

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA  
SECRETARIA DE MINAS E METALURGIA  
DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL

*Convênio DNPM - CPRM*



PROGRAMA ESTUDOS DE DISTRITOS MINEIROS

# PROJETO RIO DAS VELHAS

MAPA GEOLÓGICO INTEGRADO

ESCALA 1:100.000

TEXTO EXPLICATIVO



 **CPRM**  
Serviço Geológico do Brasil

**BELO HORIZONTE**  
1996

## CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

*Carlos Oiti Berbert*  
Diretor - Presidente

*Antônio Juarez Milmann Martins*  
Diretor de Geologia e Recursos Minerais

*Idelmar da Cunha Barbosa*  
Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

*Gil Pereira de Azevedo*  
Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento

*Augusto Wagner Padilha Martins*  
Diretor de Administração e Finanças

*Sabino Orlando C. Loguércio*  
Chefe do Departamento de Geologia

*Inácio de Medeiros Delgado*  
Chefe da Divisão de Geologia Básica

### SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL EM BELO HORIZONTE

*Oswaldo Castanheira*  
Superintendente

*Claiton Piva Pinto*  
Gerente de Geologia e Recursos Minerais

*Nelson Baptista de Oliveira Resende Costa*  
Gerente de Relações Institucionais e Desenvolvimento

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

*Raimundo Brito - Ministro de Estado*

**SECRETARIA DE MINAS E METALURGIA**

*Giovanni Toniatti - Secretário*

**DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL -DNPM**

*Miguel Navarrete Fernandez Júnior - Diretor Geral*

*Otto Bittencourt Netto - Diretor Geral Adjunto*

**DIRETORIA DE EXPLORAÇÃO MINERAL**

*Benedicto Walter Ramos*

**Divisão de Geologia e Pesquisa Mineral**

*Carlos Schobbenhaus Filho*

**Divisão de Recursos Minerais e Hídricos Subterrâneos**

*Emanuel Teixeira de Queiroz*

**Serviço de Geologia e Depósitos Minerais**

*Carlos Eduardo Silva Coelho*

**Serviço de Cartografia e Sensoriamento Remoto**

*Gilberto Ruy Derze*

**Serviço de Águas Subterrâneas**

*Adelino Gregório Alves*

**Serviço de Patrimônio Mineral**

*Cláudio Hecht*

**3º DISTRITO DO DNPM - MINAS GERAIS**

*Celso Luiz Garcia*

## CRÉDITOS

### EXECUTORES

#### COORDENAÇÃO REGIONAL (CPRM - SUREG/BH)

Claiton Piva Pinto Geólogo, MSc

### SUPERVISÃO

João Batista Carvalhaes Geólogo  
Orivaldo Ferreira Baltazar Geólogo

#### GEOLOGIA - (ver sinopses) - Quadrículas 1:25.000

Atlas Vasconcelos Corrêa Neto Geólogo, MSc  
Cid Queiroz Fontes Geólogo  
Frederico Ozanan Raposo Geólogo, MSc  
Jodauro Nery da Silva Geólogo  
José Heleno Ribeiro Geólogo  
Manoel Pedro Tuller Geólogo  
Nicola Signorelli Geólogo  
Wilson Luis Féboli Geólogo  
Roberto Felício Malouf Geólogo  
Sérgio Lima da Silva Geólogo

#### PETROGRAFIA -

Márcia Zucchetti Geóloga

#### GEOLOGIA ESTRUTURAL -

Atlas Vasconcelos Corrêa Neto Geólogo, MSc  
Hermínio Arias Nalini Junior Geólogo, MSc  
Orivaldo Ferreira Baltazar Geólogo

#### GEOFÍSICA

Antonino Juarez Borges Eng. de Minas  
Marcelo de Araújo Vieira Eng. de Minas  
Frederico André Favre Físico  
Michael Gustav Peter Drews Assistente Especializado  
Júlio Freitas Fernandes Vasques Técnico  
Maurício Vieira Rios Técnico

## COLABORADORES

Ana Maria Dreher	- Geóloga	- Petrografia
Augusto José Pedreira	- Geólogo PhD	- Sedimentologia
Denise K. Chiodi	- Geóloga	- Planejamento cartográfico
Frederico Ozanam Raposo	- Geólogo MSc	- Petrografia
Jéssica B. Carvalho Tallarico	- Geóloga MSc	- Petrografia
Luiz Carlos da Silva	- Geólogo MSc	- Petrologia

## APOIO TÉCNICO PARA EDIÇÃO

Alba Martinho Coelho	- assistente executivo
Elizabeth Almeida Cadete Costa	- técnico cartográfico
João de Matos Leão	- técnico cartográfico
Maria Alice Rolla Becho	- digitação/editoração
Osvaldo Gomes Pedrosa	- técnico cartográfico
Rosemary Correa	- desenhista
Sônia do Carmo Diniz Soares	- digitação
Terezinha Inácia C. Pereira	- técnico cartográfico
Márcio Vieira da Silveira	- técnico cartográfico

## APOIO TÉCNICO DE CAMPO

Airton Policarpo	prospector
Giovani Carlos Paranhos	técnico de mineração
Ivan Leone Rodrigues Reis	técnico de mineração
José Geraldo de Souza Barbosa	técnico de mineração
Lindouro Araujo Duarte	técnico de mineração
Orlando Gomes Oliveira	laminador

## CONSULTORIA

Eduardo A. Ladeira	Geólogo
José Caruso Moresco Danni	Geólogo

## COORDENAÇÃO REGIONAL (3º DISTRITO - DNPM)

Jaime Paulino	(DNPM-Programa RAHAE/CNPq)
---------------	----------------------------

## APOIO NA CONFECÇÃO DE LÂMINAS

Superintendência Regional de Porto Alegre - SUREG/PA
Superintendência Regional de Salvador - SUREG/SA
Superintendência Regional de Goiânia - SUREG/GO

## APRESENTAÇÃO

O Mapa Geológico Integrado do Projeto Rio das Velhas, escala 1:100.000, aqui apresentado, sintetiza as informações resultantes das etapas I e II do mapeamento geológico de 26 folhas, integrais ou parciais, na escala de 1:25.000, realizadas através do convênio DNPM-CPRM, duas das quais tendo participação ativa do Programa RHAÉ-DNPM. Este mapeamento atende uma das premissas estabelecidas no Protocolo de Adesão ao Projeto Rio das Velhas, firmado entre o DNPM e oito empresas de mineração de capital privado e estatal.

Em 1991/1992, o Departamento Nacional de Produção Mineral-DNPM idealizou o Projeto Rio das Velhas, dentro de seu Programa Estudos de Distritos Mineiros tem como premissa a integração de informações e a realização de estudos de detalhe de última geração, capazes de definir os controles das mineralizações dos mais importantes ambientes metalogenéticos do País, e assim contribuir para a descoberta de novos depósitos minerais.

O Projeto Rio das Velhas, marco inicial do Programa referido, contemplou duas atividades: (1) o levantamento aerogeofísico de detalhe cobrindo 1.700 km<sup>2</sup> com auxílio de sensores magnetométricos, gamaespectrométricos e eletromagnéticos de última geração e (2) o mapeamento geológico, em escala 1:25.000, de 1.800 km<sup>2</sup> recobrando a maior parte do *greenstone belt* Rio das Velhas, no Quadrilátero Ferrífero.

Aderiram ao projeto e financiaram o levantamento aerogeofísico as empresas Companhia Vale do Rio Doce - CVRD, Rio Tinto Desenvolvimento de Minerais Ltda. - RTDM, Mineração Morro Velho - MMV, Companhia Mineradora de Minas Gerais - COMIG, UNAMGEM Mineração e Metalurgia S.A., WMC Mineração S.A., Minerações Brasileiras Reunidas S.A. - MBR e a Sociedade Anônima Mineração da Trindade - SAMITRI. O mapeamento geológico foi realizado pela CPRM em convênio com o DNPM. Pela primeira vez no Brasil foi realizada ação conjunta Empresa Privada/Governo/Empresa Estatal, no estudo geológico-geofísico de um distrito mineiro. Também, pela primeira vez os dados obtidos por levantamento aerogeofísico de detalhe se tornaram públicos, de forma ostensiva, sem restrições.

A importância econômica do *greenstone belt* Rio das Velhas, evidenciada pelas diversas minas de ouro existentes na região, justificou plenamente esse projeto e seu resultado é claramente demonstrado: mais de 900 novos alvos primários, sem relação com a presença de magnetita ou a influência de ações antrópicas, foram detectados.

Como resultado indireto, o grande mérito desse projeto foi demonstrar que a aerogeofísica de alta resolução é de grande utilidade na individualização de áreas/zonas potencialmente mineralizadas, como também de unidades litológicas em mapeamento geológico de semidetalhe e detalhe, em áreas tropicais de espesso manto de intemperismo. A metodologia desenvolvida pelo Projeto Rio das Velhas está sendo aplicada com êxito na região amazônica e em outras regiões do País.

Assim sendo, temos plena convicção de que os produtos agora colocados à disposição serão amplamente utilizados pela comunidade minerária e acadêmica, como ferramenta para estudos de pesquisa em exploração mineral, da mesma forma como estão sendo utilizados os mapas aerogeofísicos e geológicos já disponíveis do Projeto Rio das Velhas.

Miguel Navarrette Fernandez Júnior

Diretor-Geral do DNPM

## APRESENTAÇÃO

A conclusão do Mapa Geológico Integrado do Projeto Rio das Velhas, em 1:100.000, que ora é entregue oficialmente a público, constitui-se em objeto da maior satisfação para a CPRM e para mim pessoalmente.

Primeiro, porque representa um trabalho de altíssima importância para Minas Gerais e para o Brasil, na medida em que vem a quebrar um dos velhos dogmas nacionais: "o que está mapeado, sobretudo pelos experientes profissionais estrangeiros, ainda que em décadas passadas, já está suficientemente conhecido. O Projeto Rio das Velhas demonstra que isso não é verdade e deve significar atenção para outras regiões do país em situações similares.

Em segundo lugar, porque vem demonstrar que, quando se quer realmente, é possível a união, a integração entre os setores governamental "(CPRM - DNPM - COMIG - CVRD) e privado, em prol, no fundo e principalmente, dos segundos. E é de união que o Brasil mais precisa.

Em terceiro lugar, pela ética utilizada na execução das atividades através da transparência e respeito às regras pré-estabelecidas entre as partes envolvidas.

Os resultados estão aí: novas áreas para investigação detalhada, as quais certamente trarão boas surpresas, mormente hoje em que a tecnologia de prospecção e pesquisa estão muito mais avançadas que há cinquenta anos atrás.

Além dos resultados físicos em termos de possíveis novas jazidas e minas, fica o exemplo maior trazido pelo diálogo, pela transparência e pela união, forças maiores para a consecução de objetivos.

Como Serviço Geológico do Brasil, a CPRM sente-se honrada em ter participado, ao lado do Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, o nosso Bureau de Minas, desse esforço conjunto.

CARLOS OITÍ BERBERT

Diretor-Presidente da CPRM

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	1
METODOLOGIA .....	1
SÚMULA GEOLÓGICA.....	3
AGRADECIMENTOS .....	9
DADOS FÍSICOS DE PRODUÇÃO .....	10
LEVANTAMENTO AEROGEOFÍSICO .....	11
CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	11
FINALIDADES ESPECÍFICAS DE CADA MÉTODO .....	11
INSTRUMENTAÇÃO.....	11
ESPECIFICAÇÕES DE VÔO.....	12
PRODUTOS FINAIS .....	12
RESULTADOS GERAIS DO AEROLEVANTAMENTO.....	12
ESTRATIGRAFIA.....	13
GRUPO NOVA LIMA .....	15
GRUPO MAQUINÉ .....	36
ASSOCIAÇÕES LITOFACIOLÓGICAS .....	43
INTRODUÇÃO .....	43
ASSOCIAÇÃO METAVULCÂNICA MÁFICA-ULTRAMÁFICA .....	43
ASSOCIAÇÃO METAVULCANOSSEDIMENTAR QUÍMICA - PELÍTICA.....	45
ASSOCIAÇÃO DE LITOFÁCIES METAVULCANOCLÁSTICA.....	45
ASSOCIAÇÃO DE LITOFÁCIES RESEDIMENTADAS .....	46
ASSOCIAÇÃO DE LITOFÁCIES LITORÂNEA .....	47
ASSOCIAÇÃO DE LITOFÁCIES NÃO-MARINHA .....	47
GEOLOGIA ESTRUTURAL.....	49
INTRODUÇÃO .....	49
EVENTO D1 .....	49
EVENTO D2.....	51
EVENTO D3.....	52
PETROLOGIA E LITOGEOQUÍMICA .....	55
INTRODUÇÃO .....	55
O VULCANISMO MÁFICO-ULTRAMÁFICO .....	56
METASSEDIMENTOS CLÁSTICOS (GRAUVACAS, ARENITOS E PELITOS) ....	86
CONCLUSÕES .....	103



DEPÓSITOS MINERAIS .....	105
INTRODUÇÃO .....	105
DEPÓSITOS AURÍFEROS .....	105
SERPENTINITOS .....	107
FERRO-MANGANÊS .....	108
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	111
BIBLIOGRAFIA .....	115

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Índice esquemático e autores do Mapeamento geológico.....	4
Figura 2: Compartimentação tectônica do Greenstone Belt Rio das Velhas.....	6
Figura 3: Mapa geológico simplificado do Supergrupo Rio das Velhas .....	7
Figura 4 - Associações de Itofácies do Supergrupo Rio das Velhas.....	44
Figura 5 - As cinco divisões da Sequência de BOUMA .....	46
Figura 6 - Mapa estrutural simplificado do Quadrilátero Ferrífero .....	50
Figura 7 - Modelo conceitual esquemático da evolução estrutural proposta.....	53
Figura 8: Diagrama catiônico (Jensen 1976) para os komatiitos... ..	56
Figura 9: Distribuição dos ETR normalizados ao condrito.....	56
Figura 10: Komatiitos basálticos (círculos) normalizados... ..	58
Figura 11: Komatiitos basálticos (círculos) normalizados ao MORB.....	58
Figura 12: Distribuição dos ETR normalizados ao condrito (Sun 1980).....	59
Figura 13: Diagrama TAS de classificação e nomenclatura.....	67
Figura 14: Diagrama AFM mostrando a natureza toleítica.....	67
Figura 15: Diagrama catiônico (Jensen, 1976) para os metabasaltos... ..	67
Figura 16: Diagrama Zr-Ti/100-Y.3 de Pearce & Cann (1973).....	67
Figura 17: Diagrama Zr-Ti/100-Sr/2 de Pearce & Cann (1973).....	67
Figura 18: Diagrama Zr-Nb-Y de Meschede(1986).....	67
Figura 19: Distribuição dos elementos compatíveis e incompatíveis... ..	68
Figura 20: Distribuição dos metabasaltos toleíticos normalizados... ..	68
Figura 21: Distribuição dos ETR normalizados ao condrito (Sun, 1980).....	69
Figura 22: Distribuição dos ETR normalizados ao Condrito (Sun, 1980).....	69
Figura 23: Distribuição do ETR... ..	75
Figura 24: Rochas a antofilita.....	75
Figura 25 - Distribuição dos ETR... ..	77
Figura 26 - Assinatura de ETR.....	77
Figura 27 - Assinatura de ETR de turmalinito... ..	79
Figura 28 - Assinatura de ETR.....	79
Figura 29: Diagrama "TAS" (Le Maitre 1989) para as metavulcanoclásticas... ..	85
Figura 30: Diagrama SiO <sub>2</sub> x Zr/TiO <sub>2</sub> de Winchester & Floyd (1977) aplicado... ..	85
Figura 31: Distribuição dos ETR normalizados ao condrito.....	85
Figura 32: Spiderdiagrams de rochas metavulcanoclásticas... ..	85
Figura 33: Diagrama K <sub>2</sub> O x Na <sub>2</sub> O de Taylor & Mclennan (1985).....	95

Figura 34: Distribuição de ETR normalizados ao condrito...	96
Figura 35: Distribuição dos ETR normalizados ao condrito.....	96
Figura 36: Diagrama $K_2O$ x $Na_2O$ de Taylor & McLennan (1985)...	99
Figura 37: Distribuição dos ETR normalizados ao condrito.....	99
Figura 38: Distribuição dos ETR normalizados ao condrito.....	99
Figura 39: Diagrama $K_2O$ x $Na_2O$ de Taylor & McLennan (1985)...	102
Figura 40: Distribuição dos ETR normalizados ao condrito.....	102
Figura 41: Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero.....	106

## ÍNDICE DE PRANCHAS

Prancha 1 .....	20
Prancha 2 .....	24
Prancha 3 .....	28
Prancha 4 .....	30
Prancha 5 .....	34
Prancha 6 .....	38
Prancha 7 .....	40
Prancha 8 .....	60
Prancha 9 .....	70
Prancha 10 .....	82
Prancha 11 .....	88
Prancha 12 .....	90

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Proposta de divisão litoestratigráfica.....	5
Quadro 2–Súmula dos dados físicos de produção - Projeto Rio das Velhas .....	10
Quadro 3 - Divisões estratigráficas propostas para o Grupo Nova Lima .....	16
Quadro 4 - Coluna estratigráfica idealizada para o <i>Greenstone Belt</i> .....	17
Quadro 5 - comparação entre as associações de litofácies.....	18
Quadro 6 - Principais modos de ocorrência e associações.....	78
Quadro 7 Parâmetros químicos distintivos entre as grauvacas... ..	100
Quadro 8 - Minas de ouro do Quadrilátero Ferrífero no Grupo Nova Lima... ..	108
Quadro 9 - Principais minas de ouro do <i>Greenstone Belt</i> Rio das Velhas.....	109

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Análise química de elementos maiores (%) e elementos.....	57
Tabela 2 - Análise química de elementos maiores (%) e elementos.....	64
Tabela 3 - Análise química de elementos maiores (%) e elementos.....	72
Tabela 4 - Análise química de elementos maiores (%) e elementos.....	73
Tabela 5 - Análise química de elementos maiores (%) e elementos.....	74
Tabela 6. - Análise química de elementos maiores (%) e elementos.....	84
Tabela 7 - Análise química de elementos maiores (%) e elementos.....	93
Tabela 8 - Análise química de elementos maiores (%) e elementos.....	94
Tabela 9 - Análise química de elementos maiores (%) e elementos.....	97
Tabela 10 - Análise química de elementos maiores (%) e elementos.....	98
Tabela 11 - Análise química de elementos maiores (%) e elementos.....	101

# INTRODUÇÃO

Por Claiton Piva Pinto

O Projeto Rio das Velhas faz parte do Programa de Distritos Mineiros, do DNPM, e de Províncias Mineraias, da CPRM

Este texto, acompanhado de um mapa geológico na escala 1:100.000, sumariza os trabalhos de cartografia geológica na escala 1:25.000 executados no *Greenstone Belt* Rio das Velhas - GBRV pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM, para o Departamento Nacional de Produção Mineral-DNPM. O trabalho foi realizado entre setembro de 1992 e dezembro de 1995. Foi cartografada uma área de aproximadamente 1.800 km<sup>2</sup>, no Quadrilátero Ferrífero, distribuída em 26 quadriculas com 7'30" de lado, todas disponíveis para consulta e cópia. As quadriculas Nova Lima e Santa Luzia foram cartografadas pelo geólogo José Lincoln Gambier Costa com supervisão de Eduardo Antônio Ladeira. As demais quadriculas foram cartografadas por geólogos da CPRM - Superintendência Regional de Belo Horizonte, conforme créditos de autoria indicados nos mapas. A coordenação do Projeto, por parte da CPRM, foi de Claiton Piva Pinto, com supervisão técnica do geólogo Orivaldo Ferreira Baltazar. Por parte do DNPM, 3º Distrito, a coordenação foi do geólogo Jaime Paulino e no DNPM-SEDE esteve sob o comando Orildo João Marini de Benedicto Waldir Ramos, Emanuel Teixeira de Queiroz e Carlos Schobbenhaus Filho.

São muitos os trabalhos que tratam de aspectos geológicos do *Greenstone Belt* Rio das Velhas e dos terrenos graníticos associados. Destacam-se Dorr II (1969),

Loczy & Ladeira (1976), Schorscher (1978), Ladeira (1980, 1991), Oliveira et al. (1983), Padilha (1984), Vieira & Oliveira (1988), Vieira (1991), Machado et al. (1989), Teixeira et al. (1994), Noce et al. (1994), Renger et al. (1994).

Em 1991, o DNPM e um grupo de empresas mineradoras constituíram um consórcio para a realização de aerolevanteamento geofísico regional sobre o *Greenstone Belt* Rio das Velhas no Quadrilátero Ferrífero (Marini 1993), como ferramenta auxiliar para futuros trabalhos de cartografia geológica de detalhe. Apesar da importância econômica deste *greenstone belt*, ressaltada pelos diversos depósitos e minas de ouro, ainda não se dispunha de mapas geológicos em escala adequada aos trabalhos de prospecção e pesquisa mineral. O trabalho ora apresentado vem suprir esta lacuna.

## METODOLOGIA

Aproximadamente 90% da área de exposição do *Greenstone Belt* Rio das Velhas foi coberta pelo aerolevanteamento geofísico, que incluiu métodos magnéticos, elétricos e radiométricos.

Como suporte ao planejamento dos trabalhos de campo, realizou-se exaustiva consulta bibliográfica, em especial a relatórios de pesquisa e de lavra arquivados no DNPM.

Por uma questão meramente operacional, os trabalhos de campo foram divididos em duas

etapas, denominadas de Fase I e Fase II. Esta última foi acrescida de uma Fase IIa, correspondente à parcela do terreno ocupada pelo *Greenstone* não coberta pelo levantamento geofísico.

A fase I, iniciada em setembro de 1992 e concluída em meados de 1994, compreendeu a cartografia geológica de porções de nove quadrículas de 7'30" de lado, na escala 1:25.000, denominadas Serra da Piedade, Belo Horizonte, Caeté, Gongo Soco, São Sebastião das Águas Claras, Rio Acima, Gandarela, Nova Lima e Santa Luzia. As duas últimas foram cartografadas pelo DNPM através do geólogo José Lincoln Gambier Costa, com a participação do Dr. Eduardo Antônio Ladeira.

A Fase II, com seu apêndice IIa, se iniciou imediatamente após a conclusão da fase. Os trabalhos de campo foram concluídos em setembro de 1995. O mapeamento envolveu, em parte ou no todo, as quadrículas São Gonçalo do Rio Abaixo, Santa Bárbara, Florália, Conceição do Rio Acima, Catas Altas, Itabirito, Rio de Pedras, Capanema, Santa Rita Durão, Barra do Gentio, Bação, Cachoeira do Campo, São Bartolomeu, Antônio Pereira, São Julião, Dom Bosco e Mariana.

Adotou-se como metodologia de trabalho:

- Levantamento e aquisição de documentação básica: fotografias aéreas CEMIG 1:30.000, ortofotos CEMIG 1:10.000, mapas aerogeofísicos DNPM/GEOMAG (mag., elétricos, radiométricos) 1:25.000 e 1:100.000, cartas topográficas 1:25.000 (IGA, PLAMBEL, USGS/DNPM) e 1:50.000 (IBGE). As cartas topográficas, muitas vezes não articularam perfeitamente e tiveram que ser ajustadas para receberem as informações geológicas; algumas foram parcialmente atualizadas, quanto a vias de acesso e manchas urbanas, a partir das ortofotos 1:10.000.
- Compilação e análise dos levantamentos geológicos: as informações geológicas obtidas dos processos DNPM e de publicações técnicas foram lançadas nas cartas 1:25.000, compatibilizadas onde possível, servindo de base para a fotointerpretação e trabalhos de campo.
- Reconhecimento geológico: de posse do mapa geológico de compilação, planejou-se e executou-se seções de reconhecimento. Participaram todos os membros da equipe e técnicos convidados das empresas integrantes do consórcio e do DNPM. Esta atividade permitiu um primeiro contato com os litótipos regionais e uma avaliação dos trabalhos de compilação, integração e fotointerpretação.
- Fotointerpretação: foi uma atividade permanente, executada sobre aerofotos CEMIG 1:30.000 do final da década de 80. Serviu para auxiliar na integração de dados, ajustar contatos geológicos e ressaltar feições estruturais.
- Mapeamento geológico: seguiu o método clássico de descrição de afloramentos, com ênfase para os aspectos litológicos, estruturais (estruturas primárias e tectono-metamórficas), magmáticos, sedimentológicos e estratigráficos. Os afloramentos (estações) foram registrados em ortofotos 1:10.000 e aerofotos 1:30.000 e transferidos posteriormente, para as cartas 1:25.000, constituindo os mapas de estações de campo. As informações geológicas reunidas permitiram a elaboração das cartas geológicas na escala 1:25.000.
- Análises petrográficas: amostras selecionadas de rochas frescas foram estudadas ao microscópio, com ênfase na identificação de protólitos e aspectos metamórfico-deformacionais.
- Análises químicas: amostras de rochas representativas das diversas unidades e ambientes geológicos, foram selecionadas para estudos químicos de elementos maiores, elementos menores (traço) e óxidos de terras raras. As análises foram feitas no GEOLAB pelos métodos convencionais de rotina.
- Mapas geológicos e relatórios técnicos: a reunião de todas estas informações permitiu a elaboração das cartas geológicas



na escala 1:25.000, acompanhadas de sinopses geológicas, voltadas principalmente para aspectos descritivos.

A reunião e integração destas cartas geológicas permitiu a preparação de uma carta geológica na escala 1:100.000, digital, que acompanha este relatório.

Base de dados - para cada afloramento descrito foi preenchida uma ficha Base AFLO, para cada lâmina delgada uma ficha Base PETR e para cada ocorrência mineral uma ficha Base META que estão sendo incorporadas ao Banco de Dados da CPRM e em um futuro breve poderão ser acessadas através do SIGA. Amostras de mão e lâminas petrográficas estão arquivadas na CPRM-SUREG/BH.

Os mapas geológicos na escala 1:25.000 foram apresentados em cópias heliográficas, a partir de originais desenhados a nanquim, conforme solicitação do DNPM.

## SÚMULA GEOLÓGICA

O Quadrilátero Ferrífero tem cerca de 7000 km<sup>2</sup>, dos quais, aproximadamente, 1.800 km<sup>2</sup> são ocupados pelo Greenstone Belt Rio das Velhas (figura 1).

O Greenstone foi dividido, neste trabalho, em unidades litoestratigráficas informais de distribuição regional, conforme nomenclatura proposta pela equipe do Projeto. As unidades foram agrupadas em blocos tectônicos (quadro 1; figura 2), retratando ambientes petrogenéticos distintos (figura 3). Pinto & Silva (1996) propuseram considerar tais unidades como formações.

Manteve-se para o greenstone a designação formal de Supergrupo Rio das Velhas, com os grupos Nova Lima (inferior) e Maquiné, reunindo-se ao Grupo Nova Lima o Complexo Córrego dos Boiadeiros (Padilha 1984) e o Grupo Quebra Osso (Schorscher 1979), redefinidos como unidade.

O Grupo Nova Lima está representado em sua porção inferior por magmatismo máfico - ultramáfico constituído por derrames maciços, almofadados e com textura variolítica, quimicamente compatíveis com basaltos

modernos tipo <sup>Normal</sup> NMORB; metabasaltos komatiíticos; e metaultramáficas com texturas spinifex e cumuláticas. Associam-se metassedimentos químico-exalativos (BIF, metachert) e metapelitos carbonosos, em corpos delgados, localmente mais espessos e intercalados com rochas metassedimentares clásticas de grão fino.

Rochas metassedimentares vulcanoclástica estão representadas por tufo e aglomerados dacíticos, com proporção subordinada de lavas calcialcalinas.

Rochas metassedimentares vulcanogênicas correspondem a intercalações de horizontes piroclásticos e epiclásticos. As rochas epiclásticas são metagrauvas feldspáticas e quartzwackes, quimicamente depletadas e similares aos dacitos. Mostram estruturas turbidíticas. Associam-se xistos carbonáticos (Fácies Lapa Seca - Ladeira, 1980) e formação ferrífera bandada de fácies óxido.

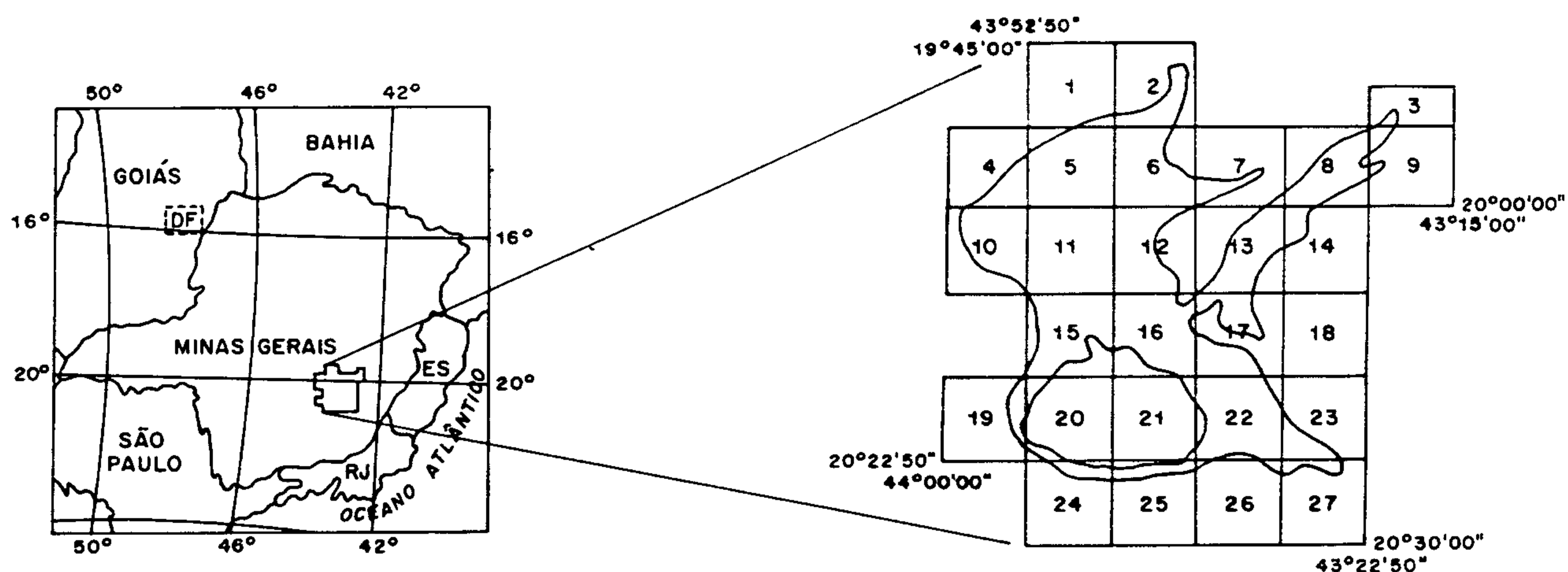
Metassedimentos de fonte mista estão representados por metapelitos, metapsamitos, metagrauvas e quartzo xisto, em proporções relativas variadas, com menor quantidade de filito (xisto) carbonoso, calcissilicática, tremolitito/anfibolito (metamarga) e raros leitões de paraconglomerado.

O Grupo Maquiné é constituído de metassedimentos clásticos, representados por quartzo-mica xisto com intercalações de quartzito micáceo e horizontes subordinados de metamicroconglomerado e metaconglomerado polimitico (Formação Palmital) e por sericita quartzito com intercalações de metacomglomerado polimitico e horizontes xistosos com cloritóide (Formação Casa Forte). Representam sedimentos de fonte mista, continental e vulcanogênica (Silva 1995).

Uma importante síntese sobre estudos geocronológicos em rochas do Quadrilátero Ferrífero e arredores foi preparada por Renger et al. (1994), aproveitada neste estudo.

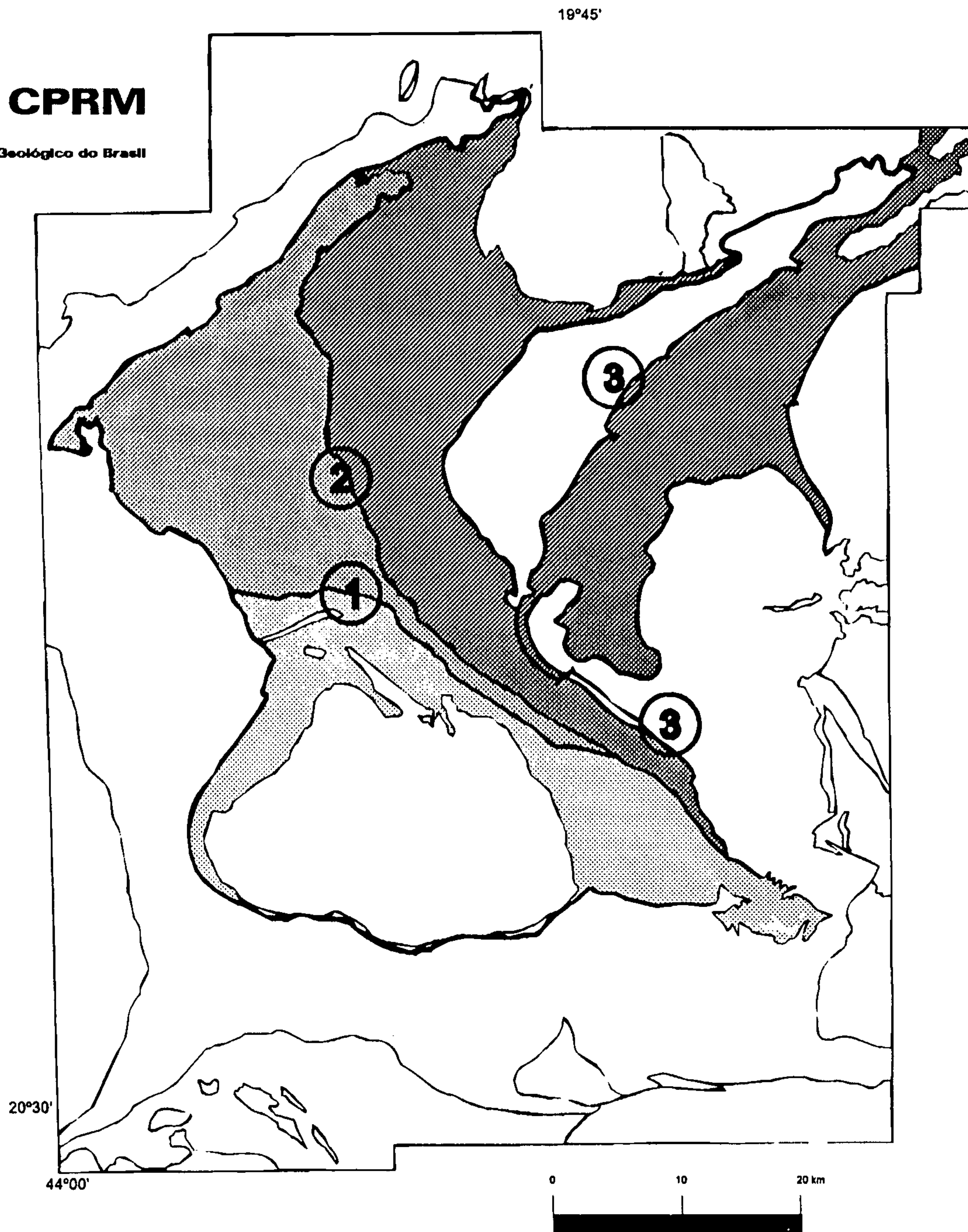
Datações geocronológicas U/Pb em zircões de rochas granitóides do Quadrilátero Ferrífero e arredores (Machado & Noce 1993, Machado et al. 1992, Machado & Carneiro 1992, Noce 1994 e Romano 1989) mostraram tratar-se de material com idades

Figura 1: Índice esquemático e autores do Mapeamento geológico do Supergrupo Rio das Velhas



QUADRÍCULAS -1: 25.000

NOME DA QUADRÍCULA		MAPEADA POR	NOME DA QUADRÍCULA		MAPEADA POR
1	SANTA LUZIA	Costa	15	ITABIRITO	Signorelli & Féboli
2	SERRA DA PIEDADE	Lima da Silva	16	RIO DE PEDRAS	Signorelli, Féboli, Nery da Silva & Corrêa Neto
3	SÃO GONÇALO	Lima da Silva	17	CAPANENA	Signorelli, Féboli, Nery da Silva & Corrêa Neto
4	BELO HORIZONTE	Ribeiro & Tuller	18	SANTA RITA DURÃO	Raposo
5	NOVA LIMA	Costa	19	BARRA DO GENTIO	Fontes
6	CAETÉ	Fontes & Malouf	20	BAÇÃO	Féboli, Ribeiro & Tuller
7	CONGO SOCO	Malouf	21	CACHOEIRA DO CAMPO	Tuller & Ribeiro
8	SANTA BÁRBARA	Lima da Silva	22	SÃO BARTOLOMEU	Ribeiro & Tuller
9	FLORÁRIA	Lima da Silva	23	ANTÔNIO PEREIRA	Fontes
10	SÃO SEBASTIÃO DAS ÁGUAS CLARAS	Ribeiro & Tuller	24	SÃO JULIÃO	Tuller
11	RIO ACIMA	Féboli & Signorelli	25	DOM BOSCO	Ribeiro
12	GANDARELA	Nery da Silva	26	OURO PRETO	Ribeiro & Tuller
13	CONCEIÇÃO RIO ACIMA	Correa Neto & Malouf	27	MARIANA	Fontes
14	CATAS ALTAS	Raposo & Malouf			



## PROJETO RIO DAS VELHAS

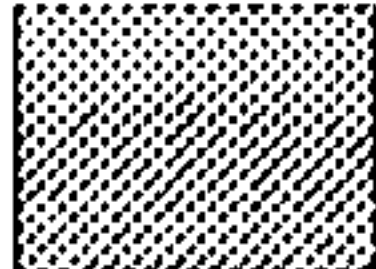
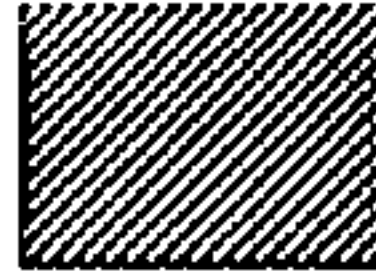
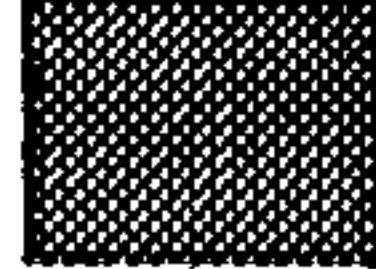
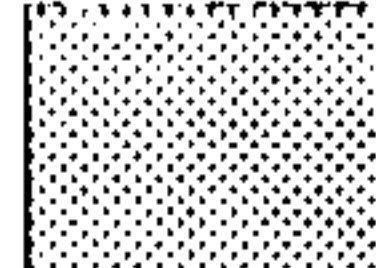
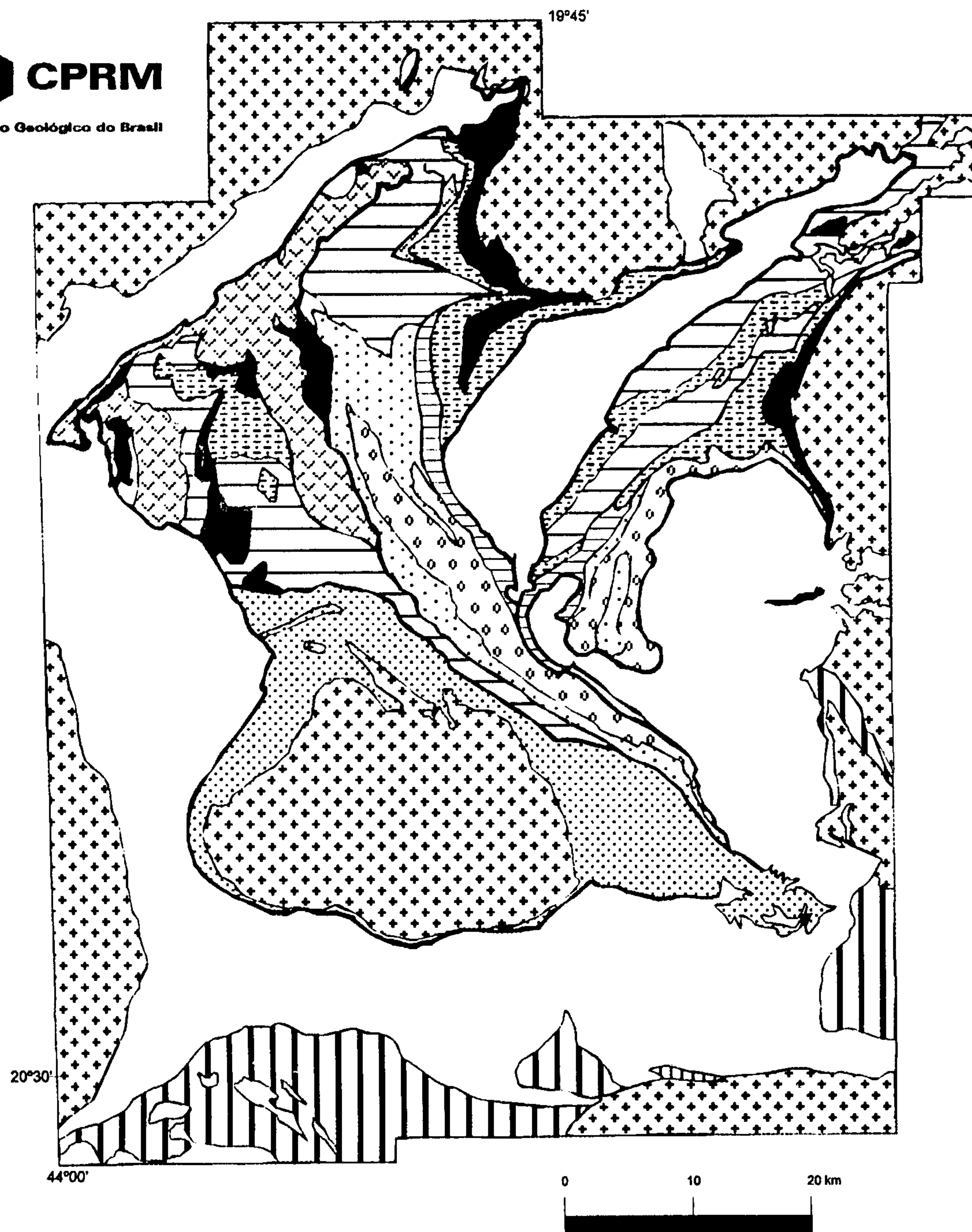
-  Bloco Nova Lima
-  Bloco Caeté
-  Bloco Santa Bárbara
-  Bloco São Bartolomeu

Figura 2: Compartimentação tectônica do Greenstone Belt Rio das Velhas.  
1) Falha Bem-Te-Vi; 2) Falha de São Vicente;  
3) Falha do Fundão.

QUADRO 1 - PROPOSTA DE DIVISÃO LITOSTRATIGRÁFICA PARA O SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS - QUADRILÁTERO FERRÍFERO

SUPERGRUPO	GRUPO	BLOCO SÃO BARTOLOMEU				BLOCO NOVA LIMA		BLOCO CAETÉ			BLOCO SANTA BARBARA			AMBIÊNCIA	
		FORMAÇÃO / UNIDADE				FORMAÇÃO / UNIDADE		FORMAÇÃO / UNIDADE		MEMBRO		FORMAÇÃO / UNIDADE			MEMBRO
RIO DAS VELHAS	MAQUINÉ							CASA FORTE		CAPANEMA		CASA FORTE		CÓRREGO DO ENGENHO	SEDIMENTAR CONTINENTAL
										CHICA DONA	JAGUARA			CHICA DONA	
	PALMITAL						PALMITAL		RIO DE PEDRAS		PALMITAL		RIO DE PEDRAS	SEDIMENTAR MARINHO RASO E LITORÂNEO	
	NOVA LIMA	CATARINA MENDES	PAU D'ÓLEO	FAZENDA VELHA	CÓRREGO DA PAINA	CÓRREGO DO SÍTIO		CÓRREGO DO SÍTIO	MINDÁ			CÓRREGO DO SÍTIO	MINDÁ		SEDIMENTAR MARINHO
						MESTRE CAETANO		RIBEIRÃO VERMELHO	MESTRE CAETANO			SANTA QUIÉRIA			VULCANOCLÁSTICO EPICLÁSTICO SUBAQUÁTICO <small>(sólo identificável em bloco Santa Bárbara)</small>
						MORRO VERMELHO		MORRO VERMELHO							vulcânico sedimentar-químico marinho
						OURO FINO	CÓRREGO DOS BOIADEIROS	OURO FINO				QUEBRA OSSO	OURO FINO		VULCÂNICO / PLUTÔNICO <small>(tridético - komatiítico)</small>



# PROJETO RIO DAS VELHAS

SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS


-  Supergrupos Minas e Espinhaço
- GRUPO MAQUINÉ**
  -  Formação Casa Forte
  -  Formação Palmital
- GRUPO NOVA LIMA**
  -  Metassedimentos de fonte mista  
fácies xisto verde e anfibolito
  -  Metassedimentos de fonte mista  
fácies xisto verde
  -  Metassedimentos vulcanoclásticos
  -  Metassedimentos químico - exalativos
  -  Magmatismo máfico - ultramáfico
  -  Supergrupo Rio das Velhas indiviso
-  Complexos Granito - gnáissicos

Figura 3: Mapa Geológico Simplificado do Supergrupo Rio das Velhas

de formação concentradas principalmente entre 2860 e 2600Ma, algumas já consideradas como de retrabalhamento e metamorfismo (Machado & Carneiro 1992, Noce 1994). Dados U/Pb em titanitas e Rb/Sr em rocha total indicaram que o principal período de remobilização se deu no Evento Transamazônico (Renger et al. 1994), com maior intensidade entre 2125 e 2040Ma (Machado & Noce 1993).

Determinações U/Pb em zircões de vulcânicas ácidas do Greenstone Belt Rio das Velhas revelaram idades em torno de 2776Ma (Machado et al. 1992).

Determinações de idades Pb/Pb em galenas de depósitos auríferos do Quadrilátero revelaram valores entre 2710Ma (idade de formação - Mina Bela Fama) e 2575 -1935Ma (idades de remobilização - diversos depósitos), (Thorpe et al. 1984). As galenas não mostram registro de deformação brasileira (Renger et al. 1994).

Determinações radiométricas Pb/Pb em zircões detríticos de quartzitos da Formação Moeda (Supergrupo Minas - Grupo Caraça) indicaram dispersão de valores entre 2990 e 2650 Ma (Machado et al. 1993). Por este mesmo método, Babinski et al. (1991) obtiveram  $2420 \pm 19$ Ma para dolomitos da Formação Gandarela (Grupo Itabira) e  $2050 \pm 230$ Ma para dolomito da Formação Fecho do Funil (Grupo Piracicaba), esta última sugestiva de remobilização transamazônica.

