



## Arcabouço Lito-Estrutural da Suíte Metamórfica Algodões-Choró, Domínio Ceará Central da Província Borborema

Guttenberg Martins<sup>a</sup> & Elson P. Oliveira<sup>b</sup>

Recebido em 04 de Junho de 2003 / Aceito em 27 de julho de 2003

### Resumo

Com base em dados geológicos obtidos em levantamentos de campo na região central do Estado do Ceará (municípios de Quixadá, Quixeramobim e Choró) entre os anos 1994 e 2002, este trabalho apresenta descrições geológicas da Suíte Metamórfica Algodões-Choró na borda leste do Domínio Ceará Central da Província Borborema, Nordeste do Brasil. As unidades litológicas cartografadas perfazem uma associação de paragneisses e anfibolitos com rochas meta-intrusivas de composição tonalítica e granítica. As rochas anfibolíticas ou Anfibolito Algodões são compostas de camadas métricas a decamétricas de anfibolitos sem granada e de tipos ricos em granada e, mais raramente, de anfibolitos grossos. Esta diversidade possivelmente representa remanescentes do arranjo primário de corpos vulcânicos e sub-vulcânicos basálticos. Nas rochas metassedimentares ou Paragneisses Choró prevalecem tipos ricos em feldspato de coloração cinza com porções subordinadas de micaxisto, rochas calcio-silicáticas, quartzitos e metaconglomerados. Esta assembléia litológica pode ser interpretada como uma associação pelítica-turbidítica com camadas finas de psamitos. As rochas intrusivas graníticas e tonalíticas, também chamadas de Ortogneisses Cipó, são encontradas formando pequenos corpos meta-ígneos (e.g., *stocks*, diques e folhas). Estes são intrusivos nas unidades metassedimentares. Os elementos estruturais de maior magnitude nesta região são as zonas de cisalhamento transcorrentes dextrais de direção NE-SW (Senador Pompeu, Custódia e Quixeramobim). Nas áreas adjacentes às zonas de cisalhamento, a orientação das foliações apresenta disposição espacial no formato de semi-flor e flor, com lineações de estiramento com *plunge* moderado e suave, dobras de cisalhamento e de flambagem de escala quilométrica a métrica. Evidências de eventos tectônicos mais antigos são registradas nas áreas distantes das zonas de cisalhamento, como dobramentos recumbentes e/ou *nappes* associados com lineações de estiramento com direção E-O e *rake* moderado. Os dados geocronológicos e isotópicos da Suíte Metamórfica Algodões-Choró indicam a presença de materiais juvenis de ambiente de supra-subducção derivados do orógeno paleoproterozóico (2,23-2,0 Ga). Para leste da Suíte Metamórfica Algodões-Choró, afloram uma unidade metapelítica e o Complexo Granítico Quixadá-Quixeramobim, de idade neoproterozóica. Uma vez que a Suíte Metamórfica Algodões-Choró está sendo cartografada noutras regiões a oeste da Zona de Cisalhamento Senador Pompeu, as discussões e modelos geológicos apresentados neste trabalho constituem uma abordagem preliminar.

Palavras-Chaves: Geologia Regional; Lito-estratigrafia; Suíte Metamórfica

### Abstract

Geologic data set collected in various fieldwork campaigns between 1994 and 2002 is shown in this paper with the objective to characterize the litho-structural framework of Algodões-Choró Sequence, located at eastern border of Central Ceará Domain, Borborema Province, NE Brazil. The Algodões-Choró Sequence constitutes an amphibolite-paragneiss terrane with granite-tonalite meta-intrusives.

*The Algodões Amphibolite is composed of interleaved metric-decametric garnet-free and garnet-rich amphibolites layers and rarely coarse granulate amphibolites. These rocks are possibly remnants of the primary arrangement of volcanic and sub-volcanic basaltic bodies. In the metasedimentary rocks or the Choro Paragneisses grey-coloured feldspar-rich lithotypes prevail with subordinated parts of mica-schists, calc-silicate, quartzites and metaconglomerates. This assembly possibly represents a pelitic-turbidite association with minor psamitic contribution. The granite-tonalite intrusives or Cipo Orthogneisses are encountered forming small meta-igneous bodies (e.g., stocks, dikes and sheets). These intruded clearly the metasedimentary units. Major structural elements of this region are the NE-SW lateral-right shear zones (Senator Pompeu, Custodia and Quixeramobim). The shear zones yielded flower or hemi-flower foliation, stretching lineation with moderate and gentle plunge (0°-30°) and shear and buckle-folds in meter to kilometer scale. Evidences of early tectonic event are registered by recumbent-nappes folding event and E-W stretching lineations. Because the Algodões-Choró Sequence is being mapped in others regions, discussion and geological models elaborated here represent a preliminary approach.*

*Keywords: Regional Geology; Litho-stratigraphy; Metamorphic Sequence*

<sup>a</sup>Departamento de Geologia/CC/UFC, Bloco 912 - Campus Universitário do Pici - Fortaleza (CE)

Tel.: (85) 288 – 9867, E-mail: gmartins@ufc.br

<sup>b</sup>Instituto de Geociências, Unicamp, P.O.Box 6152, 13081-970 - Campinas (SP). E-mail: elson@ige.unicamp.br

## 1. Introdução

O principal objetivo deste artigo é a descrição litológica e estrutural da Suíte Metamórfica Algodões-Choró (SMAC). Neste sentido, dados obtidos neste trabalho foram somados à compilação de trabalhos prévios. Além da documentação fotográfica, mapas e perfis geológicos, ainda formula-se aqui uma integração de dados geológicos. Como produto final, foram elaboradas novas interpretações, visando o aprimoramento de modelos evolutivos. É apresentado também um histórico dos trabalhos geológicos na região, a definição formal das unidades e uma síntese dos dados geocronológicos publicados.

A área estudada insere-se entre as cidades de Quixadá, Quixeramobim e Choró, no Ceará Central. É delimitada pelas coordenadas 4° 49' 38" e 5° 8' 20" de latitude sul, e 39° 5' 29" e 39° 20' de longitude oeste (Fig. 1).

## 2. Conhecimento Geológico Prévio

Arthaud & Landim (1995) foram os primeiros a descrever a Sequência Algodões como um conjunto de anfíbolitos de granulações

diversas, associados a rochas metaplutônicas gabróicas e dioríticas. Segundo estes autores, sua estruturação é simples, com mergulhos das foliações inferiores a 45° para E-SE.

