GEOMETRIA E FASES DE DOBRAMENTOS BRASILIANOS SUPERPOSTOS NO OESTE DE MINAS GERAIS

MÁRIO DA COSTA CAMPOS NETO*

ABSTRACT The lithostratigraphic units of the Canastra and Paranoá groups, to the west of the Minas Gerais State, were affected by five folding phases of the Brazilian Cycle. In the Canastra Groups, a disposition of I_1 -lineations shows a probable ante-schistosity structure. The first two phases, almost homaxial, are related to the syntectonic stage of the orogenesis and contained an axial-plane schistosity (S_1 and S_2). Both have tectonic vergency towards the São Francisco Craton and were affected by a thrust structure overcoming the Canastra Group over the Paranoá Group. There are three post-schistosity late phases with a random distribution in the region. Generally, each of the five fold phases shows a cilindric pattern.

INTRODUÇÃO

A região estudada se situa no oeste do Estado de Minas Gerais, nas proximidades da cidade de Vazante, sendo de interesse as séries metassedimentares rifeanas dos Grupos Canastra e Paranoá, dobradas no Rifeano superior quando da Orogênese Brasileira (Fig. 1).

Figura 1 – Mapa tectônico (Paracatu-Vazante)

Metodologia utilizada O estudo das deformações superpostas foi realizado em setores com homogeneidade regional de pelo menos um elemento estrutural, a xistossidade S_1 , por exemplo. Em cada setor procurou-se medir todos os elementos estruturais relacionados aos dobramentos. O

método de identificação das diferentes fases repousa na observação, em continuidade, dos elementos submetidos às deformações e não na suposta constância de sua orientação. Dada a complexidade da superposição de fases de dobramentos, a orientação da maioria dos elementos estruturais é variável.

Para se caracterizar as fases sucessivas, é absolutamente indispensável o conhecimento das orientações dos planos axiais. A utilização dos eixos, válida estatisticamente e para um setor dado, mostra, no campo, certas dificuldades: para uma única fase de dobramentos, caracterizada por um plano axial de orientação definida, existem várias famílias de lineações B, que correspondem às diversas superfícies dobradas. Mesmo a orientação dos eixos de uma mesma família pode ser variável, caso a superfície antiga esteja dobrada complexamente. Por outro lado, o estudo do modo de dispersão desses eixos traz informações sobre a geometria, o tipo de dobramento e a cronologia relativa entre os dobramentos (Weiss 1959, Ramsay 1960). No geral, duas grandes categorias de dispersão podem ser caracterizadas: aquelas que se devem à presença de uma superfície dobrada anteriormente; aquelas ligadas a um redobramento.

O presente estudo, com a utilização de projeções estereográficas no hemisfério sul do diagrama de Schmidt, mostra que a geometria das deformações obedece às leis estritas das superfícies dobradas cilindricamente, isto é, superfícies geometricamente formadas por uma reta, a geratriz, paralela ao eixo B e que se move no espaço paralelamente a ela mesma. Os planos tangentes a essa superfície se recortam segundo o eixo B, e seus pólos, bem como o pólo do plano axial, estão contidos no plano AC de simetria, perpendicular à geratriz.

Quadro litoestratigráfico O Grupo Canastra pode ser litoestratigraficamente dividido, da base para o topo: na Unidade Quartzítica inferior, regressiva a espessa de 1 000 m; na Unidade Quartzítica intermediária, também regressiva e contendo um nível típico de quartzito a hematita (espessa de 1 100 m); na Unidade Psamo-pelítica superior, que sofreu intensos fenômenos de erosão, restando por uma espessura em torno de 350 m; Unidade Flyschóide da Formação Ibiá, série terrígena com afinidades orogênicas, espessa na região de mais de 1 000 m.

* Depto. Geologia Geral, Instituto de Geociências, USP. Caixa Postal 20 899, CEP 01000, Cidade Universitária, São Paulo, SP, Brasil.

O Grupo Paranoá compreende três zonas isólicas (zonas paleogeográficas distintas com desenvolvimento sincrônico de fácies) dispostas subparalelamente de oeste para leste: Zona de Paracatu, com filitos negros piritosos na base sobrepostos pelos filitos rítmicos e quartzitos da Fácies Oriental (400 m de espessura aproximada) e pelos xistos e quartzitos feldspáticos da Fácies Ocidental; Zona de Vazante, com dolomitos lenticulares e bio-hermas estromatolíticas, envoltos por meta-sedimentos terrígenos finos e carbonatados (sua espessura máxima atinge 2 000 m); Zona das Ardósias, com moscovita-quartzo xisto, lentes quartzíticas a leste e bio-hermas estromatolíticas isolados em altos-fundos (Fácies Lagamar). Estas três zonas foram recobertas indistintamente por uma série transgressiva carbonático-pelito-psamítica, referente à Sequência de Cobertura.

