

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEOFÍSICAS E GEOLÓGICAS

CONTRIBUIÇÃO À PETROLOGIA DO GRANITO CENTRAL DA SERRA DOS CARAJÁS

Tese Apresentada por

REGINA CÉLIA CUNHA ALMEIDA

como requisito parcial à obtenção do grau de

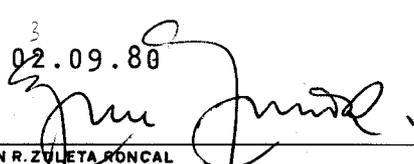
MESTRE EM CIÊNCIAS

Na área de

GEOQUÍMICA

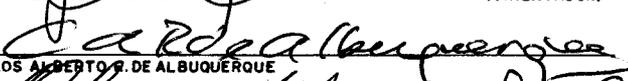
Conferido pelo Programa de Pós-Graduação em
Ciências Geofísicas e Geológicas da
Universidade Federal do Pará

Aprovado: 02.09.80

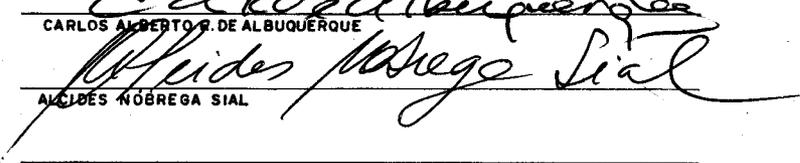


JUAN R. ZULETA RONCAL

(ORIENTADOR)



CARLOS ALBERTO R. DE ALBUQUERQUE



ALCIDES NÓBREGA SIAL

Comitê de Tese

Ao meu esposo Arnaldo, e aos meus fi
lhos Kátia, Renato e Keila.

R E S U M O

O presente trabalho foi desenvolvido na região central da Serra dos Carajás ao sul do Estado do Pará. A área central, objeto deste estudo, está localizada entre as Serras Norte e Sul. A referida área está ocupada por um batólito granítico, circundado por rochas vulcânicas básicas ao nordeste e rochas sedimentares clásticas ligeiramente metamorfizadas envolvendo as outras partes do corpo.

Com o objetivo de caracterizar a natureza petrogenética do corpo granítico, foi realizado um estudo petroquímico-petrográfico abrangendo as diversas fácies de granito e das encaixantes nas proximidades dos contatos. A pesquisa foi conduzida de modo a possibilitar a obtenção de dados petrográficos em quarenta e seis (46) amostras e da composição química de trinta e uma (31) amostras representativas das diferentes litologias. Evidências petrográficas e interpretações de dados geoquímicos sugerem uma origem magmática para o granito de Carajás. Durante sua consolidação, o magma granítico deu origem a fácies litológicas ligeiramente diferentes, resultando na formação de uma "porção central" mais rica em minerais ferromagnesianos. O caráter intrusivo do corpo é evidenciado pela presença de feições metamórficas nas rochas encaixantes nas proximidades dos contatos (seqüência crescente de recristalização da muscovita nos arenitos e desenvolvimento de um fácies hornblenda-hornfels nas rochas básicas) e por critérios petrográficos e químicos.

Pelas associações mineralógicas observadas (ortoclásio pertítico e plagioclásio) o corpo granítico é incluído no grupo SUBSOLVUS na classificação de Tuttle e Bowen (1958) em Marmo (1971), atribuindo-se sua origem à formação de um magma por anatexia crustal de rochas mais antigas e posterior intrusão nas unidades sedimentares e básicas existentes na região.

A B S T R A C T

This study was carried out in the central region of the Serra dos Carajás in the South of the State of Pará. The area referred to is underlain by a granite batholith, surrounded by basic volcanic rocks in the north-east and slightly metamorphised sedimentary clastic rocks.

In order to characterize the petrogenetic nature of the granitic body, a study was realized of the petrography and petrochemistry of the various facies of the granite and of the country rocks. Petrographic and geochemical evidence suggests a magmatic origin for the granite of Carajás. During its consolidation the granitic magma underwent a slight differentiation in the formation of various facies. The intrusive character of the body is evidenced by the presence of contact metamorphism of the hornblende hornfels in the country rocks in the proximity of the contacts.

The observed mineralogical association (orthoclase and plagioclase) indicates that the granitic body may be included in the SUBSOLVUS group in the classification of the Tuttle and Bowen (1958). The magma was probably originated by partial melting of older crustal rocks.

S U M Á R I O

Pag

AGRADECIMENTOS

RESUMO

ABSTRACT

1. <u>INTRODUÇÃO</u>	1
1.1. Generalidades e Objetivos	1
1.2. Área de Estudo	1
1.3. Geologia Regional	3
2. <u>METODOLOGIA</u>	7
2.1. Metodologia de Campo	7
2.2. Metodologia de Laboratório	7
3. <u>PETROGRAFIA</u>	10
3.1. Petrografia da Rocha Granítica	10
3.2. Petrografia dos Arenitos	17
3.3. Petrografia dos Meta-Basaltos	18
4. <u>PETROQUÍMICA</u>	25
4.1. Petroquímica dos Granitos	25
4.1.1. Elementos Maiores	30
4.1.2. Elementos Traços	35
4.1.3. Razões dos Elementos	35
4.2. Petroquímica dos Arenitos	43
4.3. Petroquímica dos Meta-Basaltos	43
5. <u>CONCLUSÕES</u>	51
6. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	53
7. <u>APÊNDICE</u>	
7.1. Sumário de Metodologia aplicada nas análises químicas.	
8. <u>ANEXO</u>	

ÍNDICE DO APÊNDICE

	Pag
<u>Apêndice 1</u> - Sumário de Metodologia Aplicada nas Análises Químicas.	
Procedimento 1 - Determinação gravimétrica da sílica ...	58
Procedimento 2 - Determinação volumétrica do alumínio...	59
Procedimento 3 - Determinação volumétrica do ferro total	59
Procedimento 4 - Determinação volumétrica do ferro II ..	60
Procedimento 5 - Determinação colorimétrica do manganês.	60
Procedimento 6 - Determinação colorimétrica do fósforo..	61
Procedimento 7 - Determinação colorimétrica do titânio..	61
Procedimento 8 - Determinação espectrofotométrica do alumínio ferro total e manganês	62
Procedimento 9 - Determinação espectrofotométrica do cálcio, sódio e potássio	63
Procedimento 10- Determinação espectrofotométrica do magnésio	63
Procedimento 11- Determinação por fluorescência de RaioX para os elementos traços	64

ÍNDICE DAS TABELAS

	Pag
Tabela 1 - Amostras coletadas no furo de sondagem	8
Tabela 2 - Métodos analíticos usados para a determinação dos elementos maiores e traços	9
Tabela 3 - Composição química e normativa da rocha granítica da região central da Serra dos Carajás	26
Tabela 4 - Análises química em percentagem catiônica da rocha granítica da região central da Serra dos Carajás	32
Tabela 5 - Conteúdo dos elementos traços da rocha granítica da região central da Serra dos Carajás.	36
Tabela 6 - Comparação do conteúdo de Sr, Ca e Ca/Sr da rocha granítica do Carajás com os granitos Cape Granite, South Africa	40
Tabela 7 - Comparação das variações K, Rb e K/Rb, da rocha granítica do Carajás com outras rochas graníticas	41
Tabela 8 - Composição química dos arenitos da Serra dos Carajás	45
Tabela 9 - Composição química dos metabasaltos da Serra dos Carajás	47

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

1. Coluna estratigráfica para as rochas da Serra dos Carajás.
2. Mapa Geológico da área Norte do Granito Central da Serra dos Carajás e perfil generalizado NW-SE.
3. Distribuição da frequência das razões normativas Qz: Ab:Or da rocha granítica da região central da Serra dos Carajás.
4. Razão Ab:An:Or para a rocha granítica da região central da Serra dos Carajás.
5. Diagrama de variação para os elementos maiores da rocha granítica da região central da Serra dos Carajás.
6. Diagramas de variação para a rocha granítica da região central da Serra dos Carajás.
7. Diagrama de variação para os elementos traços da rocha granítica da região central da Serra dos Carajás.
8. Razão Ca/Sr para a rocha granítica da região central da Serra dos Carajás.
9. Razão K/Rb para a rocha granítica da região central da Serra dos Carajás.
10. Razão K/Ba para a rocha granítica da região central da Serra dos Carajás.
11. Fácies hornblenda-hornfels. Diagrama ACF, para rocha com excesso de SiO₂ e K₂O.
12. Fácies albita-epidoto-hornfels. Diagrama ACF para rocha com excesso de SiO₂ e K₂O.

FOTOMICROGRAFIAS

1. Textura porfirítica do granito mostrando fenocristais de quartzo numa matriz de granulação fina composta de feldspatos, quartzo, biotita e hornblenda.
2. Textura granular grosseira em contato com a textura gra

nular fina de veio' de granito.

3. Cristal de ortoclásio mostrando intercrescimento de lamelas pertíticas.
4. Intercrescimento de quartzo gráfico em feldspatos.
5. Intercrescimento de quartzo vermicular em plagioclásio associado a biotita.
6. Textura granular grosseira do arenito mostrando grãos de quartzo angulares a subangulares.
7. Arenito. Grãos de quartzo com angulosidade tendendo a um padrão hexagonal. Matriz sericítica recristalizada para muscovita preenchendo os espaços intergranulares.
8. Textura ofítica de basalto metamorfozido.
9. Textura hornféisica-decussate com agregados de biotita.
10. Textura blastoporfirítica com fenocristais prismáticos de plagioclásio.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Generalidades e Objetivos

Na região central da Serra dos Carajás, entre as Serras Norte e Sul, ocorre um batólito granítico de forma alongada com dimensões aproximadas de 22x12 km. Acha-se circundado, na sua maior parte, por rochas sedimentares clásticas correlacionadas às da Formação Gorotire do Projeto Araguaia (Beisiegel et al., 1973), e em menor escala por rochas vulcânicas básicas metamor^ufizadas pertencentes ao grupo denominado de Grão Pará (fig. 1).

Pesquisas realizadas pelas Companhias Vale do Rio Doce e Meridional de Mineração (CVRD/CMM) revelaram indícios de meta^umorfismo nos contatos com a Formação Gorotire. O arenito foi lo^ucalmente transformado em quartzito, cuja matriz original sericí^utica de granulação fina recristalizou para formar muscovita re^ulativamente grosseira (Silva et al., 1974). Segundo estes auto^ures, o granito da Serra dos Carajás é intrusivo na base da For^umação Gorotire, conforme denunciam as apófises que ele emitiu nos arenitos e o metamorfismo de contato já descrito. No referi^udo trabalho é mencionada a possível natureza intrusiva do grani^uto nas rochas do Grupo Grão Pará.

Estudos geocronológicos pelo método K-Ar foram feitos em concentrados de anfibólitos em amostras de granito coletadas nos afloramentos na estrada das Serras Norte e Sul. As idades mínimas obtidas alcançam 1828 ± 90 m.a., para o granito central, situando-o como o mais antigo produto de atividade magmática de natureza ácida determinada na região Amazônica (Beisiegel et al., 1973).

O presente trabalho tem por finalidade de confirmar ou não a natureza magmática intrusiva do batólito granítico atra^uvés de estudos petrográficos e petroquímicos abrangendo o refe^urido corpo, bem como as encaixantes nas proximidades do conta^uto.

1.2. Área de Estudo

O corpo granítico em estudo, está localizado ao sul do Estado do Pará, na região central da Serra dos Carajás entre as

COLUNA, ESTRATIGRÁFICA

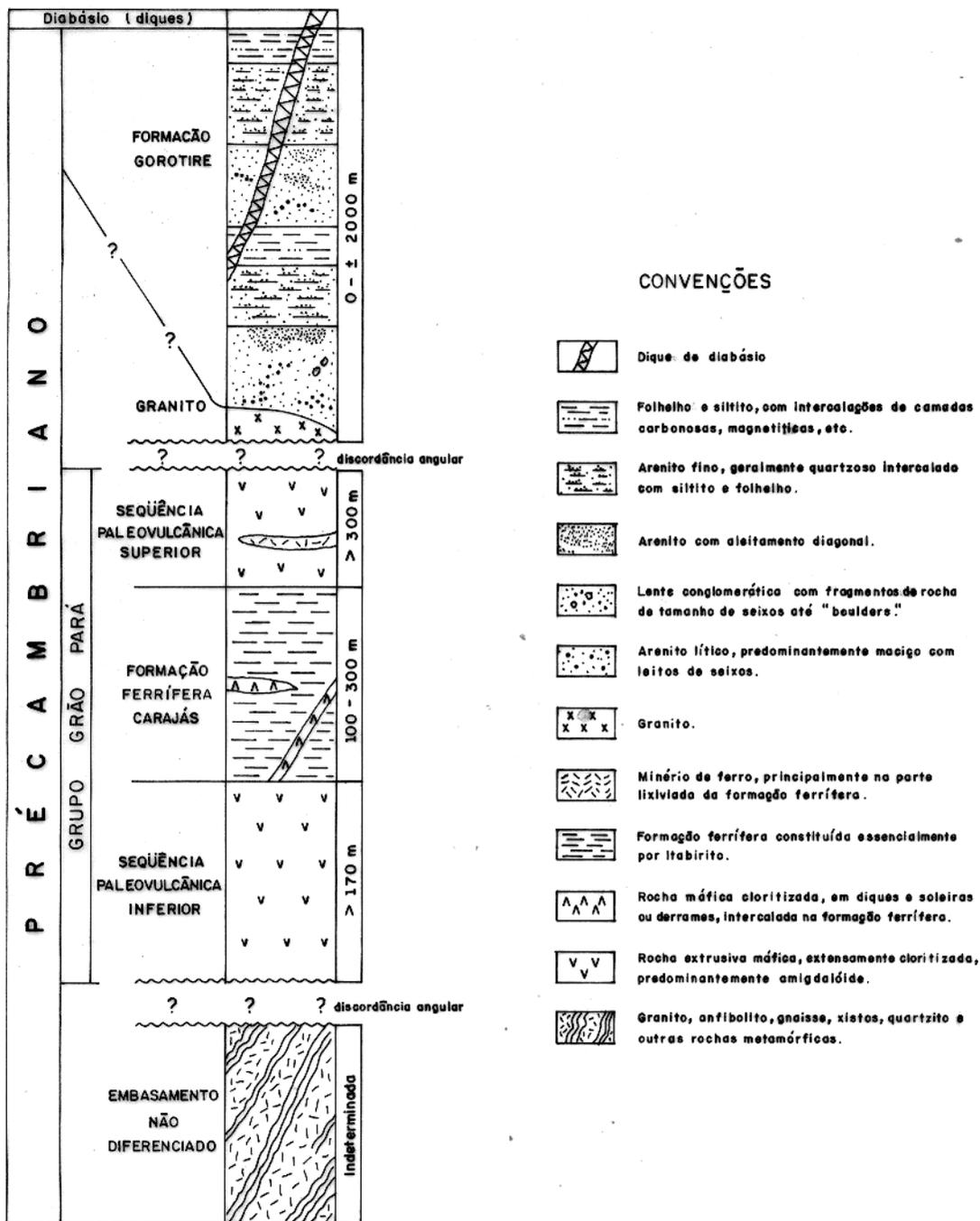


Fig. 1 Coluna estratigráfica proposta por Beisiegel et al, 1973 para as rochas da Serra dos Carajás.

Serras Norte e Sul. A área estudada situa-se no perímetro delimitado pelos paralelos $6^{\circ}07' S$ - $6^{\circ}14' S$ e meridianos $50^{\circ}20' W$ - $50^{\circ}12' W$ e sua superfície atinge aproximadamente $239,57 km^2$ (Fig. 2, anexo 1). A região compreende um conjunto de morros de até aproximadamente 400 m de altitude, sendo encontrado o granito aflorante em pequenos morros. A área apresenta cobertura de floresta equatorial e clima do tipo tropical quente e seco atenuado.

1.3. Geologia Regional

A região da Serra dos Carajás é constituída essencialmente de rochas pré-cambrianas de origem variada e com distintos graus de metamorfismo.

A coluna estratigráfica para o Distrito Ferrífero (Fig. 1) proposta por Beisiegel et al. (1973), foi baseada em alguns furos de sondagem sendo sua interpretação parcialmente especulativa. Segundo este autor a estrutura geral da Serra dos Carajás é um grande sinclinório cujos flancos estão representados pelas serras norte e sul, as quais, por sua vez são constituídas pela Formação Ferrífera-Carajás e pelas rochas Paleovulcânicas associadas. Ao Norte e Sul dos flancos do sinclinório ocorrem granitos, granito-gnaisses, anfibolitos, xistos, quartzitos e outras rochas metamórficas, pertencentes ao embasamento não diferenciado. A Formação Ferrífera e as rochas Paleovulcânicas das seqüências inferior e superior, descritas na literatura como Grupo Grão Pará, aparecem caracterizando a referida estrutura. No interior do sinclinório ocorrem ainda sedimentos, clásticos, principalmente arenosos, um corpo granítico mais jovem que as seqüências anteriores e diques essencialmente diabásios cortando as litologias citadas. Capeando estas litologias ocorrem ainda os materiais superficiais ligados a processos mais atuais como solos, canga e sedimentos recentes.