Na Sequência Algodões, Martins *et al.* (1996) reconheceram dois tipos de associações litológicas: 1) associação anfíbolítica-ortognáissica máfica-intermediária formada por anfíbolitos finos a grossos associados com granada-anfíbolitos finos a grossos, intercalados com biotita-gnaisses róseos, ortognaisses máfico-intermediários grossos e diques máfico-intermediários a félsicos; e 2) associação paragnáissica encontrada na Serra do Estevão, formada por paragnáissicas biotíticas finos de coloração cinza com intercalações restritas de metapelitos impuros, raros anfíbolitos e diques de composição intermediária.

Na região do Açude Choró Limão, município de Choró, Torquato & Santos (1998) identificaram duas unidades lito-estratigráficas: 1) Choró, formada por micaxistos, quartzitos, paragnáissicas, rochas cálcio-silicáticas e metaconglomerados associados a rochas anfíbolíticas, meta-ultrabásicas e ortognaisses graníticos; e 2) Algodões, constituída essencialmente por anfíbolitos, lentes de rochas meta-ultrabásicas e ortognaisses graníticos.

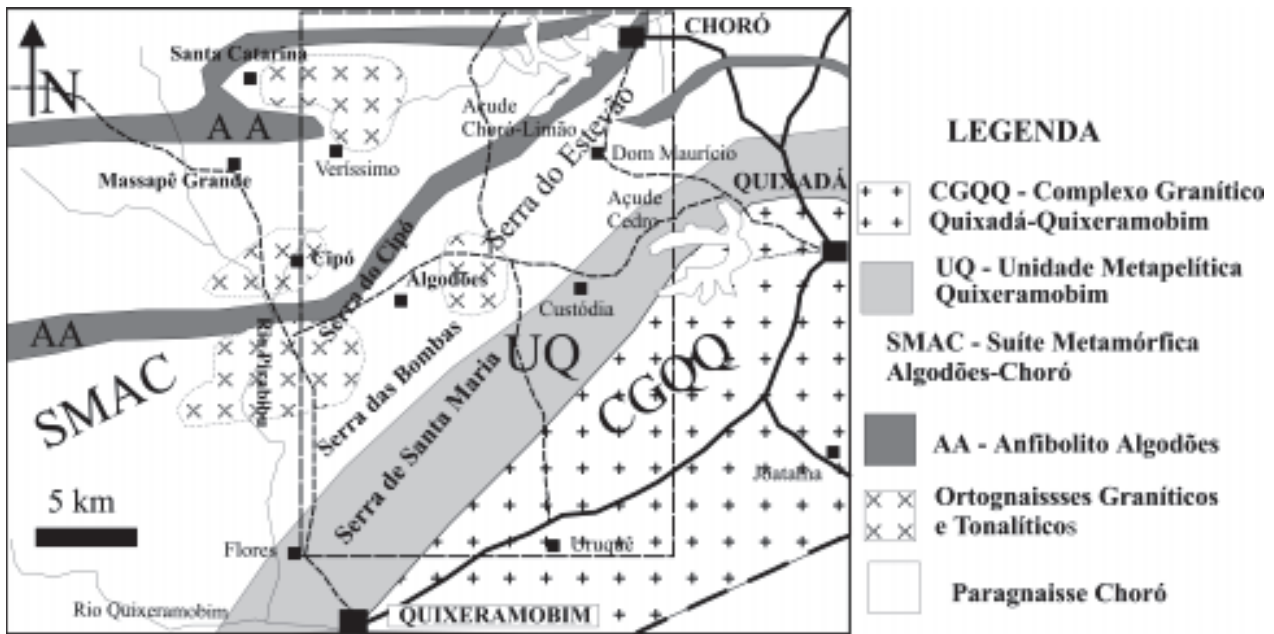


Fig. 1. Mapa geológico regional esquemático com a localização geográfica da área cartografada.

Como definido por Martins (2000), a SMAC agrega um conjunto de rochas metamórficas de natureza paraderivada e ortoderivada, aflorante nos municípios de Quixeramobim, Quixadá e Choró, no Domínio Ceará Central da Província Borborema. Esta suíte é composta pelas seguintes unidades:

**Anfibolito Algodões:** unidade composta essencialmente pelas rochas anfibolíticas, com ou sem granada, de granulação diversa, formando camadas de espessura métrica a decamétrica e extensão quilométrica, encontradas no distrito homônimo, no município de Quixeramobim. Entre os anfibolitos, são encontradas camadas de hornblenditos de granulação grossa, de extensão e espessura métricas.

**Metassedimentos Choró:** um conjunto de rochas paraderivadas composto essencialmente por biotita-gnaisses de granulação fina e coloração creme a cinza com intercalações decamétricas de micaxistos com sillimanita e cianita, biotita-hornblenda gnaisses com bandas quartzo-feldspáticas e micáceas, rochas cálcio-silicáticas, quartzitos finos a grossos e metaconglomerados polimíticos e monomíticos.

**Ortognaisses Cipó:** corpos intrusivos nas unidades anteriores como *stocks*, diques e folhas

alinhadas na direção NE-SO (e.g., Serras do Veríssimo, da Conceição, Aguda, Picos, Cipó, etc).

Os dados geocronológicos e isotópicos relativos à SMAC foram obtidos em Martins *et al.* (1998), Fetter (1999) e Martins (2000). Martins *et al.* (1998) obtiveram idades de 2.131 Ma (U-Pb) e 2.123 Ma (Pb-Pb evaporação) em mono-zircões dos ortognaisses tonalíticos, de 2.172 Ma (U-Pb) e 2.183 Ma (Pb-Pb evaporação) em mono-zircões dos ortognaisses graníticos, e de 2.054 Ma (U-Pb) em diques de composição granítica. Estes autores também obtiveram idade Sm-Nd isocrônica com quatro pontos de  $2.236 \pm 55$  Ma para as rochas anfibolíticas. Fetter (1999) obteve de uma folha granítica intrusa em rochas metapelíticas, na localidade de Açude Flores ( $5^{\circ} 09' 33''$  Sul,  $39^{\circ} 18' 97''$  Oeste), idades de  $1.875 \pm 225$  Ma (MSWD = 217). Ainda segundo Fetter (1999), os dados da folha intrusiva nas rochas metapelíticas são muito imprecisos para serem considerados como idade de cristalização. Os dados isotópicos de Nd apresentados por Martins *et al.* (1998) para o conjunto de amostras da SMAC apontaram idades  $T_{DM}$  Nd variando entre 2.449 Ma e 2.215 Ma, valores de  $\epsilon_{Nd}$ , assumindo  $t$  igual a 2,2 Ga, variando de +2,13 a +2,85 nos