Um estudo detalhado da litoestratigrafia, ambientes de sedimentação e relações estratigráficas entre esses grupos pode ser encontrado em Dardenne (1979) e Campos Neto (1979).

Os grandes lineamentos tectônicos As últimas manifestações das deformações brasileiras estão impressas nas falhas normais transversais, orientadas de oeste-noroeste.

A frente de aloctonia do Canastra (com uma *klippe* preservada em sinforme), orientada submeridianamente, é uma estrutura remarcável e que só foi deformada por anti-formes e sinformes tardios. Outros lineamentos estruturais marcantes são as falhas inversas e os cavalgamentos, que delimitam as zonas e distinguem a sequência do Grupo Paranoá. São essas estruturas que delineiam o antiforme do Rio Escuro (orientado de WSW-ENE) e os antiformes e sinformes a norte de Vazante.

A orientação desses lineamentos varia de NS a oeste a NE a leste. Esta variação acompanha a orientação dos elementos estruturais precoces: a xistosidade penetrativa S_1 e as superfícies S_0 tomadas entre os lineamentos estão orientadas de mais em mais na direção NE, quando se avança para leste (Fig. 2), mostrando uma certa relação entre essas estruturas e as deformações sinxistosas. No entanto observa-se que as superfícies projetadas foram deformadas: duas direções axiais principais podem ser obtidas (uma para SW e outra para NW), a partir de grandes círculos ao longo da dispersão principal destes elementos.

Finalmente, a vergência das estruturas sinxistosas, sem se levar em conta as deformações posteriores, é para N82E no Grupo Canastra, até S55E na Zona das Ardósias. Esta variação está acompanhada de um aumento gradual do mergulho das superfícies S_1 em direção a leste e, ao contrário, a xistosidade é tanto mais penetrativa quanto mais se aproxima da horizontal.

OS DOBRAMENTOS SINXISTOSOS Primeira fase (D_1)

Nos terrenos epizonais estudados, a xistosidade S_1 de plano axial é o traço estrutural mais evidente. Ela se materializa nas rochas pelíticas e pelito-psamíticas por uma intensa anisotropia, podendo ser classificada como xistosidade de fluxo ou, localmente, como xistosidade de *strain-slip* primário (nos níveis com mica detrítica). Nos níveis mais competentes, quartzitos maciços e dolomitos, o estiramento dos grãos localmente é intenso, os fenômenos de refração são comuns e a partição da rocha é mais espaçada.

Pequenas dobras recumbentes ou quase-recumbentes da superfície S_0 admitem a S_1 como plano axial (Fig. 3).

Elas geralmente possuem uma charneira abaulada, aproximam-se do estilo isoclinal nos filitos rítmicos e metasedimentos margosos, e são comumente encontradas na escala centimétrica a microscópica. Nos quartzitos atingem dimensões métricas.

Figura 2 - Comportamento das superfícies de referência S_1 e S_0 .

- A: Metaparaconglomerado da Form. Ibiá - 65 π S_1 : 6-9/24/38/40%
 B: Unidade Psamo-Pelítica superior do G. Canastra - 151 π S_1 : 0,6-2,6/8,6/12/15/15,9%
 C: Unidades quartzíticas do G. Canastra - 279 π S_1 : -3,5/7,1/14,4/19,5/24%
 D: Unidades quartzíticas do G. Canastra - 214 π S_0 : 0,5-2,3/7/11,7/16/16,8%
 E: Zona de Paracatu - Fácies Ocidental, G. Paranoá: 455 π S_1 0,2-2/4,2/8,6/9,7/10,8/11,2%
 F: Zona de Paracatu - Fácies Oriental, G. Paranoá: 273 π S_0 e S_1 0,3-3,7/9,1/12,9/13,5%
 G: Sequência de Cobertura-G. Canastra: 166 π S_0 e S_1 0,6-5,4/8,4/14,4/20,5%
 H: Zona das Ardósias - G. Paranoá: 129 π S_1 0,7-3,9/7,7/11,6/13,9%

Os planos axiais mergulham, regional e estatisticamente, para oeste. O eixo a cinemático possui um sentido de movimento para leste, e esta vergência geral é sempre confirmada pela disposição das pequenas dobras parasitas (em S ou Z), ou pela relação S_1/S_0 ao longo de uma dobra. Essas observações, tomadas isoladamente, só são válidas quando a dobra estudada não foi engajada em estruturas posteriores.