As rochas do embasamento não diferenciado são encontradas em grande parte da região entre Itacaiúnas e Carajás, ocorrendo principalmente gnaisses, granito-gnaisses e anfibolitos. Ao sul da Serra Sul, no vale do Rio Parauapebas, verifica-se a presença do embasamento de granito-gnaisses com intercalações de anfibolitos, tendendo para gnaisses xistosos e quartzitos

para o sul. As rochas do embasamento mostram geralmente uma paragenese que as situam na fácies de anfibolito (Beisiegel et al., 1973).

O grupo Grão Pará é constituído pela Formação Carajás e as Sequências Paleovulcânicas Inferior e Superior. A Formação Carajás é constituída essencialmente por itabiritos e seus produtos de alteração. A Sequência Paleovulcânica Inferior está representada por rochas máficas verdes do grupo dos espilitos, hidrotermalmente alteradas. Através de estudos microscópicos foi determinado que as rochas máficas das unidades inferior e superior, bem como as que cortam a Formação Ferrífera, são muito semelhantes entre si, podendo pertencer a um grupo de corpos ígneos originalmente idênticos entre si. As variações observadas são essencialmente ligadas à natureza extrusiva ou injetada e ao grau de alteração que sofreram após sua consolidação (Beisiegel et al., 1973). As rochas da Sequência Paleovulcânica Superior que afloram ao nordeste do granito central, encontram-se recobertas por densa floresta desenvolvida sobre solos argilosos de coloração escura. Os raros afloramentos encontrados permitiram verificar o avançado estado de alteração dos mesmos. Essas rochas mostram uma textura bastante fina. Veio de granito foi encontrado cortando a referida sequência.

Entre as Serras Norte e Sul, o granito em estudo, aflora em pequenos morros dispersos, encontrando-se a maior parte de sua superfície coberta por densa floresta ou mascarada por cobertura de solos. As rochas expostas nos afloramentos apresentam-se com frequência altamente intemperizadas. O referido corpo batolítico possui uma textura granular com fácies grosseira a fina e uma assembléia mineralógica composta essencialmente de álcali-feldspato, quartzo, plagioclásio, biotita e hornblenda. Foram observadas apófises granítica intrusivas no arenito, e ainda veios de granito fino cortando o corpo principal granítico assim como as rochas máficas.

A Formação Gorotire compreende as rochas sedimentares clásticas não metamórficas, ocorrentes no interior do sinclínio e cujo tipo litológico mais comum é um arenito quartzoso de matriz argilosa, e de coloração geralmente clara. As relações entre as rochas da Formação Gorotire e as do grupo Grão Pará não foram verificadas no terreno, devido aos contatos estarem

mascarados por solo e elúvio nos pontos observados (Beisiegel et al., 1973). O arenito que faz parte deste trabalho, aflora ao NW do corpo granítico, constituindo morros bastante elevados. A relação entre essa rocha e o granito central não puderam ser bem evidenciados em virtude dos contatos estarem mascarados por solos. No entanto, foram observadas modificações na inclinação das camadas sedimentares nas proximidades do contato granito-a arenito; os planos de estratificação normalmente horizontais a sub-horizontais se apresentam com direção geral N5° W e ângulo de mergulho de 45° na direção SW. Segundo Beisiegel et al. (1973) a distribuição geográfica da seqüência clástica assim como o menor grau de deformação, evidenciam ser a Formação Gorotire se parada do Grupo Grão Pará por uma discordância angular. As rochas da Formação Gorotire apresentam-se encaixadas em blocos falhados com altitude modificadas pelos movimentos tectônicos.

Devido aos grandes esforços compressivos foram provocados numerosos falhamentos e dobramentos, produzindo a segmentação dos extratos ferríferos e das rochas associadas, as quais estão atualmente dispostas em forma de platôs isolados e topograficamente salientes. O eixo do sinclínório é orientado para várias direções entre Oeste-Noroeste e Noroeste, com caimentos no mesmo sentido. No interior do sinclínório há predominância de sedimentos da Formação Gorotire, dispondo-se em torno do núcleo granítico. Esses sedimentos apresentam uma estrutura quase simétrica, estando pouco perturbados no interior da estrutura (principalmente a Oeste do núcleo granítico) e apresentando deformação tectônica intensa nos flancos com dobramentos acompanhados por falhamentos de empurrão. Além das dobras há um intenso diaclasamento regional predominando a direção aproximadamente Norte-Sul (Beisiegel et al., 1973).

Beisiegel et al. (1973), propuseram a seguinte seqüência para a evolução tectônica da região:

- a) fase de dobramento idiomórfico, isto é, de dobras não paralelas separadas por áreas não dobradas;
- b) fase de constituição do sinclínório, posterior à seqüência químico-vulcânica e anterior à seqüência clástica-arenosa;
- c) fase de inversão orogênica, isto é, de transformação

da bacia de sedimentação em um bloco positivo, termi
nada com a intrusão ígnea ou diápira do granito cen
tral.

Evidências geocronológicas indicam que as rochas da re
gião dos Carajás foram afetadas por um evento metamórfico de a
proximadamente 2.000 milhões de anos, sendo o granito posterior
a esse evento uma vez que as determinações geocronológicas a
cusaram uma idade mínima de 1828 ± 90 m.a. Como as determinações
foram feitas em concentrados de anfibólitos e através do método
K-Ar, a idade real deve estar bem próxima.

2. METODOLOGIA

A metodologia empregada na pesquisa dividiu-se em duas fases, compreendendo trabalhos de campo e de laboratório. Os trabalhos de campo consistiram em coletas de rochas representativas das diferentes litologias. Os trabalhos de laboratório envolveram, por um lado análises petrográficas com a finalidade de classificar as rochas e determinar as associações mineralógicas, e, por outro lado, análises químicas objetivando estudar a evolução petroquímica das rochas assim como sua classificação.

2.1. Metodologia de Campo

Amostras de rochas foram coletadas em afloramentos esparsos abrangendo o corpo granítico e as encaixantes nas proximidades dos contatos. A amostragem foi realizada ao longo de três linhas transversais à maior alongação do corpo granítico e ao longo da estrada que une a serra norte à serra sul (fig. 2, anexo 1).

No desenvolvimento do trabalho utilizaram-se ainda, amostras de granito coletadas em um furo de sondagem realizado pela Companhia Amazônia Mineração S/A (fig. 2, anexo 1). Os testemunhos de sondagem com suas respectivas profundidades são indicados na tabela 1.

Por tratar-se de rochas de texturas de grãos grosseiros a finos foram coletadas quantidades aproximadas de pelo menos um (1) quilograma de amostra (Levinson, 1974), perfazendo um total de sessenta e sete (67) amostras.

2.2. Metodologia de Laboratório

Foram selecionadas quarenta e seis (46) amostras que se apresentavam macroscopicamente frescas para estudos petrográficos. Estes estudos realizaram-se através de seções delgadas em trinta e três (33) granitos (amostras n.ºs. 1-8-11-12-20-21-22 - 24-29-30-31-41 à 46-48-49-51-55 à 67), sete (7) arenitos (amos

Nº DA AMOSTRA	PROFUNDIDADES EM M.
55	0,00 - 2,35
56	2,35 - 3,35
57	3,35 - 6,6
58	6,6 - 8,05
59	8,05 - 12,25
60	12,25 - 15,35
61	15,35 - 17,6
62	17,6 - 21,45
63	21,45 - 24,4
64	24,4 - 28,05
65	28,05 - 31,65
66	31,65 - 32,35
67	32,35 - 33,85

Tabela 1 - Amostras coletadas em um furo de sondagem.

tras n^os. 32-34-35-37 à 40] e em seis (6) rochas basálticas (amostras n^os. 27-28-50-52-53 e 54). A localização das amostras é indicada na fig. 2, anexo 1. Para este trabalho utilizou-se um microscópio petrográfico CARL STANDARD W.L. Pol. de fabricação da República Federal da Alemanha, pertencente ao laboratório de Petrografia do Convênio SUDAM/UFPa (Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia/Universidade Federal do Pará).

Para efeito de análises químicas, foram escolhidas 31 amostras ficando assim distribuídas: dezesseis (16) granitos (amostras n^os. 11-20-22-31-41 à 49-51-66 e 67), dez (10) arenitos (amostras n^os. 19-32 à 40] e cinco (5) rochas basálticas (amostras n^os. 27-50-52-53 e 54] fig. 2, anexo 1. As amostras foram submetidas a tratamento prévio, obedecendo à seguinte sequência: o material foi triturado até alcançar o tamanho de pequenos fragmentos de aproximadamente 3 mm de diâmetro com a ajuda de um britador KARL-KOLB de fabricação da República Federal da Alemanha e, posteriormente, transferidos para um pulverizador de disco BICO INC Mod. 3116 de fabricação dos Estados Uni

dos da América, onde foi reduzido até malha menor que 80 mesh. Após a homogeneização e quarteamento manual, foram retirados a proximadamente cinco (5) gramas da amostra e secos em estufa a cerca de 105°C. Do material assim tratado tomou-se alíquotas de 0,1 gr até 2,0 gr para as determinações dos elementos maiores e elementos traços. Os métodos analíticos empregados são indicados na tabela 2.

ELEMENTOS	GRAVIME- TRIA	VOLUME- TRIA	COLORIME- TRIA	A ATÔMICA	FLUOR. RAIO X
Si	(1)				
Al		(2)		(8)	
Fe ⁺⁺⁺		(3)		(8)	
Fe ⁺⁺		(4)			
Ca				(9)	
Mg				(10)	
Mn			(5)	(8)	
K				(9)	
Na				(9)	
Ti			(6)		
P			(7)		
Rb, Sr, Ba					(11)

Tabela 2 - Métodos analíticos usados para as determinações dos elementos Si, Al, Fe⁺⁺⁺, Ca, Mg, Mn, K, Na, Ti e P em granitos, arenitos e basaltos, e Rb, Sr e Ba em granitos (Procedimentos em parênteses).

Procedimentos (1) a (11) vide apêndice I.

3. PETROGRAFIA

3.1. Petrografia dos Granitos

Os granitos estudados são constituídos essencialmente por feldspato alcalino, plagioclásio, quartzo, biotita e hornblenda. Do ponto de vista textural, as amostras estão enquadradas dentro de três (3) tipos: porfirítico, hipidiomórfico granular fino e grosseiro. No tipo porfirítico (amostras n.ºs. 8-11-20-22-46, fig. 2, anexo 1), fenocristais subédricos de quartzo, alcali-feldspatos e plagioclásio se encontram envolvidos por uma massa fundamental dos mesmos minerais acompanhados por biotita e hornblenda.

Uma fácies texturalmente mais fina de veio de granito foi encontrada cortando as rochas basálticas nas proximidades do contato (amostra n.º 51), e na parte mais profunda do furo de sondagem (amostra n.º 67), onde se verificou a presença de um veio cortando o corpo principal. A assembléia mineralógica destas rochas é caracterizada pelo desenvolvimento de cristais subédricos de alcali-feldspato e plagioclásio, de cristais anédricos de quartzo, circundados intersticialmente por biotita e hornblenda intercrescidas.

As rochas com texturas descritas anteriormente, representam pequenas porções da massa total do corpo granítico que, de modo geral, é constituído por rochas com textura hipidiomórfica granular grosseira. Do ponto de vista mineralógico estas rochas são semelhantes às descritas no parágrafo anterior.

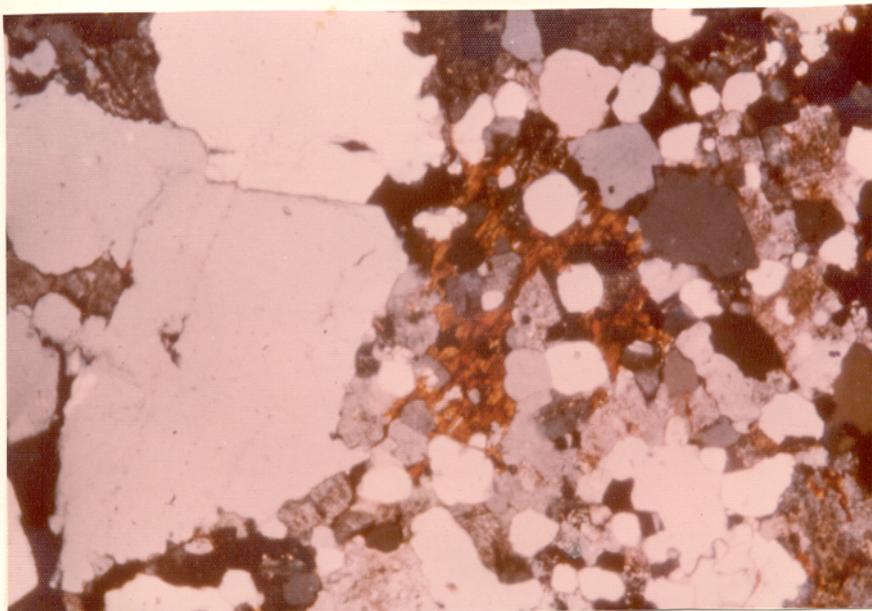
Uma das principais características petrográficas do granito é a predominância de feldspatos alcalinos em quase todas as amostras (até 60% do volume da rocha), representados por cristais de ortoclásio, estando normalmente alterados e raramente geminados segundo a lei de Carlsbad. O feldspato potássico se apresenta em cristais subédricos com intercrescimentos microperíticos, tanto nas texturas granulares grosseiras, assim como nos fenocristais das texturas porfiríticas. O desenvolvimento de fenocristais de feldspato alcalino em duas (2) gerações distintas, isto é, um feldspato englobando o outro, é observável em algumas amostras.

Cristais de plagioclásio An 10-28% (oligoclásio), aparecem em quantidades menos abundantes que o quartzo e o ortoclásio em todas as variedades texturais, atingindo, aproximadamente, até 25% do volume total da rocha. Apresentam-se em cristais subédricos, comumente alterados, dando origem à formação de minerais secundários como epidoto, sericita e, às vezes, carbonatos. Apesar da alteração, ainda é possível observar geminações segundo a lei de albita ou albita-Carlsbad.

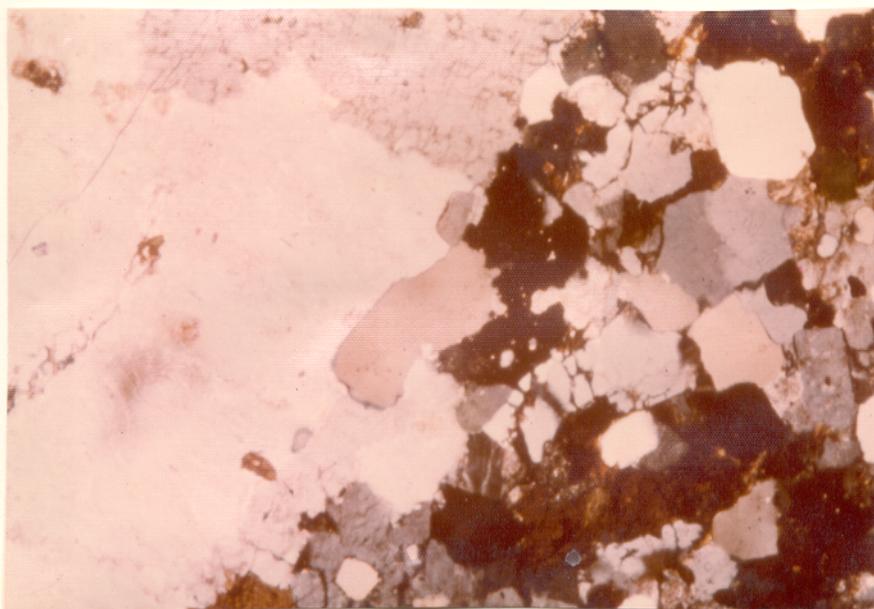
O quartzo ocorre como um dos minerais mais abundantes, atingindo, aproximadamente, até 45% do volume total da rocha. Em geral, os cristais mostram uma grande variação com respeito ao tamanho, apresentando-se em cristais subédricos na textura porfirítica, enquanto que nas texturas fina e grosseira os cristais são predominantemente anédricos. Em algumas amostras foram verificadas intercrescimentos de quartzo gráfico em ortoclásio e quartzo vermicular nas bordas de cristais de plagioclásio (mirmequita).

Biotita e hornblenda (teores aproximados de até 7% e 5%, respectivamente), constituem os ferromagnesianos presentes, os quais aparecem, geralmente, intercrescidos. A biotita frequentemente se apresenta com pleocroísmo parda-escuro a marron ($\gamma = \beta$) e marron claro (α), raramente a variedade esverdeada ($\gamma = \beta$) a marron claro (α), devido a alteração para clorita. O anfibólio predominante nessa rocha é ferrohastingsita caracterizada pelo pleocroísmo verde forte a verde forte amarronzado (γ) marron esverdeado (β) e verde fraco ou marron esverdeado fraco (γ) com ângulo de extinção de 17° . Com menos frequência ocorre a hornblenda comum com pleocroísmo marron escuro esverdeado (β), marron médio esverdeado (β) e marron claro (α) com ângulo de extinção de 13° a 18° . Cristais de zircão, epidoto e allanita acham-se inclusos em biotita. Uma das características notáveis do granito é a presença de fácies litológicas com tons mais escuros na porção central do corpo, como consequência da maior acumulação de minerais ferromagnesianos nas referidas fácies.