anfíbolitos, de +0,60 a +0,90 em ortognaisses graníticos, de +1,53 a +1,89 nos ortognaisses tonalíticos, e de +2,85 a +0,41 para os paragnaisses finos. Segundo os autores supracitados, estes dados indicam a presença de materiais juvenis de ambiente de supra-subducção, derivados do orógeno paleoproterozóico (2,23-2,0 Ga).

### 3. Arcabouço Lito-Estrutural

Na caracterização do arranjo lito-estrutural da SMAC são apresentadas descrições geológicas do distrito de Algodões e da área circunvizinha ao Açude Choró Limão no município de Choró, e um corte transversal a Serra do Estevão, no município de Quixadá.

Nas descrições estruturais, a seguinte nomenclatura foi utilizada para a designação de gerações de estruturas lineares, planares e eventos deformativos e metamórficos: a) de forma genérica, as fases de deformação, dobras, foliações e eventos metamórficos foram representadas pelos símbolos  $D_n$ ,  $F_n$ ,  $S_n$  e  $M_n$ , respectivamente; b) nas descrições de afloramentos naturais e corte de estradas, foram utilizadas as simbologias  $S_p$  e  $S_{p-1}$  para designar as foliações principais e subordinadas, respectivamente; c) com o objetivo de estabelecer ordem cronológica relativa e/ou progressiva, as gerações de fases de deformações, dobras, foliações e eventos metamórficos foram representados pelos símbolos  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ;  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ ;  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ;  $M_1$ ,  $M_2$ , e  $M_3$ , respectivamente; d) da mesma forma, lineações de estiramento por  $L_x$ , lineações minerais por  $L_m$  e eixos de dobras  $L_B$ , podendo portar um índice numérico relativo à geração de foliação ou dobra correlata, por exemplo,  $L_{B2}$ ,  $L_{B3}$ ;  $L_{m2}$ ,  $L_{m3}$ ; e) planos de foliação milonítica e ultramilonítica foram representados pelo símbolo  $S_m$ , enquanto que estruturas primárias reliquias ou não por  $S_0$ ; e f) conseqüentemente, eventos ou episódios cinemáticos foram representados pelo símbolo  $K_n$  para descrições genéricas e pelos símbolos  $K_1$ ,  $K_2$  e  $K_3$  para designar ordem cronológica relativa e/ou progressiva.

#### 3.1. Distrito de Algodões

Nesta localidade, pacotes de anfíbolitos de granulação diversa com intercalações menores de lentes de rochas ultramáficas estão sobrepostos a ortognaisses de composição tonalítica e granítica. Os contatos entre esses litotipos são geralmente encobertos por solos argilosos. Em alguns locais, devido à movimentação de falhas normais tardias, anfíbolitos e ortognaisses acham-se lateralmente justapostos, como no riacho do Cipó, a NO de Quixeramobim. Já noutros, camadas reliquias de anfíbolitos recobrem claramente os ortognaisses (afloramento na ZCC, estrada Quixeramobim-Madalena).

Ainda neste distrito, as rochas anfíbolíticas, com espessuras entre 100 e 200 metros, constituem a Serra do Cipó e estendem-se para NE na direção de Choró. Nestas, alternam-se camadas de espessura métrica de granada-anfíbolitos e de anfíbolitos sem granada, sugerindo que variações composicionais primárias foram preservadas durante a recristalização metamórfica. Entretanto, não foram encontradas estruturas do tipo lavas almofadadas nem diques interdigitados. Lentes centimétricas de anfíbolitos ou hornblenditos de granulação grossa são comuns (Fig. 2a).

Os ortognaisses tonalíticos afloram em área plana com cerca de 40 Km<sup>2</sup>, a SE de Algodões, entre o Serrote do Algodão e a Serra das Bombas. Estas rochas geralmente apresentam autólitos ou xenólitos anfíbolíticos, assim como disquetos trondhjemiticos e tonalíticos. Feições de mesclamento de magmas de composição diorítica e trondhjemitica também foram documentadas (Fig. 2b).

Na localidade de Cipó é encontrado um corpo alongado no sentido E-O intrudido por vários diques anfíbolíticos. Na Fazenda Lagoa Redonda, os ortognaisses graníticos formam corpo ovóide com eixo NE-SO, cortado por diques de espessura métrica e composição andesítica.

Proeminente feição geológica no Distrito de Algodões é a ocorrência de extensa (ca. 15 km) folha granítica com direção geral NE-SO, posicionada nas proximidades ou ao longo do

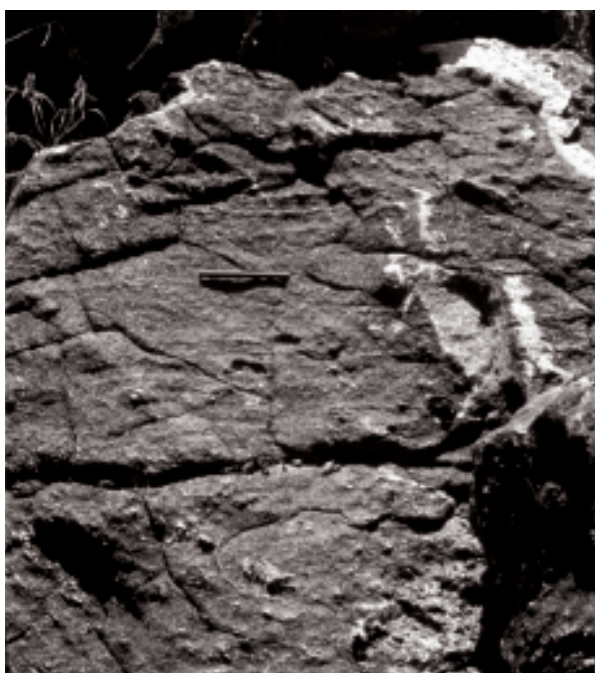


Fig. 2a. Afloramento natural de superfície, onde se observam pequenos corpos de rochas anfibolíticas grossas, presumivelmente derivadas de rochas ultramáficas cumuladas com estratificação magmática reliquiar indicada na foto pela caneta. Localização: Fazenda São Francisco, distrito de Algodões, município de Quixeramobim - CE. Coordenadas UTM 0479214 e 9450 173.



