

Evolução termo-barométrica das rochas metapelíticas da região do Seridó, Nordeste Brasileiro

EDMILSON SANTOS DE LIMA*

ABSTRACT A regional petrologic study based on mineral parageneses and mineral chemistry in metapelitic rocks of the Seridó Foldbelt in Northeastern Brazil was undertaken. Two stages of deformation are preserved in these rocks. The first one (F_n) produced isoclinal recumbent folds trending NNE, whereas symmetric to assymmetric open to tight folds trending N10E resulted from the second event (F_{n+2}). Pressures and temperatures using garnet-plagioclase and garnet-biotite exchange reactions indicate a metamorphic field gradient of 30°–40°C/km during the second stage of deformation. The metamorphic grade in general increases from west to east, reaching a maximum in the central part of the studied area. Partial (garnet) to total (biotite) chemical reequilibration of the phases crystallized during the first deformation occurred at the time of the second event. Calibrated equilibria involving hydrous phases indicate that the activity of H_2O during the second metamorphism was close to 0.5.

INTRODUÇÃO O Nordeste brasileiro é uma área-chave para se compreender a evolução tectono-metamórfica de áreas pré-cambrianas da Plataforma Sul-Americana. Nesta região, a Faixa de Dobramentos Seridó constitui uma das seqüências supracrustais mais estudadas geologicamente. Apesar de todos os trabalhos efetuados (mapeamentos regionais, de detalhe e semidetalhe, estudos estruturais e petrográficos, estudos geocronológicos etc.), um estudo mais detalhado envolvendo mineralogia, petrologia metamórfica e geologia estrutural desse sistema de dobramentos ainda não foi, até então, realizado. Gama Jr. & Albuquerque (1985) foram os pioneiros na utilização da química mineral como componente importante na evolução metamórfica dos metapelitos do Grupo Seridó. Entretanto, o número restrito de amostras (duas) analisadas dificulta uma interpretação regional. Legrand & Sá (1986), utilizando dados também restritos (quatro amostras) de química mineral cedidos por E.S. de Lima, interpretaram a evolução termo-barométrica da Sinforme de Cruzeta. O presente estudo visa integrar a mineralogia, a petrologia, a química mineral e a geologia estrutural no sentido de aprimorar os conhecimentos sobre a evolução metamórfica do Sistema de Dobramentos Seridó por meio de sua evolução termo-barométrica.

GEOLOGIA REGIONAL A geologia do Nordeste brasileiro consiste nas seguintes unidades tectônicas (Fig. 1): coberturas fanerozóicas, faixas ou sistemas de dobramentos, complexos do embasamento e áreas cratônicas (Brito-Neves 1975). Na área em foco, predominam rochas pré-cambrianas, que foram divididas, de um modo geral, em seqüências do embasamento e supracrustais. Em trabalho pioneiro, Crandall (1910) dividiu essas rochas em Complexo Fundamental (Pré-Ceará), correspondente à seqüência do embasamento, e Série Ceará, constituída das supracrustais. Desde então diversos pesquisadores descreveram a geologia desta região (Moraes 1924, Johnston Jr. 1944, Johnston Jr. & Vasconcelos 1943, Rolf 1945, Ebert 1955, 1966, 1967, 1970, Ferreira & Albuquerque 1969, Maranhão 1970, 1978, Santos 1973, Mello & Mello 1974, Brito-Neves 1975, 1981, 1983, Andritzky & Busch 1975, Torres & Andrade 1975, Sá 1977, 1978, 1979, 1984a, 1984b, Sá & Salim 1978, Salim *et al.* 1978, Lima *et al.* 1980, entre outros), propiciando modificações à medida que novos dados eram obtidos. Neste período, diversas colunas litoestratigráficas foram propostas. A maior diferença entre essas colunas está relacionada à posição da Formação Equador. Trabalhos publicados nos anos 60 e início dos 70 consideram que a Formação Equador ocupa a base do Grupo Seridó, enquanto trabalhos mais recentes, em geral, discordam dessa colocação e colocam a Formação Equador como unidade mediana do Grupo Seridó.

Neste trabalho a coluna estratigráfica adotada é a proposta por Sá & Salim (1978) e Sá (1978), porque mostram evidências convincentes (a presença de fragmentos de rochas pertencentes à Formação Jucurutu nos metaconglomerados da Formação Equador) para a posição da Formação Equador como unidade mediana do Grupo Seridó. Eles dividem as rochas precambrianas em dois grupos: Caicó e Seridó. O Grupo Caicó, ou Complexo do Embasamento, consiste em migmatitos, gnaisses, anfibolitos e rochas graníticas do Arqueano Superior. O Grupo Seridó é dividido em três unidades: a Formação Jucurutu, basal, composta principalmente por biotita gnaisses com intercalações de biotita xisto, anfibolito, mármore, quartzito e rochas cálcio-silicáticas; a unidade mediana, Formação Equador, caracterizada por quartzitos, freqüentemente micáceos, e metaconglomerados; e a superior, Formação Seridó, composta de biotita xistos intercalados com quartzitos micáceos, metaconglomerados e marmores.

Diversos pesquisadores (Ebert 1969, Ferreira & Albuquerque 1969, Torres *et al.* 1973, Mello & Mello 1972, Brito-Neves 1975, entre outros) descreveram a evolução estrutural dessas rochas como relativamente simples: dobras abertas com plano axial subvertical a vertical cujos eixos se orientam a NNE–SSW, como a feição predominante nesta seqüência metapelítica.

Ries & Shackleton (1977), Sá (1977, 1978) e Salim (1979) reconheceram três fases de tectonismo nesta região. A primeira desenvolveu dobras recumbentes cujos eixos se orientam a NNE–SSW. O estágio subsequente foi coaxial com o anterior e produziu dobras abertas a apertadas com superfícies axiais subverticais a verticais e eixos com mergulhos de 10–15°NNE–SSW. No último evento, é evidenciada uma clivagem de fratura segundo N60E e E–W, com mergulhos subverticais, como resultado de um dobramento cruzado, gerando um padrão de domo-e-bacia na macroestrutura. Lima *et al.* (1980) classificaram tectonicamente a região do Seridó como cinturão móvel e verificaram três estágios de dobramentos na seqüência supracrustal: o primeiro gerou dobras isoclinais associadas com forte transposição; o seguinte foi responsável pela formação de dobras abertas com superfícies axiais verticalizadas e eixos segundo NNE–SSW, e o último estágio, de deformação, foi causado pela colocação dos diápiros graníticos.

Na área em estudo pelo menos duas fases de deformação regional são registradas pelas associações minerais dos metapelitos do Grupo Seridó. A primeira (F_n) produziu dobras isoclinais recumbentes, com eixos segundo NNE, enquanto o estágio de deformação subsequente gerou dobras abertas a fechadas. Localmente, são observadas dobras apertadas com superfície axial subvertical a vertical segundo NNE–SSW, com

* Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco. Av. Moraes Rego s/nº, CEP 50000, Recife, PE, Brasil

eixos mergulhando de 5 a 15°. Esta última fase representa as feições estruturais observadas em mapas regionais.

