



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE MINERAÇÃO E GEOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS

VANDICK MEDEIROS FERREIRA

**"CAULINITA E CAULINS DE PEGMATITOS DA
BORBOREMA-SERIDÓ NOS ESTADOS DA PARAÍBA E
RIO GRANDE DO NORTE - COMPOSIÇÕES E ORIGEM."**

CAMPINA GRANDE/PB

2003

CGRC_DS

VANDICK MEDEIROS FERREIRA

**CAULINITA E CAULINS DE PEGMATITOS DA
BORBOREMA-SERIDÓ NOS ESTADOS DA PARAÍBA E
RIO GRANDE DO NORTE - COMPOSIÇÕES E ORIGEM**

Dissertação de Mestrado apresentada à
Coordenação do Curso de Pós-Graduação
em Engenharia de Minas da Universidade
Federal de Campina Grande como parte das
exigências para obtenção do Grau de Mestre.

Área de Concentração: **GEOLOGIA DE MINAS**

Orientador: **Prof. Dr. REINHARD RICHARD WEGNER**

Campina Grande/PB

2003



F383c

Ferreira, Vandick Medeiros.

Caulinita e caulins de pegmatitos da Borborema-Seridó nos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte : composições e origem / Vandick Medeiros Ferreira. - Campina Grande, 2003.

81 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2003.

"Orientação : Prof. Dr. Reinhard Richard Wegner".
Referências.

1. Caulinita e Caulim - Engenharia de Minas. 2. Geologia - Borborema - Seridó. 3. Pegmatitos. 4. Dissertação - Engenharia de Minas. I. Wegner, Reinhard Richard. II. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 622:552.525(813.3+813.2)(043)

VANDICK MEDEIROS FERREIRA

**CAULINITA E CAULINS DE PEGMATITOS DA
BORBOREMA-SERIDÓ NOS ESTADOS DA PARAÍBA E
RIO GRANDE DO NORTE - COMPOSIÇÕES E ORIGEM**

Aprovado em 29 de abril de 2003

COMISSÃO EXAMINADORA



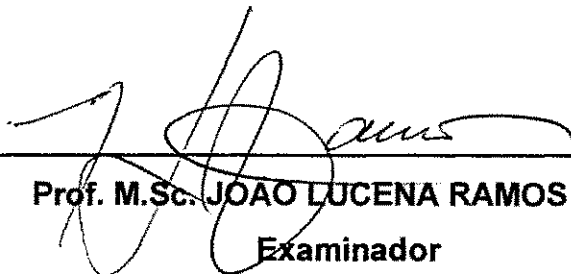
Prof. Dr. REINHARD RICHARD WEGNER

Orientador



Prof. Dr. TUMKUR RAJARAO GOPINATH

Examinador



Prof. M.Sc. JOAO LUCENA RAMOS NETO

Examinador

*"Este trabalho é dedicado a todos os
que com vontade firme empenham-se
na conquista de um ideal."*

Padre Nivaldo Monte

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Reinhard Richard Wegner por sua orientação segura, objetiva, dedicada e paciente.

Ao Sr. Dipl. Min. Uwe König por sua inestimável colaboração executando as análises químicas e difractométricas das amostras.

À Direção do "Institut für Mineralogie, Geochemie und Geiseltalmuseum" – Halle/Saale, República Federativa da Alemanha por permitir que as amostras fossem analisadas gratuitamente.

Ao meu irmão Professor José Aderaldo de Medeiros Ferreira por sua colaboração sempre pronta e esclarecedora.

Ao Professor Dr. Aarão de Andrade Lima (Coordenador do Curso de Pós-Graduação) e aos demais professores da área de concentração "Geologia de Minas" por terem ministrado suas disciplinas com clareza.

Aos colegas do Curso, especialmente a Alcides Ramos de Brito e a José Ferreira Tavares por toda a ajuda e amizade fraternas.

À Maria do Carmelo M. Coutinho, secretária do mestrado, por sua presteza ao atender os nossos pleitos.

A João da Costa Lima e José Sérgio Abrantes Furtado, por suas colaborações na digitação e organização desta pesquisa.

Às senhoritas Maria de Lourdes S. M. Araújo e Ijanete de Andrade Ferreira pelas correções léxico-gramaticais.

À minha esposa Lígia e à minha filha Sandra por toda a paciência e pelo incentivo constante em todas as etapas deste trabalho.

Aos meus pais – que DEUS os tenha a seu serviço! – que nos fizeram estudar a fim de que possuíssemos um bem inestimável, "o saber".

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para que esta pesquisa chegasse ao fim.

E a DEUS por nos dar a vida e coragem para vencer obstáculos.

Os nossos mais sinceros

Agradecimentos

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS E DIFRATOGRAMA

LISTA DE FOTOS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 GEOLOGIA DA REGIÃO DA BORBOREMA-SERIDÓ.....	15
2.1.1 Considerações Gerais.....	15
2.1.2 Estratigrafia Geral das Rochas da Borborema-Seridó.....	16
2.2 PEGMATITOS GRANÍTICOS – ASPECTOS GERAIS.....	20
2.3 PROVÍNCIA PEGMATÍTICA DA BORBOREMA-SERIDÓ.....	25
2.3.1 Classificação dos Pegmatitos da Província Pegmatítica Borborema-Seridó... 27	
2.4 ANOTAÇÕES GERAIS SOBRE O CAULIM E A CAULINITA.....	29
2.4.1 Aspectos Químico-Mineralógicos.....	29
2.4.2 O subgrupo das caulinitas.....	29
2.4.2.1 Propriedades químicas, físicas e cristalográficas da caulinita.....	31
2.4.3 O subgrupo das serpentinas.....	33
2.5 OCORRÊNCIAS DE CAULIM.....	34
2.5.1 Formação de Caulim.....	34
2.5.2 Caulim nos Pegmatitos da Borborema-Seridó.....	36
2.5.3 O Caulim no Brasil.....	37
2.5.4 O Caulim no Mundo.....	39
2.5.5 Principais Aplicações Industriais do Caulim.....	41
3 MATERIAIS E MÉTODOS	43
3.1 COLETA DAS AMOSTRAS.....	43
3.2 ATIVIDADES DE LABORATÓRIO.....	45
3.2.1 Preparo da Amostra de Feldspato para Análise Química.....	45
3.2.2 Preparo da Amostra de Caulim para Análise Química.....	46
3.2.3 Determinação gravimétrica de Perda ao Rubro.....	47

3.3 BREVE DESCRIÇÃO DOS PEGMATITOS FONTES DAS AMOSTRAS ESTUDADAS	48
3.3.1 Alto Brenan.....	48
3.3.2 Alto Mamões	50
3.3.3 Pegmatito Quintos de Baixo.....	52
3.3.4 Alto Boqueirão (Alto da Cabeça).....	55
3.4 ESTUDOS BIBLIOGRÁFICOS.....	56
4 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS	57
4.1 ANÁLISES DIFRATOMÉTRICAS DE RAIOS-X.....	57
4.2 RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS.....	63
4.2.1 Elementos Essenciais	66
4.2.2 Elementos Traços	67
CONCLUSÕES	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

LISTA DE FIGURAS E DIFRATOGRAMAS

Figura 1 – Delimitação da Província Pegmatítica da Borborema – NE do Brasil	15
Figura 2 – Granito Gráfico, Hybla, Ontário. Quartzo Escuro, Feldspato Claro	21
Figura 3 – Esboço do pegmatito, mostrando as zonas I a IV	23
Figura 4 – Desenho em diagrama mostrando (a) tetraedro SiO_4 isolado e (b) estrutura em folha dos tetraedros dispostos em uma rede hexagonal denominada “Siloxana”	31
Figura 5 – Desenho em diagrama mostrando (a) unidade octaédrica isolada e (b) de folha de unidades octaédricas, tipo gibbsita (AlOOH).....	32
Figura 6 – Desenho em diagrama da estrutura completa das duas folhas que formam a caolinita.....	32
Figura 7 – Reserva Brasileira de Caulim (2.467.965.937 t).....	37
Figura 8 – Produção Brasileira de Caulim (Bruta = 3.740815t; Beneficiada = 1.639.673t).....	38
Figura 9 – Exportação do Setor Mineral – 2000 (Bens Primários)	39
Figura 10 – Reservas Mundiais de Caulim (14.200.000.000 t).....	40
Figura 11 – Produção mundial de Caulim (22.000.000 t).....	40
Figura 12 – Exportação brasileira de caulim (TOTAL = 1.392.722 t)	41
Figura 13 – Principais países compradores do caulim brasileiro.....	41
Figura 14 – Localização e vias de acesso dos pegmatitos estudados.....	44
Difratograma 1 – Difratograma da amostra Brenan (Pegmatito Alto Brenan), mostrando presença de caulinita, muscovita e quartzo (PHILIPS X’PERT, Universidade de Halle/Alemanha).....	59
Difratograma 2 – Difratograma da amostra Mamões (Pegmatito Alto Mamões), mostrando presença de caulinita, muscovita e quartzo (PHILIPS X’PERT, Universidade de Halle/Alemanha).....	60
Difratograma 3 – Difratograma da amostra Quintos (Pegmatito Baixo dos Quintos), mostrando presença de caulinita, muscovita, quartzo e albita (PHILIPS X’PERT, Universidade de Halle/Alemanha).....	61
Difratograma 4 – Difratograma da amostra Boqueirão (Pegmatito Alto Boqueirão), mostrando presença de albita, caulinita e muscovita (PHILIPS X’PERT, Universidade de Halle/Alemanha).....	62

LISTA DE FOTOS

- Foto 1 – Vista em direção sul do pegmatito Brenan, mostrando os contatos do pegmatito com o quartzito. O pegmatito está na parte central da foto..... 49
- Foto 2 – Vista em direção norte do pegmatito Brenan (espessura aprox. 10 m)..... 49
- Foto 3 – Vista do centro do pegmatito Alto Mamões, mostrando o núcleo de quartzo e figuras negativas de microclínio na superfície do quartzo (vista na direção sul) 51
- Foto 4 – Vista na direção norte no centro do pegmatito Mamões, mostrando o feldspato transformado em caulim (branco)..... 51
- Foto 5 – Vista da parte mais sul do pegmatito Quintos de Baixo mostrando instalações e acumulações de rejeitos 53
- Foto 6 – “Galeria” de turmalina elbaíta em arranjo radial dentro de corpo de substituição no interior do pegmatito Quintos de Baixo 54
- Foto 7 – Vista detalhada de turmalinas elbaítas azuis no interior do pegmatito Quintos de Baixo..... 54
- Foto 8 – Vista central do corpo pegmatítico do Alto Bolqueirão 56

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – QUADRO COMPARATIVO ENTRE ALGUNS MODELOS ESTRATIGRÁFICOS PORPOSTOS PARA A REGIÃO DO SERIDÓ	19
TABELA 2: SUBDIVISÃO DOS DIFERENTES CAULINS EM FUNÇÕES PRIMÁRIAS E APLICAÇÕES ESPECÍFICAS	42
TABELA 3 – RESULTADOS DE ANÁLISES COM ICP-MS DE ELEMENTOS ESSENCIAIS DE AMOSTRAS DOS QUATRO PEGMATITOS ESTUDADOS (VALORES EM % DE ÓXIDOS E PERDA AO RUBRO (PR%) GRAVIMÉTRICO.	64
TABELA 4 – CONTEÚDOS EM ELEMENTOS TRAÇOS DE DOIS FELDSPATOS DO ALTO BOQUEIRÃO – DADOS EM PPM (ANÁLISES COM ICP-MS – UNIVERSIDADE DE HALLE/ALEMANHA)	65

RESUMO

Os estudos apresentados foram realizados visando um melhor conhecimento dos caulins da região da Borborema-Seridó (Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, Brasil) e constam de: uma exposição detalhada da preparação das amostras para análise; uma breve revisão da geologia geral e dos pegmatitos, bem como dos pegmatitos da região (alguns deles caulinizados) seguida de descrição pormenorizada dos pegmatitos focalizados nessa pesquisa; um exame mineralógico do grupo das caulinitas-serpentininas enfatizando a caulinita e a sua estrutura cristalográfica com os seus possíveis processos de formação; uma mostra sobre as ocorrências de caulim/caulinita no Nordeste Brasileiro, no Brasil e no exterior, com suas principais aplicações industriais. Depois foram apresentados os resultados das análises químicas (ICP-MS) e difratométricas (RAIOS-X) executadas, evidenciando os conteúdos dos elementos Li, Ti, Cr, Cu, Ba, Sr, Bi, Nb e Tl encontrados nas amostras do Alto Boqueirão (ALTO DA CABEÇA). No final, o trabalho, sempre acompanhado de estudos bibliográficos, foi concluído apresentando como possível causa da formação dos caulins-caulinitas estudados, águas superficiais descendentes.

Palavras-Chave: 1. Pegmatito

2. Caulim

ABSTRACT

It is in the scope of the present study to contribute to a better knowledge of the kaolins, which occurs in the States of Paraíba and Rio Grande do Norte, NE-Brazil (Borborema-Seridó Province). Sample collection and their cautious preparation for chemical analyses is reported. A brief review of the regional geology includes the principle stratigraphical units of the area in focus. A general summary of granite pegmatites and the pegmatites present in the Borborema-Seridó Province is added. Special attention is given to the mineralogy of the kaolinite-serpentine mineral group, with emphasis to the crystallographical peculiarities of the caulinite members. The transformation of feldspar into kaolinite is reviewed and completed by a short summary of the principle kaoline occurrences in Brazil and worldwide, including the importance, export and technical applications of caulinite. X-ray powder-diffractions and chemical analyses have been carried out on a number of samples and their results are discussed, given emphasis to the elements Li, Ti, Cr, Cu, Ba, Sr, Bi, Nb and Tl and their possible signification is explained. The controversy of the formation of the kaolinite, whether ascend or descend is considered and their origin by descending, saliferous groundwater is favored. The study is completed by a short remark on the morphological characteristics of the pegmatites with regard to kaolinization and the possible velocity of their formation. Detailed consulting of the literature accompanied all stages of the present study.

Key-words: 1. Pegmatite 2. Caulin

1 INTRODUÇÃO

Nas proximidades do Junco do Seridó no Estado da Paraíba (estrada federal BR-230) ou entre os municípios de Equador e Parelhas, ambos no vizinho Estado do Rio Grande do Norte (estrada estadual RN-086) observa-se grande quantidade de uma substância branca extraída de pequenos garimpos, que cobre parcialmente a vegetação daquelas paragens.

Observando isso, surge uma pergunta: não seria aquele manto branco (caulim/caulinita ou o rejeito do seu beneficiamento) portador de algum elemento químico prejudicial ao homem ou ao meio ambiente?

Utilizando razoável bibliografia disponível no LAM – Laboratório de Análises Minerais e no GENOR – Centro Gemológico do Nordeste, vinculados ao DMG – Departamento de Mineração e Geologia do CCT – Centro de Ciências e Tecnologia da UFCG – Universidade Federal de Campina Grande bem como na sua Biblioteca Central na CDRM – Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais do Estado da Paraíba; no DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral (15ª Divisão – Campina Grande/Paraíba); na Universidade Federal do Pará; na Universidade de Halle/Alemanha e através da Internet, o autor desse trabalho, preocupado quanto a um possível impacto ambiental, resolveu investigar a questão analisando os conteúdos dos componentes essenciais e acessórios (elementos menores e elementos-traços) de amostras de caulins/caulinitas e dos feldspatos que lhes deram origem em quatro pegmatitos da província pegmatítica Borborema-Seridó encravada na porção mediana e limítrofe dos Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, visando não somente contribuir para um melhor conhecimento dos caulins/caulinitas dessa região mas procurando encontrar soluções para o problema (se ele, de fato, existisse) ou, pelo menos, minimizar os seus efeitos.

OBJETIVOS

A presente dissertação tem como meta principal estudar detalhadamente amostras de caulim e de feldspatos de diversas ocorrências, situadas nos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. Nela, serão abordadas três questões principais:

- análises geoquímicas e difratométricas dessas amostras, bem como os seus significados geológicos;
- com os dados obtidos no decorrer dos estudos, discutir as possíveis origens dos caulins: se de formação descendente ou ascendente;
- baseados nos dados coletados, estimar e discutir questões ambientais referentes a uma possível poluição e/ou contaminação nos arredores das mineradoras desse bem mineral.

De modo geral, essa dissertação pretende oferecer à sociedade científico-geológica melhor conhecimento dos caulins da mencionada região, de forma que se possa compará-los com os de outras ocorrências no Brasil e no exterior.

JUSTIFICATIVA

Partindo de Campina Grande em direção ao oeste da Estado da Paraíba pela BR-230, ao passar pelo município de Junco do Seridó, observa-se grande quantidade de um mineral branco, minerado em vários pequenos garimpos e beneficiado pela empresa Lavras Santo Amaro Ltda. Saindo dessa rodovia em direção ao norte, passando pelos municípios de Equador e Parelhas, ambos no Estado do Rio Grande do Norte, observam-se outros pequenos garimpos e beneficiadoras do mesmo mineral (caulinita/caulim).

Surge, então, a preocupação quanto a um possível impacto ambiental durante a extração ou no beneficiamento do caulim, comprometendo uma região já castigada por freqüentes épocas de estiagem e com atividades agropecuárias de difíceis condições.

Mesmo com alguns estudos realizados (por exemplo, GOPINATH, SCHUCKMANN, 1989; GOPINATH, MUNIZ, SILVA, 1990), nota-se grande déficit de dados geoquímicos detalhados, para melhor entender o processo da formação de

caulim e sua composição, abordando questões mineralógicas e geoquímicas, bem como aspectos ambientais durante sua extração e seu beneficiamento.

Esta dissertação, pois, pretende contribuir para o conhecimento do caulim e da caulinita na região da Borborema nos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GEOLOGIA DA REGIÃO DA BORBOREMA-SERIDÓ

2.1.1 Considerações Gerais

A área pegmatítica abrange aproximadamente um total de 7.000 km² (200 km de extensão por 35 km de largura), entre as coordenadas geográficas 5°30'S e 7°S de latitude e 36°W e 37°W de longitude. (Figura 1)

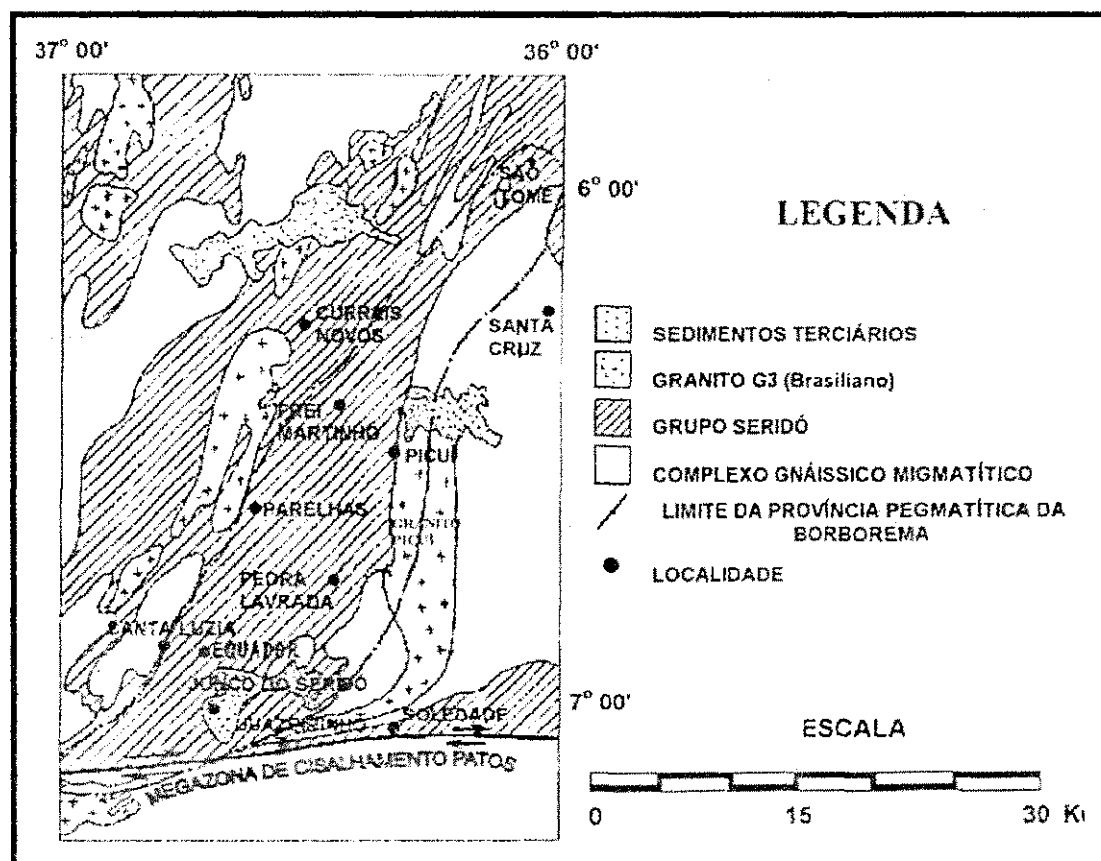


Figura 1 – Delimitação da Província Pegmatítica da Borborema – NE do Brasil
Fonte: Modificado de BRASIL, DNPM & Dantas (1984).