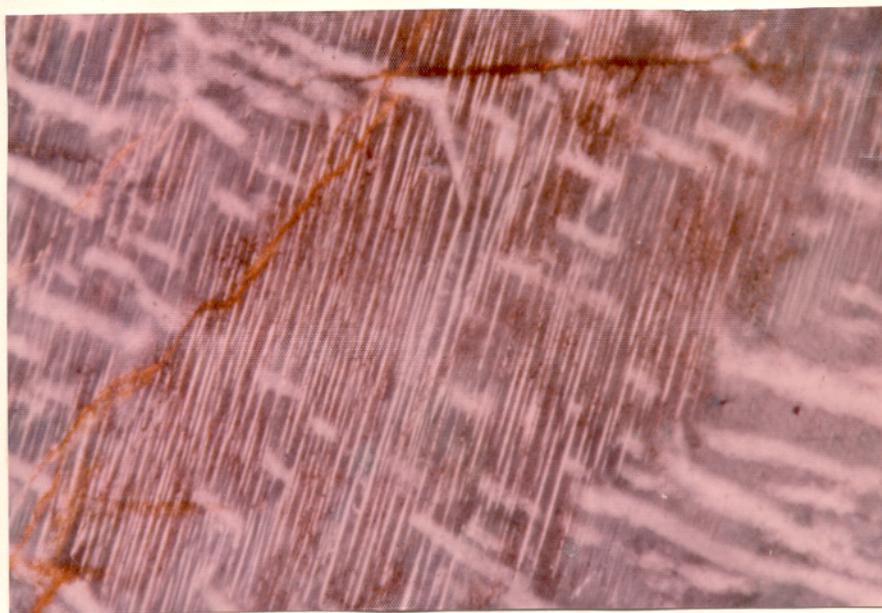
Apatita, zircão e opacos são os acessórios mais frequentes, enquanto que a fluorita, epidoto e allanita são menos frequentes.



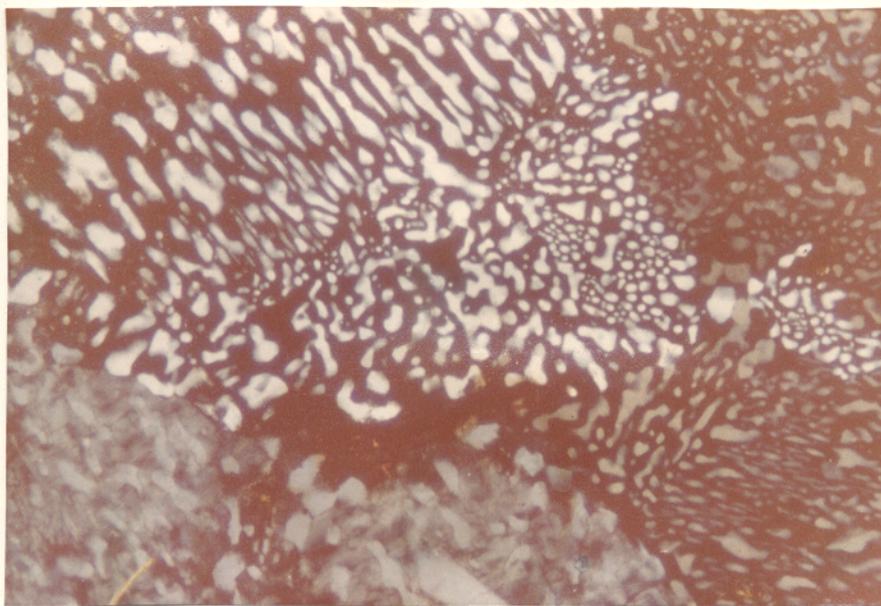
Fotomicrografia 1 - Textura porfirítica do granito mostrando fenocristais de quartzo, numa matriz de granulação fina composta de quartzo, feldspato, biotita e hornblenda. Níveis cruzados. Ampliação 100 x.



Fotomicrografia 2 - Textura granular grosseira em contato com a
textura granular fina de veio de granito. Nicóis cruza
dos. Ampliação 100 x.



Fotomicrografia 3 - Cristal de ortoclásio mostrando intercrescimento de lamelas períticas. Nicóis cruzados. Ampliação 400 x.



Fotomicrografia 4 - Intercrescimento de quartzo gráfico em feldspato. Nicóis cruzados. Ampliação 200 x.



Fotomicrografia 5 - Intercrescimento de quartzo vermicular em plagioclásio. Nicóis cruzados. Ampliação 200 x.

3.2. Petrografia dos Arenitos

Estas rochas estão constituídas essencialmente por grãos de quartzo inequigranular (80-90% do volume total) em uma matriz sericítica (localmente recristalizada para muscovita), incluindo quartzo microcristalino e raramente cimento de óxido de ferro.

Texturalmente, os arenitos são rochas clásticas pobremente sorteadas, apresentando granulação grosseira nos níveis estratigráficos mais baixos e, média a fina em níveis mais altos.

Os grãos de quartzo mostram um arredondamento entre angular a subangular, com diâmetros abrangendo uma faixa de 0,15 mm a 1,00 mm. Microscopicamente, o quartzo apresenta extinção normal a raramente ondulante.

A matriz, constituída essencialmente de sericita e quartzo microgranular, é mais abundante nos níveis estratigráficos mais altos. Já os diminutos fragmentos de sericita diminuem gradativamente a medida que se aproximam do contato com o corpo granítico, como resultado da recristalização para muscovita, a qual se apresenta bem desenvolvida e preenchendo os espaços intergranulares do quartzo.

A presença de uma matriz fina junto às frações detritais é explicável:

- a) como consequência de uma sedimentação sob a influência de correntes de turbulência, resultando na acumulação de séries gradacionais (Kuenen e Migliorini, 1950 em Pettijohn, 1975);
- b) como resultado da infiltração pós-deposicional de material fino, por meio de águas intersticiais (Emery, 1964, em Pettijohn 1975);
- c) pela alteração diagenética de minerais instáveis (Cummins, 1962, em Pettijohn, 1975). A origem da matriz sericítica dos arenitos estudados pode ser atribuída ao primeiro ou ao terceiro mecanismo proposto, visto que, no segundo, a matriz é um produto de recristalização, envolvendo reações com a fração detri

tal cujas feições características não têm sido observadas.

Tendo em vista a composição mineralógica essencialmente quartzosa da fração detrital, bem como a proporção da matriz (menos de 15%), os arenitos estudados podem ser definidos como Quartzo=Arenito (Ortoquartzitos) na classificação proposta por (Dott (1964) em Pettijohn et al., 1973, p. 158).

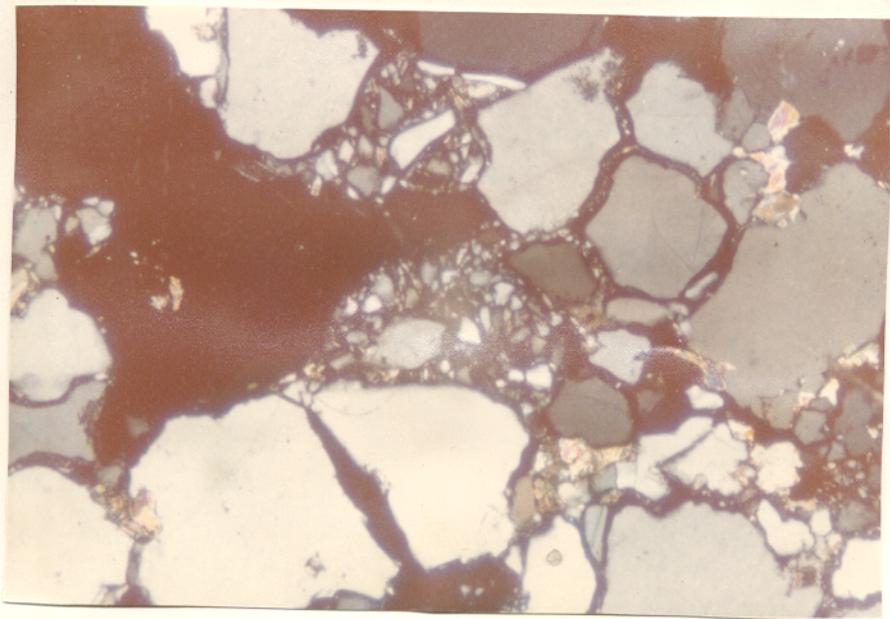
3.3. Petrografia dos Meta-basaltos

As amostras estudadas compreendem basaltos metamorfizados (amostras n^os. 27, 28, 50, 52, 53 e 54), localizadas nas proximidades ao contato com o corpo granítico.

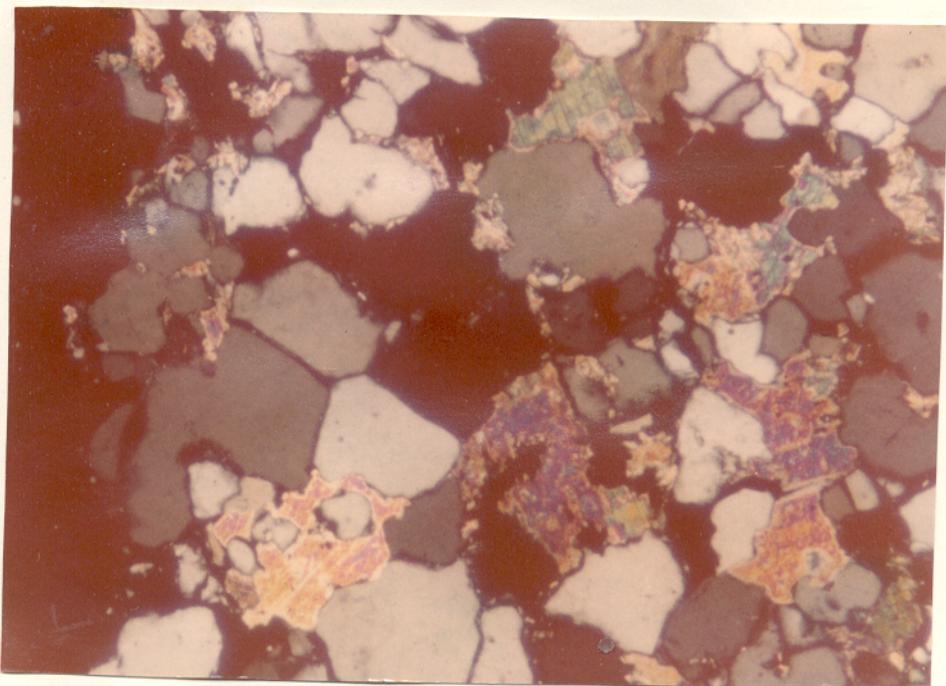
As amostras n^os 27 e 28 possuem texturas reliquiais ígneas, com ripas de plagioclásio envolvidas por anfibólios que substituem o piroxênio original da rocha (fotomicrografia 8). Mineralogicamente são constituídas essencialmente de plagioclásio intensamente alterados e anfibólio. O plagioclásio ocorre como ripas e, algumas vezes, como cristais irregulares intensamente alterados, dando origem a minerais secundários como epidoto (clinozoisita). Por sua vez, o anfibólio (actinolita) substitui o piroxênio original. A actinolita aparece com leve pleocroísmo, verde amarelo pálido (γ) e incolor (α) com ângulo de extinção 15° .

As amostras n^o 50 e 52 localizadas no contato com o corpo granítico, apresentam textura hornféisica ou granoblástica. Mineralogicamente são compostas de anfibólio, plagioclásio, biotita e quartzo. O anfibólio está representado pela hornblenda com pleocroísmo de coloração verde-pálido (γ) a verde-forte (α) ocorre em agregados, sendo biaxial (-) com ângulo de extinção de aproximadamente 15 a 20° e apresentando alongação (+). O plagioclásio, intensamente alterado, apresenta-se em pequenos cristais, em geral prismáticos e, às vezes, geminados. A biotita ocorre em agregados ou veios com clivagens incipientes, substituindo frequentemente o anfibólio.

As amostras n^o 53 e 54, localizada próximas ao granito possuem texturas reliquiais ígneas (blastoporfiríticas), apre



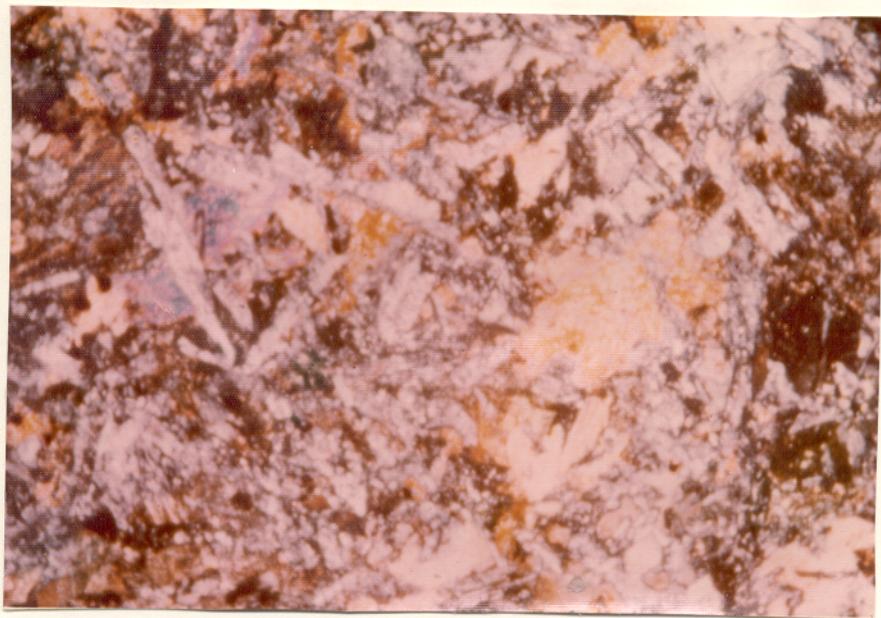
Fotomicrografia 6 - Textura granular grosseira do arenito, mostrando grãos de quartzo angulares a subangulares. Nicóis cruzados. Amp. 200 x.



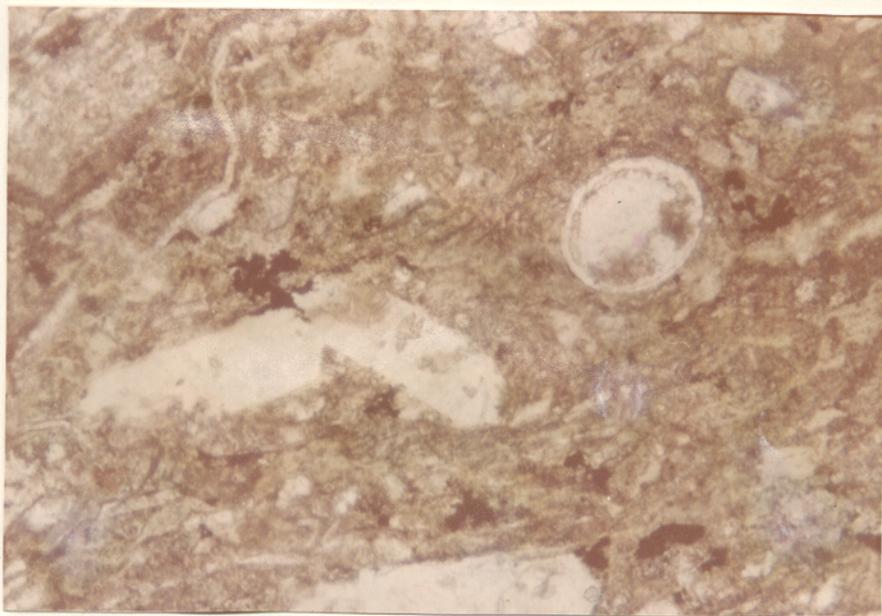
Fotomicrografia 7 - Arenito - Grãos de quartzo com angulosidade tendendo a um padrão hexagonal. Matriz sericítica recristalizada para muscovita, preenchendo os espaços intergranulares. Nicóis cruzados. Amp. 200 x.

sentam-se com cristais de actinolita, plagioclásio intensamente alterado e clinozoisita envolvidas por material fino constituído de plagioclásio e quartzo. Dos constituintes dominantes, o anfibólio (actinolita), apresenta-se em ripas ou formando estruturas radiadas, enquanto que o plagioclásio, que ocorre em cristais irregulares, às vezes prismáticos, apresenta-se frequentemente com aparência fluidal envolvendo cristais maiores principalmente de anfibólio. Ambos os minerais se encontram intensamente alterados. Componentes menores são o epidoto, quartzo e biotita, este último ocorrendo em forma de agregados ou veios.