Os Grupos Sabará, Itacolomi e o Supergrupo Espinhaço têm zircões detríticos com idades em uma ampla faixa de variação entre o Arqueano e o Proterozóico inferior, com limites mínimos e máximos afastados de aproximadamente um bilhão de anos (2120Ma a 3180Ma), (Machado et al. 1993).

Machado et al. (1996, no prelo) analisaram mais de 400 zircões detríticos de rochas do Quadrilátero Ferrífero, definido para os termos granito-gnáissicos idade mínima de 2860Ma, para o emplacement do Greenstone Belt Rio das Velhas 2772-2780Ma e para o Supergrupo Minas idades do Proterozóico. Concluíram que o Greenstone Belt Rio das Velhas contém exclusivamente sedimentos cratogênicos, com desenvolvimento sobre ou próximo a crosta continental evoluída, com idade mínima de

2,85Ga. Indicam que a seqüência detrítica inferior do Supergrupo Minas foi alimentada por sedimentos oriundos de crosta antiga circundante e terreno granito-greenstone. A unidade superior deste supergrupo, representada pela Formação Sabará, mostra zircões com 2125Ma e o Grupo Itacolomi, que a recobre, zircões ainda mais jovens com idade mínima de 2,06Ga, idênticas às idades do metamorfismo regional. Sugerem que a sedimentação tectogênica destas unidades do Supergrupo Minas ocorreu em uma foreland basin transamazônica, com evolução associada ao desenvolvimento do orógeno e soergimento dos complexos do embasamento, entre 2125Ma e 2030Ma. Destacam que zircões com 2,6 - 2,4 Ga são raros nas unidades proterozóicas do Quadrilátero Ferrífero.

É importante destacar que não se conhecem idades U/Pb, Rb/Sr e Pb/Pb brasileiras em rochas do Quadrilátero Ferrífero, o que pode ser interpretado como consequência de o evento tectono-termal Brasileiro não ter sido forte o suficiente para recalibrar estes sistemas, ou ter sido seletivo, restrito a faixas de cisalhamento localizadas e ainda não datadas.

No Grupo Nova Lima são encontradas estruturas ígneas primárias como pillow lavas, spinifex, quenching, variolas, vesículas, cumulos, além de estruturas sedimentares como estratificações granodecrescentes, estratos cruzados de pequeno porte e laminação plano-paralela, próprias de seqüências turbidíticas. No Grupo Maquiné registram-se marcas de onda, estratificação cruzada de médio a grande porte, herring bone e tidal bundle.

No Supergrupo Minas ocorrem estruturas orgânicas sem evidências de deformação (dolomitos estromatolíticos da Formação Gandarela), estratificação cruzada (Formação Moeda, Sinclinal Moeda), acamamento primário em Itabirito (Formação Cauê), discordância erosiva entre formações com existência de conglomerado basal (p. ex. Formação Gandarela e Formação Cercadinho).

Diques máficos e intrusões relacionadas são abundantes no Quadrilátero Ferrífero e no Espinhaço Meridional. Três períodos

principais de magmatismo máfico são reconhecidos : a) 1,7 - 1,5Ga (K/Ar em mineral e rocha total), relacionado à abertura da bacia do Espinhaço (Silva et al. 1991; Teixeira 1985). Este último autor registra, também, idades entre 2,1 - 1,85Ga (K/Ar) em anfibólitos de diques máficos. Silva et al. (1991, 1996) mostram idades U/Pb de 1702Ma em baddeleyita; b) 906Ma (U/Pb em zircão e baddeleyita; Machado et al. 1989) e 1000Ma (K/Ar em hornblenda verde; Machado e Carneiro, 1992) relacionados aos estágios iniciais do ciclo Brasileiro (Silva et al. 1991; Silva 1992); c) 220-120Ma (K/Ar em rocha total; Silva et al. 1991, Dossin et al. 1995) relacionado à abertura do continente Gondwana. Os diques do Proterozóico médio estão deformados e metamorfisados ; os do Proterozóico superior estão deformados parcialmente, em diversos locais só nas bordas, e mostram metamorfismo na fácies xisto verde com feições ígneas preservadas (Silva 1992). Ambos precedem o início de sedimentação do Supergrupo São Francisco.

Os diques do Mesozóico não apresentam deformação e metamorfismo, e cortam as unidades e estruturas pré-cambrianas (Silva 1992). Uma idade de 655Ma (Pb/Pb; Silva, 1992) foi sugerida como provavelmente relacionada aos estágios finais do ciclo Brasileiro, reinterpretadas posteriormente (Silva et al. 1996) como do metamorfismo baseado em idades U/Pb em baddeleyita com algum zircão metamórfico. Esse autor concluiu que o evento mais importante de geração de diques ocorreu durante os estágios iniciais do ciclo Brasileiro, deixando em aberto a questão da presença ou não de diques básicos transamazônicos nesta região.

Mesmo reconhecendo-se a deformação registrada nas unidades do Proterozóico médio e superior, é forçoso admitir-se que a tectônica brasileira (e em parte também a transamazônica) foi altamente seletiva e heterogênea, preservando grande parte das estruturas primárias ígneas e sedimentares.

O metamorfismo é geralmente da fácies xisto verde, com sericita-clorita-cloritóide, na porção centro-norte do Quadrilátero Ferrífero. Ao redor do Complexo de Bação, para leste (região de

São Bartolomeu) e sul, atingiu a fácies anfibolito (ver estratigrafia e petrologia neste estudo).

O bloco São Bartolomeu (ver figura 2) parece representar um segmento à parte do greenstone, tendo maior afinidade com terrenos vulcano-sedimentares da região de Conselheiro Lafaiete em comparação com as porções do norte do Quadrilátero (regiões de Nova Lima, Caeté e Santa Bárbara).

O Quadrilátero Ferrífero é importante produtor de bens minerais, destacando-se ferro, manganês, ouro e bauxita. O ouro, associado principalmente às seqüências químico-exalativas do Grupo Nova Lima, é explotado desde o Brasil Colônia, através de trabalhos em jazimento primários e em aluviões. A produção esteve em torno de 560t de metal até 1977 (Santos 1995). De 1978 até 1994 estima-se que foram produzidas outras 200t de metal. A produção atual está concentrada nos jazimentos primários. A produção em aluviões é desprezível.

## AGRADECIMENTOS

Destacamos e agradecemos o apoio recebido das empresas integrantes do Consórcio e de todas aquelas que atuam no Quadrilátero.

Agradecimentos especiais são devidos ao DNPM, nas pessoas de seu ex-diretor Dr. Elmer Prata Salomão, do Dr. Benedito Waldir Ramos e Emanuel Teixeira de Queiroz. A todos os técnicos e funcionários do DNPM, 3º DISTRITO, que facilitaram a coleta de informações e ao coordenador do Projeto, geólogo Jaime Paulino. Ao Delegado do MME em Minas Gerais Dr. Delfim Ribeiro. Ao Dr. Eduardo Antônio Ladeira pela participação na 1ª fase dos trabalhos. Aos professores da UFOP, UFMG, UNB, USP, UNICAMP, UFRJ, UERJ, UFRGS E UNESP, e seus alunos de mestrado ou doutorado que nos procuraram em busca de troca de conhecimentos. Ao Dr. Antonio Carlos Godoy

pelo apoio na área de geofísica. Ao Prof. Dr. Caetano Juliani das USP pela revisão crítica do capítulo de Petrografia e litogeoquímica.

Agradecemos em particular ao Dr. Onildo João Marini, pelo entusiasmo e apoio demonstrados ao longo de todo este tempo.

Mas tudo isso não seria possível sem o empenho e dedicação demonstrados pela equipe executora do projeto.

## DADOS FÍSICOS DE PRODUÇÃO

O quadro 2 apresenta os dados físicos de produção do Projeto Rio das Velhas. Destaca-se o número de folhas geológicas 1:25.000 cartografadas, de afloramentos descritos, e de lâminas petrográficas estudadas. No sentido de se investigar a natureza dos protólitos, 62 amostras foram analisadas quimicamente. Todos estes resultados encontram-se arquivadas em bancos de dados da CPRM.

Quadro 2-Súmula dos dados físicos de produção - Projeto Rio das Velhas

NATUREZA DA ATIVIDADE	UNIDADE	TOTAL
Documentos consultados (relatórios de pesquisa e lavra)	un	420
Fotointerpretação	km <sup>2</sup>	2594
Mapeamento geológicos	km <sup>2</sup>	1774
Cartas geológicas 1:25.000	un	27
Carta geológica 1:100.000	un	1
Total de quilômetros percorridos	km <sup>2</sup>	132140
Perfil geológico a pé	km <sup>2</sup>	2752
Dias efetivos de campo/geólogo		201
Afloramentos descritos	un	4976
Amostras coletadas	un	2947
Amostras laminadas	un	1091
Amostras com análise química	un	62



## LEVANTAMENTO AEROGEOFÍSICO

Por Antonino Juarez Borges

### CONSIDERAÇÕES GERAIS

O levantamento aerogeofísico do Projeto Rio das Velhas teve por finalidade prover a região de conhecimentos de subsuperfície que possibilitassem detectar novos alvos para a prospecção mineral, como também novos subsídios para o estudo do caráter geológico e do feitio tectônico/estrutural da área, visando facilitar e aprimorar a execução do mapeamento geológico em 1:25.000 de toda área coberta pelo aerolevanteamento.

Em consonância com as modernas concepções e metodologias usadas atualmente para o estudo de greenstone belts, optou-se pela execução do aerolevanteamento por helicóptero, a nível de detalhamento, com altura de vôo de 30m, para o sensor HEM, e espaçamento entre as linhas de 250m. Foi usado um multisistema de equipamentos geofísicos composto dos seguintes métodos: magnetometria de campo total, gamaespectrometria e eletromagnetometria (HEM).

### FINALIDADES ESPECÍFICAS DE CADA MÉTODO

Eletromagnetometria: detectar corpos e estruturas de resistividades elétricas diferentes visando, sobretudo, a prospecção de sulfetos e outros minerais associados a estes, como é o caso do ouro do Grupo Nova Lima.

Magnetometria: determinar o posicionamento tridimensional de corpos e estruturas magneticamente diferenciáveis, tanto rasas

quanto profundas, visando a análise estrutural do condicionamento geológico da área e, particularmente, das mineralizações.

Gamaespectrometria: auxiliar no mapeamento de litologias de difícil diferenciação visual e também, procurando delimitar horizontes guia das mineralizações, sobretudo zonas de alterações hidrotermais, associadas a uma maior concentração de minerais potássicos.

### INSTRUMENTAÇÃO

Eletromagnetometria (HEM): sistema eletromagnético constituído de 5 frequências (500, 935, 4175, 4600 e 33000Hz), com pares de bobinas coaxiais e coplanares, montadas em bird.

Magnetometria: magnetômetro com bombeamento ótico de vapor de césio com precisão de 0,01nT, montado em "bird".

Gamaespectrometria: gamaespectrômetro com discriminação dos canais de U, Th, K e Contagem Total, com cristal detetor de 1024 polegadas cúbicas, instalado no interior do helicóptero.

Equipamentos de Navegação: sistema de navegação por satélite GPS - *Global Positioning System* e Radar Altímetro compatível com as especificações de vôo.

Registros de Dados: registros analógicos e digitais gravados em fitas magnéticas, com todos os valores medidos em vôo e nas estações base. O intervalo de amostragem

é de 0,1 segundos, para magnetometria e eletro-magnetometria, e de 1,0 segundo para gamaespectrometria.

## ESPECIFICAÇÕES DE VÔO

Direções das linhas de vôo perpendicular às estruturas geológicas e tão próximas quanto possível da direção do campo magnético terrestre. Para tal, a área foi dividida em blocos voadores nas direções N40°W e N50°E

Espaçamento entre as linhas de vôo de 250m, com navegação monitorada por satélite (GPS).

Altura de vôo de 60m, mantendo o sensor eletromagnético a uma altura de 30m sobre o terreno, o sensor magnético a 45m e o gamaespectrométrico a 60m, acompanhando o relevo do terreno.

## PRODUTOS FINAIS

Fitas magnéticas contendo todas as medições geofísicas e as coordenadas de cada ponto de amostragem.

Fitas de vídeo cassete contendo o filme de todos os perfis voados.

Mapas coloridos e de contorno em preto e branco, cobrindo toda área do projeto, na escala 1:100.000, e mapas padrão 1:25.000 para cada um dos seguintes temas:

- Magnetometria: mapas de intensidade magnética total e de gradiente vertical.
- Gamaespectrometria: mapas de U, Th, K, Contagem Total e mapas de distribuição ternária dos três elementos.
- Eletromagnetometria: mapas de resistividade aparente para as frequências de 935, 4175 e 33.000Hz e mapas de anomalias interpretadas.

## RESULTADOS GERAIS DO AEROLEVANTAMENTO

Magnetometria: nos mapas aeromagnéticos predominam um relevo extremamente suave

para o Supergrupo Rio das Velhas, contrastando com o Supergrupo Minas, onde o relevo se apresenta bastante ativo. Mesmo assim, no interior do Rio das Velhas sobressaem nitidamente, lineamentos, anomalias e zonas anômalas de extensões variadas, caracterizando corpos e estruturas, que propiciaram um melhor entendimento da geologia estrutural e na diferenciação de unidades mapeáveis. Além disso, ficaram bem delineadas as formações ferríferas bandadas (BIF) e trends relacionados a zonas mineralizadas.

Eletromagnetometria: a frequência que apresentou melhor resposta foi a de 4.175Hz, cujo mapa de resistividade aparente mostra a predominância em 50% da área de resistividades bastante altas, maiores que 5.000ohm.m, a profundidade em torno de 50m. Todavia, neste ambiente resistivo sobressaem zonas anômalas e anomalias isoladas com resistividades inferiores a 300ohm.m, algumas das quais, comprovadamente correlacionadas a mineralizações sulfetadas. A maioria destas faixas anômalas mostram boas correlações estruturais com os padrões magnéticos presentes.

Gamaespectrometria: por se tratar de medições que refletem as características geoquímicas das rochas e solos em superfície, foi o método de maior utilidade durante o levantamento. Dentre seus resultados, ressalta-se a excelente resposta fornecida pelos canais de Potássio e Contagem Total, cujos dados ajudaram bastante na diferenciação litológica de unidades com diferentes respostas radiométricas, destacando-se a delimitação das zonas de alterações hidrotermais, caracterizadas pela presença de minerais ricos em potássio. Em trabalho complementar de integração geológico-geofísica, foi possível delimitar, ao longo de 80km de perfis estratégicos, 14 unidades geológicas diferenciáveis. Os resultados de urânio e tório, apesar de menos expressivos, em algumas folhas mostraram respostas que também ajudaram no mapeamento de litologias e estruturas rasas com enriquecimento destes radioelementos

## ESTRATIGRAFIA

Por Marcia Zucchetti,  
Orivaldo Ferreira Baltazar e  
Frederico Ozanam Raposo.

Este capítulo foi redigido com base nos trabalhos executados em cada folha geológica 1:25.000, e nas respectivas súmulas geológicas, conforme créditos de autoria constantes na figura 1 da Introdução.

A primeira divisão estratigráfica proposta para o Supergrupo Rio das Velhas - SGRV- (Loczy & Ladeira 1976) foi formulada por Dorr et al. (1957) que o definiu como "Série Rio das Velhas" subdividindo-o nos grupos Nova Lima, inferior, e Maquiné, superior, agrupando, respectivamente, as seqüências metavulcano-sedimentar e metassedimentar clástica. Posteriormente, o Grupo Maquiné foi subdividido, da base para o topo, nas formações Palmital (O'Rourke 1958) e Casa Forte (Gair 1962), a primeira constituída de filitos quartzo-sericíticos e esta última de quartzitos sericíticos com intercalações de conglomerados polimíticos. A caracterização do SGRV como um cinturão greenstone se deve a Schorscher (1976) e Almeida (1976). Aquele autor definiu o Grupo Quebra Osso, uma seqüência metavulcânica/intrusiva básica/ultrabásica do extremo leste do Quadrilátero Ferrífero, considerando-o como unidade basal do greenstone, passando o Grupo Nova Lima a uma posição intermediária na coluna. Padilha (1984) definiu a Formação Córrego dos Boiadeiros, chamada de Complexo por Costa et al. (1992), formada por rochas metavulcânicas komatiíticas posicionadas na base do Grupo Nova Lima.

Neste trabalho, o Grupo Quebra Osso foi redefinido como unidade informal pertencente à porção inferior do Grupo Nova Lima, visto

conter rochas química e petrograficamente, semelhantes às de seqüências máfico-ultramáficas inferiores de greenstone belts. A divisão estratigráfica de Dorr et al. (1957) foi mantida, permanecendo a Unidade Quebra Osso como uma unidade indivisa. O Complexo Córrego dos Boiadeiros foi individualizado como um sill básico-ultrabásico intrusivo na base do Grupo Nova Lima. Outras tentativas de subdivisão, de caráter local, foram propostas no passado, por vários autores, a maioria delas interessando ao distrito mineiro de Nova Lima. As mais importantes estão sumarizadas no quadro 3. Propõe-se neste estudo uma subdivisão litoestratigráfica informal para o Grupo Nova Lima, em unidades definidas por observações de campo, com apoio de estudos petrológicos e litoquímicos. Um empilhamento estratigráfico clássico das unidades individualizadas não foi possível, considerando-se fatores como o padrão de deformação tectônica, o alto grau de intemperismo dos litótipos e a extensão da bacia de deposição, que resultaram na repetição e/ou omissão de unidades geológicas em determinadas áreas e grande dificuldade na observação de contatos e interrelações. Entretanto, de uma maneira global foi possível agrupar os litótipos constituintes do Grupo Nova Lima em associações de litofácies e posicioná-los da base para o topo em associação metavulcânica-plutônica máfica-ultramáfica; metavulcano-sedimentar química; metassedimentar química-pelítica; metavulcano-sedimentar

clástica; metassedimentar clástica marinha (ressedimentada); metassedimentar clástica não-marinha (quadro 4).

Assim, foram individualizadas as seguintes unidades: Quebra Osso, Córrego dos Boiadeiros e Ouro Fino (associação metavulcânica-plutônica); Morro Vermelho (associação metavulcânica-sedimentar química); Ribeirão Vermelho e Mestre Caetano (associação metavulcânica-sedimentar clástica); Santa Quitéria (associação metassedimentar clasto-química); Córrego do Sítio e Mindá (associação metassedimentar clástica). No extremo sul do QF, em torno do Complexo de Bação, foram cartografadas as unidades Catarina Mendes, Córrego da Paina, Fazenda Velha e Pau d'Óleo que consistem de seqüências de grauvaca-argilito transicionais entre si, de características muito peculiares, carbonáticas, com freqüentes intercalações de anfibolitos e rochas calciossilicáticas, em grau metamórfico da fácies xisto verde a anfibolito, diferentemente do restante das unidades do Grupo Nova Lima, parecendo representar uma seqüência a parte. Apesar disso, foi incluída no Grupo Nova Lima por insuficiência de dados, podendo ser correlacionável, em termos de posicionamento estratigráfico, às unidades Córrego do Sítio e Mindá representantes das associações de fácies ressedimentada do andar superior deste grupo.

O Grupo Maquiné foi reconhecido como uma associação metassedimentar clástica não-marinha, com uma fácies litorânea (Formação Palmital) e outra fluvial (Formação Casa Forte), dividido como abaixo:

- Formação Palmital : unidades Rio de Pedras e Andaimés
- Formação Casa Forte: unidades Chica Dona (fácies Córrego do Viana e Córrego da Cidreira), Jaguará, Córrego do Engenho e Capanema.

Estas associações são comparáveis às documentadas no greenstone belt do Canadá por Ojakangas (1985), e a seqüências similares da África do Sul e Austrália, conforme Eriksson et al. (1988), (quadro 5).

O estudo integrado de dados estruturais,

petrográficos, petrológicos e de caracterização de campo mostra que as unidades estão distribuídas segundo quatro grandes domínios litoestruturais, caracterizados por colunas litoestratigráficas distintas. Os limites destes domínios coincidem, aproximadamente, com grandes lineamentos estruturais cartografados durante os trabalhos de campo. Em vista disso, propõe-se, em caráter preliminar, a subdivisão da área de exposição do greenstone dentro do Quadrilátero Ferrífero em quatro blocos tectônicos (figuras 2):

- 1) Bloco São Bartolomeu, na porção sul do Quadrilátero Ferrífero, em torno do Complexo de Bação, caracterizado por metassedimentos clásticos grossos, carbonáticos, em fácies anfibolito, separado do Bloco Nova Lima, ao norte, pela falha Bem-Te-Vi e do Bloco Caeté, a leste, pela falha de São Vicente;
- 2) Bloco Nova Lima, caracterizado da base para o topo por seqüências metavulcânicas básico-ultrabásicas, metavulcanoclásticas e metassedimentares, em fácies xisto verde, estando ausentes os metassedimentos clásticos do Grupo Maquiné. É separado do bloco Caeté, a leste, pela falha São Vicente;
- 3) Bloco Caeté, na porção central, o único que apresenta a coluna completa, com todos os elementos de uma seqüência greenstone desde as rochas metavulcânicas básicas-ultrabásicas basais, seqüências metavulcanoclásticas e ressedimentadas até os metassedimentos clásticos grossos não-marinhos do Grupo Maquiné, com metamorfismo na fácies xisto verde. É separado do Bloco Nova Lima, a oeste, pela falha de São Vicente e do Bloco Santa Bárbara, a sudeste, pela falha do Fundão;
- 4) Bloco Santa Bárbara, no extremo leste, caracterizado pelo amplo predomínio de unidades metassedimentares e metavulcânicas ultramáficas da porção basal. Nestes sedimentos químicos (BIFs) são abundantes, intercalados a metassedimentos clásticos finos (Unidade Santa Quitéria). Ao contrário do que ocorre no bloco adjacente (Caeté), rochas metavulcânicas

estão ausentes em associação com os metassedimentos químicos (Unidade Morro Vermelho).

É interessante salientar o caráter peculiar do Bloco São Bartolomeu, que se distingue dos demais não só pelo seu grau metamórfico mais alto ( fácies anfibolito), mas também pela natureza de sua sedimentação, onde dominam metagrauvas com freqüentes intercalações de rochas carbonáticas, calciossilicáticas e metaultramáficas reconhecidas como metamargas, além de prováveis para-anfibolitos. Nota-se a ausência (ou não registro) de vulcanismo básico-ultrabásico, comum nos demais blocos do greenstone. Os litótipos deste bloco mostram, ainda, contribuição de fonte granítica nos metassedimentos, além da fonte vulcanogênica detectada nos demais blocos, interpretada a partir da assinatura geoquímica. Metaconglomerado intercalado nas metagrauvas da Unidade Catarina Mendes contém seixos de gnaiss trondhjemitico e metadacito. Portanto, embora as unidades litológicas constantes deste bloco tenham sido referenciadas ao Greenstone Belt Rio das Velhas, trabalhos mais detalhados poderão excluí-lo do mesmo, relacionando-o a uma outra bacia de sedimentação, correlacionável a seqüências similares ocorrentes ao sul do Quadrilátero Ferrífero, na região de Conselheiro Lafaiete.

## GRUPO NOVA LIMA

### UNIDADE QUEBRA OSSO

Aflora segundo uma faixa com direção geral NE-SW bordejando o Complexo Santa Bárbara (Baltazar & Raposo 1993), abrangendo as quadriculas de Santa Rita Durão, Catas Altas, Santa Bárbara e Florália. Foi cartografada, pela primeira vez, por Maxwell (1960) como um a *Greenstone Sequence* de idade relativa incerta e definida por Schorscher (1978, 1979) como Grupo, com posicionamento estratigráfico na base do Supergrupo Rio das Velhas, imediatamente abaixo do Grupo Nova Lima. Sua melhor exposição está na pedra Um, de onde é extraído peridotito com teores elevados de MgO para uso industrial. Os contatos com as rochas de

outras formações do Grupo Nova Lima não estão bem expostos. Com as rochas do Grupo Caraça, base do Supergrupo Minas e com os quartzitos do Grupo Maquiné, aparecem claros em uma das pedreiras Um e no sopé da serra do Caraça. São contatos tectônicos bruscos e discordantes do acamamento original.

É constituída, essencialmente, de komatiitos peridotíticos com espessos horizontes cumuláticos (prancha 1/1) metamorfisados na fácies xisto verde, além de delgados níveis de formação ferrífera pobre em ferro, *metachert* fuchsítico, turmalinito e filito carbonoso.

**Komatiitos** - suas feições macroscópicas características são a coloração verde escura a negra, a granulação fina a muito fina e o aspecto sedoso ao tato. Apresentam estruturas típicas de lava almofadada, brechada e maciça, além de texturas *spinifex* e *quench*, brecha vulcânica e vidro vulcânico alterado. Lavas ultrabásicas com textura *quench* foram observadas localmente, bem como horizontes com texturas fragmentais constituídos por rochas de matriz vitrificada com abundantes fragmentos angulosos de composição similar e que foram interpretados como de brechas subaquosas hialoclásticas (prancha 1/3). De uma maneira geral, são constituídas por agregados de baixa resolução microscópica de composição tremolítica (matriz). Nesta matriz dispõem-se, em forma aleatória, inúmeras palhetas ou agulhas com comprimento entre 0,1mm e 0,5mm, entrecruzadas em ângulos variáveis representando pseudomorfos esqueléticos de olivina ou clinopiroxênio. Ocorrem ainda texturas ortocumuladas e cumuladas e, localmente, cumulos básicos com cristais de plagioclásio com maclas complexas e hábito idiomórfico, sugerindo uma origem plutônica. Seus principais representantes metamórficos são (anfibólio)-(carbonato)-(clorita)-(serpentina)-talco xisto, tremolita-actinolita xisto, serpentina-tremolita xisto (prancha 1/2), talco-antigorita xisto, (talco)-clorita xisto, tremolita-(clorita) xisto, serpentinito, tremolita serpentinito de granulação muito fina com vidro vulcânico alterado intersticial, actinolitito e plagioclásio-biotita xisto. Observam-se, por vezes,

Quadro 3 - Divisões estratigráficas propostas para o Grupo Nova Lima.

		LADEIRA (1980)	OLIVIERA et al. (1983)	VIEIRA & OLIVIERA (1988)	VIEIRA et al. (1991)		
<b>GRUPO</b>	<b>LIMA</b>	Unidade Clástica	Grauvaca, quartzito, conglomerado, quartzito	Unidade Superior	Metapelito, metavulcânica e vulcanoclástica. Metassedimento químico (Lapa Seca).	Metapelito, metatufo félsico, quartzito, metaconglomerado. Metapelito, metatufo e Lapa Seca.	Metapelito com tufo félsico, quartzito, metaconglomerado
	<b>NOVA</b>	Unidade Metassedimentar Química	Sedimento carbonático, filito, BIF, xisto tufáceo, xisto grafitoso	Unidade Média	Metandesito, BIF metavulcânica félsica, vulcanoclástica, filito grafitoso	Metandesito basáltico com BIF Metatufo félsico, metapelito, filito grafitoso.	Brecha andesítica e lapilli tufo. Tufo félsico e metapelito.
	Unidade Metavulcânica	Metabasalto, metaultramáfica, xisto tufáceo.	Unidade Inferior	Metandesito, metabasalto, filito grafitoso e vulcânica félsica. BIF	Metandesito basáltico, BIF; filito grafitoso, metatufo, BIF; metandesito, filito, BIF; metaultramáfica, metabasalto.	Basalto e andesito com BIF. Rochas ultramáficas.	

texturas pseudomórficas e *mesh* com cristais de serpentina, individuais ou em agregados, substituindo olivina. Na maior parte das exposições, a paragênese magmática original acha-se totalmente substituída por produtos de alterações hidrotermais tais como talcificação, esteatitização, cloritização, magnetitização, serpentização e turmalinização.

**Formação ferrífera, metachert, turmalinito e xisto carbonoso** - Essas rochas, pouco expressivas, ocorrem sempre associadas em faixas delgadas com 20m a 50m de largura e até 2km de comprimento, encaixadas em rochas ultramáficas, cisalhadas. As formações ferríferas são pobres em minerais de ferro e gradam lateral e longitudinalmente a *metachert* e turmalinito. O *metachert* pode conter micas esverdeadas (fuchcita) e minerais de ferro. O turmalinito ocorre em microbandas de turmalina esverdeada se alternando com bandas e microbandas de

*metachert*. Por vezes os cristais de turmalina se desenvolveram em indivíduos maiores ao longo dos planos de foliação plano-axial de microdobras. O filito carbonoso ocorre em bandas contínuas, intercaladas ou encaixando as rochas anteriores. Estes conjuntos parecem representar depósitos sedimentares clasto-químicos sobre as rochas ultramáficas, preservados em núcleos de dobras apertadas.

#### UNIDADE OURO FINO

Ocorre nas quadrículas Serra da Piedade, Caeté, Rio Acima, São Sebastião das Águas Claras, Nova Lima e Santa Luzia. Suas melhores exposições estão nas margens do rio Conceição, próximo à localidade de Vigário da Vara e no curso médio do córrego Ouro Fino, na folha Serra da Piedade.e

Esta unidade está posicionada na porção basal do Grupo Nova Lima. Com os ultramafitos

Quadro 4 - Coluna estratigráfica idealizada para o Greenstone Belt Rio das Velhas.

		Ambiência	Formação/Unidade	Litótipo
VELHAS	GRUPO MAQUINÉ	Associação metassedimentar clástica não marinha (litorânea e fluvial)	Casa Forte ~~~~~D~~~~~ Palmital	quartzito, conglomerado ~~~~~ quartzito xisto
		Associação metassedimentar clástica marinha (ressedimentada)	Mindá Cór. do Sítio Cór. da Paina Faz. Velha Pau d'Óleo Catarina Mendes	Metaturbiditos arenosos e argilosos  Metagrauvacas, calcissilicáticas
	GRUPO NOVA LIMA	Associação metavulcano-sedimentar clástica	Mestre Caetano  Ribeirão Vermelho	Metagrauvacas, metavulcano-clásticas  Metavulcano-clásticas, metaturbiditos
		Associação metassedimentar química-pelítica	Santa Quitéria	Metapelitos e BIF's
		Associação metavulcano-sedimentar química	Morro Vermelho	Metavulcânicas, metapelitos, BIF's
		Associação metavulcânica plutônica máfica-ultramáfica	Ouro Fino Quebra Osso Complexo Cór. dos Boiadeiros	Metavulcânicas básicas e ultrabásicas Metavulcânicas ultrabásicas Sill básico-ultrabásico

da Unidade Quebra Osso, constitui o assoalho oceânico sobre o qual se depositaram as demais unidades do Supergrupo Rio das Velhas. É constituído, eminentemente, de derrames de metabasalto toleítico maciço, localmente almofadado, variolítico ou amigdaloidal, com diversificado grau de alteração. Em proporções subordinadas, aparecem metaperidotito, metabasalto

komatiítico, metatufo básico, metavulcânica ácida, *metachert*, formação ferrífera e xisto carbonoso. O metamorfismo é de fácies xisto verde.

**Metabasaltos toleíticos** - São as rochas com maior distribuição na Unidade Ouro Fino. Caracterizam-se macroscopicamente pelas cores cinza escura e cinza esverdeada

Quadro 5 - comparação entre as associações de litofácies do Supergrupo Rio das Velhas (SGRV) e greenstone belts da África do Sul e Austrália (modificado de Eriksson et al., 1988).

LITOLOGIA	SGRV		BARBERTON	BLOCO PILBARA	
Sedimentos silici-clásticos aluviais	Grupo Maquiné	Fm. Casa Forte			superior
Sedimentos silici-clásticos rasos		Fm. Palmital	Gr. Moodies		
Sedimentos silici-clásticos de leque submarino	Gr. Nova Lima		Gr. Fig Tree		inferior
Rochas vulcânicas máficas-ultramáficas, félsicas e calcialcalinas			Gr. Onverwacht		Gr. Warrawoona

que passam a amarela avermelhada a avermelhada por intemperismo. A granulação é fina e a estrutura dominante é xistosa, localmente pouco pronunciada. Nestes locais, ocorrem estruturas e texturas primárias preservadas como pillow lavas (pranchas 2/1, 2/2 e 2/4), amígdalas (prancha 2/5) e varíolas (pranchas 2/3 e 2/6). Caracterizam-se como xistos vulcânicos com actinolita e clorita e quantidades variáveis de epidoto e plagioclásio. Por vezes, ocorrem significativamente titanita e leucóxênio originados, provavelmente, de alteração da ilmenita. As texturas são granonematoblástica e granolepidoblástica. Os litótipos metamórficos mais representativos são (quartzo)-(albita)-(clorita)-(epidoto)-tremolita/actinolita xisto, (stilpnomelano)-(quartzo)-clorita xisto, (carbonato)-(plagioclásio)-(quartzo)-(mica)-clorita xisto, (quartzo)-plagioclásio-actinolita-clorita-epidoto xisto e albita-tremolita-clorita-epidoto xisto.

**Metaperidotito** - constitui intercalações nos

basaltos toleióticos dos quais se diferencia, pelo aspecto sedoso ao tato, pela cor verde clara e pela composição mineral. Com o intemperismo torna-se amarelado, contrastando com a coloração avermelhada dos basaltos toleióticos. A estrutura é xistosa e laminada, ou maciça e fraturada no serpentinito. São serpentinito com textura cumulus (pranchas 2/7 e 2/8), (serpentina)-(clorita)-(tremolita)-(carbonato)-talco xisto e tremolita talco xisto com antofilita.

**Metabasalto komatiítico** - Ocorre intercalado entre os derrames de basalto toleiótico dos quais praticamente não se distinguem no campo, a não ser por rara estrutura spinifex como a sudoeste de Caeté (Schranck et al. 1993). Caracteriza-se pela presença maciça de tremolita, enquanto que a actinolita é mais comum nos basaltos toleióticos. Metamorficamente é um epidoto-clorita-tremolita/actinolita xisto. Quimicamente é mais rico em MgO e mais pobre em Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> total e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, comparado aos basaltos toleióticos



**Metatufo máfico** - entre os derrames basálticos ocorrem raras lentes delgadas de metalapilli-tufo máfico. São interflows piroclásticos de rochas xistosas, laminadas, de cor verde escura e granulação fina. São caracterizadas por matriz de granulação fina, na qual se inserem fragmentos de rocha vulcânica de composição andesítica com actinolita, clorita, titanita, prismas ou aglomerados de plagioclásio e quartzo granoblástico que se mostram fraturados. O quartzo granoblástico preenche fraturas e espaços intersticiais. A matriz é constituída principalmente dos minerais máficos actinolita, epidoto, opaco e titanita. Os félsicos, em proporções menores, constituem aglomerados de plagioclásio e raro quartzo. Esses aglomerados parecem constituir fragmentos de rocha de textura glomeroporfirítica, típica de rochas ígneas.

**Metavulcânica ácida** - ocorre intercalada nos metabasaltos, com espessuras que variam de poucos centímetros a dezenas de metros. Tem cor branca e branca acinzentada e amarela esbranquiçada quando intemperizada. A estrutura é xistosa, laminada e porfiroclástica com porfiroclastos de quartzo branco azulado, vítreo, envolvidos por matriz micácea milonítica. Metamorficamente são quartzo-mica xisto e muscovita-quartzo xisto, por vezes, com textura milonítica e porfiroclastos de quartzo azulado com golfos de corrosão.

**Metachert e formação ferrífera bandada** - ocorrem de forma muito subordinada. As formações ferríferas bandadas têm mesobandas de espessuras centimétricas de quartzo e de martita/magnetita. Carbonato pode estar presente, mas em geral, em superfície, está totalmente lixiviado o que dá um aspecto terroso friável à rocha. No campo, quase sempre, distinguem-se pelo magnetismo acentuado. O *metachert*, carbonático ou não, tem estrutura maciça com cristais de quartzo equigranulares e em arranjo poligonal. Pode conter cristais de turmalina e finos níveis irregulares de martita/magnetita. Quando esses níveis aumentam de espessura, a rocha passa a uma formação ferrífera bandada. Em geral, os cristais de martita preservam a forma original da magnetita e

contêm núcleos de magnetita preservados. Por vezes, a martita aparece apenas em planos de cristalização da magnetita.

**Xisto carbonoso** - constitui raros níveis de cor negra, às vezes untuoso ao tato, tingindo as mãos ao ser tocado. São metapelitos carbonosos caracterizados, principalmente, pela presença de clorita, sericita, material carbonoso e quartzo, freqüentemente de baixa resolução microscópica.

## COMPLEXO CÓRREGO DOS BOIADEIROS

Um conjunto de rochas ultramáficas foi reconhecido por Gair (1962) como constituindo soleiras e diques intrusivos em rochas da porção inferior do Grupo Nova Lima. Drake, Jr. & Morgan (1968) definiram serpentinito, talco xisto e metagabro como fragmentos de uma seqüência ofiolítica do Grupo Nova Lima. Padilha (1984) propôs a denominação Formação Córrego dos Boiadeiros, para reunir rochas metavulcânicas komatiíticas com posicionamento na base deste grupo. Costa et al. (1992) posicionaram estes litótipos ultramáficos na categoria de Complexo Córrego dos Boiadeiros. No presente trabalho as rochas metavulcânicas máficas e metassedimentares químicas associadas foram excluídas do agrupamento ultramáfico e colocadas na Unidade Ouro Fino, mantendo-se a categoria de complexo.

O Complexo Córrego dos Boiadeiros é um sill máfico-ultramáfico, com meta leucogabros no topo e metadunitos (serpentinitos) na base, intrusivo nas rochas da Unidade Ouro Fino, exposto nas quadriculas Rio Acima e São Sebastião das Águas Claras.

**Serpentinitos** - apresentam cores verde escura a verde clara e cinza esverdeada. Quando intemperizados adquirem cores verde clara, marrom avermelhada ou castanha. Possuem brilho ceroso, granulação fina e estrutura maciça ou fibrosa. Mostram faixas intensamente cisalhadas e porções praticamente indeformadas, como no afloramento próximo à mina da Integral. A serpentina (antigorita) ocorre em cristais fibro-lamelares, orientados apenas localmente. Pseudomorfos de olivina mostram-se como agregados serpentínicos com contorno

## PRANCHA 1

### UNIDADE QUEBRA OSSO

1- Serpentinito, com pseudomorfos de olivina, Unidade Quebra Osso, Grupo Nova Lima (amostra de mão).

Local: Estação 1050-RM-538,

UTM: 662465-07784383

2- Serpentina-tremolita xisto, com estrutura cumulática, Unidade Quebra Osso, Grupo Nova Lima (amostra de mão).

Local: Estação 1050-RM-494

UTM: 661180-07784812

3- Brecha vulcânica em metaultramáfica, Unidade Quebra Osso, Grupo Nova Lima.

Local: Estação 1050-RM-500

UTM: 661761-07783821



arredondado e circundados por clorita. Outros constituintes são iddingsita, produto de alteração de olivina e/ou piroxênio, e magnetita xenomórfica ou octaédrica. São rochas de filiação komatiítica e provável composição dunítica/peridotítica.

**Metagabros** - são cinza esverdeados, com estrutura maciça e granulação média a grossa, constituídos de hornblenda, plagioclásio, actinolita, albita, clinozoisita, zoisita, esfero, quartzo e carbonato. As análises químicas mostram composições correspondentes às dos basaltos toleiíticos de baixo K.

**Talco xistos** - têm distribuição restrita, com cores parda amarelada a cinza esverdeada. Apresentam superfícies irregulares com cavidades de dissolução preenchidas por limonita.

## UNIDADE MORRO VERMELHO

Ocorre nas quadrículas Serra da Piedade, Caeté, Rio Acima, São Sebastião das Águas Claras, Nova Lima, Santa Luzia, Gandarela e Gongo Soco. Sua seção tipo é nos arredores da localidade de Morro Vermelho, nas estradas para as fazendas Geriza e Correia, por trechos de 2km e 1,5km, respectivamente.

Caracteriza-se pela presença abundante de formações ferríferas bandadas e de *metachert*, intercalados ou não com metabasaltos toleiítico e komatiítico e filito carbonoso. Em proporções subordinadas ocorrem metaepiclásticas finas e metavulcânicas de provável composição intermediária.

Uma de suas melhores exposições ocorre no leito do ribeirão dos Macacos, próximo à estrada asfaltada que liga Nova Lima a Rio Acima. Aí, observa-se uma alternância rítmica de derrames de metabasalto toleiítico e komatiítico com leitões de *metachert* e formação ferrífera (prancha 3/3) com espessuras que variam desde poucos centímetros até metros, o que evidencia a contemporaneidade desses litótipos. Em outros locais, as formações ferríferas e *metachert* aparecem intercalados com níveis de filito carbonoso com sericita, clorita, quartzo e matéria carbonosa que lhe dá a

cor negra característica. Esses níveis, como os de formação ferrífera, têm espessuras centimétricas a métricas.

**Metavulcânicas básicas e intermediárias** - Os basaltos estão transformados em (clorita)-(epidoto)-tremolita/actinolita xisto, epidoto-actinolita xisto, (quartzo)-(carbonato)-(plagioclásio)-(epidoto)-(actinolita)-clorita xisto e clorita-plagioclásio xisto. As rochas interpretadas como vulcânica intermediária (prancha 3/4) ou metandesito são carbonato-plagioclásio xisto e quartzo-epidoto-clorita xisto com titanita.

**Sedimentos epiclásticos** - são quartzo-clorita-mica xisto e mica xisto de fonte vulcanogênica.

**Formações ferríferas** - têm micro e mesobandas de quartzo recristalizado em mosaico, alternadas com micro e mesobandas de opacos, caracterizados principalmente como magnetita total a parcialmente martitizada e sulfetos. Ocorrem também bandas de carbonato identificado, quase sempre, como siderita com ankerita subordinada (Raposo 1996). As colorações claras e escuras das bandas são definidas pelo menor ou maior predomínio desses máficos sobre os cristais de quartzo. Além desses minerais, a clorita pode estar presente em proporções que chegam a ultrapassar às de quartzo. Pranchas 3/1 e 3/2.

**Metachert** - distingue-se pelo franco predomínio de quartzo e, geralmente, pela ausência de micro e mesobandamentos.

A Unidade Ouro Fino grada verticalmente para esta unidade com o predomínio das formações ferríferas sobre os leitões de basalto. Os contatos com as rochas das unidades clásticas e vulcanoclásticas superiores são por conformidade ou tectônicos, representados por deslizamentos interestratais devido ao comportamento reológico diferenciado ou por falhas de empurrão.

## UNIDADE SANTA QUITÉRIA

Aflora nas quadrículas Santa Bárbara, Conceição do Rio Acima, Capanema, Rio de Pedras, Catas Altas e Gongo Soco. A denominação provém da mina de Santa Quitéria, área-tipo localizada na região central da quadrícula

Santa Bárbara. Aflora em duas faixas de direção NE-SW, acompanhando paralelamente o curso do rio Conceição.

Caracteriza-se pela alternância de metassedimentos clásticos finos (metapelitos) e metassedimentos químicos (formações ferríferas e *metacherts*). Diferencia-se da Unidade Morro Vermelho pela ausência de rochas metavulcânicas. As rochas estão geralmente meteorizadas e com colorações variegadas.

**Metapelitos** - são xistos, em geral interpretados como metassedimentos clásticos finos, com alguma contribuição química, depositados em fundo oceânico, metamorfizados na fácies xisto verde (prancha 3/7). Essas rochas formam bandas de espessuras milimétricas a decimétricas, intercaladas, normalmente, com níveis de filito carbonoso cinza escuro de espessuras variadas. São mica-quartzo xisto, clorita-quartzo xisto, sericita-clorita-quartzo xisto, clorita xisto, clorita-sericita-quartzo-(carbonato) xisto e quartzo-sericita-biotita xisto. Têm colorações marrom, vermelha, roxa, cinza, verde clara, rosa e creme. A granulação varia desde areia muito fina até siltico-argilosa (metapelitos bandados). Localmente, apresentam carbonatação e pontuações milimétricas de pirita limonitizada, às vezes euédrica.

**Formações ferríferas bandadas** - são magnéticas (fácies óxido), em cujas proximidades a ocorrência dos níveis de filito carbonoso (prancha 3/5) aumenta substancialmente, ao lado de filmes de *metachert* sacaróide. Os corpos de formação ferrífera bandada (prancha 3/6), com extensões visíveis entre 4m e 100m, são formados pelas intercalações de níveis de espessuras centimétricas a decimétricas de óxido de ferro (hematita-magnetita), de clorita-quartzo xisto avermelhado e filmes de *metachert* sacaróide. Formação ferrífera maciça também aparece, a exemplo do afloramento localizado nas margens do rio Conceição, próximo ao lugarejo Vigário da Vara, onde é fortemente magnética, com domínio de hematita-magnetita e esparsos filmes de *metachert*.

Os contatos dessa unidade com a Unidade Ouro Fino, nas folhas Rio de Pedras, Catas Altas e Capanema, são por conformidade e com as unidades Mindá e Córrego de Sítio são por falha de empurrão ou transicionais, com o desaparecimento gradativo das formações ferríferas e predomínio dos sedimentos clásticos. Com a Unidade Córrego do Engenho (Grupo Maquiné) é normal, por conformidade ou transicional e com Unidade Quebra Osso é por falha de empurrão.

## UNIDADE RIBEIRÃO VERMELHO

Aflora nas quadriculas Serra da Piedade e Caeté, e sua denominação deve-se ao fato das melhores exposições ocorrerem ao longo do ribeirão Vermelho (quadricula Serra da Piedade).

É constituída de corpos lenticulares descontínuos de rochas metavulcano-clásticas félsicas, que contêm delgadas intercalações de rochas metassedimentares de natureza psamítica e pelítica (metagrauvasas feldspáticas e *metaquartzwacke*).

As rochas metapiroclásticas (aglomerados, *lapilli* tufos, tufos) predominam sobre as metassedimentares caracterizadas como metagrauvasas e metapelitos; ocorrem raros metandesitos. Os metaglomerados apresentam uma matriz formada por fragmentos de cristais com composição dacítica, e fragmentos líticos com composições dacítica, andesítica e basáltica (pranchas 4/1 e 4/2). Os metatufos (muscovita-quartzo-plagioclásio xisto) apresentam composição dacítica, com fragmentos de plagioclásio e quartzo (prancha 4/3). As metagrauvasas feldspáticas (plagioclásio-muscovita-quartzo xisto) têm granulação fina, textura lepidogranoblástica e clastos de quartzo e plagioclásio. Os *metaquartzwacke* caracterizam-se por clastos de quartzo e feldspato raro ou ausente. Os metapelitos são clorita-mica xistos de granulação fina e textura lepidoblástica. Os metandesitos preservam a textura porfirítica, com matriz felsítica e fenocristais de plagioclásio.