Geologicamente, os pegmatitos ocorrem como diques tardia pós-tectônicos, relacionados à orogênese brasileira (640 – 580 Ma). (BRITO NEVES et al., 2000, p. 176).

A geologia da região é dominada por uma seqüência de rochas supracrustais (metassedimentos e metavulcânicas), metamorfizadas nos fácies, xisto verde e anfibolito, denominada de "Grupo" ou "Complexo Seridó", de idade proterozóica inferior. Esta unidade repousa sobre um embasamento gnáissico arqueano, "Complexo Caicó", e ambos cortam uma sucessão de rochas graníticas proterozóicas, as mais antigas das quais gnaissificadas durante a orogênese transamazônica. Os corpos mais jovens, com texturas melhor preservadas, constituem a maioria dos maciços mapeados na região, sendo de idade brasileira. (JARDIM DE SÁ, 1984).

2.1.2 Estratigrafia Geral das Rochas da Borborema-Seridó

Desde o início do Século XX, a região do Seridó (Província Pegmatítica Borborema-Seridó) tem sido objeto de estudos geológicos, destacando-se, entre os vários autores desses trabalhos:

Crandall (1910), que dividiu as rochas da região em:

1. Pré-Ceará (ou complexo fundamental) – correspondente à seqüência de embasamento constituída principalmente de gnáisses e xistos cristalinos.
2. Série Ceará – constituída de xistos argilosos, quartzitos e calcários.

Moraes (1924), que restringiu a série Ceará a faixas isoladas, estreitas e alongadas, segundo a direção NE/SW, e usou o termo micaxisto-seridó para designar os biotita-xistos, dominantes na região.

Ferreira, Albuquerque (1969) e, também, Ebert (1969) fizeram as primeiras proposições estratigráficas da região "Seridó", defendendo uma evolução simples (dobras abertas com plano axial subvertical a vertical e com eixos orientados segundo a direção NNE/SSW).

Ries, Shackleton (1977) e Jardim de Sá (1977 e 1984) deram ênfase à evolução tectonometamórfica e fizeram as primeiras descrições da seqüência de eventos que afetaram a região, estabelecendo uma história com várias fases de deformação, associada aos granitos aflorantes; Brito Neves (1983, apud SOARES, 1998, p. 7) afirmou ser o dobramento regional marcadamente linear, embora nos

altos interiores do sistema e nos maciços adjacentes, a estruturação seja mais complexa em algumas áreas, com redobramento e manteamento de supracrustais.

Salim, Brasil (1998) observaram: "Os pegmatitos heterogêneos da região do Seridó evoluíram em duas etapas principais: uma, precoce, de diferenciação e cristalização magmática e outra, tardia, de alteração hidrotermal."

Basicamente, a geologia do Seridó tem a seguinte litoestratigrafia:

- **Complexo Caicó** ou Complexo de Embasamento (seqüência vulcanossedimentar), constituído principalmente de gnaisses diversos, metarcózios, paranfibolitos e xistos, parcial ou totalmente transformados em migmatitos. (DANTAS, 1974).
- **Grupo Seridó**, subdividido em três unidades:
 - *Formação Jucurutu* – Constituída de paragnáisses quartzo-feldspáticos, com um pouco de biotita, muscovita e epidoto, sendo os plagioclásios mais abundantes que os feldspatos potássicos, porém o quartzo é dominante na rocha (às vezes superior a 50%). Este grupo compreende os municípios de Angicos e Lajes. (JARDIM DE SÁ, 1984, p. 280).
 - *Formação Equador* – Constituída principalmente de quartzitos (puros, muscovíticos e feldspáticos) e metaconglomerados. (JARDIM DE SÁ, 1984, p. 281). Esta formação ocorre na região compreendida entre os municípios de Junco do Seridó, na Paraíba; e Equador, Parelhas, Carnaúba dos Dantas, Currais Novos até as proximidades de Lajes, no Rio Grande do Norte.
 - *Formação Seridó* – Constituída por micaxistos (litotipos mais abundantes), quartzitos, mármore, anfíbolitos e calcissilicáticas subordinadas. (JARDIM DE SÁ, 1984, p. 281). A biotita é a fase mineral mais importante desta formação, onde também ocorrem granadas, cordierita, estauroлита e andaluzita. Esta formação engloba, também, grande parte da província scheelitífera da Borborema. Os municípios incluídos na área da Formação Seridó são os de Carnaúba dos Dantas, Parelhas e Equador, no Rio Grande do Norte; e Picuí e Pedra Lavrada, na Paraíba.

A Formação Seridó aparece sempre no topo da coluna estratigráfica. Divergências ocorrem quanto às Formações Equador e Jucurutu. Trabalhos dos

anos 60 e início da década de 70 colocavam a Formação Equador como base do Grupo Seridó, enquanto que os mais recentes trabalhos colocam-na em posição mediana. (Tabela 1)

O mapa geológico do Estado da Paraíba, na sua versão mais recente, apresentado durante o Congresso da Sociedade Brasileira de Geologia – SBG, em setembro de 2002, em João Pessoa, está redefinindo o Grupo Seridó em quatro diferentes formações (de baixo para cima): (SANTOS, 2002, p. 17).

- *Formação Equador* - Muscovita quartzito, com intercalações de metaconglomerado.
- *Formação Serra dos Quintos* - Granada-biotita xisto, biotita-hornblenda xisto, muscovita-biotita gnaisse, biotita gnaisse, incluindo itabirito, quartzito, rocha calcissilicática, rocha metamórfica-ultramáfica e calcário cristalino.
- *Formação Jucurutú* - Biotita-hornblenda gnaisse, biotita gnaisse, muscovita quartzito, calcário-cristalino e rocha calcissilicática.
- *Formação Seridó e Grupo Seridó Indiscriminado* - Granada-biotita xisto, cordierita-granada-biotita xisto, quartzito, biotita-clorita xisto, clorita-sericita xisto, filito, localmente com paragnaisse, calcário cristalino, rocha calcissilicática e formação ferrífera.

Paralelamente, é interessante notar que o mapa geológico mais recente do Estado de Rio Grande do Norte, de 1998, mantém a antiga subdivisão das formações do Grupo Seridó: Formações Jucurutú, Equador e Seridó (de baixo para cima).

TABELA 1 – QUADRO COMPARATIVO ENTRE ALGUNS MODELOS ESTRATIGRAFICOS PORPOSTOS PARA A REGIÃO DO SERIDÓ

EBERT (1969/70)	FERREIRA & ALBUQUERQUE (1969) / DANTAS (1974)	TORRES et al. (1973) SANTOS (1974)	BRITO NEVES et al. (1975)	JARDIM DE SÁ (1978/84) / JARDIM DE SÁ & SALIM (1980)	LIMA et al. (1980)	HACKSPACHER & SÁ (1984) / HACKSPACHER et al. (1986)	ARCHANJO & SALIM (1986)	SANTOS (2000)
Seridó	Seridó	Seridó	Seridó	Seridó	Seridó	Seridó	Seridó	Seridó
Qzt. S. J. Seridó		Qzt. S. J. Seridó	Qzt. S. J. Seridó				Parelhas	
Florânia			Florânia					
Quixaba	Jucurutu	Jucurutu	Quixaba	Equador	Jucurutu	Jucurutu	Equador	Jucurutu
Parelhas			Parelhas					Serra dos Quintos
Equador	Equador	Qzt. Equador	Equador	Jucurutu	Equador	Parelhas	Jucurutu	Equador
			Jucurutu					
	Caicó	Caicó	Caicó	Caicó	Caicó	Caicó	Complexo	Caicó
São Vicente							de	
	Pré-Caicó		São Vicente			São Vicente	Embasamento	

FONTE: Modificado de Ferreira (1998, p. 18)

2.2 PEGMATITOS GRANÍTICOS – ASPECTOS GERAIS

Os pegmatitos são massas ígneas, de granulação extremamente grossa, relacionada de perto, geneticamente e no espaço, a grandes massas de rochas plutônicas. Encontram-se, comumente, como veios ou diques atravessando a rocha ígnea granular, ou estendendo-se pelas rochas encaixantes circunvizinhas. Os minerais da maior parte dos pegmatitos são, portanto, os comuns, encontrados nos granitos - quartzo, feldspato e mica - mas de dimensões extremamente grandes. (DANA; HURLBUT, 1983, p. 577).

Por causa dessa composição semelhante à dos granitos comuns costuma, freqüentemente, referir-se aos pegmatitos como “pegmatitos graníticos”.

Ainda segundo Dana, Hurlbut (1983, p. 577):

Uma das características dos pegmatitos é a cristalização simultânea de quartzo e feldspato (usualmente o microclínio) [...]. Embora muitos pegmatitos sejam compostos inteiramente dos minerais encontrados abundantemente no granito, os de maior interesse contêm outros minerais, mais raros.

Acessórios característicos são granadas, turmalinas, albita, lepidolita, berilo, espodumênio, topázio, apatita, fluorita, trifulita, columbita, monazita, molibdenita e minerais de urânio, entre muitos outros.

Estudos de geotermometria indicam que a maioria dos pegmatitos forma-se entre 700°C e 250°C. Este mesmo autor definiu pegmatitos como rochas holocristalinas - pelo menos em parte -, de grãos muito grossos, cujos componentes mais importantes incluem minerais típicos de rochas ígneas comuns. (JAHNS, 1955).

Segundo Mendes (1995), o termo pegmatito foi usado pela primeira vez pelo cientista francês R. J. HAUY, em 1801, referindo-se às espécies de granito gráfico, dos Montes Urais (Milovsky; Kononov, 1985, p. 265-272).

Branco et al. (1982, p. 69) definem granito gráfico como “textura de intercrescimento de quartzo e feldspato que lembra caracteres cuneiformes.” (Figura 2).



Figura 2 – Granito Gráfico, Hybla, Ontário. Quartzo Escuro, Feldspato Claro.
Fonte: Dana, Hurlbut (1983, p. 542).

Entre os vários pesquisadores que estudaram os pegmatitos, destacaram-se as afirmações dos seguintes:

- **Conforme a granulação**

Landes (1933): "Pegmatito é uma rocha holocristalina, intrusiva, composta essencialmente por minerais formadores de rochas, cujos grãos individuais são maiores que os grãos que ocorrem em rochas plutônicas equivalentes."

Gordon, Brown Jr. (1982): "o termo 'pegmatito' é usado para rochas de fonte ígnea ou metamórfica, caracterizado apenas por uma granulação muito grosseira".

Shigley, Kampf (1984) afirmaram: "a maioria dos pegmatitos encontrados são química e mineralogicamente semelhantes aos granitos comuns".

- **Quanto à gênese**

Fersman (1931, apud SOARES, 1998, p. 12): "A formação dos corpos pegmatíticos se processa a partir de fusões residuais, com sucessivas cristalizações e, em um estágio tardio, através de processos metassomáticos".

- **Quanto à topografia**

Johnston Jr. (1945, p. 17): “por serem os pegmatitos graníticos mais resistentes à erosão do que o xisto, aqueles em geral permanecem em saliência com feições topográficas características, que localmente receberam o nome de **altos**”.

Outros cientistas notabilizaram-se por classificarem os pegmatitos segundo aspectos, tais como:

- **Quanto à estrutura interna**

Cameron et al. (1949, apud SOARES, 1998, p.12) afirmaram: “são três as unidades encontradas nos corpos pegmatitos: preenchimento de fraturas, corpos de substituição e zoneamento”.

- **Quanto à rocha granítica fonte**

Heinrich (1953): “Os pegmatitos graníticos são divididos em três tipos básicos: pegmatitos interiores, pegmatitos marginais e pegmatitos exteriores.”

- **Quanto à textura interna**

Segundo Heinrich (1956), os pegmatitos são divididos em:

- **Simples** – consistem principalmente de minerais comuns de silicatos, com minerais acessórios em alguns casos;
- **Zoneados** – possuem distintas zonas internas, contrastando mineral e textura. Consistem de minerais comuns de silicatos e várias espécies acessórias. Os minerais tornam-se mais grossos no interior do pegmatito;
- **Complexos** – semelhantes aos tipos zoneados exceto por conterem, normalmente, concentrações altas de U, Th, Li, Cs, Nb, Ta e outros minerais.”

Os minerais encontrados nos dois últimos tipos de pegmatitos muitas vezes estão organizados em camadas ou zonas. Numa situação ideal, estão dispostas

concentricamente ao redor de um núcleo central e tende a acompanhar a forma exterior do corpo pegmatítico (SHIGLEY; KAMPF, 1984, p. 64-77).

Associando as teorias de Johnston Jr. (1945), Cameron et al. (1949) e Norton (1983), chegou-se à determinação, do exterior para o interior, de quatro zonas para os pegmatitos. (Figura 3).

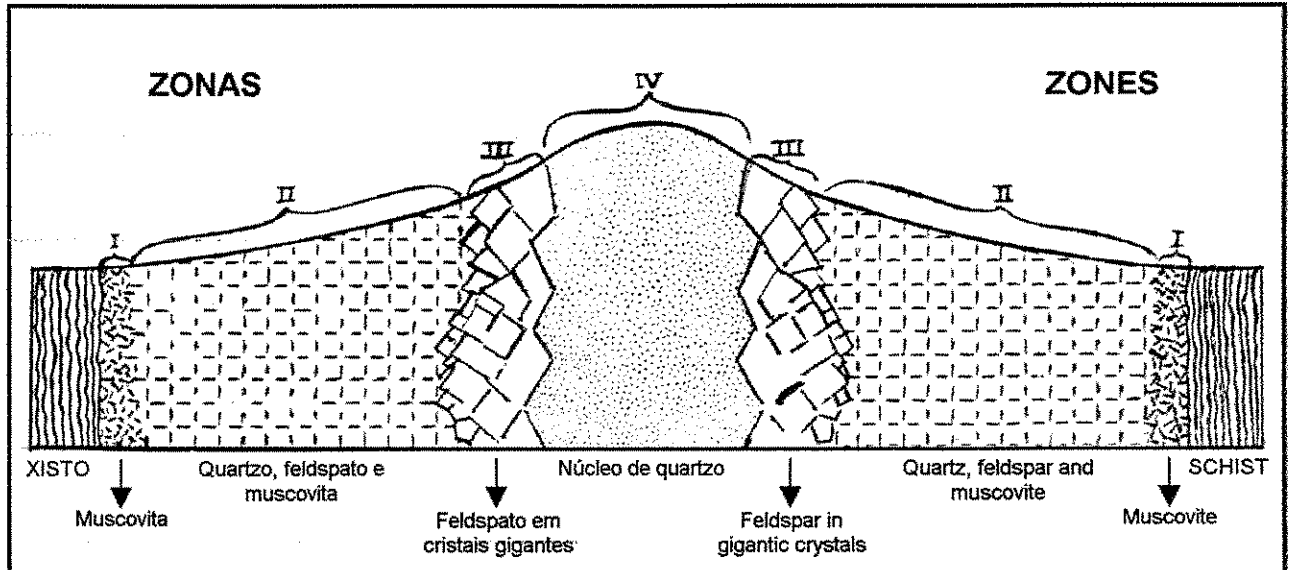


Figura 3 – Esboço do pegmatito, mostrando as zonas I a IV.
Fonte: Johnston Jr. (1945)

- I. **Zona de bordo ou marginal** – Normalmente é estreita (até aproximadamente 30 cm) e representa o contato com a rocha encaixante. Apresenta textura fina e é composta, principalmente, por quartzo, feldspato, mica e turmalina preta.
- II. **Zona de parede ou mural** – Normalmente tem espessura variando na ordem de alguns metros, pode não ser uniforme ao redor do pegmatito, tem granulação grosseira e, basicamente, a mesma mineralogia da zona de bordo. Na maioria das vezes, nesta zona encontram-se texturas gráficas e turmalina preta.
- III. **Zona intermediária** – Pode alcançar alguns metros de espessura, dependendo do tipo e forma do pegmatito. Contém cristais gigantes e pode conter áreas ricas em bolsões. Basicamente, esta zona é composta de feldspato, quartzo, mica, espodumênio e amblygonita, ocorrendo também minerais-gema. Economicamente, é a zona mais importante.

Nela podem ocorrer concentrações econômicas de Be, Li, Cs, Nb, Ta, Sn, P, U, Th e terras raras.

IV. Núcleo – É a porção central de um pegmatito. Pode ter alguns metros de espessura e dependendo do tipo e da forma do pegmatito, pode ocorrer uma série de segmentos descontínuos, principalmente em corpos alongados. Além do quartzo, encontram-se freqüentemente blocos ou bolsões de intercrescimento entre muscovita e microclínio e também grandes cristais de microclínio dentro da massa central de quartzo.

- **Quanto às profundidades de formação**

Ginzburg (1979) classificou os pegmatitos em quatro classes:

1. **Profundidade de 11 km** – Geralmente não zoneados e com mineralizações econômicas pouco expressivas, com concentrações ocasionais de U e Th. São normalmente encontrados em rochas metamórficas que abrangem os núcleos antigos dos continentes.
2. **Profundidade de 7 a 11 km** – Podem ser zoneados e geralmente são ricos em mica e pobres em mineralizações de elementos raros.
3. **Profundidade de 3,5 a 7 km** – Freqüentemente são zoneados e podem conter bolsões pequenos de cristais alinhados. Possuem mineralizações de elementos raros.
4. **Profundidade 3,5 km** – São zoneados e podem conter, algumas vezes, elementos raros e bolsões de gemas. São associados a grandes massas de rochas ígneas intrusivas encobertas (os batólitos), que estão freqüentemente debaixo de áreas montanhosas.

- **Segundo às pressões de formação**

Cerny (1982, p. 01-39) classificou os pegmatitos em quatro categorias:

1. Abissais – 5 a 8 kbar;
2. Muscovíticos – 4 a 6 kbar;
3. Portadores de elementos raros – 2 a 4 kbar;
4. Miarolíticos – 1 a 2 kbar.

Segundo Cerny (1982), os seguintes elementos químicos, agrupados em ordem decrescente de concentração, são típicos dos pegmatitos:

- O, Si, Al, K, Na, Ca e Li;
- Rb, Cs, Ba, Mg, Fe, B, F e P;
- Sb, Mn, Be, Sn, Ti, Zr – Hf, Ta – Nb, ETR, U, Th, Cl e C;
- Sc, Mo, W, Bi, As, Sb, Zn, Cd, Cu, Pb, Ta, Ga e Ge.

• De acordo com Modelos Genéticos e Evolutivos

Neste particular, podem ser citados os trabalhos de Jahns (1953, 1955), Jahns, Burnham (1969) e Cerny (1982), que, concordantemente, acham que os pegmatitos graníticos são formados a partir de fusões, em conexão direta com a cristalização de massa maior de rocha plutônica associada; o processo de cristalização produz uma concentração de constituintes voláteis (água, boro, flúor e cloro) na porção líquida do magma, os quais diminuem a viscosidade, facilitando a cristalização; este produto final da consolidação enriquece-se em elementos raros, originariamente distribuídos por todo o magma; quando este líquido residual se injeta nas rochas circunvizinhas mais frias, ele se cristaliza das margens para o interior, produzindo freqüentemente uma distribuição dos minerais em zonas, ficando o quartzo maciço no centro. Conforme estes autores e Dana, Hurlbut (1983, p. 578), a água dissolvida em relação ao limite de solubilidade, sob as condições de alta pressão reinante no ambiente, indica ter sido desta forma que se formou a maioria dos pegmatitos.

2.3 PROVÍNCIA PEGMATÍTICA DA BORBOREMA-SERIDÓ

A expressão “Província Pegmatítica da Borborema” foi usada pela primeira vez por Scorza (1944, apud DA SILVA, DANTAS, 1984, p. 443), para indicar a área de domínio dos pegmatitos, abrangendo partes dos Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba.

Esta província é caracterizada por apresentar seqüências de corpos heterogêneos, simples e complexos, mineralizados em tantalatos-niobatos (columbita, tantalita, manganotantalita, simpsonita, pirocloro/microlita), estanho

(cassiterita), berílio (berilo, euclásio), lítio (espodumênio, ambligonita, lepidolita), fosfatos (triplita, trifilita, arrojadita, herderita, childrenita, apatita), minerais radioativos de urânio e tório (uraninita, pechblenda, gumita, soddita, torianita, monazita), zircônio (malacção), variedades de quartzos e gemas (água marinha e turmalinas, principalmente). (DA SILVA e DANTAS, 1984, p.441).

No que diz respeito às gemas (principalmente águas-marinhas e turmalinas), esta província possui algumas áreas classificadas como berilíferas, outras como turmaliníferas.

As berilíferas estão localizadas nos municípios paraibanos de Cubatí, Taperoá, Pocinhos, Juazeirinho, São Vicente do Seridó e Santa Luzia; e nos municípios rio-grandenses-do-norte de Tenente Ananias, São Tomé, Lajes Pintadas, Santa Cruz, Campo Redondo, Equador, Parelhas, Carnaúba dos Dantas e Santana dos Matos (DA SILVA, DANTAS, 1984; BRITO, SILVA, 1992; DINIZ, NESI, 1990).