Foliação reliquiar de uma fase anterior é observada em algumas granadas. Esta foliação pretérita é preservada como inconformidades entre S_i e S_n presentes nos porfiroblastos de granada. Esta xistosidade (S_i) está provavelmente relacionada à primeira fase de deformação descrita por Sá (1984).

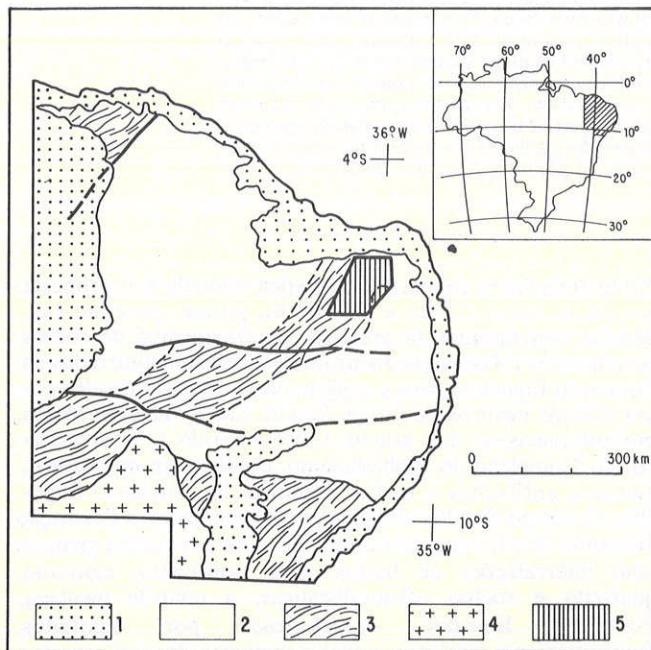


Figura 1 – Mapa de localização: 1. coberturas fanerozóicas; 2. áreas geradas ou retrabalhadas durante o Ciclo Brasiliense; 3. complexos do embasamento brasileiro; 4. áreas cratônicas; 5. área estudada

PETROGRAFIA Para se estabelecer a evolução termobarométrica da região, a seqüência supracrustal do Grupo Seridó foi escolhida por possuir associações de baixa variância (baixo grau de liberdade) e relações texturais apropriadas para tal estudo. Os micaxistos são os litótipos mais abundantes na região do Seridó, possuem uma textura lepidoblástica e as associações minerais incluem biotita, quartzo, plagioclásio, granada \pm cordierita \pm estaurolita \pm andaluzita/sillimanita \pm turmalina \pm muscovita \pm ilmenita \pm apatita \pm zircão. A tabela 1 apresenta uma síntese da cristalização mineral *versus* fases de deformação.

Biotita é a fase mineral mais abundante nessas rochas e registra duas fases de cristalização (deformação). A primeira geração de biotita é resultado do primeiro estágio de deformação-metamorfismo (F_n) enquanto a segunda geração de biotitas está associada ao segundo evento metamórfico (F_{n+1}). A composição química dessas biotitas são similares, com uma razão Mg/Mg+Fe aproximadamente 0,5 (Lima 1986). Isso sugere que as biotitas F_{n+1} se reequilibraram quimicamente durante a segunda fase de metamorfismo. Retrometamorfismo para clorita é observado, principalmente onde ocorre fraturamento intenso.

Granada ocorre como uma fase porfiroblástica e mostra também evidências texturais de duas fases de crescimento (Fig. 2). Feições texturais foram utilizadas para subdividir essas granadas em dois grupos principais. O primeiro inclui granadas cristalizadas durante a deformação F_n representadas por cristais subeudrais a euedrais (> 5 mm), que mostram

textura rotacional. A: granadas formadas no metamorfismo seguinte são subeudrais a euedrais com dimensões que variam de alguns milímetros a alguns centímetros e são praticamente livres de inclusões. Algumas granadas F_n sofreram reequilíbrio químico durante o metamorfismo seguinte (F_{n+1}). Isto é evidenciado por granada que mostra dois estágios de crescimento, na qual não há descontinuidade no perfil químico (Fig. 2b).

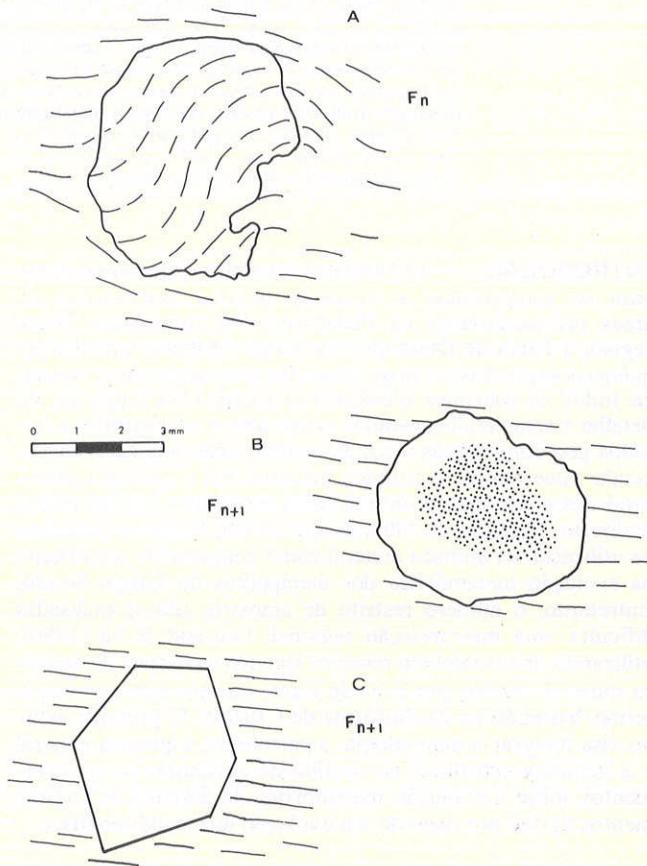


Figura 2 – Porfiroblastos de granada: a) granada tipo snowball cristalizada durante F_n ; b) granada recristalizada durante F_{n+1} ; c) granada cristalizada durante F_{n+1}

Plagioclásio (An₂₀₋₅₀) ocorre como cristais subeudrais a anedrais, formando faixas granoblásticas milimétricas juntamente com quartzo. Admite-se que o plagioclásio foi cristalizado durante F_n e reequilibrado para condições de P-T de F_{n+1} , desde que todas as análises químicas em uma mesma seção delgada mostrem composição uniforme.

Porfiroblastos de cordierita são comuns na parte central da área estudada. Textura poiquiloblastica é comum e, em geral, formam nódulos que sobressaem na superfície de xistosidade. Inclusões de biotita, quartzo, plagioclásio e opacos são comuns. Evidência textural indica que a coriderita é sin- a pós-tectônica à segunda deformação. Contudo, cordierita pode ter sido formada também num estágio tardio de F_n .

Estaurolita ocorre na parte oeste e nordeste da área estudada, tendo sido cristalizada durante F_n e recristalizada durante F_{n+1} . Ocorre como porfiroblastos euedrais a subeudrais e como cristais reliquias ao longo da foliação. Inclusões de quartzo e ilmenita são comuns.