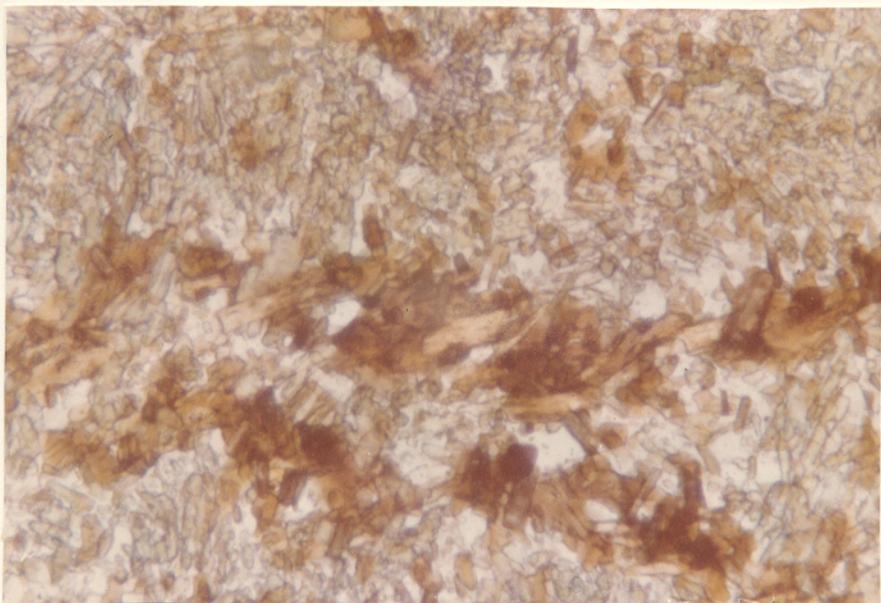
As assembléias mineralógicas das amostras estudadas, suas texturas, assim como sua distribuição geográfica, sugerem a presença de um processo metamórfico atuando sobre as rochas basálticas alteradas, crescentes na direção do corpo granítico, com desenvolvimento de fácies metamórficas de contato e especialmente de um fácies hornblenda-hornfels.



Fotomicrografia 8 - Textura reliquiar ígnea da amostra nº 27.
Níóis cruzados. Amp. 100 x.



Fotomicrografia 10 - Textura blastoporfirítica com fenocristais prismáticos de plagioclásio. Nicóis paralelos. Amp.200 x.



Fotomicrografia 9 - Textura hornfêlsica-decussate com agregados de biotita. Nicóis paralelos. Amp. 800 x.

4. PETROQUÍMICA

4.1. Petroquímica dos Granitos

Objetivando caracterizar petroquimicamente o corpo granítico, a frequência das razões normativas Qz:Ab:Or das amostras estudadas foram plotadas no diagrama de Winkler e von Platen (1961), em Winkler 1976 (fig. 3). A composição química e composição normativa das amostras são mostradas na tabela 3.

Na fig. 3, os componentes normativos Qz:Ab:Or, cuja a somatória alcança aproximadamente 80%, foram recalculados para 100%. Os pontos projetados situam-se na parte central do diagrama, na região definida por Winkler (1976), como campo dos granitos-granodioritos, com base na distribuição das razões normativas de 1190 rochas graníticas. A composição das rochas graníticas em relação aos principais componentes Qz:Ab:Or, estudados por Winkler, restringe-se, no diagrama a uma faixa relativamente pequena, estando nitidamente agrupada ao redor de um pequeno campo de composição mais frequente. Uma distribuição de frequência tão sistemática, segundo Winkler e von Platen (1961), em Winkler (1976), dificilmente pode ser resultado de um processo metassomático. Comparando a distribuição da frequência das rochas graníticas e massas fundidas por anatexia experimental, os citados autores verificaram a superposição dos campos de distribuição das rochas e massas fundidas no referido diagrama. As composições das massas fundidas anatéticas, quando plotadas no diagrama Qz:Ab:Or naturalmente não indicam nenhuma frequência, porém, com base na composição média dos folhelhos e grauvacas, os referidos autores concluíram que as massas fundidas anatéticas mais comuns, situam-se na parte mais central do campo do diagrama.

As amostras do granito da Serra dos Carajás, mostram uma dispersão grande quando projetadas no diagrama Qz:Ab:Or, algumas amostras chegando a extrapolar o campo dos granitos-granodioritos. Ainda no mesmo diagrama observa-se que as amostras situam-se na vizinhança de baixa temperatura e com frequência no campo de fusão granítica.

Segundo Kleeman (1965) em Watters (1978), mesmo quando a rocha contém tão pouco como 2% de anortita normativa, é errô

	11	20	22	45	46	31	41	42	43	44	47	48	49	51	66	67
SiO ₂	67,20	73,72	73,54	71,00	73,14	71,88	72,84	74,76	67,40	71,40	69,06	73,02	73,26	70,08	75,12	71,92
TiO ₂	0,54	0,13	0,12	0,21	0,22	0,20	0,22	0,21	0,81	0,35	0,42	0,25	0,11	0,18	0,20	0,20
Al ₂ O ₃	11,36	11,43	12,21	12,20	11,85	12,01	11,85	12,01	11,50	12,20	13,11	12,34	12,31	13,12	11,35	11,68
Fe ₂ O ₃	2,06	1,53	1,81	0,92	1,00	0,74	2,72	0,78	3,09	1,84	1,64	0,42	2,22	1,10	1,06	2,57
FeO	5,30	1,47	0,74	1,99	2,58	2,21	1,91	1,84	5,08	3,02	3,39	2,65	2,13	2,35	2,02	0,22
MnO	0,05	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,01	0,02	0,24	1,25
MgO	0,62	0,20	0,20	0,38	0,38	0,20	0,38	0,10	0,80	0,51	0,51	0,51	0,20	0,20	0,10	0,20
CaO	2,80	1,36	1,36	1,64	1,08	1,64	1,36	0,50	3,04	1,64	1,36	2,20	1,08	2,20	1,92	1,64
Na ₂ O	1,69	2,02	1,50	2,36	2,36	2,36	3,20	3,20	3,71	2,70	2,70	4,55	1,68	3,36	2,02	1,01
K ₂ O	5,07	5,52	6,00	6,30	5,22	5,07	5,22	4,62	2,28	4,62	5,07	2,91	5,70	5,85	5,22	6,93
P ₂ O ₅	0,29	0,27	0,29	0,30	0,12	0,29	0,25	0,20	0,37	0,18	0,16	0,16	0,14	0,25	0,19	0,19
H ₂ O ⁺	1,94	1,35	1,48	1,45	1,64	0,71	0,70	0,81	1,46	1,12	1,49	0,56	0,46	1,06	0,43	1,22
H ₂ O ⁻	0,24	0,18	0,32	0,34	0,22	0,40	0,02	0,32	0,46	0,22	0,64	0,40	0,40	0,32	0,10	0,30
TOTAL	99,16	99,21	99,60	99,12	99,86	99,41	100,69	99,38	100,05	99,83	99,58	100,00	99,70	100,09	99,97	99,33
NORMAS																
Q	29,17	36,91	38,44	28,47	34,20	33,06	29,95	35,28	28,11	31,53	28,07	27,98	37,35	22,55	37,16	35,53
Or	32,05	34,30	37,35	39,00	32,25	31,15	31,50	28,30	14,15	28,40	31,40	17,50	35,15	35,45	31,95	43,35
Ab	16,20	19,05	14,15	22,15	22,10	21,95	29,30	29,75	34,85	25,20	25,35	41,55	15,70	30,85	18,75	9,60
An	9,00	5,25	5,10	4,22	4,76	6,55	2,58	1,20	8,35	7,20	5,95	4,70	4,70	3,50	6,67	7,20
C	-	0,33	1,66	-	0,75	2,25	-	1,48	-	0,23	1,25	-	1,95	-	-	-
Di	3,08	-	-	1,28	-	-	2,14	-	3,96	-	-	4,24	-	4,80	1,54	0,04
Hy	6,72	1,66	0,60	2,46	4,24	3,35	0,80	2,40	5,22	4,52	5,18	2,88	2,26	0,86	2,07	0,63
Mt	2,29	1,68	1,53	1,00	1,09	0,79	2,89	0,84	3,37	1,99	1,78	0,43	2,41	1,17	1,14	2,83
Il	0,80	0,18	0,10	0,30	0,38	0,28	0,30	0,30	0,18	0,50	0,62	0,34	0,16	0,26	0,28	0,30
Hm	-	-	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ap	0,64	0,59	0,64	0,64	0,27	0,61	0,53	0,43	0,80	0,40	0,35	0,35	0,29	0,53	0,40	0,43

Tabela 3 - Composição química e normativa da rocha granítica. Amostras procedentes da Serra dos Carajás.

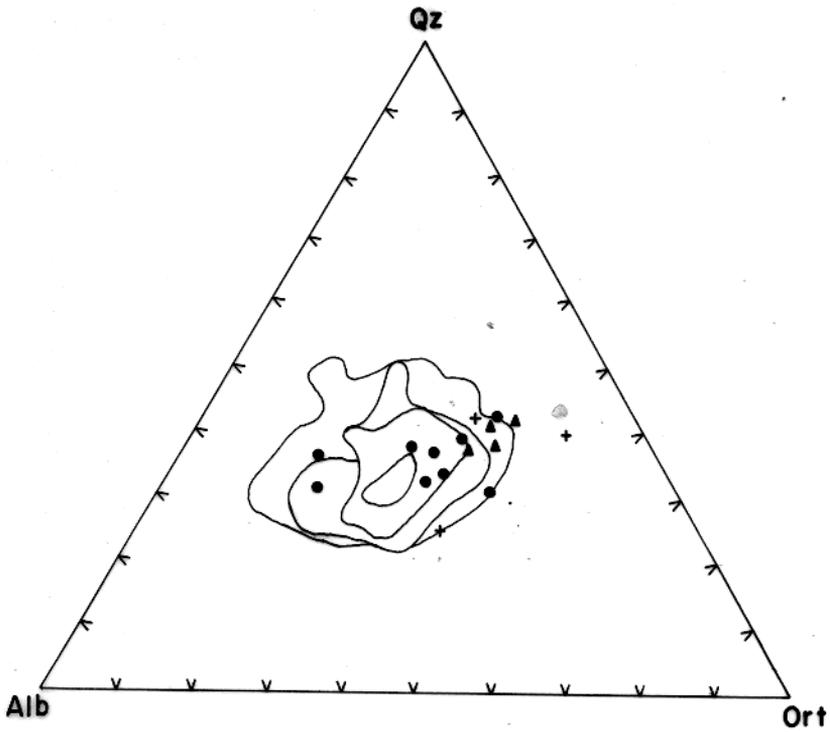


Fig. 3 Distribuição de frequência das razões normativas Qz : Ab : Or da rocha granítica da região central da Serra dos Carajás, projetada no diagrama de WINKLER e V. PLATEN (1961).
 ▲ GRANITO PORFIRÍTICO., ● GRANITO GROSSEIRO., + VEIO DE GRANITO

neo interpretá-las no sistema Qz:Ab:Or, sem considerações sobre os efeitos do conteúdo de anortita. Assim, as amostras das rochas graníticas da Serra dos Carajás, que apresentam uma variação de 1,2%-9%, foram plotadas no diagrama Or:Ab:An (fig. 4). No referido diagrama, é observado que a maioria das amostras estão localizadas nas proximidades do campo de baixa temperatura, ficando apenas duas (2) um pouco afastadas.

Desses fatos pode-se atribuir uma origem magmática para essa rocha granítica, uma vez que a composição Qz:Ab:Or:An, corresponde aproximadamente a mais baixa fusão.

Um dos argumentos em favor da natureza magmática do corpo granítico é a presença de fácies texturais distintas: granular grosseira, granular fina e porfirítica. Outros critérios importantes da origem magmática do corpo em estudo são as ocorrências de quartzo gráfico e quartzo vermicular.

Nas texturas gráficas encontradas na rocha granítica do Carajás, o quartzo se distribui uniformemente dentro do feldspato potássico atingindo aproximadamente, 40% da superfície dos grãos (fotomicrografia 4). De modo geral as estruturas gráficas são interpretadas como cristalização simultânea de quartzo e feldspato (Vogt, 1928 e Fersman, 1928 em Mehnert, 1971); Vadiello, 1971 em Smith, 1974 e Smith, 1974.

Intercrescimentos de quartzo vermicular nas bordas de plagioclásio (mirmequita) são observados nos granitos de textura granular grosseira (fotomicrografia 5). Shelley (1966) em Smith (1974), estudando texturas mirmequíticas de granitos terciários da ilha de Landy, interpretou as texturas como resultado da sequência de muitos eventos complexos resultante de vários estágios de intrusão magmática que causou novos crescimentos bem como a alteração de cristais existentes. Muitos outros estudiosos entre eles Hibbard (1966) em Mehnert (1971); Williams et al. (1970); Smith (1974), interpretaram a mirmequita como resultado da exsolução. Segundo Hibbard (1979), a mirmequita é uma textura indicativa de cristalização magmática e resulta da micropressão extinguindo durante a separação de uma fase aquosa como processo de cristalização.

Uma característica do corpo granítico do Carajás, é a presença da assembléia mineralógica plagioclásio (oligoclásio) e feldspato perítico com intercrescimentos irregulares frequen

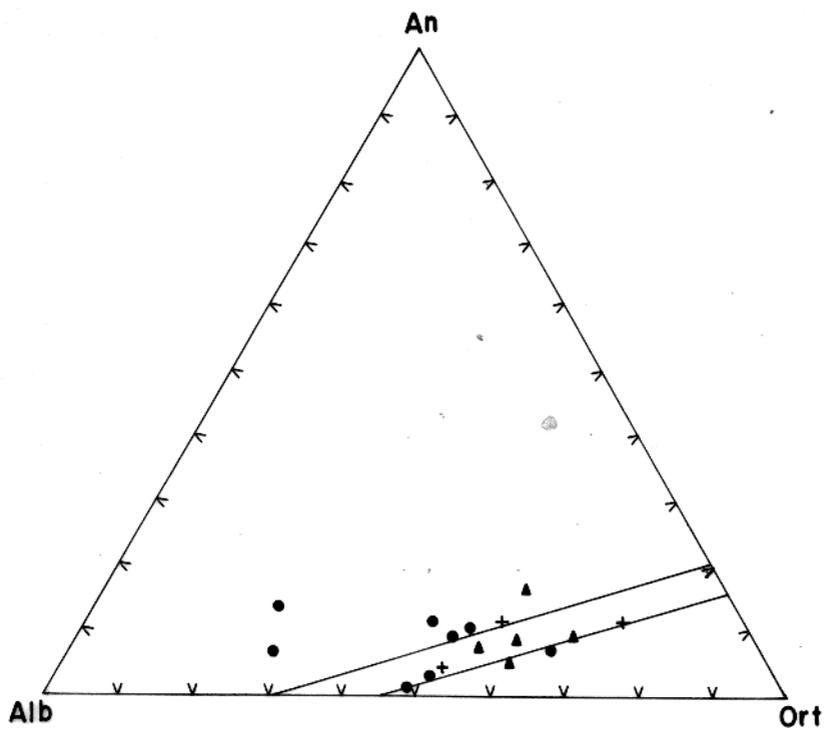


Fig. 4 Razão An:Ort:Ab para rocha granítica da região central da Serra dos Carajás.
 ▲ GRANITO PORFIRÍTICO., ● GRANITO GROSSEIRO., + VEIO DE GRANITO. AS LINHAS
 REPRESENTAM OS LIMITES DE BAIXA TEMPERATURA.

tes tipo filme e mais raramente intercrescimentos tipo string. As pertitas formadas irregularmente, com um componente predominando sobre o outro, indicam uma temperatura de formação relativamente baixa (Mehnert 1971), essa irregularidade é observado frequentemente na rocha granítica em estudo. Das várias teorias na literatura as opiniões são unânimes em favor de que a formação de pertita na forma de fios e películas são atribuídas ao desmisturamento. Como as pertitas, das amostras estudadas apresentam-se nessas formas poderia se supor também sua formação a exsolução, como resultado a partir de um magma de temperatura relativamente baixa. Um aspecto interessante nesse granito é a ausência na matriz de pertitas como resultado da queda brusca de temperatura de cristalização, dando origem a formação de um feldspato potássico deficiente em albita.

Com base na composição mineralógica anteriormente descrita, a rocha granítica do Carajás pode ser enquadrado dentro do grupo SUBSOLVUS na classificação de Tuttle e Bowen (1958) em Marmo (1971). Este grupo é caracterizado pela ocorrência de feldspato potássico pertítico e plagioclásio, e sua formação é atribuída à anatexia ou ao metassomatismo; como não se tem nenhuma evidência do 2º processo, aceita-se a 1a. hipótese como uma origem viável para a rocha granítica do Carajás.

4.1.1. Elementos Maiores

Com a finalidade de verificar se as rochas graníticas representam porções diferenciadas dentro de um magma granítico, seus componentes químicos foram plotados em diagramas de variação.

Diagramas de variação têm sido utilizados por diversos autores para indicar tendência de evolução magmática. Harker (1909) em Turner e Verhoogen (1960), projetou as percentagens em peso dos principais óxidos de cada rocha analisada em relação à percentagem em peso de SiO_2 . Larsen (1938) em Carmichael et al (1974), correlacionou a química da evolução magmática plotando a percentagem de óxidos versus $[(1/3 \text{SiO}_2 + \text{K}_2\text{O}) - (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{FeO})]$. Nockolds e Allen (1953), modificaram este fator para demonstrar algum enriquecimento absoluto de ferro e, principalmen

te, para mostrar a variação dos elementos em relação aos componentes maiores: o fator modificado foi definido como $[(1/3 \text{ Si} + \text{K}) - (\text{Ca} + \text{Mg})]$.