O mecanismo de formação das dobras D_1 foi estudado por Campos Neto (1979).

Figura 3 - Pequenas dobras D_1

A: Pequena dobra D_1 - metadolosiltito da Sequência de Cobertura (G. Paranoá).

B: Pequena dobra D_1 e $l_1 = S_1/S_0$ - quartzito do Grupo Canastra

C: $l_1 = S_0/S_1$ moscovita quartzito xisto do Fácies Ocidental da Zona de Paracatu (G. Paranoá)

D: Dobra D_2 e interferência com D_1 - meta-grauvaca da Formação Ibiá (G. Canastra).

A orientação e geometria do dobramento podem ser verificadas, no espaço, a partir dos eixos B_1 , lineações l_1 e planos axiais S_1 . As lineações (Fig. 3) correspondem à interseção de planos S_0 com superfícies S_1 ($l_1 = S_0/S_1$), ou o contrário ($l_1 = S_1/S_0$).

A orientação preferencial das lineações l_1 , no conjunto do Grupo Canastra (exceto a Formação Ibiá), é de $S14W/10^\circ$ (Fig. 4A). Elas se encontram dispersas, mas contidas no plano médio S_1 (obtido das Fig. 2B e C). Tal disposição indica que a superfície dobrada (S_0) não estava horizontal quando do dobramento (Pascal *et al.* 1976). Dobras antixistosas não foram encontradas (salvo raros exemplos de origem sedimentar). No entanto grandes estruturas deltaicas podem estar presentes nas unidades quartzíticas desse grupo e, por outro lado, as séries litoestratigráficas sugerem uma estrutura em arco desenvolvida no Rifeario médio terminal (Campos Neto 1979, Campos Neto 1984).

Figura 4 - Orientação das dobras D_1

A: Lineações l_1 no Grupo Canastra $2,4-48/9,5/12,0/14,0\%$

B: Lineações l_1 no Grupo Paranoá $3,8/7,5/11,3/13,2\%$

Dispersões secundárias em grande círculos, cujos pólos não correspondem ao pólo S_1 , também estão presentes. Representam planos de retomada (Ramsay 1960) devidos a de-

formações similares posteriores, ou redobramentos isopacos orientados perpendicularmente à direção B_1 .

Os elementos lineares (l_1 e B_1), tomados no conjunto do Grupo Paranoá, mostram uma boa concentração estatística, orientando-se preferencialmente de $S39W/20^\circ$ (Fig. 4B). A dispersão destes elementos não se encontra sobre um plano médio S_1 , estando então ligadas às deformações posteriores.

Segunda fase D_2 Uma xistosidade S_2 , superposta a S_1 , é facilmente encontrada nas proximidades de grandes dobras ou associada a pequenas dobras parasitas. A S_2 é tipicamente um *strain-slip* secundário a *microlithons* bem desenvolvidos. No entanto algumas variações podem ser observadas: nas zonas mais internas, tem-se um crescimento orientado de moscovita sobreposto às lamelas micáceas sincrônicas a S_1 (S_2 penetrativa); nas zonas mais externas, os filitos ardiosianos mostram um microfraturamento paralelo, localmente flexurando a S_1 e preenchido por quartzo ou pirita (S_2 de fratura). Dentre as diferentes famílias de lineações de interseção desenvolvidas a partir dessa xistosidade, são as $l_2 = S_2/S_1$ as responsáveis por um alinhamento de microcrenulações.

As pequenas dobras D_2 , comumente com charneiras agudas, são tipicamente isoclinais quando afetam as superfícies S_1 de rochas pelíticas. Nas rochas laminadas, alternando níveis de diferente competência, as pequenas dobras D_2 são quase similares, do tipo *flattened chevron* (subclasse 1C próxima à classe 2).

Figuras de interferência do tipo 3 com as dobras D_1 são encontradas na pequena escala (Fig. 3D).

No Grupo Canastra (Fig. 5A) os elementos lineares (l_2 e B_2) estão dispostos segundo uma simetria ortorrômbica, onde orientações preferenciais, $N16W/11^\circ$, $S15W/10^\circ$ e $S39W/20^\circ$, estão contidas no plano médio S_2 - $N12E/43NW$. A superposição dessa fase sobre superfícies anteriormente dobradas (S_0) está na origem desta ausência de simetria axial.