Andaluzita e sillimanita são os silicatos de alumínio presentes nesses metapelitos. Andaluzita é o único silicato de alumínio presente a oeste da isógrada do desaparecimento da

Tabela 1 – Síntese da cristalização mineral versus deformação na Região do Seridó, Nordeste do Brasil

Estágio de deformação	F_n pré- sin- pós-	F_{n+1} pré- sin- pós-	F_t tardio
Mineral			
Quartzo	—	—	
Plagioclasio	—	—	
Biotita	—	—	
Muscovita	—	—	
Granada	—	—	
Estaurolita	—	—	
Cordierita	—	—	
Andaluzita	—	—	
Sillimanita	—	—	
Turmalina	—	—	
Clorita	—	—	
Hematita	—	—	
Foliação formada	S_n	S_{n+1}	clivagem de fratura
Foliação deformada	S_o	S_o, S_n	

estaurolita. Entretanto, a leste desta isógrada, tanto andaluzita quanto sillimanita estão presentes. Sillimanita ocorre como cristais prismáticos ou fibrosos. Sillimanita também é observada substituindo cordierita, provavelmente devido à reação cordierita = granada + sillimanita + quartzo.

Entre os minerais acessórios, turmalina é um dos mais abundantes. Ocorre como cristais euedrais, variando em tamanho de 1 a 5 mm segundo o eixo C. Cristais zonados são observados e esta zonação é reflexo de uma zonação química (Lima 1986). Ilmenita é o óxido de ferro mais comum e é observado como inclusões nos minerais porfiroblásticos e também como mineral matricial. Hematita, quando presente, está relacionada à oxidação de minerais ferromagnesianos. Muscovita é a única mica branca observada nas rochas estudadas. A quantidade de substituição celadonítica é baixa (< 6%) (Lima 1986). Duas populações de muscovita estão presentes: uma relacionada ao metamorfismo regional e outra como resultado de retrometamorfismo tardio. Clorita está presente como uma fase retrometamórfica, usualmente formada a partir da biotita.

GEOTERMOMETRIA E GEOBAROMETRIA As rochas metamórficas do Seridó, na área estudada, variam em grau metamórfico de fácies anfibólito baixo a alto. Esses metapelitos contêm associações minerais apropriadas para uma quantificação da temperatura e pressão durante o metamorfismo. De acordo com as relações texturais e os dados de análises químicas de minerais (Lima 1986), as associações minerais presentes na Formação Seridó se reequilibraram para condições metamórficas da fase F_{n+1} , de modo que as condições de P-T estimadas são associadas a este evento. A figura 3 mostra a localização das amostras analisadas.

Três equilíbrios independentes e dois dependentes da fase fluida foram utilizados na tentativa de avaliar a evolução termo-barométrica desta região. Diversas calibragens para cada equilíbrio foram utilizadas, de modo a comparar os resultados das diferentes propostas e testar a consistência interna dos mesmos. Foram utilizados:

1. Granada-biotita (Thompson 1976, Holdaway & Lee 1977, Goldman & Albee 1977, Ferry & Spear 1978, Hodges & Spear 1982, Pigage & Greenwood 1982)

2. Granada-cordierita-silicato de alumínio-quartzo (Thompson 1976, Holdaway & Lee 1977, Hutcheon *et al.* 1974).
3. Granada-estaurolita-silicato de alumínio-quartzo (Pigage & Greenwood 1982, Richardson 1968, Hutcheon 1969)
4. Granada-cordierita hidratada-silicato de alumínio-quartzo (Newton & Wood 1979, Lonker 1981, Martignole & Sisi 1981)
5. Granada-plagioclásio-silicato de alumínio-quartzo (Ghent 1976, Ghent *et al.* 1979, Newton & Haselton 1981, Hodges & Spear 1982).

A tabela 2 mostra as constantes termodinâmicas usadas pelos autores supracitados. A maior abundância do par granada-biotita permite uma boa estimativa da temperatura enquanto as associação granada-plagioclásio-silicato de alumínio-quartzo permite uma boa estimativa de pressão durante F_{n+1} para a área estudada. As outras associações são mais restritas, porém úteis para verificar a consistência interna do geotermômetro granada-biotita e do geobarômetro granada-plagioclásio. O uso desses geotermômetros admite que as associações minerais atingiram equilíbrio químico, pelo menos na escala de seção delgada (Lima 1986).

Geotermômetro granada-biotita Como a abundância e distribuição geográfica do par granada-biotita é maior que a do par granada-cordierita, o primeiro foi escolhido para estimar a temperatura durante o metamorfismo na região do Seridó. Seis equações distintas foram usadas para verificar a consistência dos diferentes equilíbrios termodinâmicos adotados pelos autores mencionados. A distinção básica entre essas calibragens está relacionada com a hipótese de idealidade de mistura ou não das soluções sólidas nas granadas e biotitas.

Thompson (1976), Holdway & Lee (1977) e Ferry & Spear (1978) admitem idealidade nessas soluções sólidas enquanto Goldman & Albee (1977), Hodges & Spear (1982), Pigage & Greenwood (1982) e Indares & Martignole (1985) tentaram minimizar o problema composicional aplicando correções para o comportamento não-ideal no equilíbrio biotita-granada. As equações que admitem idealidade nas soluções sólidas podem subestimar a temperatura de equilíbrio, uma vez que os sistemas naturais podem se desviar da idealidade. Ferry & Spear (1978) admitem a utilização das equações por ele propostas sem correções composticionais para a granada com $(X_{Mn} + X_{Ca}) < 0,2$ e biotita com $(X_{Al} + X_{Ti})^{vi} < 0,15$. A maioria das granadas analisadas possui $(X_{Mn} + X_{Ca}) < 0,2$ e nenhuma excede 0,3. As biotitas possuem $(X_{Al} + X_{Ti})$ próximo ou superior a 0,15. Entretanto, a variação de $(X_{Al} + X_{Ti})^{vi}$ é pequena; consequentemente este efeito – qualquer que seja sua magnitude – deve ser mais ou menos constante para toda a área estudada. As equações que corrigem o efeito compostional nas soluções sólidas granada e biotita (*i.e.* Mn e Ca em granada, e Al e Ti em biotitas) devem fornecer valores de temperatura mais próximos do equilíbrio atingido durante o metamorfismo.

Comparando os resultados obtidos (Tabs. 3 e 4), e usando as calibragens supracitadas, chega-se à conclusão de que nas associações minerais do Seridó os modelos que corrigem para a não-idealidade da solução sólida da granada e biotita superestimam a influência de Ca, Mn, Al^{vi} e Ti na reação de troca iônica entre granada e biotita. Apesar desses erros afetarem este equilíbrio, como é evidente pela correlação positiva entre Ti e Al^{vi} na biotita *vs.* temperatura (Lima 1986), a magnitude deste efeito não está completamente estabelecida. Só novos estudos experimentais podem fornecer elementos para um melhor entendimento dessa influência.