Para possibilitar interpretações petrogenéticas, os conteúdos dos elementos maiores constantes na tabela 4, foram plotados em diagramas de variação versus o índice de Larsen modificado por Nockolds e Allen. Os diagramas da fig. 5, ilustram o comportamento dos elementos maiores ao longo de linhas líquidas de descendência. De modo geral observa-se que os trends de variação de Si, Fe, Mg, Ca, Na e K, seguem aqueles das séries calco-alcalinas (Nockolds e Allen, 1953) na faixa de índices de 9,6 a 15,0, com uma restrição para o Na, que sofre um leve decréscimo à medida que a rocha se torna mais ácida.

As tendências na distribuição dos elementos acima referidos, (fig. 5), sugerem variações na composição mineralógica dos granitos. Assim, o empobrecimento nos conteúdos de Fe, Mg, Ca e Na estão relacionados com o aumento na proporção de feldspatos potássicos e diminuição das proporções de biotita, hornblenda e plagioclásio (oligoclásio). A variação nas proporções dos minerais máficos, tais como biotita e hornblenda, não afetam substancialmente a distribuição do alumínio, o qual se apresenta relativamente constante, dadas as baixas proporções destes minerais na rocha. Do mesmo modo, a variação nas proporções de plagioclásio (oligoclásio), não influenciam no seu comportamento, em virtude do alumínio estar presente nesse mineral em quantidades aproximadamente iguais as do feldspato potássico. As amostras plotadas na fig. 5, estão distribuídas geograficamente segundo um padrão característico: de modo geral, as amostras com baixo índice de Nockolds estão localizadas no núcleo do corpo granítico, enquanto que aquelas com índices mais elevados, correspondem ora às bordas do referido corpo, ora a veios graníticos que cortam o corpo principal ou às litologias adjacentes.

As tendências nas distribuições dos elementos Na, K, Ca, Fe e Mg, quando plotados em diagramas triangulares $\text{Na}:\text{K}:\text{Ca}$ e $(\text{Fe}^{++} + \text{Fe}^{+++}) : (\text{Na} + \text{K}) : \text{Mg}$ (fig. 6), são semelhantes às discutidas no parágrafo anterior. Na fig. 6a observa-se que a medida que aumenta o teor de álcalis da rocha, diminui o teor de ferro enquanto que as proporções na quantidade de magnésio permanece praticamente constante. O enriquecimento em álcalis é devido,

	11	20	22	45	46	31	41	42	43	44	47	48	49	51	66	67
Si ⁴⁺	31,40	34,45	34,36	33,17	34,18	33,59	34,04	34,93	31,49	33,36	32,27	34,12	34,23	32,75	35,10	33,61
Ti ⁴⁺	0,32	0,08	0,08	0,12	0,13	0,12	0,13	0,12	0,48	0,21	0,25	0,15	0,06	0,11	0,12	0,12
Al ³⁺	6,00	6,05	6,46	6,45	6,28	7,24	6,27	6,35	6,08	6,45	6,94	6,53	6,51	6,94	6,00	6,20
Fe ³⁺	1,44	1,07	1,26	0,64	0,70	0,52	1,90	0,55	2,16	1,32	1,15	0,30	1,50	0,77	0,75	1,80
Fe ²⁺	4,11	1,14	0,57	1,54	2,00	1,71	1,48	1,43	3,93	2,34	2,63	2,05	1,65	1,82	1,56	0,17
Mg ²⁺	0,37	0,12	0,12	0,23	0,23	0,12	0,23	0,06	0,48	0,31	0,31	0,31	0,12	0,12	0,06	0,12
Ca ²⁺	2,00	0,97	0,97	1,17	0,77	1,17	0,97	0,36	2,17	1,17	0,97	1,57	0,77	1,57	1,37	1,17
Na ⁺	1,25	1,49	1,11	1,75	1,75	1,75	1,75	2,37	2,37	2,75	2,00	2,00	3,37	1,24	2,49	0,75
K ⁺	4,22	4,60	5,00	5,25	4,35	4,22	4,35	3,85	1,90	3,85	4,22	2,42	4,75	4,87	4,35	5,77
K	56,50	65,00	70,50	64,35	63,25	59,00	56,50	58,50	28,00	55,00	58,75	33,00	70,25	54,50	60,00	75,00
Na	16,75	21,00	15,75	21,50	25,50	24,50	31,00	36,00	40,00	28,50	27,75	45,75	18,25	28,00	21,00	10,00
Ca	26,75	14,00	13,75	14,25	11,25	16,50	12,50	5,50	32,00	16,50	13,50	21,25	11,50	17,50	19,00	15,00
Fe ⁺⁺ +Fe ⁺⁺⁺	49,00	26,25	22,70	23,00	30,00	27,00	33,00	24,00	54,25	37,00	37,00	28,00	34,50	26,00	28,00	22,75
Na + K	48,00	72,25	75,80	74,50	67,50	72,00	65,00	75,00	41,50	60,00	60,00	68,50	64,25	73,00	71,00	76,00
Mg	3,00	1,50	1,50	2,50	2,50	1,00	2,00	1,00	4,25	3,00	3,00	3,50	1,25	1,00	1,00	1,25
(1/3Si+K) - (Ca+Mg)	12,32	15,00	15,40	14,91	14,75	14,13	14,50	15,10	9,75	13,50	13,70	11,92	15,27	14,10	14,62	15,68

Tabela 4 - Composição química em percentagem catiônica e índices de NOCKOLDS da rocha granítica da região central da Serra dos Carajás.

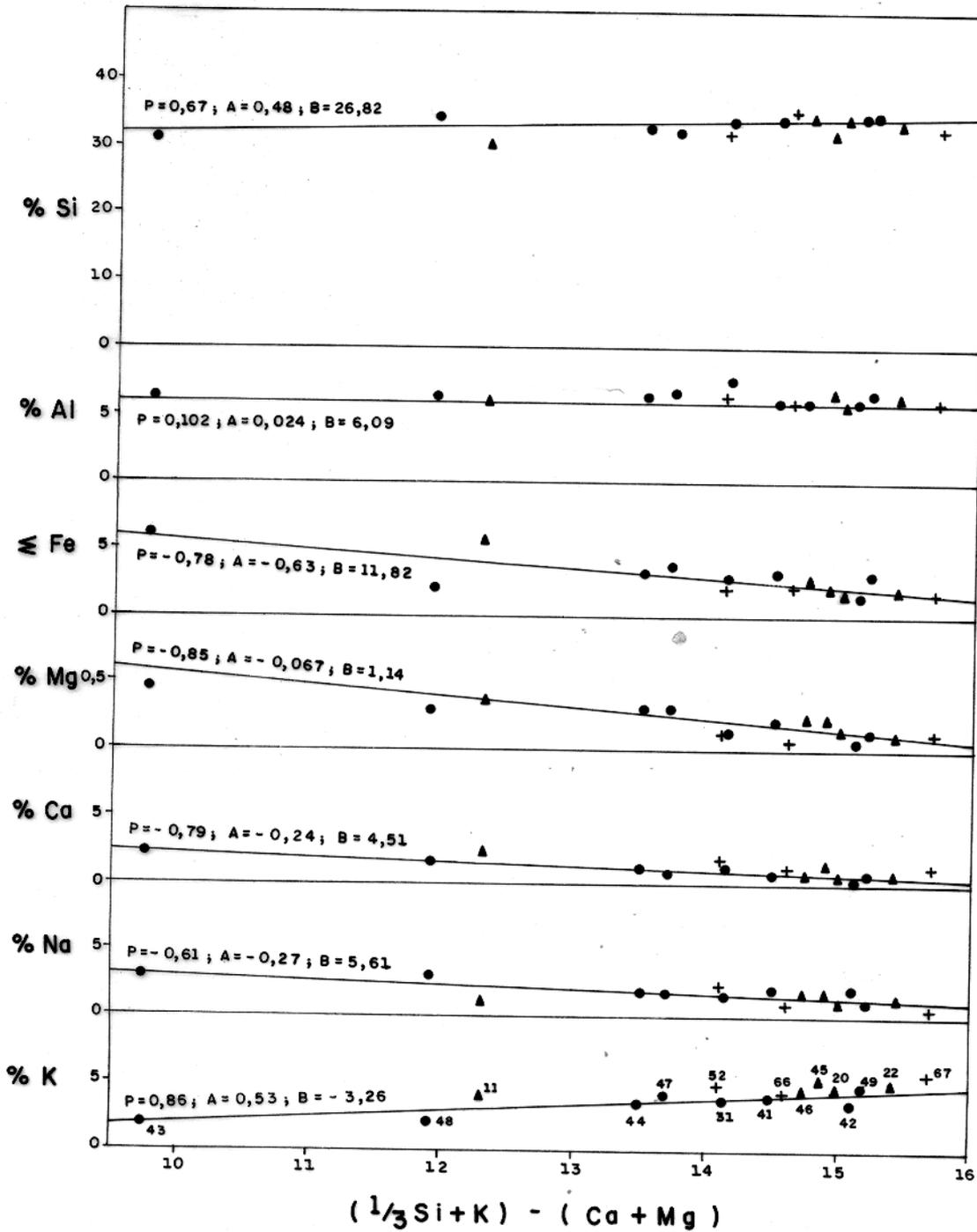


Fig. 5 Diagrama de variação para os elementos maiores da rocha granítica da região central da Serra dos Carajás.

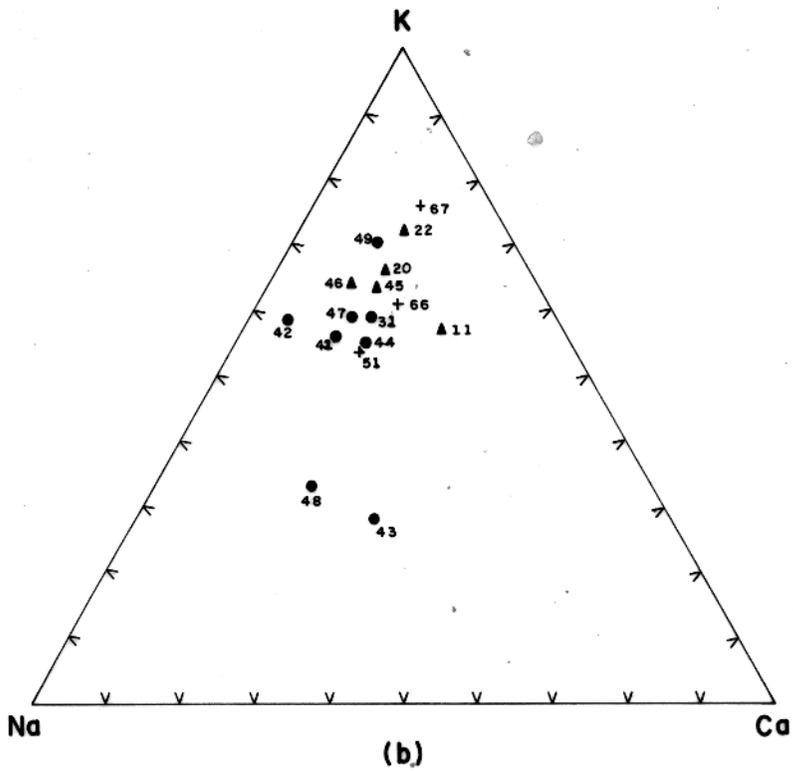
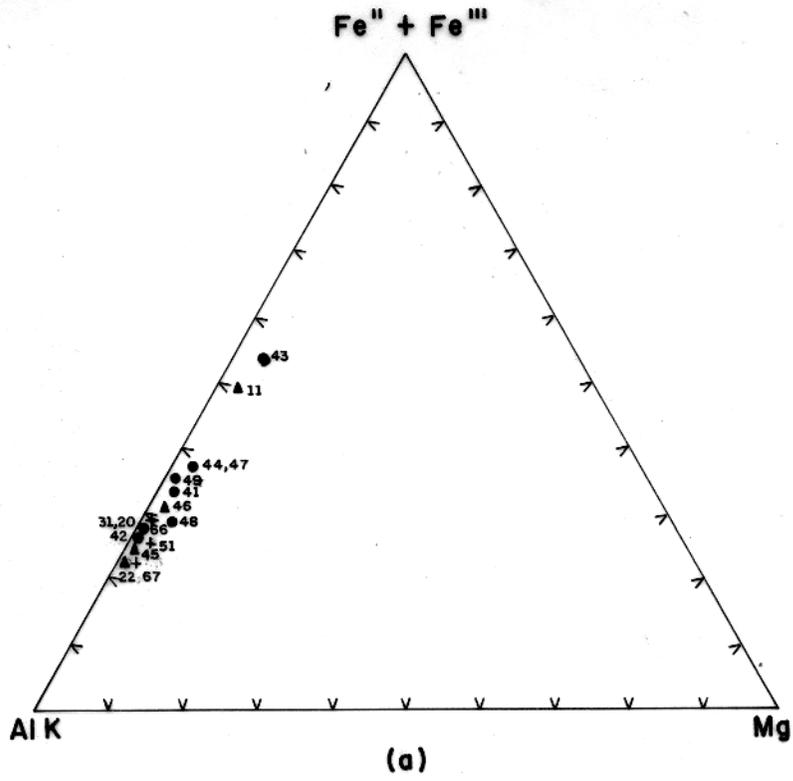


Fig. 6 Diagramas de variação para rocha granítica da região central da Serra dos Carajás.

principalmente, ao incremento no teor de potássio, visto que existe uma relação inversa nos teores de sódio e potássio como mostra a fig. 6b.

Pelas considerações anteriormente relatadas, conclui-se que a variação na composição química e mineralógica do batólito granítico com bordas mais ácidas, pode ser interpretado como resultado de ligeiras diferenciações do magma granítico durante o seu "emplacement".

4.1.2. Elementos Traços

Os conteúdos dos elementos traços (Rb, Bá e Sr), são dados na tabela 5 e são plôtados contra o índice de Larsen modificado por Nockolds e Allen $[(1/3 \text{ Si} + \text{K}) - (\text{Ca} + \text{Mg})]$ (vide tabela 4), na fig. 7. No diagrama da fig. 7, o Rb mostra um ligeiro aumento, acompanhando a mesma curva para o K, enquanto que o Sr apresenta um leve decréscimo. O Ba sofre uma dispersão muito grande. O diagrama da fig. 7, quando comparados com os trends de variação para rochas calco-alcálicas de Nockolds e Allen (1953), observa-se que o Rb acompanha as mesmas tendências, o Sr por sua vez segue algumas das séries, assim como a série Scottish Caledonia e a série E. Central de Serra Nevada. Conforme Nockolds e Mitchell (1948) em Nockolds e Allen (1953), esse decréscimo no conteúdo de Sr pode ser explicado pela remoção do magma de plagioclásio anteriormente cristalizado, com isso o Sr decresce no líquido residual.

4.1.3. Razões dos Elementos

Para os granitos em estudo os teores dos elementos Sr e Ca foram calculados (tabela 5 e tabela 4, respectivamente) e plotados na fig. 8. A média dos valores de Sr, Ca e Ca/Sr são comparáveis com as respectivas médias dos granitos porfiríticos Cape Granite, South Africa (tabela 6) em Kolbe e Taylor (1966). Os referidos granitos são plutons tipicamente de altos níveis, tendo uma diferenciação do centro para a periferia. Na fig. 8, verifica-se que as rochas graníticas do Carajás seguem as mesmas tendências da 170 rochas graníticas plotadas no diagrama $\log \text{Ca}$ versus $\log \text{Sr}$ (Turekian e Kulp, 1956), numa faixa de

	11	20	22	45	46	31	41	42	43	44	47	48	49	51	66	67
Ba	2017	1455	2212	1087	1431	544	1965	1284	1280	1948	2408	1453	1541	1293	1983	1019
Rb	98	108	134	169	134	220	135	145	54	114	134	52	144	158	114	143
Sr	105	109	106	94	109	85	143	29	145	124	118	190	108	114	143	113
K/Rb	431	426	373	311	325	192	322	265	352	338	315	465	330	308	381	404
K/Ba	21	32	23	48	30	77	22	30	15	20	17	17	31	38	22	57
Ca/Sr	190	89	91	124	71	138	68	124	150	94	82	83	71	138	96	103

Tabela 5 - Conteúdo dos elementos traços da rocha granítica da região central da Serra dos Carajás.

