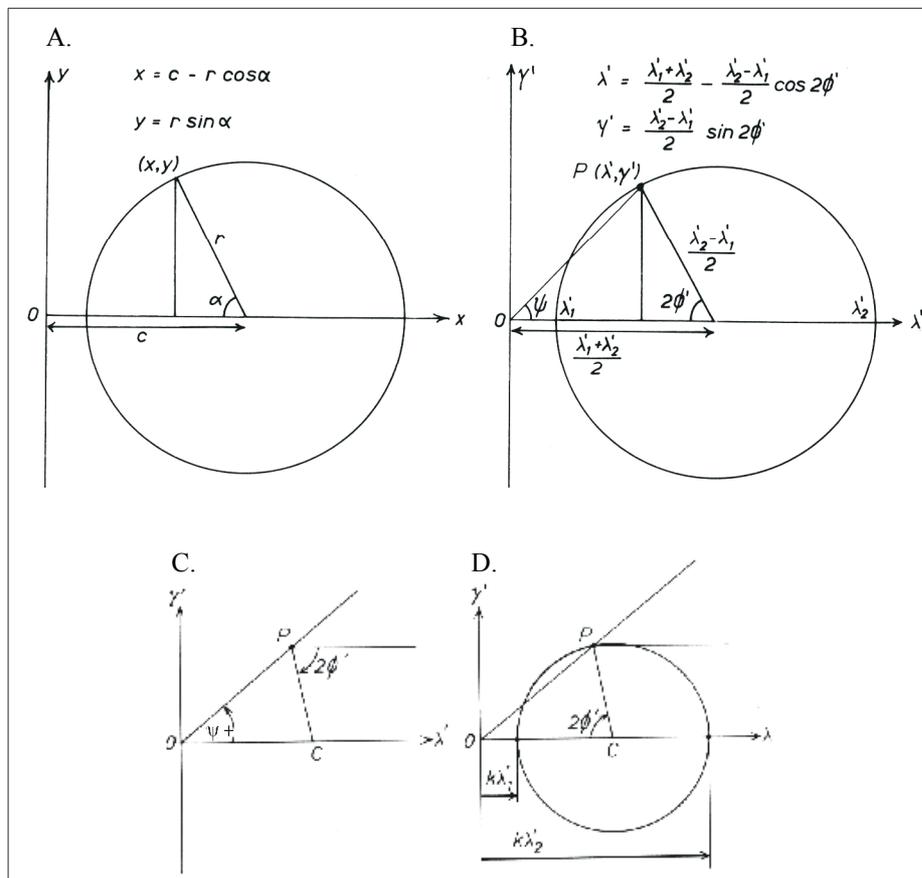


Figura I.5- A: forma paramétrica geral das equações do círculo; B: aplicação da forma paramétrica do círculo às equações de deformação - círculo de Mohr; C e D: construção do diagrama de Mohr a partir de um valor de  $\epsilon$ . Adaptado de Ramsey & Huber (1983).

(iii) a partir de qualquer ponto P da linha construída anteriormente, contrói-se uma linha paralela ao eixo  $\sigma'$  e marca-se um ângulo  $2\theta'$  de modo a que este intersecte a abcissa num ponto C - figura I.5C;

(iv) com o centro em C e raio CP constrói-se um círculo (figura I.5D). Este círculo é o círculo de Mohr para o estado de deformação;

(v) os dois pontos onde o círculo de Mohr intersecta o eixo  $\sigma'$  são equivalentes às tensões principais ( $\sigma_1$  e  $\sigma_3$ ).

Por último, procede-se ao cálculo da excentricidade da elipse de deformação ( $R_s$ ) para cada Bilobite com base na seguinte equação (Ramsay & Huber, 1983):

$$R_s = (\sigma_2 / \sigma_1)^{1/2}$$

### ***1.2.5. Deformação finita a 3D***

#### ***1.2.5.1 Amostragem***

A amostragem realizada no quartzito efectuou-se em dois sectores distintos do flanco W do antiforma de Viana do Castelo – Caminha (um sector a Norte localizado em Carreço, e um outro sector a Sul, situado na Praia Norte, Viana do Castelo), dado estes apresentarem diferentes comportamentos geo-estruturais. As amostras recolhidas foram orientadas, tendo-se a partir destas feito lâminas orientadas em três secções perpendiculares entre si (figura I.6).

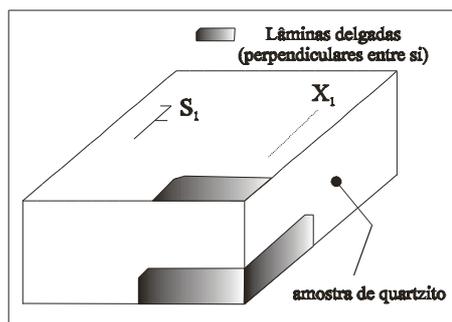


Figura I.6 – Secções orientadas, do quartzito da Formação de Sta Justa, para estudo da deformação finita a 3D.