Como o modelo de Hodges & Spear (1982) corrige o efeito de Mn e Ca na granada e algumas granadas analisadas possuem $(X_{Mn} + X_{Ca}) > 0,2$, e pelo fato de as temperaturas estimadas estarem dentro do intervalo de erro admissível pelas experiências de Ferry & Spear (1978), este foi o modelo utilizado para calcular a temperatura de metamorfismo na

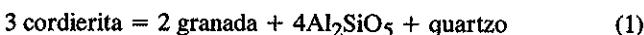
Tabela 2 - Parâmetros termodinâmicos usados no equilíbrio de fases no sistema pelítico

	ΔH°	ΔS°	ΔV°	Fonte
Alm = Phl = Ann + Py	12,454 5,443 6,150	4.6620 3.0997 3.9300	+0.057 -0.0465 +0.0246	Ferry & Spear (1978) Thompson (1976) Holdaway & Lee (1977)
3 An = Gro + 2Sill + Qz	-11,675 - 9,192	-32,429 -30,786	-1.578 -1.305	Ghent (1976) Newton & Haselton (1981)
3 An = Gro + 2And + Qz	-12,892 -11,205	-34,020 -32,220	-1.225 -1.220	Ghent (1976) Newton & Haselton (1981)
3Fe-Crd = 2Alm + 4Sill + 5Qz	5,415 6,150	1.78 2.69	0.0308 0.0330	Thompson (1976) Holdaway & Lee (1977)
3Fe-Crd + 25Qz = 3Alm + 6And + 12H ₂ O	1.571.113	18,387,67	-0.897	Hutcheon (1979)

ΔH° é em calorias; ΔS° é cal/deg.; e ΔV° é em cal/bar. Abreviações: An = anortita; Gro = grossularita; Sill = siliimanita; And = andaluzita; Qz = quartzo; Alm = almandina; Py = piropo; Ann = anita; Phl = flogopita; Crd = cordierita; e St = estaurólita

região do Seridó (Fig. 4).

Geobarometria A pressão durante o metamorfismo na região do Seridó pode ser estimada a partir dos seguintes equilíbrios:



O equilíbrio plagioclásio-granada-aluminossilicato-quartzo foi estudado experimentalmente por Hays (1967), Hariya & Kennedy (1968), Schimid *et al.* (1978) e Goldsmith (1980). Kretz (1959, 1964) foi um dos primeiros a propor este equilíbrio como um geobarômetro em potencial. Três calibragens do geobarômetro anortita-grossularita foram aplicados aos metapelitos da Formação Seridó. O barômetro foi empregado utilizando as constantes de equilíbrio de Ghent (1976), modificadas por Ghent *et al.* (1979). Ghent *et al.* (*op. cit.*) estimaram empiricamente o coeficiente de atividade, para corrigir o

$$(3 \log \gamma_{\text{gar}}^{\text{gar}} / \gamma_{\text{plag}}^{\text{plag}} = -0,4) \quad (3)$$

efeito da não-idealidade das soluções sólidas entre granada e plagioclásio.

Newton & Haselton (1981) calibraram esse geobarômetro usando dados experimentais determinados por Goldsmith (1980) e o diagrama de fase dos aluminossilicatos de Holdaway (1971). A não-idealidade da solução sólida granada foi analisada e a maior fonte de não-idealidade é a energia livre de interação ($W_{\text{Ca-Mg}}$) entre Ca-Mg. Eles admitiram a energia livre de interação entre Ca-Fe como sendo igual a zero, para granada com $X_{\text{Ca}} < 0,3$, o que é uma aproximação satisfatória para a maioria das composições naturais. Eles também admitiram $W_{\text{Fe-Mg}}$ como desprezível e que as interações entre Ca-Mg seriam muito maiores que o número de interações possíveis entre Ca-Fe. Estas considerações restrigem o uso desse barômetro a granadas com teores baixos de Mn. As granadas analisadas neste estudo possuem $X_{\text{Mn}} > 0,33X_{\text{Mg}}$, o que constitui uma fonte de incerteza nesta calibragem. A expressão da atividade para a anortita é baseada no *Al-avoidance model* de Kerrick & Darken (1975), como calculado por Newton *et al.* (1980).

Hodges & Spear (1982) reavaliaram este equilíbrio usando associações minerais da região do Monte Moosilauke, New Hampshire, e a calibragem de Newton & Haselton (1981). Eles estabeleceram novos valores para atividades das soluções

sólidas granada e plagioclásio, utilizando os dados de Ganguly & Kennedy (1974), e os parâmetros de interação dados por Newton & Haselton (1981) e Hodges & Spear (1982). Eles chegaram a seguinte expressão para a atividade da grossularita na granada:

$$a_{\text{gr}} = (X_{\text{gr}}) \exp((3300 - 1,5^\circ T)) (X_{\text{Py}} + X_{\text{Alm}} X_{\text{Py}} + X_{\text{Pv}} X_{\text{SP}}) / RT \quad (4)$$

Para plagioclásio, eles mostraram que, para ser consistente com os dados da região do Monte Moosilauke (condições de P-T do ponto tripla dos aluminossilicatos), o coeficiente de atividade da anortita no plagioclásio tem de ser igual a 2. Parâmetros compostionais e pressões estimadas são apresentados na tabela 3. Todas as equações geobarométricas foram calculadas simultaneamente com a equação geotermométrica de Hodges & Spear (1982).

O equilíbrio cordierita-granada-aluminossilicato-quartzo foi estudado por Hansen & Green (1970, 1971, 1972, 1973), Currie (1971, 1974), Hansen (1971), Wood (1973), Hutcheon *et al.* (1974), Holdaway (1976), Thompson (1976), Holdaway & Lee (1977), Newton & Wood (1979), Lonker (1981) e Martignole & Sisi (1981). Esses autores admitiram idealidade de solução entre granada-cordierita. A maior diferença entre essas calibragens se refere ao teor de H₂O na cordierita, pressão parcial de H₂O e atividade de H₂O durante o metamorfismo. Comparando pressões estimadas usando o equilíbrio cordierita-granada, com pressões calculadas pelo equilíbrio plagioclásio-granada, os valores que melhor se ajustam são aqueles em que $P_{\text{H}_2\text{O}} = a_{\text{H}_2\text{O}} < 1$. A calibragem de Martignole & Sisi (1981) sugere que a cordierita é hidratada e o número de moles de H₂O é aproximadamente 0,5, fornecendo uma fórmula Mg_{1,3}FeO_{0,7}Al₄Si₅O_{18-0,5}H₂O.

Entre os geobarômetros empregados, o de Newton & Haselton (1981) foi escolhido para representar as variações de pressão na região do Seridó, por utilizar dados termodinâmicos mais recentes, e fornecer resultados compatíveis com as associações minerais presentes nos xistos da Formação Seridó.