Fig. 2b. Afloramento natural de superfície (seção XZ) na Fazenda Paraíso, em Algodões, exibindo estrutura "brechóide". O litotipo leucocrático fino similar aos disqueteles estudados envolve fragmentos angulosos do litotipo melanocrático fino, característico dos cumulados hornblendíticos. O tipo petrogáfico dominante encontrado nas bordas desta feição é o litotipo mesocrático levemente porfiroblástico.

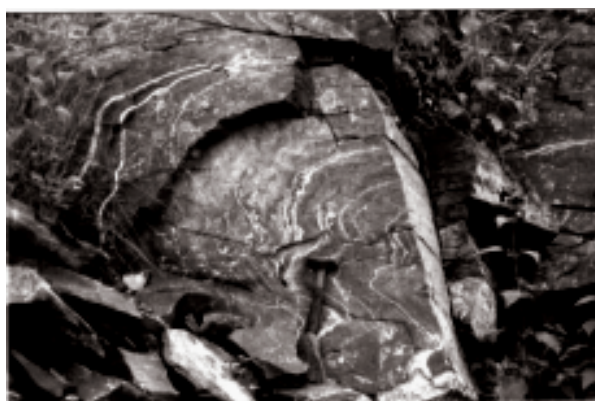


Fig. 2c. Afloramento artificial às margens da estrada Madalena-Quixeramobim, na altura do Açude Pirabibu, onde se podem observar dobras recumbentes  $F_2$  de escala métrica, nucleadas em anfibolitos. Coordenadas UTM 0463133 e 9453280.

contato entre os ortognaisses tonalíticos e os Paragnaisses Choró. Esta folha pode ser correlacionada às folhas graníticas intrusas na unidade metapelítica (e.g. Açude Flores). Para oeste, aflora faixa de paragnaisses diversos (Unidade Choró), mostrando contatos concordantes e, em alguns locais, gradacionais com as rochas metapelíticas. Os paragnaisses variam de tipos feldspáticos e leucocráticos, com microclínio e plagioclásio, a tipos micáceos com muscovita e biotita, em tons de cinza.

Dados estruturais apresentados na Fig. 3 mostram que o arcabouço estrutural do distrito de Algodões é caracterizado: a) pela ocorrência da zona de cisalhamento de Custódia (ZCC), com movimentação dextral, e de traço encurvado, variando da direção NE-SO para E-O; b) pela presença majoritária de planos de foliação com mergulhos moderados ( $30^{\circ}$ - $45^{\circ}$ ) para SE e de lineações de estiramento com mergulhos moderados ( $10^{\circ}$  a  $30^{\circ}$ ) para E ou NE; e c) pelas dobras fechadas reviradas ( $F_3$ ) de amplitude quilométrica e eixos com mergulho suave para NE. Outras feições estruturais documentadas no campo não foram representadas na Fig. 3, tais como: a) clivagens de crenulação em regiões de planos axiais das dobras  $F_3$ , com traço de direção NE-SO e mergulho vertical, como observado nos metapelitos e anfíbolitos; b) zonas de cisalhamento de espessura centimétrica, com mergulhos variáveis e com indicadores de movimentação dextral e sinistral; e c) falhas de rejeitos normais com direção geral de NE-SO a E-O.

O comportamento das lineações de estiramento na ZCC e em áreas adjacentes diverge do padrão geral. Nestes locais mostram-se mais suaves ( $0^{\circ}$ - $15^{\circ}$ ) com mergulhos para sudeste e oeste. Em associação aos indicadores cinemáticos dextrais, o comportamento das lineações indica regime transcorrente com componente extensional. Em geral, os mergulhos das foliações miloníticas na ZCC são concordantes com os da foliação principal ( $S_p$  e/ou  $S_2$ ). Mas, os mergulhos variam de intensidade à medida que a zona de cisalhamento Custódia muda de direção (Fig. 3). No trecho de direção NE-SO, os mergulhos

variam em torno de  $35^{\circ}$ SE, no de direção NNE-SSO os mergulhos estão em torno de  $45^{\circ}$ - $60^{\circ}$ SE, e no de direção E-O passam a ter mergulhos maiores do que  $75^{\circ}$ SE.

A dobra sinformal inclinada  $F_3$  (parte superior direita da Fig. 3) foi identificada a partir dos traços de lineamentos em imagem Landsat TM 5. Os lineamentos observados foram gerados pela intersecção dos planos de foliação  $S_2$  com a encosta da Serra da Negra. O traçado do plano axial dessa dobra foi inferido a partir de linha mediana entre os lineamentos obtidos da imagem Landsat TM 5. Nota-se ainda que o traçado apresenta torção para NE na sua extremidade setentrional. A extensão para oeste deste traço tende a ser paralela à ZCC. A dobra situada na porção NE da área (Fig. 3) foi também inferida a partir das variações dos mergulhos dos planos de foliação  $S_2$ . Configura-se, neste caso, situação semelhante à anteriormente citada, ou seja, os flancos da dobra mergulham com intensidade que varia entre  $50^{\circ}$  e  $60^{\circ}$  para SE, a zona de charneira com  $25^{\circ}$  para NE e o eixo da dobra aponta também para NE com mergulho suave ( $\sim 10^{\circ}$ ).

No afloramento às margens da estrada Madalena-Quixeramobim, na altura do Açude Pirabibu (Coordenadas UTM 0463133 e 9453280), pode-se observar dobras recumbentes  $F_2$  de escala métrica, nucleadas em anfíbolitos (Fig. 2c). Neste local, os planos  $S_p$  e/ou  $S_p'$ , formados pela foliação de anfíbio+ plagioclásio e por veios ricos em quartzo e plagioclásio, mostram mergulhos sub-horizontais e as lineações apresentam *rake* moderado, com orientação para E-W.