## PRANCHA 2

### UNIDADE OURO FINO

1 - Metabasalto amigdaloidal com estruturas pillow, Unidade Ouro Fino, pillow, Unidade Ouro Fino, Grupo Nova Lima.  
Local: Estação 1050-RM-581.  
UTM: 645920-07774570

2 - Metabasalto com estrutura pillow, Unidade Ouro Fino, Grupo Nova Lima.  
Local: Estação 1050-RM-581.  
UTM: 645920-07774570

3 - Metabasalto da Unidade Ouro Fino, Grupo Nova Lima. Detalhe de uma pillow com variolas e amígdalas estiradas por deformação.  
Local: Estação 1050-RM-581.  
UTM: 645920-07774570

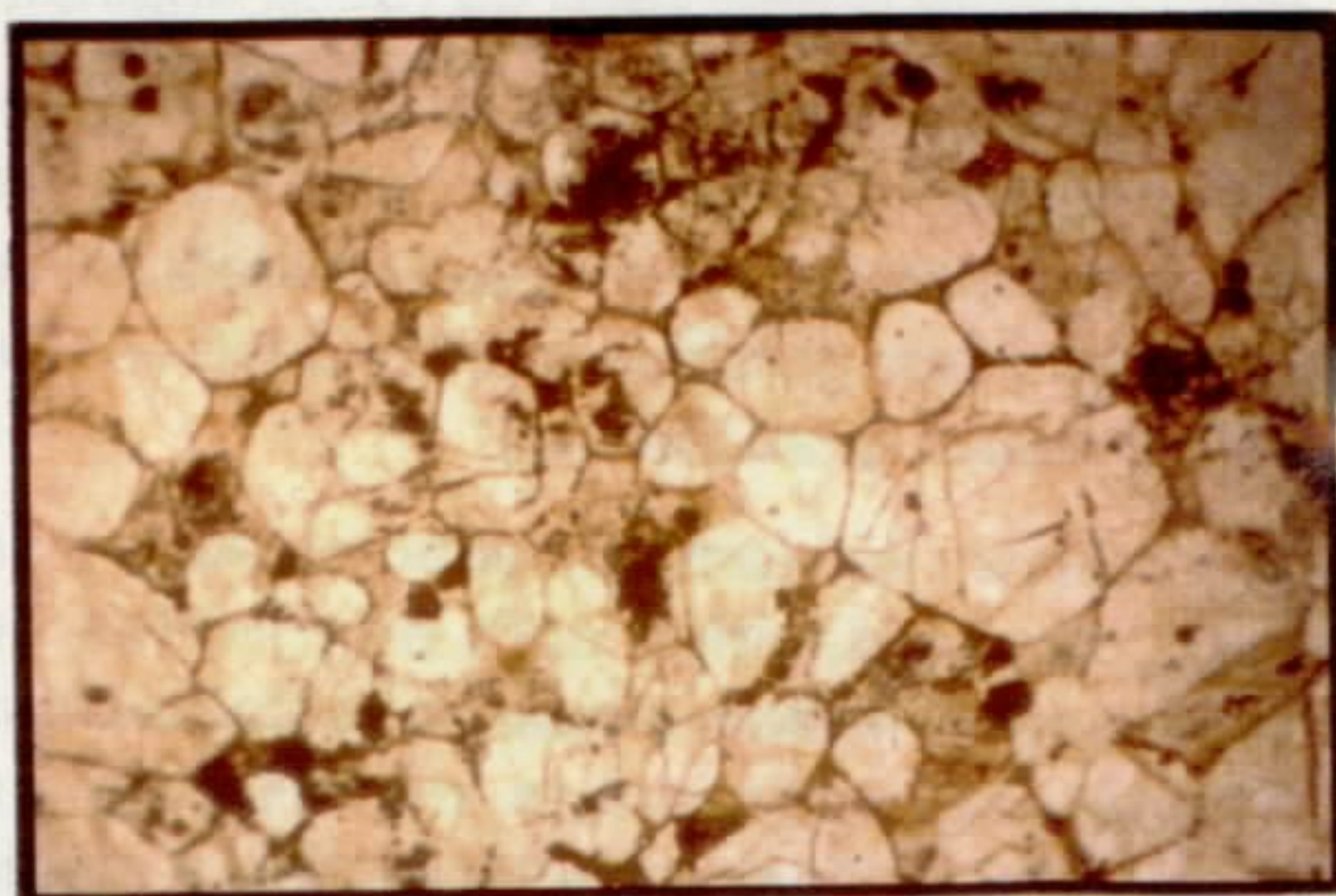
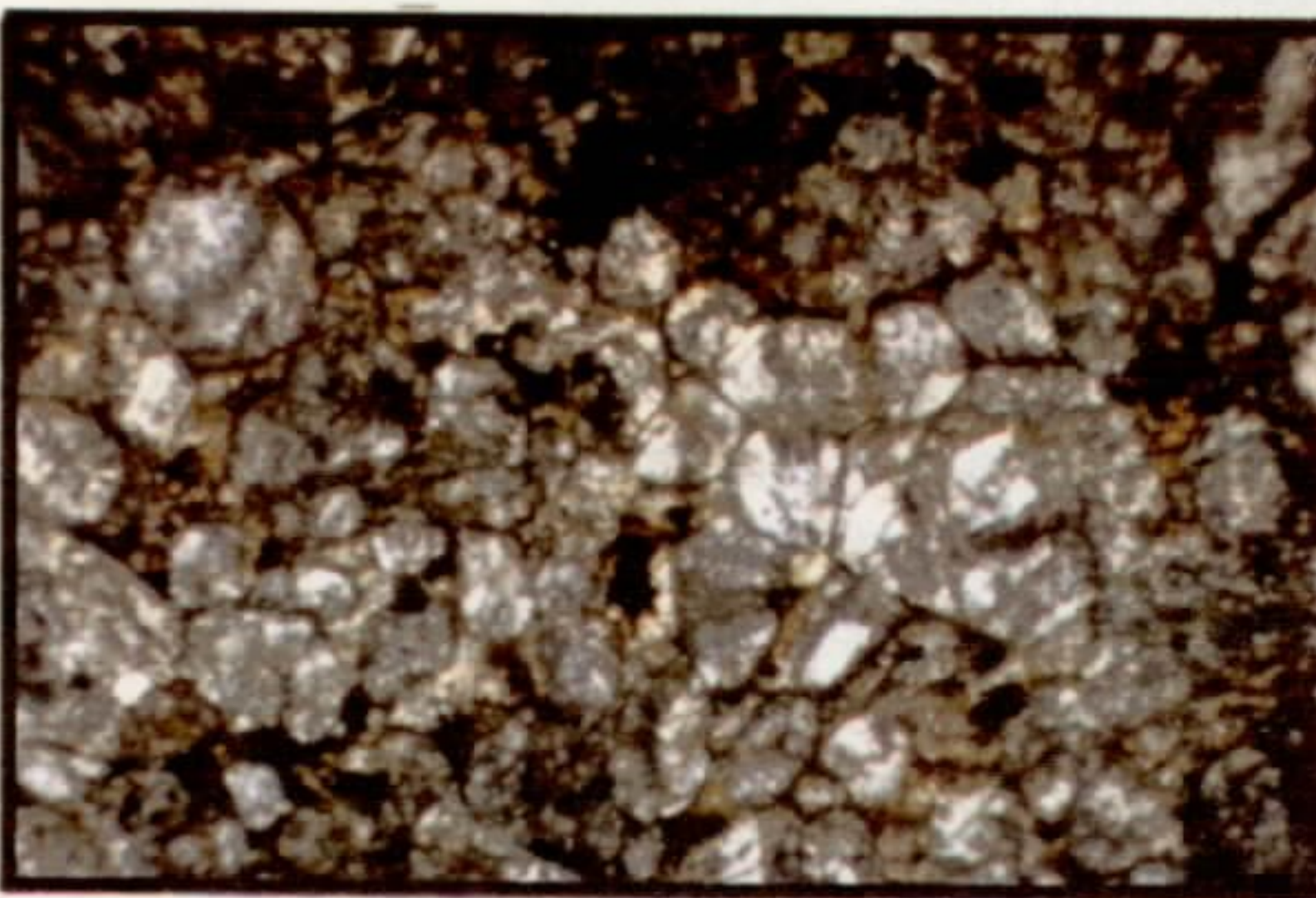
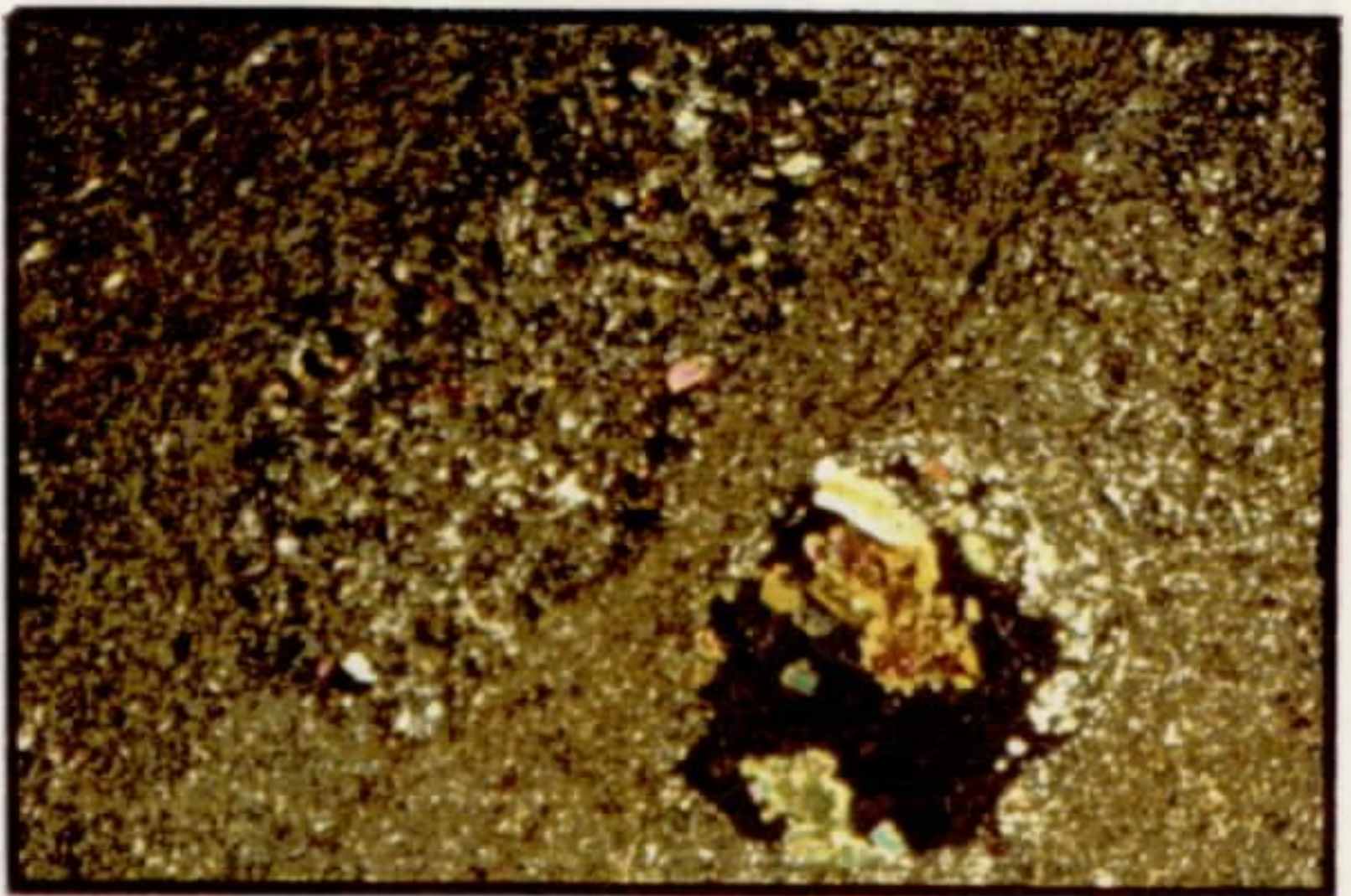
4 - Metabasalto com estruturas pillow deformadas, Unidade Ouro Fino, Grupo Nova Lima.  
Local: Estação 1050-SS-92.  
UTM: 638515-07803075

5 - Metabasalto amigdaloidal da Unidade Ouro Fino, Grupo Nova Lima (amostra de mão).  
Local: Estação 1050-SS-250.  
UTM: 671130-07797865

6 - Fotomicrografia de metabasalto amigdaloidal e variolítico da Unidade Ouro Fino, Grupo Nova Lima (nicóis cruzados, aumento aproximado de 50x).  
Local: Estação 1050-RM-502.  
UTM: 645920-07775758

7 - Pseudomorfos de serpentina sobre cristais de olivina (textura cumulus) em serpentinito da Unidade Ouro Fino, Grupo Nova Lima (nicóis cruzados, aumento aproximado de 50x).  
Local: Estação 1050-RM-35.  
UTM: 638480-07797075

8 - Pseudomorfos de serpentina sobre cristais de olivina (textura cumulus) em serpentinito da Unidade Ouro Fino, Grupo Nova Lima (nicóis paralelos, aumento aproximado de 50x).  
Local: Estação 1050-RM-35.  
UTM: 638480-07797075



## UNIDADE MESTRE CAETANO

Caracteriza-se por um predomínio de metagrauvacas vulcanogênicas, com intercalações subordinadas de metatufos, metapelitos e raras ocorrências de formação ferrífera quartzosa, xisto carbonático vulcanogênico (Lapa Seca), metaconglomerado e metandesito. Ocorre nas quadriculas Serra da Piedade, Santa Luzia, Belo Horizonte, Nova Lima, São Sebastião das Águas Claras, Rio Acima e Gandarela. As melhores exposições localizam-se na Estrada de Ferro Central do Brasil (EFCB), Ramal Sabará - Caeté, entre a estação Mestre Caetano e o povoado de Pompéu. Litologicamente corresponde a uma transição entre a Unidade Ribeirão Vermelho, vulcanoclástica, e as unidades Córrego do Sítio e Mindá, sedimentares.

As rochas que constituem esta unidade são plagioclásio-sericita-clorita-quartzo xisto (grauvaca feldspática), quartzo-sericita-clorita xisto (*quartzwacke*), plagioclásio-clorita-quartzo xisto, epidoto-mica-quartzo-plagioclásio xisto e quartzo-mica-plagioclásio xisto (metatufos), sericita-quartzo-clorita xisto (siltito arenoso), carbonato-quartzo-mica xisto (siltito) e xisto carbonoso.

**Metagrauvaca feldspática** - apresenta epiclastos de plagioclásio e quartzo imersos numa matriz quartzo-filossilicática, ocorrendo, também, fragmentos líticos de *metachert* e rocha vulcânica. Têm granulação fina a média e textura granolepidoblástica (prancha 4/4).

**Metaquartzwacke** - os grãos de plagioclásio são raros ou ausentes, ocorrendo quartzo lenticular a irregular como arcabouço parcialmente preservado da rocha original.

**Siltitos e siltitos arenosos** - ocorrem em menor proporção que os litótipos anteriores e têm granulação fina e textura lepidoblástica, com pequenos grãos de quartzo destacando-se da matriz (prancha 4/5).

**Metatufos** - são também subordinados e de composição dacítica com fragmentos de cristais (plagioclásio e quartzo) e fragmentos líticos (agrupamentos de cristais de plagioclásio). Têm granulação fina a média e textura lepidogranoblástica.

Nas porções central e norte da unidade (quadriculas Rio Acima e Nova Lima), os contatos com as unidades Ouro Fino, Mestre Caetano, Mindá e Córrego do Sítio são por falhas de empurrão. Na porção central, o contato com as rochas da Unidade Córrego do Sítio não foi observado. Na parte oriental da quadricula Rio Acima, os metassedimentos de Grupo Maquiné estão sobrepostos à Unidade Mestre Caetano por falha de empurrão.

## UNIDADE CÓRREGO DO SÍTIO

A denominação provém da mina homônima, área-tipo, que se localiza no alto curso do córrego do Sítio, município de Santa Bárbara, nordeste da quadricula Conceição do Rio Acima. É uma das unidades do Grupo Nova Lima mais amplamente distribuídas no Quadrilátero Ferrífero. Não foi reconhecida nas quadriculas Cachoeira do Campo, Mariana, Dom Bosco, São Julião, Bação e Santa Rita Durão.

Constitui-se de metapelitos bandados com lentes subordinadas de metapsamitos, além de delgados níveis de xisto carbonoso e formação ferrífera bandada. Exibe bandas centimétricas a decimétricas que caracterizam ciclos deposicionais granodecrescentes em seqüências rítmicas de até 1m de espessura. A granulação varia desde média, nas porções basais quartzosas dos ciclos, até fina nas fácies micáceas superiores, caracterizando uma natureza sedimentar com deposição por correntes de turbidez em ambiente marinho (prancha 5/1). É constante a presença de níveis delgados de xisto carbonoso, com espessuras variadas, intercalados na seqüência. Zonas de alteração hidrotermal ocorrem nas interfaces entre um ciclo deposicional e outro, especialmente na mina Córrego do Sítio, onde se observam diversas zonas com silicificação, carbonatação e sulfetação. Dentre as feições primárias reconhecidas, destacam-se a alternância de metapelitos e metapsamitos (prancha 5/2) com acamamento gradacional e, na área-tipo, estratificações plano-paralelas e cruzadas, feições estas compatíveis com aquelas dos modelos propostos para as seqüências turbidíticas. Em amostras frescas de testemunho de sondagem, as rochas



foram classificadas como quartzo-carbonato-mica-clorita xisto, quartzo-mica-carbonato xisto, carbonato-quartzo-mica-clorita xisto, carbonato-mica-quartzo xisto, com intercalações de filito carbonoso. Esses litótipos resultaram do metamorfismo de grau vacas, *quartzwackes*, arenitos e pelitos na fácies xisto verde. A composição mineralógica predominante é clorita, mica branca e quartzo. Os acessórios são opaco, rutilo e zircão. Possuem texturas lepidoblástica e granolepidoblástica finas. Por vezes, o xisto carbonoso mostra um bandamento milimétrico, onde se intercalam bandas quartzosas e micáceas. Algumas amostras têm até 90% de clorita e são interpretadas como produtos de alteração metamórfica-hidrotermal.

A Unidade Córrego do Sítio está intimamente associada com as unidades Mindá e Santa Quitéria, principalmente nas imediações de Santa Bárbara (extremo NE do Quadrilátero Ferrífero). Aí, o contato com a primeira é transicional, enquanto que com a segunda não foi observado. No restante do Quadrilátero Ferrífero, os contatos com os metassedimentos do Grupo Maquiné e com as demais unidades do Grupo Nova Lima, onde observados, se fazem por falha de empurrão.

### UNIDADE MINDÁ

Aflora nas quadrículas Santa Bárbara, Conceição do Rio Acima, Capanema, Rio de Pedras, Caeté, Nova Lima, Gandarela, Florália e São Gonçalo do Rio Abaixo. A área-tipo situa-se na localidade de Campo do Mindá, ao norte da represa Peti, município de São Gonçalo do Rio Abaixo, na porção nordeste da quadrícula Santa Bárbara. Boas exposições aparecem a sudeste da primeira ponte da localidade Vigário da Vara, em escharpa com dezenas de metros de extensão por dezenas de metros de altura.

Caracteriza-se pela intercalação de metapsamitos e metapelitos, com predomínio dos primeiros. Subordinadamente, associam-se delgados níveis de xisto carbonoso e formação ferrífera bandada. Em Vigário da Vara aflora um mica-quartzo xisto acinzentado, de granulação fina a média. Na estrada da fazenda Paiol para a serra do Caraça

(quadrícula Conceição do Rio Acima), observam-se ciclos deposicionais granodrecrescentes de metarenitos-metassiltitos - metargilitos com dimensões centimétricas, em posições normal e invertida, que caracterizam deposições sedimentares por correntes de turbidez em ambiente marinho.

Essas metagrauvas, metarenitos e metapelitos são classificadas como (plagioclásio)-(clorita)-mica-quartzo xisto, sericita-muscovita-quartzo xisto e quartzo-(clorita)-mica xisto, com textura lepidogranoblástica fina. Apresentam um bandamento metamórfico, marcado pela alternância de níveis filossilicáticos com níveis quartzosos. Esse bandamento está microdobrado e, por vezes, rompido por uma foliação posterior, plano axial com realinhamento das palhetas de clorita. A unidade é caracterizada ainda pelo bandamento composicional, acamamento gradacional, presença de muscovita em agregados centimétricos, grande quantidade de quartzo de segregação, escassez de estruturas sedimentares e assinatura geofísica, com enriquecimento de urânio e tório similares aos valores apontados para o granito Peti, com o qual faz contato.

O contato com a Unidade Córrego do Sítio é transicional, delineado pelo predomínio dos litótipos de uma unidade sobre os da outra. Nas quadrículas Nova Lima e Caeté o contato com a Unidade Rio de Pedras da Formação Palmital (Grupo Maquiné) é transicional. Em outros locais é por falha de empurrão com metassedimentos do Grupo Maquiné e com os litótipos da Unidade Mestre Caetano (Grupo Nova Lima). Na quadrícula Caeté, a Unidade Ribeirão Vermelho está superposta tectonicamente à Unidade Mindá.

### UNIDADE CATARINA MENDES

A área-tipo localiza-se na antiga pedreira Catarina Mendes (prancha 5/5), quadrícula São Bartolomeu e aflora nas quadrículas Mariana, Rio de Pedras, Itabirito, Bação, Barra do Gentio, São Julião, Cachoeira do Campo e Dom Bosco, contornando o Domo de Bação. As melhores exposições encontram-se na ferrovia EFVM e na pedreira Catarina Mendes (quadrícula São Bartolomeu); nas

### PRANCHA 3

#### UNIDADE MORRO VERMELHO

1 Formação ferrífera bandada, dobrada, da Unidade Morro Vermelho, Grupo Nova Lima.  
Local: Estação 1050-WL-61.  
UTM: 622200-07784640

2 Formação ferrífera bandada, dobrada, da Unidade Morro Vermelho, Grupo Nova Lima.  
Local: Estação 1050-WL61.  
UTM: 622200-07784640

3 Formação ferrífera bandada, com metabasalto toleítico intercalado, da Unidade Morro Vermelho, Grupo Nova Lima.  
Local: Estação 1050-WL-61.  
UTM: 622200-07784640

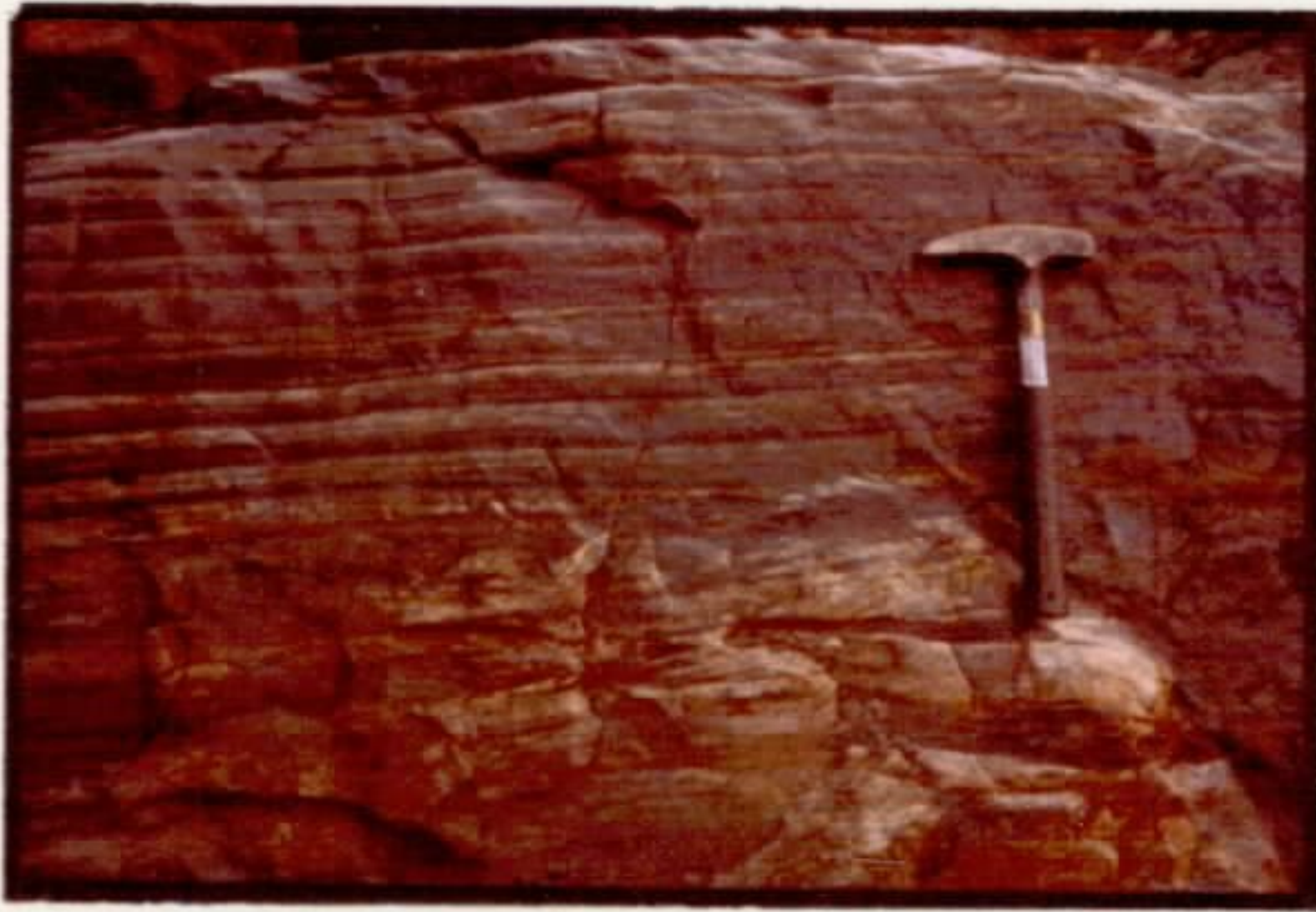
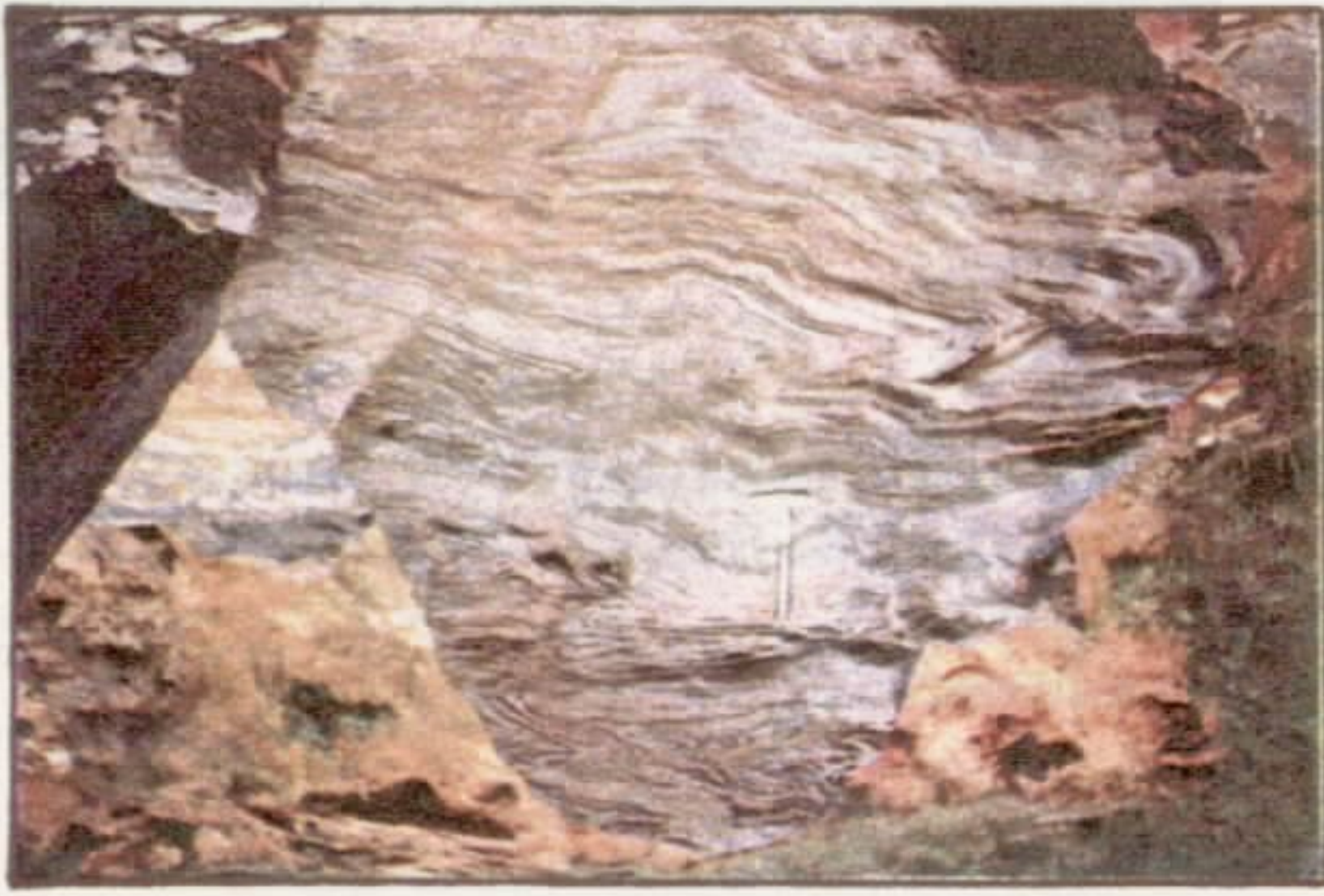
4 Metatufo félsico da Unidade Morro Vermelho, Grupo Nova Lima (amostra de mão).  
Local: Estação-1050-SS-93.  
UTM: 638290-07803125

#### UNIDADE SANTA QUITÉRIA

5 Aspecto bandado das intercalações formação ferrífera/pelito carbonoso, característicos da Unidade Santa Quitéria, Grupo Nova Lima.  
Local: Estação 1050-SS-288A.  
UTM: 661055-07793450

6 Formação ferrífera bandada, Unidade Santa Quitéria, Grupo Nova Lima.  
Notar dobra intrafolial rompida.  
Local: Estação 1050-SS-288.  
UTM: 660990-07793490

7 Intercalações entre formação ferrífera bandada e xisto carbonoso, Unidade Santa Quitéria, Grupo Nova Lima.  
Local: Estação 1050-SS-288.  
UTM: 660990-07793490



**PRANCHA 4**

**UNIDADE RIBEIRÃO VERMELHO**

1 Metaglomerado vulcânico de composição dacítica da Unidade Ribeirão Vermelho, Grupo Nova Lima.  
Local: Estação 1050-SS-63.  
UTM:

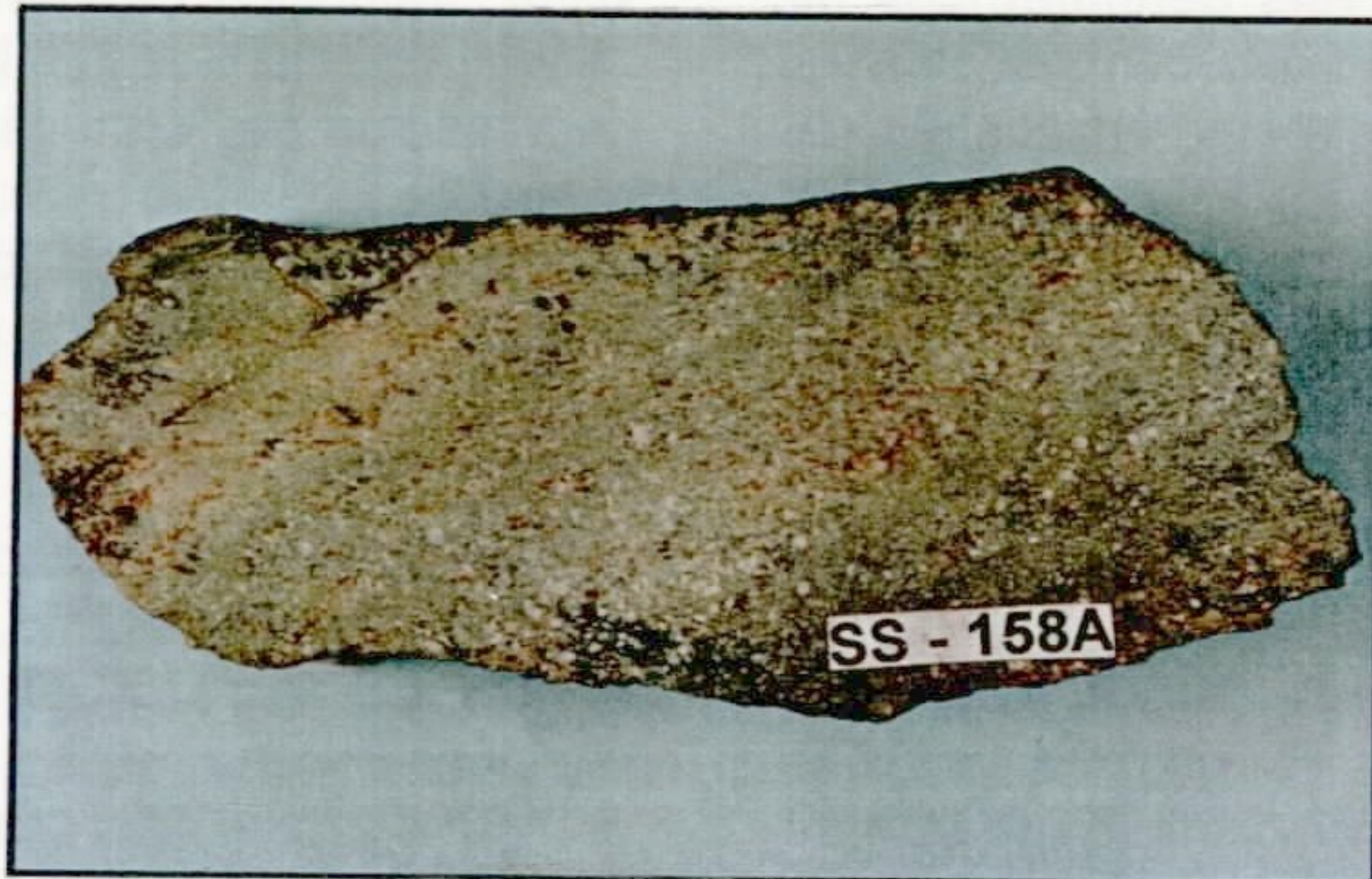
2 Metaglomerado vulcânico de composição dacítica da Unidade Ribeirão Vermelho, Grupo Nova Lima.  
Local: Estação-1050-SS-63.  
UTM:

3 Metatufo bandado de composição dacítica da Unidade Ribeirão Vermelho, Grupo Nova Lima.  
Local: Estação 1050-SS-158.  
UTM: 637140-07802790

**UNIDADE MESTRE CAETANO**

4 Metaturbidito bandado da Unidade Mestre Caetano, Grupo Nova Lima (amostra de mão).  
Local: Estação 1050-SS-50.  
UTM:

5 Metapelito bandado e dobrado com níveis de xisto carbonoso da Unidade Mestre Caetano, Grupo Nova Lima (amostra de mão).  
Local: Estação 1050-HR-278A.  
UTM: 617645-07790425



proximidades de Acuruí e ao longo da estrada entre a represa do rio de Pedras e rio Acima (quadrícula rio de Pedras); ao longo da estrada de ferro da RFFSA e em cortes da Ferrovia do Aço (quadrícula Itabirito); em cortes na estrada de ferro Ouro Preto - Mariana (RFFSA), em trecho do vale do córrego Taquaral e em lajedos no rio das Velhas e seu afluente córrego Olaria (quadrícula Mariana).

Constitui-se de metagrauvacas homogêneas com freqüentes níveis centimétricos de rochas calcissilicáticas e, subordinadamente, turmalinito, níveis de metagrauvaca félsica, lentes de metaparaconglomerado, tremolita xisto e metarenitos impuros. O conjunto é interpretado como uma seqüência turbidítica proximal em relação à fonte, depositada em ambiente marinho.

**Metagrauvacas** - têm cores cinza escura a cinza esverdeada e são constituídas de quartzo, feldspato, biotita, clorita e, localmente, cianita, estauroлита, grafita, granada e anfibólio. Desenvolvem um discreto bandamento composicional marcado por níveis de metagrauvaca, metarenito feldspático (prancha 6/2), metarenito impuro (prancha 6/3) e metargilito, localmente margoso. Essas bandas se apresentam como intercalações rítmicas, centimétricas, de granulação grossa nas porções basais (mais quartzosas) e muito fina nas porções superiores (mais argilosas), em uma sucessão de ciclos geralmente granodecrescentes com contatos abruptos na base. Além da estratificação gradacional, foram observadas estratificações horizontal plano-paralela milimétrica a centimétrica, cruzadas de pequeno porte (prancha 5/6) e estrutura de corte e preenchimento de canal (prancha 6/1). São sedimentos clásticos com contribuição vulcanogênica evidenciada por quartzo de alta temperatura, em grãos cinza azulados, e feldspatos com hábito prismático e maclas polissintética e Albita-Carlsbad. O metamorfismo é da fácies anfíbolito (presença de estauroлита, biotita titanífera e granada) com retro-metamorfismo na fácies xisto verde. Correspondem a carbonato-clorita-biotita-plagioclásio-quartzo xisto, sericita-biotita-clorita-quartzo xisto, quartzo-clorita xisto,

granada-biotita-quartzo xisto e clorita-biotita-plagioclásio-quartzo xisto com cianita, estauroлита e granada.

**Litótipos subordinados** - ocorrem níveis de metagrauvaca félsica (biotita-clorita-sericita-plagioclásio-quartzo xisto) de granulação fina a grossa; metaparaconglomerado (prancha 5/3) com seixos de metadacito, quartzo de veio e trondhjemito (prancha 5/4) em matriz quartzosa (sedimento de *canyon* submarino); metarenito impuro (clorita-biotita-quartzo xisto); tremolitito (antofilita-clorita-tremolita xisto). Associam-se também níveis pouco expressivos de formação ferrífera pouco magnética, fácies carbonato; níveis centimétricos de rocha calcissilicática (metamarga), composta de quartzo, anfibólio, biotita, granada e epidoto; e raros níveis de turmalinito.

Os contatos com a Unidade Córrego do Sítio são por falha de empurrão, bem como com as rochas do Supergrupo Minas. Com as unidades Fazenda Velha, Córrego da Paina e Pau d'Óleo são transicionais com passagem gradativa ao predomínio de seus litótipos típicos. Com o Complexo de Bação, são tectônicos mas de difícil verificação devido ao grande aporte de álcalis para as rochas do Supergrupo Rio das Velhas, milonitizadas junto ao contato. Observam-se, aí, uma série de diques pegmatóides concordantes e discordantes da foliação principal.

## UNIDADE PAU D'ÓLEO

A área-tipo situa-se na serra de mesmo nome, porção central da quadrícula Itabirito. Boas exposições também são encontradas no leito dos córregos Campestre (oeste da Ferrovia do Aço) e Luzia dos Santos e em cortes da Ferrovia do Aço.

Constitui-se de uma seqüência arenosa predominantemente carbonática, provavelmente depositada em ambiente marinho raso, fácies planície de maré.

Petrograficamente, são (plagioclásio)-carbonato-quartzo-mica xisto e sericita-carbonato-plagioclásio-quartzo xisto, com textura lepidoblástica e metamorfismo de fácies xisto verde. Apresenta um bandamento

composicional caracterizado por maior concentração de sericita, muscovita e clorita que se alterna com bandas enriquecidas em quartzo, feldspato e carbonato. Esse bandamento corresponde a ciclos marcados por níveis de metassiltito, metarenito e metagrauvaca, que geraram xistos com variação composicional alternada.

O contato com a Unidade Catarina Mendes é localmente transicional, e por falha de empurrão com as rochas do Supergrupo Minas.

### UNIDADE FAZENDA VELHA

A área-tipo situa-se na porção centro-noroeste da quadrícula Itabirito, próximo à fazenda de mesmo nome, em cortes da Ferrovia do Aço. Boas exposições são observadas ao longo da MG-030 e da estrada de ferro da RFFSA, entre os túneis Bem-te-vi e Capivara. Na quadrícula São Bartolomeu, os melhores afloramentos estão no córrego do Freixo e nas cabeceiras do córrego Areão. Na quadrícula Rio de Pedras, aflora ao longo do córrego do Buraco.

Constitui-se de sucessões de metapsamitos e metapelitos, com lentes de rocha calcissilicática e finos níveis de metargilito carbonoso. Diferencia-se da Unidade Córrego da Paina pela dominância dos litótipos arenosos sobre os pelíticos e da Unidade Catarina Mendes pelas menores proporções de grauvaca e rochas calcissilicáticas. Representa uma seqüência arenosa proximal, depositada em ambiente marinho por correntes de turbidez. Seus litótipos apresentam predomínio da fração arenosa e têm cores cinza esverdeada a esbranquiçada e cinza escura. São seqüências de metagrauvaca (prancha 6/4), metagrauvaca feldspática, *metaquartzwacke*, metarenito feldspático e finos níveis de metargilito carbonoso. Distribuem-se em ciclos granodecrescentes com espessuras centimétricas a métricas, cujos contatos bruscos terminam em xisto carbonoso. Constituem-se de (plagioclásio)-clorita-quartzo xistos, sericita-(plagioclásio)-biotita-clorita-quartzo xistos e biotita-plagioclásio-quartzo-mica xistos com texturas granolepidoblástica, lepidogranoblástica e granonematoblástica. A composição mineral é quartzo, mica branca,

clorita, biotita, plagioclásio e, esporadicamente, granada e estauroлита. O metamorfismo atingiu a fácies anfibolito com retrometamorfismo na fácies xisto verde. A granulação varia de média a fina. As estruturas primárias preservadas são os ciclos granodecrescentes e as estratificações cruzadas tabular e acanalada.

O contato com a Unidade Catarina Mendes é transicional, e com a Unidade Córrego do Sítio se dá por falha de empurrão.

### UNIDADE CÓRREGO DA PAINA

Suas áreas-tipo situam-se no córrego da Paina e na BR-356, trecho entre a Santa e o trevo para Itabirito, na quadrícula Itabirito. Ocorre nas quadrículas Itabirito, Rio de Pedras, São Bartolomeu, Mariana, Bação, Barra do Gentio, São Julião, Cachoeira do Campo e Dom Bosco. Boas exposições localizam-se na ferrovia EFMV e na serra do Veloso (quadrícula São Bartolomeu); em drenagens na região de Campo Grande (ao sul da cachoeira das Andorinhas) e em cortes da estrada Morro de São Sebastião - Morro Santana - Antônio Pereira, ambos na quadrícula Mariana.

Esta unidade caracteriza-se por intercalações sucessivas de níveis decimétricos a métricos de metargilito, metassiltito, metassiltito arenoso, metarenito impuro e metagrauvaca, predominando a fração argilosa, com intercalações de delgados níveis de xisto carbonoso e formação ferrífera. Representa uma seqüência turbidítica argilosa (prancha 6/6), depositada em ambiente marinho distal em relação à fonte. Seus litótipos têm cores cinza clara a cinza escura e esverdeada. São quartzo-mica-clorita xisto, quartzo-clorita xisto e biotita-plagioclásio-quartzo-mica xisto. Encontram-se fortemente foliados, laminados a centimetricamente bandados. A laminação, por vezes pouco distinta, reflete a alternância na proporção e na granulação entre clorita e quartzo, resultando em tonalidades cinza esverdeadas mais claras para aquelas mais ricas em quartzo e mais escuras para as mais ricas em clorita. Localmente, observa-se um bandamento composicional (prancha 6/5) com intercalações milimétricas a decimétricas ricas em grãos arredondados de quartzo

**PRANCHA 5**  
**UNIDADE CÓRREGO DO SÍTIO**

1 Metaturbidito bandado, tufáceo, Unidade Córrego do Sítio, Grupo Nova Lima. Notar estilo de dobramento.

Local: Estação 1050-SS-48.

UTM: 635475-07802825

2 Metaturbidito bandado, fino, em ciclos sucessivos, Unidade Córrego do Sítio, Grupo Nova Lima (amostra de mão).

Local: Estação 1050-SS-44.

UTM: 636500-07802475

**UNIDADE CATARINA MENDES**

3 - Paraconglomerado polimítico, com seixos de metadacito e gnaiss trondjemítico, intercalado em metagrauvaca da Unidade Catarina Mendes, Grupo Nova Lima.

Local: Estação 1050-HR-316.

UTM: 646065-07753735

4 - Grande clasto de gnaiss trondjemítico (à esquerda do martelo) em paraconglomerado de leque submarino, intercalado em metagrauvas da Unidade Catarina Mendes, Grupo Nova Lima.

Local: Estação 1050-HR-316.

UTM: 646065-07753

5 - Estrutura laminada de metagrauvaca da Unidade Catarina Mendes, Grupo Nova Lima, na localidade-tipo.

Local: Estação 1050-HR-374.