PROPAGAÇÃO DO ERRO Incertezas na composição das fases envolvidas ($\pm 2\%$ para elementos maiores e $\pm 10\%$ para elementos menores) nos cálculos de P-T geram incertezas nas estimativas de pressão e temperatura, além das inerentes aos cálculos termodinâmicos. Para os geotermômetros granada-biotita e granada-cordierita, o erro no cálculo da temperatura é menor que 15°C. Para o geobarômetro plagioclásio-granada-aluminossilicato-quartzo, o efeito compo-

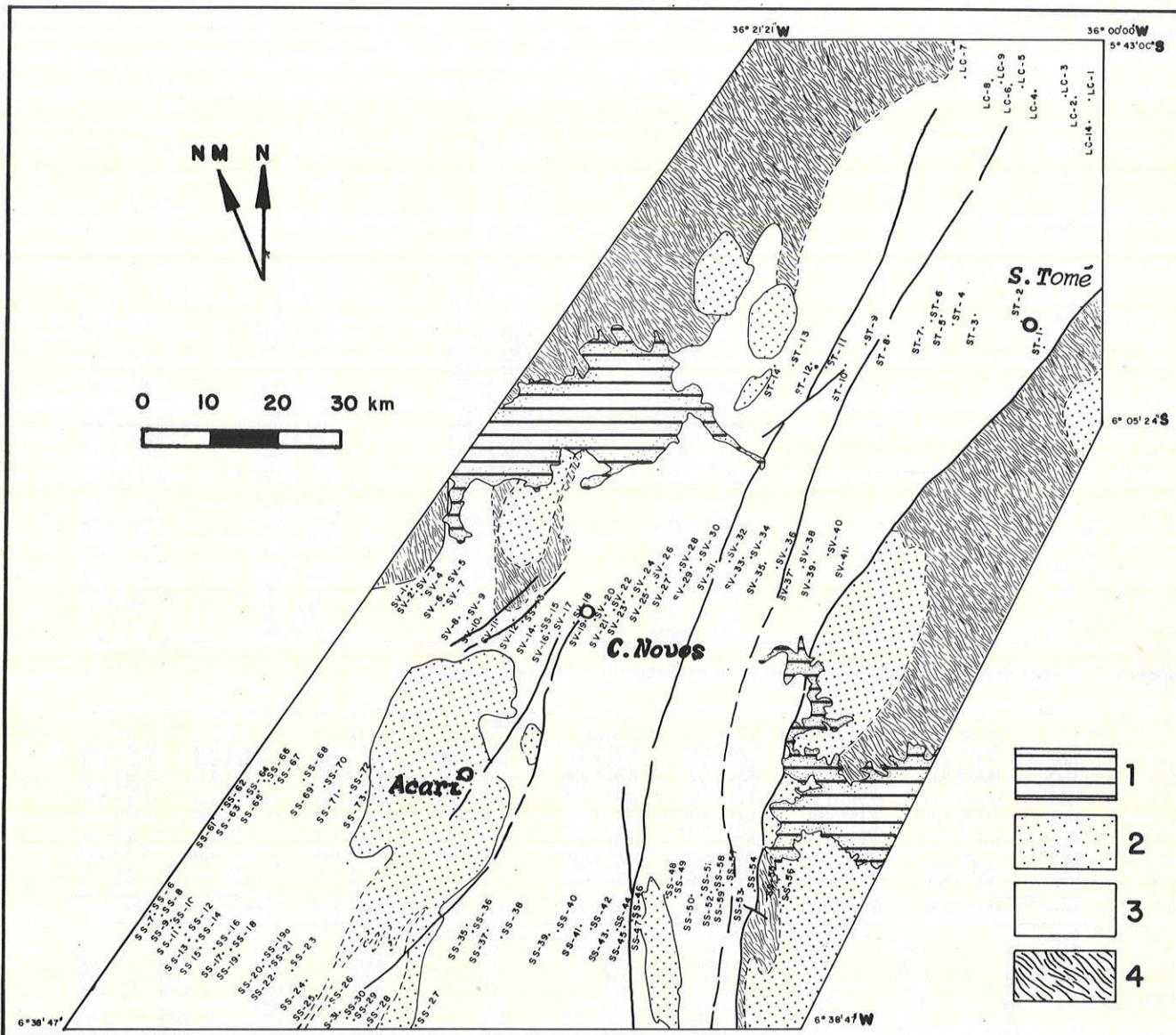


Figura 3 – Mapa de localização de amostras: 1. Formação Serra dos Martins: arenitos (Terciário); Precambriano; 2. Rochas graníticas; 3. Grupo Seridó: xistos, gnaisses, quartzitos; 4. Grupo Caicó: migmatitos

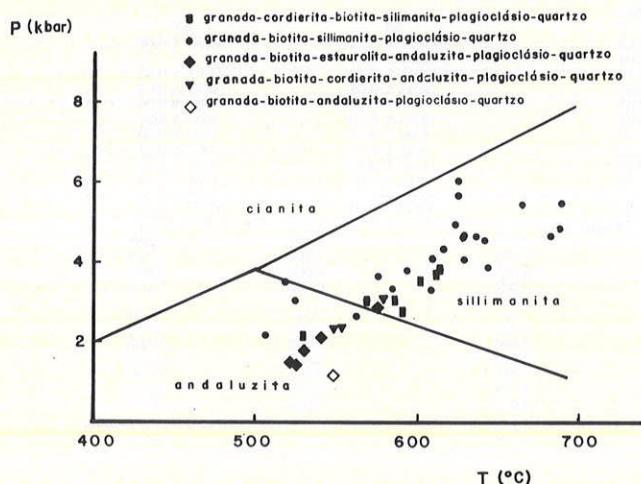


Figura 4 – Diagrama P-T mostrando as pressões e temperaturas estimadas para os metapelitos do Grupo Seridó, calculadas resolvendo-se simultaneamente o geobarômetro de Newton & Haselton (1981) e o geotermômetro de Hodges & Spear (1982)

nal gera um erro adicional de ± 250 bars. Conseqüentemente, os intervalos de erro para as estimativas de pressão e temperaturas mostradas na figura 4 são de $\pm 1,4$ kbar e 40°C , respectivamente.

CONCLUSÕES As estimativas de pressão e temperatura resolvendo-se simultaneamente o geotermômetro de Hodges & Spear (1982) e o geobarômetro de Newton & Haselton (1981) são apresentados na figura 4. Os resultados estão de acordo com o diagrama de fases do silicatos de alumínio, sugerindo que a suposição de equilíbrio químico é correta. Três amostras contendo sillimanita estão situadas dentro do campo de estabilidade da andaluzita. Entretanto, considerando-se o intervalo de erro ($\pm 40^\circ\text{C}$ e $\pm 1,4$ kbar) nas equações termobarométricas, esses pontos estão dentro do intervalo de pressão e temperatura esperado. A figura 5 mostra a distribuição das temperaturas e pressões na região do Seridó, baseada no dados obtidos usando-se o geobarômetro de Hodges & Spear (1982) e o de Newton & Haselton (1981). Tal distribuição mostra um acréscimo nas temperaturas e pressões durante o segundo estágio de deformação e metamorfismo de oeste para leste, alcançando um máximo ao longo da área central, e depois decrescendo para leste. O metamorfismo durante esse estágio alcançou o fácie anfibolito nas condições