As turmaliníferas estão localizadas nos municípios de Salgadinho, Junco do Seridó, Pedra Lavrada e Frei Martinho, no Estado da Paraíba (BRITO, SILVA, 1992), e nos municípios de Equador e Parelhas, no Estado do Rio Grande do Norte (DINIZ, NESI, 1990; FERREIRA, 1998; SOARES, 1998).

A maior incidência de pegmatitos ocorre na direção NNE/SSW, englobando os municípios de Junco do Seridó, Salgadinho, Taperoá, Juazeirinho, Cubatí, São Vicente do Seridó, Pedra Lavrada, Nova Palmeira, Picuí e Frei Martinho, no Estado da Paraíba, e os municípios de Equador, Santana, Parelhas, Jardim do Seridó, Acari, Carnaúba dos Dantas, no Estado do Rio Grande do Norte.

Outra área com densidade bastante significativa em pegmatitos na **Província Pegmatítica da Borborema** compreende os municípios de Currais Novos, Lajes Pintadas, São Tomé, Rui Barbosa, Caiçara dos Ventos e Jardim do Seridó, todos no Rio Grande do Norte.

Afora essas duas áreas densamente povoadas em pegmatitos, há, ainda, outras pequenas áreas com concentrações menos densas distribuídas nos dois estados, sendo, porém, limitadas ao norte pelos sedimentos da Bacia Potiguar.

A principal área de pegmatitos ocorre em parte da borda ocidental do planalto da Borborema e na região fisiográfica do Seridó, razão pela qual esta região passou a ser chamada de **Província Pegmatítica da Borborema-Seridó**. (DA SILVA, DANTAS, 1984, p.443).

2.3.1 Classificação dos Pegmatitos da Província Pegmatítica Borborema-Seridó

Alguns pesquisadores que trabalharam nos pegmatitos da Borborema-Seridó tentaram enquadrá-los nas mais diferentes classificações. Entre elas, a que é baseada na estrutura interna tem um significado maior por possuir natureza descritiva, além de permitir melhor correlação com outras áreas pegmatíticas do mundo, uma vez que a estrutura de pegmatitos heterogêneos é um fato quase generalizado. As classificações estruturais de Johnston Jr. (1945), Rolff (1945) e Roy, Madon (1964) são equivalentes, diferindo apenas em alguns detalhes adicionais. Assim sendo, os pegmatitos da Borborema-Seridó são classificados em homogêneos, heterogêneos e mistos (DA SILVA e DANTAS, 1984), com as seguintes especificações:

a) Pegmatitos Homogêneos

1. Os minerais essenciais dos pegmatitos (quartzo, feldspato e micas) se distribuem regularmente ao longo do corpo pegmatítico.
2. Possuem formas tabulares ou dômicas. Às vezes medem quilômetros de extensão e largura que não ultrapassa 5 metros.
3. A granulometria dos minerais varia de centimétrica a decimétrica.
4. Intercrescimentos gráficos de quartzo com feldspato.
5. Raramente são mineralizados em Ta – Nb, Be, Li, Sn, etc.
6. Quando mineralizados, geralmente a mineralização tem caráter disseminado.
7. Os contatos com as rochas encaixantes são bruscos e, às vezes, ao longo deles, se forma uma delgada zona rica em micas com 1 ou 2 cm de espessura. (DA SILVA, DANTAS, 1984, p. 451).

b) Pegmatitos Heterogêneos (lenticulares, arredondados ou em forma de discos achatados)

1. O comprimento não ultrapassa 700m e a largura não é superior a 200m.
2. Os minerais essenciais dos pegmatitos estão dispostos de maneira irregular, formando uma estrutura zonar.

3. Os pegmatitos heterogêneos compõem-se basicamente de quatro zonas, dispostas simetricamente em relação ao centro do pegmatito.
4. O contato do pegmatito com a rocha encaixante para o centro tem a seguinte distribuição:

ZONA I – Possui geralmente espessura inferior a 1 m e caracteriza-se pela abundância de muscovita em placas bem desenvolvidas associadas principalmente ao quartzo e algum feldspato. Essa zona é mais desenvolvida nos pegmatitos encaixados em xistos que nos quartzitos. Os minerais acessórios mais comuns são afrisita, cassiterita e, esporadicamente, granada.

ZONA II – Possui a mesma granulação, composição e estrutura de um pegmatito homogêneo, inclusive a freqüência de intercrescimentos gráficos de quartzo e feldspato. Geralmente ocupa o maior volume de um corpo pegmatito e, às vezes, encobre toda a sua parte superior confundindo-se com um tipo homogêneo.

ZONA III – Roy e Madon (1964) subdividiram esta em zona externa e interna. A externa representa a passagem gradual entre as zonas II e III com freqüência de turmalina e granada, enquanto que a interna, é caracterizada principalmente pela presença de microclina perítica em cristas gigantes (dimensões, métricas). Desta zona procede a maior parte do berilo, tantalita, espodumênio e outros minerais acessórios.

ZONA IV – Constituída por um núcleo de quartzo maciço de cores variadas (róseo, leitoso, hialino, cinza, azul, etc). Segundo Roy e Madon (1964) pode apresentar-se regular, irregular ou disseminado em volumosos blocos isolados dentro do pegmatito. Muitas vezes apresenta uma direção diferente da do pegmatito. A maioria dos minerais acessórios são encontrados no núcleo ou no contato deste com a zona III (DA SILVA e DANTAS, 1993, p. 451-452).

c) Pegmatitos mistos

O termo de pegmatito misto foi aplicado primeiramente por Rolff (1945), para classificar pegmatitos que, na sua concepção, são intermediários entre os homogêneos e os heterogêneos e apresentam bolsões de quartzo em vez de núcleos bem individualizados. Em torno desses bolsões, a granulação dos demais minerais aumenta bastante, principalmente os cristais de feldspato potássico

(microclínio), que passam a predominar neste local; as mineralizações econômicas (Li, Sn, Ta e Be) aparecem disseminadas. (DA SILVA e DANTAS, 1984).

Os mesmos autores estimam que cerca de 90% dos pegmatitos mineralizados são do tipo heterogêneo, 8% são homogêneos, sendo os 2% restantes mistos (p. 461).

2.4 ANOTAÇÕES GERAIS SOBRE O CAULIM E A CAULINITA

2.4.1 Aspectos Químico-Mineralógicos

Os termos “kaolin” e “kaolinita” derivam da palavra chinesa Kao-Ling, que significa colina alta, ou seja, o nome de uma colina próxima de Jau Chu Fa na província de Jiangxi, ao norte da República Popular da China, de onde se extraía uma argila branca usada na produção de porcelana (DANA, HURLBUT, 1983, p. 507; BRANCO, 1982, p. 29).

Caulinita é um argilomineral (silicato básico de alumínio) de fórmula ideal: $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$, enquanto que o termo caulim designa uma mistura, composta principalmente de caulinita (ou outro mineral pertencente ao grupo da caulinita), e menores quantidades de quartzo, alofano, mica, feldspato, óxidos de ferro, alumínio e titânio, como impurezas.

A caulinita faz parte de um grupo de minerais, chamado caulinita-serpentina. Nesse grupo, existem dois subgrupos diferentes: as caulinitas e as serpentinhas.

2.4.2 O subgrupo das caulinitas

Este subgrupo é composto pelos seguintes minerais:

- | | |
|--------------|--------------------------------------|
| • Caulinita | $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_4$ |
| • Dickita | $Al_4(Si_4O_{10})_3(OH)_{12}$ |
| • Nacrita | $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$ |
| • Halloysita | $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8 \cdot 3H_2O$ |
| • Endellita | $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ |

(MURRAY, KELLER, 1993, p. 20).

Caulinita, dickita, nacrita e halloysita são polimorfos; e endellita tem água na sua estrutura. Existe uma certa confusão na denominação desses minerais, porque, na Europa, a endellita e halloysita são sinônimos. Segundo Fleischer, Mandarino (1991) e Roberts et al. (1990), halloysita não tem água, enquanto Branco (1982) escreve a fórmula com $4\text{H}_2\text{O}$ para 2 Al e 2 Si e Ramdohr, Strunz (1967) apontam $2\text{H}_2\text{O}$ para a mesma quantidade de Al e Si. Na literatura americana, endellita tem como sinônimo o nome hidrohalloysita.

O nome leverrierita foi dado para uma mistura de caulinita com outros minerais argilosos (BRANCO, 1982, p. 245). Segundo Ramdohr, Strunz (1967, p. 712), trata-se de uma mistura submicroscópica de sericita e caulinita, bem como a gümbelita, que tem um pouco de magnésio; segundo Branco (1982, p. 245), esta última é outro nome dado à caulinita. Ambos, levierrita e gümbelita, foram eliminados. Outros nomes para a caulinita ou misturas de caulinita com nacrita, antigamente chamada de pholerita ou donbassita (caulinita com pouco Na ou Mg), foram também eliminados.

Caulinita é o mineral mais abundante deste grupo e ocorre em várias situações geológicas, sendo os depósitos sedimentares e hidrotermais os mais freqüentes. É um dos minerais argilosos mais comuns e forma-se principalmente durante o intemperismo de outros minerais silicáticos de alumínio (feldspatos, micas e feldspatóides), compostos essenciais de granitos, sienitos e rochas alcalínicas básicas, bem como pegmatitos dessas rochas. Geralmente é acompanhada por um ou dois dos seus polimorfos, seja a dickita ou a nacrita. Segundo Ramdohr, Strunz (1967), a caulinita é mais característica de temperaturas baixas, enquanto dickita e, especialmente, nacrita se formam preferencialmente em temperaturas mais elevadas (formação hidrotermal). Halloysita é encontrada em depósitos hidrotermais e residuais, mas é muito rara em caulins de origem sedimentar. (MURRAY, KELLER, 1993, p. 21). Ocorrências de caulinita/caulim são classificadas como depósitos primários residuais. Duas ocorrências bem conhecidas de caulins primários são os de Cornwall, na Inglaterra, e Maungaperua, na Nova Zelândia, que são caulins mistos, hidrotermal e residual. Caulins sedimentares ou secundários são achados em ambientes lacustres, paludais, deltaicos, mas não são encontrados em ambientes marinhos. As maiores ocorrências no mundo de caulins sedimentares estão localizadas na Geórgia e na Carolina do Sul (sudeste dos Estados Unidos), Brasil e Austrália.

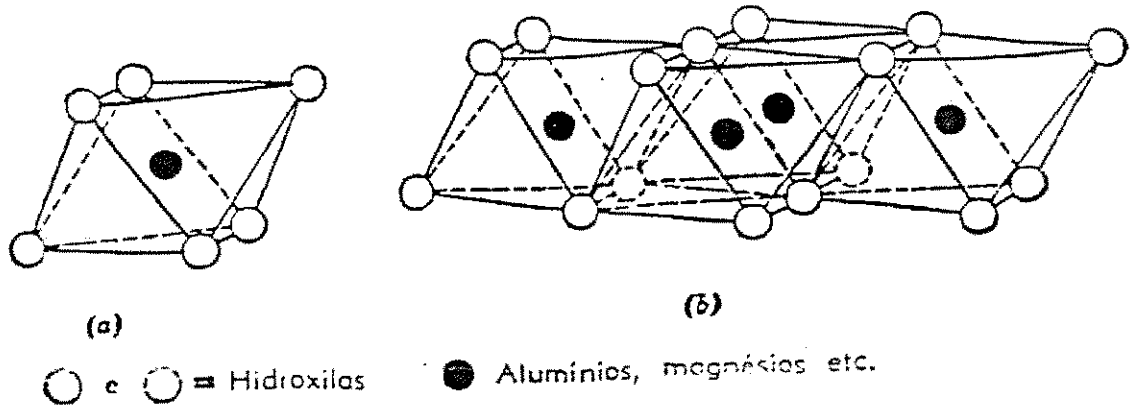


Figura 5 – Desenho em diagrama mostrando (a) unidade octaédrica isolada e (b) de folha de unidades octaédricas, tipo gibbsita (AlOOH).
 Fonte: GRIM (1962, p. 8).

A união entre estas duas folhas se dá através de forças do tipo Van der Waals, por pontes de hidrogênio, isto é, por ligações promovidas pelo íons H^+ das hidroxilas da folha "o" com os oxigênios O^{2-} da folha "t" não compartilhados, formando a ligação O–H–O (estrutura eletricamente neutra, visto que a hidroxila e o oxigênio têm, aproximadamente, o mesmo raio iônico e a carga unitária residual no oxigênio do vértice é igual à carga da hidroxila). (Figura 6).

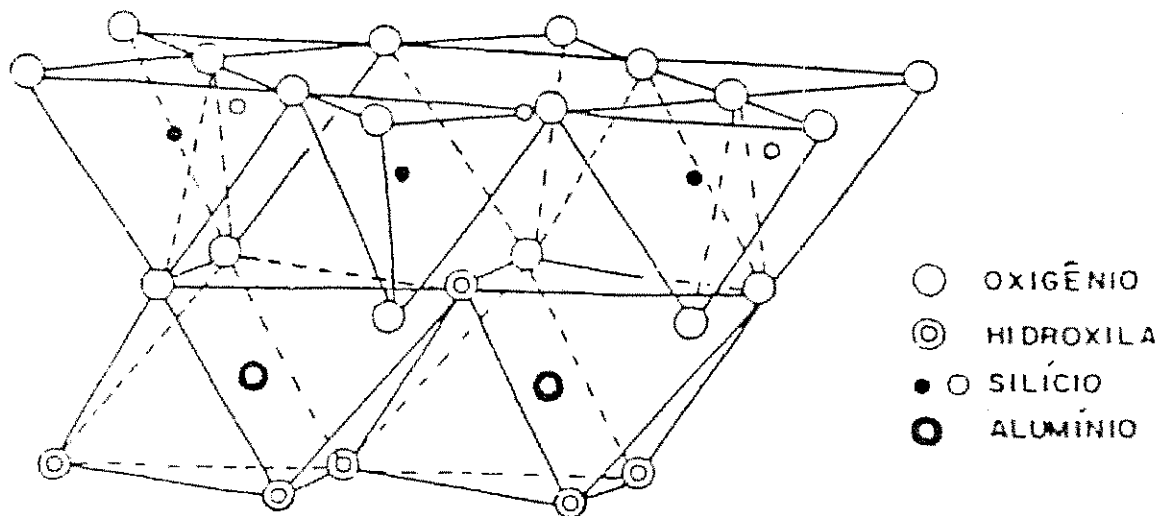
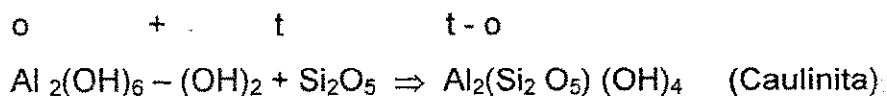


Figura 6 – Desenho em diagrama da estrutura completa das duas folhas que formam a caulinita
 Fonte: GRIM (1962, p.11).

A reação química que representa bem a união das folhas "t" e "o" é a seguinte:



(DANA, HURLBUT, 1983, p. 496).

2.4.3 O subgrupo das serpentinas

O segundo subgrupo, o das serpentinas, é mais variável por causa da sua estrutura mais tolerante. Antigamente, a serpentina foi considerada um mineral próprio; hoje, somente, dá nome a um grupo estrutural igual ao das caulinitas, mas com cátions adicionais, como Mg, Ni, Fe⁺², Fe⁺³, Zn e Mn (veja lista abaixo):

Amesita	Mg ₂ Al (Si Al) O ₅ (OH) ₄
Antigorita	(Mg, Fe ⁺²) ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
Baumita	(Mg, Mn ⁺² , Fe ⁺² , Zn) ₃ (Si Al) ₂ O ₅ (OH) ₄
Berthierina	(Fe ⁺² , Fe ⁺³ , Mg) ₂₋₃ (Si Al) ₂ O ₅ (OH) ₄
Bindleyta (Nimita)	(Ni, Mg, Fe ⁺²) Al (Si Al) O ₅ (OH) ₄
Clinocrisotilo	Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
Cronstedtita	Fe ⁺² , Fe ⁺³ (Si Fe ⁺³) O ₅ (OH) ₄
Fraipontita	(Zn, Al) ₃ (Si Al) ₂ O ₅ (OH) ₄
Grinalita	(Fe ⁺² , Fe ⁺³) ₂₋₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
Kellyita	(Mn ⁺² , Mg, Al) ₃ (Si Al) ₂ O ₅ (OH) ₄
Lizardita	Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
Nepouita	Ni ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
Ortocrisotilo	Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
Paracrisotilo	Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
Pecoraite	Ni ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄

(FLEISCHER, MANDARINO, 1991, p. 237).

Antigorita, clinocrisotilo, lizardita, ortocrisotilo e paracrisotilo são polimorfos. Pecoraita e nepouita são dimorfos.

Lizardita e seus polimorfos formam uma série isoquímica com a nepouita (ROBERTS et al., 1990).

Referente ao posicionamento do mineral manandonita de fórmula Li₂Al₄(Si₂AlB)O₁₀(OH)₈, a bibliografia consultada diverge. Sendo um boro-silicato básico de lítio e alumínio, Fleischer, Mandarin (1991, p. 237) integram esse mineral no grupo caulinita-serpentina, enquanto Roberts et al. (1990, p. 520) associam-no ao grupo das cloritas.

2.5 OCORRÊNCIAS DE CAULIM

2.5.1 Formação de Caulim

Conforme foi abordado anteriormente, o termo técnico caulim refere-se a uma mistura de minerais, na sua maioria caulinita, com outros minerais que a acompanham em quantidades variáveis (dickita, nacrita, quartzo, mica, entre outros).

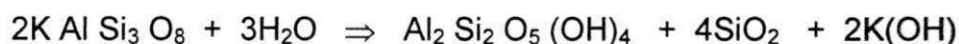
Os caulins são resultantes da alteração de silicatos de alumínio, particularmente dos feldspatos, micas e feldspatóides, podendo ocorrer na forma de resíduos de ocorrências primárias ou em ocorrência secundária.

Os caulins primários são todos aqueles formados *in situ* usualmente por alteração de rochas cristalinas alcalínicas, semelhantes aos granitos, sienitos e foiditos, bem como suas rochas vulcânicas correspondentes. A alteração resulta de intemperismo por águas em movimento na superfície, por águas subterrâneas ou por fluidos hidrotermais. Os caulins secundários encontram-se em sedimentos, oriundos de rochas alcalínicas desagregadas, cujos minerais alumínio-alcalínicos transformaram-se posteriormente dentro do sedimento em caulim, seja por intemperismo ou por ação hidrotermal. Esses sedimentos podem ser depositados em leitos ou lentes, associadas com outras rochas sedimentares. Algumas caulinitas foram formadas de sedimentos arcósios que foram alterados após a deposição primária por água subterrânea. Há mais depósitos de caulins primários no mundo, porque condições geológicas especiais são necessárias tanto para a deposição de grandes quantidades de alumínioossilicatos, quanto para a preservação dos caulins secundários. (MURRAY, KELLER, 1993, p. 2).

Os depósitos de caulim *in situ* de ocorrência primária podem ser formados através de intemperismo, de atividade hidrotermal e por solfataras. Os caulins de origem intempérica ocorrem em regiões de clima tropical (quente e úmido). Essas condições favorecem a decomposição dos feldspatos e de outros alumínioossilicatos presentes em grande quantidade em rochas alcalínicas ácidas e básicas. As condições favoráveis à caulinização são principalmente precipitações, excedendo a evaporação e alta permeabilidade da rocha matriz que favorece a percolação da água. (MURRAY, KELLER, 1993, p. 5). O processo se dá por hidrólise dos alumínioossilicatos e remoção dos elementos alcalinos e alcalino-terrosos, conforme as reações (SOUSA, 2000, p. 30):



Muscovita + Água \Rightarrow Caulinita + Hidróxido de potássio (solúvel)

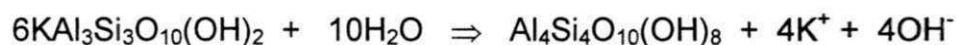


Microclínio + Água \Rightarrow Caulinita + Quartzo + Hidróxido de K (solúvel)

Sousa Santos (1989), discutindo a possível transformação de feldspatos potássicos em caulinita em condições ambientais, aponta a dificuldade da formação direta de feldspato. Por ser um mineral com estrutura tridimensional, o resíduo de Si e Al dificilmente vai se organizar de maneira bidimensional, em forma de placas, sem uma fase intermediária, por exemplo, de sericita (muscovita fina ou, ocasionalmente, paragonita ou illita). Referindo-se ao processo desta transformação ele cita:

Sands (1958, apud SOUSA SANTOS, 1989, p. 79) demonstrou experimentalmente nos depósitos de caulim caulinita-haloisita, da Carolina do Norte, a existência das várias fases da reação feldspato-‘sericita’-caulinita, formadas pela ação do intemperismo. Verificou também a formação de caulinita pela ação do intemperismo sobre a mica moscovita microscópica do pegmatito.