Estas secções foram escolhidas de modo a serem paralelas e perpendiculares a  $S_1$  e a  $X_1$ . Assumiu-se que  $S_1$  representa o plano eixo maior – eixo intermédio do elipsóide de

deformação finita e  $X_1$  é paralelo ao eixo maior. Desta forma, torna-se simples combinar os valores  $R_s$  de cada secção elíptica de modo a determinar as relações do elipsóide de deformação finita. Somente foram seleccionadas as lâminas de amostras que não apresentavam recristalização acentuada do quartzo.

### 1.2.5.2 Tratamento de dados

O método utilizado para a determinação das elipses em cada secção é o de Fry (1979). O método de Fry funciona pois, a distribuição dos centros não é aleatória (Poisson ou anti-agregante). Este método baseia-se no facto de existir uma relação constante entre o centro duma partícula e os centros das outras partículas circundantes, em função do seu nível de proximidade, num agregado cristalino não deformado (figura I.7A). Estas distâncias, quando o agregado cristalino é submetido a deformação, são modificadas na medida da intensidade de deformação longitudinal registada ao longo dessas direcções, ou seja, na proporção dos diâmetros da elipse de deformação (figura I.7B).

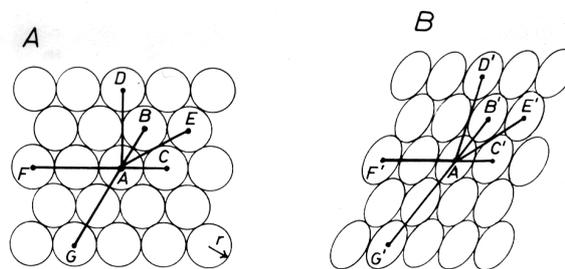


Figura I.7 – Geometria de um agregado de circunferências de raio  $r$  empacotado hexagonalmente: (A) não deformado. (B) deformado. Envolvero o centro A há seis vizinhos (e.g., B) à distância  $2r$ , seis (e.g., E) à distância  $2\sqrt{3}r$ , seis (e.g., G) à distância  $4r$ , etc. Extraído de Ramsay & Huber (1983).

O processo utilizado para obter as formas das elipses de deformação finita foi o seguinte:

- (i) a partir das lâminas delgadas correspondentes a três secções perpendiculares de cada amostra fizeram-se fotografias em lupa binocular;

- (ii) fotocopiaram-se todas as fotografias, ao que se seguiu a marcação e numeração de todos os centros das secções de quartzo;
- (iii) sobrepôs-se a cada fotocópia com os centros numerados uma folha de papel de engenharia com uma referência sobre o centro 1, marcando-se de seguida todos os outros centros (figura I.8A);
- (iv) deslocou-se o papel de engenharia para o centro 2 localizando todos os outros centros (figura I.8B);
- (v) seguiu-se o processo anterior, sucessivamente, para uma média de 120 pontos por secção chegando-se, assim, à elipse de deformação finita (figura I.8C).

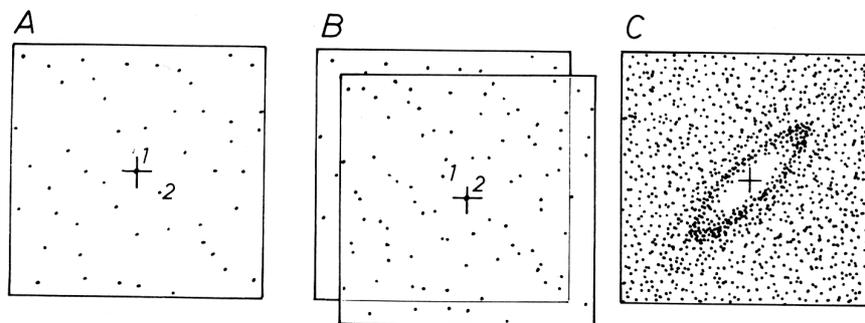


Figura I.8 – Construção da elipse de deformação finita usando o método de Fry: (A) mostra o papel transparente centrado no ponto 1 com todos os outros pontos localizados; (B) apresenta o papel transparente centrado sobre o ponto 2 e todos os restantes pontos localizados; (C) mostra, no final de todo o processo, um padrão de distribuição o qual fornece a forma e orientação da elipse de deformação finita. Extraído de Ramsay & Huber (1983).

Após a obtenção de cada uma das elipses de deformação finita, mediu-se a dimensão dos seus diâmetros.

Determinou-se a atitude dos diferentes eixos do elipsóide de deformação finita em cada secção das amostras, visto estas estarem devidamente orientadas (em cada secção ou estava referenciado o traço da clivagem ou a lineação de estiramento).

Cruzando entre si os valores axiais obtidos em cada secção obteve-se a relação axial do elipsóide de deformação finita.

A partir do conhecimento da relação axial do elipsóide de deformação finita obtém-se:

- as dimensões relativas do eixo maior (x), do eixo intermédio (y) e do eixo menor (z);
- $a = x/y$ ;
- $b = y/z$
- $k = (a-1) / (b-1)$

Recorreu-se à utilização do diagrama de Ramsay para projectar a forma do elipsóide de deformação finita.