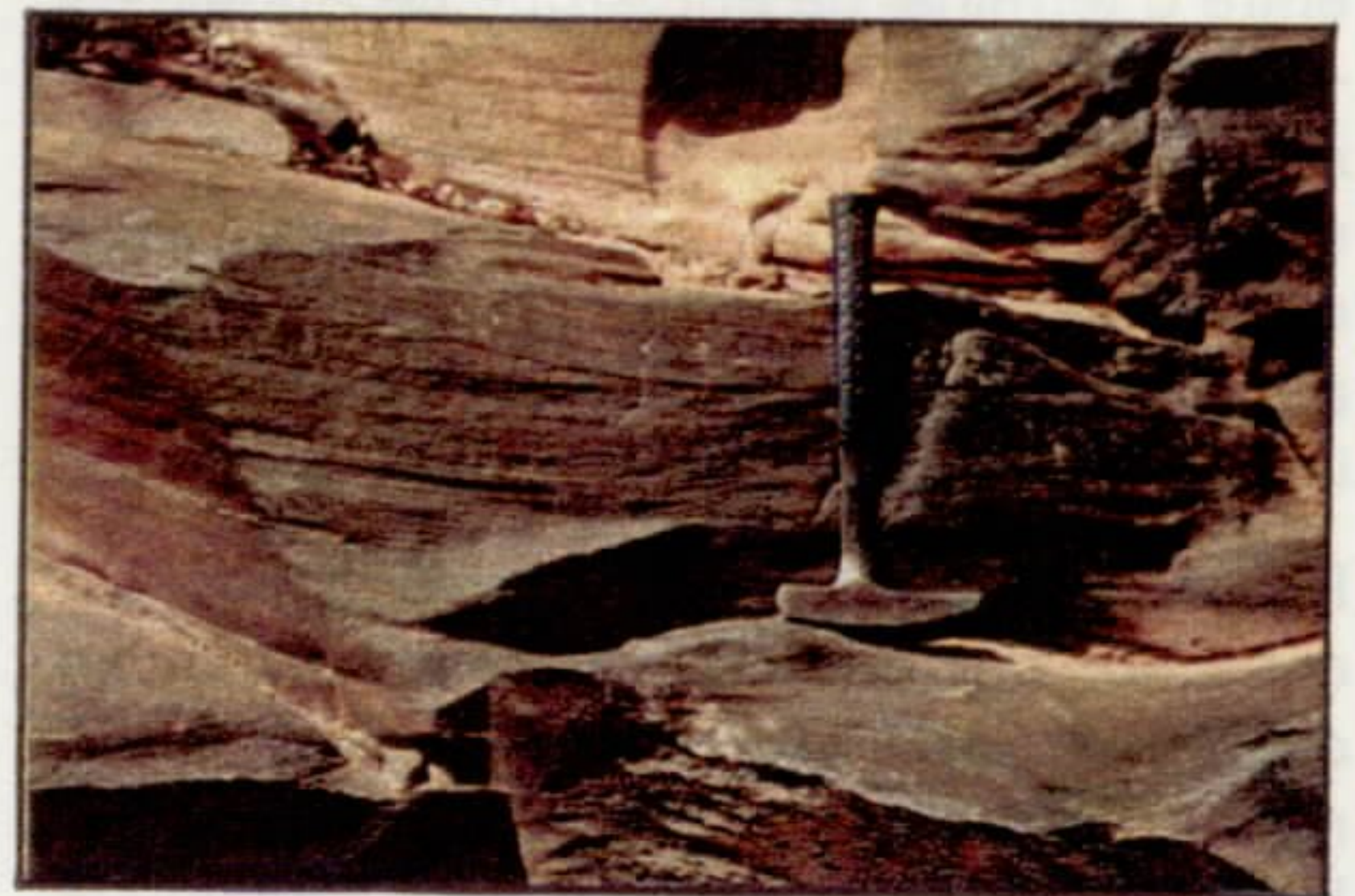
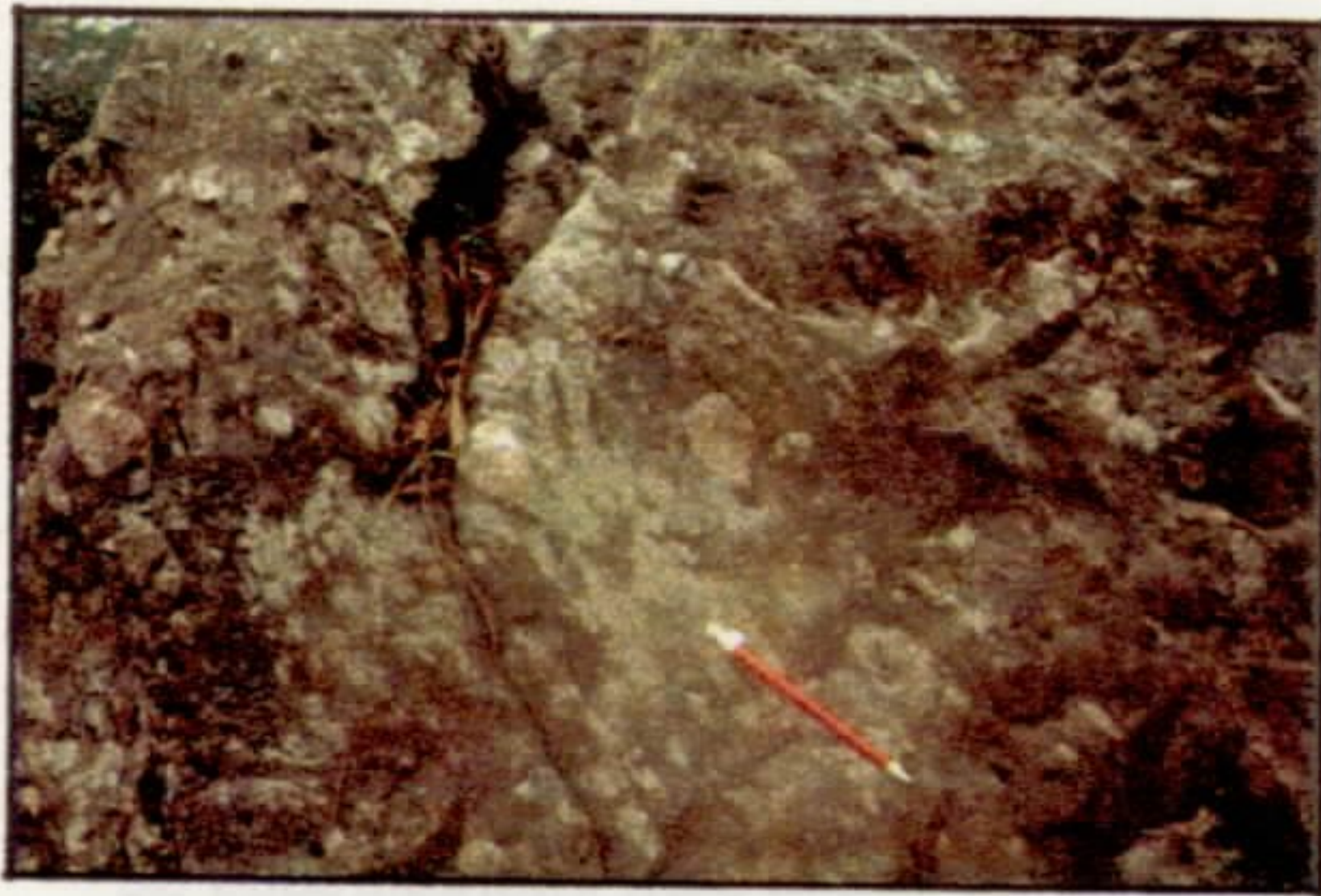
UTM: 654960-07751750

6 - Estratificação cruzada acanalada em metagrauvaca feldspática da Unidade Catarina Mendes, Grupo Nova Lima.

Local: Estação 1050-NS-254.

UTM:





(metarenitos/metassiltitos). Essas bandas exibem estratificações horizontal plano-paralela e gradacional, constituindo metarritmitos (metaturbiditos de lama com areia); em raras exposições pode predominar a fração arenosa (metaturbiditos arenosos). Intemperizam-se em saprólitos argilo-sílticos (localmente arenosos, friáveis), heterogêneos, de cores variegadas que ressaltam a laminação e com acentuado deslocamento paralelo à foliação. Apresentam crenulação intensa, fina e regular (prancha 6/7), com desenvolvimento de clivagem de crenulação nas bandas mais micáceas. Ocorrem níveis pouco expressivos de formação ferrífera fácies carbonato, fracamente magnética. Estratificações gradacional, plano-horizontal e cruzada de pequeno porte são as estruturas primárias preservadas.

Os contatos com as unidades Catarina Mendes e Fazenda Velha são transicionais; com as rochas granito-gnáissicas do Complexo de Bação são tectônicos. Os contatos com os litótipos do Grupo Maquiné e do Supergrupo Minas são por falhas de empurrão.

## GRUPO MAQUINÉ

### FORMAÇÃO PALMITAL - UNIDADE ANDAIMES

Ocorre somente na quadrícula Itabirito, em uma faixa ao longo do córrego dos Andaimés, entre o terminal de embarque de Andaimés - MBR - e o local conhecido como Ponte de Arame. A faixa é cortada pela MG-030, trecho entre Itabirito e Rio Acima, onde se localizam excelentes afloramentos. Também ocorrem ao longo da antiga estrada que ligava a MG-030 ao terminal de embarque de Andaimés.

Representa uma sedimentação detrítica, constituída de quartzito micáceo com níveis de quartzito microconglomerático e metaconglomerado, depositada em ambiente litorâneo, fácies planície de maré com dunas eólicas.

São quartzitos micáceos (metaquartzito arenitos), de granulação fina a média, com textura lepidogranoblástica. Observam-se

fragmentos de quartzo e feldspato com características vulcanogênicas preservadas. O metaconglomerado polimítico ocorre como lentes decimétricas a métricas, com seixos de quartzo de veio, *metachert* ferruginoso, quartzito e xisto cinza escuro, sustentado por matriz quartzo-sericítica fina a média. As estruturas primárias preservadas são estratificação gradacional, cruzada acanalada e tabular de pequeno a grande porte (prancha 7/3), marcas onduladas assimétricas (prancha 7/2) e estratificação cruzada tipo espinha de peixe (*herring bone*, prancha 7/1) e *tidal bundle*.

A Unidade Andaimés é envolvida pela Unidade Pau d'Óleo, em contato localmente transicional. O contato com as rochas do Supergrupo Minas é por falha de empurrão.

### FORMAÇÃO PALMITAL - UNIDADE RIO DE PEDRAS

A área-tipo localiza-se na estrada que liga as regiões de Buraco e Rio de Pedras, imediatamente a leste da cabeceira do córrego da Limeira. A unidade ocorre nas quadrículas Rio de Pedras, Capanema, São Bartolomeu, Mariana, Gandarela, Rio Acima, Nova Lima e Caeté.

Constitui-se de xistos com intercalações de quartzitos micáceos finos, que representam sedimentos clásticos depositados em provável ambiente marinho raso a litorâneo.

Metargilitos, metarenitos finos e metagrauvacas são classificados, respectivamente, como quartzo-(clorita)-(muscovita)-(sericita) xisto, (cloritóide)-(muscovita)-(sericita) quartzito e mica-quartzo xisto. A textura é lepidogranoblástica e o metamorfismo, da fácies xisto verde. O desenvolvimento tardi- a pós-tectônico dos prismas de cloritóide é evidenciado por seu crescimento desordenado, às vezes formando agregados radiais. Como estruturas primárias, preservam-se estratificações cruzada tabular, acanalada e festonada de pequeno a médio porte.

Os contatos são bruscos com a Unidade Córrego do Engenho e tectônico, por falha de empurrão, com as unidades Jaguará (Formação Casa Forte) e Córrego do Sítio.

## FORMAÇÃO CASA FORTE - UNIDADE CHICA DONA

Sua área-tipo está na cachoeira homônima, ao lado da estrada entre a mina de Capanema e a serra do Gandarela, na quadrícula Rio de Pedras. Aflora também nas quadriculas Capanema, Conceição do Rio Acima, Gandarela, Catas Altas e Rio Acima.

Constitui-se de bancos de quartzito fino com intercalações de metaconglomerado polimítico. A frequência de tais intercalações a diferencia dos outros membros que compõem a Formação Casa Forte. Com base nas variações de espessuras, predomínio de um litótipo sobre o outro e composição dos seixos, o membro foi subdividido em duas litofácies: Córrego do Viana e Córrego da Cidreira.

**Fácies Córrego do Viana:** constitui bancos de metaortoconglomerado polimítico e quartzito com espessuras relativamente uniformes (em torno de 0,50m). Os primeiros são sustentados por clastos estirados de tamanho variado, atingindo até 0,30m. São seixos a matações de formação ferrífera, *metachert*, xisto carbonoso e quartzo de veio subarredondado. A matriz é quartzo-sericítica, geralmente ferruginosa e em quantidade bastante reduzida. Intercalam-se em quartzitos sericíticos finos, cinzentos. As estruturas sedimentares preservadas são estratificações cruzadas acanalada e tangencial, com sets de espessura entre 0,50m e 1,5m, canais com corte e preenchimento e estratificação gradacional com repetição de ciclos granodecrescentes de espessura aproximada de 0,50m. Pranchas 7/4 e 7/5.

**Fácies Córrego da Cidreira:** aflora na quadrícula Conceição do Rio Acima, onde foi definida. Mostra bancos de metaparaconglomerado polimítico mais espessos (em torno de 2m - 3m) que os de quartzito (0,50m - 1m). O metaparaconglomerado é constituído por seixos e matações (os maiores atingindo 0,30m) de formação ferrífera, *metachert*, quartzo de veio e rochas metavulcânicas félsicas e metabásicas, geralmente sustentados por matriz composta de quartzo, sericita e clorita.

O contato entre os litótipos deste membro com os da Unidade Jaguará é transicional, marcado pela diminuição de intercalações de metaconglomerado polimítico neste último.

## FORMAÇÃO CASA FORTE - UNIDADE JAGUARA

Foi definida na serra Jaguará, quadrícula Rio de Pedras, e suas melhores exposições são encontradas onde a estrada, entre a mina de Capanema e a serra do Gandarela, corta aquela serra. Ocorre nas quadriculas Rio de Pedras, Capanema, São Bartolomeu, Gandarela e Rio Acima.

Constitui-se de quartzito sericítico grosso, geralmente microconglomerático (prancha 7/7), eventualmente com estratificação cruzada acanalada (prancha 7/6), com intercalações finas (centimétricas a métricas) e pouco frequentes de metaconglomerado polimítico. Juntamente com as unidades Chica Dona, Capanema e Córrego do Engenho compõem o domínio sedimentar continental da Formação Casa Forte.

**Quartzito** - mostra epiclastos de quartzo que se destacam da matriz quartzosa recristalizada, que também apresenta cristais de sericita e cloritóide. A granulação é média a grossa e a textura, granoblástica. Alguns exemplares são constituídos por agregados radiais de cloritóide com matriz granoblástica quartzosa intersticial.

**Metaconglomerado** - compõe-se de seixos de tamanho centimétrico de xisto cinza escuro e cinza esverdeado, *metachert* e quartzo de veio, sustentados por matriz quartzo-sericítica xistosa. Subordinadamente, ocorrem intercalações centimétricas a métricas de sericita-quartzo xisto fino, às vezes com clorita, cloritóide e muscovita.

As estruturas sedimentares preservadas são estratificações cruzadas acanaladas e tangenciais, com sets decimétricos a métricos, e estratificação gradacional com ciclos granodecrescentes de espessura da ordem de 0,30m.

O contato entre as unidades Jaguará e Córrego do Engenho é transicional, observando-se em um mesmo afloramento rochas tanto de uma unidade como de outra,

## PRANCHA 6

### UNIDADE CATARINA MENDES/UNIDADE FAZENDA VELHA

1 - Estrutura de corte e preenchimento de canal em metagrauvaca, Unidade Catarina Mendes, Grupo Nova Lima.

Local: Estação 1050-NS-254.

UTM: 628630-07769020

2 - Metarenito feldspático da Unidade Catarina Mendes, Grupo Nova Lima (amostra-de mão).

Local: Estação 1050-NS-313.

UTM: 631965-07767140

3 - Metarenito impuro, com metassiltito arenoso intercalado, da Unidade Catarina Mendes, Grupo Nova Lima (amostra de mão).

Local: Estação 1050-WL-413.

UTM: 622890-07761495

5 - Metassiltito arenoso, bandado, da Unidade Córrego da Paina, Grupo Nova Lima (amostra de mão).

Local: Estação 1050-WL-401.

UTM: 621230-07764670

### UNIDADE CÓRREGO DA PAINA

5 Metassiltito arenoso, bandado, da Unidade Córrego da Paina, Grupo Nova Lima (amostra de mão).

Local: Estação 1050-WL-401. UTM:

621230-07764670

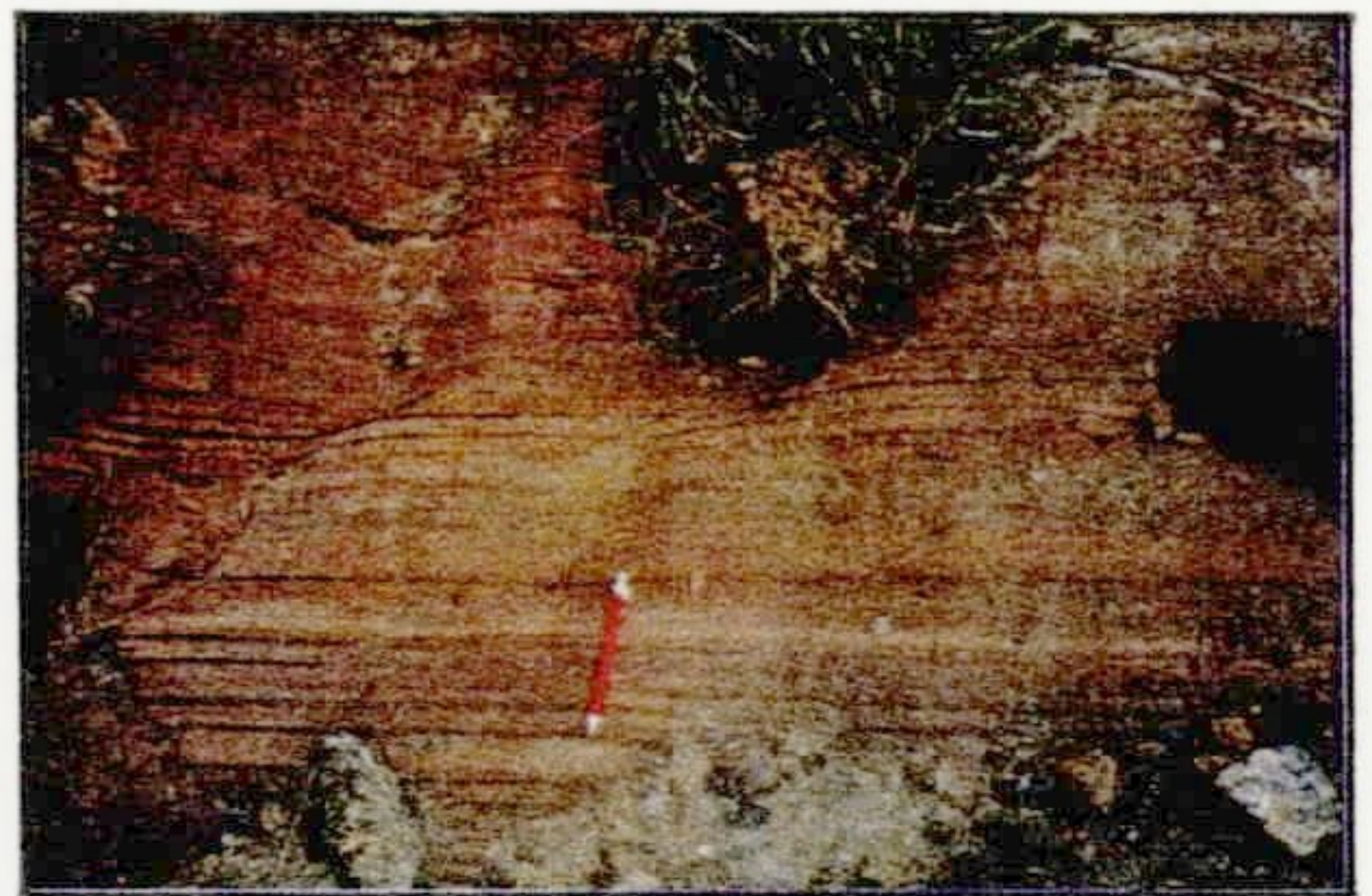
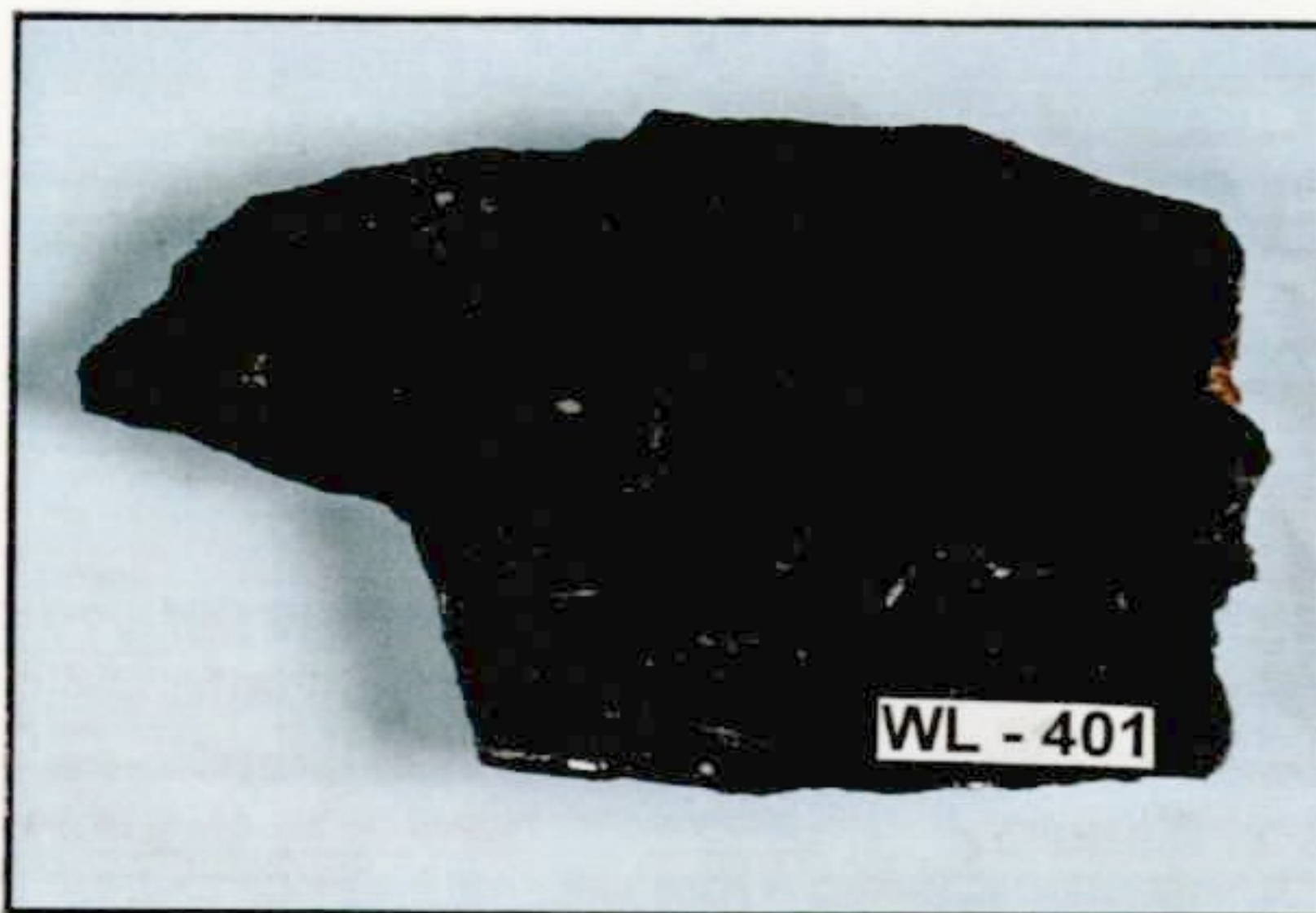
6 Metaturbidito fino, com estratificação acentuada, Unidade Grupo Nova Lima.

Local: Estação 1050-HR-429. UTM:

648540-07748330

7 Metapelito carbonoso, laminado e crenulado, Unidade Córrego da Paina, Grupo Nova Lima.

Local: Estação 1050-HR-429. UTM: 648540-07748330



## PRANCHA 7

### FORMAÇÃO CASA FORTE, UNIDADE CHICA DONA

1 - Conglomerado polimítico da Unidade Chica Dona (Fácies Córrego do Viana), da Formação Casa Forte, Grupo Maquiné.  
Local: Estação 1050-NS-119.  
UTM: 629730-07781135

2 - Paraconglomerado polimítico da Unidade Chica Dona (Fácies Córrego do Viana), da Formação Casa Forte, Grupo Maquiné (amostra de mão).  
Local: Estação 1050-NS-119.  
UTM: 629730-07781135

### FORMAÇÃO CASA FORTE, UNIDADE JAGUARA

3 - Estratificação cruzada acanalada em metarenito da Unidade Jaguará, Formação Casa Forte, Grupo Maquiné.  
Local: Estação 1050-WL-233.  
UTM: 630100-07781700

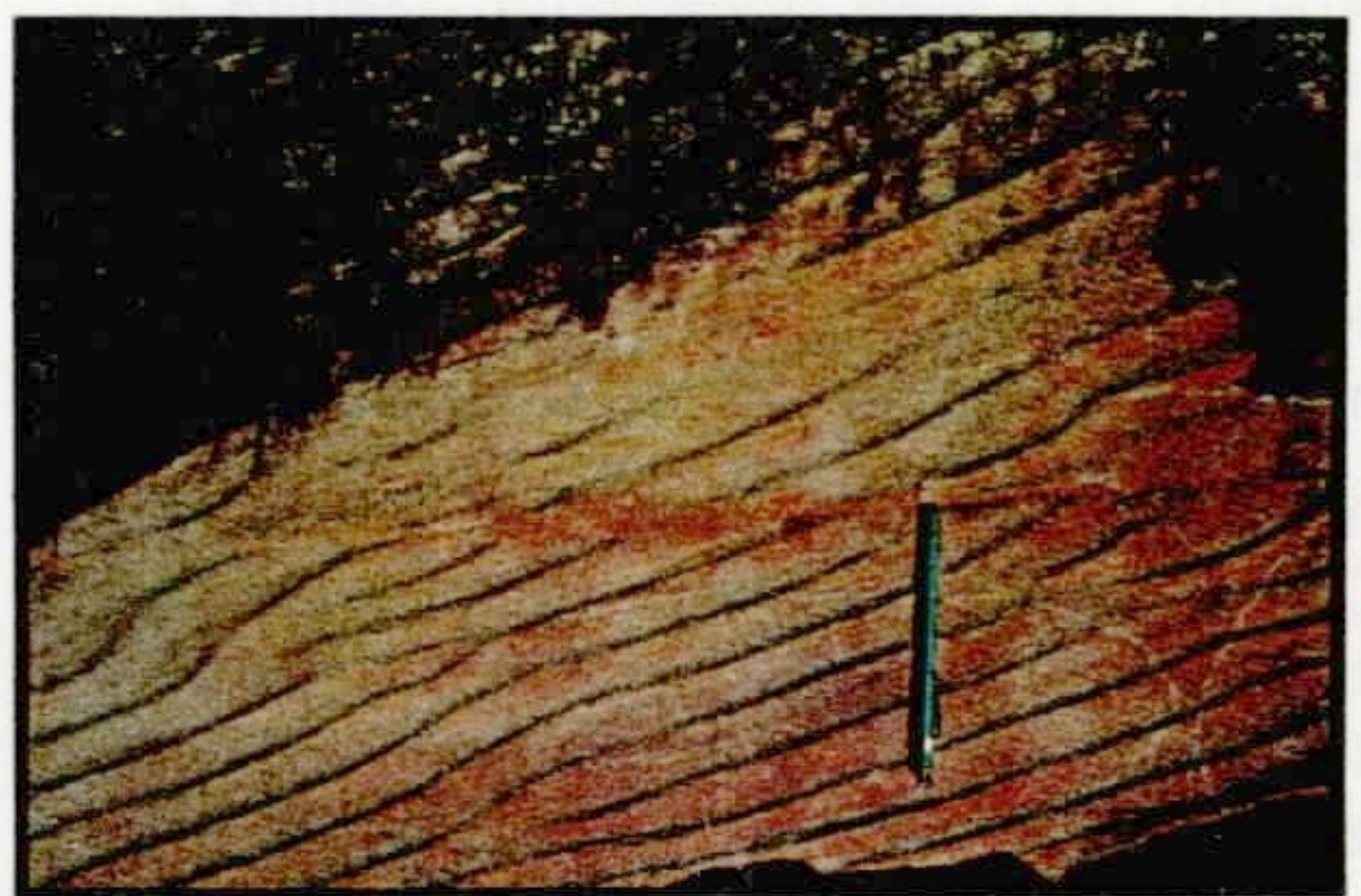
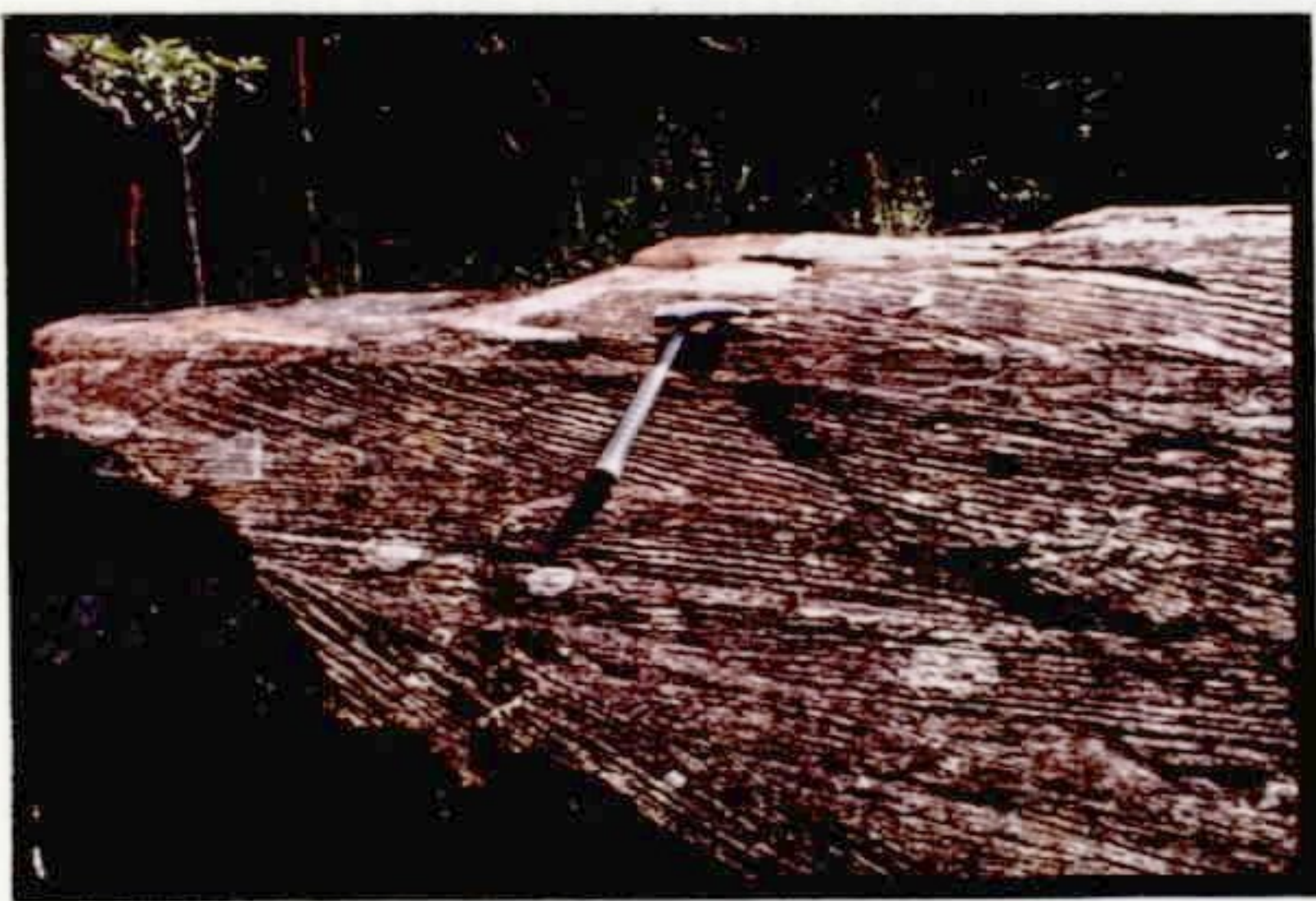
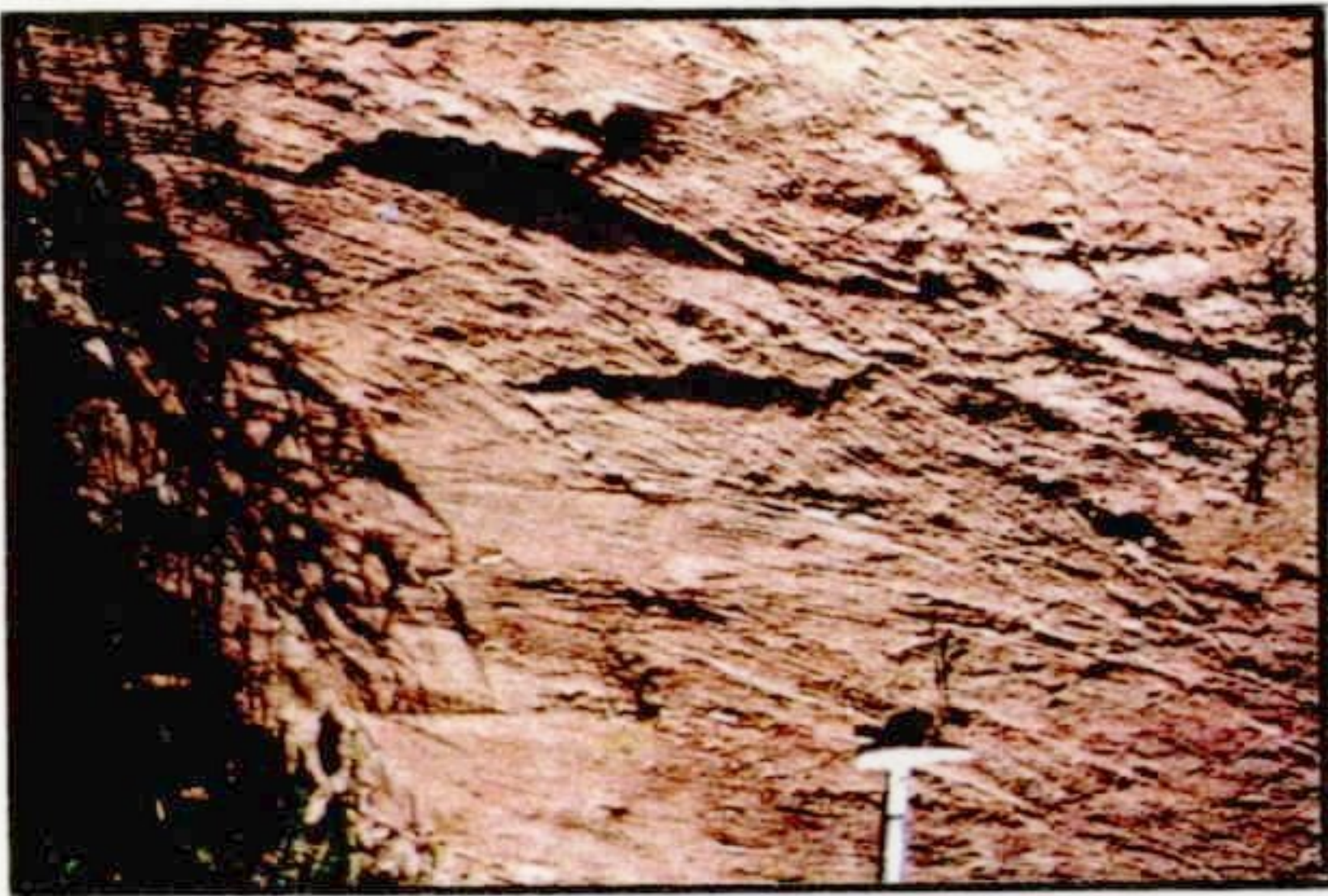
4 - Estratificação gradacional em metarenito, Unidade Jaguará, Formação Casa Forte, Grupo Maquiné.  
Local: Estação 1050-JS-  
UTM:

### FORMAÇÃO PALMITAL, UNIDADE ANDAIMES

5 - Estratificação cruzada tipo espinha de peixe (herring bone) em metarenito da Unidade Andaimés, Formação Palmital, Grupo Maquiné.  
Local: Estação 1050-WL-255. UTM:  
622730-07768650

6 - Marcas onduladas, provocadas por ondas, em metarenito fino da Unidade Andaimés, Formação Palmital, Grupo Maquiné.  
Local: Estação 1050-WL-254. UTM:  
623110-07768750

7 Estratificação cruzada tabular de porte médio (ondulações eólicas litorâneas) em metarenito da Unidade Andaimés, Formação Palmital, Grupo Maquiné.  
Local: Estação 1050-NS-206.  
UTM: 625045-07769630



com alternâncias entre níveis de quartzito sericítico grosso e fino, até atingir o predomínio deste na Unidade Córrego do Engenho.

### **FORMAÇÃO CASA FORTE - UNIDADE CAPANEMA**

Ocorre nas quadrículas Rio de Pedras, Mariana, Gandarela e Capanema. Nesta localizam-se suas melhores exposições, que estão nas imediações da mina de Capanema, na estrada que liga essa mina à BR-356 e à mina de Alegria.

A Unidade Capanema faz parte do domínio sedimentar continental da Formação Casa Forte, diferenciando-se das demais unidades por apresentar metassedimentos mais finos, como xistos quartzosos e sericíticos.

Os sericita xistos e sericita-quartzo xistos finos estão crenulados e representam arenitos impuros e grauvacas, com muscovita, cloritóide, cianita e carbonato. Mostram matriz quartzo-filossilicática recristalizada, com epiclastos de quartzo. Subordinadamente, ocorrem intercalações centimétricas de quartzito fino com muscovita, cianita e cloritóide. Eventualmente, apresentam estratificações tabular e tangencial, com sets de espessura centimétrica a decimétrica, e gradacional, com ciclos granodecrescentes com espessuras de 0,10m a 0,15m.

A íntima relação entre as unidades Capanema e Córrego do Engenho é observada em afloramento através de intercalações litológicas. Dentro dos quartzitos grossos, que identificam a Unidade Córrego do

Engenho, são comuns, principalmente próximo ao contato, intercalações de sericita-quartzo xisto fino característico da Unidade Capanema, para a qual transiciona.

### **FORMAÇÃO CASA FORTE - UNIDADE CÓRREGO DO ENGENHO**

As melhores exposições estão no leito do córrego do Engenho, na extremidade NE da quadrícula Capanema. A unidade ocorre também nas quadrículas Conceição do Rio Acima e Catas Altas.

Constitui-se de quartzitos como litologias predominantes e níveis conglomeráticos subordinados.

São quartzitos sericíticos de granulação média a fina, geralmente homogêneos e de cor cinza clara. Mostram textura granoblástica e quartzo, cloritóide e sericita como constituintes principais. Apresentam bancos métricos de quartzito grosso a médio, com seixos esparsos e bem arredondados de quartzo de veio e *metachert*, associados com raros níveis centimétricos de sericita xisto fino (metapelito). Possuem eventuais estratificações cruzadas acanaladas ou tangenciais à base, em sets de 1,5m de comprimento por 0,30m de espessura, e ciclos granodecrescentes de 0,30m a 0,50m de espessura.

A transição entre as unidades Córrego do Engenho e Capanema é vista em afloramento na forma de intercalações entre quartzito fino, que caracteriza a primeira, e sericita-quartzo xisto, que aumenta sua proporção à medida que passa para a Unidade Capanema.



## ASSOCIAÇÕES LITOFACIOLÓGICAS

Por Orivaldo Ferreira Baltazar e  
Augusto José Pedreira

### INTRODUÇÃO

O estudo integrado das rochas metavulcânicas e metassedimentares do Supergrupo Rio das Velhas, dentro do Quadrilátero Ferrífero, possibilitou o agrupamento das diversas litofácies identificadas em associações, características de ambientes de deposição típicos de terrenos *greenstone belts*. A divisão da sucessão estratigráfica em grupos litológicos geneticamente relacionados resultou nas associações de litofácies descritas a seguir com os melhores locais de observação indicados na figura 4.

### ASSOCIAÇÃO METAVULCÂNICA MÁFICA-ULTRAMÁFICA

As rochas metassedimentares que compõem esta associação são bastante restritas, estando intercaladas com espessas seqüências derivadas de lavas komatiíticas e toleiíticas ultramáficas-máficas. Em geral foram originadas a partir de sedimentos químicos, representados por formação ferrífera bandada e *metachert*. Rochas metaepiclásticas e metavulcanoclásticas associadas são de derivação máfica.

A associação está representada pelas unidades Córrego dos Boiadeiros, Quebra Osso e Ouro Fino, seqüências basais do Grupo Nova Lima, a primeira das quais, predominantemente intrusiva ultramáfica.

Na Unidade Quebra Osso, predominam metaultramáficas extrusivas, subaquáticas,

correspondendo a derrames maciços, almofadados, de lavas brechóides, e com textura *spinifex*, representados por komatiitos peridotíticos e ainda *sills* cumuláticos.

Em níveis interderrames ocorrem metavulcanoclásticas. Metavulcânicas máficas são subordinadas. Possível metabrecha hialoclástica foi registrada em rochas originadas de lavas ultramáficas, no local denominado Cava do Encontro, baixo curso do córrego Quebra Osso na quadricula Catas Altas. Esta rocha mostra uma estrutura fragmental, rica em fragmentos angulosos arredondados de composição ultramáfica (clorita-serpentina), aleatoriamente dispersos em matriz de composição similar.

Schrank et al. (1991) descrevem uma exposição quase completa de um derrame na região do córrego Quebra Osso, onde nível brechóide é constituído por fragmentos angulosos, de tamanhos variáveis entre 2cm e 25cm, em matriz clorítica, fina, verde-escura. Os fragmentos podem apresentar texturas cumuláticas, *spinifex* e *microspinifex*. Schorscher (1992) já descreve estas rochas como provenientes de vulcanismo ultramáfico subaquático, denominando-as de Grupo Quebra Osso.

Na Unidade Ouro Fino predominam rochas de origem efusiva básica, com estruturas *pillow* preservadas, além de variedades de metabasaltos variolíticos e amigdaloidais. São de afinidade Fe-toleiítica (N-MORB). Localmente são expressivas as intercalações de metavulcânicas ultramáficas. Rochas

Fig. 4 ASSOCIAÇÕES DE LITOFÁCIES DO SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS

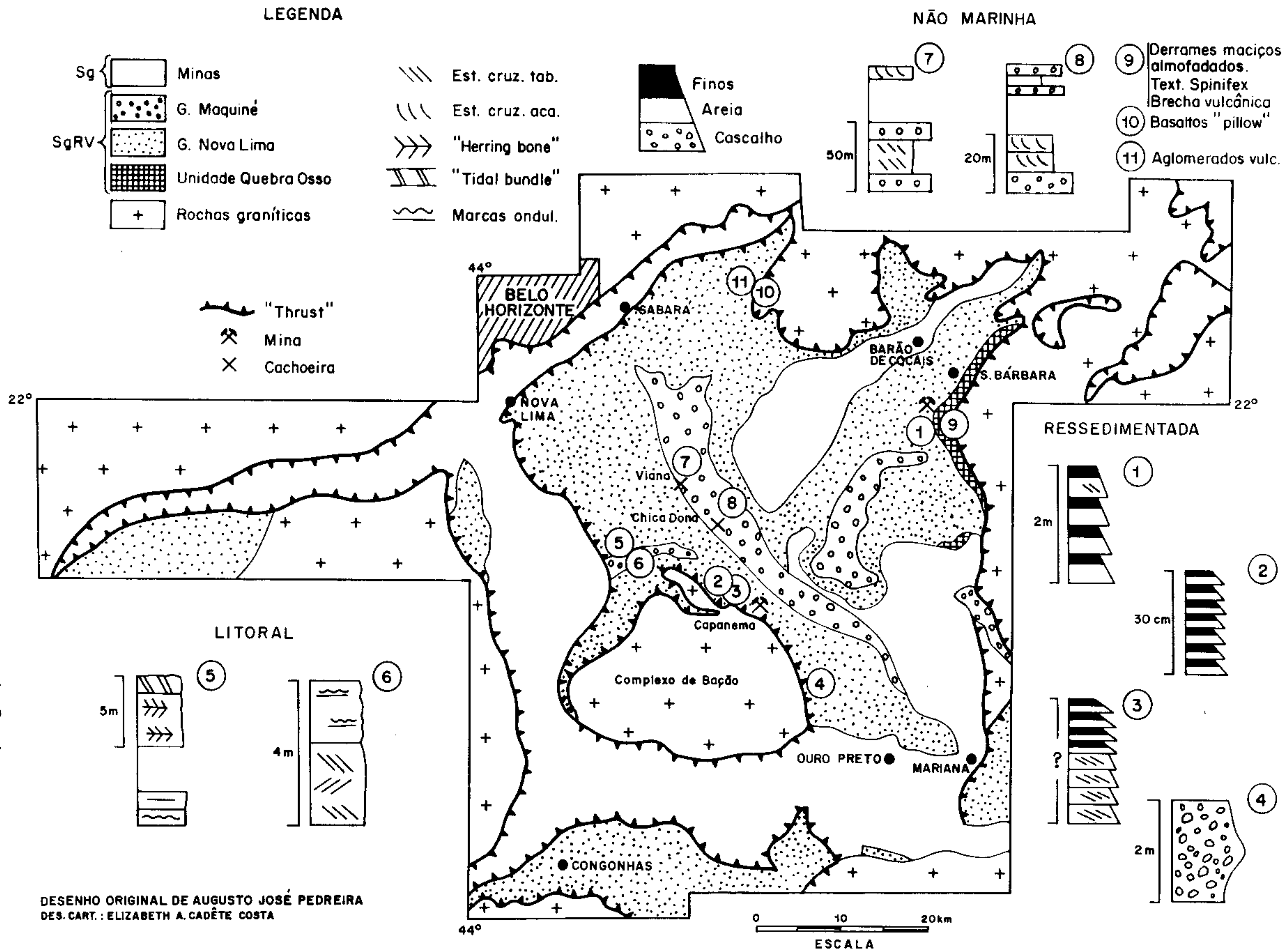


Figura 4 - Associações de litofácies do Supergrupo Rio das Velhas

Superintendência Regional de Belo Horizonte

DESENHO ORIGINAL DE AUGUSTO JOSÉ PEDREIRA  
DES. CART.: ELIZABETH A. CADÊTE COSTA

metavulcanoclásticas e metaepiclásticas, de derivação básica, e rochas metassedimentares químicas (formação ferrífera e *metachert*) são restritas.

## ASSOCIAÇÃO METAVULCANOS-SEDIMENTAR QUÍMICA - PELÍTICA

Esta associação está tipicamente representada, na área do *Greestone Belt* Rio das Velhas, pelas unidades Morro Vermelho e Santa Quitéria do Grupo Nova Lima. A primeira delas é caracterizada pelo domínio de rochas metavulcânicas máficas a intermediárias, com estruturas *pillow* preservadas, e com grande profusão de rochas metassedimentares químicas e detríticas intercaladas, representadas por formação ferrífera bandada, *metachert* e sedimentos clásticos finos (pelitos carbonosos). A Unidade Santa Quitéria distingue-se pela associação de formação ferrífera bandada com pelitos, freqüentemente carbonosos, não tendo sido registrada nela a presença de rochas metavulcânicas.

## ASSOCIAÇÃO DE LITOFÁCIES METAVULCANOCLÁSTICA

O termo vulcanoclástico é aqui utilizado no sentido de Lajoie (*in* Walker, 1984) o qual inclui todas as rochas vulcânicas fragmentárias, resultantes de qualquer mecanismo de fragmentação. Assim, incluem-se nesta associação tanto rochas piroclásticas quanto variedades autoclásticas e mesmo epiclásticas, entendendo-se por piroclásticas aquelas formadas por fragmentos ejetados por explosão diretamente a partir de chaminés vulcânicas; por autoclásticas (e hialoclásticas, uma variedade de autoclástica) aquelas formadas pelo mecanismo de quebra e explosão gasosa de lavas durante seu movimento ou, ainda, produzidas pelo seu resfriamento em contato com água ou sedimentos saturados em água; e, finalmente, por epiclásticas aquelas resultantes do intemperismo de rochas vulcânicas (Walker 1984).

A litofácies piroclástica está representado por extensas áreas de ocorrências de metatufos de cinza, bandados ou não, metatufos de cristal e líticos e, mais restritamente, metalapilli tufos e aglomerados. Predomina amplamente na Unidade Ribeirão Vermelho, onde se associa a rochas metassedimentares epiclásticas (litofácies ressedimentada), sendo subordinada na Unidade Mestre Caetano, onde as rochas metassedimentares epiclásticas predominam. São tufos félsicos, com composição variando de dacítica a riolítica.