Garrels, Howard (1959, apud SOUSA SANTOS, 1989, p. 79), foi demonstrado que “[...] experimentalmente que a ‘sericita’ pode ser a fase intermediária para a formação de caulinita a partir de feldspato potássico. Assim a formação de caulinita pode ser expressa pelas seguintes equações químicas”:



Os caulins de origem hidrotermal ocorrem pela alteração da rocha, por circulação de fluidos quentes provenientes do interior da crosta (água juvenil). Para que haja circulação desse fluido, é necessário que a rocha encaixante tenha porosidade e permeabilidade adequadas. Nesse caso, observa-se que pegmatitos intrudidos em rochas permeáveis, como, por exemplo, quartzitos, são intensamente caulinizados, enquanto pegmatitos em biotita xistos ou metaconglomerados não apresentam caulinização. Outros tipos de rochas, como granitos, necessitam planos

de fraturamentos ou falhas, para permitir circulação de fluidos. Um exemplo desse tipo é o depósito de St. Austell, no Sul da Inglaterra. (Dewu, Durrance, 1993, p. 206).

Luz, Costa (1995, apud SOUSA, 2000, p. 30), que referem-se à formação de caulinita/ caulim, através de ação vulcânica, em especial de atividade de solfataras:

Nos depósitos de caulim do tipo solfatara, as rochas são alteradas por emanções vulcânicas ácidas, constituídas de vapores ou água, ricos em enxôfre. Nas rochas vulcânicas, o quartzo se encontra com granulação fina comparável à da caulinita tornando difícil a sua remoção, o que o torna abrasivo. O principal uso desse caulim é na fabricação de cimento branco no qual a presença de sílica e sulfato favorecem o produto final.

Os caulins secundários são formados por deposição de materiais transportados do seu local de origem por efeito de ventos, correntes de água ou geleiras, para em seguida serem depositados em lagos, depressões, rios de baixa correnteza e pântanos. Muitas vezes possuem conteúdos em caulinita superiores a 90%. Via de regra, apresentam teores de Ti e Fe mais elevados que os caulins residuais in situ. Exemplos clássicos desses depósitos são os da Geórgia e Carolina do Sul, nos Estados Unidos; os de Jarí e Rio Capim, na Amazônia, Brasil, e os da Austrália. (MURRAY, KELLER, 1993).

2.5.2 Caulim nos Pegmatitos da Borborema-Seridó

As ocorrências de caulim na Província Pegmatítica Borborema-Seridó estão exclusivamente ligadas aos pegmatitos graníticos da região e encontram-se principalmente nos municípios de Junco do Seridó, na Paraíba, (GOPINATH, SCHUCKMANN, 1989); em Equador e, em menor número, Carnaúba dos Dantas e Parelhas, no Estado do Rio Grande do Norte. (NESI, DE CARVALHO, 1999).

Segundo Gopinath, Schuckmann (1989, p. 1), a área de Junco do Seridó, onde predominam os pegmatitos portadores de caulim primário, constitui uma das principais ocorrências do Brasil.

Ferreira et al. (1971, p. 341) verificaram a presença de halloysita em alguns caulins desta província pegmatítica do Seridó.

Gopinath, Muniz, Silva (1990, p. 1) concluíram que os caulins primários que ocorrem na área de Junco do Seridó são formados por processos de intemperismo, ocasionados por águas meteóricas descendentes.

Os pegmatitos caulinizados do Rio Grande do Norte estão encaixados nos quartzitos da Formação Equador, do Grupo Seridó, ocorrendo de forma discordante e concordante/subconcordante, em altos topográficos, sendo encontrados principalmente na região de Equador e, em menor número, em Carnaúba dos Dantas e Parelhas. Os pegmatitos caulinizados são homogêneos (não zoneados mais freqüentes) e heterogêneos (zoneados, diferenciados). Têm espessuras médias inferiores a 20 m, com extensões variáveis da ordem de algumas dezenas ou centenas de metros, podendo, em alguns casos, atingir 600 m e alinhando-se em forma de rosário (NESI, DE CARVALHO, 1999).

2.5.3 O Caulim no Brasil

Entre os estados brasileiros produtores de caulim, os que mais se destacaram em 2000 foram o Amapá, o Pará, São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, além de outros com menor produção, inclusive a Paraíba e o Rio Grande do Norte, que completam o quadro da reserva e da produção brasileiras de caulim (Figura 7 e 8).

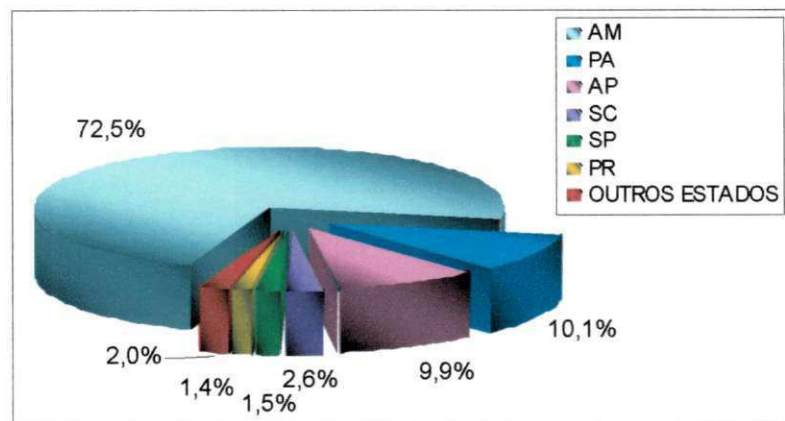


Figura 7 – Reserva Brasileira de Caulim (2.467.965.937 t)
Fonte: DNPM – Anuário Nacional Brasileiro – 2001

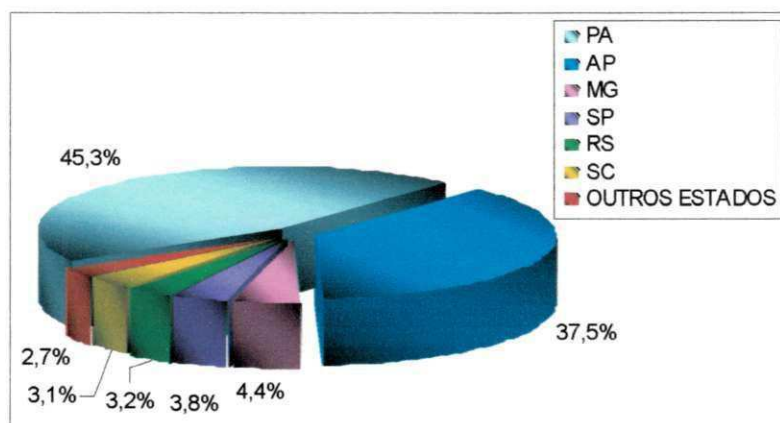


Figura 8 – Produção Brasileira de Caulim (Bruta = 3.740815t; Beneficiada = 1.639.673t)

Fonte: DNPM – Anuário Nacional Brasileiro – 2001

As maiores empresas brasileiras produtoras de caulim em 2000 foram:

- CADAM – Caulim da Amazônia S/A, com mina no Amapá e usina no Pará, que produziu 756 mil toneladas.
- IMERYS RIO CAPIM E PARÁ PIGMENTOS, ambas no Pará, com produção conjunta de 704.500 toneladas.

Em São Paulo, as principais empresas produtoras são a HORI, a ECC DO BRASIL e a SOCIEDADE CAOLINITA.

Os principais produtores de Minas Gerais são a EMPRESA DE CAOLIM, a MINERAÇÃO CAOLINITA, a IRMÃOS GUILHERMINO e a CAOLIM AZZI. (DNPM/SUMÁRIO. 2001, p. 41)

No Rio Grande do Sul, a EMPRESA OLIVÉRIO RIBEIRO é a maior produtora de caulim beneficiado.

Na Paraíba, destacam-se como principais empresas beneficiadoras a CAULISA (37,33%), LAVRAS STº AMARO (10,66%), CAULIMAR (8,00%), COBECAL (8,00%), PEGNOR (8,00%), CAULINA (6,66%) e outras menores (21,35%), que produziram 45.000 toneladas de caulim em 2000, correspondentes a 75% da capacidade instalada. (SEPM – NÃO METÁLICOS).

Em 2000, o Estado do Rio Grande do Norte produziu 1.360 toneladas de caulim bruto, que foram vendidas por US\$ 22.393 (R\$ 40.800,00). (DNPM/ANUÁRIO. 2001, p. 205). Os dados oferecidos pelo DNPM referentes à produção de caulim nesse estado não refletem a produção real, uma vez que boa

parte do caulim rio-grandense-do-norte extraído é transportada para o município Junco do Seridó, na Paraíba, onde é beneficiada principalmente pela empresa Lavras Santo Amaro Ltda.

Segundo o DNPM (Sumário-2001, p. 42), a arrecadação de CFEM – Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais, relativa ao caulim, já atingiu cerca de 4% do total nacional desse imposto, sendo o quarto colocado no ranking das substâncias minerais produzidas no Brasil (Figura 9).

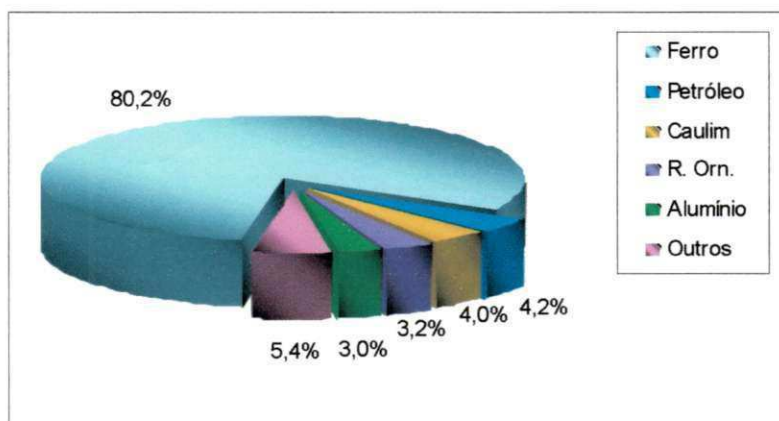


Figura 9 – Exportação do Setor Mineral – 2000 (Bens Primários).
Fonte: DNPM/DIRIN e SECEX/MDIC – Sumário 2001.

2.5.4 O Caulim no Mundo

Importantes depósitos de caulim, localizados no Brasil, Estados Unidos, China, Reino Unido, Ucrânia, Espanha, República Tcheca, Alemanha, Indonésia, Japão, México, Nova Zelândia e Austrália, estão assim distribuídos:

1. Depósitos hidrotermais: China, Japão e México.
2. Depósitos residuais: Austrália, Alemanha, República Tcheca, Ucrânia e Indonésia.
3. Depósitos mistos (hidrotermal/residual): Reino Unido e Nova Zelândia.
4. Depósitos sedimentares: Brasil, Austrália, Estados Unidos, Alemanha e Espanha. (MURRAY & KELLER, 1993, p. 6-20), (Fig. 10 e 11)

Segundo o Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM, a reserva mundial de caulim foi estimada em torno de 14,2 bilhões de toneladas, concentradas nos Estados Unidos, Brasil, Ucrânia, Reino Unido e China, que, juntos somam 96% do total. A oferta mundial de caulim, em 2000, atingiu 31,2 milhões de toneladas,

liderada pelos Estados Unidos, com 8,9 milhões de toneladas, seguindo-se o Reino Unido, o Brasil, a Ucrânia e a China (Figuras 11 e 12), que responderam por 15,1 milhões de toneladas (70% da oferta). A produção bruta brasileira, nesse ano, foi de 4,1 milhões de toneladas, da qual beneficiou-se 1.735 milhões de toneladas, ocupando a terceira posição na oferta mundial de caulim. (DNPM, Sumário-2001, p. 41).

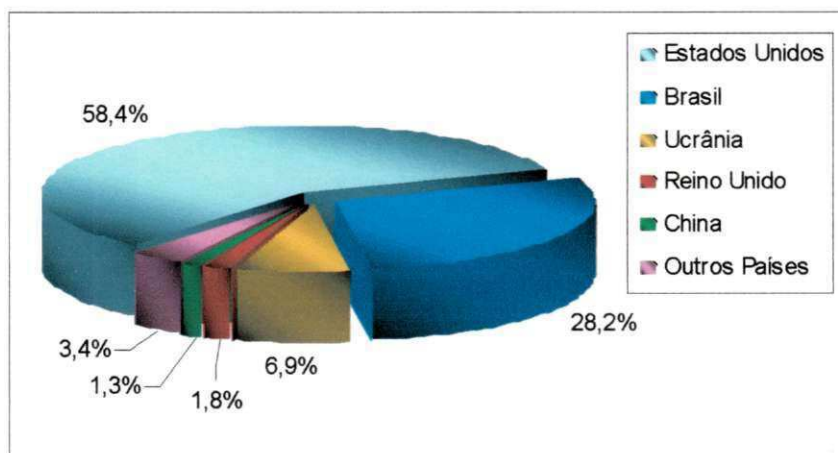


Figura 10 – Reservas Mundiais de Caulim (14.200.000.000 t).
Fonte: DNPM – Sumário Mineral – 2001

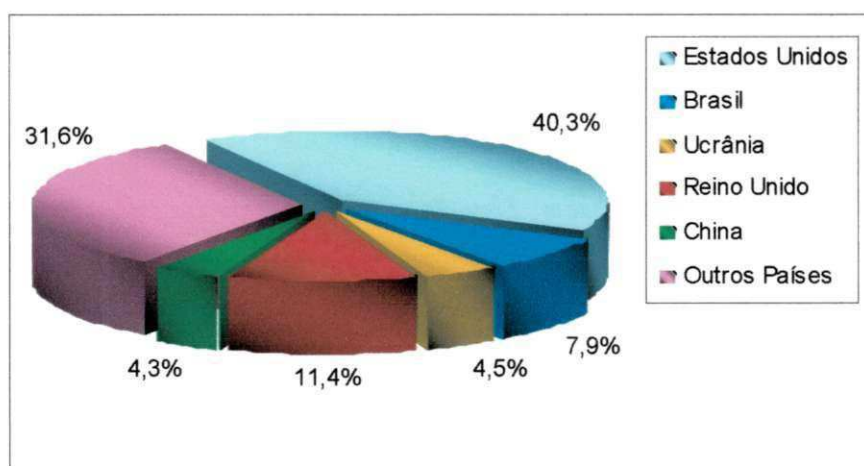


Figura 11 – Produção mundial de Caulim (22.000.000 t).
Fonte: DNPM – Sumário Mineral – 2001

Os principais compradores de Caulim beneficiado no Brasil foram: Bélgica, Japão, Países Baixos, Estados Unidos e Itália. (DNPM – SUMÁRIO MINERAL – 2001, p. 41-42. (Figuras. 12 e 13).

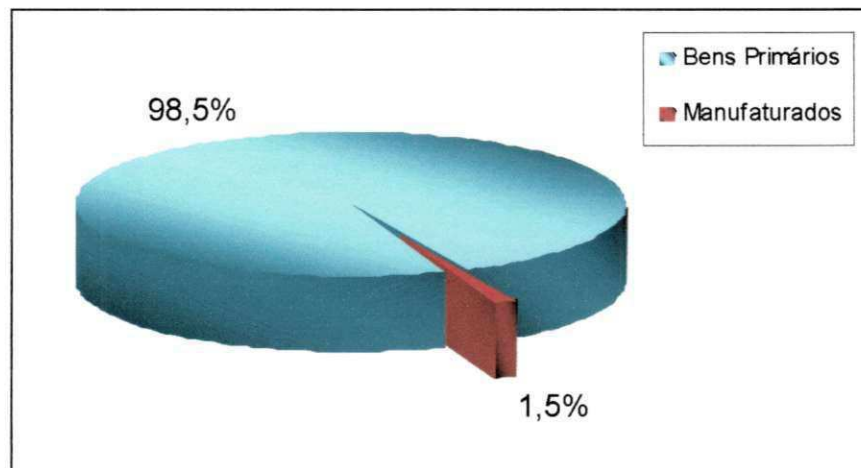


Figura 12 – Exportação brasileira de caulim (TOTAL = 1.392.722 t).
Fonte: DNPM – Sumário Mineral – 2001

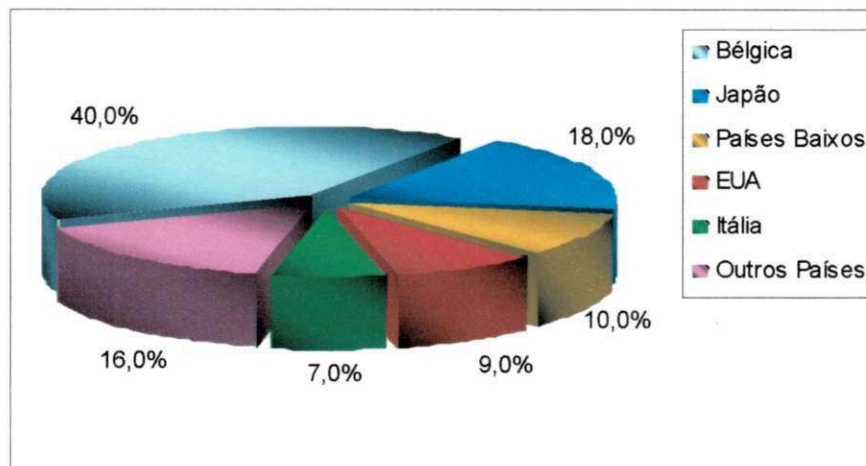


Figura 13 – Principais países compradores do caulim brasileiro.
Fonte: DNPM – Sumário Mineral – 2001

Essas 1.735.000 toneladas de caulim beneficiado no Brasil, em 2000, foram dos tipos “coating” (cobertura) e “filler” (carga), representando um crescimento de 14,36% em relação ao ano anterior, quando foram beneficiadas 1.156.593 toneladas.

2.5.5 Principais Aplicações Industriais do Caulim

As propriedades físicas e químicas do caulim determinam o seu uso final. Alguns caulins são classificados em seis categorias de acordo com as funções primárias e os usos específicos, como sub-categorias, de acordo com a Tabela 2.

TABELA 2: SUBDIVISÃO DOS DIFERENTES CAULINS EM FUNÇÕES PRIMÁRIAS E APLICAÇÕES ESPECÍFICAS.

CATEGORIAS	SUB-CATEGORIAS
Caulim em película	Cobertura de papel, pintura e tintas
Caulim em fibra de extensão	Papel, têxteis e vedantes
Caulim em polímeros de extensão e reforço	Plásticos, borrachas, adesivos, vedantes e calafetantes
Caulim como carga	Catalizadores, cimento, fibra de vidro e compostos de alumínio
Caulim como catalizador, absorvente, diluente, etc.	Pesticidas, produtos farmacêuticos, cosméticos, fertilizantes e ração animal
Caulim como agente de polimento	Pasta de dentes, polidor de automóveis e de vários metais

FONTE: Adaptados e traduzidos de BUNDY (1993, p. 66-67).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi elaborado em quatro etapas:

- Trabalho de campo: observações geológicas e mineralógicas, coleta de amostras, definição das localidades através de GPS (Global Positioning System – Garmin 12) e fotografias das ocorrências;
- Preparação das amostras para análises;
- Execução das análises geoquímicas, bem como a interpretação dos resultados e sua discussão;
- Estudos bibliográficos.

3.1 COLETA DAS AMOSTRAS

De cada ocorrência foram tiradas, no mínimo, duas diferentes amostras: uma de caulim e outra de feldspato, sendo esta última encontrada junto ao caulim.