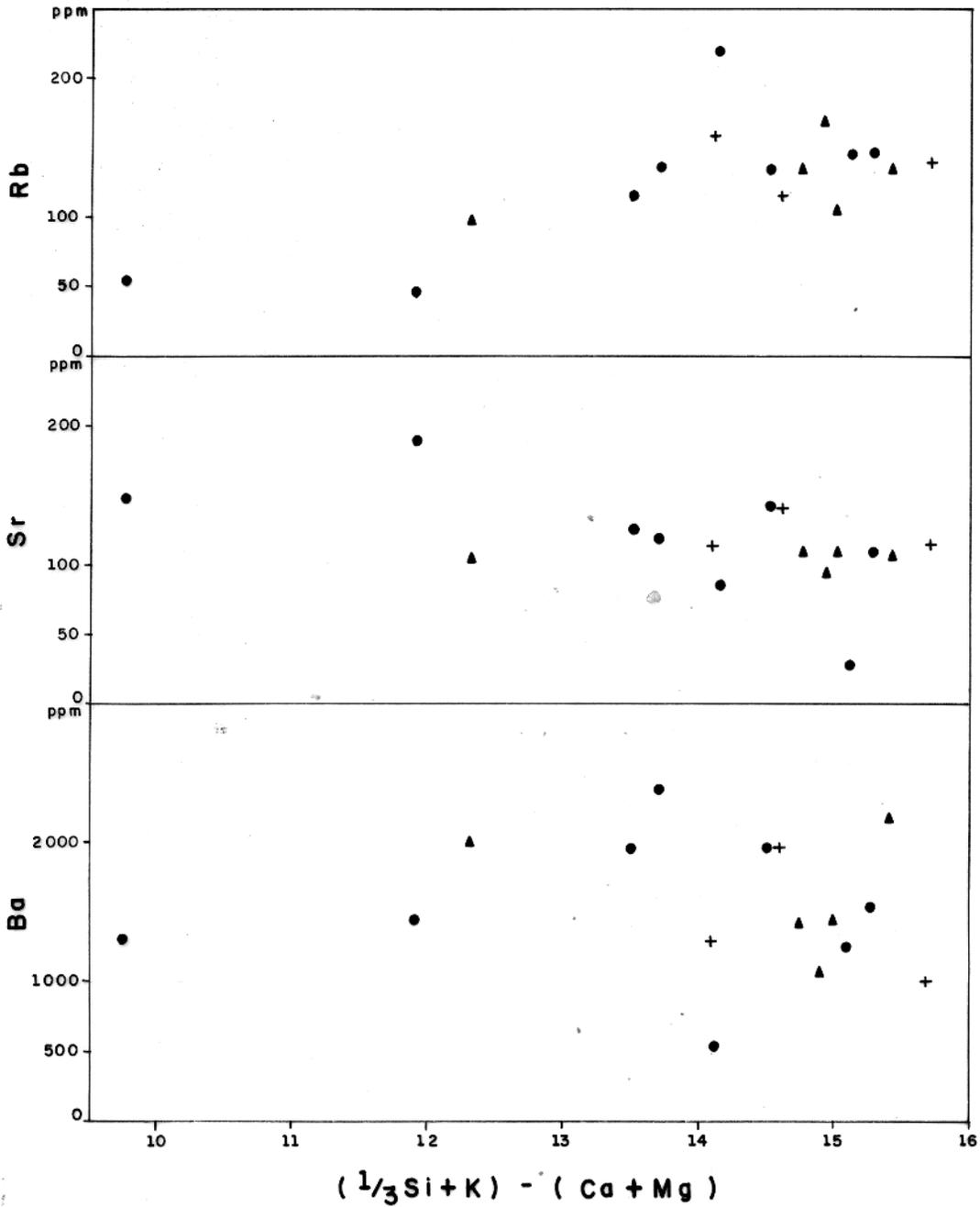


Fig. 7 Diagrama de variação dos elementos traços, para a rocha granítica da região central da Serra dos Carajás.

▲ GRANITO PORFIRÍTICO., ● GRANITO GROSSEIRO., + VEIO DE GRANITO FINO

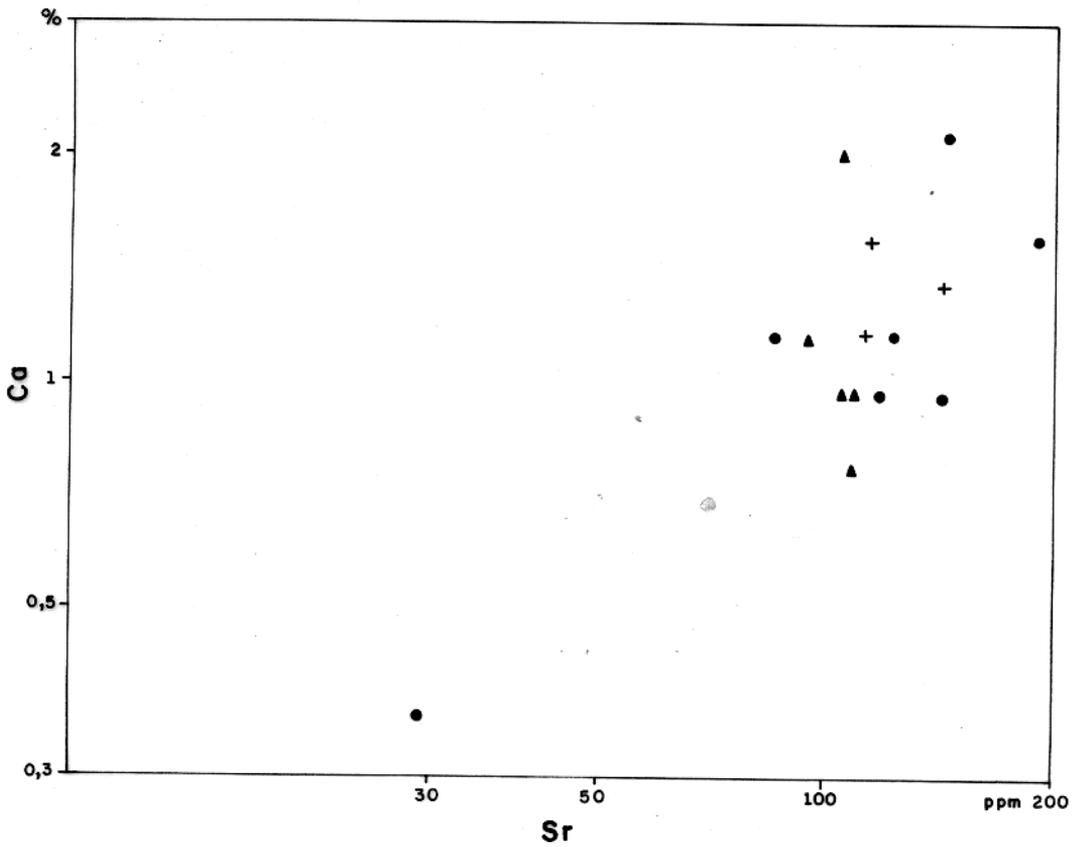


Fig. 8 Razão Ca/Sr para a rocha granítica da região central da Serra dos Carajás.

▲ GRANITO PORFIRÍTICO., ● GRANITO GROSSEIRO., + VEIO DE GRANITO FINO

100-200 ppm de Sr. É observado que há uma correlação entre esses elementos, embora haja um maior aumento no conteúdo de Ca proporcional ao Sr. Segundo Turekian e Kulp (1956), a relação do conteúdo de Sr para o conteúdo de Ca de rochas graníticas foi devido a retenção de uma relação primária similar em rochas sedimentares, do qual as rochas graníticas são supostamente derivadas.

A variação na razão K/Rb das diferentes fácies litológi cas da rocha granítica do Carajás é de 192-465. Essa faixa de variação foi comparada com as variações de outras rochas graníticas, bem como as variações dos teores de K e Rb (tabela 7).

A faixa de variação para K, Rb e K/Rb, são bastantes comparáveis com aquelas das rochas graníticas de Franzfontein (África), enquanto que as outras rochas incluídas na tabela 7, apresentam teores mais baixos de K e Rb. Apesar de abrangerem praticamente as mesmas faixas, a rocha granítica do Carajás apresenta duas (2) amostras com teores inferiores de K e duas (2) amostras com teores inferiores de Rb porém esses desvios são pequenos. Quando plotados os teores de K versus teores de Rb, o gráfico da fig. 9, mostra uma pequena dispersão, porém pode-se considerar que normalmente quando o conteúdo de K aumenta, aumenta também o conteúdo de Rb. Esse relacionamento provoca pouca variação na razão K/Rb. O enriquecimento de Rb relativo ao K, segundo Heier e Billings (1970), é esperado concentrar nas frações félsicas quando o sistema de rochas possui espécie de dife renciação e K/Rb decresce na sequência das máficas para as rochas félsicas. Embora se tenha evidenciado através dos elementos traços, alguma suposta diferenciação do centro para a periféria na rocha granítica do Carajás, esse relacionamento quanto a razão K/Rb não se pode concluir uma vez que as razões, praticamente, se equivalem, ocorrendo algumas razões baixas nas frações mais félsica. Como referido acima, o gráfico da fig. 9, mostra pouca variação na razão K/Rb, com apenas uma (1) amostra sendo deslocada. Ahrens et al (1952), admite que a pequena variação na razão K/Rb é atribuída para rochas formadas durante as maiores fases de diferenciação.

A razão K/Ba sofre uma variação de 15-77 (tabela 5), atingindo uma média de 31 na rocha granítica em estudo. No gráfi

	(1)	(2)
Média para o Sr	110 ppm	115 ppm
Média para o Ca	1,17 %	1,2 %
Média para o Ca/Sr	106	107

Tabela 6 - Comparação do conteúdo de Sr, Ca e Ca/Sr da rocha granítica da Serra dos Carajás, com os granitos Cape Granite, South Africa.

(1) Cape Granite, South Africa

(2) Rocha Granítica da Região Central da Serra dos Carajás.

	K%	Rb ppm	K/Rb
Rocha Granítica dos Carajás	1,90-5,77	52 - 220	192-465
Rochas Graníticas de Franzfontein, África (Clifford e Rooke, 1969)	3,00-5,29	65 - 230	159-424
Rochas Graníticas do Precambriano Norte de Minnesota (Arth e Hanson 1975).	0,43-4,27	7,8- 242	134-625
Granitos e Grandioritos da Austrália e Sul da África (Kolbe e Taylor, 1966).	3,48-4,36	170 - 388	100-205

Tabela 7 - Comparação das variações de K, Rb e K/Rb da rocha granítica da região central da Serra dos Carajás com outras rochas graníticas.

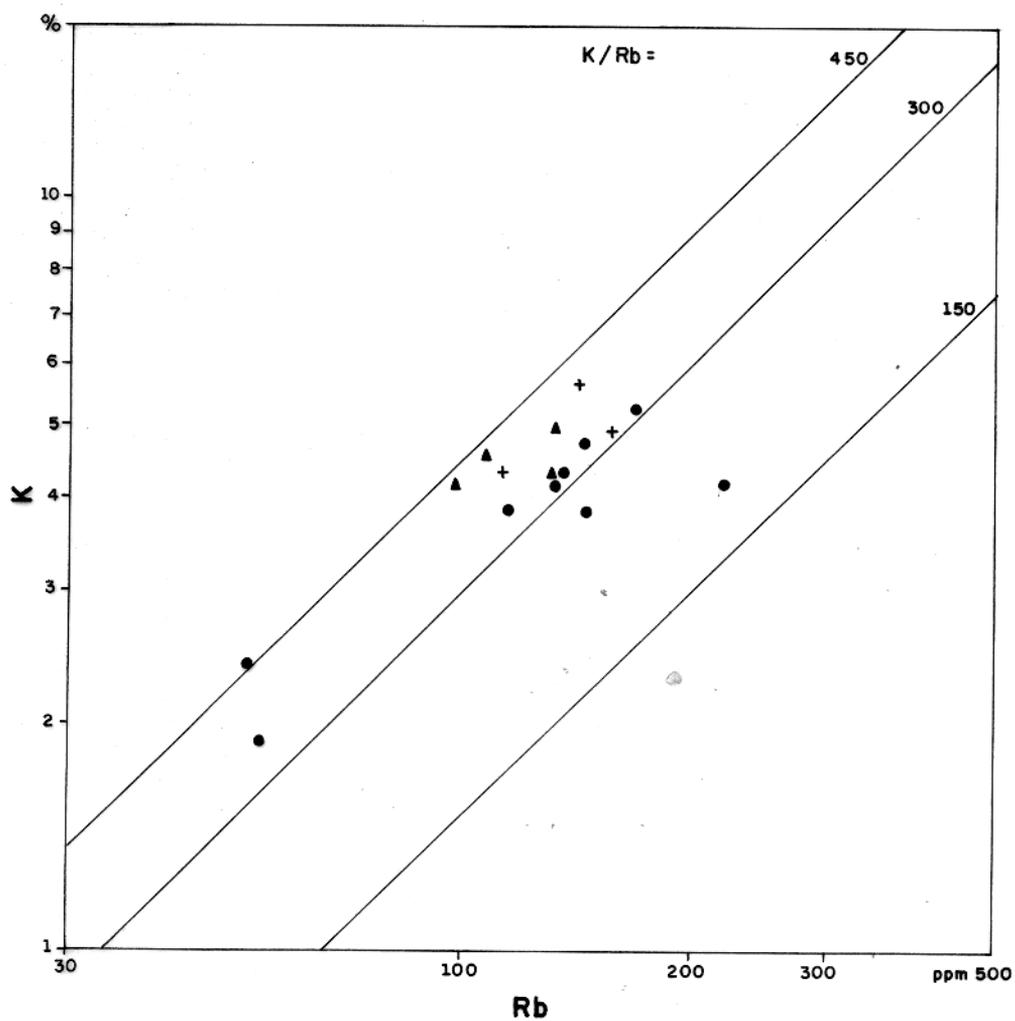


Fig. 9 Razão K/Rb para a rocha granítica da região central da Serra dos Carajás.
 ▲ GRANITO PORFIRÍTICO., ● GRANITO GROSSEIRO., + VEIO DE GRANITO

co da fig. 10, quando foram plotados os teores de K (tabela 4), versus teores de Ba (tabela 5), verificou-se uma dispersão bastante grande, equiparando ao gráfico da fig. 7, quando o Ba foi relacionado com o índice de Nockolds. Sabe-se que os teores de K são valores normais, porém os teores de Ba são valores bastante elevados. Supõe-se que esse alto valor de Ba, seja em vista da existência de biotita na rocha.

Como pode ser deduzido do estudo dos elementos maiores e traços, a rocha granítica do Carajás segue normalmente as mesmas tendências da série de rochas calcó alcalinas de Nockolds e Allen (1953). Ocorrendo apenas uma dispersão com respeito ao Ba, o que dificulta uma comparação completa. As razões dos elementos Ca/Sr, K/Rb e K/Ba, também acompanham aqueles trends. Portanto é admissível que a rocha granítica da região central da Serra dos Carajás tenha sofrido diferenciação quando houve a cristalização do magma.

4.2. Petroquímica dos Arenitos

A composição química dos arenitos da Serra dos Carajás é mostrada na tabela 8. Nesta tabela são incluídos os exemplos das composições químicas de ortoquartzitos representativos (Petrijohn et alii, 1973, p. 215).

A composição química dos arenitos estudados, classificados neste trabalho como ortoquartzitos, com base na composição mineralógica da fração detrítal (vide cap. 3 item 3.2), diferem ligeiramente da composição química dos ortoquartzitos citados na literatura específica. Observa-se que os teores de Al, Na, K e Fe se encontram um pouco acima daqueles valores considerados normais para este tipo de rocha. Esses desvios são decorrentes da presença de uma matriz micácea em quantidades apreciáveis, responsável pelos acréscimos nos teores de Al, Na e K, bem como pela presença de um cimento constituído de óxido de ferro.

4.3. Petroquímica dos Meta-basaltos

Uma das propriedades definidas de uma fácies metamórfica é a constante e, portanto, previsível relação entre a assembléia mineralógica observada e sua composição química. Para ex

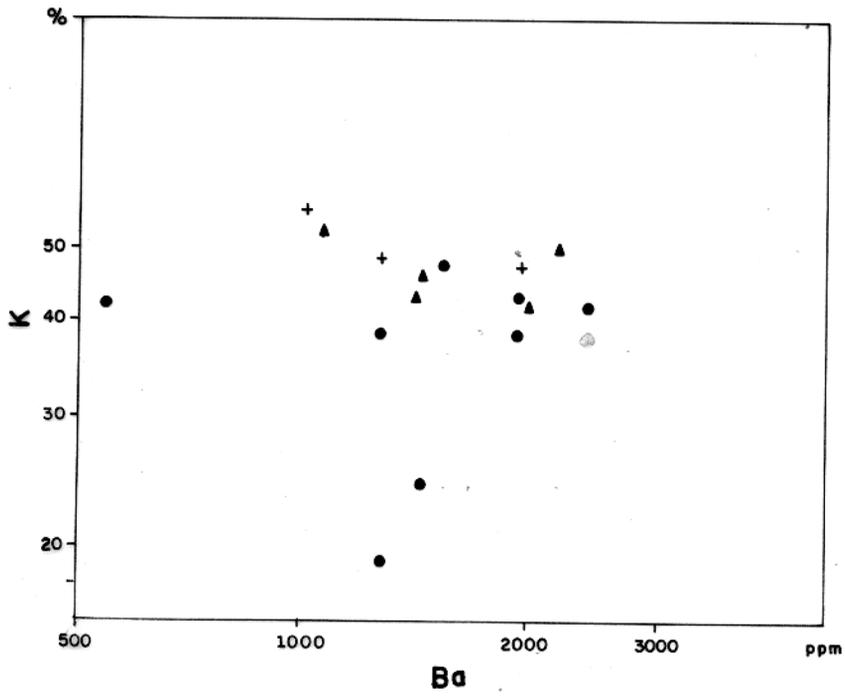


Fig. 10 Razão K/Ba para a rocha granítica da região central da Serra dos Carajás
 ▲ GRANITO PORFÍRITICO., ● GRANITO GROSSEIRO., + VEIO DE GRANITO.