Figura 5 - Orientação das dobras D_2

A: Grupo Canastra: I) $142 l_2: 0,7-2,8/5/7/9,8/11,2/12\%$
II) $203 \pi S_2: 2,5/6/8/12/14\%$

B: Simetria geral da fase de dobramentos D_2

C: Grupo Paranoá: I) $102 l_2: 3,6-4,5/6,3/7,3\%$
II) $115 \pi S_2: 2,6-3,5/6/8\%$

O pólo do plano de dispersão PR_1 das lineações l_1 (Fig. 4A) corresponde exatamente à concentração principal dos pólos S_2 , indicando que tal dispersão de l_1 está associada à superposição dos dobramentos D_2 , quase similares, cujo

plano axial corresponde ao plano de retomada de lineações λ_1 . Observa-se também, nas Figs. 2B e C, que os pólos S_1 estão contidos em planos que se interceptam no campo de concentração principal dos planos S_2 (Fig. 5B), perpendicularmente às lineações λ_2 . Assim, regionalmente, a xistosidade S_1 foi dobrada similar e cilindricamente pela fase D_2 .

No Grupo Paranoá (Fig. 5C), os elementos lineares orientados preferencialmente de S28W/20° e S38W/30° estão contidos nos planos médios S_2 , respectivamente N25E/32NW e N14E/72NW (este último corresponde às medidas tomadas nos terrenos mais externos).

Megaestruturas sinxistosas Grandes dobras admitindo seja a xistosidade S_1 , seja S_2 como plano axial, foram mapeadas principalmente no Grupo Canastra. Nos metapelitos monótonos do Grupo Paranoá, tais estruturas são dificilmente ressaltadas.

O contato entre a Unidade Psamo-péltica Superior do Grupo Canastra com a Formação Ibiá desenha dobras orientadas NNE, com comprimento de onda em torno de 300 m e amplitude média de 200 m. Essas dobras admitem a S_2 como plano axial e observa-se, no campo, que a S_1 traça seus contornos.

Figura 6 – Interferência de megaestruturas sinxistosas
1 – Aluvião; 2 – Form. Ibiá; metaparaconglomerado, Grupo Canastra-Unidade Psamo-Péltica superior; 3 – moscovita-quartzo xisto com lentes de quartzito e sub-grauvaca; 4 – quartzo-moscovita xisto; 5 – quartzito, Grupo Canastra-Unidade Quartzítica intermediária; 6 – quartzito micáceo; 7 – quartzito grosseiro; 8 – estratificação S_0 ; 9 – xistosidade S_1 ; 10 – xistosidade S_2 .

Estruturas de interferência evidenciam a superposição de megadobras sinxistosas (Fig. 6). São estruturas compostas

e típicas de um redobramento similar e homoaxial, onde a direção B_1 está contida no plano AB das segundas dobras; isto é: figuras de interferências do tipo 3 (Ramsay 1962). A polaridade das camadas dobradas é dada pelo contato estratigráfico com a Formação Ibiá e a vergência dessas duas fases é para leste.

OS DOBRAMENTOS TARDIOS Os grandes contatos tectônicos truncam as dobras sinxistosas e as xistosidades S_1 e S_2 . São estruturas de cavalgamentos e falhas inversas que correspondem, grosso modo, a uma *terceira fase de deformação*, nitidamente anterior aos dobramentos tardios. Estes são os antifomes e sinformes abertos que utilizam as xistosidades e os cavalgamentos como superfícies dobradas e são encontrados também desde a escala de afloramento até a da lâmina delgada (Fig. 7).

Figura 7 – Microdobras tardias

A – Dobramento tardio superposto a isoclinal D_2 (filitos da Zona de Paracatu)

B – Microdobra tardia superposta a microdobramento D_1 (xistos rítmicos da Zona de Paracatu)

As pequenas estruturas são dobras isópacas ou similares, localmente superpostas às dobras sinxistosas. Uma clivagem plano-axial desenvolve-se no “intrado” dessas estruturas, podendo chegar a um verdadeiro *strain-slip* secundário (e tardio). *Knicks* são encontrados nas regiões onde as pequenas dobras tardias estão ausentes.

Dobramentos tardios superpostos A interferência entre pequenas dobras pós-xistosas e as relações entre lineações de interseção tardias são as principais evidências de afloramento da superposição dessas estruturas. No entanto, é com a análise estereográfica que as fases tardias sucessivas são definidas.