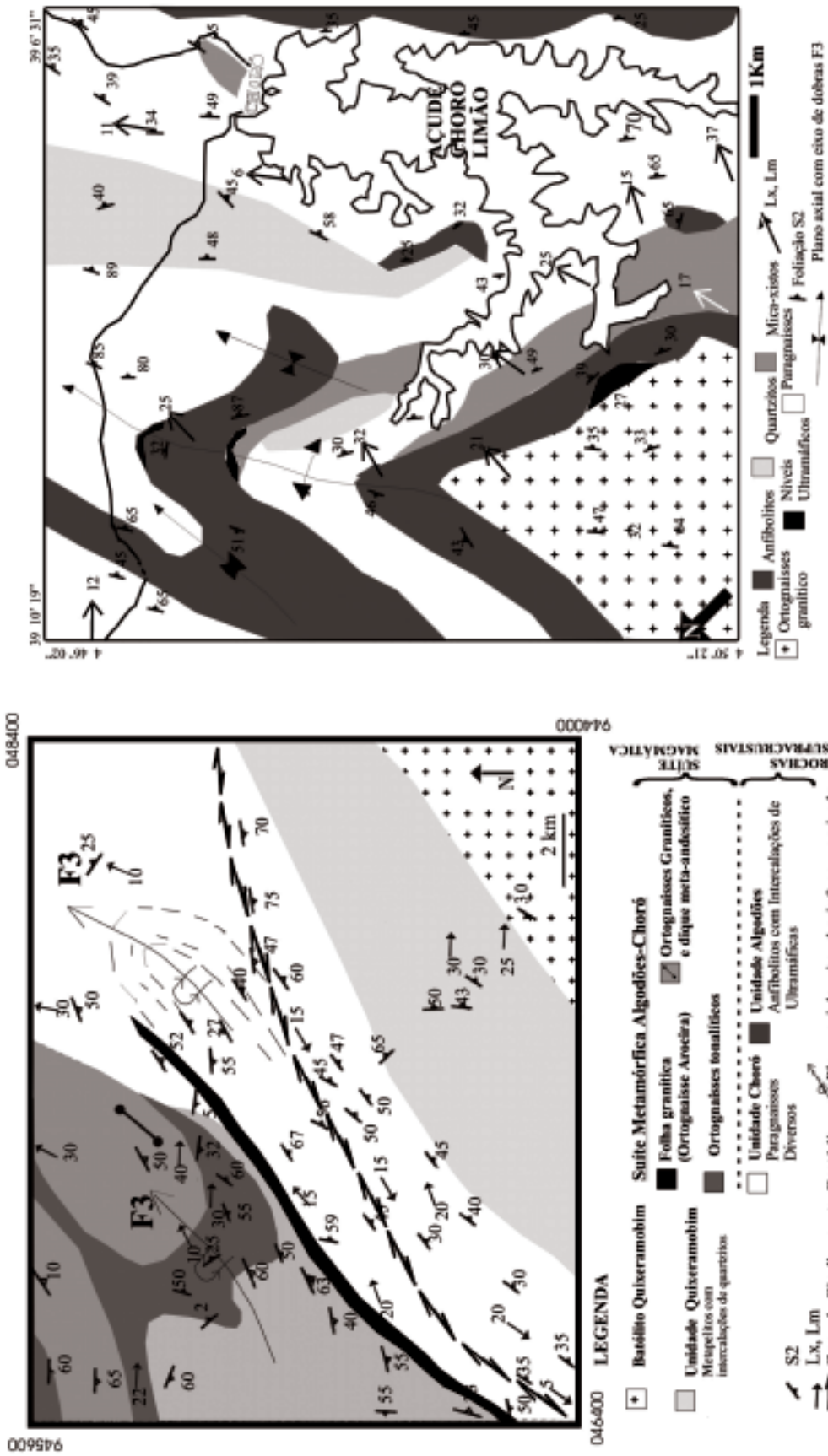


Fig. 4. Mapa lito-estrutural da área do Açude Choro-Limão.

Fig. 3. Mapa lito-estrutural do distrito de Algodões.

### 3.2. Açude Choró-Limão

Nesta área predominam afloramentos da unidade Choró, com intercalações de espessura métrica de rochas anfíbolíticas da unidade Algodões, formando série de estruturas sinformais e antiformais de escala quilométrica e direção geral NE-SO (Fig. 4). A unidade Choró é representada por paragneisses diversos com intercalações concordantes de camadas e lentes de dimensões variáveis de micaxistos granadíferos e quartzitos. Nos paragneisses, algumas camadas apresentam bandamento centimétrico, formado pela alternância de camadas quartzo-feldspáticas e camadas ricas em biotita e hornblenda (Fig. 5a). Estas feições foram interpretadas como variações composicionais de estratificações primárias ( $S_0$ ). Outras litotipos são biotita-gnaisses monótonos de granulação média a fina, leucognaisses quartzo-feldspáticos de coloração creme esbranquiçada, em associação com camadas centimétricas de quartzitos puros finos e metaconglomerados monomíticos.

As camadas mais espessas de quartzitos afloram em faixas orientadas na direção NE-SO. Os quartzitos são mal selecionados e impuros, com cor branca a creme e pontuações avermelhadas. Os tipos mais impuros tendem a apresentar sillimanita fibrosa (fibrolita) e granada, e raramente cianita. Como se observa na margem da rodovia CE-044 logo após Choró, as faixas de quartzitos gradam lateralmente para metaconglomerados polimíticos. Em alguns locais, observam-se matações de anfíbolito e rochas cálcio-silicáticas nos metaconglomerados.

Camadas de rochas anfíbolíticas de espessura hectométrica (100-500 m) demarcam em mapa as estruturas sinformais e antiformais dessa área. Semelhantes às do distrito de Algodões, essas apresentam camadas ricas em granada, alternando-se com outras mais ricas em quartzo. Rochas ultramáficas de espessura métrica, compostas por tremolita-antofilita e opacos, estão intercaladas entre as camadas de anfíbolitos e paragneisses.

Na localidade de Veríssimo, 9 Km a oeste de Choró, ortognaisses graníticos intrudem paragneisses e anfíbolitos. Os ortognaisses

constituem *stock* de formato oval com cerca de 50 Km<sup>2</sup>. A expressão topográfica positiva deste corpo forma as serras do Veríssimo e dos Picos. Os contatos entre os ortognaisses e os pacotes metavulcanossedimentares estão encobertos por solos arenosos e cascalheiras.