As variedades mais distais dos metatufos bandados, podem apresentar uma estratificação gradacional. Seu bandamento é subcentimétrico podendo ser resultante de variações composicionais (mineralógicas) ou granulométricas. Estão muitas vezes retrabalhados, observando-se o arredondamento dos grãos de quartzo e o desaparecimento de feldspatos, em relação a variedades de tufos mais proximais. Nesse caso passam a metagrauvacas, consistindo numa mistura de piroclastos transportados e epiclastos, em sucessões de metarenitos, metassiltitos e metargilitos tufáceos, sendo freqüentes associações com níveis de xisto carbonoso.

Estes metatufos bandados se associam e transicionam para litofácies ressedimentadas, representadas por associações grauvacargilito, em geral também bandadas, não raro com estratificação gradacional cíclica, centimétrica, granodecrescente de areia a argila, com contatos bruscos entre ciclos e preservando ainda características de sua derivação vulcanogênica, como quartzo com golfo de corrosão e fragmentos de feldspatos maclados.

Os metatufos maciços são em geral tufos de cinza e tufos de cristal. Os fragmentos (menores que 2mm) são predominantemente de plagioclásio, em cristais maclados, de formas prismáticas, irregulares ou angulares e de quartzo, estes mais finos.

Os metalapilli tufos contêm fragmentos de rocha e de cristais. Os fragmentos de cristais são de plagioclásio maclado, aproximadamente prismáticos e de quartzo arredondado e com golfos de corrosão ou com formas hexagonais preservadas. Os fragmentos de rocha

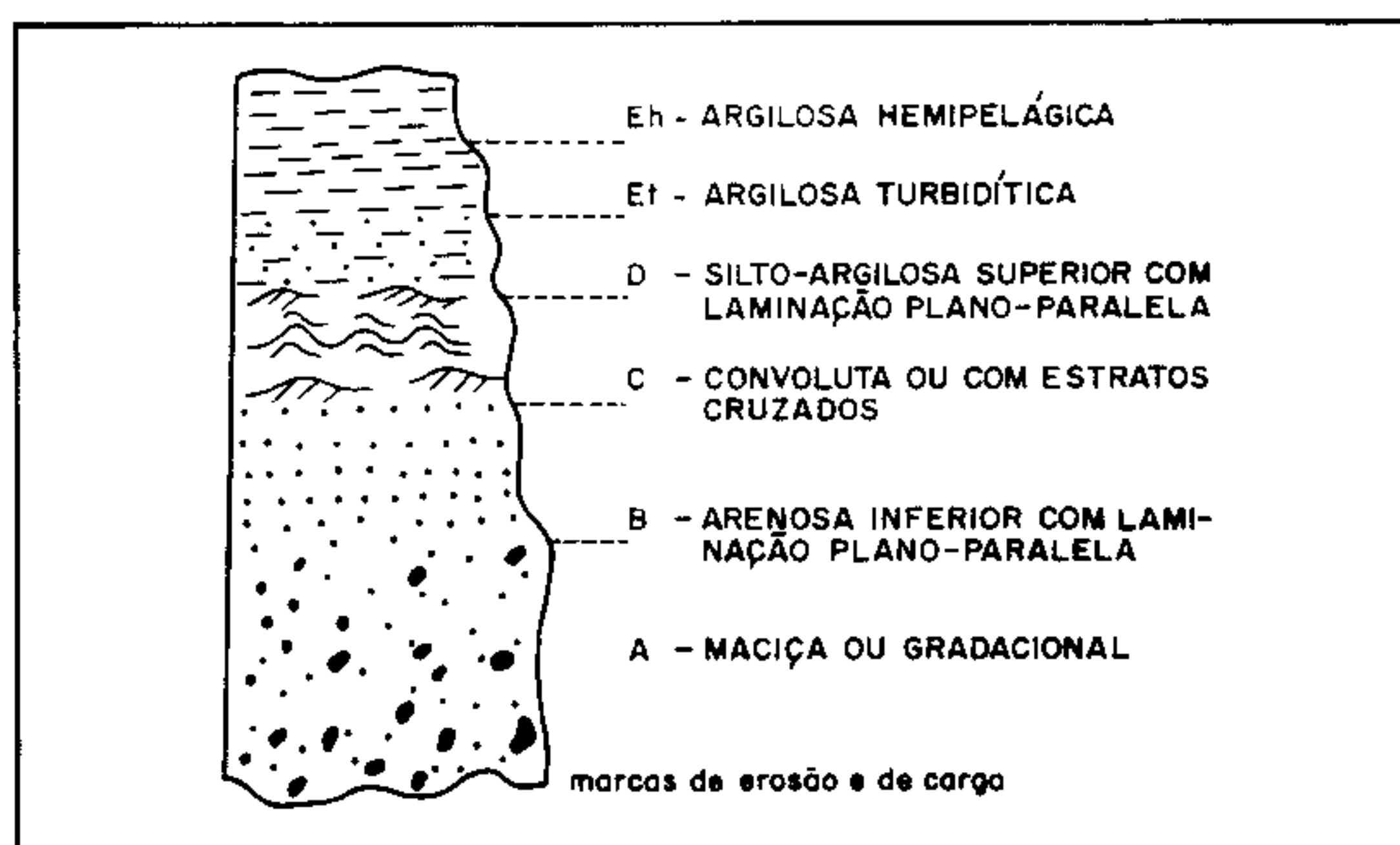


Figura 5 - As cinco divisões da Sequência de BOUMA

ocorrem como lentes alongadas, félsicas, quartzo-feldspáticas. Há tipos que preservam um bandamento composicional primário, centimétrico, onde se alternam bandas compostas predominantemente de fragmentos piroclásticos de plagioclásio e quartzo (grãos de até 1,5mm) com pouca matriz; bandas equigranulares, mais finas, a quartzo, feldspato e filossilicatos; e ainda bandas essencialmente micáceas (argilosas?).

Os metaglomerados contém fragmentos em geral arredondados ou lenticulares (deformados) de rochas vulcânicas félsicas de composição dacítica a andesítica, porfiríticas, atingindo até 30cm de dimensões. Fragmentos de derivação juvenil são restritos mostrando-se com mesma composição, porém com texturas devitrificadas. A matriz é fina (tufo de cinza) com micropiroclastos de plagioclásio e quartzo.

## ASSOCIAÇÃO DE LITOFÁCIES RESSEDIMENTADAS

Esta associação é a de maior ocorrência dentro do *Greenstone Belt* Rio das Velhas, estando representada pelas unidades Córrego do Sítio, Mindá, Catarina Mendes, Fazenda Velha e Córrego da Paina. Sua principal característica é a ciclicidade de camadas com espessuras variando de subcentimétricas a até 50cm, com gradação granulo decrescente dentro de cada ciclo, variando de tamanho areia grossa com grânulos na base até argila carbonosa, no topo, com contatos bruscos entre os ciclos.

Estruturas primárias como estratificação horizontal plano-paralela e cruzada tabular de pequeno porte não são raras. Localmente observa-se estrutura em chamas (*flame structure*). As melhores exposições com estas características estão na quadrícula Conceição do Rio Acima, na mina Córrego do Sítio. Estes ciclos podem consistir em areia fina e argila vermelha, em espessura de apenas 5cm, como ocorre no leito do rio de Pedras, na quadrícula homônima. A oeste da Mina de Capanema, entre o Recanto da Crikas e a fazenda Okê-Aro a associação de litofácies consiste de metarenitos finos ou metassiltitos com estratificação cruzada e uma alternância de areias e argilas em ciclos de poucos centímetros de espessura, com canais intercalados, medindo cerca de 1m de largura e 20cm de profundidade.

Na região sul do Quadrilátero Ferrífero onde foram cartografadas as unidades Catarina Mendes, Córrego da Paina e Fazenda Velha a litofácies dominante é de metagrauvacas, caracteristicamente carbonatadas, com freqüentes intercalações centimétricas de rochas calcissilicáticas e corpos expressivos de metamarga. Neste domínio, a oeste de São Bartolomeu, ocorre nível espesso de conglomerado polimítico, com clastos estirados, em sua maioria de rochas vulcânicas ácidas. Este conglomerado tem gradação normal e inversa estando intercalado na litofácies acima.

As características básicas dessa associação de litofácies, como a ciclicidade, gradação

interna destes ciclos e seus contatos abruptos entre si permitem interpretá-la como resultante de deposição por correntes de turbidez (Selley 1988, *apud* Pedreira, 1995). Em geral é possível identificar divisões de Bouma (1962) (figura 5) incompletas, com os metarenitos grossos e finos, basais, e com estratificação gradacional a laminada correspondendo às divisões Ta-b, metarenitos com estratificação cruzada, correspondendo à divisão Tc, siltitos interlaminados com argilitos à divisão Td e os níveis pelíticos do fechamento dos ciclos à divisão Te. Assim, de uma maneira geral, tem-se metaturbiditos com ciclos Ta-b-d- e Td-e, representando turbiditos de areia proximais e distais, (TS) de acordo com a nomenclatura de Einsele (1992). Esses sedimentos foram depositados por correntes de turbidez de alta e baixa densidade (Mutti 1992). Os metaconglomerados a oeste de São Bartolomeu, por estarem intercalados em metaturbiditos, foram depositados em águas profundas, podendo ser enquadrados entre as fácies de granulação muito grossa de Mutti (1992), tendo se originado da erosão de conglomerados depositados previamente, por fluxos hiperconcentrados.

## ASSOCIAÇÃO DE LITOFÁCIES LITORÂNEA

Foi identificada na quadrícula Itabirito, estando representada pela Unidade Andaimés, Formação Palmital do Grupo Maquiné, constituindo-se de três litofácies: quartzitos micáceos em camadas centimétricas com marcas onduladas provocadas por ondas; quartzitos com estratificação cruzada tabular tipo espinha de peixe (*herring bone*); e quartzitos com estratificação cruzada tabular em conjuntos alternados com espessuras centimétricas e milimétricas (Pedreira 1995). Em um afloramento próximo ao descrito acima ocorrem estratificações cruzadas tabulares com cerca de 50cm de espessura e ondulações de pequena amplitude e grande comprimento de onda, aparentemente sem laminação interna. Na interpretação de Pedreira (1995) as marcas onduladas indicariam deposição em água rasa, sujeita

a influência de maré, com regime de fluxo bidirecional refletido nas estratificações cruzadas tipo espinha de peixe. Os conjuntos de estratificações cruzadas tabulares de espessuras variáveis foram interpretadas por aquele autor como *tidal bundles* formados pela variação quinzenal da altura das marés. A aparente falta de laminação interna nas ondulações dos quartzitos e o seu *ripple index* superior a 10 sugerem que estas sejam ondulações eólicas (Tucker 1982). As estratificações cruzadas tabulares são interpretadas como do tipo Xi de Allen (1963), podendo representar terminações de dunas do tipo barcanas. Sua proximidade com as litofácies associadas a processos de maré, sugere que elas sejam dunas costeiras.

## ASSOCIAÇÃO DE LITOFÁCIES NÃO-MARINHA

É representada pelos metasedimentos clásticos de Formação Casa Forte, do Grupo Maquiné. A associação de litofácies metaconglomerado-arenito (Unidade Chica Dona) tem suas melhores exposições nas cachoeiras de Chica Dona e do Viana, respectivamente ao norte da quadrícula Rio de Pedras e sudeste da quadrícula Rio Acima. Na primeira, metaconglomerados polimíticos encontram-se associados a metarenitos com estratificações plano-paralelas e cruzadas acanaladas. Estes metaconglomerados também se intercalam a metarenitos em corpos de geometria sigmoidal, no mesmo local. Na cachoeira do Viana o pacote consiste de três níveis de metaconglomerados polimíticos, dois deles sustentados pelos clastos (*metachert*, formação ferrífera, quartzo de veio) e um pela matriz. Níveis de metarenitos se intercalam a estes metaconglomerados. São metarenitos de cor cinza, com laminação cruzada tabular, em *sets* de aproximadamente 6cm de espessura. Metarenitos com estratificação cruzada festonada (20cm de espessura) separados por níveis de metarenitos mais finos afloram no alto da escarpa.

Esta associação metarenitos com estratificação cruzada e metaconglomerados clasto-sustentados é indicativa de deposição fluvial,

com os metaconglomerados podendo ser interpretados como barras longitudinais, linguóides ou de preenchimento de canal, dependendo do tipo de estratificação dos mesmos. No caso destes metaconglomerados a forte deformação obliterou suas estruturas, sendo indetectáveis apenas imbricamento de seixos, uma característica de barras longitudinais. Estratificações plano-paralelas, cruzadas acanaladas e tabulares dos metarenitos estão relacionadas às profundidades de água e dos canais de preenchimento (Sugio & Bigarella 1990), as plano-paralelas identificando águas rasas, passando às demais com o aumento da profundidade. Assim, Pedreira (1995) interpretou os metarenitos com estratificação plano-paralela, associados a metaconglomerados da cachoeira Chica Dona como depósitos fluviais de águas rasas de topo de barra. Os metarenitos com estratos cruzados acanalados das duas cachoeiras teriam se depositado em

águas mais profundas em canais fluviais. Os metarenitos com laminação cruzada tabular da cachoeira do Viana foram interpretados como barras linguóides.

Uma outra litofácies de grande extensão é a representada por metarenitos microconglomeráticos da Unidade Jaguará, Formação Casa Forte do Grupo Maquiné. São metarenitos de granulação grossa, em geral com estratificação gradacional, granodecrescente, muitas vezes tendo em sua base estreitas lentes de metaconglomerados polimíticos semelhantes ao da litofácies anterior. Estratificação cruzada acanalada e tangencial, de pequeno a médio porte, é estrutura relativamente comum. Este litofácies foi interpretada como sedimentos de um sistema fluvial de rios entrelaçados (*braid plain*), como já havia sido proposto por Baltazar et al. (1994).

## GEOLOGIA ESTRUTURAL

Por Orivaldo Ferreira Baltazar

### INTRODUÇÃO

A análise geométrica e cinemática das estruturas planares e lineares dos litótipos pertencentes ao *Greenstone Belt* Rio das Velhas (GBRV) permitiu a interpretação de sua evolução estrutural em três eventos deformacionais, dois deles de natureza compressional e um extensional intermediário. Não foram estudadas as unidades granito-gnáissicas e as coberturas proterozóicas ou mais novas.

### EVENTO D1

O primeiro evento, de caráter tangencial, compressional, com transporte tectônico de norte para sul e de natureza dúctil, é exclusivo do GBRV e seu embasamento. É responsável pelas estruturas mais antigas, já reconhecidas anteriormente por Ryneerson et al. (1954). Estas têm direções gerais ENE-WNW ou E-W (Corrêa Neto & Baltazar 1995), estando representadas por dobras isoclinais, recumbentes, com vergências para S ou SSE e caimentos de eixos suaves para E. São impostas sobre uma estrutura planar primária, representada por um acamadamento sedimentar original  $S_0$  (reconhecido pela preservação de estruturas como canais de erosão, estratificações cruzadas, horizontais plano-paralelas e gradacionais, marcas-de-onda, estruturas-em-chama, etc), ou estruturas

ígneas primárias (*pillows*, *spinifex*, etc.), ou ainda sobre um bandamento composicional, muito característico de litótipos da Formação Palmital, Grupo Maquiné.

Uma foliação  $S_1$  relacionada a este evento desenvolve-se em posição plano axial destas dobras, com direções EW a ENE e fortes mergulhos ( $60^\circ$  a  $70^\circ$ ) para NNW, subparalela ao acamadamento  $S_0$  dobrado. Esta foliação é milonítica ao longo de zonas de maior deformação, materializadas por falhas de empurrão de norte para sul, como a que coloca em contato as unidades Ouro Fino, Catarina Mendes e Córrego do Sítio, do Grupo Nova Lima, na quadrícula Itabirito, ao norte do Complexo de Bação.

Uma proeminente lineação mineral (micas, clorita, quartzo) e de estiramento  $Lx_1$  (pirita com sombra-de-pressão) associa-se a estes planos de foliação  $S_1$ , posicionando-se segundo o mergulho (*down dip*) e com caimentos para norte. Lineações de interseção de  $S_0$  com  $S_1$  ( $Lb_1$ ), sub-horizontais e paralelas aos eixos das dobras são comuns. Estas estruturas encontram-se bem preservadas na parte ocidental do Quadrilátero, mais especificamente a noroeste do Complexo de Bação, na Quadrícula Itabirito (1:25.000). Para leste, as estruturas representativas deste evento estão obliteradas ou reorientadas pelos sistemas de empurrões brasileiros superpostos (figura 6), embora ainda possam

Figura 6 - Mapa estrutural simplificado do Quadrilátero Ferrífero

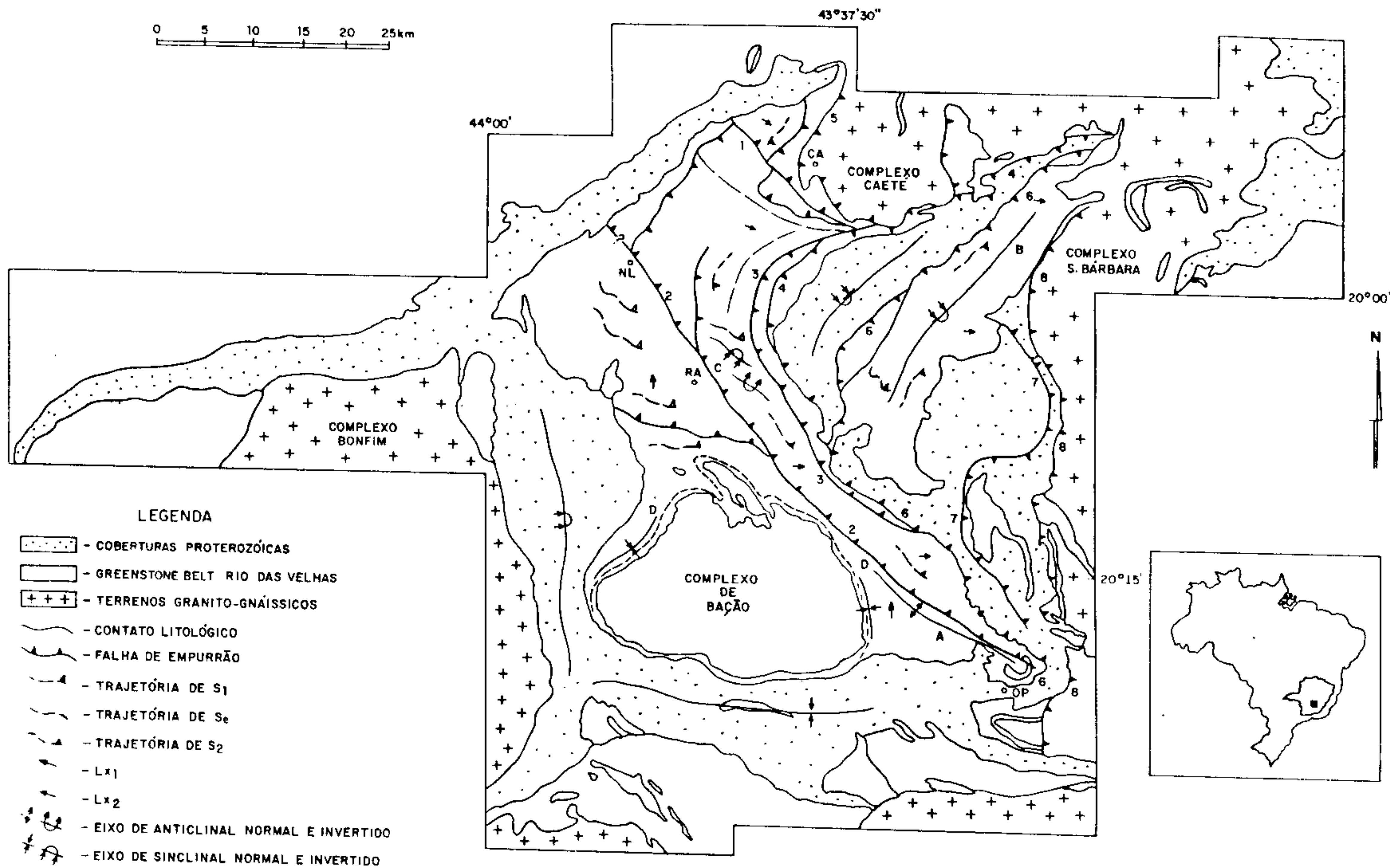


Fig.6 - Mapa Estrutural Simplificado do Quadrilátero Ferrífero.

"FRONTS" DE EMPURRÕES: 1- LINEAMENTO JUCA VIEIRA, 2- LIN. S. VICENTE, 3- RIBEIRÃO DA PRATA, 4- CAMBOTAS, 5 - CAETÉ, 6- FUNDÃO, 7- ALEGRIA, 8- ÁGUA QUENTE. DOBRAS: A- ANTICLINAL DE MARIANA, B- SINCLINÓRIO CONCEIÇÃO, C- DOBRAMENTOS VARGEM DO LIMA, D- DOBRAS MARGINAIS AO COMPLEXO DE BAÇÃO. LOCALIDADES: CA-CAETÉ, NL-NOVA LIMA, RA-RIO ACIMA, OP-OURO PRETO.



ser encontradas preservadas no interior de mega-pods, em posições próximas às originais, tal como ocorre na região do morro Três Irmãos (Quadrícula Gandarela), em rochas pertencentes à Formação Casa Forte, Grupo Maquiné, junto à frente de empurrão do Ribeirão da Prata (Corrêa Neto & Baltazar 1995; Baltazar et al. 1995).

Os lineamentos Juca Vieira, Areão, Tapera e São Vicente, embora reativados no ciclo Brasileiro, teriam sido gerados durante este evento deformacional  $D_1$ , configurando antigos empurrões. Tal hipótese se baseia em algumas observações, ainda inconclusivas, mas que devem ser consideradas principalmente em relação ao lineamento de São Vicente. Algumas de suas características peculiares estimulam tal hipótese: mineralizações auríferas ao longo de toda a sua extensão; geometria configurando traço retilíneo, diferentemente dos lineamentos brasileiros encurvados em arcos côncavos para leste; sua sobreposição pelo Sistema Fundação-Cambotas na terminação do Anticlinal de Mariana; seu paralelismo com o Sinclinal Vargem do Lima (Gair 1962), calha de deposição dos sedimentos clásticos não marinhos (litorâneos e fluviais) do Grupo Maquiné (idade arqueana). Portanto estes lineamentos teriam sido gerados quando da inversão da bacia, indicada por grandes dobras recumbentes com eixos de mesma direção (NW-SE) e vergências para sul. A presença de lineações minerais e de estiramento, com atitude média  $068^{\circ}/21^{\circ}$ , junto ao lineamento (quadrículas Itabirito e Rio de Pedras) e associadas a seus planos de foliação, é também um bom indício de uma direção de transporte anterior à do evento Brasileiro.

Igualmente significativo é o fato da estrutura São Bento (extremo NE do Quadrilátero) não ter suas mineralizações controladas pelo *fabric* linear E-W, presumivelmente por não ter sido reorientada pela deformação brasileira, por estar protegida pelo maciço do Caraça.

Registre-se, ainda, extensas anomalias lineares nítidas em mapas aerogeofísicos gamaespectrométricos do canal do potássio ao longo destes lineamentos e também

paralelamente aos mesmos. Aí foram verificadas, no campo, zonas de alteração hidrotermal que são importantes metalotectos para mineralizações de ouro.

As estruturas descritas acima condizem com um evento de encurtamento crustal, onde blocos localizados ao norte foram erguidos em relação aos do sul (Corrêa Neto & Baltazar 1995). Chemale Jr. et al. (1991, 1994) e Noce et al. (1994) posicionam-no no Arqueano ( $\sim 2,7$ Ga).

## EVENTO D2

Está relacionado ao posicionamento (*emplacement*) do Complexo de Bação, no extremo sul do Quadrilátero (e outros domos granito-gnássicos em sua parte externa). Caracteriza-se pelo arranjo assumido pela foliação  $S_1$  do evento anterior, amoldando-se ao redor do núcleo granito-gnássico, com mergulhos para o exterior do núcleo e lineações minerais *down dip* nos seus domínios norte e sul. Junto ao contato há a formação de uma outra foliação, relacionada à colocação de granitos do complexo, aqui denominada  $S_e$ , de caráter milonítico, contornando o corpo e relacionando-se a zonas de cisalhamento formadas durante a ascensão de corpos graníticos de várias idades. Justapõe-se a esta foliação uma auréola metamórfica de contato, com o desenvolvimento de associações minerais a biotita, plagioclásio, epidoto, hornblenda, estauroлита e cianita, em rochas do GBRV.

No domínio norte da estrutura, indicadores cinemáticos (foliações  $S/C$ , *shear bands*) observados no contato do domo granítico com metassedimentos do Grupo Nova Lima, apontam movimentos diferenciais ora reversos ora normais, com estes superpondo-se àqueles; ao sul foram observados apenas movimentos normais. Em suas bordas leste e oeste,  $S_1$  possui direções norte-sul, está verticalizada, com lineações minerais e de estiramento (seixos de conglomerado) sub-horizontais e dobras intrafoliais de eixos verticais. Interpretam-se estas direções como uma reorientação e/ou dobramentos das estruturas pretéritas ( $S_1$ ,  $Lx_1$ ,  $Lb_1$ ) junto ao Complexo de Bação, dando origem aos

sinformes que o flanqueiam a leste e a oeste (figura 6), ao modo de sinclinais marginais a diápiros (Jackson & Talbot 1989). O quadro cinemático visualizado ao norte e ao sul do complexo é o esperado no caso de soerguimento de domos em rochas com orientações pretéritas E-W e transporte tectônico de Norte para Sul. Este segundo evento, possivelmente de idade transamazônica (2,2 - 2,1Ga), foi extensional e responsável pela ascensão de *core-complexes* entre os quais se incluiria o Complexo de Bação (Chemale Jr. et al. 1991, 1994). As observações de campo realizadas durante o Projeto Rio das Velhas e acima descritas, embora em caráter preliminar e ainda inconclusivas, corroboram a proposição dos autores acima para a origem da estrutura.

Alkmim et al. (1994), por seu turno, caracterizam duas manifestações distintas do evento Transamazônico no interior do Quadrilátero: a primeira geradora de dobras e falhas de empurrão NE-SW, com transporte tectônico de SE para NW, posteriormente afetadas por uma segunda, que seriam estruturas extensionais relacionadas ao desenvolvimento dos domos granito-gnáissicos e, mais tardiamente, pelos elementos tectônicos do evento Brasileiro. Ainda segundo estes autores, datações Sm-Nd em granadas e em rocha total de litótipos da Formação Sabará junto aos domos granito-gnáissicos, permitiram atribuir idade de cerca de 2,1 Ga para a geração das auréolas de metamorfismo em torno dos mesmos. A leste do Complexo de Bação, o Anticlinal de Mariana (Dorr 1969), definindo amplo arqueamento antiformal, aberto, normal, de eixo com caimento suave para SE, onde  $S_1$  tem direções EW a NW, com mergulhos em torno de  $25^\circ$  para SW e NE, parece ter-se formado devido à ascensão de domos granito-gnáissicos não-aflorantes, seguido de encurtamento E-W, durante o qual ocorreram falhas e dobras, conforme já observado anteriormente por Chemale Jr. et al. (1991); Nalini Jr. et al. (1992) e Corrêa Neto & Baltazar (1995).

### EVENTO D3

O evento D3 é o mais notável no interior do Quadrilátero, dominando todo o setor oriental. É representado regionalmente pela

foliação  $S_2$  com direções NW, NS e NE, de sul para norte, e mergulhos medianos para leste, direções relacionadas a rampas oblíquas e frontais dos fronts de empurrões aos quais esta foliação está relacionada (figura 7). É, portanto, milonítica junto a estes fronts, preservando marcadores cinemáticos como estruturas S/C, dobras assimétricas e sistemas porfiroclásticos assimétricos que permitem inferir a sua natureza. As lineações minerais e de estiramento associadas ( $Lx_2$ ), representadas pela orientação de micas e clorita nos planos de foliação milonítica, estiramento de seixos de conglomerados da Formação Casa Forte (Grupo Maquiné) e sombras-de-pressão em cristais de pirita em metapelitos do Grupo Nova Lima, têm direção geral E-W a WNW-ESE, caracterizando transporte tectônico de leste para oeste em uma deformação tangencial, compressiva, do tipo fold-thrust, de natureza dúctil e rotacional (cisalhamento simples). Associadas aos empurrões formaram-se dobras apertadas a isoclinais, em todas as escalas, com eixos paralelos às direções das falhas e vergências para W, facilmente identificadas em unidades conglomeráticas da Formação Casa Forte.

Lineações "b" relacionadas a este evento ( $Lb_2$ ) são representadas por interseções da foliação  $S_2$  com as estruturas planares pretéritas ( $So//S_1$ ).

Entre as megaestruturas relacionadas, destaca-se o Sistema de Cisalhamento Fundão-Cambotas (SCFC - Chemale Jr. et al. 1991; Endo & Fonseca 1992), formado pela articulação das falhas do Fundão (Dorr 1969) e Cambotas (Rodrigues et al., 1989), configurando um front de empurrões e dobramentos envolvendo o Sinclinal do Gandarela. Exibe, em planta, um traçado em arco, com concavidade para leste, podendo ser dividido em três segmentos distintos: os segmentos Norte e Sul, com direções respectivas NE-SW e NW-SE configurando rampas de empurrão oblíquas e segmento central de direção N-S, em rampa frontal (figura 7). Além desta descontinuidade mestra, sucedem-se, em direção a leste, diversas escamas imbricadas, superpostas, representadas pelas falhas de Ouro Fino, das Flechas, da Alegria, do Frazão e da Água Quente (Endo & Fonseca 1992). As três últimas compõem o "Sistema de Falhas do Caraça" (Ribeiro-Rodrigues et al. 1993). Para oeste do Sistema de Cisalhamento Fundão-Cambotas, foram cartografados outros fronts de empurrão, progressivamente mais antigos

naquela direção, a saber: falha do Ribeirão da Prata, falha de Caeté e falha de São Vicente como as mais importantes, esta, mais antiga, reativada, como outras escamas de empurrão subordinadas (figura 6).

Nas imediações de Morro Vermelho, parte centro-norte da área, há uma extensa faixa milonítica configurando um leque de orientação geral E-W, abrindo-se na extremidade oeste nas direções NW e SW. É interpretada como uma zona de interferência entre dois fronts de empurrões, representados pelas falhas de Caeté, ao norte, e do Ribeirão da Prata, ao sul. Foi gerada pelo avanço diferenciado (de E para W) destes dois fronts, com este último sobrepondo-se ao primeiro, proporcionando extensa rampa lateral E-W com mergulhos moderados a baixos para sul e lineação mineral/estiramento sub-horizontal, paralelizada à direção da foliação.

Este evento deformativo é atribuído ao ciclo Brasileiro (Chemale Jr. et al. 1991; Alkmim et al. 1994), sendo os diversos fronts de empurrão progressivamente mais novos de oeste para leste, em sentido oposto ao de transporte tectônico (Baltazar et al. 1995), em uma propagação do tipo overstep (Butler 1982).

Como manifestações tardias do evento Brasileiro são comuns por toda a área clivagens de crenulação/fratura de direções gerais NS e EW, subverticais: eixos de crenulações com estas direções ocorrem onde as clivagens não se desenvolveram. Posteriores a estas, são comuns falhas rúpteis segmentando os fronts de empurrão.

A faixa de afloramentos do Grupo Maquiné, porção central do greenstone, não parece configurar um sinclinal simples invertido, como proposto por Gair (1962). Este sinclinal, denominado então Sinclinal Vargem do Lima, é, na realidade, uma estrutura complexa de dobras-falhas, resultante da interferência dos dois eventos compressoriais acima descritos (figura 7) (discussões mais detalhadas em Baltazar et al. 1995).

Ao norte da serra do Caraça, na região drenada pelo rio Conceição, os trabalhos de mapeamento permitiram a identificação de ampla estrutura sinformal, com traço axial segundo SW-NE, fechamento para NE e flanco sudeste invertido, com antiformes e sinformes menores, parasitas, em seu flanco sudeste. Esta estrutura é referida por Dorr (1969) como um anticlinal invertido, por ele denominado de Anticlinal de Conceição.

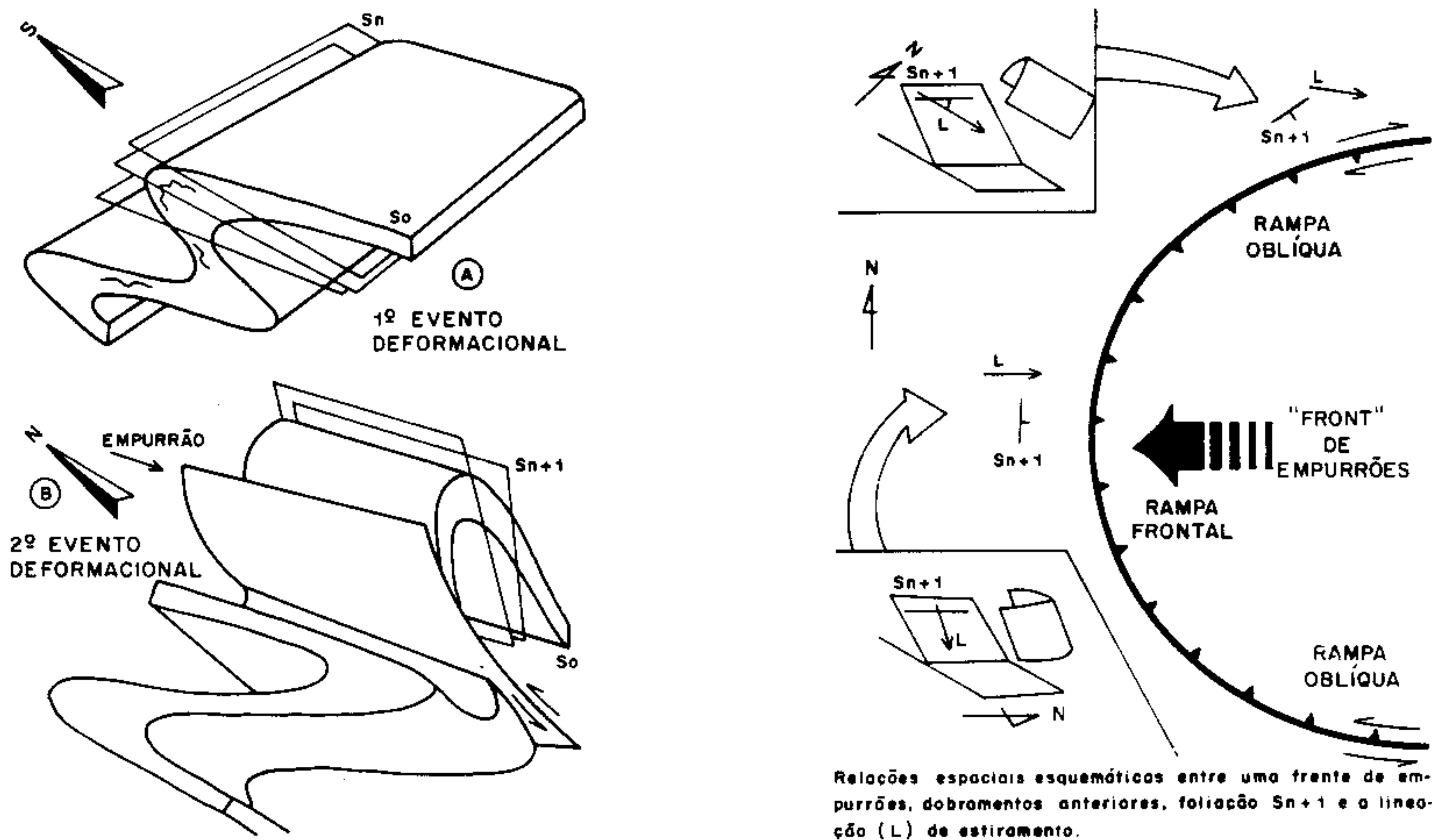


Fig. 7 - Modelo conceitual esquemático da evolução estrutural proposta. (segundo Corrêa Neto, Baltazar e Silva 1994)



## PETROLOGIA E LITOGEOQUÍMICA

Por Luiz Carlos da Silva

### INTRODUÇÃO

Esta síntese do reconhecimento litogeoquímico do Projeto Rio das Velhas (DNPM/CPRM) foi executada como apoio à cartografia 1:25.000 do GBRV. Como os dados litogeoquímicos disponíveis na literatura têm focado com maior ênfase apenas a unidade basal do GBRV (e.g. Ladeira 1985; Schorcher 1992), o presente trabalho foi direcionado à caracterização global da seqüência, incluindo também a associação félsica e os metassedimentos clásticos dos grupos Nova Lima e Maquiné. Não foram analisados quimicamente os komatiitos peridotíticos e rochas plutônicas cumuláticas da unidade basal. Trata-se de um trabalho de reconhecimento visando auxiliar a cartografia regional do cinturão tendo sido dada ênfase a: I) à caracterização da assinatura primária do vulcanismo máfico, toleítico, e da influência das alterações pós-magmáticas nessa assinatura; II) à caracterização do vulcanismo félsico, reconhecido quimicamente como uma associação calcialcalina; III) à definição e caracterização química e petrográfica da série "grauvaca-siltito-argilito" bem como de suas principais áreas fontes; e, finalmente, IV) à caracterização dos principais tipos de alterações hidrotermais, suas potencialidades metalogenéticas, suas relações com os eventos metamórfico-deformacionais e a avaliação de sua influência na obliteração das assinaturas magmáticas das séries precursoras.

A despeito da pervasiva alteração hidrotermal pré- e pós-metamórfica (especialmente) da seqüência máfico-ultramáfica, o estudo da distribuição dos ETR (ao contrário dos elementos maiores) possibilitou a reconstituição da maioria dos protólitos precursores do vulcanismo, o estabelecimento do *timing* dos principais tipos de alteração, das prováveis fontes da sedimentação, bem como o estabelecimento de um quadro razoável de evolução crustal.

Os trabalhos cartográficos e de caracterização geoquímica tiveram suporte no estudo microscópico de 1100 seções delgadas e 63 análises químicas incluindo: elementos maiores, traços e elementos de terras raras (ETR). As descrições microscópicas foram executadas por: Márcia Zucchetti, Frederico Ozanam Raposo e Jéssica Beatriz Carvalho Tallarico da SUREG/BH; Ana Maria Dreher e Luiz Carlos da Silva do DEGEO, com a supervisão da Coordenação de Petrologia do PLGB. As análises químicas foram executadas pelo GEOLAB.

Pelo fato de a seqüência vulcano-sedimentar do *greenstone belt* Rio das Velhas (GBRV) ter sido metamorfisada em fácies xisto-verde (localmente anfibolito), todas as rochas aqui enfocadas deveriam ser precedidas pelo prefixo meta (metarenitos, metabasaltos, metatufos, etc.). Entretanto, por motivos de simplificação, esse prefixo foi omitido no texto, tendo sido empregado apenas nos títulos e subtítulos. O número relativamente restrito de análises químicas executadas para todo o cinturão (63) dá a essa síntese uma conotação de reconhecimento preliminar.

# O VULCANISMO MÁFICO-ULTRAMÁFICO

## ASSOCIAÇÃO KOMATIÍTICA

### METAKOMATIÍTOS BASÁLTICOS

#### Petrografia

Apenas duas amostras de komatiitos basálticos foram reconhecidas. São (epidoto)-clorita-tremolita xistos, microscopicamente caracterizados por finos agregados feltrosos de baixa resolução (granulação < 0.01mm). Apesar da total recristalização da paragênese magmática original, uma delas (NS47 Formação Ouro Fino) exibe remanescentes de texturas indicativas de rápido resfriamento subaquoso (*quenching*) de magmas imiscíveis: variolito (P8/1) As variólas são ovóides, denotando discreta taxa de *strain*, cuja disposição iso-orientada do eixo maior marca uma superfície planar regular (S1). Apresentam diâmetros submilimétricos e distinguem-se da matriz apenas por serem ricas em clorita em adição à tremolita, enquanto a matriz é constituída quase que exclusivamente por tremolita.

Ocorrem sob a forma de horizontes descontínuos de pequena espessura, intercalados com tufos máficos na porção supracrustal da associação vulcano da região do córrego Mostarda.

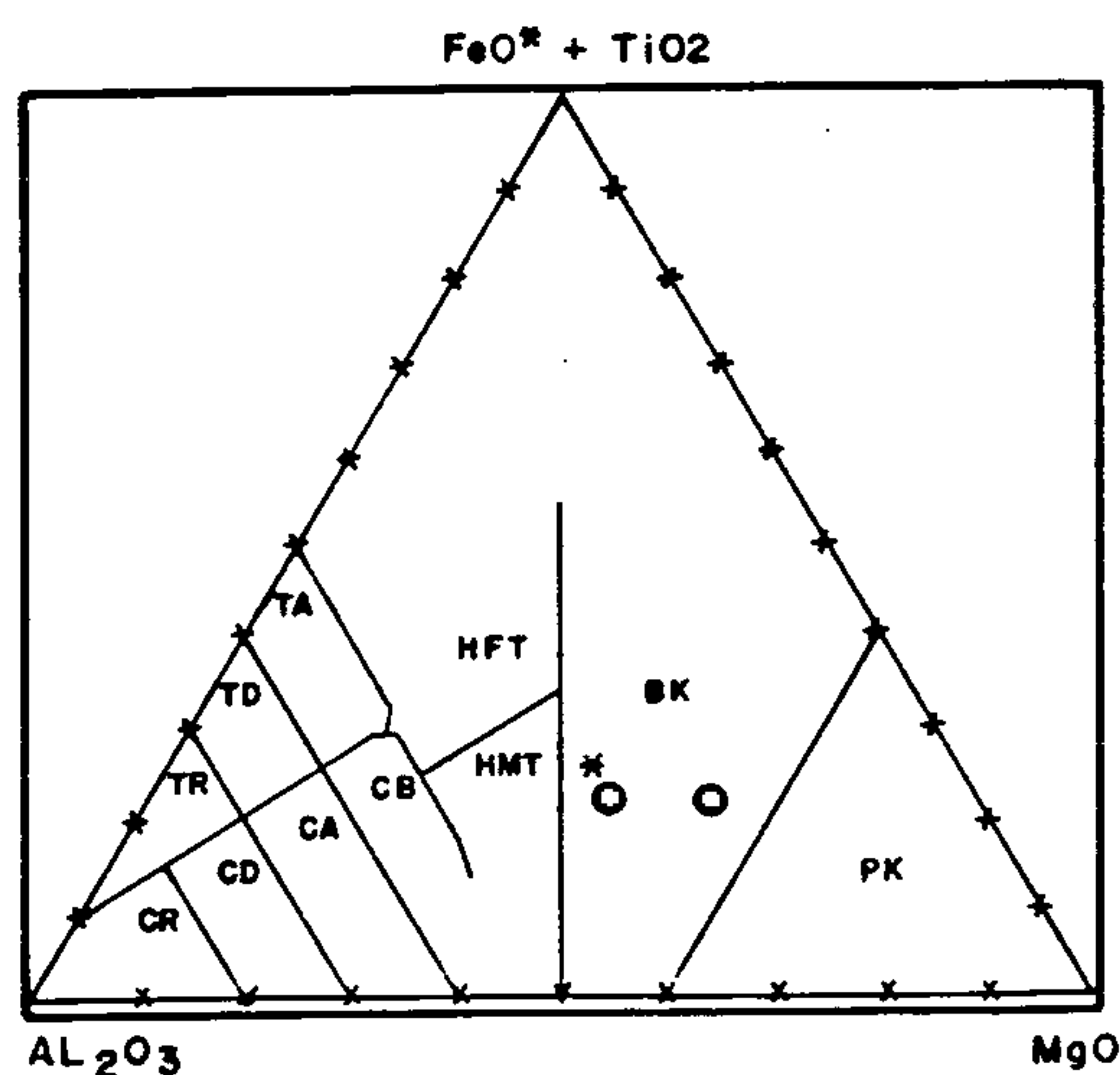


Figura 8: Diagrama catiônico (Jensen 1976) para os komatiitos basálticos da área (círculos) e, para os komatiitos basálticos de Barberton do tipo "BK1", de Condie, 1981 (asterisco)

#### Litogeoquímica & Petrogênese

Apesar das alterações pós-magmáticas, os altos conteúdos em MgO (10,9 e 14,4%) com Mg # de 67 e 72, alto Cr (999 e 1150 ppm) e Ni (215 e 381ppm), além dos baixos conteúdos em Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (8.6 e 11%), são compatíveis com o dos basaltos komatiíticos (variolíticos) do tipo BK1 de Barberton (Condie 1981) - ver tabela 1, onde as duas análises da área e uma análise representativa do BK1 estão assinaladas.

No diagrama catiônico de Jensen (1976) da figura 8, a distribuição das amostras (círculos cheios) no campo dos basaltos komatiíticos e a composição bastante próxima do padrão BK1 (asterisco) fica evidenciada.

A distribuição dos ETR normalizados a manto primitivo (Sun 1982, figura 9) - mostra preservação da assinatura magmática original apenas com referência aos ETRP, os quais apresentam baixos conteúdos relativamente aos valores mantélicos (Yb<sub>N</sub> entre 3 e 4 X o padrão). Mesmo quando comparados com o padrão BK1 obtido em basaltos não alterados e com Mg# similar (asteriscos na figura 9) mostram menores conteúdos de ETRP. Os ETRL, ao contrário, apresentam forte desvio do padrão BK1 original dado por maiores razões La<sub>N</sub>/Sm<sub>N</sub>. Esse incremento dos elementos mais incompatíveis é interpretado como resultante de alterações pós-magmáticas.