Simultaneamente à coleta das amostras, foram tiradas fotografias das ocorrências e determinadas as coordenadas geográficas de cada uma delas através de GPS, bem como anotadas as observações geológico-mineralógicas (Figura 14), de acordo com o método descrito a seguir:

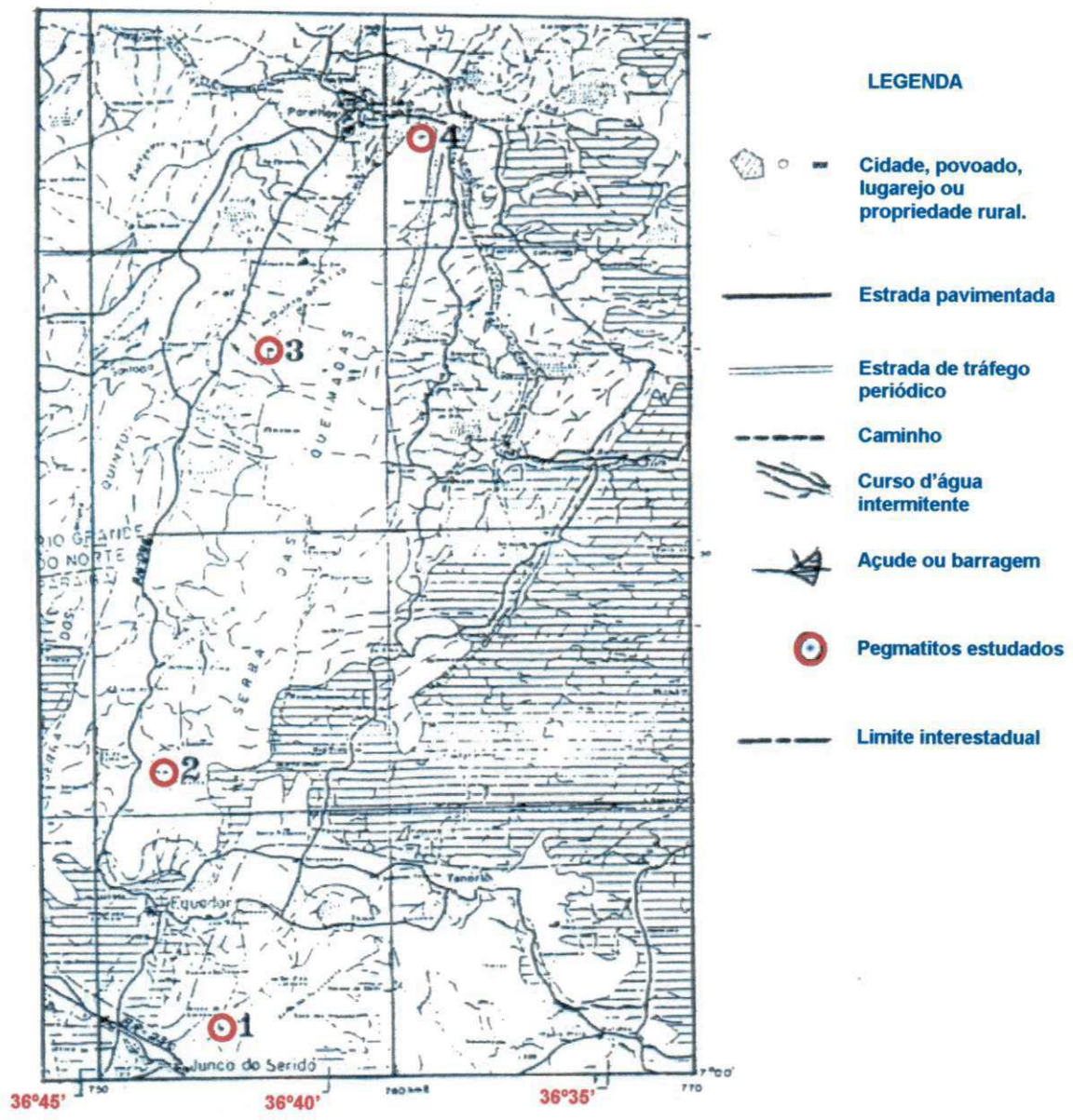
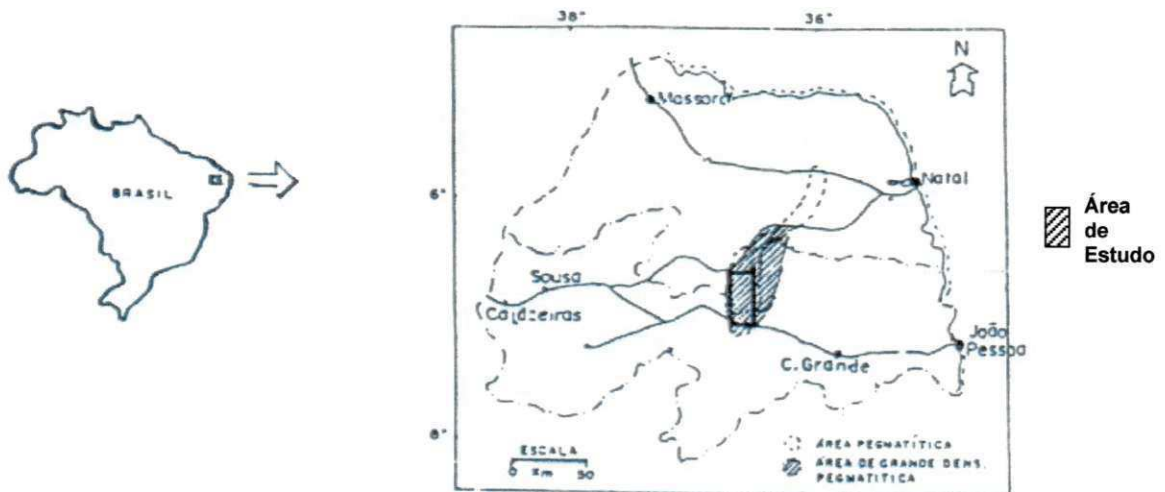


Figura 14 – Localização e vias de acesso dos pegmatitos estudados.
 Fonte: Modificado da Folha Base SB. 24-Z-B-V, CPRM/1987 – Escala 1:1000.000 (Jardim do Seridó)

- Logo após a coleta, todas as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos (devidamente lavados com água bidestilada), com fecho próprio e com gravação de etiqueta para anotação de dados referenciais, sendo depois colocadas em outro saco (agora, de algodão), munido de cadarços e de etiqueta com os mesmos dados do saco plástico em seu interior;
- De todas as amostras, foi coletada uma quantidade de aproximadamente 2,3 kg;
- Do **pegmatito Alto Boqueirão** foram coletadas três amostras: uma de caulim e duas de feldspato.

3.2 ATIVIDADES DE LABORATÓRIO

Antes do preparo, 300 gramas de cada amostra foram reservados, ainda em estado bruto, para esclarecimento de qualquer dúvida futura e para eventuais análises comprobatórias.

3.2.1 Preparo da Amostra de Feldspato para Análise Química

O preparo de uma amostra de silicato consiste nas seguintes operações: remoção de possíveis crostas de alteração ou de contaminações externas, seguida por secagem, britagem, pulverização, homogeneização, redução da amostra (se necessária), tamisação e homogeneização.

A amostra foi colocada em bandeja de alumínio e posta para secar em chapa elétrica de resistência não-exposta, regulada para 110°C, numa capela de exaustão por 30 minutos. Quando na temperatura ambiente a amostra foi passada por moinho de mandíbula para fragmentação (partículas, 2,5 centímetros) e, depois, por moinho de disco de vídeo (vertical) para pulverização, regulado para abertura de 0,074 milímetros (200 mesh).

Após sua homogeneização, foi submetida a um divisor manual quatro vezes seguidas, de modo a reduzir a amostra para 125 gramas, aproximadamente. Depois foi posta sobre uma peneira de 200 mesh, constituinte de um conjunto prato coletor/peneira de 200 mesh/tampa. Em seguida, o conjunto com a amostra, foi posto num vibrador elétrico ajustado para períodos de 15 minutos de vibração. Findo

esse tempo verifica-se se parte da amostra não passou da peneira para o prato coletor. Nesse caso, a fração da amostra que ainda permanece sobre a peneira é passada para um almofariz de porcelana, munido de pistilo, onde a amostra é manualmente pulverizada e levada novamente ao conjunto prato/peneira/tampa, que é posto no vibrador por mais 15 minutos. Os últimos atos referentes à fração não-passante foram repetidos tantas vezes quantas necessárias até que toda a amostra houvesse passado da peneira para o prato. Outra vez a amostra foi homogeneizada, quarteada e, **pela última vez, reduzida à metade** (mais ou menos 60 gramas), acondicionada em saquinho plástico, com fecho próprio e etiqueta com os dados referentes à amostra.

Antes, porém, de fechar o saquinho, expulsa-se o ar do seu interior, enrolando-o 3 ou 4 vezes e lacrando-o com adesivo. Somente depois desse procedimento, a amostra seria enviada para análise (adaptação ao método ABNT/P-MB.508).

A porção restante da amostra (60 gramas) foi transferida para um saquinho plástico com fecho próprio, bem identificada e reservada para utilização posterior.

3.2.2 Preparo da Amostra de Caulim para Análise Química

O preparo de uma amostra de caulim para análise química consiste das seguintes operações: desagregação manual – secagem e desagregação em almofariz de porcelana com pistilo – homogeneização – redução da amostra – tamisação e acondicionamento.

A amostra é posta em uma caçarola de porcelana em pequenos bocados de modo que seja desagregada manualmente o máximo possível. Depois é posta para secar em chapa elétrica de resistência não-exposta regulada para 110°C, numa capela de exaustão por 2 horas para secar.

Esfriada naturalmente, a amostra é desagregada em almofariz de porcelana, aos poucos e reservada ao lado sobre toalha plástica. Após a desagregação total da amostra, agora totalmente seca (a amostra não adere à parede interna do almofariz ou do pistilo) é homogeneizada e passada por divisor manual quatro vezes seguidas, de modo a ser reduzida para 125 gramas, aproximadamente. Depois é posta sobre uma peneira de 200 mesh, constituinte de um conjunto prato coletor/peneira de 200 mesh/tampa. Em seguida, todo o conjunto, agora com a

amostra, é levado para um vibrador elétrico ajustado para períodos de 15 minutos de vibração. Verifica-se depois se parte da amostra não passou da peneira para o prato coletor. Nesse caso, a fração da amostra que ainda permanece sobre a peneira é transferida para o almofariz de porcelana, munido de pistilo onde é pulverizada manualmente e levada ao conjunto prato/peneira/tampa que é posto no vibrador por mais 15 minutos. Esse procedimento, referente à fração não-passante, é repetido tantas vezes quantas necessárias até que toda a amostra tenha passado da peneira para o prato.

Finalmente, a amostra após homogeneizada, quarteada e reduzida à metade, (60 gramas) é acondicionada em saquinho plástico, dotado de fecho próprio e etiqueta com os dados referentes à amostra. Antes, porém, de fechar o saquinho, expulsa-se o ar do seu interior, enrolando-o 3 ou 4 vezes e lacrando-o com adesivo. A amostra está pronta para ser enviada para análise (adaptação ao método ABNT/P-MB508).

A porção restante da amostra (60 gramas aproximadamente) é transferida para um saquinho plástico com fecho próprio, identificada e reservada para utilização posterior.

3.2.3 Determinação gravimétrica de Perda ao Rubro

Tomar duas pesadas de 1,0000 grama (cada) e passá-las para cadinho de porcelana (ou de platina) previamente tarados a 1.000°C.

Levar os cadinhos, agora com as amostras para mufla a 1.000°C e deixá-los ali por 30 minutos. Findo esse tempo, transferir os cadinhos da mufla para um dessecador por 15 minutos e pesá-los em balança eletrônica de precisão, anotando os seus pesos.

A perda ao rubro (PR%) é dada pela diferença entre (peso do cadinho + amostra) – (peso do cadinho + amostra após 30 minutos em mufla a 1.000°C) multiplicado por 100. (Método ABNT/P – MB 510).

Vale observar:

1. As determinações de perda ao rubro tanto nas amostras de feldspato quanto nas de caulim, foram feitas usando a porção restante de cada amostra preparada.

2. Tanto as amostras de feldspato quanto as de caulim reservadas para análises difractométricas e por ICP-MS (induced coupled plasmamulti spectral foram enviadas para o "Institut Fur Min Geochemie Und Geiseltal Museum" em Halle/Saale – República Federativa da Alemanha aos cuidados do Sr. Dipl. Uwe König que executou as análises solicitadas.

3.3 BREVE DESCRIÇÃO DOS PEGMATITOS FONTES DAS AMOSTRAS ESTUDADAS

3.3.1 Alto Brenan

Coordenadas geográficas: S 06°59'054 / W 036°42'945

Situado no topo da Serra das Queimadas acima da cidade de Junco do Seridó (ocorrência 1 na Figura 14). O pegmatito tem direção quase N-S e está intrudido subvertical e discordantemente no quartzito da Formação Equador. Esse pegmatito tem seu comprimento não revelado. Os trabalhos, banquetas e galerias indicam comprimento superior a 100m. O corpo tem forma lenticular alongada e, pelos afloramentos existentes, uma espessura de, no mínimo, 12 (doze) metros (Fotos 1 e 2). Sua composição consiste de quartzo, feldspato e mica, sendo o feldspato original microclínio e a mica muscovita. Existem vários bolsões de corpos de substituição, compostos de cleavelandita, esporadicamente com turmalina (elbaíta)-azul. O contato para o oeste está relativamente bem desenvolvido, em forma linear, enquanto o contato leste com o quartzito é mais complicado e apresenta uma linha em ziguezague, dando impressão de uma espessura maior. O Alto Brenan é conhecido no mundo inteiro como fornecedor de excelentes cristais de manganotantalita, de cor vermelha e, em pequenas lascas, até transparente.

Parte do microclínio está transformado em caulim. Essa caulinização é mais desenvolvida no centro do pegmatito, resultando em grande bolsões, de uma mistura de caulim, muita muscovita e restos de feldspato (microclínio e albita). O pegmatito está minerado principalmente por caulim, com produção esporádica de elbaíta azul e manganotantalita. Os shafts mais profundos atingem uma profundidade de aproximadamente de 60 m.



Foto 1 – Vista em direção sul do pegmatito Brenan, mostrando os contatos do pegmatito com o quartzito. O pegmatito está na parte central da foto.

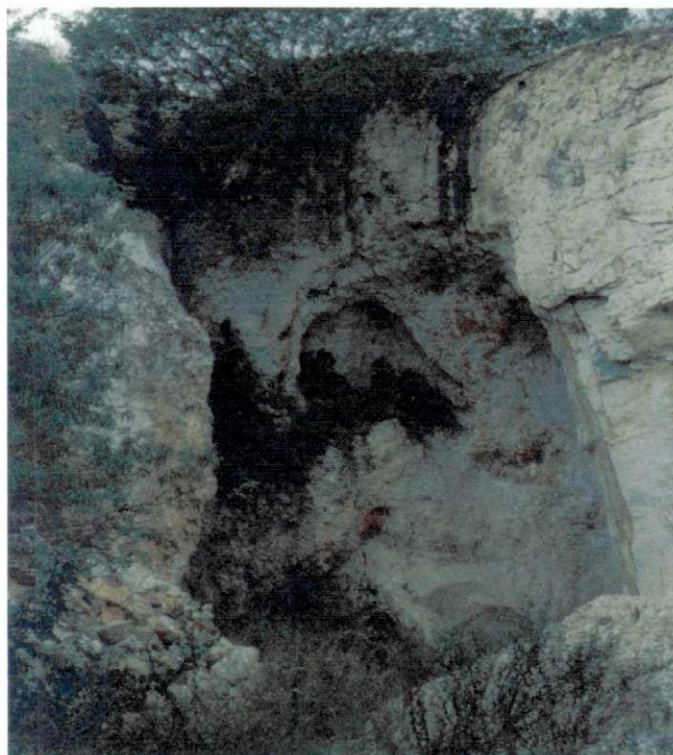


Foto 2 – Vista em direção norte do pegmatito Brenan (espessura aprox. 10 m)

3.3.2 Alto Mamões

Coordenadas geográficas: S 06°54'889 / W 036°43'876

Situado paralelamente à estrada que liga as cidades de Equador e Parelhas/RN, esse pegmatito encontra-se acerca de 4 km ao norte de Equador (ocorrência 2 na Figura 14). Sua direção é quase N-S e está intrudido subverticalmente dentro do quartzito da Formação Equador. O quartzito mergulha com 35° para o oeste. Esse pegmatito é aflorado por uma distância de, no mínimo, 200 metros, tem forma lenticular bastante alongada e seu comprimento total é desconhecido, mas os afloramentos existentes indicam que o mesmo ainda continua por uma certa distância em direção ao sul. Sua espessura máxima é de, aproximadamente, 15 (quinze) metros. Semelhante ao pegmatito Alto Brenan, o contato oeste de Alto Mamões é desenvolvido regularmente, enquanto o contato para leste apresenta-se mais complicado, ainda com grandes desmoronamentos do quartzito dentro do espaço, de onde o pegmatito já foi retirado.

Sua **composição geral é basicamente** quartzo, feldspato e mica, sendo feldspato o microclínio e mica, a muscovita. Existe, no centro do corpo pegmatítico, um expressivo núcleo de quartzo (Foto 3), interrompido por grandes cristais de microclínio, os quais deixaram, em muitos casos, enormes figuras negativas das faces anteriores dos seus cristais no quartzo (Foto 3). A caulínização é irregularmente distribuída e atingiu boa parte dos microclínios (Foto 4). Outros microclínios permanecem inalterados. Os demais minerais presentes são: berilo (comum, verde e azulado) e afrisita (turmalina preta) mais perto do contato. O pegmatito é minerado por dois grupos de garimpeiros, tirando caulim, pouco minério preto em disseminação fina e berilo.



Foto 3 – Vista do centro do pegmatito Alto Mamões, mostrando o núcleo de quartzo e figuras negativas de microclínio na superfície do quartzo (vista na direção sul)



Foto 4 – Vista na direção norte no centro do pegmatito Mamões, mostrando o feldspato transformado em caulim (branco).

3.3.3 Pegmatito Quintos de Baixo

Coordenadas geográficas: S 06°46'168 / W 036°41'133

Explorado pela H & R Mineração Ltda., esse pegmatito é visível, seguindo a mesma estrada que liga as cidades de Equador e Parelhas/RN (veja Alto Mamões), acerca de 14 km ao sul de Parelhas (pela estrada asfaltada) ou de 8 km (estrada de chão), (ocorrência 3 da Figura 14). Ele é situado na parte oeste da Serra das Queimadas, nos arredores do sítio, denominado "Baixo dos Quintos", próximo ao pé desta serra (Foto 5). Nesse pegmatito explorou-se berilo à partir de 1975/1976. A mineração foi interrompida em 1988, depois de uma extração de berilos, estimada em torno de 2000 toneladas. No final dos anos noventa as atividades foram reiniciadas por causa da descoberta de turmalina Paraíba (elbaita azul de coloração excepcional) estando em extração desde essa data.

O pegmatito está aflorando na sua parte mais sul (Foto 5). Sua direção é de 10° e seu mergulho varia entre 35°/E na parte mais sul, até quase 60°/E na sua parte inferior em direção ao norte. O pegmatito mostra caimento, seu teto desaparece em direção ao norte com uma média de mais ou menos 35°. Sua espessura também varia bastante, sendo maior na parte sul (25 m) e diminuindo para o norte. A forma desse corpo é mais tabular do que lenticular, mas bastante irregular e seu comportamento tectônico é considerado um dos mais complicados. O pegmatito é intrudido no quartzito da Formação Equador, de forma discordante, com mergulho variável para oeste.

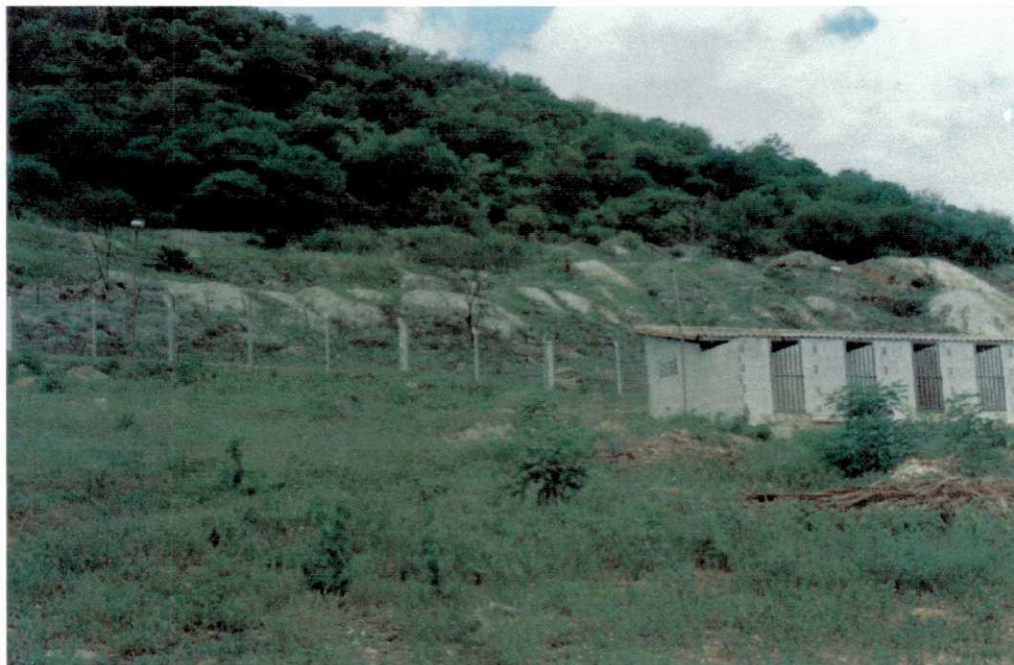


Foto 5 – Vista da parte mais sul do pegmatito Quintos de Baixo mostrando instalações e acumulações de rejeitos.

O pegmatito não apresenta um núcleo compacto de quartzo, mas grandes bolsões de massas de quartzo central, interrompido por outros de feldspato. Encostado à massa central de quartzo, encontram-se extensos corpos de substituição, compostos por cleavelandita. Intercrescido no quartzo e na cleavelandita, observa-se grande quantidade de cristais de espodumênio, transformados completamente em caulim. O anterior espodumênio é acompanhado por cristais de morganita (berilo róseo) de cor rósea-pálida. É naqueles corpos de substituição, onde se encontram imensas quantidades de turmalinas, quase todas transformadas em lepidolita (mica de lítio). Os cristais atingem tamanho de até 01 (um) metro e alguns mostram ainda pequenos restos da cor azul anterior, sendo a casca azul extremamente fina (Fotos 6 e 7). Muitas destas turmalinas, mesmo transformadas em lepidolita, mostram coloração múltipla. Grandes quantidades de lepidolita estão presentes em toda parte do pegmatito. Perto do contato se desenvolveu muita turmalina preta (afrisita) e granada (almandina e/ou espessartita). Apatita ocorre em pequenas quantidades.