Dobras abertas e fechadas ( $F_3$ ) de amplitude quilométrica apresentam planos axiais de direção NE-SO. São formadas pelo encurvamento dos planos das foliações  $S_2$  e das estratificações primárias reliquias ( $S_2//S_1//S_0$ ). Dobras da geração anterior ( $F_2$ ) foram identificadas nos quartzitos como dobras recumbentes de amplitude centimétrica e eixo de direção NE-SO, 3 km a NE de Choró, na CE-044. Estas são geralmente do tipo 2 ou similar (Ramsay, 1967) e variam desde sub-verticais a recumbentes. Neste caso, as superfícies  $S_1$  e  $S_0$  dobradas apresentam-se aparentemente paralelas (Fig. 5b).

As lineações de estiramento ( $L_x$ ) foram determinadas em quartzitos pela orientação de grãos estirados de quartzo e sillimanita, nos paragneisses pela orientação de micas e anfíbolios e destes últimos nos anfíbolitos. Nesta área, as lineações  $L_x$  apresentam *rakes* moderados a suaves, variando entre 6° e 37°. Elas apontam variavelmente para o quadrante ENE em ângulo (~30°) com os traços dos planos axiais das dobras  $F_3$ . Planos de clivagens de crenulação encontrados em rochas metapelíticas e anfíbolitos, ou planos de clivagens de fratura em quartzitos, comumente encontrados nas zonas de charneiras das dobras  $F_3$ , devem representar as superfícies  $S_3$ . Estes planos apresentam mergulhos verticalizados, com orientação NE-SO.

### 3.3. Serra do Estevão

O divisor hidrográfico com flancos íngremes entre os açudes Cedro e Choró Limão tem formato trapezoidal irregular, com eixo maior de direção NE-SO. Seu platô central apresenta cotas topográficas variando entre 550 m e 700 m, e as diferenças de cotas entre seu topo e os espelhos de águas dos açudes adjacentes variam em torno de 400 m. Um corte transversal à Serra de Estevão é representado pelo perfil esquemático da Fig. 6a.





Fig. 5a. Afloramento de paragnaisse biotítico próximo ao Açude Choró – Limão. Destaque para o bandamento gnáissico ( $S_2$ ), formado por bandas claras (quartzo-feldspatos) e escuras (biotita e anfibólios), aparentemente paralelas a  $S_1$  e  $S_0$ . Coordenadas UTM 0478203 e 9461031.



Fig. 5b. Dobras da geração  $F_2$  em paragnaises biotíticos, em afloramento próximo ao Açude Choró Limão. Coordenadas UTM 0478083 e 9459970.



Fig. 5c. Afloramento de metaconglomerado no leito do Riacho Rosinho (aproximadamente corte XZ), no flanco NO da Serra do Estevão, município de Choró.

Fig. 5d. Pontuações de quartzo-feldspato em anfibolito fino sem granada, observado em afloramento ao longo do Riacho Rosinho, no flanco NO da Serra do Estevão, município de Choró.



Observa-se que esta é constituída predominantemente pela alternância de pacotes de rochas metassedimentares com mergulhos variáveis para SE. No flanco SE, predominam paragnaisses quartzo-feldspáticos finos, monótonos, de coloração cinza, com raras camadas de espessura métrica de rochas anfíbolíticas e intercalações de rochas metapelíticas impuras. Estes gradam lateralmente para as rochas metapelíticas da Unidade Quixeramobim ou, por vezes, para rochas metapelíticas parcialmente migmatizadas.

Do platô central para o flanco noroeste, os paragnaisses finos de tons cinza tornam-se ricos em muscovita, passando a colorações mais claras. Nas cotas mais elevadas da Serra do Estevão, predominam camadas de leucognaisses quartzo-feldspáticos finos, e subordinadamente são encontradas camadas finas de biotita-muscovita-xistos. No flanco noroeste, a ocorrência de camadas de quartzitos com intercalações de espessura métrica de metaconglomerados monomíticos e de rochas anfíbolíticas atesta que houve alterações substanciais no arranjo lito-estratigráfico em relação ao flanco oposto.

Um corte longitudinal no flanco noroeste, ao longo do curso do Riacho Rosinho (Fig. 6b), sintetiza as variações litológicas deste setor. Nota-se que nas cotas mais elevadas são encontrados leucognaisses feldspáticos finos e biotita gnaisses finos. Subjacentes e concordantes, ocorrem paragnaisses bandados com três camadas de rochas anfíbolíticas. Por fim, afloram nesta região camadas de quartzitos impuros com níveis de metaconglomerados monomíticos (Fig. 5c).

Como no distrito de Algodões, os pacotes de rochas anfíbolíticas apresentam variações composicionais marcantes. Camadas de anfíbolitos sem granada, de espessuras variadas, alguns ricos em quartzo, outros bandados ou bastante finos, intercalam-se com camadas de granada anfíbolitos. Os contatos entre as camadas não são planares e concordantes, mas curvi-planares ou difusos e não subordinados aos planos de foliação e/ou bandamento. Alguns anfíbolitos finos, com pouco quartzo e sem granada, apresentam pontuações estiradas de quartzo e

plagioclásio (Fig. 5d). Tais pontuações foram interpretadas como estruturas vulcânicas reliquias relacionadas ao escape de gases, como por exemplo, estruturas vesiculares e/ou amigdaloidais.

A disposição geométrica das estruturas planares na Serra do Estevão forma meio leque ou semi-flor. Os planos da foliação principal ( $S_p$  e/ou  $S_2$ ) apresentam mergulhos variando de verticais a sub-verticais nas proximidades do Batólito de Quixadá, moderados no flanco sudeste, e sub-horizontais nas cotas mais altas do flanco nordeste. Vale ressaltar que as áreas onde os planos de foliações apresentam mergulhos verticais, alinham-se na continuidade da terminação da ZCC. Estruturas dobradas de amplitude quilométrica (dobras  $F_3$ ) não foram identificadas nos perfis executados na Serra do Estevão. Entretanto, a continuidade das estruturas  $F_3$  das áreas adjacentes (Distrito de Algodões e Açude Choro-Limão) não descarta a presença de dobramentos  $F_3$  no flanco NO da Serra do Estevão (Fig. 6a).