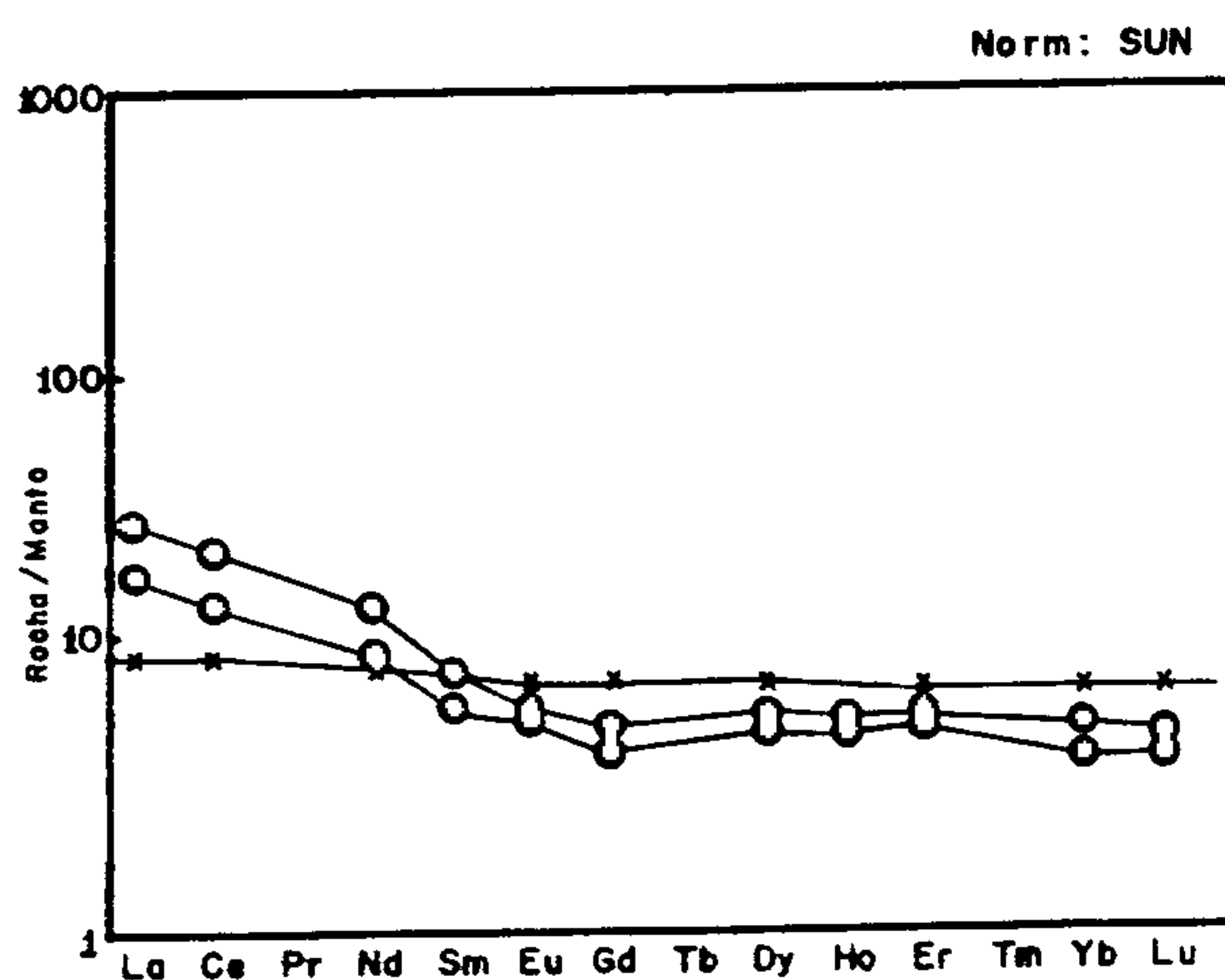


Figura 9: Distribuição dos ETR normalizados a manto primitivo (Sun 1982) para os komatiitos basálticos (círculos). O padrão empobrecido em ETRP (Yb<sub>N</sub> 4 a 5 x o padrão) representa magma original mais primitivo que os dos "BK1" (komatiitos basálticos de Barberton de Condie 1981) assinalados em asteriscos. O enriquecimento em ETRL é interpretado como pós-magmático.

Tabela 1 - Análise química de elementos maiores (%) e elementos traços (ppm) de komatiitos basálticos.

Ordem Amostra	1 BK1	2 NS47	3 WL60
SiO <sub>2</sub>	50,50	53,90	52,90
TiO <sub>2</sub>	0,60	0,49	0,48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,00	11,00	8,60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,53	3,40	3,20
FeO	9,23	6,10	7,10
MnO	0,20	0,17	0,19
MgO	10,20	10,90	14,40
CaO	11,80	8,70	6,10
Na <sub>2</sub> O	1,87	1,30	1,10
K <sub>2</sub> O	0,17	0,11	0,02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,06	0,05	0,05
Subtotal	97,16	96,12	94,14
S	-	0,00	0,00
H <sub>2</sub> O	-	0,04	0,03
CO <sub>2</sub>	-	0,10	0,75
PF	2,04	3,47	4,87
Total	99,20	99,69	99,76
Mg #	63,06	67,96	72,00
Cr	920	999	1150
Ni	360	215	381
Co	50	74	91
Sc	-	41	39
V	250	208	181
Cu	-	75	66
Pb	-	42	44
Zn	-	77	85
As	-	1	1
Rb	-	11	9
Ba	20	30	17
Sr	100	105	35
Ta	-	5	5
Nb	-	5	5
Zr	33	49	69
Y	17	14	13
Th	-	5	5
U	-	10	10
La	3,00	6,07	9,44
Ce	7,90	12,16	19,34
Nd	5,20	5,90	8,82
Sm	1,60	1,20	1,62
Eu	0,55	0,41	0,45
Gd	2,00	1,11	1,38
Dy	2,50	1,64	1,91
Ho	-	0,36	0,41
Er	1,50	1,14	1,23
Yb	1,50	0,84	1,10
Lu	0,23	0,13	0,16

1 - Basalto komatiítico tipo 1 (Condie, 1981).

2 - Epidoto-clorita-tremolita xisto (U. Ouro Fino).

3 - Clorita-tremolita xisto (U. Morro Vermelho).

A boa correlação com os basaltos komatiíticos BK1 é igualmente visualizada na figura 10 onde os elementos compatíveis e incompatíveis foram normalizados aos valores do BK1. Relativamente ao padrão, os basaltos komatiíticos da área mostram-se mais primitivos, apresentando discreto empobrecimento nos elementos compatíveis e K. Apresentam, por outro lado, enriquecimento nos ETRL.

A normalização ao MORB (figura 11) mostra o caráter mais primitivo dos basaltos komatiíticos da área e do BK1, relativamente ao padrão, dado pelo empobrecimento relativo nos elementos compatíveis. Mostra, também, enriquecimento relativo em Rb, U, Th que pode ser atribuído à alteração pós-magmática.

## METAKOMATIÍTOS PERIDOTÍTICOS

Os komatiitos peridotíticos compõem - juntamente com espessos horizontes cumuláticos - a Unidade Quebra Osso. Por terem recebido detalhamento desde seu

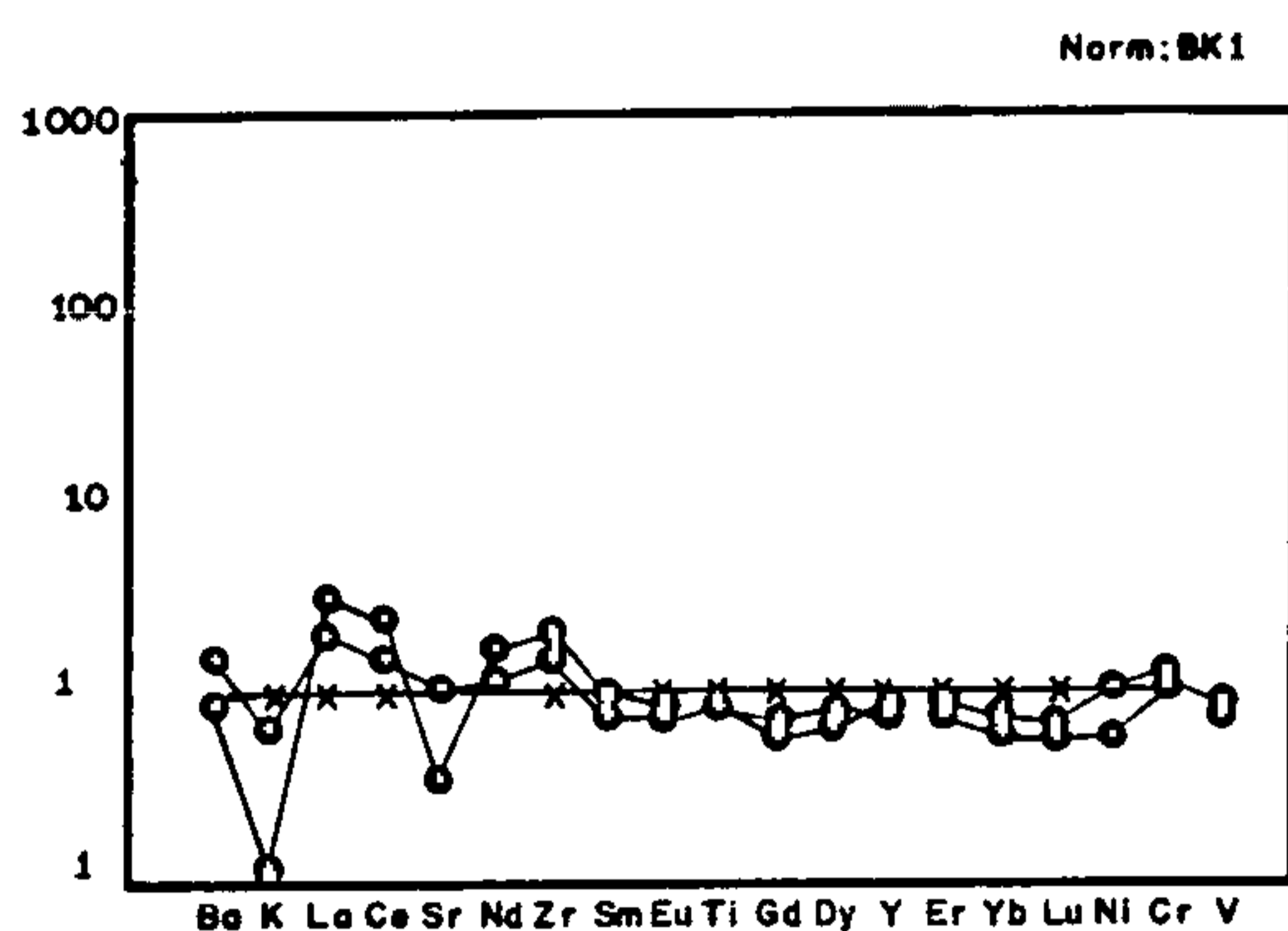


Figura 10: Komatiitos basálticos (círculos) normalizados aos valores de elementos compatíveis e incompatíveis de komatiitos basálticos tipo BK1 de Barberton (Condie 1981).

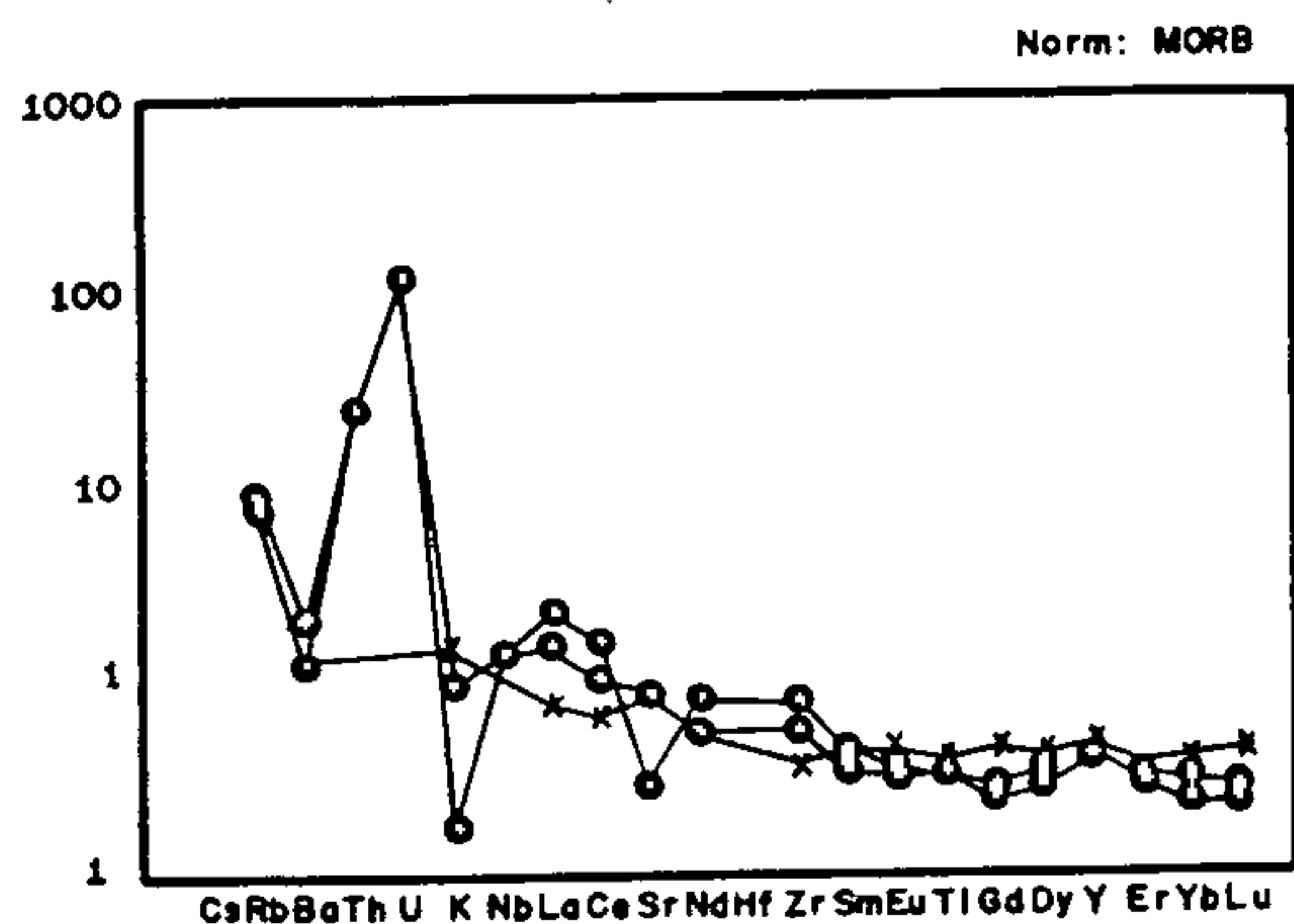


Figura 11: Komatiitos basálticos (círculos) normalizados ao MORB, comparado ao padrão dos komatiitos basálticos tipo BK1 de Barberton (asterisco) de Condie (1981).

reconhecimento (ver Schorscher 1992) não foram objeto de detalhamento químico no presente trabalho. Apenas novas ocorrências de lavas com textura spinifex são abaixo caracterizadas.

## Petrografia

Lavas ultrabásicas com texturas quenching foram observadas localmente. Também localmente ocorrem horizontes com texturas fragmentais constituídos por brechas de matriz devitrificada com abundantes fragmentos angulosos de composição similar e comprimentos que foram interpretadas como brechas subaquosas (hialoclásticas)-P8/2.

De uma maneira geral, são constituídas por agregados de baixa resolução microscópica, de composição tremolítica (matriz). Nesta matriz dispõem-se de forma aleatória inúmeras palhetas ou "agulhas" com comprimento entre 0,1 e 0,5mm, que entrecruzam-se em ângulos variáveis representando pseudomorfos esqueletais de olivina (?) ou clinopiroxênio. Essas feições, que no plano da lâmina lembram agulhas (e que em outras seções podem ter forma tabular), têm composição serpentinitica. Trata-se de textura resultante de rápido resfriamento (quenching) de rocha ultramáfica (e ultrabásica) possivelmente tratando-se de um arranjo do tipo micro spinifex (RM 494C).

Na amostra (RM 494B) outra variedade de textura quenching foi observada: matriz constituída por finíssimo agregado de material serpentinitico, onde dispersam-se agulhas de tremolita, de comprimento entre 0,05 e 0,2mm.

Na maior parte das exposições a paragênese magmática original acha-se totalmente substituída por efeitos hidrotermais, especialmente talcificação, esteatitização, cloritização, magnetitização, serpentinitização, e turmalinização.

A única análise química disponível mostra teores de sílica de 53,4%, MgO 24,2%, CaO 9,3% e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2,3%. Cr e Ni são elevados, 1365ppm e 1178ppm, respectivamente.

Esses dados sugerem uma natureza



anisoquímica da paragênese devitrificada. Embora os valores de MgO, Ni e Cr sejam compatíveis com o de material ultrabásico, os valores de sílica e CaO estão acima do esperado e o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> muito abaixo.

O padrão de ETR (fig. 12) mostra acentuado empobrecimento tanto em ERTL quanto em ETRP, com baixa razão La<sub>N</sub>/Lu<sub>N</sub> (1,45) e forte depleção em Eu (Eu/Eu\* - 0,733). Quando comparada com os komatiitos basálticos da área mostram padrão mais primitivo (menor enriquecimento nos níveis totais de ETR).

## VULCÂNICAS TOLEIÍTICAS (FE-TOLEIÍTOS)

Devido ao fato de a associação vulcanogênica toleítica ter sofrido diferenciados graus de alterações pós-magmáticas, embora do ponto de vista petrográfico tenha sido abordada indiferenciadamente, para efeito de tratamento litogeoquímico foi subdividida em duas subunidades: metabasaltos e metabasaltos alterados. A população menos transformada, com assinatura geoquímica ainda refletindo padrões próximos aos dos seus precursores (N-MORB), foi designada de "metabasaltos". A maior parte da população analisada, entretanto, foi abordada separadamente, apenas para a caracterização das alterações anisoquímicas pervasivamente sofridas ("metabasaltos alterados").

## METABASALTOS

Somente a população menos alterada ("metabasaltos") foi tratada com finalidades petrogenéticas e de reconstituição paleotectônica. Por população menos alterada, no entanto, não deve-se entender

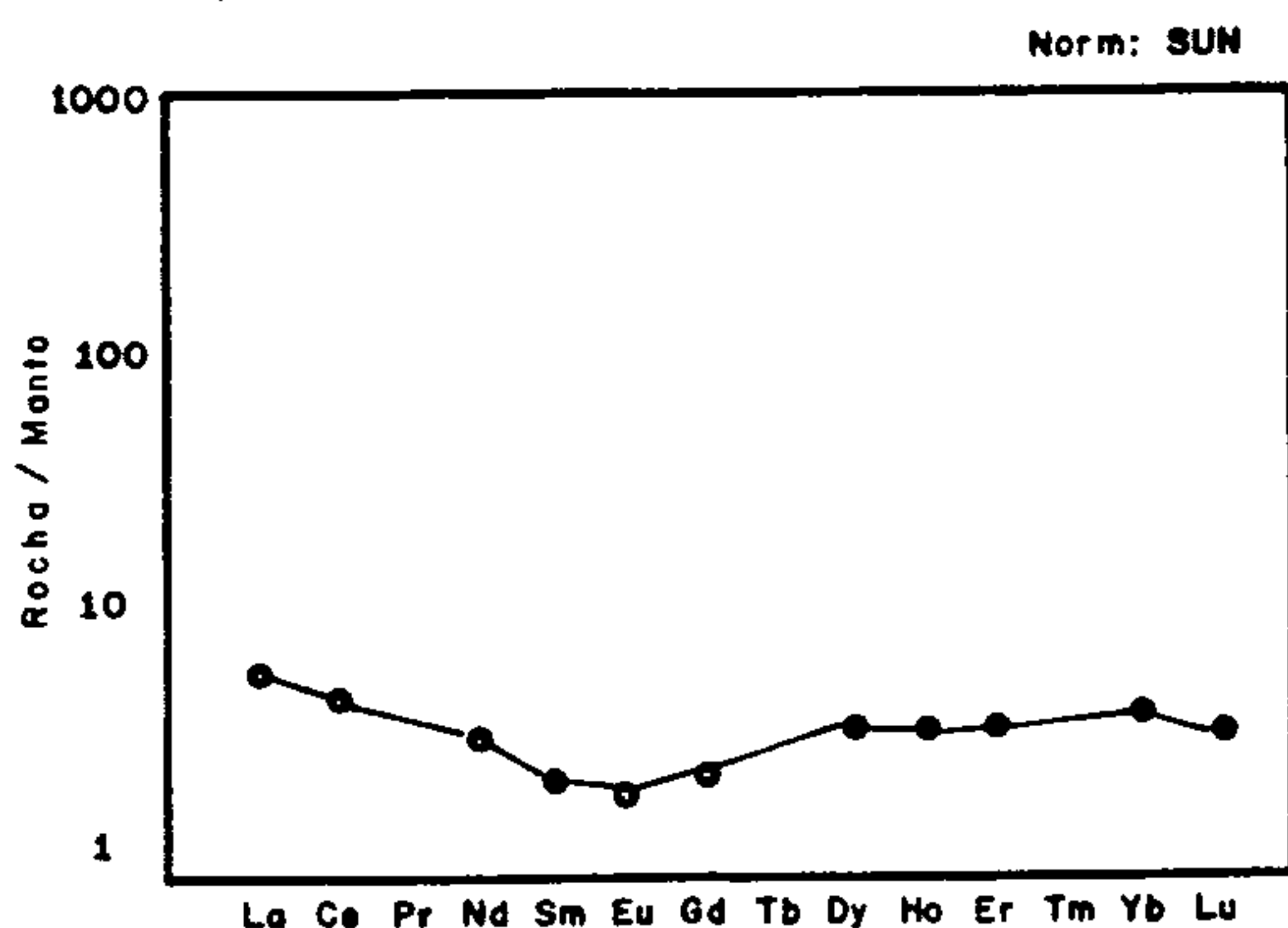


Figura 12: Distribuição dos ETR normalizados ao manto primitivo (Sun 1982) para komatiito peridotítico, mostrando acentuado empobrecimento em ERTL e ETRP e forte depleção em Eu.

ausência de alteração. Uma das amostras (SS 91A) apresenta forte e pervasiva carbonatação pré-metamórfica (P2/1) e abundante microvenulações quartzosas. Entretanto, por apresentar, como as demais, espectro de ETR relativamente bem preservado, foi tratada nesse grupo. Devido a essas peculiaridades o plote dessa população em diagramas TAS de classificação e nomenclatura (ver figura 13) deve ser visto com reservas para todo o grupo, devido à alta mobilidade desses elementos (álcalis). Portanto, o principal critério para a discriminação entre ambos os grupos (basaltos e basaltos alterados) foi o espectro de distribuição dos ETR (normalizados ao condrito) e os aranhogramas (*spiderdiagrams*) dos elementos compatíveis e incompatíveis (normalizados aos valores do N-MORB) - ver item litogeoquímica (É desnecessário salientar as naturais reservas quanto ao emprego - para metabasaltos arqueanos mesmo considerados "menos alterados" - de padrões obtidos em vulcânicas modernas, africanas, não metamorfizadas e não alteradas).

## Petrografia

Ocorrem sob a forma de derrames (lavas) predominantemente maciças, localmente exibindo horizontes amigdaloidais (P8/3) e variolíticos. Intercalações de tufos máficos (P8/5) e lavas com *interflows* químico-exalativos como BIFs (P8/5) e metacherte (P9/4).

Apresentam granulação fina (1-0,25mm) a muito fina (<0,25mm). São microscopicamente caracterizadas por agregados feltrosos com baixa resolução microscópica, compostos principalmente por: tremolita-actinolita (40-60%); clorita (20-40 %); albita (5%); epidoto (5%); quartzo (5%); titanita (2%), opacos/rutilo (1%). Podem apresentar discreta a moderada trama planar, dada pelo alinhamento dos minerais máficos.

Os derrames portadores de horizontes variolíticos estão representados pelas amostras RM 502, RM 581, a última (RM 581) constituindo a capa externa de *pillow-lavas*. O termo variola é aqui empregado no sentido canadense (Gélinas et al. 1976) da mesma forma que empregado por Ladeira

## PRANCHA 8

1 - Fotomicrografia (Amostra NS47)- LP: metabasalto variolítico (komatiito basáltico) constituído por fino agregado tremolítico. Na região central, com tonalidade escura, variola subarredondada, enriquecida em clorita. Unidade Ouro Fino

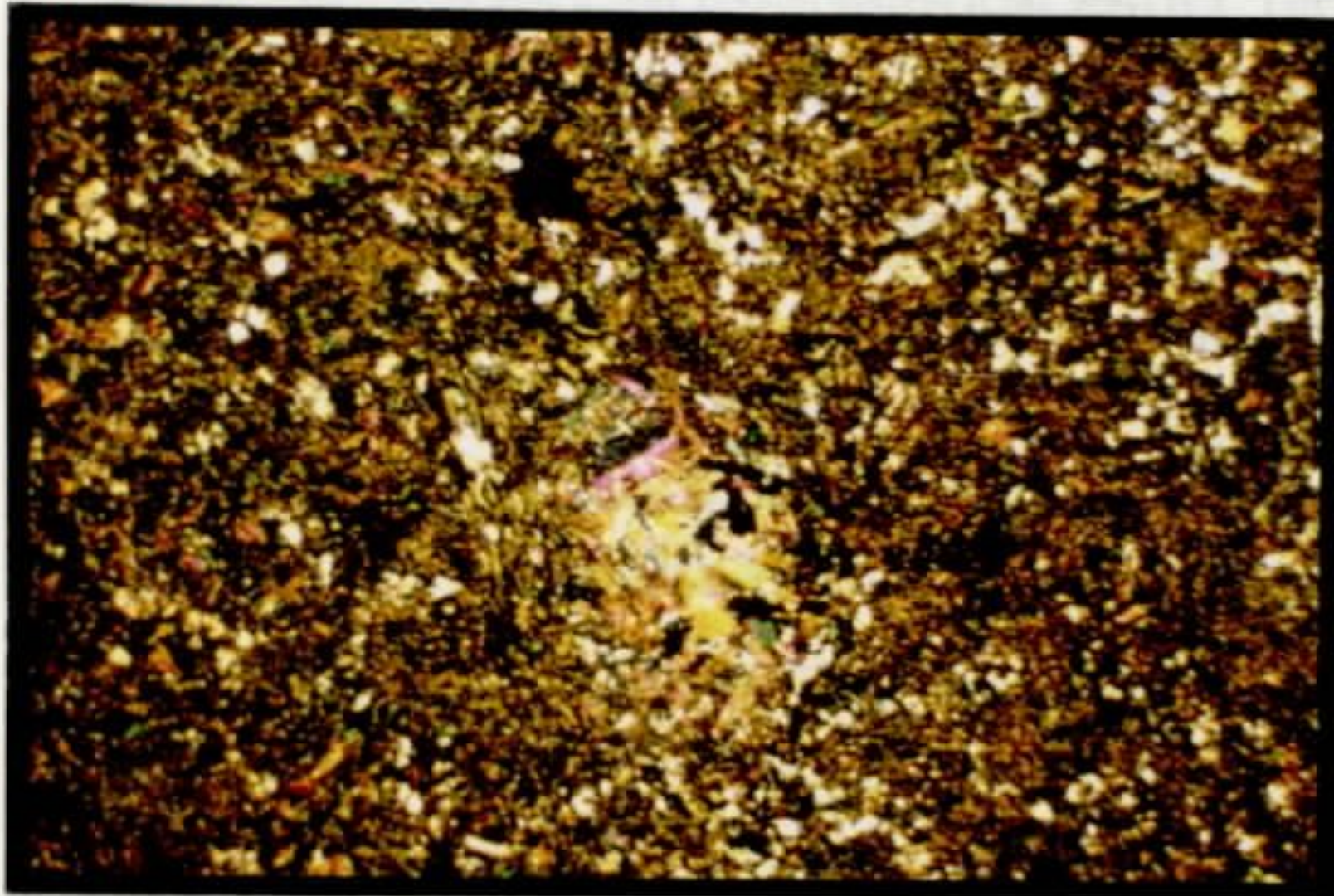
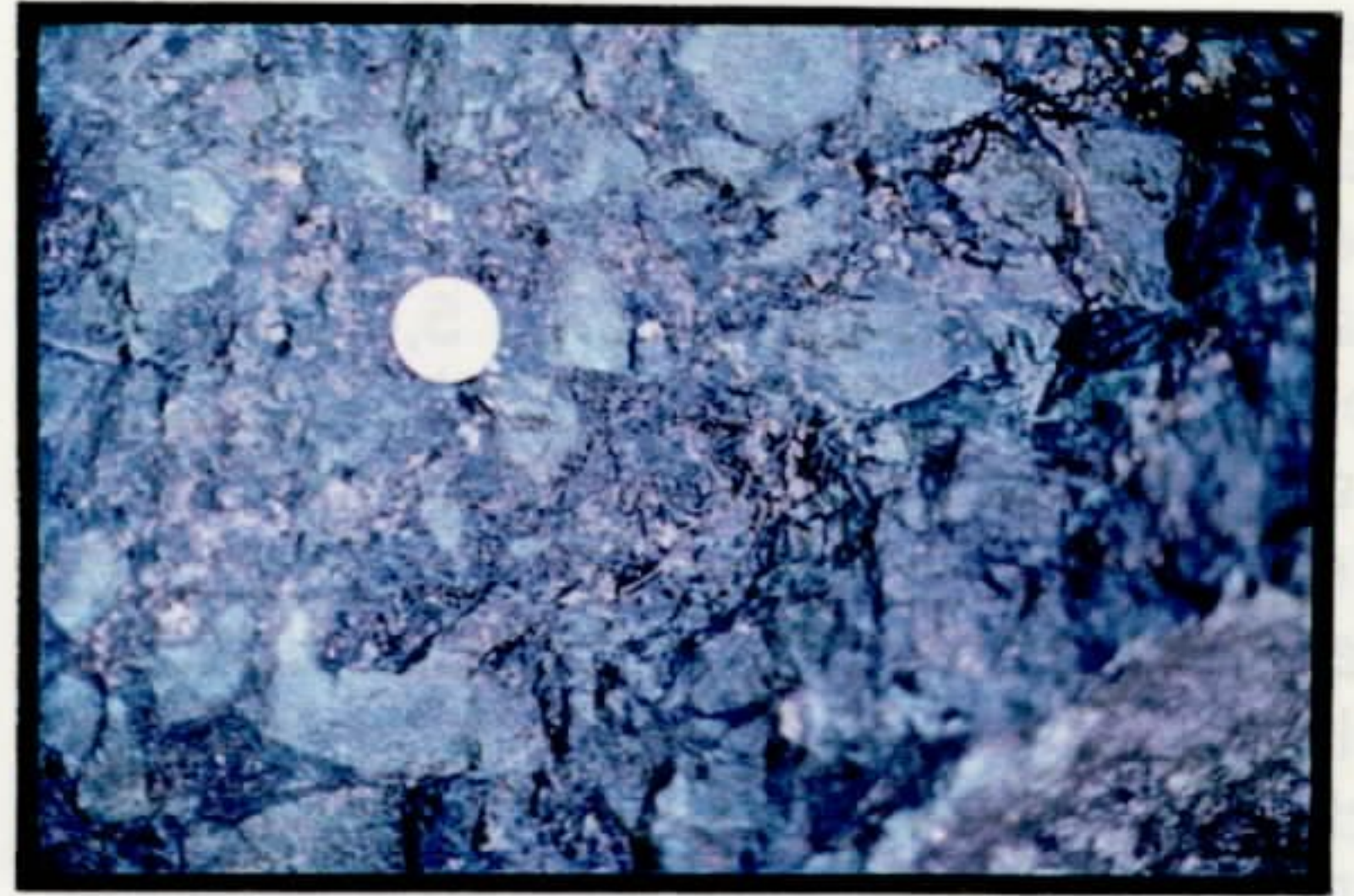
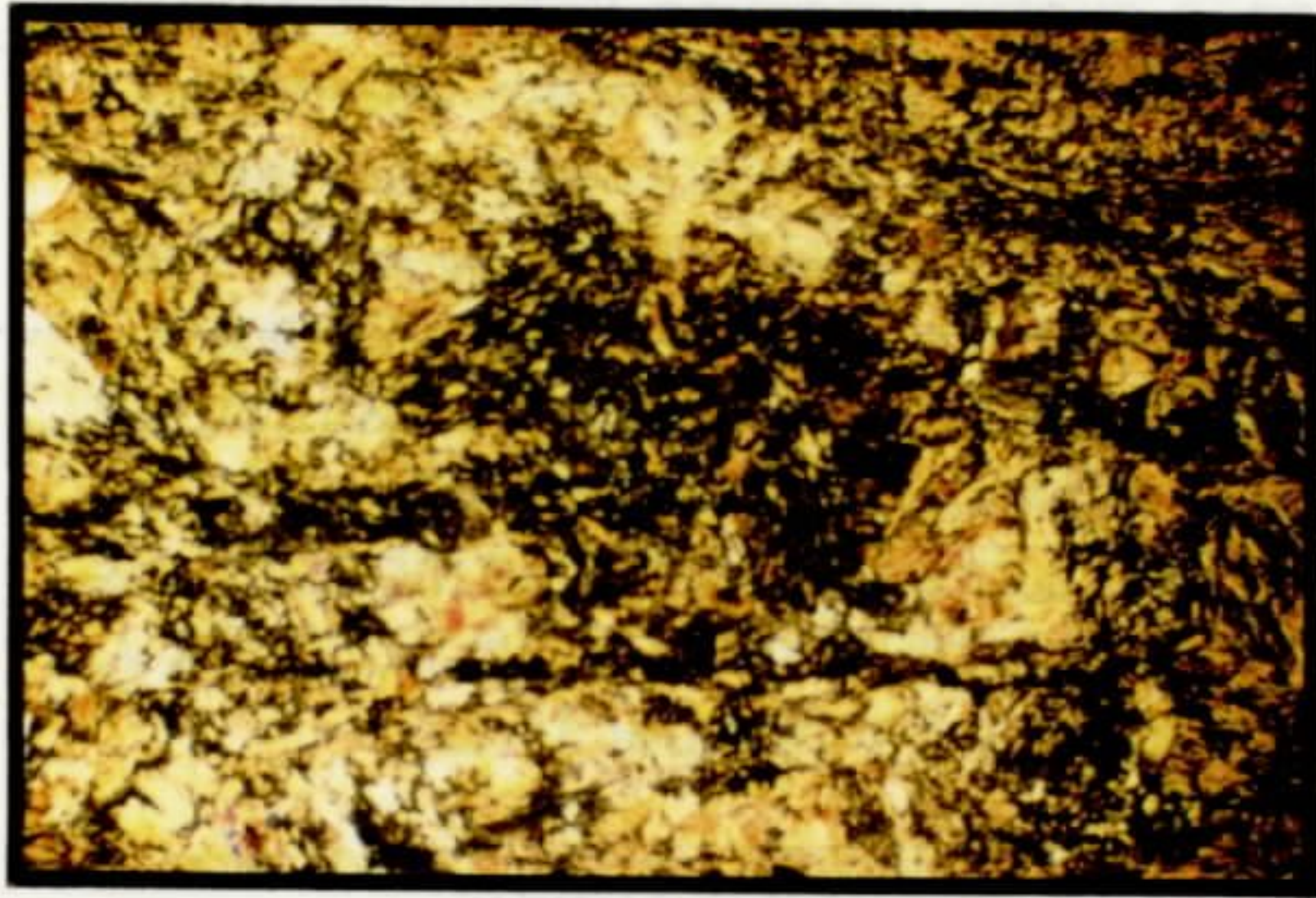
2 - Fotografia (Afloramento RM500A): lava ultramáfica metamorfizada, com estrutura fragmental (brecha), rica em fragmentos angulosos a subarredondados, de composição ultramáfica (clorita-serpentina), aleatoriamente dispersos em matriz de composição similar (brecha hialoclástica?). Unidade Quebra Osso

3 - Fotomicrografia (Amostra SS250) - LP: basalto amigdaloidal (Fe-toleíto) recristalizado a albita-epidoto-tremolita-clorita, em fino agregado feltroso, com discreta trama planar. Na região central, amígdala (a) preenchida por epidoto. Unidade Ouro Fino

4 - Fotomicrografia (Amostra RM502A) - LP: metabasalto variolítico (Fe-toleíto) com matriz similar à da amostra anterior (SS250), recristalizado a albita-epidoto-tremolita-clorita, em fino agregado feltroso discretamente orientado. Ao centro, variola com composição contrastante: mais enriquecida em albita, e com granulação mais grossa. Unidade Ouro Fino

5 - Fotografia (Afloramento WL61): derrames de metabasaltos teleiíticos (cinza escuro) com interflows químico-exalativos (BIFs) de cor marrom. Unidade Morro Velho

6 - Fotografia (Afloramento, mina de Cuiabá): rocha bandada, constituída por material argiloso proveniente de alteração intempérica de tufos máficos que ocorre no foot-wall das formações ferríferas bandadas. Unidade Mestre Caetano



(1981) para a primeira - e até o presente - única ocorrência já registrada no GBRV (ver discussão genética abaixo).

São corpos globulares de seções esferoidais a elipsoidais (em zona de baixo *strain*) com diâmetro médio entre 3,0 e 5,0mm. São constituídas por paragêneses similares à da matriz (ver acima), porém em proporções distintas: são mais enriquecidas em plagioclásio e epidoto (protólito mais básico) relativamente à matriz, com dominância de actinolita e clorita. Sua composição é: epidoto (50%); albita (20%); clorita (15%); actinolita (10%), além de opacos e titanita (5%). Também na granulação, as variólas diferem discretamente da matriz. Quando a matriz é muito fina (agregados feltrosos) as variólas destacam-se por uma granulação mais grossa permitindo visualizar-se ripas bem cristalizadas de albita. Em todos os casos, os contatos entre varióla e matriz são sempre nítidos (P1/4). Além das variólas, a rocha tem abundantes **amígdalas**, subarredondadas, com diâmetros entre 0,1 e 0,3mm, preenchidas por epidoto e clorita (P1/3). Nas variedades mais grossas, a matriz é constituída por agregados fibrorradiados, não orientados, de actinolita, com albita e epidoto nos espaços intragranulares. A granulação média atinge 0,1mm e a albita, juntamente com a actinolita, substituem pseudomorficamente os piroxênios e plagioclásios magmáticos, mantendo intacta a textura subofítica original. Microvenulações de quartzo e clorita podem ser importantes.

Em três das seções analisadas não foram encontradas evidências de deformações importantes no estado sólido. As texturas ofíticas totalmente preservadas nas variólas, a matriz feltrosa isótropa, e a boa circularidade das variólas e amígdalas apontam nessa direção. Devido ao fato de lavas variolíticas serem resultados da imiscibilidade de magmas com composições contrastantes (ver discussão abaixo), é possível que em determinadas seções as variólas mostrem acentuado grau de achatamento resultado de fluxo primário que não deve ser confundido com deformação no estado sólido.

## Litogeoquímica

Apenas quatro amostras (tabela 2) em um total de quatorze mostraram assinaturas suficientemente preservadas para serem aqui detalhadas (as demais são analisadas abaixo, entre os ("metabasaltos alterados"). O quinto resultado (ANF6) é mostrado na mesma tabela para fins comparativos (trata-se da média de seis análises de metabásicas regionalmente distribuídas no GBRV, compiladas de Schorscher 1992).

### Elementos Maiores e Traços

O conjunto das análises indica forte alteração pós-magmática caracterizada por valores altos de PF- perda ao fogo (entre 2,86 e 5,86%). Duas amostras apresentam moderado enriquecimento em CO<sub>2</sub> (2,2% a 3,1%). Duas apresentam teores elevados de sílica (54,7 e 56,0%), a primeira devido a microvenulações de quartzo (silicificação) e a segunda devido ao preenchimento de amígdalas por quartzo. Os valores de TiO<sub>2</sub> são altos, entre 1,2 e 2,6%. Os valores de Cu, Pb, e Zn são altos e os de Cr e Ni são relativamente baixos (tabela 2).

O Mg # entre 37 e 42 e os valores de MgO entre 4 e 6% são normais para toleítos arqueanos, da mesma forma que os baixos valores de K<sub>2</sub>O entre 0,02 e 0,36 %.

A classificação químico-petrográfica em diagramas tipo TAS (e.g. Le Maitre 1989; Winchester & Floyd 1977) é problemática devido à silicificação, resultando em desvios do campo original dos basaltos para o dos "andesitos" (figura 13)

A natureza toleítica é evidenciada nos diagramas AFM (Irvine & Barragar 1975) - figura 14 e confirmada no diagrama catiônico de Jensen (1976), onde plotam no campo dos toleítos ricos em Fe (figura 15) e mostram uma boa correlação com os metabasaltos regionais estudados por Schorscher (1992), assinalados em asteriscos para fins comparativos.

Nos diagramas de Pearce & Cann (1973), utilizando elementos "imóveis", mostram, apesar da tendência em enriquecimento pós-magmático em Zr, certa tendência à distribuição no campo dos basaltos de fundo

oceânico (figuras 16 e 17). No diagrama ternário Zr/Nb/Y (Meschede 1986) distribuem-se preferencialmente no campo D, dos toleítos tipo N-MORB (figura 18). A média de seis análises provenientes de metabasaltos anfibolitizados de outras localidades do cinturão (Schorscher 1992) foi também tratada em conjunto nesses diagramas (asteriscos). Note-se a boa correlação entre a população analisada e a média das seis amostras do trabalho supra, em todos os diagramas. A similaridade é também ressaltada na figura 19, onde os elementos compatíveis e incompatíveis foram normalizados pela média das seis análises de Schorscher (1992, asteriscos), destacando-se um empobrecimento relativo em ETRL, Ba, Ni e Cr e enriquecimento acentuado em Pb.

Em aranhogramas com normalização ao MORB (figura 20), as amostras, incluindo as do trabalho acima mencionado (asterisco), apresentam uma boa correlação entre si e com o padrão MORB, excetuando-se pelo forte empobrecimento em K, e enriquecimento em Rb, Th e U.

#### Elementos Terras Raras

Relativamente à distribuição dos ETR (figura 21), apresentam espectro caracterizado por: I) discreto fracionamento; II) padrão de ETRP não fracionado (horizontalizado), pouco acima de 10 X o padrão; III) padrão de ETRL com moderado enriquecimento; IV) anomalia negativa de Eu em duas amostras.

O padrão não fracionado dos ETRP pode ser interpretado como uma feição primária, refletindo uma assinatura típica de toleítos arqueanos do tipo TH1/DAT (Condie 1981), ou de seus equivalentes modernos (N-MORB). Já o enriquecimento em elementos incompatíveis (ETRL), de maior mobilidade relativa, pode ser atribuído às alterações pós-magmáticas (hidrotermais e metamórficas). Esse enriquecimento relativo (pós-magmático) responderia igualmente pelas anomalias positivas de Eu.

#### Petrogênese

A assinatura N-MORB aqui constatada confirma a similaridade de parte da seqüência basal do GBRV com fragmentos

de assoalhos oceânicos modernos, conforme já destacado em Schorscher (1992). Além das características geoquímicas, existem outros indicadores petrogenéticos como horizontes almofadados e variolíticos, a forte alteração hidrotermal pré-metamórfica (carbonatação) e a deposição de sedimentos químico-exalativos (BIFs, turmalinitos, etc.)

Em especial, a presença de variolitos tem conseqüências importantes para a interpretação paleoambiental do pacote basal: as estruturas oclares como aqui descritas podem ser interpretadas como resultantes de rápido resfriamento subaquoso (Gélinas & Brooks 1972; Gélinas et al. 1976) de dois magmas imiscíveis (*quenching*). Essas estruturas não devem ser confundidas com simples esferulitos. Variolitos são associados à capa externa de *pillow* lavas e sugerem grandes profundidades da lâmina d'água. Variolitos similares aos destas novas ocorrências já foram descritos no cinturão (Ladeira 1981) e interpretados em um contexto similar. Outras ocorrências brasileiras são raras e foram relatadas nos *greenstone belts* de Fortaleza de Minas/MG (Teixeira & Danni 1979), Araci/BA (Silva 1983) e na seqüência metavulcano-sedimentar Brusque/SC (Silva 1983, 1991).

## METABASALTOS ALTERADOS (ALTERAÇÕES PERVASIVAS)

### Petrografia

São rochas pervasivamente alteradas, a maioria delas porém ainda identificáveis microscopicamente como metabasaltos - similares aos anteriormente descritos, mostram fina trama cloritica e tremolítica, orientada segundo  $S_1$ , entremeada, na qual dispõem-se finíssimos (0.01mm) cristais de albita, muitas vezes alongados segundo  $S_1$ . Epidoto ocorre em pequena quantidade. Fenocristais de plagioclásio vulcânicos (0,2-0,4mm), idiomórficos, geminados podem ser localmente observados. A textura original acha-se totalmente obliterada pela cloritização. Mais raramente (MP02) possuem pseudomorfos de possíveis minerais máficos vulcânicos (0,2mm), tremolitizados.

Além da cloritização, que constitui-se na

Tabela 2 - Análise química de elementos maiores (%) e elementos traços (ppm) de metabasaltos.

Ordem Amostra	1 ANFR6	2 NS65A	3 RM186	4 RM31A	5 SS91A
SiO <sub>2</sub>	50,06	45,60	56,00	51,10	54,70
TiO <sub>2</sub>	1,60	2,60	1,20	1,90	1,60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,36	15,30	13,20	12,80	11,80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,49	5,20	4,90	4,80	5,40
FeO	12,41	13,50	6,70	7,70	7,10
MnO	0,23	0,19	0,19	0,22	0,17
MgO	5,93	6,20	4,10	4,10	4,80
CaO	9,16	2,10	7,10	7,80	6,50
Na <sub>2</sub> O	1,61	3,00	3,10	2,20	1,80
K <sub>2</sub> O	0,31	0,02	0,36	0,35	0,02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,16	0,25	0,20	0,21	0,16
Subtotal	98,32	93,96	97,05	93,18	94,05
S	-	0,13	0,01	0,00	0,02
H <sub>2</sub> O	-	0,04	0,09	0,02	0,05
CO <sub>2</sub>	-	0,40	0,10	3,10	2,20
PF	1,86	5,53	2,86	3,42	3,63
Total	100,18	100,02	100,02	99,70	99,90
Mg #	41,90	37,80	39,67	37,81	41,70
Cr	304	201	77	152	61
Ni	114	43	32	138	46
Co	64	96	65	79	68
Sc	59	62	44	51	30
V	361	624	256	324	342
Cu	46	82	54	60	241
Pb	3	44	46	44	78
Zn	169	169	130	140	97
As	-	1	25	28	2
Rb	10	9	15	21	8
Ba	97	10	37	28	10
Sr	134	39	152	129	270
Ga	18	-	-	-	-
Ta	-	5	5	5	5
Nb	14	11	8	5	5
Hf	3	-	-	-	-
Zr	124	180	195	110	120
Y	41	55	51	38	36
Th	8	5	5	5	5
U	10	10	10	10	10
La	27,80	16,14	21,76	6,92	10,48
Ce	37,40	39,82	49,70	18,57	26,94
Nd	27,40	25,60	26,08	13,16	16,09
Sm	-	6,88	5,75	3,54	3,69
Eu	-	1,83	1,30	1,15	1,10
Gd	-	7,32	5,42	4,19	4,01
Dy	-	8,85	6,70	6,03	5,24
Ho	-	1,80	1,38	1,21	1,08
Er	-	5,03	3,94	3,25	3,09
Yb	-	4,12	2,98	2,74	2,51
Lu	-	0,58	0,33	0,32	0,32

1 - Média de 6 análises de metabásicas do GBRV (Schoscher 1992).

2 - Plagioclásio-clorita xisto (Un. Ouro Fino).

3 - Epidoto-actinolita xisto (Un. Ouro Fino).

4 - Plagioclásio-actinolita-epidoto-clorita xisto (Un. Ouro Fino).

5 - Plagioclásio-epidoto-clorita xisto (Un. Ouro Fino).

alteração mais pervasiva (raramente acompanhada por tremolitização e biotitização), e cujo crescimento é tectonicamente controlado pela principal superfície planar regional ( $S_1$ ), foram reconhecidos outros dois tipos principais. O primeiro está representado pela **carbonatação e silicificação** e o segundo pela **carbonatação associada a enriquecimento em titanita, ilmenita e magnetita**. Excetuando-se a cloritização (e tremolitização), que têm caráter tardio (sin-Sn), as demais paragênese são pré-metamórficas (pré- $S_1$ ), estando contidas e deformadas pela trama regional de clorita ( $S_1$ ). A freqüente remobilização dessas paragêneses dá origem a novas fases de alterações (pós- $S_1$ ), especialmente na forma de microvenulações.