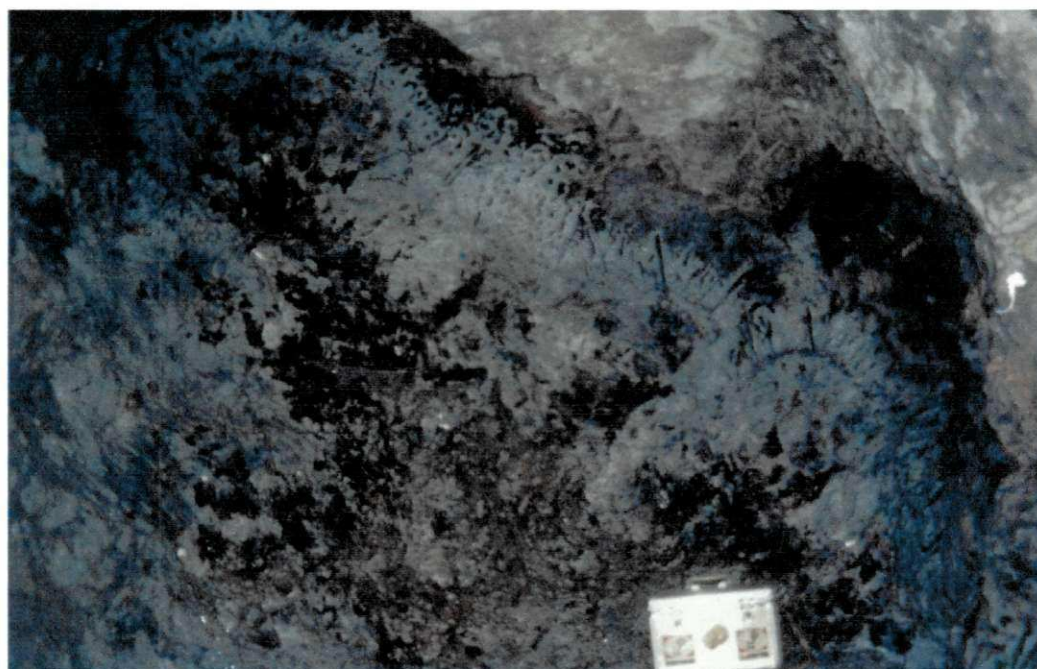


Foto 6 – “Galeria” de turmalina elbaita em arranjo radial dentro de corpo de substituição no interior do pegmatito Quintos de Baixo.

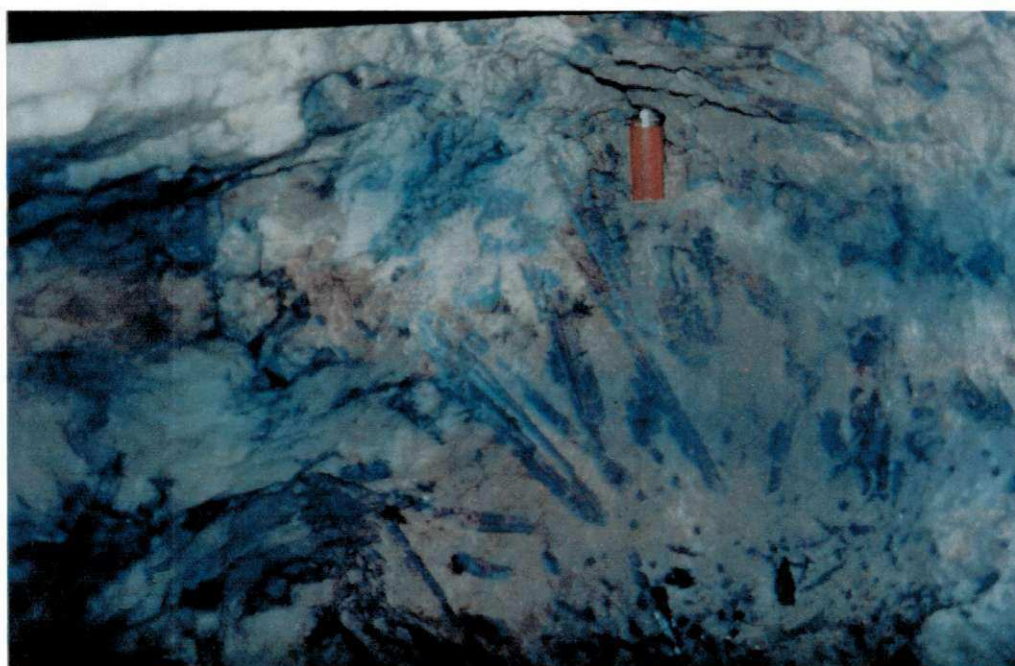


Foto 7 – Vista detalhada de turmalinas elbaitas azuis no interior do pegmatito Quintos de Baixo.

A caulinização desse pegmatito mostra claro arranjo espacial. Perto da sua superfície todo o microclínio foi transformado em caulim. No interior, nas partes mais profundas, o caulim é cada vez mais escasso e até ausente, sendo o microclínio o mineral dominante.

3.3.4 Alto Boqueirão (Alto da Cabeça)

Coordenadas geográficas: S 06°41'957 / W 036°38'086

No final da Serra das Queimadas, na sua parte mais norte, no topo e praticamente acima da cidade de Parelhas/RN (ocorrência 4 na Figura 14) encontra-se esse pegmatito (foto 8), que já foi minerado por uma empresa/grupo americano nos anos cinquenta. Esse pegmatito, também é intrudido discordantemente no quartzito da Formação Equador. Ele tem direção de 70° (comunicação verbal de J.A.M. FERREIRA) e por isso, difere significativamente dos outros pegmatitos descritos nesse trabalho (sendo os outros todos quase na direção N-S). Sua posição é subvertical e sua composição principal é de quartzo, microclínio e muscovita.

Alto Boqueirão apresenta um distinto núcleo de quartzo, com alguns cristais grandes de microclínio isolados dentro desse quartzo. Intercrescido no quartzo encontra-se grande número de cristais de espodumênio, todos transformados em caulim. Espalhados no interior do pegmatito, encontram-se muitos corpos de substituição, compostos por cleavelandita e de vez em quando com espaços ociosos, chamados pelos garimpeiros de "fogão", que podem ser mineralizados com lepidolita, turmalina elbaíta de diferentes cores (com a cor azul predominando), apatita e morganita (berilo róseo) entre outros, inclusive de cristais tetrageminados de microclínio, sendo eles pseudomorfos para ortoclásio (comunicação verbal R. WEGNER). Também podem ser encontrados fogões de muscovita com seus indivíduos desenvolvidos em forma de estrelas. Muitos fogões contêm grande quantidade do mineral cookeita, oriundo de turmalina elbaíta ou de espodumênio. Foram encontrados nesse pegmatito, muitos minerais fosfáticos, oriundos de blocos e bolsões de trifilita-litiofilita (entre eles, fosforossiderita), concentrações elevadas de minerais secundários de urânio, oriundo de uraninita/pechblenda e minerais de bismuto: bismuto nativo, bismutinita, bismutita, bismita e, em pequenas quantidades, bismoclita.

A caulinização desse pegmatito é menos avançada comparada com os demais pegmatitos descritos. O caulim está transformando cristais grandes de microclínio no centro do corpo. Pelas observações no campo e confirmado pelas análises difratométricas, a caulinização é incompleta, deixando uma mistura de feldspato e caulim.



Foto 8 – Vista central do corpo pegmatítico do Alto Bolqueirão.

3.4 ESTUDOS BIBLIOGRÁFICOS

Os estudos bibliográficos têm como objetivo acompanhar os resultados obtidos de outros pesquisadores sobre o referido assunto, bem como aprofundar o conhecimento em geral e de assuntos específicos ligados à pesquisa. Foram usados, neste trabalho, as bibliografias disponíveis no Laboratório de Análises Minerais – LAM; do Centro Gemológico do Nordeste (ambos vinculados ao Departamento de Mineração e Geologia – DMG/CCT/UFCG); da Biblioteca Central da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG; da Companhia de Desenvolvimento dos Recursos Minerais – CDRM, Paraíba; do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM/15a Divisão - Campina Grande/PB; da Universidade Federal do Pará – UFPA e da Universidade de Halle/Alemanha, bem como estudos através da internet.

4 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS

4.1 ANÁLISES DIFRATOMÉTRICAS DE RAIOS-X

Foi executada, de cada uma das quatro amostras estudadas, uma análise difratométrica com o PHILIPS X'PERT (Universidade de Halle/Alemanha). Análises difratométricas de amostras de caulim são indispensáveis para se conhecer a combinação exata dos seus minerais constituintes, além de informar a presença de outros minerais do grupo das caulinitas ou de outros grupos a fim de que se possa interpretar melhor os resultados obtidos.

Foi constatado, pelos diagramas das quatro amostras, que não há presença de outros membros do grupo das caulinitas (Difratogramas 1 – 4).

Por outro lado, foi confirmada a presença de outros minerais em várias diferentes combinações: albita, muscovita e quartzo, em diferentes quantidades. Quartzo em pequena quantidade está presente nas amostras de Quintos de Baixo, Brenan e Mamões e ausente na de Boqueirão. Muscovita, também em pequenas quantidades está presente em todas as amostras. Albita foi detectada nos diagramas de Quintos e Boqueirão. A presença da albita em ambas as amostras, supera em quantidade, a caulinita, e prova, que o processo de caulinição nestas amostras não foi muito desenvolvido. Em outras palavras: a cor branca e a aparência da amostra de caulim não traz muita informação sobre a sua verdadeira natureza, necessitando indispensavelmente da execução de análises difratométricas para sua correta interpretação.

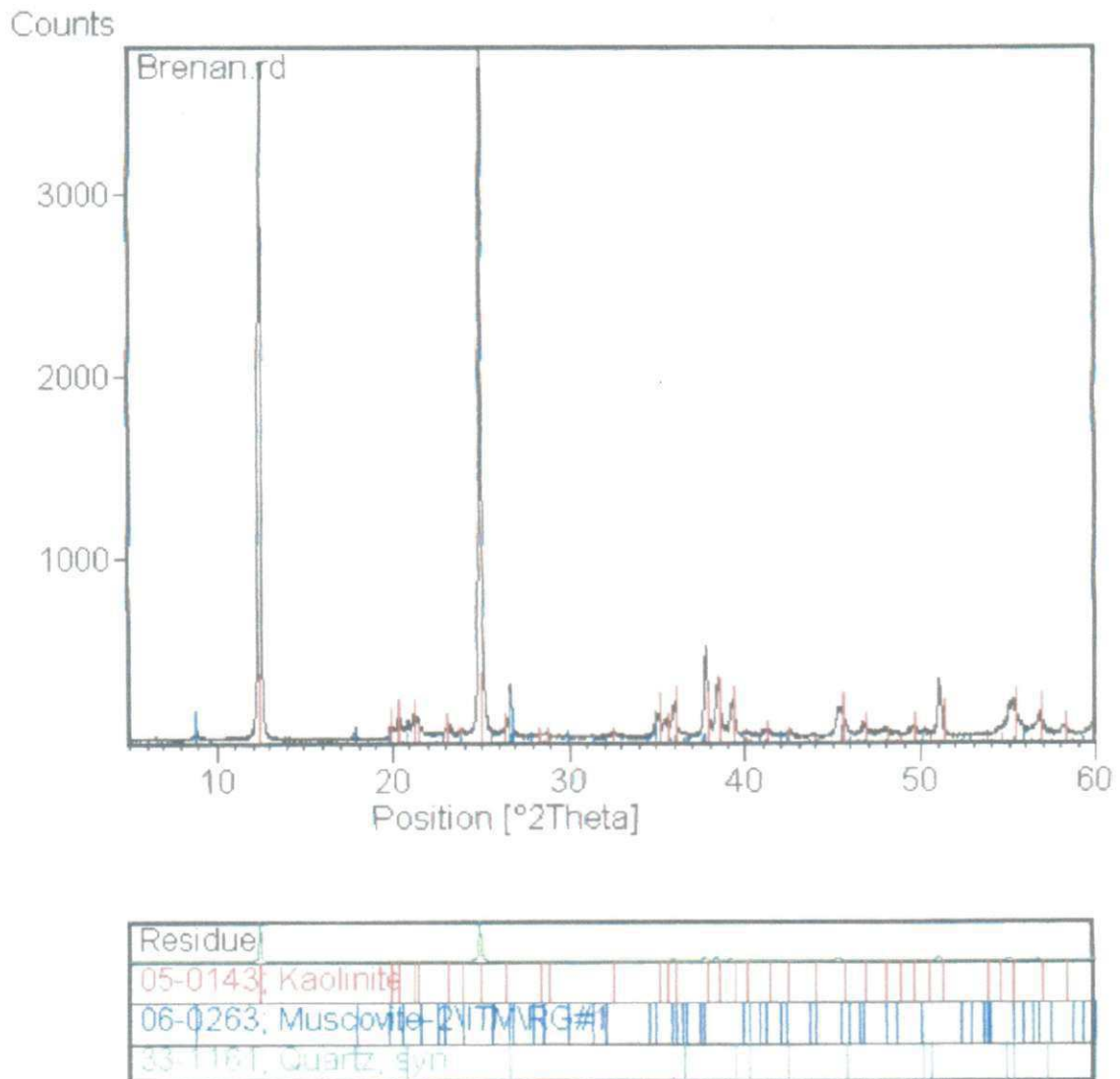
A presença de albita é surpreendente. Para sua ocorrência nas duas amostras existem duas diferentes explicações:

- a) a caulínização tem como matéria-prima o mineral albita, que ainda não foi transformado completamente;
- b) o mineral microclínio foi ou está se transformando, deixando restos de albita.

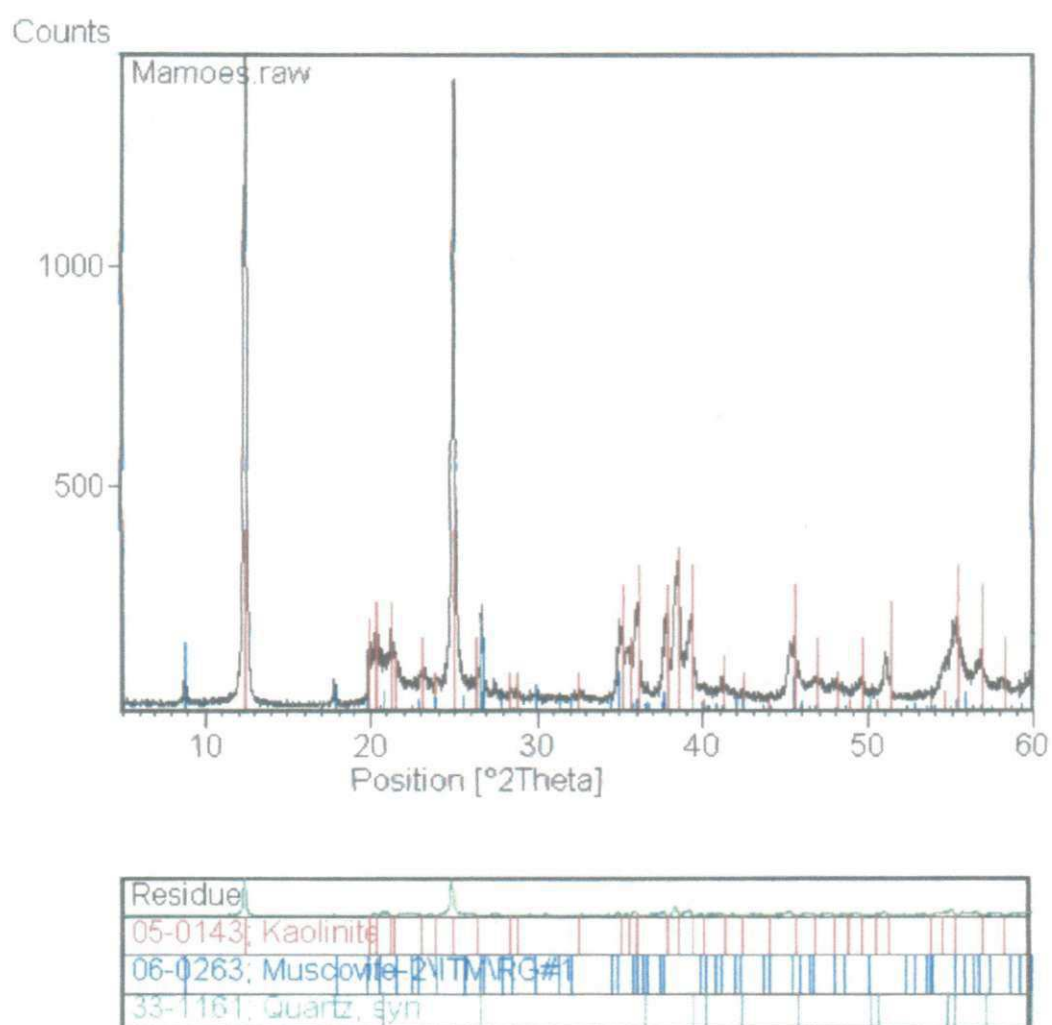
No último caso, onde o mineral original é o microclínio, deve ser levado em consideração, que o microclínio é o mineral mais frequente entre os dois feldspatos (feldspato potássico e albita). Microclínio nos pegmatitos graníticos, na sua grande maioria, é desenvolvido de forma pertítica, onde uma pequena fase de albita está presente. Geralmente, a albita altera mais rapidamente, conforme mencionado por Murray, Keller (1993, p. 5 apud MURRAY, et al., 1978), "Arrow (3) shows the common reaction in tropical climates where the most intense weathering removes silica and forms gibbsite. Plagioclase feldspars are relatively unstable and alter before either potash feldspar or muscovite"

Mais tarde, os mesmos autores revelaram uma ocorrência de halloysita, derivada de alteração de derrames de lavas de riólito na Nova Zelândia: "The altered rocks contain about 50% quartz, fine amorphous silica, and cristobalite and 50% of a mix of halloysite, kaolinite, and allophane with a small amount of plagioclase feldspars in the kaolins in coarse fraction."

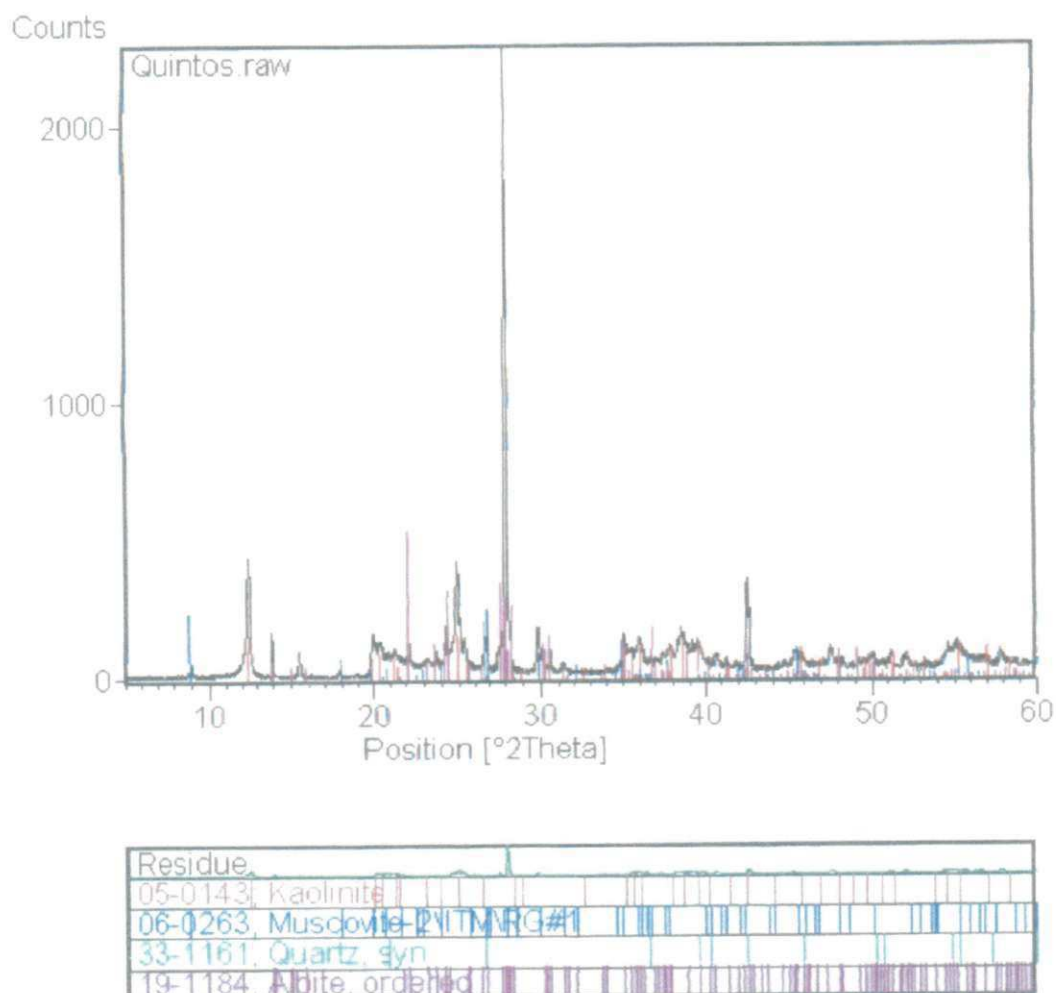
A presença de albita nas amostras de Quintos de Baixo e Boqueirão, oferece duas diferentes interpretações: de origem da albita ou de microclínio pertítico. A região da Borborema-Seridó é considerada semi-árida e oferece condições climáticas profundamente diferentes das do clima tropical. Além disso, a presença do elemento cloro no processo de transformação também deve ser levado em consideração. A frequente ocorrência de cloro em minerais secundários foi confirmada por Wegner et al. (1999) através do mineral *bismoclita* (BiOCl) que se forma da *bismutinita* (Bi_2S_3) e que está presente em todas as amostras de bismutinita estudadas. Outra confirmação da presença do elemento cloro naquele pegmatito é fornecida pelas águas subterrâneas (bastante salgadas e inútil para o consumo humano) no seu interior.