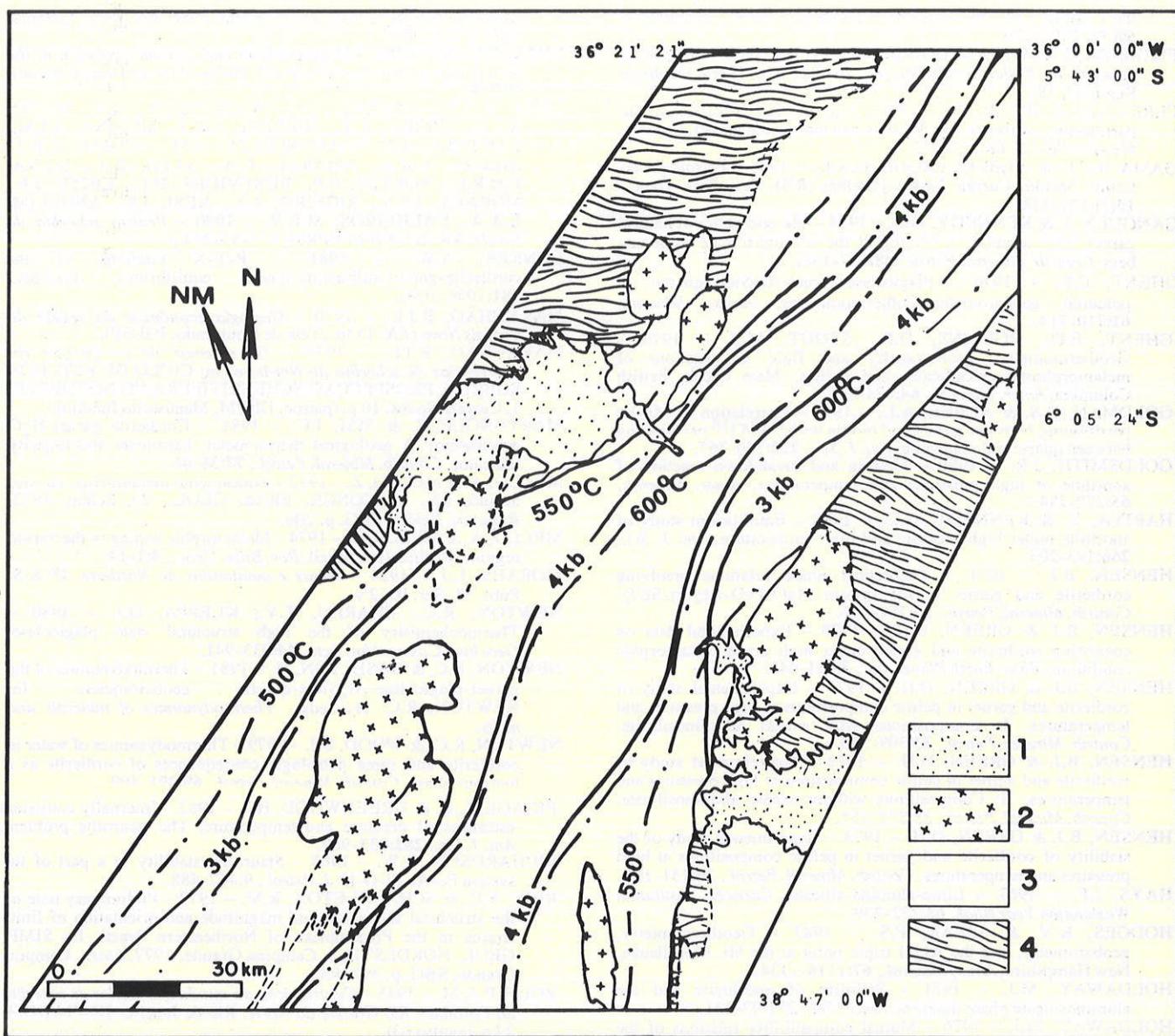


Figura 5 – Mapa geológico simplificado com a distribuição geográfica de temperaturas e pressões calculadas resolvendo-se simultaneamente o geobarômetro de Newton & Haselton (1981) e o geotermômetro de Hodges & Spear (1982)

de P-T da isograda da sillimanita, com gradiente metamórfico de campo variando de 30–40°C/km. Durante esse evento, $P_{H_2O} < P_{\text{total}}$, e a atividade de água foi provavelmente próximo a 0,5.

Agradecimentos Expressamos nossos agradecimentos ao professor W. G. Ernst (Department of Earth and Space

Sciences, UCLA), pela valiosa orientação durante o programa de doutorado, e ao professor A. N. Sial pelas críticas e sugestões; ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos, e ao Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco, pela oportunidade de realização do doutorado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRITSKY, G. & BUSH, K. – 1975 – *Erlauterungen zur geologischen karte des scheelitegebietes von Santa Luzia, NE, Brasilien*, 1:100.000. Bund für Geowissenschaften und Rohstoff Hannover, 34p.
- BRITO-NEVES, B.B. DE – 1975 – *Regionalização Geotectônica do Precambriano Nordestino*. IG-USP, 1987 p.
- BRITO-NEVES, B.B. DE – 1981 – O Ciclo Brasiliense no Nordeste Brasileiro. In: SIMP. GEOL. NORDESTE, 10, Recife, 1981. Atas... Recife, SBG, p. 329-339.
- BRITO-NEVES, B.B. DE – 1983 – *O mapa geológico do Nordeste Oriental do Brasil*, escala 1:1.000.000. São Paulo. 177 p. (Tese de Livre Docência, IGUSP).
- CRANDAL, R. – 1910 – *Geografia, geologia, suprimento d'água, transporte e aqüadagem nos estados orientais do Nordeste do Brasil: Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba*. Inspeção de Obras Contra Secas, 131 p (Boletim 4).
- CURRIE, K.L. – 1971 – The reaction $3 \text{ cordierite} = 2 \text{ garnet} + 4 \text{ sillimanite} + \text{quartz}$ as a geological thermometer in the Opinicon Lake Region, Ontario. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 33:215-226.
- CURRIE, K.L. – 1974 – A note on the calibration of garnet-cordierite geothermometer and geobarometer. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 44:35-44.
- EBERT, H. – 1955 – *Pesquisas no Polígono das Secas*. Rio de Janeiro, DNP, p. 79-85. (Relatório da Diretoria 1954).
- EBERT, H. – 1966 – A subdivisão estratigráfica e tectônica do Precambriano no Rio Grande do Norte e Paraíba. *Eng. Miner. Metal.*, 43(253):38-38.
- EBERT, H. – 1967 – Observações sobre a subdivisão estratigráfica e a idade do Pré-Cambriano no Nordeste Brasileiro. *Eng. Miner. Metal.*, 46(273):111-112.
- EBERT, H. – 1969 – *Geologia do Alto Seridó, nota explicativa e folha geológica de Currais Novos*. Recife, Sudene, 120 p. (Série Geologia Regional 11).
- EBERT, H. – 1970 – The Precambrian geology of the Borborema belt (states of Paraíba and Rio Grande do Norte, Northeastern Brazil) and