No exemplo da Fig. 8, pode-se obter uma cronologia relativa entre duas dessas fases tardias: as curvas de contorno correspondem aos pólos das superfícies dobradas tardiamente (S_0 , S_1 e S_2), medidos na Fácies Oriental da Zona de Paracatu, a sul de Vazante. No geral tem-se uma guirlanda Dt_2 , que contém as clivagens de plano axial St_2 e cujo eixo construído (N6E/90°) orienta-se próximo às lineações λ_2 . No entanto, a maioria das superfícies dobradas está engajada em uma guirlanda Dt_1 (Bt_1 construído de N62W/300°), sendo que Dt_1 corresponde ao plano AC de simetria de uma pequena dobra tardia medida no campo (Bt_1' de N30W/300°) e contém as clivagens de plano axial St_1 , mais dispersas que as anteriores. As lineações λ_1 estão dispostas ao longo de pequenos círculos em torno da direção axial Bt_2 . Essas rela-

ções geométricas indicam que: Dt_1 é o plano AC de simetria monoclinica de dobras cilíndricas e pós-xistosas, anteriores ao dobramento cilíndrico Dt_2 ; este último é responsável por uma deformação, com valores angulares constantes, das lineações lt_1 e, portanto, corresponde a um dobramento isopaco.

Figura 8 - Redobramento tardio

Hierarquia de dobramentos pós-xistosos - exemplo da Facies Oriental, Zona de Paracatu, a sul da janela estrutural: contorno dos pólos das superfícies dobradas 0,5-2,7/5,5/8,3/13,9/14,7%

Terceira fase de dobramento (D_3) As pequenas dobras da terceira fase são muito frequentes, principalmente na escala centimétrica a métrica. Elas possuem, em geral, charneiras agudas (sobretudo os antiformes) e, segundo a classificação de Fleuty (1964), são dobras muito inclinadas e com caimento fraco. Aproximam-se de formas *chevron* e possuem clivagens S_3 de plano axial em leque convergente ao "intrado".

Entretanto, este estilo varia conforme as condições reológicas do material dobrado, não podendo ser utilizado para definir a fase de dobramento. Tal definição é dada pelas estruturas de superposição, pela dispersão dos elementos lineares e pela orientação do plano axial.

As lineações l_3 tomadas nos grupos Canastra e Paranoá estão estatisticamente orientadas de N16W/18° (Fig. 9A) e suas dispersões se devem seja aos dobramentos anteriores, seja aos dobramentos posteriores. Essa direção axial preferencial situa-se perpendicularmente à concentração principal dos pólos S_3 - N16W/75SW (Fig. 9B), nitidamente dispostos em leque e definindo um dobramento cilíndrico com vergência para ENE, pouco definida.

Na região de Morro Agudo (a sul de Paracatu), a Zona de Paracatu e Sequência de Cobertura, que cavalgam a Zona de Vazante, estão complexamente dobradas pelas fases sinxistosas. Os pólos dos planos S_0 , S_1 e S_2 , projetados nos estereograma da Fig. 9C, definem uma guirlanda que contém

as clivagens S_3 e é perpendicular às lineações l_3 (aí orientadas estatisticamente de N38W/22°). Neste setor, as lineações posteriores, orientadas NNE-SSW, encontram-se mais agrupadas que as l_3 . Como as megaestruturas D_3 estão ausentes, essas medidas indicam um intenso dobramento cilíndrico, na escala do centímetro ao decímetro, orientado segundo a terceira fase.

Figura 9 - Orientação e geometria das dobras D_3

A: 419 l_3 e B_3 nos Grupos Canastra e Paranoá à Sul de Vazante 0,2-14/3,5/7/9,5/12/14,3/15,5%

B: 158 πS_3 nos Grupos Canastra e Paranoá à Sul de Vazante 0,6-1,9/5,7/7,6/9,5/11,3/12,6%

C: I) 106 l_3 na região de Morro Agudo à Sul de Paracatu 6,9/9,9/12,3/15/19%

II) 413 πS_0 e S_1 na região de Morro Agudo à Sul de Paracatu 4,5/7/14,2/16,7/18%

Quarta fase de dobramento (D_4) Normalmente, as pequenas dobras dessa fase são isópacas, as charneiras curvas e com uma clivagem de plano axial divergente ou convergente. Dobramentos cônicos foram, localmente, evidenciados (Campos Neto 1979). Microdobramentos em *chevron*, associados a *kink-bands* por vezes conjugados e a interseções secundárias, estão também presentes.