Em afloramentos de corte de estrada entre Quixadá e o distrito de Dom Maurício (flanco SE), são encontradas dobras menores (geração  $F_2$ ) de escala métrica. Elas são geralmente do tipo similar ou 2 (Ramsay, 1967), fechadas e apertadas, com eixo sub-horizantal, e parecem ter sido geradas a partir da progressiva transposição da foliação  $S_2$  (Fig. 7a). Ainda neste setor, são encontradas ondulações suaves da foliação  $S_2$ , em escala métrica, com planos axiais verticais (Fig. 7b). Em conjunto, essas feições sugerem a simultaneidade de componentes de achatamento (deformação coaxial) e de cisalhamento simples.

Nos anfíbolitos aflorantes ao longo do Riacho Rosinho observa-se que os planos da foliação  $S_1$ , bandamento milimétrico com bandas de hornblendas e de quartzo e plagioclásio, mostram-se descontínuos, com terminações curvas, provavelmente em consequência de transposição generalizada (Fig. 7c). Esta feição também está impressa nas rochas paraderivadas associadas aos anfíbolitos (Fig. 7d).

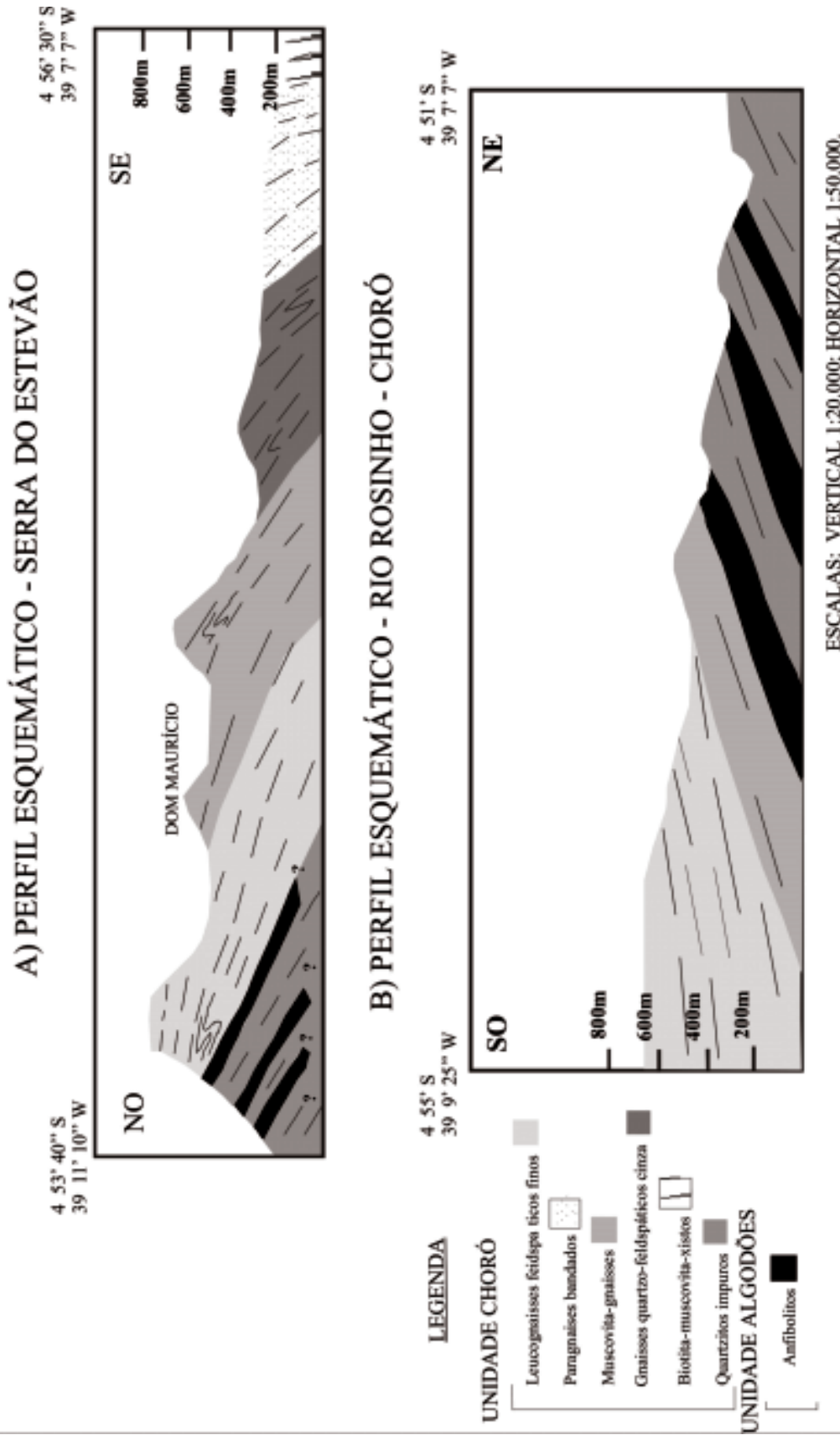


Fig. 6. Perfis geológicos esquemáticos da Serra do Estevão (A) e Rio Rosinho (B).



Fig. 7a. Dobras  $F_2$  em corte de estrada no flanco SE da Serra do Estevão. Coordenadas UTM 0483006 e 9455200.



Fig. 7b. Ondulações métricas em  $S_2$  em corte de estrada no flanco SE da Serra do Estevão. Lineação do eixo de dobra (LB) = 10/120. Coordenadas UTM 0484309 e 9455347



Fig. 7c. Anfibolitos da sub-Unidade Algodões no leito do Riacho Rosinho. Notar veios quartzo-feldspáticos sugerindo a transposição de fábrica mais antiga ( $S_1$ ).



Fig. 7d. No leito do Riacho Rosinho, próximo ao local da fotografia anterior, os paragneisses da unidade Choró exibem também a transposição do bandamento gnáissico.

No geral, o comportamento das lineações minerais e de estiramento é semelhante ao observado em outras áreas. Essas estruturas variam suavemente com os mergulhos dos planos da foliação  $S_2$ . Em atitudes verticais e sub-verticais de  $S_2$ , *rakes* das lineações variam entre 0° e 10° para 10° a 30°NE. Mas, em atitudes menos acentuadas, os *rakes* tornam-se menos suaves, alcançando até 30° para ENE (65°Az - 90°Az).