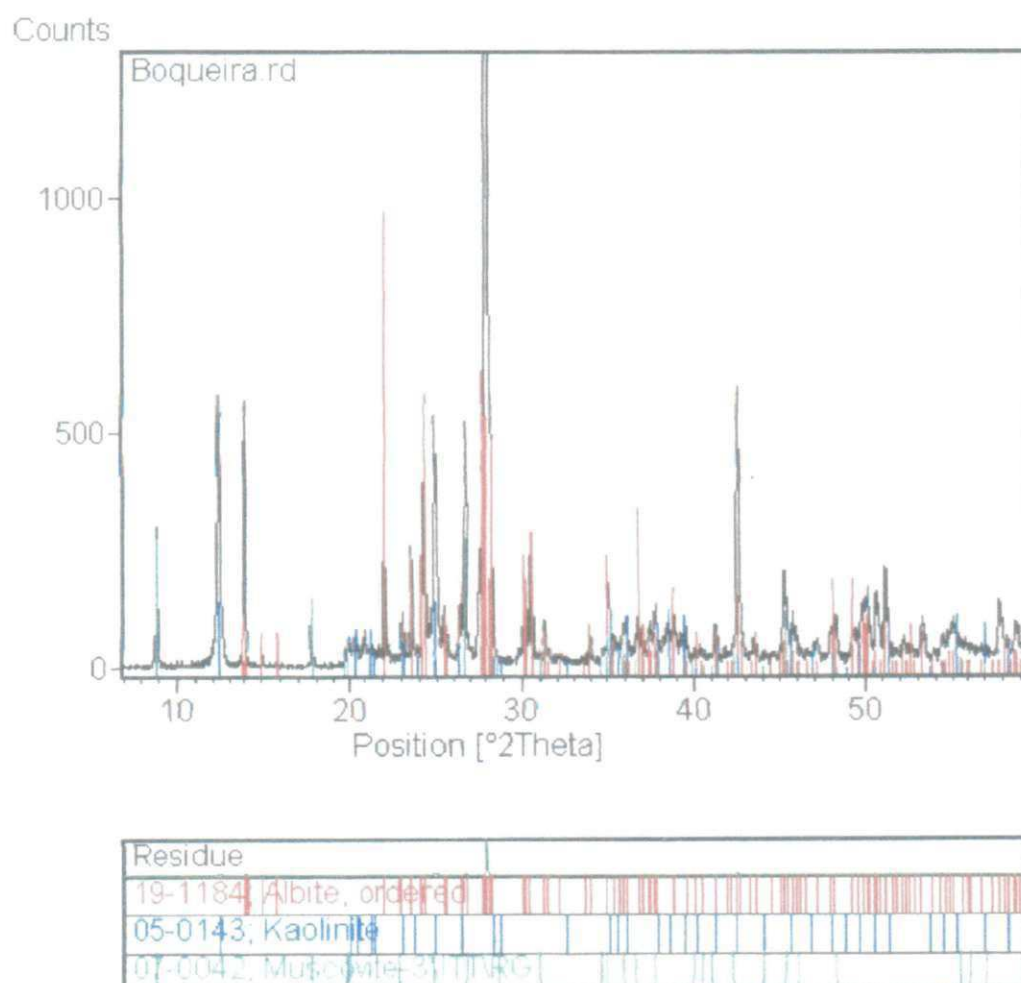
Difratograma 1 – Difratograma da amostra *Brenan* (Pegmatito Alto Brenan), mostrando presença de caulinita, muscovita e quartzo (PHILIPS X'PERT, Universidade de Halle/Alemanha).



Difratograma 2 – Difratograma da amostra Mamões (Pegmatito Alto Mamões), mostrando presença de caulinita, muscovita e quartzo (PHILIPS X'PERT, Universidade de Halle/Alemanha).



Difratograma 3 – Difratograma da amostra Quintos (Pegmatito Baixo dos Quintos), mostrando presença de caulinita, muscovita, quartzo e albite (PHILIPS X'PERT, Universidade de Halle/Alemanha).



Difratograma 4 – Difratograma da amostra Boqueirão (Pegmatito Alto Boqueirão), mostrando presença de albita, caulinita e muscovita (PHILIPS X'PERT, Universidade de Halle/Alemanha).

Outro fato, a ser discutido, é a composição bastante diferente entre os dois pegmatitos.

A amostra de albita/caulinita do pegmatito Boqueirão foi retirada do resto de um grande cristal, aparentemente microclínio no centro do pegmatito, dando a impressão de que, nesse caso, a albita na amostra estudada deriva-se realmente da fase perítica desse microclínio, sendo o feldspato potássico alterado mais rapidamente do que a fase albítica, causando uma mistura de albita e caulinita com pouca muscovita.

A composição do pegmatito Quintos de Baixo é fundamentalmente diferente. Nele existem grandes corpos de substituição de albita/cleavelandita, além da transformação de microclínio em caulim perto da superfície. A amostra estudada foi retirada da primeira galeria, perto da superfície e conseqüentemente é muito difícil determinar sua exata origem, seja de microclínio ou de albita/cleavelandita.

Sobretudo, é muito importante salientar, através das difratometrias de RAIOS-X executadas, a falta de outros minerais do grupo das caulinitas, como por exemplo a dickita ou a nacrita, cujo significado será discutido nas conclusões.

4.2 RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS

As análises químicas foram executados com ICP-MS na Universidade de Halle/Alemanha. Foram submetidos à análise, 6 (seis) amostras: quatro referentes aos conteúdos quantitativos em elementos essenciais (Tabela 3) e duas amostras referentes aos conteúdos quantitativos em elementos-traços do Alto Boqueirão (Tabela 4).

Os resultados obtidos permitem a interpretação e a discussão dos seus significados. Diferentemente das análises difratométricas, todas as amostras analisadas quimicamente, foram executadas em duplicata, para maior segurança dos resultados.

TABELA 3 – RESULTADOS DE ANÁLISES COM ICP-MS DE ELEMENTOS ESSENCIAIS DE AMOSTRAS DOS QUATRO PEGMATITOS ESTUDADOS (VALORES EM % DE ÓXIDOS E PERDA AO RUBRO (PR%) GRAVIMÉTRICO).

Elementos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P.R.	Total
FELDSPATOS DO ALTO BOQUEIRÃO									
Boq 1a	64,11	22,08	0,07	0,02	0,10	9,69	1,36	1,97	99,40
Boq 1b	63,56	22,05	0,09	0,01	0,07	8,89	2,56	2,05	99,28
Boq 2a	63,78	20,81	0,14	0,01	0,04	3,23	10,98	0,57	99,56
Boq 2b	64,08	20,46	0,06	0,01	0,01	2,46	11,46	0,59	99,13
CAULINS/CAULINITAS									
Boqueirão a	58,18	26,29	0,07	0,04	0,12	8,87	1,14	4,67	99,38
Boqueirão b	58,02	26,37	0,06	0,03	0,09	8,76	1,17	4,70	99,20
Quintos a	49,04	34,12	0,04	0,06	0,26	3,17	0,69	11,41	98,79
Quintos b	48,79	34,03	0,06	0,06	0,26	3,23	0,89	11,23	98,55
Mamões a	47,18	38,11	0,08	0,07	0,04	0,04	0,76	13,57	99,85
Mamões b	46,87	38,37	0,08	0,07	0,03	0,09	0,88	13,73	100,12
Brenan a	47,02	38,09	0,14	0,03	0,04	0,11	0,93	13,47	99,83
Brenan b	47,15	37,77	0,13	0,04	0,08	0,13	1,01	13,34	99,65

TABELA 4 – CONTEÚDOS EM ELEMENTOS TRAÇOS DE DOIS FELDSPATOS DO ALTO BOQUEIRÃO – DADOS EM PPM (ANÁLISES COM ICP-MS – UNIVERSIDADE DE HALLE/ALEMANHA)

Elementos	Boq. 1a	Boq. 1b	Boq. 2a	Boq. 2b
Li	56,34	54,44	297,06	305,97
Be	11,39	8,80	5,35	5,01
Sc	23,24	22,84	22,71	22,04
Ti	78,22	62,90	70,13	64,69
Cr	40,15	105,38	91,05	122,65
Mn	15,71	18,74	23,33	25,28
Co	0,57	0,95	0,82	1,20
Cu	20,90	45,73	82,43	30,71
Zn	53,86	60,54	84,74	51,66
Ga	25,25	24,48	28,99	30,15
Sr	2,21	1,18	2,89	2,25
Y	10,90	9,95	9,80	9,62
Zr	41,67	22,36	26,24	21,20
Nb	32,54	20,44	21,21	19,66
Mo	5,13	3,86	2,35	2,93
Pd	1,92	1,34	1,04	1,08
Ag	2,16	1,59	1,50	2,69
Cd	1,02	0,99	0,47	0,52
In	0,78	0,61	0,53	0,51
Sn	3,22	4,47	5,13	2,83
Ba	6,04	4,58	14,03	8,33
Tl	0,66	0,58	137,25	137,54
Bi	3,36	2,45	0,90	0,90
Pb	3,18	2,90	4,92	5,57
La	0,32	0,31	0,38	0,38
Ce	2,82	1,19	0,75	0,74
Nd	0,81	0,19	0,34	0,33
Sm	0,19	0,06	0,08	0,08
Eu	0,06	0,03	0,03	0,02
Gd	0,27	0,10	0,09	0,09
Tb	0,05	0,02	0,02	0,03
Er	0,12	0,07	0,03	0,02
Yb	0,11	0,08	0,03	0,02
Lu	0,03	0,02	0,01	0,01

4.2.1 Elementos Essenciais

As análises químicas confirmam os resultados difratométricos referentes à composição das amostras, principalmente à respeito das relações entre o feldspato e a caulinita. As amostras com a designação **Boq.**, oriundas do pegmatito Alto Boqueirão, confirmam parcialmente a interpretação dos resultados difratométricos, ou seja, que as amostras podem derivar-se do microclínio. A presença de microclínio é confirmada: **Boq. 2** tem uma média de 11,22% de K_2O e 2,85% de Na_2O . Esses conteúdos estão em plena coerência com aqueles obtidos por Wegner (1983) referentes a grande número de feldspatos, analisados por ele em pegmatitos de Minas Gerais. Segundo Wegner (1983), a relação de 4:1 entre K_2O e Na_2O é típica para microclínios pertíticos. As composições das amostras **Boq. 1** e **Boq. 2** (feldspatos do Alto Boqueirão) com relação a estes dois óxidos é inversa e confirma a presença de albita. A perda ao rubro delas, com médias de 2,01% e 0,58% deixam claro que a presença de caulinita é pequena.

Estes resultados são confirmados na análise da amostra de caulim/caulinita Boqueirão, cujos valores médios foram: PR (4,69%), Na_2O (8,82%), K_2O (1,16%), SiO_2 (58,10%) e Al_2O_3 (26,33%).

Ainda segundo Wegner (1983), os teores SiO_2 , Al_2O_3 , Álcalis ($Na_2O + K_2O$) e P.R mostram bem a relação feldspato/caulinita nas amostras: quanto mais baixos forem os valores de SiO_2 e de Álcalis e mais altos os de Al_2O_3 e P.R, maior será a participação da caulinita. E isso foi verificado nas amostras estudadas.

Os demais resultados referentes os conteúdos em Fe_2O_3 , MgO e CaO , revelam que esses óxidos não participam significativamente da composição das amostras. O conteúdo mais elevado em um dos óxidos em todas as amostras estudadas, é o valor de 0,26% em CaO na amostra **Quintos (1 e 2)**. Esse valor dá a impressão, de que realmente se trata de uma albita/cleavelandita em estado de transformação em caulinita, uma vez, que a relação de 0,26% de CaO para 0,80% de K_2O , com uma média de 3,20% de Na_2O , provavelmente representa uma albita com componente de anortita. A parte anortítica ($CaAl_2Si_2O_8$) é mais sensível ao processo de alteração e seria a primeira a ser liberada durante o intemperismo e a transformação em caulinita. Conseqüentemente, o valor inicial dessa anortita deveria ter sido ainda mais elevado, pouco provável para feldspato potássico, cujo potencial de incorporação de $CaAl_2Si_2O_8$ é bastante restrito.

4.2.2 Elementos Traços

Somente foram analisadas em duplicata, duas diferentes amostras do pegmatito Alto Boqueirão, com as denominações **Boq. 1** e **Boq. 2**. Aplicando os resultados obtidos para os elementos essenciais, **Boq. 1** é composto principalmente de albita, com pequena participação de microclínio e caulinita, e **Boq. 2**, de feldspato potássico com pouca albita e muito pouco de caulinita.

Mesmo assim, alguns dos resultados (veja Tabela 4) surpreendem. O elemento **Li** está presente em valores elevados nos dois feldspatos analisados. Wegner (1983) mostrou, que a albita praticamente não incorpora esse elemento e os valores dele para os microclínios também são restritos. É mais provável, que se trata, em ambas as amostras, de inclusões do mineral lepidolita, sendo ela responsável pelos valores elevados.

Mais surpreendente ainda, são os resultados para os elementos **Ti** e **Cr**. Conteúdos elevados em **Ti** e **Cr** são típicos para rochas básicas, como por exemplo basaltos e peridotitos e somente existem em traços nas rochas ácidas. Os valores para o titânio são relativamente iguais nos dois feldspatos, enquanto que os de cromo variam significativamente nos dois feldspatos e não existe uma explicação fácil para esse fato. Para melhor interpretar os dados de **Ti** e **Cr** seriam necessárias mais análises, para entender a quantidade e a variação desses elementos. Existe a possibilidade de uma contaminação externa, porque os valores para os mesmos feldspatos variam muito (**Cr** em **Boq. 1** tem valor médio 72,5 ppm enquanto que em **Boq. 2** essa média passa para 106 ppm).

Os elementos **Sr** e **Ba**, companheiros comuns da albita, têm valores extremamente pequenos (1,7 e 5,3 ppm, respectivamente). Uma das possíveis explicações seria sua remoção durante o processo de alteração, interpretação que pode ser confirmada através dos baixos valores no microclínio: 2,6 ppm de **Sr** e 11,2 ppm de **Ba**.

Com referência às questões ambientais, constata-se, que os dois elementos **Pb** e **Cd**, ocorrem somente em pequenas quantidades. Foram verificados valores entre 1 ppm de **Cd** e 3 ppm de **Pb** na albita e 0,5 ppm de **Cd** e 5 ppm de **Pb** no microclínio. O feldspato potássico pode incorporar quantidades bem acima de 1000 ppm, porém é interessante constatar que o microclínio do Alto Boqueirão tem valores extremamente baixos.

O elemento bismuto (Bi), também surpreende. Sendo o Alto Boqueirão um pegmatito com significativa participação em minerais de bismuto valores baixos em Bi demonstram, que a mineralização de bismuto é concentrada localmente dentro do corpo do pegmatito e não, distribuído mais disseminadamente. Isso reflete a probabilidade de um processo de diferenciação avançada, onde o bismuto se concentrou mais tardiamente não entrando, dessa forma, nos feldspatos anteriormente cristalizados.

O que foi discutido referente ao elemento bismuto, não se aplica ao elemento cobre (Cu). A albita apresenta valores 21 e 46 ppm e o microclínio, 82 e 30 ppm. Além da grande variação nas mesmas amostras, conteúdos de Cu nos feldspatos, principalmente na albita, acima de 10 ppm, são incomuns. Tendo em vista que ocorrem outros pegmatitos com mineralização de minerais de cobre (Alto de Félix, Boqueirãozinho e um pegmatito a menos de 150 m distante do Alto Boqueirão), há uma forte indicação de que o Alto Boqueirão também contém minerais de cobre, embora ainda não encontrados. As turmalinas cupríferas nos pegmatitos de São José da Batalha, Quintos de Baixo e Capoeira 2 também apoiam essa hipótese.

Os conteúdos elevados em Nb em ambas as amostras (entre 20 e 32 ppm) não surpreendem porque quase todos os pegmatitos graníticos da região têm mineralizações em niobatos-tantalatos. Os conteúdos analisadas nestas amostras devem ser explicados por pequenas inclusões desses minerais.

O mais surpreendente resultado das análises está nos valores do elemento tálio (Tl). Praticamente ausente na albita (0,5 ppm), o conteúdo de mais de 137 ppm no microclínio é de difícil interpretação. Apesar do elemento tálio ser relativamente frequente na composição da crosta do nosso planeta, minerais de tálio são raros e restritos para ocorrências completamente diferentes dos pegmatitos. Existem aproximadamente 30 diferentes minerais com conteúdo significativo desse elemento. A maioria combinado com ferro, cobre, prata e antimônio, sendo que mais de vinte deles são sulfetos. Nenhum mineral de tálio, até hoje foi encontrado em pegmatitos graníticos. Conseqüentemente, é difícil uma interpretação sólida. Sabendo que compostos de tálio são extremamente tóxicos, os conteúdos no microclínio chamam a atenção e devem ser considerados em questões ambientais. Sem estudos extremamente detalhados, não se pode excluir a possibilidade da inclusão de um mineral de tálio num pegmatito altamente diferenciado, mas de probabilidade

extremamente pequena. Tálho por sua toxidez tem ampla aplicação como agrotóxico e parece mais provável, que se trata de uma contaminação externa nessa amostra. O caso é bastante alarmante porque o uso de agrotóxicos com base de tálho, apesar da sua eficácia, pode poluir uma área muito além da sua aplicação e trazer danos em locais distantes. Fortes chuvas ocasionais durante o inverno no semi-árido contribuiriam enormemente para a contaminação de áreas bastante extensas.

CONCLUSÕES

Caulim é um bem mineral importante na economia brasileira e especialmente, nos estados nordestinos da Paraíba e do Rio Grande do Norte. Sua extração contribui para as exportações, é base da renda de muitas famílias na região da Borborema-Seridó, além de ser um importante fator de fixação do homem à terra em condições climáticas adversas durante as épocas de estiagem.

O caulim da Borborema-Seridó é encontrado nos pegmatitos graníticos, que ocorrem em grande número nesta região. Sendo o caulim um produto de transformação dos feldspatos pegmatíticos, é indispensável o estudo da sua composição. A execução de análises difratométricas revela com clareza sua composição e ajuda a entender seu estágio exato de transformação. As amostras de quatro diferentes pegmatitos, submetidas à essas análises mostraram suas diferentes composições. Dos pegmatitos denominados Alto Brenan (PB) e Alto Mamões (RN) foram retiradas amostras cujas composições são dominadas pela caulinita com pequenas partes de outros minerais (quartzo, muscovita e albita). Dos outros dois pegmatitos, Quintos de Baixo e Alto Boqueirão (ambos no Rio Grande do Norte), a transformação dos feldspatos em caulinita/caulim foi muito inferior, sendo suas composições ainda dominadas por feldspatos (albita e microclínio). Análises químicas dos elementos essenciais de quatro amostras confirmaram as diferentes composições.

Estudos de elementos traços de algumas amostras trouxeram algumas surpresas. Conteúdos elevados dos elementos cromo e titânio são incomuns para pegmatitos graníticos e sua mais provável interpretação é de contaminação externa ou de inclusões oriundas de alto estágio de diferenciação deste pegmatito. Por outro lado, valores baixos dos elementos bário e estrôncio também são surpreendentes,

por que eles comumente acompanham o feldspato albita. Os valores de cobre indicam, que há uma mineralização de minerais de cobre presente no pegmatito, embora ainda não encontrada. Os valores de cobre chamam especial atenção graças às freqüentes ocorrências de turmalinas elbaítas no pegmatito e as famosas turmalinas "Paraíba" em pegmatitos vizinhos, e alimentam a esperança de se encontrar turmalinas deste tipo também nesse pegmatito (Alto Boqueirão). Conteúdos elevados do elemento tálio (137 ppm) são considerados alarmantes e sua origem mais provável é de contaminação externa através de aplicação de agrotóxicos.

Os resultados obtidos permitem uma segura interpretação da origem do caulim/caulinita. Prevalece a observação, de que a transformação de feldspatos em caulinita com a devida formação do caulim, é restrita aos pegmatitos, que intrudiram em quartzitos, consideradas rochas permeáveis. Em outras rochas de baixa permeabilidade, os feldspatos dos pegmatitos permanecem inalteradas. Para uma derivação através de ação hidrotermal não há indícios por falta de elementos ou minerais típicos. No pegmatito Quintos de Baixo observa-se uma clara subdivisão referente à formação de caulim: o pegmatito intruiu em quartzitos da Formação Equador e os feldspatos deste pegmatito, perto da superfície, encontram-se avançadamente transformadas em caulim. No interior do pegmatito, em maior profundidade, a relação entre o caulim e os feldspatos é inversa. Na parte mais profunda do pegmatito o caulim é praticamente ausente.