	19	32	33	34	35	36	37	38	39	40	A	B
SiO ₂	91,86	91,84	88,88	92,62	86,24	94,14	91,82	92,52	91,74	91,48	93,13	95,32
TiO ₂	0,04	0,05	0,04	0,03	0,07	0,01	0,05	0,02	0,02	0,06		
Al ₂ O ₃	3,86	2,27	4,18	2,44	6,34	2,16	2,90	2,61	3,04	4,04	3,86	2,85
Fe ₂ O ₃ (total)	1,98	3,86	3,56	2,74	2,53	1,36	1,92	1,08	1,29	1,21	0,71	0,05
MnO	0,01	0,02	0,01	0,009	0,009	0,01	0,009	0,008	0,008	0,01		
MgO	0,20	0,38	0,20	0,20	0,20	0,31	0,32	0,20	0,20	0,31	0,25	0,04
CaO	0,28	0,33	0,22	0,11	0,22	0,22	0,33	0,22	0,25	0,22	0,19	traços
Na ₂ O	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,32	-	0,30
K ₂ O	0,90	0,36	0,75	1,03	2,58	0,75	1,03	0,75	1,03	1,5	-	-
P ₂ O ₅	0,31	0,25	0,34	0,12	0,16	0,12	0,16	0,16	0,16	0,16	-	-
H ₂ O ⁺	0,60	0,48	0,23	0,59	1,06	0,07	0,60	0,62	0,52	0,42	-	-
H ₂ O ⁻	0,42	0,60	0,58	0,58	0,44	0,46	0,58	0,88	0,62	0,52	-	-
TOTAL	100,68	100,60	99,15	100,63	100,01	99,77	99,88	99,23	99,04	100,25	98,14	98,56

Tabela 8 - Composição química dos arenitos da Serra dos Carajás e de Ortoquartzitos representativos.

A = Berea Sandstone (mississippiano), Berea, Ohio, USA, N.W.Lord, analyst (em Pettijohn et alii, 1973 p. 215).

B = Sioux Quartzite (Pré-Cambriano), Sioux Falls, S.Dakota, USA (em Pettijohn et alii, 1973, p. 215).

pressar esta correlação, Éskola (1915-1920) em Turner (1968), utiliza um procedimento gráfico plotando a composição mineral e a composição química em termos de três "componentes químicos".

Com o objetivo de correlacionar a composição química com a associação mineralógica, as amostras 27, 50, 52, 53 e 54 foram plotadas em termos de três componentes químicos segundo o procedimento de Eskola (1915) em Turner, 1968.

No procedimento empregado, a composição química em termos de Al_2O_3 , CaO, Na_2O , K_2O , MnO, Fe_2O_3 , FeO e MgO, com as devidas correções para os acessórios, foram plotadas em diagramas triangulares tipo ACF (fig. 11 e 12), cujo esquema está resumido da seguinte maneira:

$$A = Al_2O_3 + Fe_2O_3 - (Na_2O + K_2O)$$

$$C = CaO$$

$$F = MgO + FeO + MnO$$

$$A + C + F = 100\%$$

Para o caso em estudo, a correção restringiu-se apenas ao conteúdo de CaO que sofreu alteração em virtude de estar diretamente relacionado com a apatita, a qual aparece nas rochas em pequenas quantidades.

Na tabela 9, constam os resultados das análises químicas das rochas máficas metamorfizadas, bem como os teores corrigidos para o cálcio e os valores calculados para ACF.

Das rochas basálticas metamorfizadas em estudo, duas (2) amostras (n^os 50 e 52) bem próximas ao granito, são constituídas pela associação mineralógica: plagioclásio, hornblenda biotita e quartzo. Essa composição mineralógica quando relacionada em diagrama ACF, foram incluídas no campo da hornblenda, plagioclásio (-biotita-quartzo) para fácies de metamorfismo de contato a baixa pressão, correspondendo a fácies hornblenda-hornfels (fig.11). As amostras restantes (n^os 27, 53 e 54), mais afastadas do contato, embora apresentassem bastante alteradas ainda definiu-se em algumas, a actinolita, clinozoisita, biotita e quartzo. Essa assembléia mineralógica quando relacionada em diagrama tipo ACF, para rochas com excesso de SiO_2 , não correspondeu a associação mineralógica observada, ficando incluí

	50	52	27	53	54
SiO ₂	54,52	54,48	53,95	55,80	55,00
TiO ₂	2,40	2,20	2,00	2,00	1,80
Al ₂ O ₃	11,65	12,14	12,51	12,46	12,28
Fe ₂ O ₃	0,44	0,00	1,15	1,04	2,73
FeO	7,66	8,30	7,73	8,17	7,81
MnO	0,30	0,13	0,35	0,34	0,24
MgO	8,25	6,62	8,25	6,62	6,62
CaO	6,68	7,80	6,68	8,40	8,64
Na ₂ O	3,71	3,71	2,70	0,67	0,16
K ₂ O	1,50	0,75	1,50	0,50	1,35
P ₂ O ₅	0,37	0,20	0,19	0,20	0,25
H ₂ O ⁺	1,38	1,88	1,54	1,87	1,97
H ₂ O ⁻	0,62	0,58	0,50	0,72	0,46
TOTAL	99,48	98,78	99,05	98,79	98,31
CaO (corrigido)	6,19	7,54	6,43	8,14	8,31
A	23,50	25,00	29,00	34,50	37,50
C	21,00	25,00	20,00	23,00	23,00
F	55,50	50,00	51,00	42,50	40,00

Tabela 9 - Composição química dos meta-basaltos da região central da Serra dos Carajás, incluindo valores de ACF.

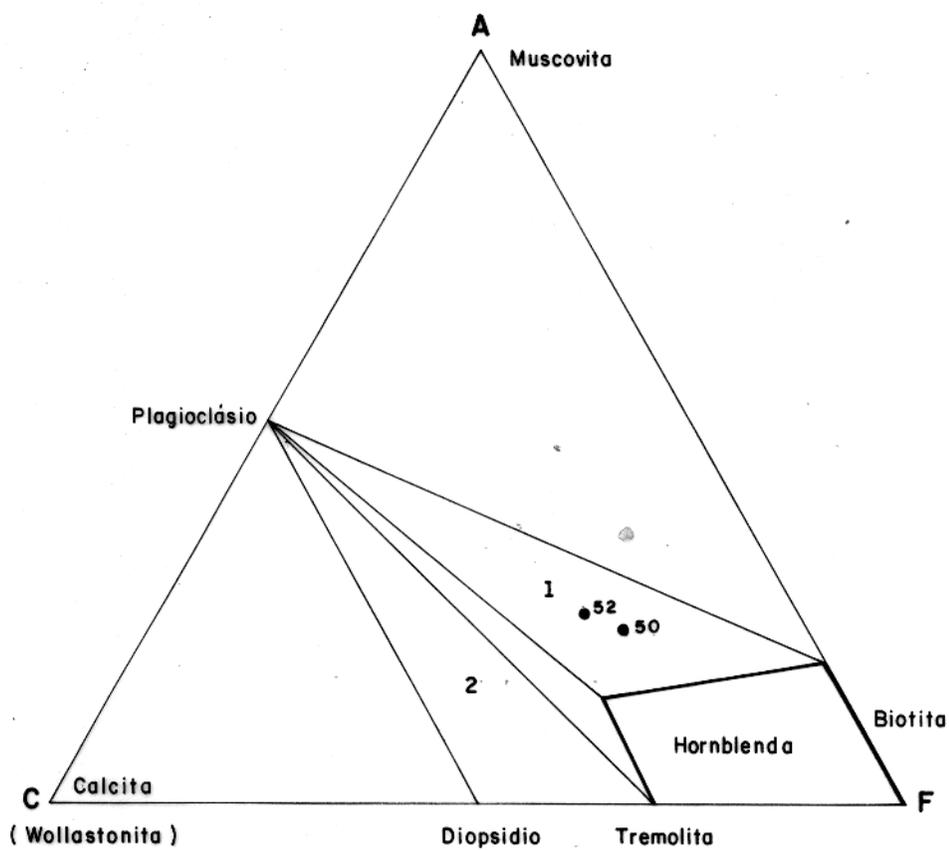


Fig. 11 Facies Hornblenda - Hornfels - Diagrama ACF para rochas com excesso de SiO_2 e K_2O Segundo Turner (1968).

- 1 - CAMPO DE PLAGIOCLÁSIO - HORNBLENDA (BIOTITA - QUARTZO)
- 2 - CAMPO DE PLAGIOCLÁSIO - HORNBLENDA - DIOPSIDIO (QUÁRTZO)

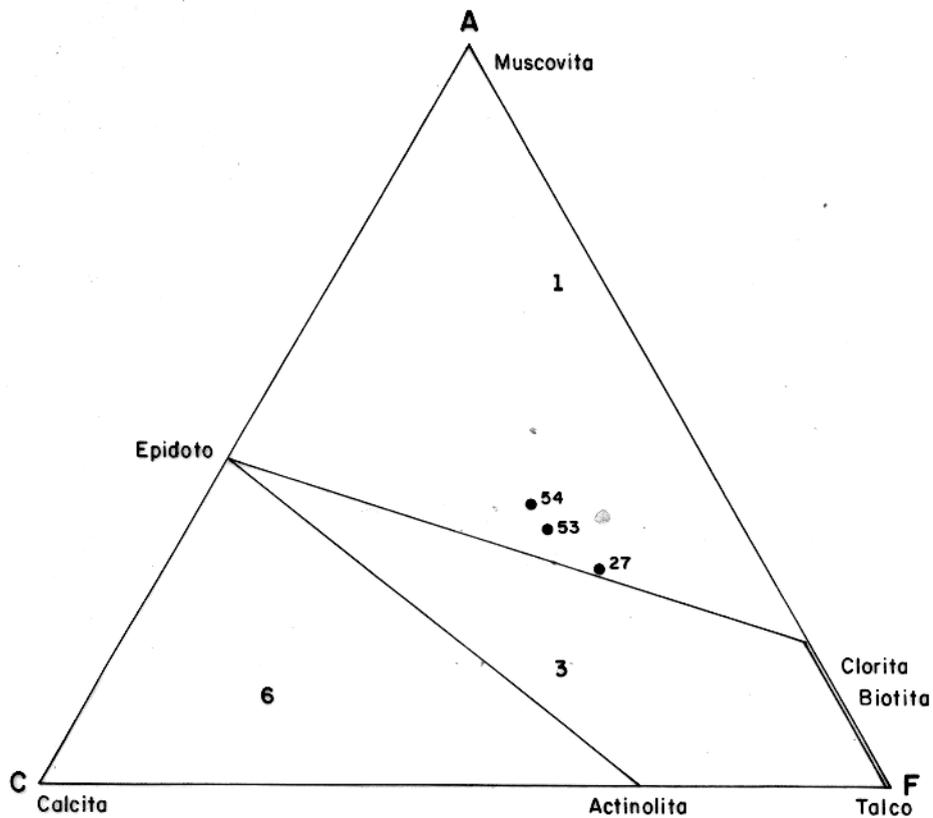


Fig. 12 Facies Albita - Epidoto - Hornfels - Diagrama ACF para rochas com excesso de SiO_2 e K_2O Segundo Turner (1968).

- 1 - CAMPO DE QUARTZO - MUSCOVITA - BIOTITA
- 3 - CAMPO DE ALBITA - EPIDOTO - ACTINOLITA - CLORITA - QUARTZO
- 6 - CAMPO DE CALCITA - EPIDOTO

das no campo quartzo-muscóvita-biotita. Esse desvio é decorrente da alteração superficial a que estiveram submetidas estas amostras, cuja composição química mostra os teores de Na_2O extremamente baixos. Como foi referido acima, as amostras (n^os 27, 53 e 54) apresentam-se bastante alteradas e não sendo possível definir a que fácies ficariam incluídas, se na fácies albita-epidoto-hornfels de metamorfismo de contato ou na fácies xisto verde de metamorfismo regional.

5. CONCLUSÕES

Evidências petrográficas e interpretações de dados geoquímicos, sugerem uma origem magmática para o maciço granítico da região central da Serra dos Carajás. Do ponto de vista petrográfico, a presença de fácies texturais distintas (granular e porfirítica), bem como a ocorrência de microtexturas características tais como: quartzo gráfico em feldspato potássico e quartzo vermicular nas bordas de plagioclásio, indicam que o corpo se consolidou provavelmente a partir de uma massa fundida. A natureza magmática intrusiva do batólito granítico é evidenciada pela presença de feições metamórficas nas rochas encaixantes nas proximidades dos contatos. Assim, nas rochas sedimentares, a intrusão do corpo granítico deu lugar a uma sequência crescente de recristalização da muscovita em direção do contato, enquanto que nas rochas básicas, deu origem à formação de uma fácies hornblenda-hornfels. Esta hipótese é coerente com a distribuição das razões normativas $Qz:Ab:Or$, da rocha granítica em estudo, no diagrama de Winkler. As amostras estudadas restringem-se, no diagrama, ao campo dos granitos-granodioritos, estando nitidamente agrupadas, ao redor do campo de massas fundidas por anatexia experimental. As razões normativas $Ab:An:Or$, reforçam essa hipótese, pois as amostras agrupam-se ao redor do campo de mais baixa fusão.

Durante sua consolidação, o magma granítico deu origem a fácies litológicas ligeiramente diferentes, resultando na formação de uma "porção central" mais abundante em minerais ferromagnesianos (biotita e anfibólio), proporcionada pela diferenciação do centro para a periferia. Do ponto de vista geoquímico, as amostras da "porção central" apresentam um caráter ligeiramente mais básico em relação aquelas das proximidades dos contatos e veios, como se pode deduzir da variação de Si, Fe, Mg, Ca, Na e K. Da experiência com elementos maiores, elementos traços, bem como as razões Ca/Sr e K/Rb , fica praticamente caracterizada a existência de uma diferenciação do centro para a periferia, no corpo granítico da região central da Serra dos Carajás. As tendências observadas na distribuição dos elementos maiores e traços são interpretadas como consequência da variação nas

proporções de feldspatos, biotita, anfibólio e apatita.

Pelas associações mineralógicas observadas, o corpo granítico pode ser incluído no grupo SUBSOLVUS na classificação de Tuttle e Bowen (1958) em Marmo (1971), e a sua formação é atribuída a anatexia. Aceitando-se essa hipótese para explicar a origem da rocha granítica da região central da Serra dos Carajás, supõe-se que os líquidos silicáticos resultantes da anatexia de rochas mais antigas devem ter sido mobilizados na direção da superfície, intruindo as unidades sedimentares e básicas da região.

6. BIBLIOGRAFIA

- AHRENS, L.H. & TAYLOR, S.R. - 1961 - Spectrochemical Analysis. 2 nd. Addison-Wesley, Massachusetts, USA, 454 p.
- AHRENS, L.H.; PINSON, W.H.; KEARNS, M.M. - 1952 - Association of rubidium and potassium and their abundance in common igneous rocks and meteorites. *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 2:229-242.
- ALBUQUERQUE, C.A.R.de - 1971 - Petrochemistry of a series of granitic rocks from northern Portugal. *Bull.Geol.Soc.Am.* 82:2783-2798.
- ARTH, J.G. & HANSON, G.N. - 1975 - Geochemistry and origin of the early Precambrian crust of northeastern Minnesota. *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 39:325-362.
- BARTH, T.F.W. - 1962 - Theoretical Petrology. John Wiley, New York. 416 p.
- BEISIEGEL, V. de R.; BERNARDELLI, A.L.; DRUMMOND, N.F.; RUFF, A. W.; TREMAINE, J.W. - 1973 - Geologia • Recursos Minerais da Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências.* 3:215-242.
- BUTLER, J.R.; BOWDEN, P.; SMITH, A.Z. - 1962 - K/Rb ratios in the evolution of the younger granites of Northern Nigeria. *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 26:89-100.
- CARMICHAEL, I.S.E.; TURNER, F.J.; VERHOOGEN, J. - 1974 - Igneous petrology. McGraw Hill Book, New York, 739 p.
- CARROZI, A.U. - 1972 - Microscopic sedimentary petrography Huntington. Robert E. Krieger, New York, 485 p.
- CLIFFORD, T.N. & ROOKE, J.M. - 1969 - Petrochemistry and age of the Franzfontein granitic rocks of Northern South-West Africa. *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 33:973-986.
- DANA, E.S. - 1932 - Textbook of mineralogy fourth edition. John Wiley, New York, 851 p.
- HATCH, F.H.; WELLS, A.K.; WELLS, M.K. - 1972 - Petrology of the igneous rocks. Thomas Murby, London, 540 p.
- HEIER, K.S. & BILLINGS, G.K. - 1970 - Rubidium, in Wedepohl K. Handbook of Geochemistry, Springer Verlag, New York, v.2-2.