#### 4. Considerações Finais

A arquitetura tectônica da SMAC apresenta traços particulares nas áreas próximas à ZCC, no distrito de Algodões e na Serra do Estevão. Em geral, registra-se a sucessão progressiva entre as foliações regionais ( $S_2$  ou  $S_p$ ) e as foliações miloníticas ( $S_m$ ).

Na Serra do Estevão, dobras  $F_3$  formam estruturas sinformais reviradas de escala quilométrica, com planos axiais encurvados e eixos sub-horizontais, sendo  $S_3$  caracterizada como uma clivagem de crenulação sub-verticalizada. Associadas a estas estruturas, as foliações  $S_2$  formam meio-leque com vergência para NO, apresentando ondulações suaves de escala métrica.

No Distrito de Algodões, as lineações minerais e de estiramento mostram-se progressivamente vergadas para a orientação das zonas de cisalhamento. Desta forma, à medida que os planos das foliações tornam-se verticais, as lineações se horizontalizam. No padrão geral, as lineações apresentam *rakes* suaves (0°-10°) a moderados (10°-30°) para o sul. Face às observações anteriores sobre o regime deformativo canalizado nas áreas adjacentes às zonas de cisalhamento, torna-se imperiosa a proposição de regime cinemático transtrativo dextral ( $K_2$ ).

Entretanto em setores mais distantes da ZCC, as dobras  $F_3$  também formam estruturas antiformais e sinformais de escala quilométrica, fechadas e apertadas, com planos axiais verticais e eixos apontando para NE. As lineações de minerais e de estiramento mostram *rakes*

moderados (10°-30°) apontando para E-NE. As dobras  $F_2$  apresentam-se inclinadas a recumbentes, com escala métrica. Nestes setores, a orientação geral das estruturas ( $F_3$ ,  $S_2$ ,  $L_X$ ) acompanha os *trends* regionais, com direção E-W. Desta forma, sugere a presença de um arranjo estrutural pretérito às fases principais de funcionamento das zonas de cisalhamento e relacionado com regime cinemático ainda não amplamente caracterizado ( $K_1$ ).

A SMAC constitui uma associação de paragneisses e rochas anfibolíticas interpretada neste trabalho como um conjunto lito-tectônico formado por lavas, rochas vulcanoclásticas e corpos sub-vulcânicos máficos, intercalados em pacotes sedimentares clásticos imaturos, atingidos por intrusões, como pequenos *stocks*, folhas e diques de composição granítica a tonalítica (Martins, 2000).

Os dados geocronológicos e isotópicos apontam a formação da SMAC em ambiente de supra-subducção relacionado à evolução de um orógeno em colagem paleoproterozóica entre 2,23 e 2,05 Ga. As idades  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  de 534 e 524 Ma obtidas por Moiné *et al.* (1997) indicam o retrabalhamento desta região pelos eventos termo-tectônicos relacionados com o Ciclo Brasileiro, os quais possivelmente culminaram com o posicionamento do Complexo Granítico Quixadá-Quixeramobim (Kawashita *et al.*, 1976). Durante este último ciclo, as zonas de cisalhamento desempenharam papel fundamental no posicionamento das massas graníticas, deformando as áreas adjacentes (Castro *et al.*, 2002).

Na região investigada, a caracterização da evolução tectono-metamórfica prévia requer cuidadoso levantamento de dados geológicos em áreas com pouca influência da fase principal de funcionamento das zonas de cisalhamento e o posicionamento de massas graníticas.

#### Agradecimentos

Os autores receberam auxílio da FAPESP Nº 96/08792-6. Agradecimentos aos dois revisores anônimos pelas sugestões e críticas à versão

preliminar do manuscrito.

### Referências Bibliográficas

- Arthaud, M.H. & Landim, D.F., 1995, Relações da Seqüência Metassedimentar de Quixeramobim com seu embasamento. 16º Simpósio de Geologia do Nordeste, **1**: 125-128.
- Castro, D.L., Castelo Branco, R.M.G., Martins, G. & Castro, N.A., 2002, Radiometric, magnetic, and gravity study of the Quixadá batholith, central Ceará domain (NE Brazil): evidence for Pan-African/Brasiliano extension-controlled emplacement. *Journal of South American Earth Sciences*, **15** (5): 543-551.
- Fetter, A.H., 1999, U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal framework and geologic history of Ceará State, NW Borborema province, NE Brazil: Implications for the assembly of Gondwana. PhD thesis, Department of Geology, Kansas University, 157 p.
- Kawashita, K., Cesar, H.L. & Schrader, G.O., 1976, The behavior of a solid-source mass spectrometer with a class tube and age determinations on some rocks from the state of Ceará (Brazil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **43** (1): 79-86.
- Martins, G., 2000, Litogeoquímica e Controles Geocronológicos da Suíte Metamórfica Algodões-Choró. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, UNICAMP, Campinas, 220 p.
- Martins, G., Oliveira, E.P., Souza Filho, C.R. & Lafon, J-M., 1998, Geochemistry and geochronology of the Algodões Sequence, Ceará, NE Brazil: a paleoproterozoic magmatic arc in the Central Ceará domain of Borborema Province? XL Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte, 28.
- Martins, G., Oliveira, M.I., Oliveira, E.P., Souza, C.R. & Arthaud, M.H., 1996, A Geologia da Seqüência Anfibolítica Algodões e suas Implicações para o Quadro Tectono-Estratigráfico da Região Central do Ceará. XVII Simpósio de Geologia do Nordeste, Resumos Expandidos, Fortaleza, Boletim 15: 61-65.
- Moiné, P., Caby, R. & Arthaud, M.H., 1996, The Neoproterozoic Brasiliano orogeny in northeast Brazil:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  and petrostructural data from Ceará. *Precambrian Research*, **81**:241-264.
- Ramsay, J. G., 1967, *Folding and Fracturing of Rocks*. New York, NY, USA. McGraw-Hill Book Co., 568 p.
- Torquato, A.M.P. & Santos, J.S.O., 1998, Mapeamento geológico da região de Choró Limão (CE). Relatório de Graduação, Departamento de Geologia, UFC, 78 p.