- the origin of its mineral resources. *Geol. Rundschau*, 59(3):1299-1326.
- FERREIRA, J.A.M. & ALBUQUERQUE, J.P.T. - 1969 - *Sinopse da geologia da Folha Seridó*. Recife, Sudene, 52p. (Série Geologia Regional, 18).
- FERRY, J.M. & SPEAR, F.S. - 1978 - Experimental calibration of the partitioning of the Fe and Mg between biotite and garnet. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 66:113-117.
- GAMA Jr., T. & ALBUQUERQUE, C.A.R. - 1985 - Petrologia do Grupo Seridó, Currais Novos-Parelhas (RN). *Rev. Bras. Geoc.*, 15(2):131-138.
- GANGULY, J. & KENNEDY, G.C. - 1974 - The energetics of natural garnet solid solution. I. Mixing of the aluminosilicate endmembers. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 48:137-148.
- GHENT, E.D. - 1976 - Plagioclase-garnet-Al₂SiO₅-quartz: A potential geobarometer-geothermometer. *Amer. Mineral.*, 61:710-714.
- GHENT, E.D.; ROBBINS, D.B.; STOUT, M.Z. - 1979 - Geothermometry, geobarometry and fluid compositions of metamorphosed calc-silicates and pelites, Mica Creek, British Columbia. *Amer. Mineral.*, 64:874-885.
- GOLDMAN, D.S. & ALBEE, A.L. - 1977 - Correlation of Mg-Fe partitioning between garnet and biotite with Ω_{18}/Ω_{16} partitioning between quartz and magnetite. *Am. J. Sci.*, 227:750-767.
- GOLDSMITH, J.R. - 1980 - Melting and breakdown reaction of anorthite at high pressures and temperatures. *Amer. Mineral.*, 65:272-284.
- HARIYA, Y. & KENNEDY, G.C. - 1968 - Equilibrium study of anorthite under high pressure and high temperature. *Am. J. Sci.*, 266:193-203.
- HENSEN, B.J. - 1971 - Theoretical phase relations involving cordierite and garnet in the system MgO-FeO-Al₂O₃-SiO₂. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 33:151-166.
- HENSEN, B.J. & GREEN, D.H. - 1970 - Experimental data on coexisting cordierite and garnet under high grade metamorphic conditions. *Phys. Earth Planet. Int.*, 3:431-440.
- HENSEN, B.J. & GREEN, D.H. - 1971 - Experimental study of cordierite and garnet in pelitic compositions as high pressures and temperatures. I: Compositions with excess aluminosilicate. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 33:309-330.
- HENSEN, B.J. & GREEN, D.H. - 1972 - Experimental study of cordierite and garnet in pelitic compositions at high pressures and temperatures. II: Compositions without excess aluminosilicate. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 35:331-354.
- HENSEN, B.J. & GREEN, D.H. - 1973 - Experimental study of the stability of cordierite and garnet in pelitic compositions at high pressures and temperatures. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 38:151-166.
- HAYS, J.F. - 1967 - Lime-alumina-silicate. *Carnegie Institution Washington Year Book*, 65:232-239.
- HODGES, K.V. & SPEAR, F.S. - 1982 - Geothermometry, geobarometry, and the Al₂Si triple point at the Mt. Moosilauke, New Hampshire. *Amer. Mineral.*, 67:1118-1134.
- HOLDAWAY, M.J. - 1971 - Stability of andalusite and the aluminosilicate phase diagram. *Am. J. Sci.*, 271:93-131.
- HOLDAWAY, M.J. - 1976 - Mutual compatibility relations of the Fe⁺-Mg-Al silicates at 800°C and 3kb. *Am. J. Sci.*, 276:282-308.
- HOLDAWAY, M.J. & LEE, S.M. - 1977 - Fe-Mg cordierite stability in high-grade pelitic rocks based on experimental theoretical and natural observations. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 63:175-198.
- HUTCHEON, I. - 1969 - Sulfide-oxide-silicate equilibria, Snow Lake, Manitoba. *Am. J. Sci.*, 279:643-665.
- HUTCHEON, I.; FROESE, E.; GORDON, T.M. - 1974 - The assemblage quartz-sillimanite-garnet-cordierite as an indicator of metamorphic conditions in the Rooly Bay Complex. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 44:29-34.
- INDARES, A. & MARTIGNOLE, J. - 1985 - Biotite-garnet geothermometry in the granulite facies. The influence of Ti and Al in biotite. *Am. Mineral.*, 70:272-278.
- JOHNSTON, JR. W.D. - 1944 - As minas de scheelite de Barra Verde, Barro Vermelho, Bodó e Cafuca, Rio Grande do Norte. *Min. Metal.*, 44:95-100.
- JOHNSTON, JR., W.D. & VASCONCELOS, F.M. - 1943 - *Tungsténio na Paraíba e Rio Grande do Norte*. Rio de Janeiro, NPM/DFPM, 37p. (Avulso 52).
- KERRICK, D.M. & DARKEN, L.S. - 1974 - Statistical thermodynamics models for ideal oxide and silicate solid solutions, with application to plagioclase. *Geochim. Cosmoch. Acta*, 39:1430-1442.
- KRETZ, R. - 1959 - Chemical study of garnet, biotite and hornblende from gneisses of Southwestern Quebec, with emphasis on distribution of elements in coexisting minerals. *J. Geol. Acta*, 67:371-402.
- KRETZ, R. - 1964 - Analysis of equilibrium in garnet-biotite-sillimanite gneisses from Quebec. *J. Petrol.*, 5:1-20.
- LEGRAND, J.M. & SÁ, J.M. - 1986 - Geotermometria, geobarometria e a zonação metamórfica do sinforme de Cruzeta, RN, Brasil. In: *Rev. Bras. Geoc.*, 16(2):131-142.
- CONGR. BRAS. GEOL., 34, Goiânia, 1986. *Bol. Res...* Goiânia, SBG, v.1, p. 155.
- LIMA, E.S. de - 1986 - *Metamorphism and tectonic evolution in the Seridó region, Northeastern Brazil*. 208 p. (Tese de Doutoramento, UCLA).
- LIMA, E.A.M., TORRES, A.G., WANDERLEY, A.A., BRITO, A.L.F., VIEIRA, A.T., PEREIRA, A.C.S., MEDINA, A.I.M., BARBOSA, A.J., VASCONCELOS, A.M., AGUIAR, C.B.J., JAEGER, C.R.S., AMARAL, C.A., SATO, E.Y., SILVA, E.H.R.O., FORTES, F.P., BENEVIDES, H.C., LEITE, J.F., MORAES, J.F.S., RIGEIRO, J.A., NESI, J.R., ANGELIM, L.A.A., CALHEIROS, M.E.V. - 1980 - *Projeto scheelita do Seridó*. Recife, DNPM/CPRM, v. 1-5, 1284 p.
- LONKER, S.W. - 1981 - P-T-X relations of the cordierite-garnet-sillimanite-quartz equilibrium. *Am. J. Sci.*, 281:1056-1090.
- MARANHÃO, R.J.L. - 1970 - *Geologia econômica da região de Currais Novos RN*. 153p. (Tese de Doutorado, IGUSP).
- MARANHÃO, R.J.L. - 1978 - Os sistemas de prospecção em ocorrências de scheelite do Nordeste. In: *CICLO DE ESTUDOS SOBRE A PROSPECÇÃO SCHEELITÍFERA NO NORDESTE*, 1, Currais Novos. 10 p. (patroc. DNPM, Manuscrito Inédito).
- MARTGNOLE, J. & SÍSI, J.C. - 1981 - Cordierite-garnet-H₂O equilibrium: A geological thermometer, barometer and fugacity indicator. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 77:38-46.
- MELLO, A. & MELLO, Z. - 1972 - Zoneamento metamórfico no Alto Seridó, RN. In: CONGR. BRAS. GEOL., 26, Belém, 1972, *Resumos*. Belém, SBG, p. 206.
- MELLO, A. & MELLO, Z. - 1974 - Metamorphic zoning in the Seridó region, Northeastern Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, 4:1-14.
- MORAES, L.J. - 1924 - *Serras e montanhas do Nordeste*. IFOCS, Publ. 58, Ser. ID, 2 v.
- NEWTON, R.C.; CHARLU, T.V.; KLEPPA, O.J. - 1980 - Thermochemistry of the high structural state plagioclase. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44:933-941.
- NEWTON, R.C. & HASELTON, H. - 1981 - Thermodynamics of the garnet-plagioclase-Al₂SiO₅-quartz geobarometer. In: NEWTON, R.C. et al. eds. *Thermodynamics of minerals and melts*.
- NEWTON, R.C. & WOOD, B.J. - 1979 - Thermodynamics of water in cordierite and some petrologic consequences of cordierite as a hydrous phase. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 68:391-409.
- PIGAGE, L.C. & GREENWOOD, H.J. - 1982 - Internally consistent estimates of pressure and temperature: The staurolite problem. *Am. J. Sci.*, 282:933-969.
- RICHARDSON, S.W. - 1968 - Staurolite stability in a part of the system Fe-Al-Si-O-H. *J. Petrol.*, 9:467-488.
- RIES, A.C. & SCHACKLETON, R.M. - 1977 - Preliminary note on the structural sequences and magnitude and orientation of finite strains in the Precambrian of Northeastern Brazil. In: SIMP. GEOL. NORDESTE, 8, Campina Grande, 1977, *Atas...* Campina Grande, SBG, p. 397-400.
- ROLF, P.A.M. - 1945 - *Contribuição ao estudo das jazidas de scheelite da Paraíba e Rio Grande do Norte*. Rio de Janeiro. DNPM/DGM, 27 p. (avulso 63).
- SÁ, E.F.J. de - 1977 - A idade e natureza das faixas dobradas do Nordeste: Comentários preliminares. In: SIMP. GEOL. NORDESTE, 8, Campina Grande, 1977, *Resumos...* Campina Grande, SBG, p. 61.
- SÁ, E.F.J. de - 1978 - *Evolução tectônica da Região do Seridó*: Síntese preliminar, problemas e implicações. In: CICLO DE ESTUDOS SOBRE PROSPECÇÃO DE SCHEELITA NO NORDESTE, 1, Currais Novos. 14p.
- SÁ, E.F.J. de - 1984a - A evolução proterozoica da Província da Borborema. In: SIMP. GEOL. NORDESTE, 12, Natal, 1984, *Atas...* Natal, SBG, p. 1-19.
- SÁ, E.F.J. de - 1984 - Geologia da Região do Seridó: Reavaliação dos dados. In: SIMP. GEOL. NORDESTE, 12, Natal, 1984, *Atas...* Natal, SBG, p. 20-38.
- SÁ, E.F.J. de & SALIM, J. - 1978 - Reavaliação dos conceitos estratigráficos na região do Seridó (RN-PB). In: CONGR. BRAS. GEOL. 30, Recife, 1978, *Boletim...* Recife, SBG, p. 125.
- SALIM, J.; AGUIAR, A.P.; VEIGA, J.P. - 1978 - Mineralização de tungstênio na Serra do Feiticeiro, Lages, RN, Natal, UFRN. *Rev. Ciência*, 1(1):59-67.
- SALIM - 1979 - *Geologia e controles das mineralizações scheelíticas da região da Serra do Feiticeiro e Bonfim*. 106 p. (Tese de Mestrado, UNB).
- SANTOS, E.J. - 1973 - Província scheelítifera do Nordeste. In: CONGR. BRAS. GEOL., 27, Aracaju, 1973, *Roteiros...* Aracaju, SBG, p. 31-46.
- SCHIMID, R.; CRESSEY, G.; WOOD, B.J. - 1978 - Experimental determination of univariant equilibria using divariant solid solution assemblages. *Am. Mineral.*, 63:511-515.
- THOMPSON, A.B. - 1976 - Mineral reaction in pelitic rocks: II. Calculation of some P-T-X (Fe-Mg) relations. *Am. J. Sci.*,