**Alteração a Carbonato de Fe, Quartzo e Clorita** - O carbonato de Fe ocorre como cristais ou agregados com tamanho médio de 0,2 a 0,4mm, envolvidos pela trama clorítica. O carbonato de Fe pré-metamórfico (CB1) pode mostrar localmente evidências de deformações intracristalinas como geminação tectônica. Nesse caso, ocorre sob a forma de porfiroclastos (0,2 a 0,4mm) lenticularizados. Uma segunda geração de carbonato, gerado nas sombras de pressão dos porfiroclastos (CB2), pode ser reconhecidos (P9/1). Carbonatação invasiva dos fenocristais de plagioclásio ocorre com alguma freqüência (P9/2). Além de alteração pervasiva, pode ocorrer microvenulações de quartzo ou quartzo + carbonato. Estas são sempre anteriores (afetadas) pela foliação regional de clorita  $S_1$  (P9/1). A ordem de estabilização da paragênese é: **carbonato-Fe (CB1)/ quartzo —> clorita—>CB2**.

**Alteração a ilmenita (titanita) + carbonato de Fe + clorita + quartzo** - O segundo grupo de alteração apresenta a seguinte ordem de estabilização: **magnetita/Ilmenita/Titanita —>CB1/quartzo—>clorita (P9/3)**.

#### *Litogeoquímica & Petrogênese*

A tabela 3 mostra a composição química do grupo, onde o comportamento anisoquímico é evidenciado pela simples leitura. O forte desvio dos resultados - relativamente aos

padrões de metabasaltos não alterados - são dados principalmente pelos valores muito altos de voláteis (perda ao fogo + carbonato), com fechamento analítico entre 89 e 97%. A sílica também mostra extrema variabilidade (27 a 56%) assim como o Mg# que varia de 27 a 61. As amostras com maior teor de P, F, (RM 320 e JS 01) apresentam igualmente forte incremento em  $TiO_2$  (7,4 e 5,5%, respectivamente), além de dramática diminuição nos valores de  $SiO_2$  para 27,8 e 37,2%, respectivamente. A primeira (RM 320) teve toda a paragênese original transformada em clorita magnesiana (cloritito), razão pela qual apresenta conteúdos anormalmente elevados em MgO (17,8%),  $Al_2O_3$  (19,1%) e empobrecimento em  $SiO_2$  (27,2%), além do Mg# mais alto do grupo e forte incremento em  $TiO_2$  (7,43%), refletido pela abundância de rutilo como principal acessório.

Por esses fatores, a utilidade dos diagramas discriminantes convencionais - inclusive aqueles baseados em elementos tradicionalmente tidos como imóveis - é bastante questionável e foi aqui evitada.

Mesmo o padrão de distribuição dos ETR (figura 22) - pouco afetado na maioria das situações geológicas, incluindo metamorfismo regional - no presente caso mostra extrema variabilidade e irregularidade e principalmente extremo enriquecimento nos ETRL ( $Ce_N$  entre 18 e 400 X o padrão). Esse enriquecimento é diretamente proporcional ao conteúdo em  $TiO_2$  e enriquecimento em titanita/ilmenita, além do carbonato. Está diretamente relacionado à  $P_{CO_2}$ , cujo incremento permite a estabilização não apenas de carbonato (pobre em ETR) como da titanita. Os ETRP, teoricamente menos móveis, apresentam igualmente comportamento errático ( $Yb_N$  entre 2 a 60 X o padrão). O  $Eu_N$ , em algumas amostras, apresenta concentrações entre 30 e 110 X o padrão.

Como notado em outros metabasaltos submetidos a processos de alteração similar (e.g. Juliani & McReath 1994) há uma tendência dos processos de carbonatação-cloritização em elevarem os teores de  $CO_2$ ,  $H_2O$ , Ti, Zn, Y, Nb e ETRL. Da mesma maneira, Hynes (1982) estudando basaltos alterados hidrotermalmente notou que as altas  $P_{CO_2}$

Figura 13: Diagrama TAS de classificação e nomenclatura para metavulcânicas toleíticas (metabasaltos). A alta mobilidade dos álcalis recomenda cautela na utilização deste diagrama, mostrando desvios para o campo dos andesitos, consequência de também de silicificação.

Figura 14: Diagrama AFM mostrando a natureza toleítica dos metabasaltos deste estudo, comparados com metabasaltos regionais (asterisco) estudados por Schorscher (1992).

Figura 15: Diagrama catiônico (Jensen 1976) para os metabasaltos da área (triângulos). Notar a distribuição uniforme no campo dos toleitos de alto Fe (HFT) e boa correlação com a média de seis (6) análises de metabasaltos (anfíbolitos) de Schorscher, 1992 (asterisco).

Figura 16: Diagrama Zr-Ti/100-Y.3 de Pearce & Cann (1973) aplicado aos metabasaltos toleíticos, sugerindo tratar-se de basaltos de fundo oceânico. Metabasaltos regionais (asterisco) estudados por Schorscher (1992) são apresentados para comparação.

Figura 17: Diagrama Zr-Ti/100-Sr/2 de Pearce & Cann (1973) aplicado aos metabasaltos toleíticos sugerindo tratar-se de basaltos de fundo oceânico. Para comparação é mostrada a média de metabasaltos regionais (asterisco) estudados por Schorscher (1992).

Figura 18: Diagrama Zr-Nb-Y de Meschede (1986) aplicado aos metabasaltos toleíticos, que ocupam preferencialmente o campo D dos toleitos tipo N-MORB. Média de metabasaltos regionais (asterisco) estudados por Schorscher (1992) é apresentada para comparação.



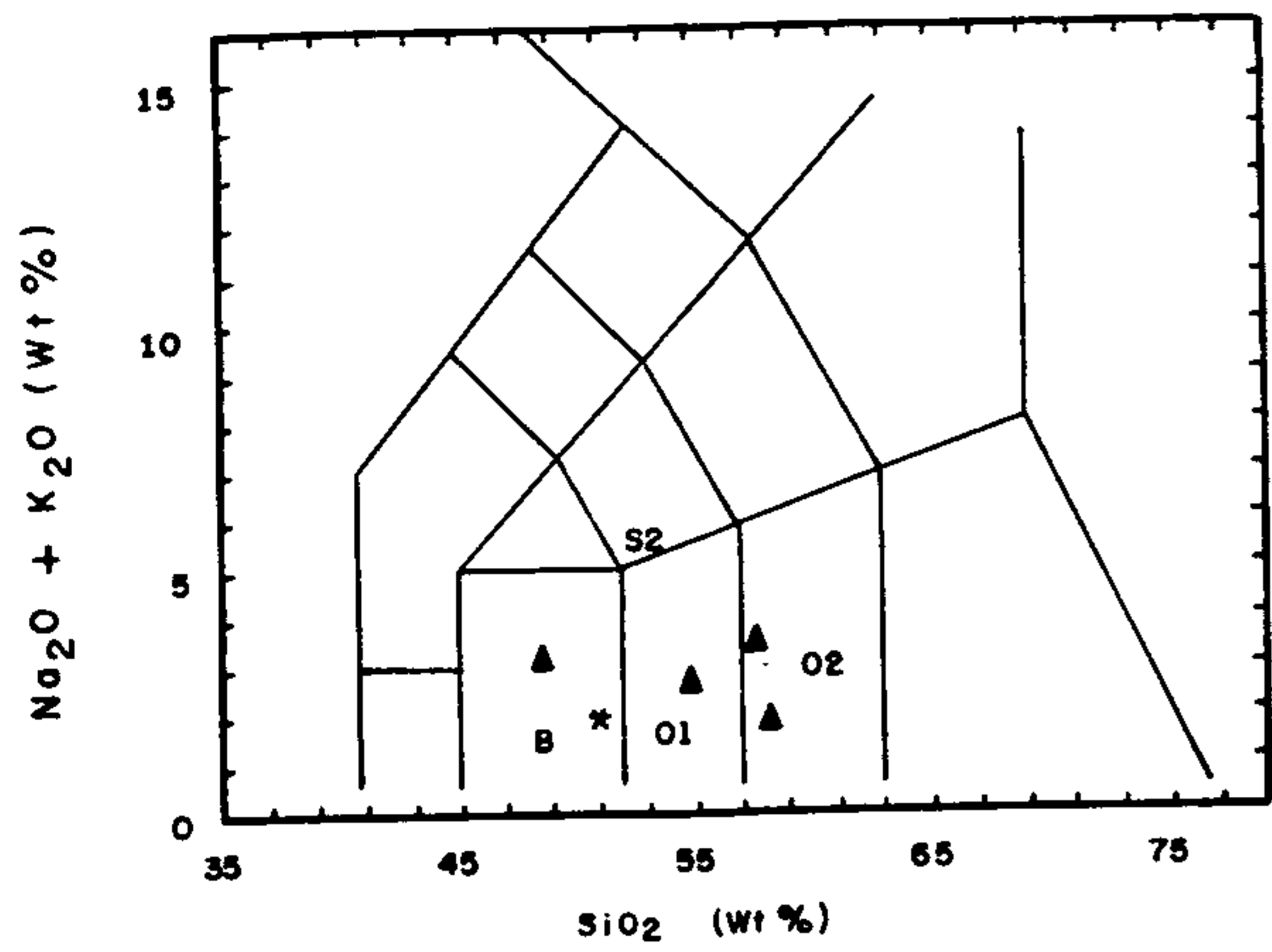


Fig. 13

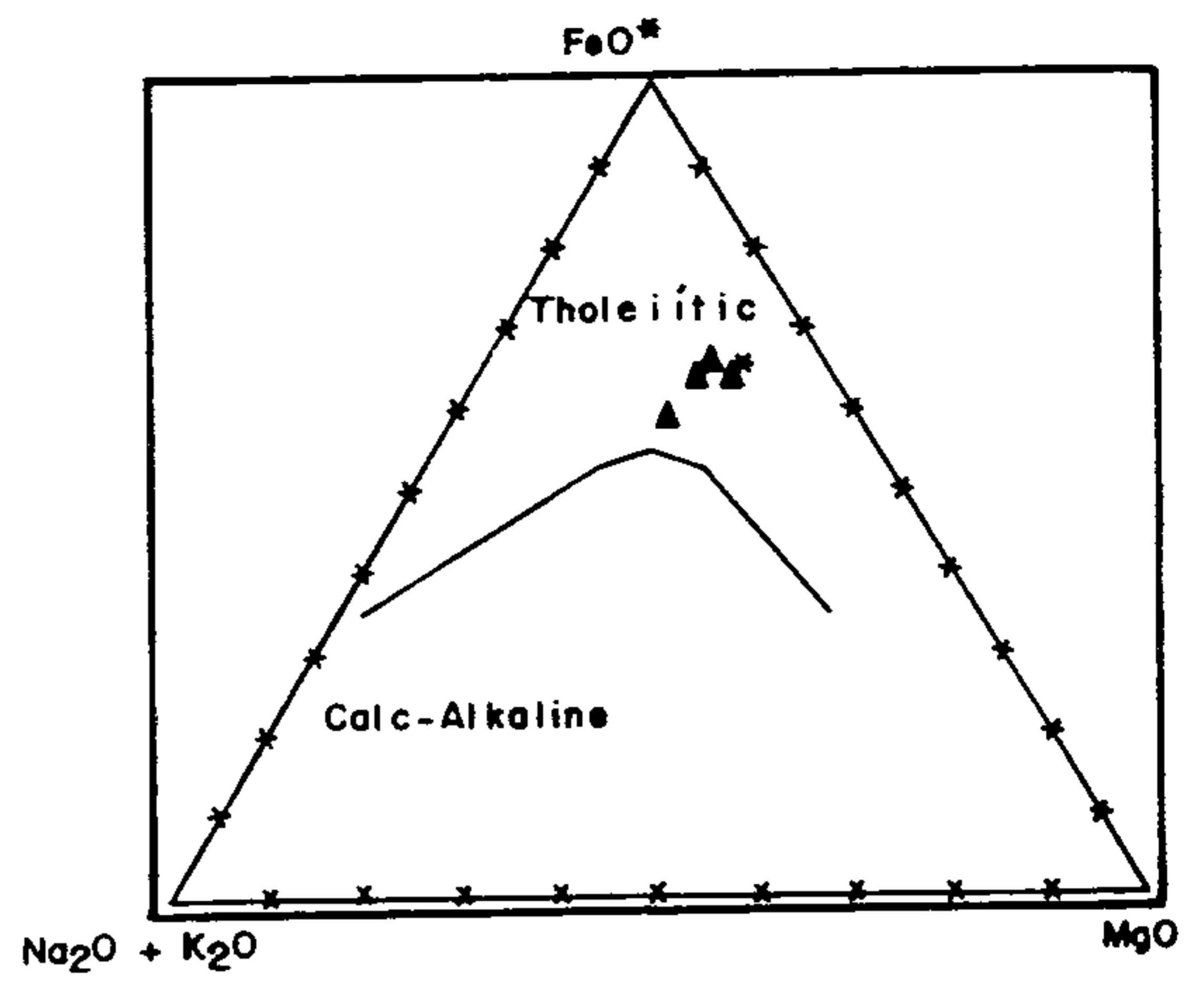


Fig. 14

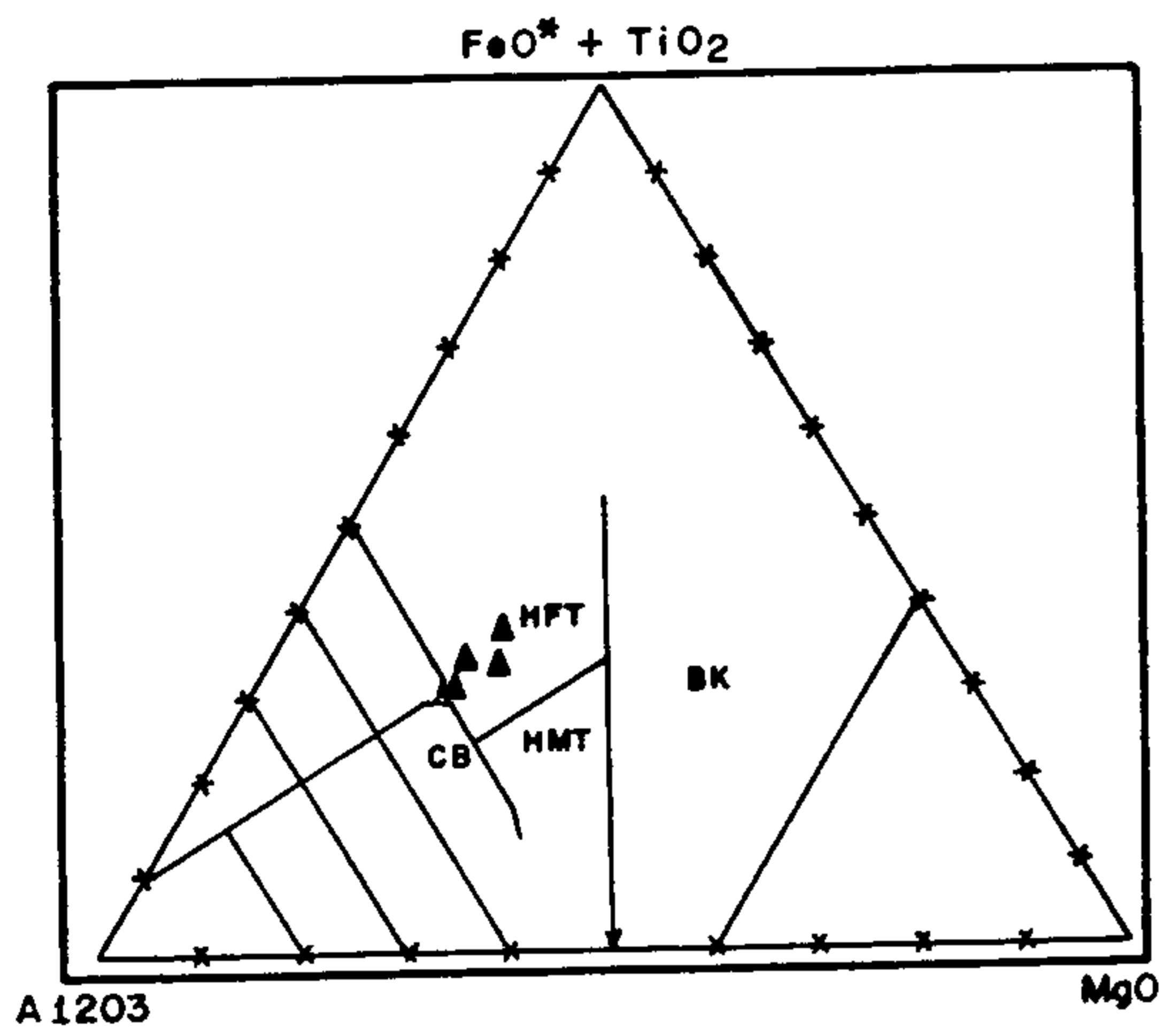


Fig. 15

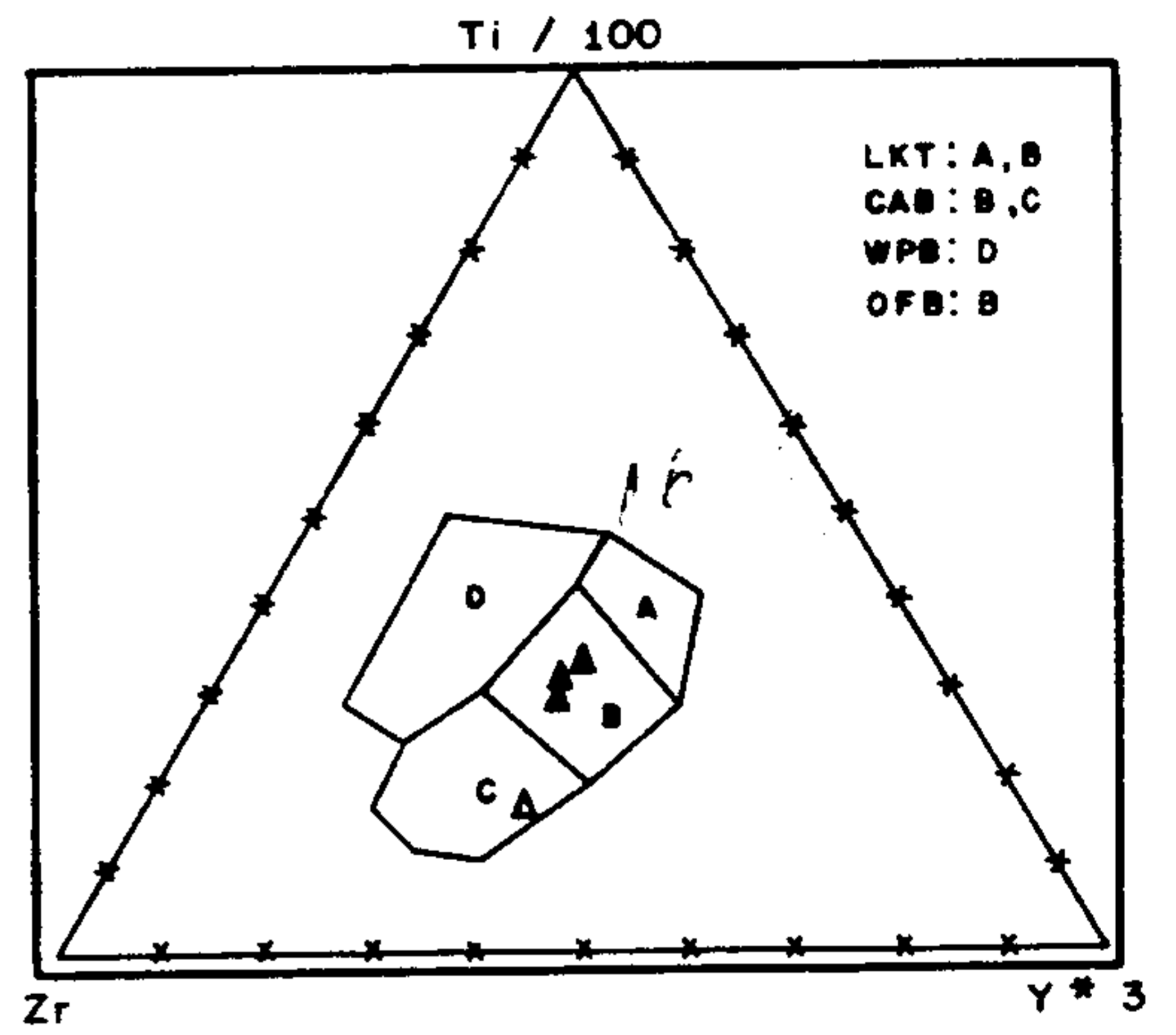


Fig. 16

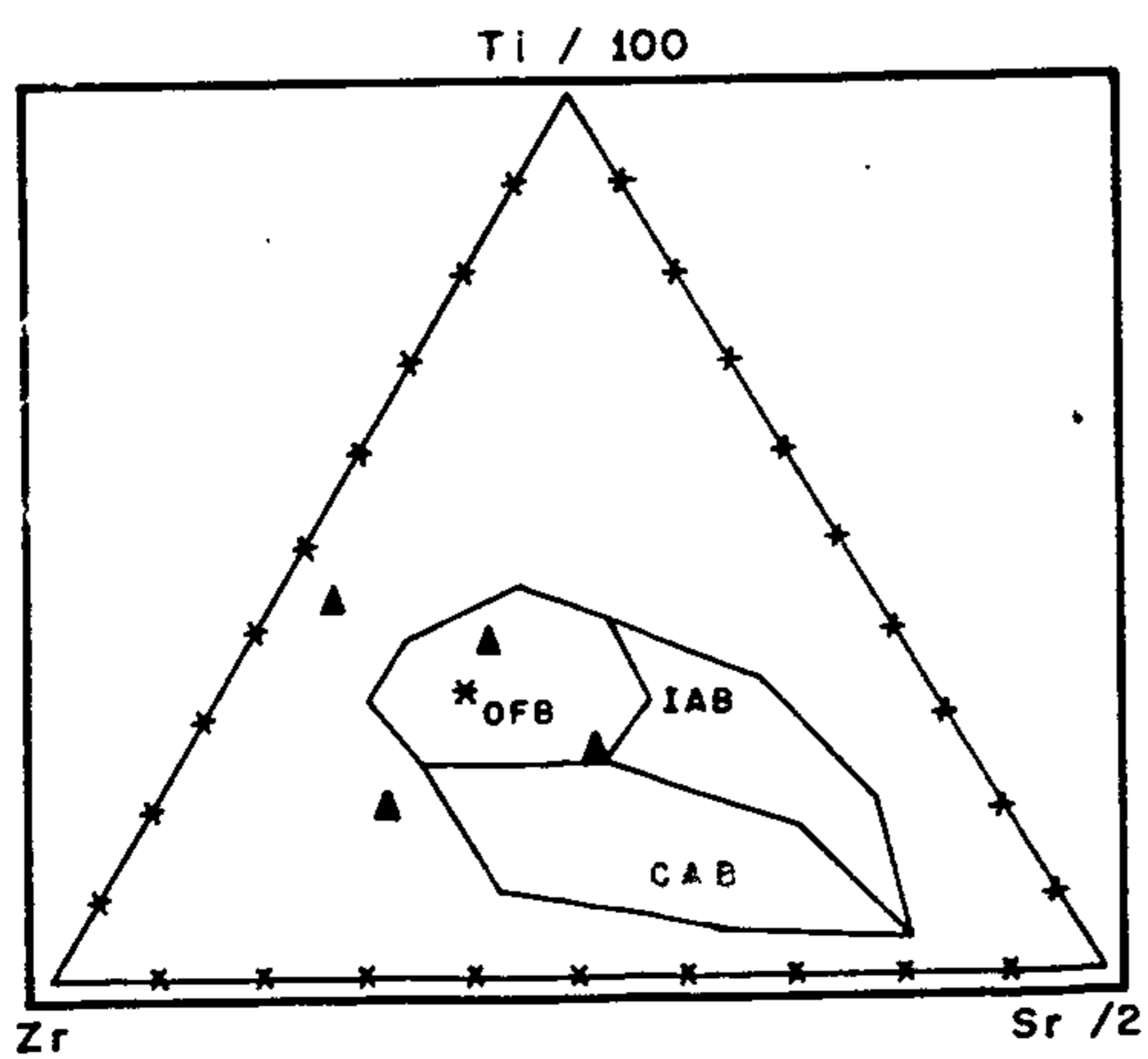


Fig. 17

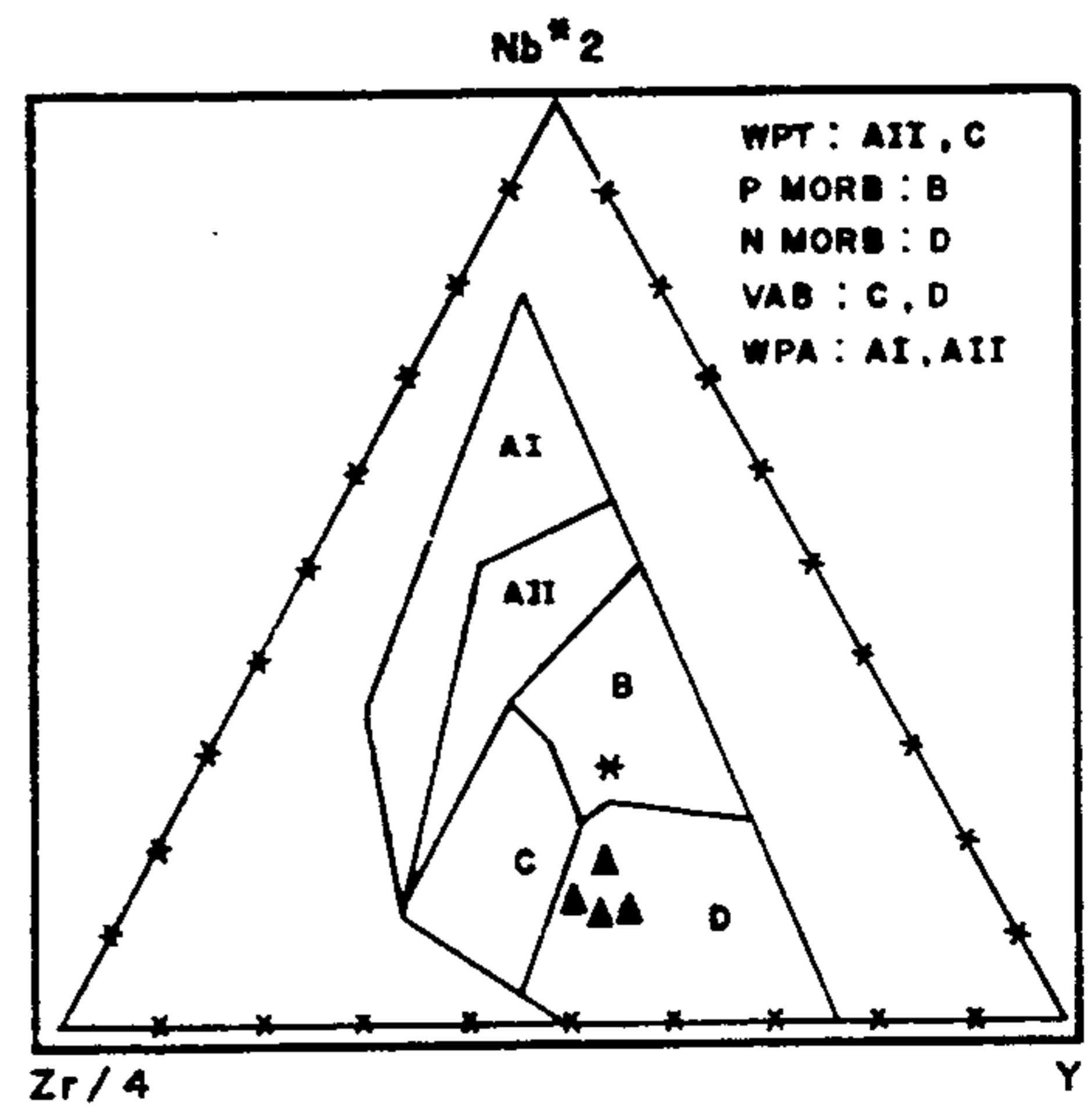


Fig. 18

responsáveis pelo enriquecimento em carbonato (carbonatação) reduz as concentrações de Y e Zr e aumenta a concentração relativa de  $TiO_2$ .

## ROCHAS A ANTOFILITA-CORDIERITA (RAC)

Além das alterações previamente discutidas no contexto da evolução do GBRV, foram também reconhecidas algumas ocorrências de rochas a antofilita-cordierita (RAC) em metabasaltos da Unidade Ouro Fino expostos na Quadrícula Gongo Soco na fazenda Boa Esperança, junto à antiga ferrovia Caeté-Barão de Cocais. Estão afetadas por importante zona de cisalhamento dúctil E-W, do Sistema Fundão-Cambotas (Chemale Jr. et al. 1991).

### Petrografia

Em geral descritas como "xistos" ou "anfíbolitos", estas rochas ocorrem em bandas de espessura decimétrica a métrica, intercaladas na unidade basal toleítica, onde afloram por dezenas de metros. Apresentam discreta trama co-planar com a foliação regional tangencial do cinturão ( $S_1$ ). Devido às precárias condições de exposição não são conhecidas as relações de contato dos horizontes alterados com a encaixante.

Ao microscópio são constituídas essencialmente por quartzo-plagioclásio-clorita-flogopita-antofilita-cordierita, tendo granada, cumingtonita, turmalina, rutilo e opacos como acessórios. Apresentam granulação grossa, devido à abundância de agregados irregulares de cordierita e antofilita. A cordierita em geral tem hábito poiquiloblástico, denotando

crescimento pós-tectônico (pós-D1) constituindo blastos irregulares que podem envolver as demais fases, especialmente antofilita, quartzo, plagioclásio e flogopita (P9/5). Pela associação paragenética, a cordierita foi microscopicamente classificada como magnésiana. O anfíbio, microscopicamente classificado como da série antofilita-gedrita (raramente cumingtonita), ocorre como finos prismas idioblásticos ou como agulhas milimétricas, raramente centimétricas (P9/5). Os prismas em geral exibem discreta orientação relativamente à  $S_1$  e, na maior parte dos casos, estão dispostos aleatoriamente em meio à massa cordierítica.

Em meio à massa cordierítica ocorrem agregados xenoblásticos de quartzo e plagioclásio de granulação milimétrica. São freqüentemente observadas palhetas subidioblásticas e subcentimétricas de mica marrom, flogopítica. Clorita-Mg, em palhetas xenoblásticas intersticiais, constitui um acessório comum.

### Litogeoquímica

Foi executada apenas uma análise (RM 374C) representada juntamente com a média de 5 análises de RAC similares da Sequência Vila Nova/PA (Faraco & McReath 1990 - VN5) e com uma análise (ACR) de rocha similar, do *greenstone belt* de Hemlo-Heron Bay, Província Superior no Canadá (Pan et al. 1991 - tabela 4).

A tabela supra mostra a estreita similaridade entre as três análises: sílica em torno de 58%,  $TiO_2$  entre 0,76 e 0,93% e no Mg# (entre 58 e 67). Entretanto, CaO,  $Na_2O$  e  $K_2O$  mostram

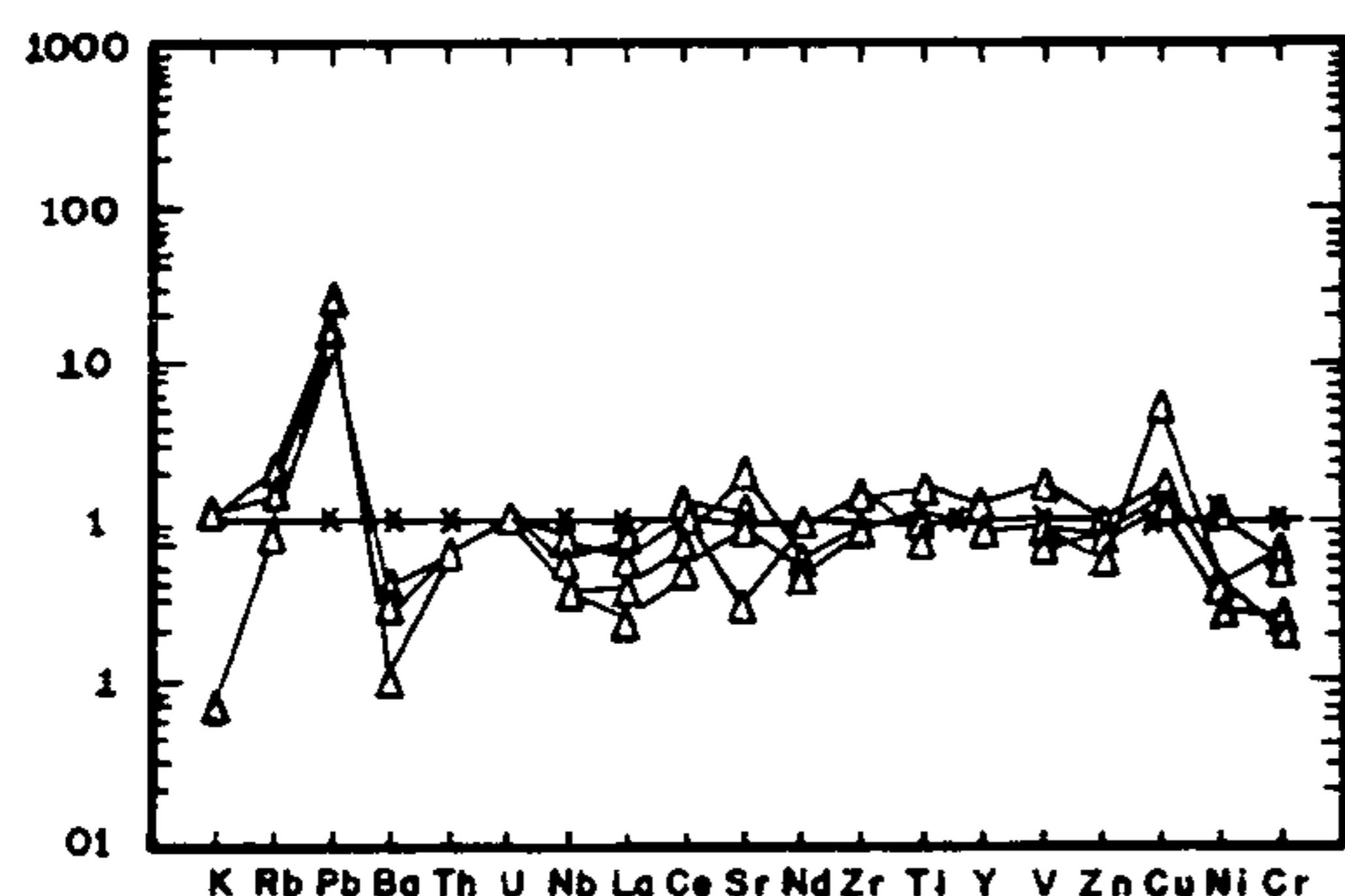


Figura 19: Distribuição dos elementos compatíveis e incompatíveis dos metabasaltos normalizados pela média de seis amostras de metabasaltos estudados por Schorsch (1992).

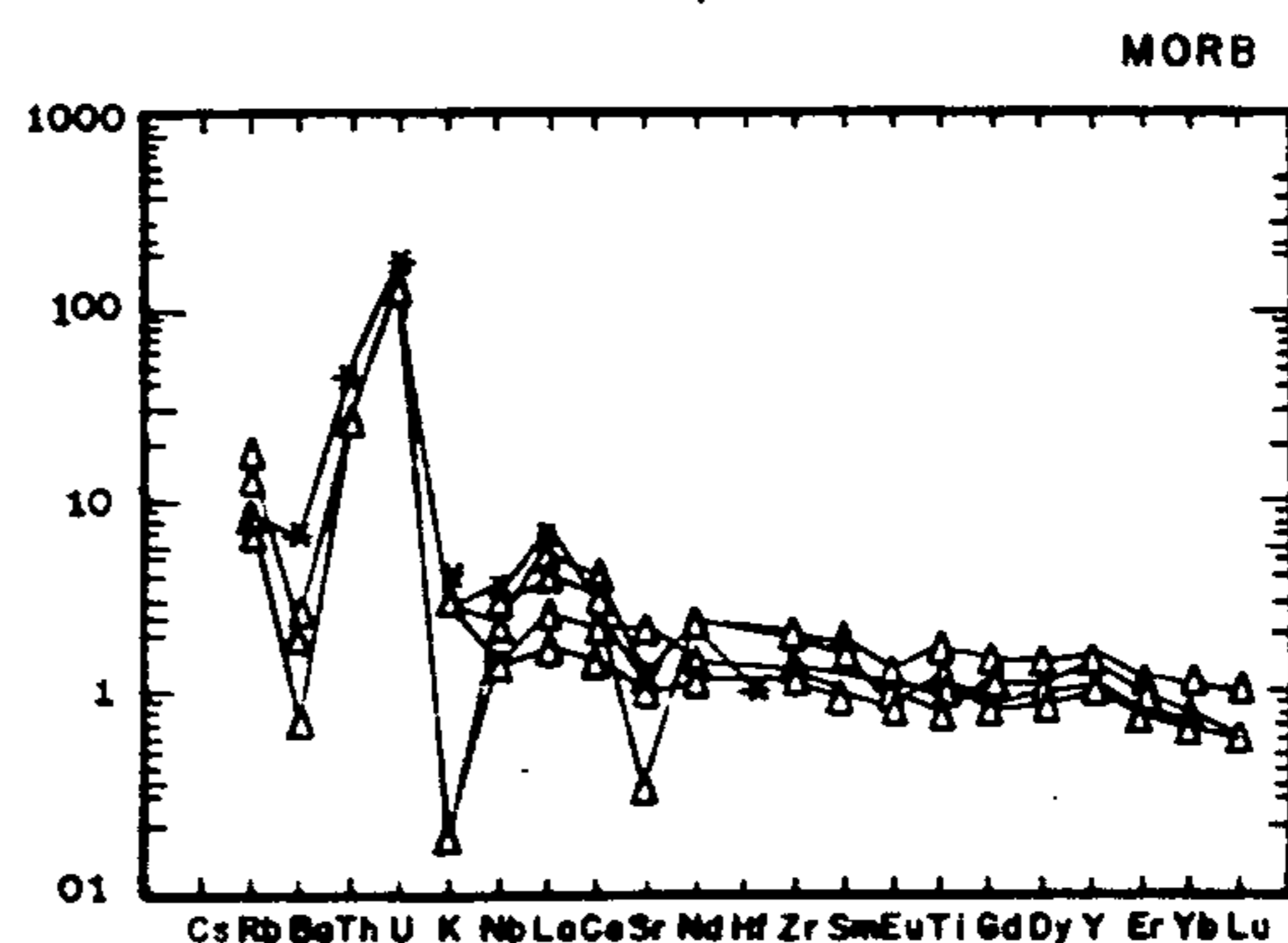


Figura 20: Distribuição dos metabasaltos toleíticos normalizados ao MORB comparado ao padrão da média dos metabasaltos (asterisco) estudados por Schorsch (1992).

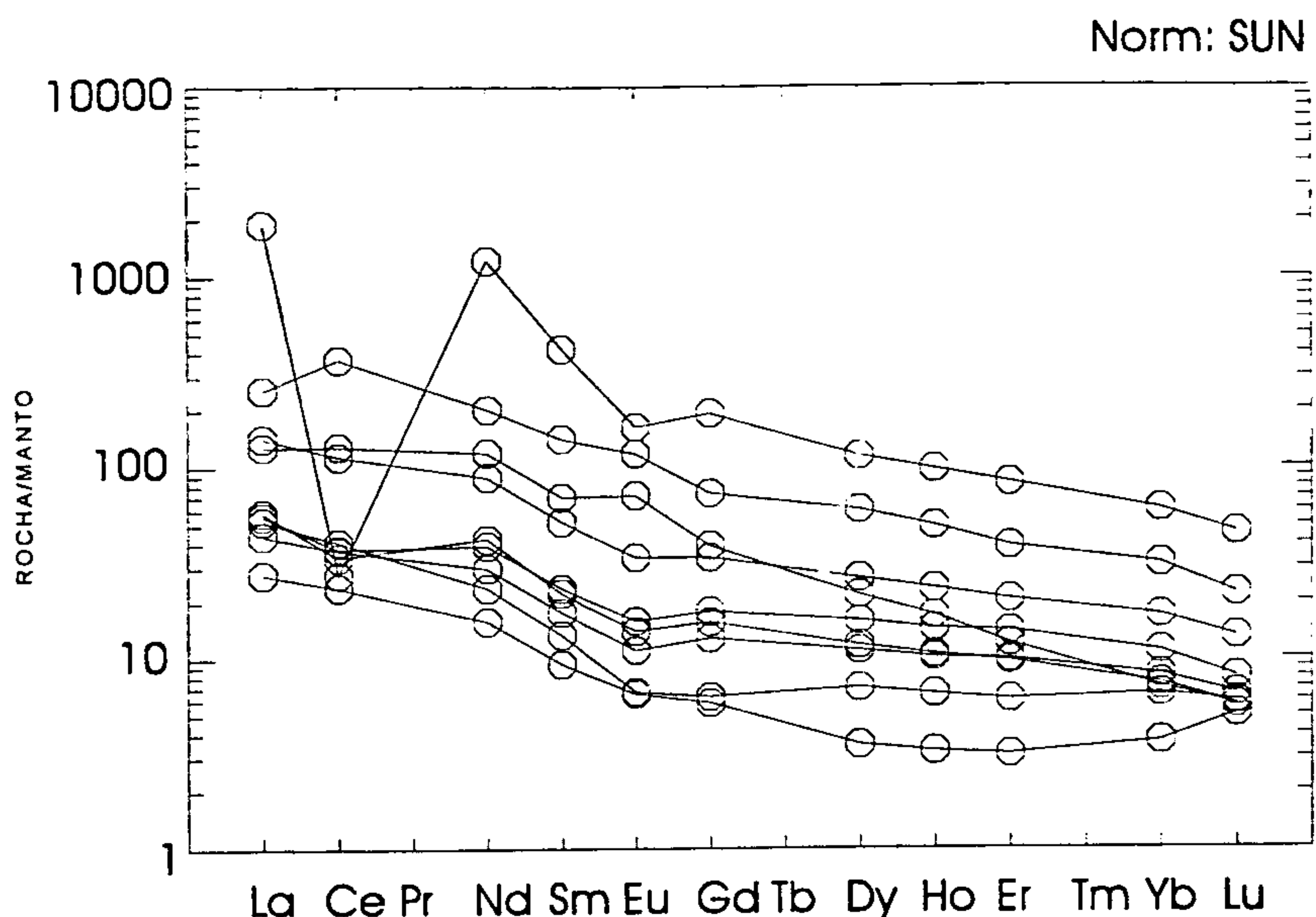


Figura 21: Distribuição dos ETR normalizados a manto primitivo (Sun 1982) dos metabasaltos (maciços e variolíticos). Apenas o padrão dos ETRP (Horizontalizado) é considerado primário e correspondente ao padrão TH1/N-MORB. Os ERTL exibem distinto enriquecimento, com incremento das razões LaN/SmN que pode ser atribuído à alteração hidrotermal.

forte enriquecimento nas análises do Canadá e da área (mais de 5X) relativamente às da Sequência Vila Nova.

Em relação aos basaltos menos alterados da área (tabela 2) excetuando-se as da Sequência Vila Nova apresentam forte depleção em CaO e enriquecimento em K<sub>2</sub>O.

No caso da ocorrência de Vila Nova, (Faraco & McReath 1990), reportam que alguns elementos considerados "imóveis" (Zr, Sc, Cr, Ni, Cu e Zn, além de ETR) teriam preservado as proporções originais dos metabasaltos.

Entretanto, no presente caso, nota-se um acentuado enriquecimento em Cr e Ni em relação aos teores observados nos metabasaltos menos alterados (tabela 2).

O padrão de ETR (figura 23, triângulos) apresenta boa similaridade com as RAC do Canadá (Pan et al. 1991-círculos) e com as da Sequência Vila Nova - PA (média de 5 análises, Faraco & McReath 1990 - quadrados).

Quando normalizados ao padrão MORB, tanto as amostras da área quanto as de Vila Nova e as do Canadá mostram boa correlação

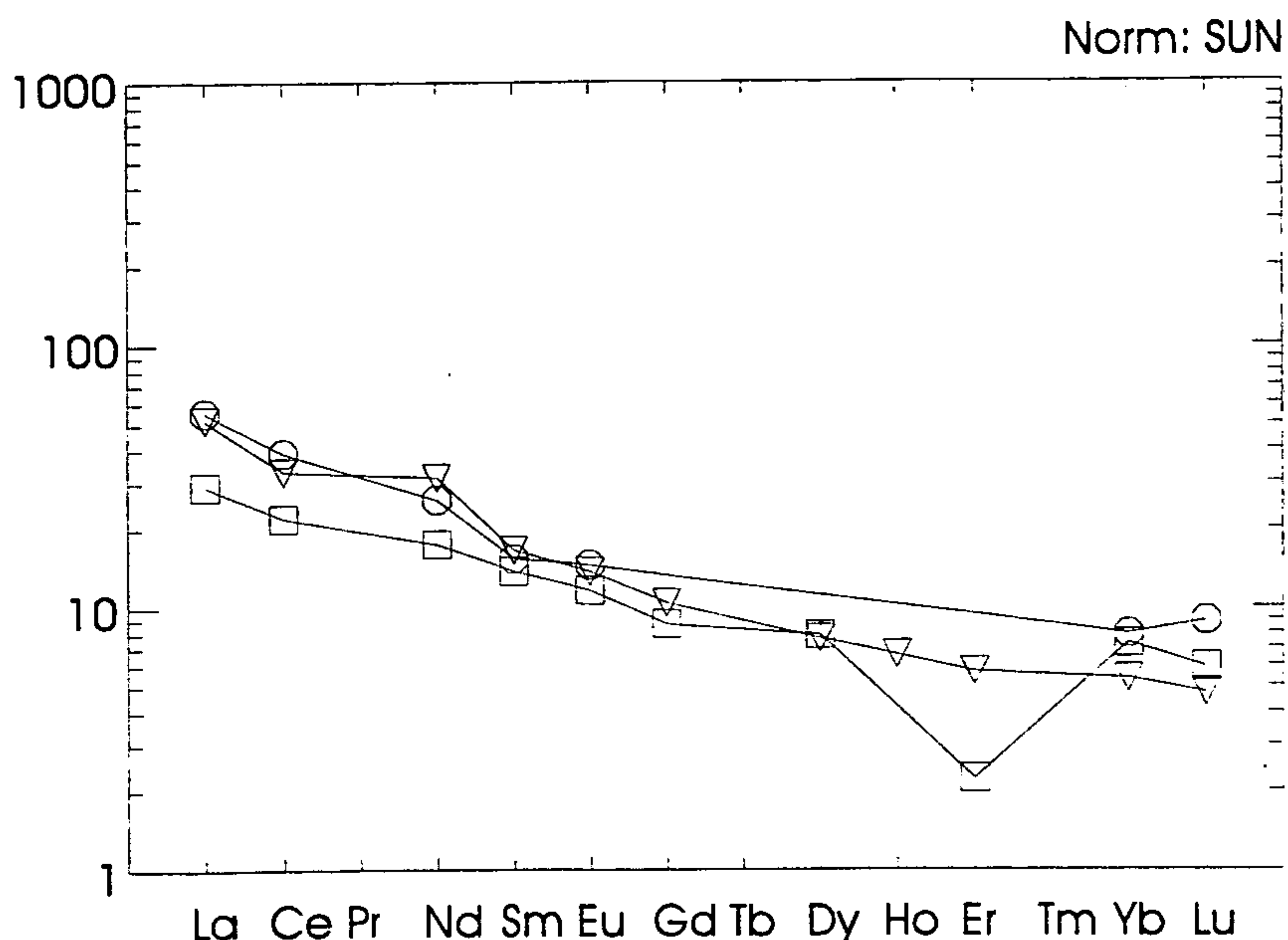


Figura 22: Distribuição dos ETR normalizados a manto primitivo (Sun, 1982) dos metabasaltos alterados. Notar a extrema variabilidade do comportamento dos ETR. O acentuado enriquecimento em ETR é diretamente proporcional ao grau de carbonização e ao incremento em TiO<sub>2</sub>.