Um dobramento métrico nos filitos rítmicos superiores do Grupo Canastra (no sul da área mapeada), projetado na Fig. 10A, pode ser definido como cilíndrico, com comprimento de onda maior que a amplitude, normal e orientado NNE-SSW. Ele deforma pequenas estruturas D_3 .

Figura 10 - Orientação e geometria das dobras D_4

Os elementos estruturais de dobras assim definidas e tomadas a sul de Vazante mostram orientações preferenciais das lineações ℓ_4 na direção NNE-SSW – S8W/12° e N6E/40° e uma dispersão das clivagens S_4 (Fig. 10B). Tal disposição pode ser explicada em parte por deformações posteriores e, em parte, pelo dispositivo conjugado dos *kink-bands*.

Uma das dispersões tardias das lineações ℓ_3 encontra-se segundo um plano cujo pólo corresponde, na Fig. 10B, ao eixo C de simetria. Isso indica que parte dos dobramentos D_4 foi responsável por uma deformação, de lineações ℓ_3 , segundo ângulos variáveis. Ora, Paterson & Weiss (1966) mostram que o mecanismo de *kinking* admite um movimento ao longo de um conjunto de planos paralelos e segundo a direção do eixo a cinemático (isto é, um mecanismo de dobramento similar). Assim, os pólos S_4 situados nas proximidades do eixo-C, bem como a maioria estatística das ℓ_4 , definem um microdobramento similar associado aos *kinks*. Outras dispersões de ℓ_3 , ao longo de pequenos círculos centrados na direção N-NE-SSW, devem-se à interferência de pequenas dobras D_4 isópacas.

Uma cronologia relativa entre as pequenas dobras D_4 similares e isópacas será sugerida quando do estudo das megae estruturas tardias.

Quinta fase de dobramento (D_5) Observa-se facilmente no campo a presença de pequenas dobras orientadas perpendicularmente às charneiras das dobras tardias e, mais raramente, lineações de interseção nitidamente posteriores a ℓ_4 .

Os eixos e planos axiais dessas pequenas dobras (Fig. 11) definem uma fase de dobramento cilíndrico, cujas lineações ℓ_5 , dispersas, encontram-se contidas no plano axial (S_5) médio (E-W/90°). Tal dispersão diz respeito às deformações

anteriores da superfície dobrada e não é evidência de deformações posteriores importantes.

Figura 11 – Dobras D_5

AS MEGADOBRAS TARDIAS E SUAS RELAÇÕES COM AS FASES DE DOBRAMENTOS DEDUZIDAS A PARTIR DAS PEQUENAS ESTRUTURAS O sinforme da *klippe* Canastra. A frente de aloctonia do Grupo Canastra possui uma *klippe* sobre as Fácies Ocidental da Zona de Paracatu, preservada em sinforme orientado N-S (Fig. 12). Dobras NE-SW estão presentes e são posteriores.

As superfícies dobradas (S_0, S_1 e S_2) indicam um dobramento cilíndrico, com grande comprimento de onda em relação à amplitude, onde planos de simetria monoclínica contêm as clivagens S_3 . Os eixos construídos – N8W/70° e N12W/0° – coincidem com as lineações ℓ_3 medidas. Li-

Figura 12 – Sinforme da *klippe* Canastra

Figura 13 – Anticlinório tardio de Cercado; A: mapa geológico; B, C e D: Diagramas π e perfis geológicos.

neações posteriores, orientadas NE-SW, encontram-se mais agrupadas.

Assim, a estrutura principal da *klippe* corresponde a um dobramento da ordem de centena de metros, desenvolvido quando da fase D_3 , sobre a qual se superpõem dobras e microdobras D_4 .

O Antiforme de Cercado São dobras maiores que as do oeste de Vazante. Afetam a Zona de Vazante e a Sequência de Cobertura e, pouco mais ao sul, estão na origem da janela estrutural da Sequência de Cobertura sob o cavalgamento da Fácies Oriental da Zona de Paracatu (Fig. 13). Esse dobramento (Fig. 13A), orientado NE-SW, se superpõe a dobras sinxistosas, desenvolvendo figuras de interferência próximas ao tipo 2 (Ramsay 1962).

Na região de Cercado (Fig. 13B), o dobramento é suave e cilíndrico, quase normal, e com um eixo B construído de $S42W/25^\circ$. Na janela estrutural, em um sinclinal antifórmico, a orientação B é de $S30W/6^\circ$ (Fig. 13C). Em ambos, os planos de simetria monoclinica contêm as clivagens S_4 .