- 276:425-454.
 TORRES, H.F. & ANDRADE, V.A. - 1975 - *Projeto Jardim do Seridó*. Recife, CNEN/CPRM, v. 1 (Rel. final).
 TORRES, H.F. - 1973 - *Projeto Tungstênio-Molibdênio*. Recife, DNPM/CPRM, (Rel. Final).
 WOOD, B.J. - 1973 - Fe^{2+} - Mg^{2+} partition between coexisting

cordierite and garnet - a discussion of the experimental data. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 40:253-258.

MANUSCRITO 452
 Recebido em 15 de abril de 1987
 Revisão aceita em 25 de setembro de 1987

NOTÍCIAS

SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS DE DOBRAMENTOS PRÉ-CAMBRIANOS

Belém, PA, 6 a 13 de novembro de 1988

O Programa Internacional da Litosfera (*The International Lithosphere Program – ILP*) está organizando um simpósio sobre Sistemas de Dobramentos Pré-Cambrianos (Precambrian Foldbelts) durante a realização do VII Congresso Latino-Americano de Geologia, em Belém-Pará, de 6 a 13 de novembro de 1988.

Este simpósio envolverá trabalhos pertinentes à evolução tectonometamórfica de Sistema de Dobramento do Pré-Cambriano, nos seus diferentes tipos e idades, bem como o estudo dos processos geodinâmicos envolvidos. Trabalhos de regionalização geotectônica e geologia estrutural são bem vindos, assim como outros estudos complementares de geofísica, geoquímica, geologia isotópica etc. interessantes ao tema.

Presentemente, na função de coordenadores deste

simpósio estão Benjamin Bley de Brito-Neves (DGG-IG-USP, Brasil) e Paul Hoffmann (G.S.C./Ontário, Canadá). O primeiro *convenor* cuidará, a princípio das providências e conexões nacionais necessárias, e o outro *convenor* já vem cuidando dos mesmos aspectos na área internacional.

As primeiras manifestações de grande interesse no tema já começaram a chegar ao grupo organizador, tanto do Brasil como de outros países (Canadá, França, África etc.), tudo indicando que o Simpósio será bastante profícuo, em vários aspectos.

Maiores informações poderão ser obtidas com Prof. Benjamin Bley de Brito-Neves, DGG – Instituto de Geociências da USP, Caixa Postal 20899, CEP 01498, São Paulo, SP, Brasil.

...Criar condições permanentes para que a ciência básica possa avançar significa garantir que suas aplicações sejam feitas sem necessidade de copiar e transferir indiscriminadamente a tecnologia de que o país tem necessidade. Poderemos, assim, deixar de ficar indefinidamente atrelados aos grandes centros mundiais, que só conseguiram o destaque que têm porque souberam, no momento exato, consolidar suas bases científicas.

SBPC, 1987, proposta para a Constituinte