Discutindo a possível causa da transformação em caulim, deve ser levada em consideração a surpreendente presença de albita e a ausência de feldspato potássico nos diagramas de difratometria. Geralmente o feldspato potássico é mais resistente do que a albita, mas a presença de um clima semi-árido e a quantidade elevada do elemento cloro, podem reverter o comportamento normal dos feldspatos. A presença de muita água salgada no interior do pegmatito Quintos de Baixo prova a fácil circulação de água e sua origem (pelo conteúdo em sais) da superfície. Minerais de bismuto (por exemplo, a bismutinina) em alguns pegmatitos da região, transformados em bismoclitita, confirmam a participação do elemento cloro.

Também há indícios para a velocidade de transformação de feldspatos em caulim. Pegmatitos intrudidos em quartzitos não elaboram cristais característicos na região, ao contrário dos pegmatitos intrudidos em rochas como micaxisto. Muitos deles intrudidos no xisto, são elementos morfológicos marcantes, já anotados por

Johnston Jr. (1945). O xisto é de baixa resistência contra o intemperismo, comparado com pegmatitos graníticos. Conseqüentemente, os corpos pegmatíticos alongados (em forma de diques ou lenticulares) apresentam-se morfológicamente elevados. Os feldspatos nesses pegmatitos têm ausência ou baixo grau de transformação em caulim. Isso significa, que mesmo exposto por muito tempo, ao ar livre, não atingem o nível necessário para a formação de caulinita. Por outro lado, mesmo protegido pelo quartzito (resistente ao intemperismo), os feldspatos, nesse tipo de rocha, sofrem alteração e transformação. A presença de água salgada de baixa percolação nessas rochas permeáveis parece ser um dos principais responsáveis pela transformação do feldspato em caulim.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAN, W. *Illustrated Encyclopedia of Minerals*. London, 1990, p. 34-101.
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. *Brazilian Structural Provinces: an Introduction*. *Earth Science. Rev.*, 17, 1981, p.1-29.
- ANDRITZKY, G. *Geologia de ocorrências de scheelita na área de STA. Luzia, Paraíba/Rio Grande do Norte. Parte a: Geologia Regional, Petrografia e Tectônica*. Hannover, 1972. 81p.
- ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO. DNPM, 30. Brasília, 2001, p. 203-206.
- ARCHANJO, C. J.; SALIM, J. *Posição da Formação Seridó no Contexto Estratigráfico Regional (RN-PB)*. *Simp. Geol. Nordeste, ATAS*, 12, João Pessoa, 1986, p. 270-280.
- BAILEY, S. W. *Review of the structural relationships of the kaolin minerals*. In: *Kaolin Genesis and Utilization. Spec. Publ.*, 1. The Clay Minerals Society. 1993, p. 25-42.
- BAILEY, S. W. *The Polymorphism of the Kaolin Minerals*. *Am. Min.*, 48, 1963, p. 1196-1209.
- BIONDI, J. C.; FURTADO, L. I. *Geologia e Gênese dos Depósitos de Caulim Floresta e Cambuí (Formação Campo Alegre – SC)*. *Rev. Bras. Geociências*, 29/2, 1999, p.141-146.
- BOSQUILHA, G. E. *Mini-Manual compacto de Química: Teoria e Prática*. São Paulo. Ed. Rideel. 1999.

BRANCO, P. M. *Dicionário de Mineralogia*. Porto Alegre, 1982. 264p.

BRISTOW, C. M. *WORLDKAOLINS – Gênese, Explotation and Applications*. Industrial Minerals, **3**. London, 1987, p.45-59.

BRITO NEVES, B. B. *O mapa geológico do nordeste oriental do Brasil – Escala 1:1.000.000 – Texto Explicativo*. Tese Livre Docência: USP. São Paulo. 1983. 177p.

BRITO NEVES, B. B. de; SANTOS, E. J. dos; VAN SCHMUS, W. R. *Tectonic History of the Borborema Province, Northeastern Brazil*. In: CORDANI, V. G., MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (Edit.). *Tectonic Evolution of South América*. Rio de Janeiro, 2000, p.151-180.

BRITO NEVES, B. B.; KAWASHITA, K.; PESSOA, D. A. R. *A posição estratigráfica do complexo Caicó*. Simp. Geol. Nordeste, ATAS, **7**. Fortaleza, 1975, p.289-297.

BUNDY, W. M. *The diverse industrial applications of kaolin*. In: Spec. Publ., **1**. The Clay Minerals Society. 1993, p.43-76.

CAMERON, E. N.; JAHNS, R. N.; McNAIR, A. H.; PAGE, L. R. 1949. *Internal Structure of Granitic Pegmatites*. Econ. Geol., Mono., **2**. 1949. 115 p.

CARDOSO, S. R. F.; MAZZUCATO, P.; ANGELERI, F. B. *Estudo da Influência das rochas encaixantes de jazidas de caulim de mar de Espanha, Minas Gerais, sobre as características dos caulins beneficiados*. Cerâmica, **24**, 1978, p.43-56.

CERNY, P. *Anatomy and classification of granitic pegmatites of Canada*. Short Course Handbook, **8**, 1982, p.1-39.

_____. *Rare-element granitic pegmatites. Part. I: Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits*. Geoscience (Canada), **18/2**, 1991 (a), p. 49-67.

CHEN, P. Y. *et al. On the origin of the kaolin and the kaolin deposits of the kauling and dazhou áreas, kiangsi, China*. Applied Clay Science. **12**, 1997, p. 1-25.

COSTA FILHO, A. *Análise Geoestatística das Fraturas e Lineamentos e suas Implicações nas Ocorrências de Depósitos Mineraiis na Região de Santa Luzia - Paraíba*. Tese de Mestrado, UFPB. Campina Grande. 2000. 169 p.

CPRM. *Carta de Previsão de Recursos Hídricos Subterrâneos. Folha Jardim do Seridó – SB. 24-Z-B-V, 1987. Escala 1:100.000.*

CRANDALL, R. *Geographia, Geologia, Suprimento d'água, Transporte e Açudagem nos Estados Orientais do Brasil: Ceará, Rio Grande do Norte, Parahyba.* Insp. Obras contra as secas, 2. Ed., Série I. Hidrogeologia, Geologia e Assumptos Geraes, D. F. (Rio de Janeiro), 1910. 137p.

DA SILVA, M. R. R.; DANTAS, J. R. A. *A Província Pegmatítica da Borborema-Seridó nos Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte.* DNPM/Série Geologia, Boletim Nº 24, Recife, 1984, p.233-298.

_____. *Principais Depósitos Minerais do Brasil. IV-B: Rochas e Minerais Industriais.* DNPM, Recife, 1993, p.441-467.

DANA, J. D., HURLBUT JR., C. S. *Manual de Mineralogia.* 2. ed., Ed. Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro. 1983. 668p.

DANTAS, J. R. A. *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo – Folha Jaguaribe (SB – 24) e Folha Fortaleza (AS – 24), Texto Explicativo.* DNPM. Brasília. 1974. 95p.

DEWU, B. B. M.; DURRANCE, E. M. *Mobility of U and granite kaolinization. in Southwest England.* Spec. Publ. 1. The clay minerals society. 1993, p.205 -220.

DINIZ, R. F.; NESI, J. R. *Sinopse das ocorrências de minerais-gemas no Rio Grande do Norte.* 36º Cong. Bras. Geol., ANAIS, 3, Natal. 1990, p.1414-1424.

DNPM. 4º Divisão/UFRN/PETROBRÁS/CRM: *Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte.* Escala 1:500.000. Natal. 1998.

EBERT, H. *Geologia do Alto Seridó.* SUDENE, DRN/DIV. GEOL., Bol. 11. 1969. 96p.

FERREIRA, A. C. M. *Caracterização Mineralógica e Gemológica das Turmalinas do Alto Quixaba–PB.* Tese de Mestrado. UFPE. Recife. 1998. 118p.

FERREIRA, H. C.; SOUZA SANTOS, P.; SOUZA SANTOS, H. L. *Caulins Primários da Província Pegmatítica da Borborema no Nordeste do Brasil.* CEÂMICA, 17, 1971, p.340-346.

FERREIRA, H. C.; SOUZA SANTOS, P.; SOUZA SANTOS, H. L. *Estudo de caracterização e preliminar visando aplicações cerâmicas de caulins do Nordeste*

Brasileiro (Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte). CERÂMICA. **20**, 1976, p.123-139.

FERREIRA, J. A. M. *Considerações sobre uma nova estratigrafia do Seridó*. Eng. Miner. Met., **45**, 1967, p.25-28.

FERREIRA, J. A. M.; ALBUQUERQUE, J. P. T. *Sinopse da Geologia da Folha Seridó*. SUDENE/DRN/DIV. GEOL., Bol. **18**. Recife. 1969. 52p.

FERSMAN, A. E. *Lês Pegmatites, Leur Importance Scientifique et Practique*. Acad. Cien. URSS, 1931. – Trad. em Francês por R. Dutrien de Terdonck e J. Thourean. Univ. de Louvain, **3**, Bélgica, 1951. 675 p.

FLEISCHER, M.; MANDARINO, J. A. *Glossary of Mineral Species 1991*. Min. Record, Tucson. 1991. 256 p.

GARRELS, R. M.; HOWARD, P. *Reactions of Feldspar and Mica with water at low temperature and pressure*. Clay and Clay minerals, **6**, 1959. 68 p.

GIESE, R. F. Jr. *Kaolin Minerals: Structures and Stabilities*. In: *Hydrous Phyllosilicates (Exclusive of Micas)*. BAILEY, S. W., ed. Mineral. Soc. Am., **59**, 1988, p.29-66.

GINZBURG, A. I. et al. *Principles of Geology of Granitic Pegmatites (em Russo)*. NEDRA, Moscow, 1979. 296 p.

GOPINATH, T. R. *Modêlo de Jazimento e os contrôles geológicos na formação do caulim primário. Junco do Seridó, Paraíba*. Relatório Técnico não publicado. Univ. Fed. Paraíba. 1986. 19 p.

GOPINATH, T. R.; MUNIZ E SILVA, C. M. *Processo de formação de caulim primário nos pegmatitos da região do Junco do Seridó, Paraíba*. Cong. Bras. Geol., **36**, ANAIS, Natal. 1990, p.1294-1301.

GOPINATH, T. R.; SCHUCKMANN, W. K. *Modêlo de ocorrência e gênese de caulim primário nos pegmatitos de Junco do Seridó, Paraíba*. XIII Simp. Bras. Geol., ATAS, **1**, 1989, p.176-177.

GORDON, E.; BROWN Jr. P. *The mineralogy of pegmatites*. Am. Min., **67**, 1982, p.180-189.

GRIM, R.E. *Applied Clay Mineralogy*. McGRAW-HILL, New York. 1962. 422p.

HACKSPACHER, P. C.; JARDIM DE SÁ, E. F. *Critério Lito-Estrutural para Diferenciação do embasamento Caicó do Grupo Seridó, RN – Brasil*. Simp. Geol. Nordeste, ATAS, **11**, Natal, 1984, p.263-277.

HAÜY, R. J. *Traité de Minéralogie*. Tome IV. 1822. 536 p.

HEINRICH, E. W. *Radioactive Pegmatite Deposits – How to know them*. Canad. Min. Journ., **7714**, 1956, p. 69-100.

_____. *Zoning in Pegmatite Districts*. Am. Min., **38**, 1953, p.68-87.

HOWELL, F. *Standard Methods of Chemical Analysis*. 6ª ed., **1**, Van Nostrand Company, New York, 1966, p.68-72.

JAHNS, R. H. *Internal Evolution of Pegmatite Bodies*. In: *Granitic Pegmatites. in Science and Industry*, P. Cerny, ed. Min. Assoc. of Canada. Short Course Handbook, **8**, 1982, p. 293-327.

_____. *The study of Pegmatites*. Econ. Geol., **50th** Ann. Vol., Part. II, 1955, p.1025-1130.

_____. *Genesis of Pegmatites. I: Occurrence and origin of giant crystals*. Am. Min., **38**, 1953a , p. 563-598.

JAHNS, R. H.; BURNHAM, C. W. *Experimental Studies of Pegmatite Gênesis: I. A Model for the derivation and crystallization of granitic pegmatites*. Econ. Geol., **64**, 1969, p.843-864.

JARDIM DE SÁ, E. F. *Faturamento no embasamento cristalino do nordeste do Brasil: Cronologia da Reformaçoão Frágil, Reativação Neotectônica e Implicações Hidrogeológicas*. 1st Joint World Congress on Groundwater. 2000.

_____. *Geologia da Região do Seridó: Reavaliação de Dados*. Simp. Geol. Nordeste, ATAS, **11**, Natal, 1984, p.269-278.

_____. *A idade e natureza das faixas dobradas do Nordeste: Comentários Preliminares*. Simp. Geol. Nordeste, ATAS, **8**, 1977, Campina Grande, 1977, p. 61.

JARDIM DE SÁ, E. F.; FONSÊCA, V. P.; SOUZA, Z. S. *O Complexo de Embasamento da Faixa Seridó, Estratigrafia e Evolução Tectonometamórfica*. 36th Cong. Bras. Geol., ANAIS, 6, Natal, 1990, p. 3021-3028.

JARDIM DE SÁ, E. F.; SALIM, J. *Reavaliação dos conceitos estratigráficos na região do Seridó RN-PB*. MINER. Metal, 80, 1980, p.16-28.

JOHNSTON, Jr. W. D. *Os Pegmatitos Berilo-Tantalíferos da Paraíba e Rio Grande do Norte*. DNPM/DFPM, Bol. 72, Rio de Janeiro. 1945. 85p.

KARFUNKEL, J.; WEGNER, R. R. *Paraíba Tourmalines – Distribution, Mode of Occurrence and Geologic Environment*. Can. Gemmol., 17, 1996, p.99-106.

KLEIN, C.; HURLBUT, C. H. Jr. *Manual of Mineralogy*. John Wiley & Sons, 1993. 681 p.

LANDES, K. K. *Origin and Classification of Pegmatites*. Am. Min., 18, 1933, p. 33-103.

LEGRAND, J. M.; SALIM, J. *Evolução Metamórfica de Rochas Hospedeiras de Mineralizações de Scheelita da Região do Seridó RN-PB*. XXXI Cong. Bras. Geol., 3, 1980, p.1601-1615.

MENDES, J. C. *Mineralogia e gênese dos pegmatitos turmaliníferos da Mina do Cruzeiro, São José da Safira, Minas Gerais* Tese de Doutorado. USP. São Paulo. 1995. 260p.

MILOVSKY, A. V., KONONOV, O. V. *Mineralogiy*. Mir Publishers. Moscow, 1985, p. 265-272.

MORAES, L. J. *Serras e Montanhas do Nordeste*. IFOCS, 58, Série ID, 1924, 242 p. (APUD: FERREIRA E ALBUQUERQUE, 1969, p. 5).

MURRAY, H. H. *WORLD KAOLINS – Diverse Quality Needs Permit Different Resource Types*. 8th Int. Cong. Industrial Minerals, Boston, 1988, p.127-130.

MURRAY, H. H., KELLER, W. D. *Kaolins, Kaolins and Kaolins*. IN: *Kaolin Genesis and Utilization*. Murray, H. H., Bundy, W. M., Harvey, C. C., ed, 1993, p. 1-24).

N.N. *Mineração e Meio ambiente: Impactos Previsíveis e Formas de Controle*. INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAV. Ver. Esc. Minas, **43**, Ouro Preto, 1990, p.48-66.

NESI, J. R.; DUARTE DE CARVALHO, V. G. *Minerais industriais do Estado do Rio Grande do Norte*. CPRM. Recife. 1999. 187p.

NORTON, J. J. *Sequence of mineral assemblages*. In: *Differentiated granitic pegmatites*. Econ. Geol., **78**, 1983, p.854-874.

OLIVEIRA E SILVA, E. H. R. *Caulim do Nordeste*. SUDENE./DRN. Recife. 1973, 33 p.

PAIVA, G. *Províncias Pegmatíticas do Brasil*. DNPM/DFPM, Bol. **78**, Rio de Janeiro, 1946, p.13-21.

POPP, J. H. *Geologia Geral*. 5. ed. Rio de Janeiro: Distribuidora de Livros Técnicos Ltda, 1998. 376 p.

RAMDOHR, P.; STRUNZ, H. *Klockmann's Lehrbuch der Mineralogie*. Enke, Stuttgart. 1967, 820 p.

RIES, A. C.; SHACKLETON, R. M. *Preliminary note on structural sequences and magnitude and orientation of finite strains in the precambrian of Northeast Brazil*. Simp. Geol. Nordeste, Atas, **8**, Campina Grande, 1977, p.397-400.

ROBERTS, W. L.; CAMPBELL, Th. J.; RAPP JR. G. R. *Encyclopedia of Minerals*. Van Nostrand Reinhold. New York. 1990. 979 p.

ROLFF, P. A. M. A. *Geologia da Província Tantaloglucinífera da Borborema*. Bol. Div. Fom. Prod. Min., **73**, Rio de Janeiro, 1945a , p.33-72.

ROY, P. L.; DOTTIN, O.; MADON, H. L. *Estudo dos pegmatitos do Rio Grande do Norte e da Paraíba*. Serv. Geol. Econ. SUDENE. Recife. 1964. 130p.

SALIM, J.; BRASIL, R. C. O. *Alteração Hidrotermal em Pegmatitos da Faixa Seridó*. Cong. Bras. Geol., ANAIS, **40**, Belo Horizonte, 1998, 118 p.

SALIM, J.; DARDENNE, M. A.; LEGRAND, J. M.; JARDIM DE SÁ, E. F. *Geologia, Controles e Gênese das Mineralizações de Scheelita no Distrito de Lajes (RN)*. IX Simp. Geol. Nordeste, ATAS, 1979a , p.397-407.

SALIM, J.; LEGRAND, J. M.; DARDENNE, M. A. *Sucessão de Fases de Metamorfismo nos Metassedimentos da Região de Lajes (RN)*. IX Simp. Geol. Nordeste, ATAS, 1979b, p.56-63.

SANTOS, E. J. dos. *Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba*. Organizado por Edilton José dos Santos, Cícero Alves Ferreira e José Maria Ferreira da Silva Júnior – Recife: CPRM, 2002. 142 p. il. 2 mapas. Escala 1:500.000.

SCORZA, E. P. *Província Pegmatítica da Borborema*. DNPM/DGM, Bol. 112. Rio de Janeiro. 1944. 57 p.

SHIGLEY, J. E.; KAMPF, A. R. *Gem-Bearing Pegmatites: A Review*. *Gems & Gemology*, 20, 1984, p.64-77.

SINDICATO DAS EMPRESAS PRODUTORAS DE MINERAIS NÃO-METÁLICOS DO ESTADO DA PARAÍBA (SEPM – NÃO-METÁLICOS), Julho/2000. – s.n.

SMIRNOV, V. I. *Geología de Yacimientos Minerales*. (traduz. de russo). Ed. Mir, Moscow. 1982. 655p.

SOARES, D. R. *Estudo Mineralógico e Gemológico das Turmalinas do Pegmatito dos Quintos. Parelhas, Rio Grande do Norte*. Tese de Mestrado. Recife. 1998. 99p.

SOUZA SANTOS, P. de. *Tecnologia de Argilas*. São Paulo. 1976. 340 p.

_____. *Ciência e Tecnologia de Argilas*. São Paulo. 1989. 499 p.

SOUZA, D. J. d. L. *Caracterização Geológica, Mineralógica, Química e Física do Caulim da Mina da RCC – Rio Capim Caulim (PA)*. Tese de Mestrado, UFPA. Belém. 2000. 116p.

SOUZA, J. B. M. *Ocorrência, Distribuição e Variabilidade Granulométrica da Argila Caulim nos Pegmatitos das Regiões de Equador – RN e Junco do Seridó – PB*. Tese de Mestrado, UFPB. Campina Grande. 1997. 168p.

VAN VLACK, L. H. *Princípios de Ciências e Tecnologia dos Materiais*. Original de 1920 traduzido por E. MONTEIRO. Rio de Janeiro. 1984. 199p.

_____. *Propriedades dos materiais cerâmicos*. Original traduzido por C. SILVEIRA e O. SHIROYUKI. Ed. Edgard Blücher Ltda. São Paulo. 1973.

WAYNE, M. B. *The diverse industrial applications of kaolin*, Spec. Publ. 1. The Clay Minerals Society. 1993, p. 43-76.

WEGNER, R., PÖLLMANN, H. (W. SCHUCKMANN in memoriam). *Gut ausgebildeter reichlicher Bismoclit in einer Wismutparagenese aus dem Pegmatit "Alto da Mata", Rio Grande do Norte, Brasilien*. *Aufschluss*, 50, 1999, p. 117-121.

WEGNER, R. R. *Spurenelementgehalte in Granitpegmatiten im Bundesstaat Minas Gerais, Brasilien, unter besonderer Berücksichtigung der Feldspäte* (conteúdos de elementos traços em pegmatitos graníticos no Estado de Minas Gerais, Brasil, com especial atenção para os feldspatos). Tese de Doutorado não-publicado. Freiburg/Alemanha. 1983. 154p.