Em Cercado (perfil AB, Fig. 13), o flanco oriental da dobra encontra-se dobrado em anticlinal cilíndrico, com simetria próxima a ortorrômbica, orientado de $S36W/8^\circ$ e contendo algumas clivagens S_4 como plano axial (Fig. 13D). No entanto, neste diagrama, pode-se observar que:

- a maioria das lineações L_4 e as lineações L_3 encontram-se dispersas e contidas em pequenos círculos centrados em torno do eixo B construído;
- algumas lineações L_4 estão associadas ao eixo B construído;
- as clivagens S_4 encontram-se, seja contidas no plano de simetria, seja fora deste plano (na direção NNE-SSW), estes relacionados a *knicks*.

Destas observações, podemos concluir que:

- o dobramento cilíndrico maior é isópaco e sincrônico a pequenas dobras parasitas suaves D_4 , devendo estar relacionado a essa fase;
- este dobramento é posterior às dobras D_3 , deformando as lineações L_3 segundo valores angulares variáveis;
- é também *posterior* ao desenvolvimento dos *knicks* pós- S_3 .

O Sinclinório de Lagamar A Fácies Lagamar da Zona das Ardósias aflora dentro de uma estrutura complexa e tardia: um sinclinório orientado de NE-SW (Fig. 14), contendo dois sinclinais e um anticlinal orientados NNW – SSE e um anticlinal e sinclinal na direção E-W a WNW-ESE (veja a Fig. 1).

A maioria dos planos S_0 define um dobramento normal e cilíndrico na direção $N15W/8^\circ$ e secundariamente de $S25W/2^\circ$. A primeira admite as clivagens S_3 como plano axial, enquanto a segunda as clivagens S_4 . Clivagens S_5 estão presentes, evidenciando a existência de dobras D_5 .

Assim, o Sinclinório de Lagamar corresponde a uma estrutura composta, relacionada às três fases de dobramentos tardios. A terminação sul perissinclinal desta estrutura mostra a superposição de dobras D_5 da última fase.

As megadobras orientadas próximo a EW Estas estruturas transversais (Fig. 15), se bem que importantes, não foram estudadas em detalhe, como é o caso do *Antiforme do Rio Escuro* (Fig. 1).

Figura 14 – Sinclinório de Lagamar.

Um anticlinal orientado EW aparece nos níveis superiores do Grupo Canastra (parte oeste da Fig. 1). Os elementos estruturais aí medidos oferecem indicações sobre a cronologia desta dobra:

- as pequenas dobras D_3 encontram-se desorientadas;
- dobras cilíndricas D_4 mostram direções axiais de $S30W/20^\circ$ e $S70W/35^\circ$, ambas possuindo um único eixo A de simetria.

Figura 15 – Megadobra D_5 superposta a dobramentos D_3 e D_4 .

Este anticlinal é, então, posterior aos dobramentos D_3 e D_4 , devendo corresponder, cronologicamente, às pequenas dobras D_5 .

CONCLUSÕES: AS FASES SUCESSIVAS DE DEFORMAÇÃO Deformações sucessivas e superpostas, quando da Orogênese Brasileira (B), afetaram igualmente os grupos Canastra e Paranoá no oeste de Minas Gerais (Tab. 1).

No conjunto podem-se distinguir dois grandes períodos tectônicos: o sintectônico, ou paroxismal, e o tarditectônico, ou tardio.

Tabela 1 – Deformações brasileiras superpostas nos Grupos Canastra (C) e Paranó (P) no Oeste de Minas Gerais

	Fases de Deformação	Orientação	GR.	Estrutura	
				Peq.	Mega
Período Paroxismal	B ₁ – dobras D ₁	S14W / 10°	C	██████████	
		S39W / 2°	P	██████████	
	B ₂ – dobras D ₂	S32W / 18°	C	██████████	
		S38W / 8°	P	██████████	
	B ₃ – cavalgamentos	paralelo às estruturas	C P	██████████	
Período Tardio	B ₄ – dobras D ₃	N16W / 18°	C P	██████████	
	B ₅ – dobras D ₄	NNE/SSW	C	██████████	
		NE / SW	P		██████████
	B ₆ – dobras D ₅	E-W	C P	██████████	
	B ₇ – falhas	transversais	C P		██████████

O período tectônico paroxismal compreende três fases de deformações superpostas no tempo e acompanhadas de um metamorfismo progressivo no espaço:

- A fase B₁ corresponde aos dobramentos D₁, sinxistosos, cilíndricos, quase similares e recumbentes, com vergência para leste e mais facilmente encontrados na escala de pequenas estruturas. A dispersão antexistosa das lineações L₁ na altura do Grupo Canastra sugere, junto às evidências paleogeográficas, o desenvolvimento pretérito de um arqueamento, provavelmente relacionado a um reflexo externo de um período paleotectônico (Campos Neto 1979).
- A fase B₂ relaciona-se aos dobramentos D₂, cilíndricos, quase, similares e quase isoclinais, orientados próximos à fase anterior. Possuem uma vergência para leste e desenvolvem uma xistosidade S₂ de *strain-slip* secundária.

rio. As pequenas dobras predominam sobre as megadobras.