- HIBBARD, M.J. - 1979 - Myrmekite as a marker between preaqueous and postaqueous phase saturation in granitic systems. Geol. Soc. of Am. Bull. Part. I. 90:1047-1062.
- HUANG, W.T. - 1962 - Petrology, McGraw Hill Book, New York, 480 p.
- JOHANNSEN, A. - 1969 - A descriptive petrology of the igneous rocks 2 nd, The University of Chicago Press, Chicago, Illinois, v. 1 e 2.
- KERR, P.F. - 1959 - Optical mineralogy. McGraw Hill Book, New York, 442 p.
- KOLBE, P. & TAYLOR, S.R. - 1966 - Major and trace element relationship in granodiorites and granites from Australia and South Africa. Contr. Mineral. and Petrol. 12:202-222.
- LEVINSON, A.A. - 1974 - Introduction to exploration geochemistry: the secondary environment. Applied Publishing, Maywood Illinois 614 p.
- MARMO, V. - 1971 - Granite petrology. Elsevier, Amsterdam, London, New York. 243 p.
- MASON, B.H. - 1971 - Princípios de geoquímica. Editora da Universidade de São Paulo (Tradução para o português, por Rui Ribeiro Franco), São Paulo. 381 p.
- MEHNERT, K.R. - 1971 - Migmatites and the origin of granitic rocks. Second impression, Elsevier, Amsterdam. 405 p.
- NOCKOLDS, S.R. & ALLEN, R. - 1953 - The geochemistry of some igneous rocks series. Geochim. et Cosmochim. Acta. 4:105-142
- OHLWEILER, O.A. - 1974 - Química analítica quantitativa. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro. v. 1 e 2.
- PETTIJOHN, F.J. - 1975 - Sedimentary Rocks. Third edition, Harper, New York. 628 p.
- PETIJOHN, F.J.; POTTER, P.E.; SIEVER, R. - 1973 - Sand and sandstone. Spring Verlag, New York. 618 p.
- SANTOS, M.D. - 1978 - Contribuição à petrologia do granito central da Serra dos Carajás. Relatório Individual de pesquisa NCGG/UFPa. Belém.
- SHAW, D.M. - 1968 - A review of K-Rb fractionation trends by covariance analysis. Geochim. et Cosmochim. Acta. 32:573-601.

- SILVA, G.G.; LIMA, M.I.C.; ANDRADE, A.R.F.; ISLLER, R.S.; GUIMARÃES, G. - 1974 - Projeto Radam, Folha SB-22 Araguaia e parte da folha SC-22 Tocantins: geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Departamento Nacional de Produção Mineral, Rio de Janeiro. v. 4.
- SMITH, J.V. - 1974 - Feldspar minerals. Springer Verlag, New York. v. 2.
- SPRY, A. - 1969 - Metamorphic textures. Pergamon Press. New York, 350 p.
- SUSZCZYNSKI, E. - 1972 - A origem vulcânica do minério de ferro primário da Serra dos Carajás, Estado do Pará, região Amazônica, Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Geologia, Sociedade Brasileira de Geologia, Belém, v. 1.
- TOLBERT, G.E.; TREMAINE, J.W.; MELCHER, G.C.; GOMES, C.B. - 1971 - The recently discovered Serra dos Carajás iron deposits, northern Brazil. *Economic Geology*, 66:985-994.
- TUREKIAN, K.K. & KULP, J.L. - 1956 - The geochemistry of strontium. *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 10:245-296.
- TUREKIAN, K.K. & WEDEPOHL, K.H. - 1961 - Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geol. Soc. Am. Bull.* 72:175-192.
- TURNER, F.J. & WERHOOGEN, J. - 1960 - Igneous and metamorphic petrology, international series in the earth sciences. 2nd. McGraw Hill Book, New York. 694 p.
- TURNER, F.J. - 1968 - Metamorphic petrology mineralogical and field aspect. McGraw Hill Book, New York, 403 p.
- WATTERS, R.B. - 1978 - Petrogenesis of the felsic rock units of the late: precambrian Sinclair Group, South West Africa *Geologische Rundschau Africa.* 87:743-773.
- WEINHERMER, P.H. & ACKERMANN, H. - 1967 - Geochemical investigation of differentiated granite plutons of Southern Black Forest II: the zoning of the malsburg granite pluton as indicated by the elements titanium, zirconium, phosphorus, strontium, barium, rubidium, potassium and sodium. *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 31:2197-2218.

- WILLIAMS, H.; TURNER, F.J.; GILBERT, C.M. - 1970 - Petrografia: uma introdução ao estudo de rochas em seções delgadas. (Tradução de R.R.Franco), Polígono, São Paulo. 445 p.
- WINCHELL, A.N. & WINCHELL, H. - 1951 - Elements of optical mineralogy; an introduction to microscopic petrography-Part II: descriptions of minerals. John Willey, New York, 561 p.
- WINKLER, H.G.F. - 1976 - Petrogenesis of metamorphic rocks. Fourth edition, Springer Verlag, New York. 334 p.
- WINKLER, H.G.F. - 1977 - Petrogênese das rochas metamórficas. (Tradução para o português por Carlos Burger Junior), Edgard Blucher, São Paulo. 254 p.

7. APÊNDICES

PROCEDIMENTO 1.

Determinação gravimétrica da sílica em granitos, arenitos e basaltos.

Foram submetidas à fusão 500 mg de amostras em cadinho de platina com seis (6) vezes o seu peso de uma mistura de carbonato de sódio e carbonato de potássio anidros, na proporção de 1:1. Após a fusão, o cadinho ainda rubro foi transferido para uma caçarola de porcelana contendo 100 ml de água destilada quente. O material fragmentado foi dissolvido com 10 ml de ácido clorídrico $\pm 2N$. A solução foi evaporada em banho de areia, o resíduo umedecido com 10 ml de ácido clorídrico concentrado e novamente evaporado. Ao resíduo foram adicionados 10 ml de ácido clorídrico concentrado e deixado em repouso por uns 10 a 20 minutos (para que todos os componentes sejam transformados em cloretos ou se complete melhor essa transformação, já iniciada). A solução concentrada foi diluída com 100 ml de água destilada, aquecida até ebulição, filtrada e lavada várias vezes com água quente contendo gotas de ácido clorídrico. Reservou-se o filtro. O filtrado foi evaporado e tratado com 2 ml de ácido clorídrico concentrado e evaporado novamente até plena secura (2 ou 3 horas, triturando-se com bastão de vidro, e revolvendo-se a massa). O resíduo foi umedecido com 5 ml de ácido clorídrico concentrado e deixado em repouso por uns 15 minutos; a seguir diluiu-se com aproximadamente 100 ml de água destilada quente. A solução foi filtrada e lavada várias vezes com água quente até o filtrado não mais conter cloretos (testou-se com solução de $AgNO_3$). O filtrado foi reservado.

Os filtros foram colocados em cadinho de platina e secos a $150^{\circ}C$ em estufa, posteriormente carbonizados e calcinados a $1000^{\circ}C$. Foi feita a 1a. passagem. A sílica foi tratada com 4 gotas de ácido sulfúrico 1:1 e 20 ml de ácido fluorídrico e evaporados em banho de areia. Adicionou-se mais 20 ml de ácido fluorídrico concentrado e novamente foram levados à evaporação até secura, em seguida calcinados a $1000^{\circ}C$. Foi feita a 2a. pesagem. A diferença entre as duas pesagens é o peso da sílica.

PROCEDIMENTO 2.

Determinação volumétrica do alumínio em granitos, arenitos e basaltos.

O filtrado reservado na determinação gravimétrica da sílica (vide proced. 1), foi evaporado até aproximadamente 100 ml e completado para o volume de 200 ml em balão volumétrico. Da solução foi retirada uma alíquota de 75 ml para determinação do alumínio. A solução aquecida até ebulição foi adicionado cloreto de amônio em quantidades de aproximadamente 1 gr e gotas de hidróxido de amônio até se verificar a precipitação dos hidróxidos ($\text{pH} \approx 7$). A seguir, a solução foi filtrada e reprecipitada. O filtrado que poderia conter cálcio e magnésio foi desprezado.

O resíduo foi dissolvido com ácido clorídrico concentrado e doseado com KOH 25% em temperatura elevada ($\text{pH} \approx 12$) para separar o alumínio como íon aluminato. A solução foi filtrada e o filtro que poderia conter hidróxido de ferro, hidróxido de titânio e hidróxido de cromo foi reservado.

O filtrado foi acidificado com ácido clorídrico concentrado a quente até dissolução completa do precipitado, usando-se uma gota de azul de bromofenol. Foi adicionado amônia 1:1 até coloração azul-violeta. Em seguida adicionou-se 10 ml de EDTA 0,05 M (fator=1) e mais 10 ml de solução tampão $\text{pH} = 4,5$. A solução foi mantida em ebulição por 10 minutos, esfriada rapidamente; posteriormente, foram adicionados 10 ml de água destilada juntamente com 40 ml de etanol absoluto e 40 gotas de ditizona. Foi titulado o excesso de EDTA com solução de sulfato de zinco 0,05M (fator=1,015) até mudança de coloração.

PROCEDIMENTO 3.

Determinação volumétrica do ferro (total) em granitos, arenitos e basaltos.

O resíduo dos hidróxidos contido no filtro resultante da separação do alumínio (vide proced. 2) foi dissolvido com ácido clorídrico concentrado e levado à ebulição adicionando-se

gotas de cloreto estanoso para reduzir o Fe^{+++} . A redução é terminada quando a solução estiver incolor. Depois de fria, a solução foi adicionada água destilada até um volume de aproximadamente 300 ml e 10 ml de cloreto mercúrio. A seguir, foram adicionados 10 ml de solução de Zimmermann Reinhard e titulado com solução de permanganato de potássio 0,1 N.

PROCEDIMENTO 4.

Determinação volumétrica do Fe^{++} em granitos, arenitos e basaltos.

Foi pesado 0,5 gr de amostra em cadinho de platina e adicionou-se água destilada gota a gota para umedecer a amostra. O cadinho tampado foi colocado em banho de ar, adicionando-se, em seguida 5 ml de água destilada fervida e fria, mais 5 ml de ácido sulfúrico concentrado e mais 5 ml de ácido fluorídrico. O cadinho com a mistura foi aquecido por 10 minutos aproximadamente.

Em um bequer foram colocados 300 ml de água destilada e fria juntamente com 10 ml de ácido sulfúrico 1:1 e 10 ml de solução saturada de ácido bórico. O cadinho foi colocado no bequer contendo a mistura e titulado imediatamente com permanganato 0,01 N.

PROCEDIMENTO 5

Determinação colorimétrica do manganês em granitos, arenitos e basaltos.

Foi pesado 1 gr de amostra em cadinho de platina, adicionando-se em seguida 20 ml de H_2SO_4/HF 1:10, sendo a solução evaporada em banho de areia. Ao resíduo foram adicionados 20 ml de HF concentrado, evaporado até secura e doseado com 10 ml de $H_2SO_4 \pm 2N$. Foi feita a transferência para um bequer e diluído até 70 ml aproximadamente com água destilada. Ao material foram adicionados 5 ml de H_3PO_4 85% e aquecido até ebulição. Antes de atingir a ebulição foi acrescentado KIO_4 (50 mg aproximada -

mentel), permanecendo a solução em ebulição por 5 minutos. Depois de fria, a solução foi transferida para um balão de 100 ml (algumas amostras foram filtradas) e completado o volume com água destilada.

A absorbância da solução foi medida no espectrofotocolorímetro, usando-se um comprimento de onda de 525 nm.

Os padrões usados tiveram uma variação de 0 a 10 ppm.

PROCEDIMENTO 6.

Determinação colorimétrica do Titânio sobre a forma do complexo peróxido de hidrogênio.

Foi pesado 0,5 gramas da amostra em cadinho de teflon e em seguida adicionado 20 ml de HClO_4/HF 1:10 e evaporados em banho de areia até quase secura. Foi repetida a mesma dosagem até o completo ataque do material. O resíduo foi dissolvido em HCl a quente. O material foi transferido para um balão volumétrico de 50 ml e completado o volume com água destilada. Dessa solução foi retirado uma alíquota de 10 ml e transferido para um balão de 100 ml, a seguir foram adicionados 30 ml de H_2SO_4 4N + 5 ml de H_3PO_4 85% + 10 ml de H_2O_2 a 3%. A solução com os reagentes foi agitada e o volume foi completado com água destilada.

Preparo dos padrões.

A partir de uma solução de 100 ppm de Ti, foram preparados os padrões numa faixa de 0-5 ppm e adicionados os mesmos reagentes nas mesmas proporções usados na solução da amostra. A seguir foram feitas as leituras no comprimento de onda de 410 nm.

PROCEDIMENTO 7.

Determinação colorimétrica do fósforo em granitos, arenitos e basalto.

Foi pesado 0,1 gr de amostra em cadinho de teflon, adicionado 20 ml de HClO_4/HF 1:10 e evaporado até secar em banho de areia. A seguir, foram adicionados mais 20 ml de HF concentrado e novamente evaporado. O resíduo foi dissolvido com HCl concentrado e transferido para um balão volumétrico de 100 ml. Da solução foi retirado uma alíquota de 20 ml e transferida para um balão volumétrico de 50 ml. A última solução foram adicionados 10 ml de molibdovanadato de amônio, completando-se o volume com água destilada.

Os padrões usados tiveram uma variação de 0-10 ppm e em cada padrão foram adicionados 10 ml de molibdovanadato de amônio. As leituras foram feitas no espectrofotocolorímetro JENA, usando um comprimento de onda de 430 nm.

PROCEDIMENTO 8.

Determinação espectrofotométrica por absorção atômica para os elementos Al, Fe (total) e Mn em granitos, arenitos e basaltos.

Foi pesado 0,1 gr da amostra em cadinho apropriado para autoclave, em seguida adicionado 5 ml de HF +5 ml de H_3BO_3 (solução saturada) + 3 ml de HNO_3 + 2 ml de HCl . O cadinho foi colocado na autoclave, fechado hermeticamente e levado até uma temperatura de aproximadamente 150°C no espaço de 1:00 hora. A autoclave foi aberta depois de alcançar a temperatura ambiente, em seguida o material foi transferido para uma proveta de polietileno e completado a um volume de 50 ml com água destilada.

Foram preparados padrões adequados para cada elemento e feito as leituras no espectrofotômetro de absorção atômica.

Condições do Aparelho

Elemento	Gases	Comprimento de onda
Alumínio	Acetileno e óxido nitroso	3089A ^o
Ferro	Acetileno e ar	3420A ^o
Manganês	Acetileno e ar	2796A ^o

PROCEDIMENTO 9.

Determinação espectrofotométrica por absorção atômica para os elementos Ca, Na, K em granitos, arenitos e basaltos.

Foi pesado 0,1 gr da amostra em cadinho de teflon e a seguir adicionado 20 ml de HClO_4/HF 1:10. A solução foi evaporada em banho de areia; em seguida, foram adicionados mais 20 ml de HF e novamente evaporado até securo. O resíduo foi dissolvido em HCl e posteriormente transferido para um balão volumétrico de 100 ml e aferido com água destilada. Do balão de 100 ml contendo a solução original foram retiradas alíquotas para leituras de cada elemento.

Foram preparados os padrões adequados para cada elemento e feito as leituras no espectrofotômetro de absorção atômica.

Condições do Aparelho

Elementos	Gases	Comprimento de onda
Cálcio	Acetileno e O. nitroso	4224A ^o
Sódio	Acetileno e ar	5890A ^o
Potássio	Hidrogênio e ar	7662A ^o

PROCEDIMENTO 10.

Determinação espectrofotométrica por absorção atômica do magnésio em granitos, arenitos e basaltos.

Foi pesado 0.1 gr da amostra em cadinho de teflon, em seguida adicionados 20 ml de $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{HF}$ 1:10 e evaporados em banho de areia. A seguir foram adicionados 20 ml de HF e novamente evaporado até securo. O resíduo foi dissolvido com HCl e transferido para um balão volumétrico de 100 ml e aferido com água destilada. Dessa solução foram retiradas alíquotas de 10 ml e transferidos para um balão volumétrico de 100 ml, adicionando-se 2 ml de solução de La_2O_3 5% e completando-se o volume com água destilada.

Os padrões foram preparados adicionando-os 2 ml de

La_2O_3 a 5%. A leitura foi feita no espectrofotômetro de absorção atômica.

Condições do Aparelho

Elemento	Gases	Comprimento de onda
Magnésio	Acetileno e ar	2850A ⁰

PROCEDIMENTO 11.

Determinação do Rb, Ba e Sr, por Fluorescência de Raio X.

Foi pesado 1,8 gr da amostra e misturado com 0,2 gr de ácido bórico. Essa mistura foi homogenizado por 15 minutos em grau de ágata. A seguir foi preparada a pastilha e levada para o aparelho.

Primeiramente foi feito uma varredura na amostra, dentro da faixa espectral dos elementos a serem analisados, para a verificação das condições dos mesmos. A varredura abrangeu uma faixa de 0,5Å à 1,0 Å. A seguir foi feito a escolha dos picos dos elementos com seus respectivos background. As amostras foram lidas juntamente com vários padrões internacionais.

Condições do aparelho

1. contador de cintilação
2. voltagem do contador 1,025 V
3. limite inferior 2,0 (Rb e Sr) e 3,5 (Ba)
4. janela 7.0 (Rb e Sr) e 3 (Ba)
5. potência do tubo 50 mA e 50 kV (Rb, Sr e Ba)
6. cristal analisador 2 (fluoreto de lítio) (Rb, Sr e Ba)
7. colimador fino (Rb, Sr e Ba)
8. tempo de medida 20 segundos (Rb e Sr) e 40 segundos (Ba)
9. contador de fluxo (Ba)
10. Vácuo 0,2 mm Hg (Ba)
11. tubo de cromo.

8. A N E X O