- A fase B₃ está ligada a um grande cisalhamento que empilha, de oeste para leste, a partir de cavalgamentos e falhas inversas, as zonas mais internas sobre as zonas mais externas.

O período tectônico tardio, inicialmente ainda acompanhado pelo metamorfismo epizonal, é responsável pelos dobramentos pós-xistosos, cilíndricos, suaves, descontínuos e com planos axiais próximos à vertical. As xistosidades S₁ e S₂, bem como os planos de cavalgamento, foram as principais superfícies dobradas.

- A fase B₄ está ligada às dobras D₃, orientadas N-NW, com caimento para NW, cilíndricas e próximas do *chevron* na escala de pequenas estruturas.
- A fase B₅ mais complexa, iniciou-se com um *kinking* NNE-SSW (responsável por pequenas dobras similares D₄) e evoluiu para grandes dobras cilíndricas e isópacas (com pequenas dobras parasitas), orientadas NE-SW com caimentos para SW. A obliquidade entre as dobras e os *kink-bands* pode estar ligada à rotação relativa dos eixos compressivos durante a deformação, ou à própria escala do dobramento maior, que engaja superfícies mais deformadas; ou mesmo às duas possibilidades juntas.
- A fase B₆ corresponde aos últimos dobramentos D₅, nitidamente transversais, orientados EW, cilíndricos e isópacos.
- A fase B₇ está ligada à retomada em rejeitos normais de falhas transversais dos sistemas E-SE-WNW e E-W e aqueles NE-SW e NW-SW, estes últimos reativados durante o Mesozoico.

Finalmente, ressalta-se a manutenção da geometria cilíndrica das fases de dobramentos, seja tomados isoladamente, seja no tratamento estatístico regional, em face do intenso redobramento em cinco fases.

Agradecimentos Os trabalhos de campo foram realizados graças ao apoio da Metamig e os estudos de laboratório com o suporte da CAPES. O autor é particularmente grato ao Prof. M.A. Dardenne.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPOS NETO, M.C. – 1979 – *Contribution à l'étude des Brésiliens: Lithostratigraphie et structure des groupes Canastra, Paranó et Bambuí dans l'ouest-nord-ouest de l'Etat de Minas Gerais (Brésil)*. Thèse Un. Pierre et Marie Curie Paris VI – Dept. Géotectonique, 155 p.
- CAMPOS NETO, M.C. – 1984 – Litoestratigrafia, relações estratigráficas e evolução paleogeográfica dos grupos Canastra e Paranó (região de Vazante-Lagamar, MG), *Rev. Bras. Geoc.* 14 (2). (no prelo).
- DARDENNE, M.A. – 1979 – *Les minéralisations plomb-zinc du Groupe Bambuí et leur contexte géologique*. Thèse, Un. Pierre et Marie Curie (Paris VI), 275p.
- FLUET, M.J. – 1964 – The description of folds. *Proc. Geol. Ass.*, 75: 461-492.
- PASCAL, M.L., FONTEILLES, M.; GUITARD, G. – 1976 – Contribution à l'étude géométrique des plissements superposés hercyniens des Pyrénées orientales: Paléozoïque épizonal du massif de l'Agly. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, XVIII (7), (6): 1471-1487.
- PATTERSON, M.S. & WEISS, L.E. – 1966 – Experimental deformation and folding in phyllite. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 77: 343-374.
- RAMSAY, J.G. – 1960 – The deformation of early linear structures in areas of repeated folding. *J. Geol.*, 68: 75-93.
- RAMSAY, J.C. – 1962 – Interference patterns produced by the superposition of folds of similar type. *J. Geol.*, 60: 466-481.
- WEISS, L.E. – 1959 – Geometry of superimposed folding. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 70: 91-106.

MANUSCRITO

Recebido em 21 de dezembro de 1982
Revisão aceita em 14 de agosto de 1984