## PRANCHA 9

1 Fotomicrografia (Amostra SS91A) - LP : metabasalto constituído por fino agregado de albita e clorita, com alteração pré-metamórfica na forma de microvenulações de quartzo (QZ1) e carbonato (CB1) budinadas em D1 com recristalização (metamórfica) de carbonato (CB2) nas sombra de pressão, contornada por S1. Unidade Ouro Fino.

2 Fotomicrografia (Amostra WL05) -NC: metabasalto com matriz fina, pervasivamente substituída por clorita (cinza-escuro) e algum carbonato (marrom claro). Cristais remanescentes de albita (cinza-claro) ocorrem com alguma frequência. O fenocristal de albita mostra substituição nas bordas e nas fraturas por carbonato (carbonatação pós-metamórfica). Unidade Ouro Fino.

3 Fotomicrografia (Amostra WL56) - LN: metabasalto alterado a clorita (verde) e a ilmeno-magnetita (preto) bordejada por fina auréola de titanita. Muito abundante na mesma amostra (porém não mostrada na foto) é a alteração a carbonato. Albita, na forma de cristais diminutos dispersos na massa clorítica, é abundante (cinza-claro). Unidade Morro Vermelho.

4 Fotografia( Afloramento WL61): sucessão de derames submarinos (metabasaltos Fe-toleióticos) cinza escuro, com diversos interflows químicos (metacherte) de cor branca. Unidade Morro Vermelho.

5 Fotomicrografia (Amostra RM374C) - NC: rocha a antofilita-cordierita RAC. Porfiroblasto de cordierita (cinza-médio) englobando cristais prismáticos diversamente orientados de antofilita (amarelo), além de diminutos cristais xenoblásticos de plagioclásio (cinza-claro). Unidade Ouro Fino.

6 Fotomicrografia (Amostra FR37)- LN: turmalinito microscopicamente caracterizado por alternância de finas bandas monominerálicas de quartzo (metacherte) de coloração cinza-claro e turmalina marrom amarelado. O caráter pré-metamórfico (strata-bound) da paragênese é indicado pela co-planaridade das bandas quartzo-turmalínicas com a foliação regional da encaixante S1. Unidade Quebra Osso.

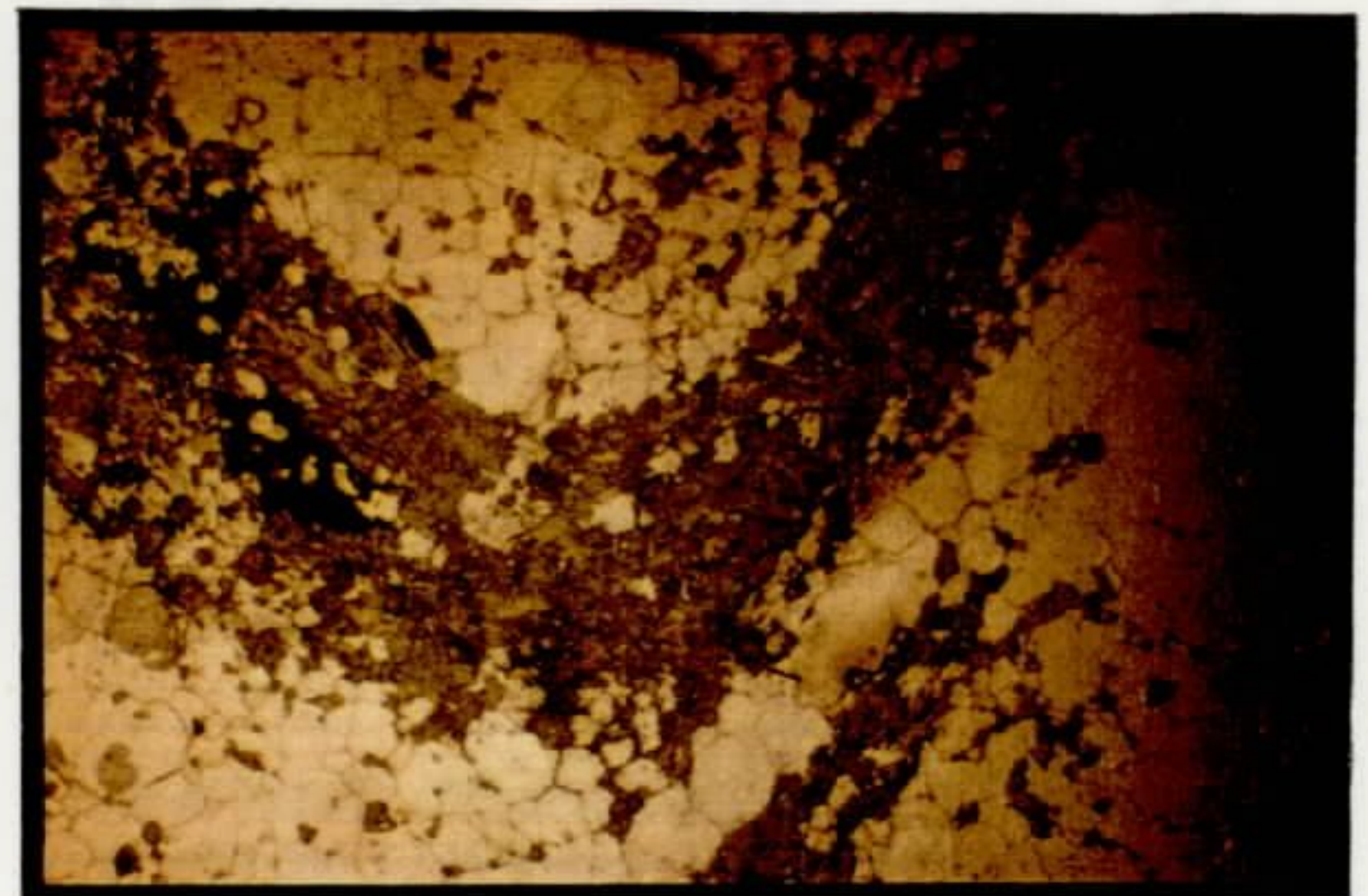
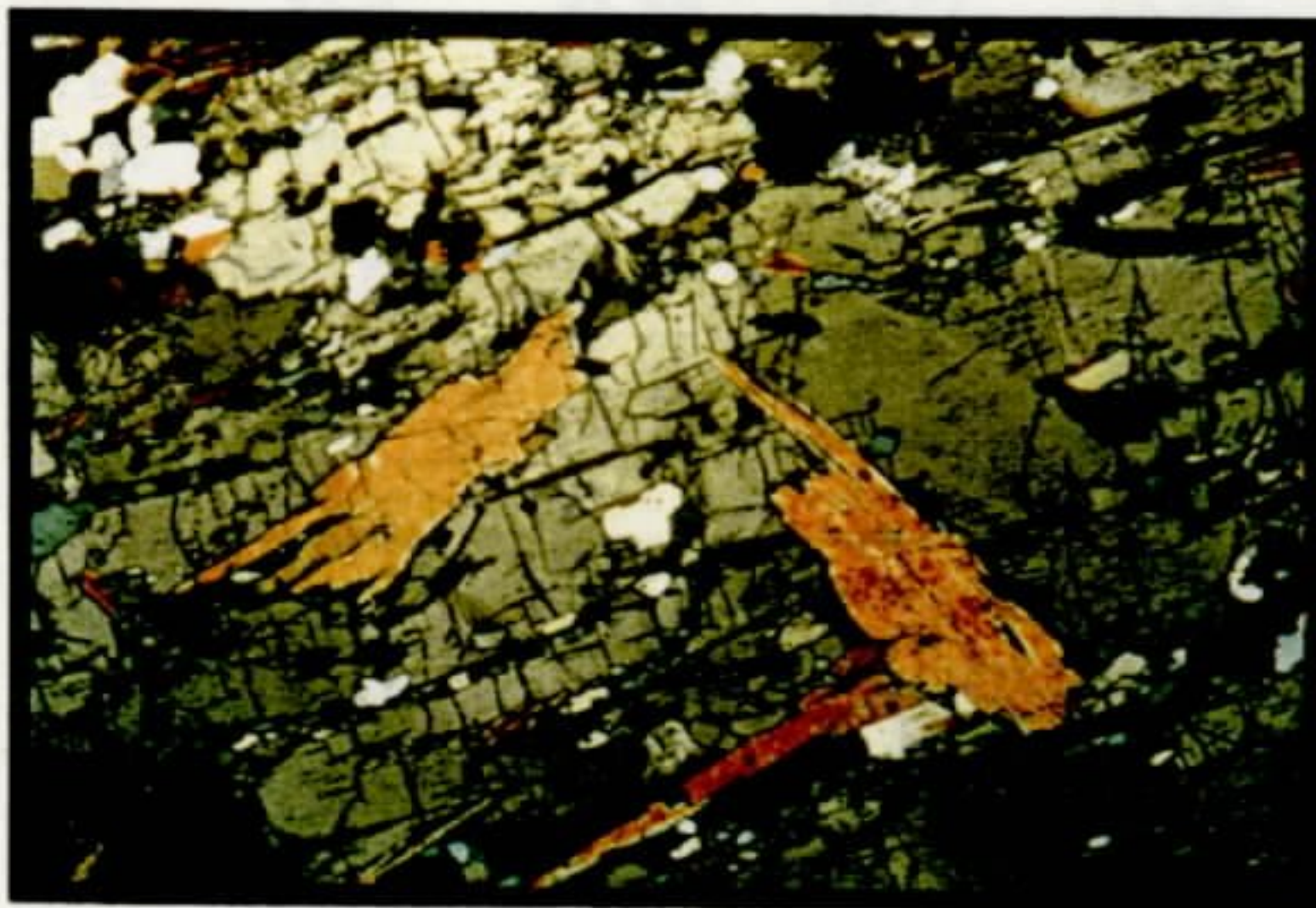
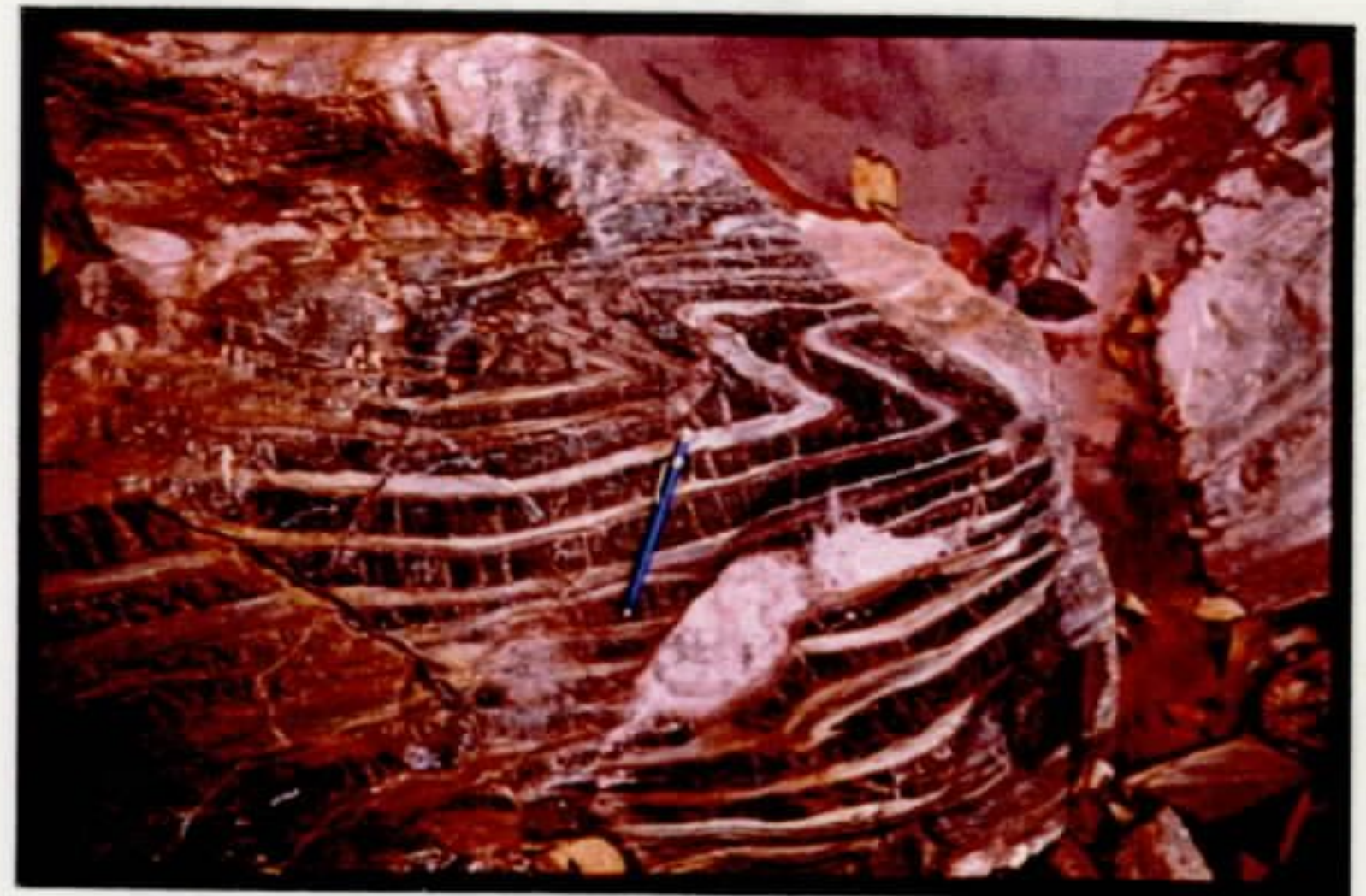
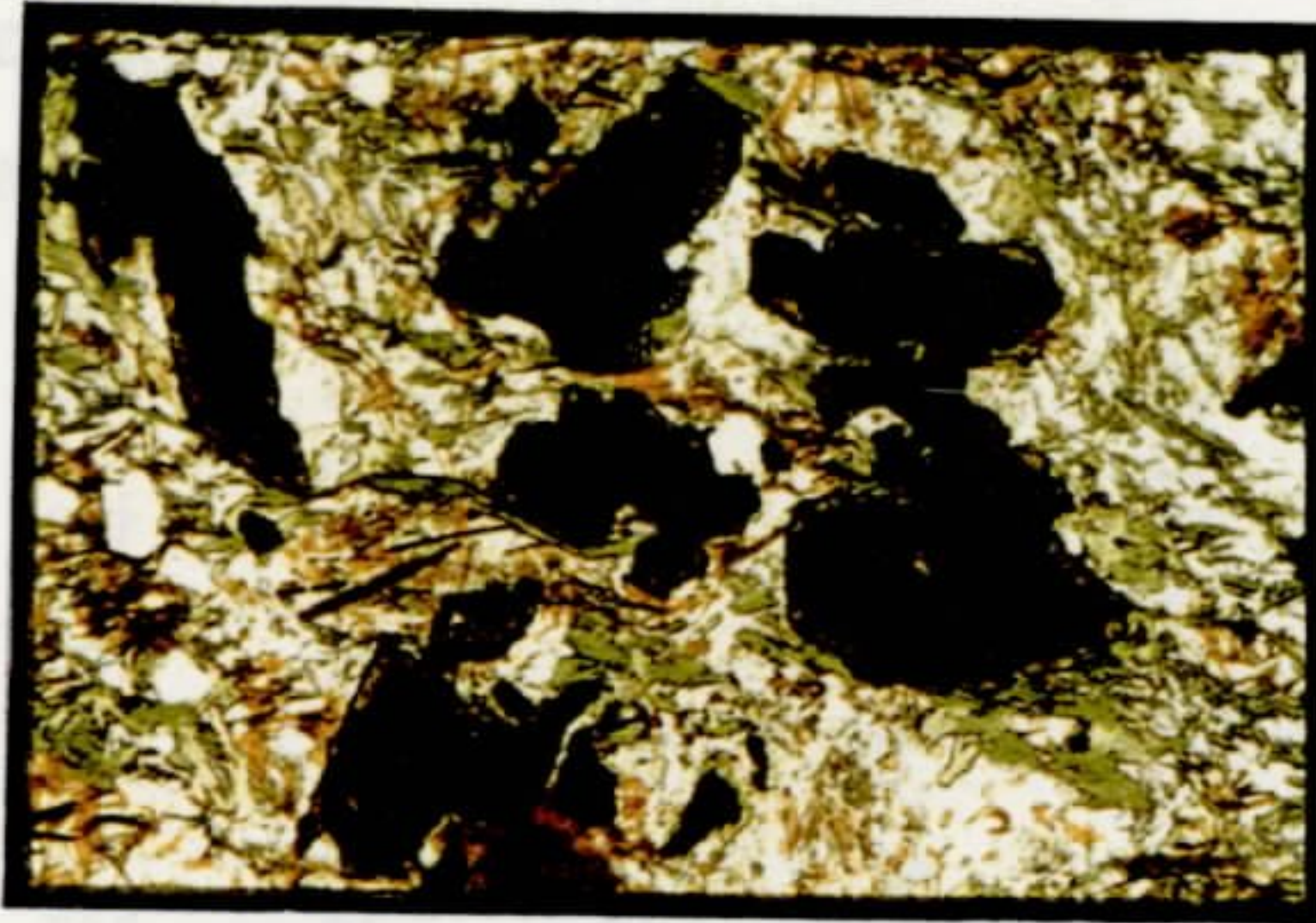
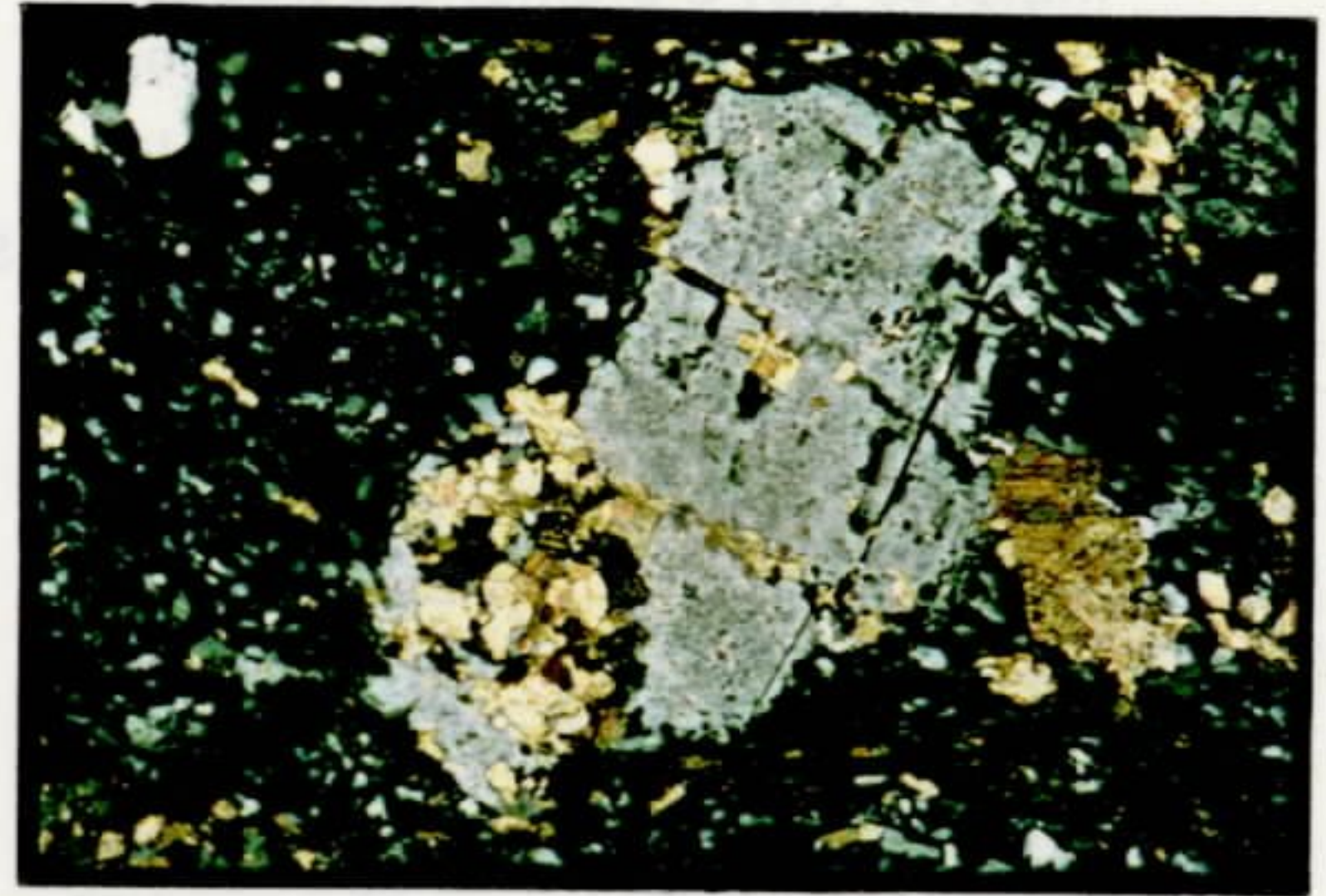
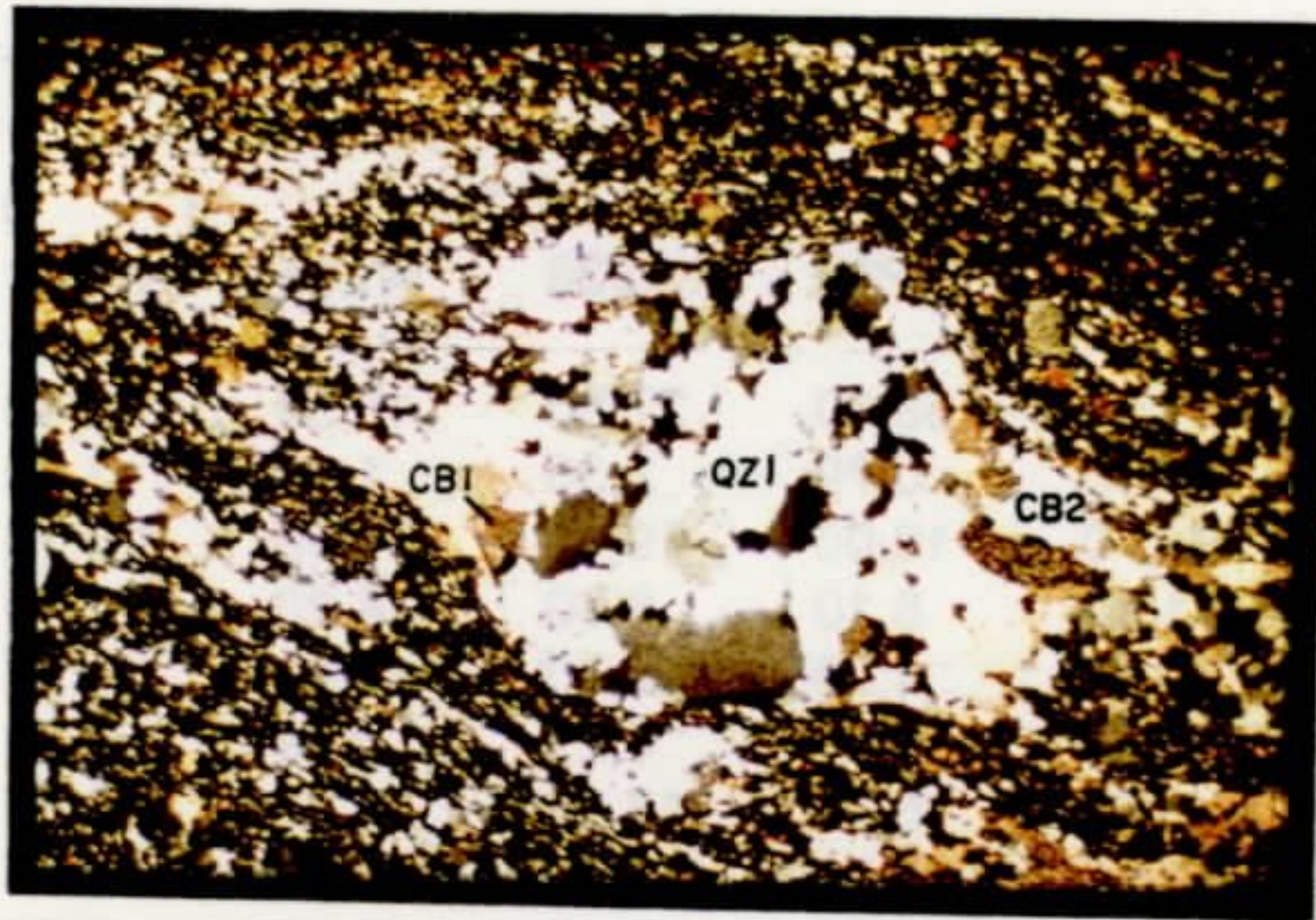


Tabela 3 - Análise química de elementos maiores (%) e elementos traços (ppm) de metabasaltos alterados.

Ordem Amostra	1 RM502F	2 RM502D	3 RM581A	4 SS250A	5 JS01	6 MP02	7 RM320	8 WL05	9 WL56
SiO <sub>2</sub>	50,30	53,30	56,60	49,50	37,20	58,00	27,80	46,50	47,40
TiO <sub>2</sub>	1,40	1,20	0,86	0,96	5,50	0,79	2,30	1,40	3,80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,40	13,30	13,10	14,50	14,70	16,00	19,10	11,40	12,10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,60	2,40	1,70	6,40	11,10	6,10	8,50	4,20	3,60
FeO	10,00	9,40	8,50	7,10	9,80	4,80	12,70	12,40	11,10
MnO	0,19	0,17	0,20	0,16	0,22	0,20	0,21	0,19	0,23
MgO	6,70	5,80	4,80	6,30	6,60	5,30	17,80	4,20	3,00
CaO	6,30	6,80	6,20	9,70	3,50	0,72	0,20	6,40	6,90
Na <sub>2</sub> O	3,80	4,30	4,50	1,20	1,00	0,63	0,10	2,60	3,30
K <sub>2</sub> O	0,46	0,13	0,70	0,30	0,03	3,20	0,02	0,07	0,19
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,18	0,16	0,15	0,09	2,80	0,09	0,29	0,08	0,77
Subtotal	96,33	96,94	97,31	96,21	92,45	95,83	89,02	89,44	92,39
S	-	-	-	-	0,01	0,09	0,00	0,07	0,04
H <sub>2</sub> O	0,07	0,10	0,11	0,27	0,54	0,03	0,13	0,02	0,04
CO <sub>2</sub>	0,86	1,20	1,20	1,30	0,05	0,20	0,10	6,70	3,80
PF	2,55	1,65	1,14	1,82	7,43	3,95	10,72	3,84	3,70
Total	99,74	99,81	99,65	99,33	99,94	100,07	99,84	100,05	99,93
Mg #	49,18	47,20	46,03	46,61	37,28	47,86	60,92	31,63	27,16
Cr	199	154	233	190	86	819	296	75	75
Ni	51	55	30	75	86	280	404	35	19
Co	54	58	50	42	94	96	155	88	74
Sc	20	22	18	27	43	34	62	60	37
V	293	256	204	244	393	231	595	925	196
Cu	73	119	208	107	41	47	93	490	31
Pb	14	42	44	12	49	35	48	39	102
Zn	141	86	80	73	706	149	396	99	164
As	39	17	8	15	5	17	1	43	1
Rb	14	10	18	12	9	87	6	9	14
Ba	586	74	327	41	12	620	10	10	337
Sr	109	168	85	105	293	32	19	99	195
Ta	-	-	-	-	5	5	5	5	5
Nb	10	12	11	10	26	6	7	5	16
Zr	146	131	134	83	381	160	161	68	310
Y	33	30	25	347	42	17	77	21	45
Th	-	-	-	-	5	5	5	5	5
U	-	-	-	-	10	10	10	10	10
La	624,70	8,59	26,88	49,73	42,43	17,38	84,45	9,15	46,97
Ce	23,81	15,88	50,58	93,83	112,20	35,32	320,90	20,52	99,03
Nd	772,40	9,86	31,34	68,54	75,04	14,85	127,10	9,87	56,05
Sm	84,94	2,05	4,73	12,03	14,07	2,72	28,56	1,88	10,55
Eu	12,58	0,47	1,11	2,62	5,51	0,51	9,06	0,53	2,61
Gd	53,37	1,33	3,52	11,59	10,82	1,73	20,32	1,57	9,26
Dy	39,48	0,82	2,74	9,33	7,39	2,39	20,73	1,22	9,11
Ho	7,56	0,16	0,55	1,76	1,31	0,49	3,83	0,25	1,78
Er	18,67	0,42	1,49	4,18	2,67	1,36	8,70	0,70	4,58
Yb	13,27	0,45	1,32	3,20	1,55	1,43	6,91	0,80	3,71
Lu	1,54	0,07	0,19	0,39	0,19	0,20	0,74	0,17	0,44

1- Metabasalto amigdaloidal (Un.Ouro Fino).

2- Metabasalto amigdaloidal (Un.Ouro Fino).

3- Albita-tremolita xisto (Un.Ouro Fino).

4- Actinolita-epidoto-clorita xisto (Un.Ouro Fino).

5 - Quartzo-clorita xisto (Un.Ouro Fino).

6 - Sericita-clorita xisto (Un. Ouro Fino).

7- Cloritito (Un. Ouro Fino).

8 - Plagioclásio-carbonato-clorita xisto (Un.Ouro Fino).

9 - Plagioclásio-carbonato-biotita-clorita xisto (Un. Morro Vermelho).

Tabela 4 - Análise química de elementos maiores (%) e elementos traços (ppm) de rochas a antofilita-cordierita

Ordem Amostra	1 ACR	2 RM 374C	3 VN5
SiO <sub>2</sub>	58,32	58,40	58,50
TiO <sub>2</sub>	0,77	0,76	0,93
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,46	14,30	13,46
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,16	1,00	2,18
FeO	-	8,10	8,56
MnO	0,14	0,28	0,08
MgO	6,45	7,80	12,08
CaO	2,70	3,20	0,48
Na <sub>2</sub> O	2,55	2,30	0,47
K <sub>2</sub> O	1,67	1,30	0,26
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,10	0,12	0,14
Subtotal	98,32	97,56	97,14
H <sub>2</sub> O	-	0,13	0,24
CO <sub>2</sub>	-	0,68	-
PF	1,54	1,40	2,58
Total	99,86	99,64	99,72
Mg #	58,24	60,7	67,17
Cr	630	1091	240
Ni	368	437	124
Co	55	55	62
Sc	32	16	55
V	204	193	248
Cu	-	55	55
Pb	-	110	-
Zn	-	110	84
As	-	355	-
Rb	62	42	10
Ba	394	301	1484
Sr	188	217	-
Nb	-	12	10
Hf	2	-	-
Zr	80	134	210
Y	-	17	34
Th	2	-	-
U	1	-	-
La	18,30	19,15	9,60
Ce	33,80	29,36	19,00
Nd	16,25	26,72	11,00
Sm	3,12	4,48	2,80
Eu	1,12	1,07	0,90
Gd	-	4,28	2,40
Dy	-	4,40	2,70
Ho	-	0,81	-
Er	-	2,18	0,50
Yb	1,74	1,62	1,60
Lu	0,30	0,19	0,20

1 - Rocha a antofilita-cordierita de Hemlo-Heron Bay, Província Superior do Canadá (Pan et al., 1991).

2 - Quartzo-antofilita-cordierita "xisto" (Un. Ouro Fino).

3 - Média de 5 análises de rochas a antofilita-cordierita da Seqüência Vila Nova/PA (Faraco & McReath 1990).

Tabela 5 - Análise química de elementos maiores (%) e elementos traços (ppm) de formações ferríferas bandadas (Un. Morro Vermelho).

Ordem Amostra	1 RM159A	2 RM159B	3 JS149B	4 JS149C
SiO <sub>2</sub>	60,00	43,00	46,50	40,90
TiO <sub>2</sub>	0,05	0,05	0,12	0,17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,20	0,23	2,30	4,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36,00	49,80	31,60	35,40
FeO	1,70	4,30	13,20	14,70
MnO	0,10	0,09	0,21	0,23
MgO	0,10	0,10	2,00	1,70
CaO	0,06	0,06	0,70	0,20
Na <sub>2</sub> O	0,10	0,10	0,37	0,16
K <sub>2</sub> O	0,03	0,02	0,51	0,02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	0,05	0,12	0,06
Subtotal	98,30	97,80	97,63	97,54
S	0,01	0,02	0,08	0,00
H <sub>2</sub> O	0,01	0,04	-	0,01
CO <sub>2</sub>	0,08	0,05	1,35	0,08
PF	1,66	2,24	0,93	2,27
Total	100,05	100,11	99,99	99,89
Mg #	0,52	0,36	7,89	6,11
Cr	114	139	146	164
Ni	10	10	15	18
Co	28	41	35	45
Sc	5	5	11	11
V	10	10	31	45
Cu	25	20	24	9
Pb	34	42	41	49
Zn	46	56	41	53
As	15	29	4	1
Rb	9	7	17	8
Ba	10	10	24	10
Sr	5	5	17	10
Ta	5	5	5	5
Nb	6	6	5	8
Zr	27	26	36	45
Y	3	6	9	4
Th	5	5	5	5
U	10	10	10	10
La	8,14	2,39	7,95	7,01
Ce	9,19	3,56	16,95	13,82
Nd	2,56	1,06	6,83	5,41
Sm	0,41	0,24	1,19	1,03
Eu	0,12	0,10	0,30	0,23
Gd	0,40	0,26	1,01	0,83
Dy	0,31	0,25	0,65	0,59
Ho	0,06	0,05	0,11	0,13
Er	0,17	0,15	0,27	0,26
Yb	0,14	0,19	0,27	0,26
Lu	0,03	0,04	0,05	0,04



dos elementos compatíveis e acentuado enriquecimento dos elementos incompatíveis, especialmente K, Nb, Ba, Rb (figura 24).

### Petrogênese

As paragênese reportadas foram: antofilita + cordierita + quartzo + plagioclásio + clorita-Mg + flogopita (+/-granada+/-turmalina+/-rutilo+/-cumingtonita).

Devido à freqüente associação com depósitos de sulfetos maciços - esse tipo de rocha de composição pouco usual - tem recebido tratamento detalhado especialmente na literatura canadense. São interpretados nos mais diversos contextos genéticos, especialmente (Pan et al. 1991): 1) origem sin-metamórfica/metassomática; 2) metamorfismo de rochas ultramáficas contaminadas por Al; 3) metamorfismo de rochas (previamente) alteradas sincinemáticamente; 4) metamorfismo de produtos de intemperismo; 5) resíduo de fusão parcial; 6) metamorfismo isoquímico de rochas previamente submetidas à alteração hidrotermal; 7) metamorfismo isoquímico de sedimentos.

No caso específico dos antofilita-cordierita "xistos" do *greenstone belt* de Hemlo-Heron Bay na Província Superior do Canadá, Pan et al. (1991) optaram pela alternativa 7, ao interpretarem os mesmos como derivados da rápida erosão e deposição de rochas máfico-ultramáficas.

Entretanto, na maior parte dos casos, essas rochas são constituintes dos envelopes de depósitos de sulfetos maciços, ouro e cassiterita, em especial em *foot walls*, canais de ascensão, *pipes* e *stockworks* de

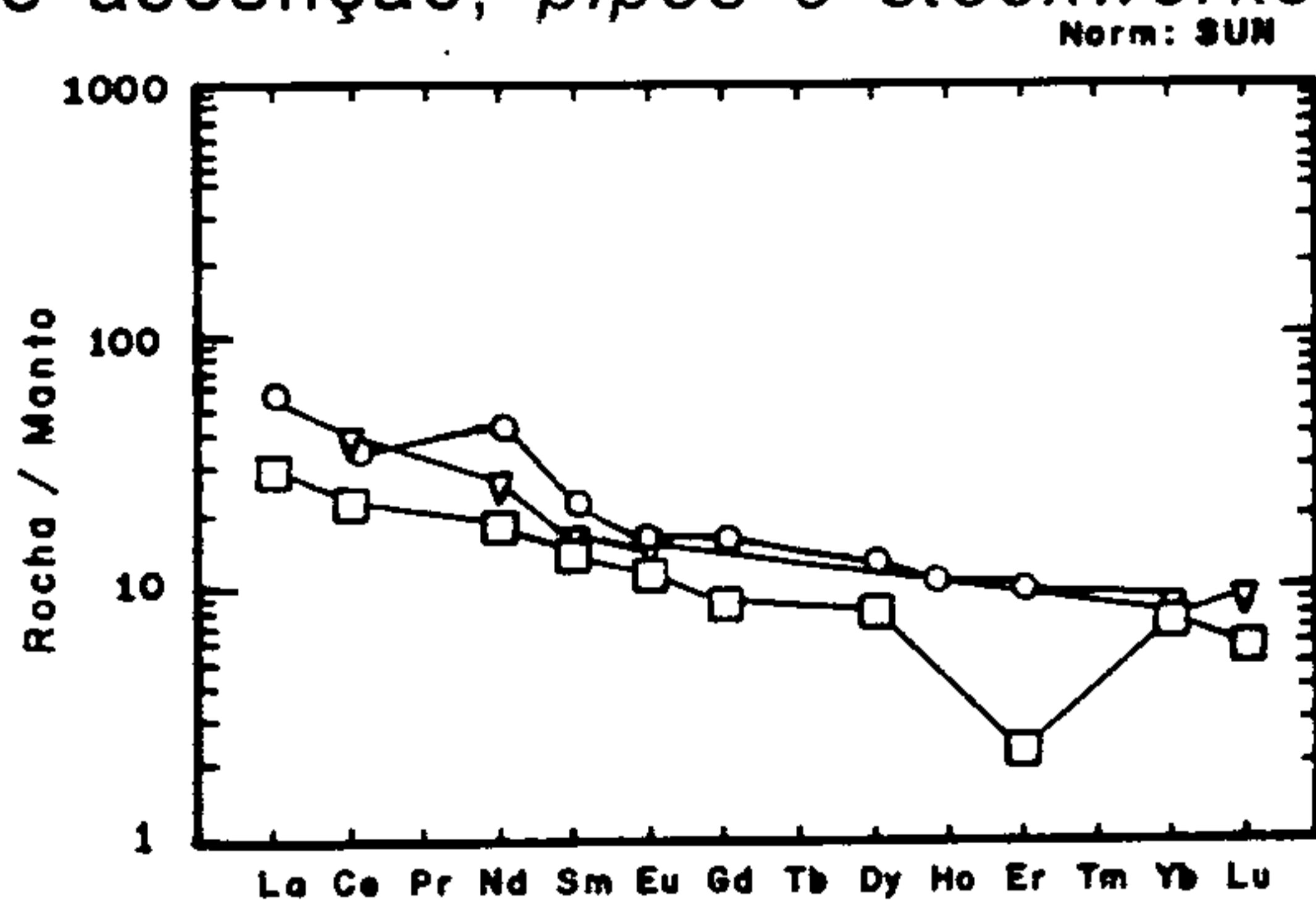


Figura 23 - Distribuição dos ETR normalizados a manto primitivo (Sun, 1982ROOO) para as rochas a antofilita-cordierita (RAC) da área (triângulos) comparada a RAC similares do Canada (Pan et al., 1991 uma análise = círculos) e da seqüência Vila Nova-Pa. Faraco, 1990 (média de 5 análises = quadrado).

depósitos SEDEX, onde representam produtos de metamorfismo de assoalho e sub-assoalho oceânico (paredes laterais), alterados previamente ao metamorfismo pela circulação dos fluidos mineralizantes.

Entre os depósitos mais conhecidos encontram-se as encaixantes dos depósitos arqueanos de Cu-Zn nos distritos de Noranda-Rouyn, Mattagami, Manitouwage Flin Flon, Snow Lake e Gullbridge e na mina de Coronation, no Canadá; em depósitos proterozóicos de sulfetos maciços de Cu-Pb-Zn em Falun e Skelleftea na Suécia; nos distritos de Outokumpu e Orijarvi na Finlândia; nos depósitos de cobre de Hittachi no Japão.

Nos depósitos de ouro do tipo *lode* (de idade arqueana) da Província Superior essas rochas são interpretadas como produtos de alteração hidrotermal relacionadas à introdução do Au (sulfetização) em basaltos cloritizados, segundo a reação: clorita + quartzo + H<sub>2</sub>S = antofilita + cordierita + pirrotita + CO<sub>2</sub>. A reação exigiria condições da fácies anfibolito, com T de 600° C e P de 2,5-3,0 Kbar - a partir de espilitos (Colvine et al. 1988).

Na literatura brasileira existem apenas duas ocorrências de RAC. A primeira foi reportada nas seqüência vulcano-sedimentar de Vila Nova, (AP) de idade paleoproterozóica, (Faraco & McReath 1990). A segunda, no Grupo Serra do Itaberaba do paleoproterozóico de São Paulo (Juliani et al. 1992; Juliani & Aguilar 1994). Ambas foram interpretadas como produtos de metamorfismo de alteração hidrotermal pré-metamórfica de basaltos toleióticos. No Grupo Serra de Itaberaba foram assinalados diversos corpos

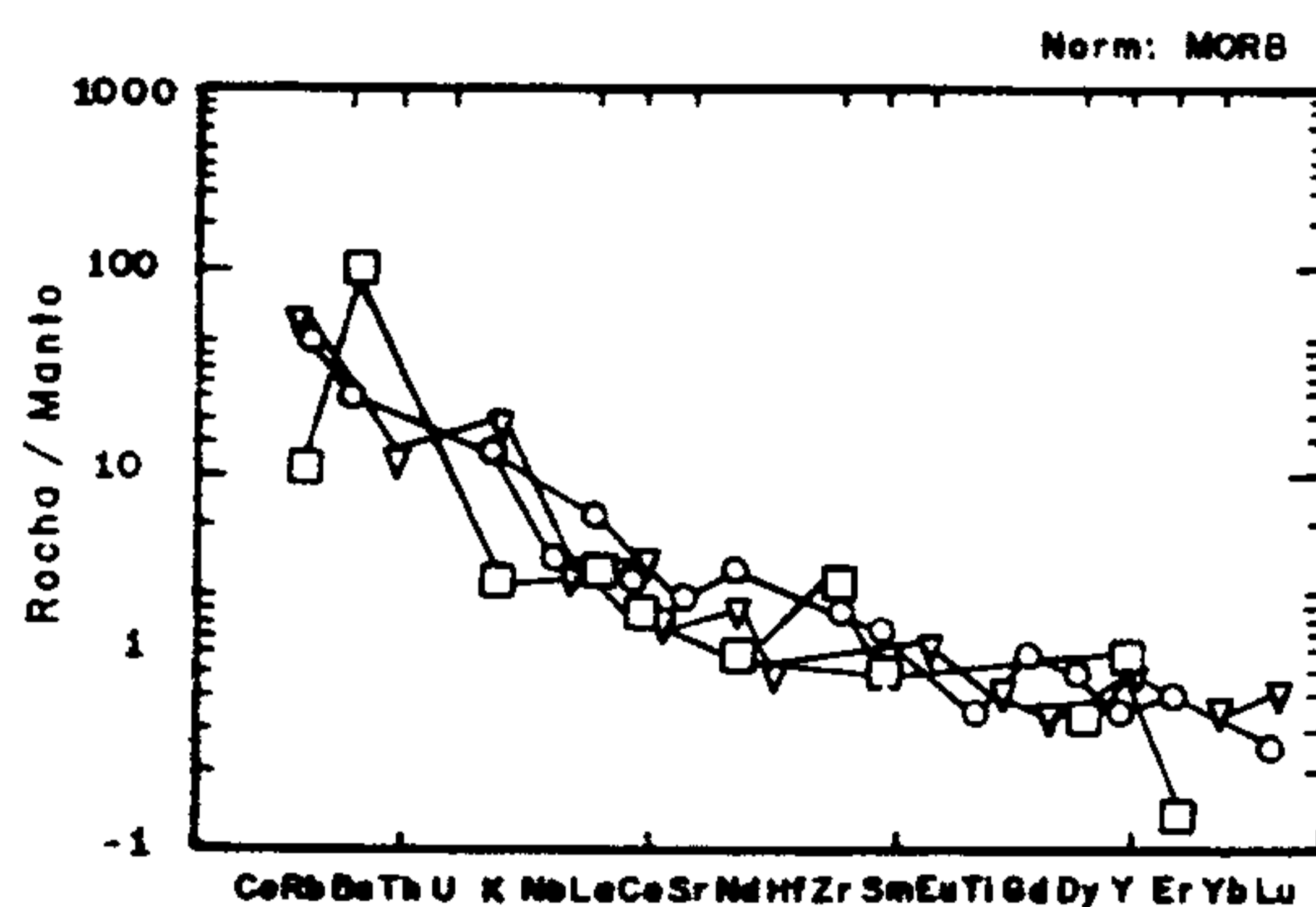


Figura 24 - Rochas a antofilita-cordierita deste estudo (círculos), da seqüência Vila Nova (quadrado) e do Canadá (triângulo), normalizadas aos elementos compatíveis e incompatíveis do padrão MORB.

de cordierita-granada-cumingtonita anfíbolitos, associados à seqüência metavulcânica máfica. A potencialidade prospectiva da seqüência, referentemente a depósitos

economicamente interessantes de sulfetos maciços, foi também destacada (Juliani et al. 1992).

No caso do GBRV as RAC acham-se igualmente associadas à seqüência metavulcânica toleítica, basal, permitindo aventar-se hipóteses similares: metamorfismo (isoquímico) em fácies anfíbolito de basaltos previamente alterados em assoalho oceânico (espilitos), ou seja, alteração hidrotermal pré-metamórfica. Ou, alternativamente, sulfetização, em condições de fácies anfíbolito em basaltos previamente cloritizados (espilito): alteração hidrotermal sin-metamórfica. No primeiro caso modelos exploratórios para depósitos de sulfetos de Zn-Cu, ainda desconhecidos no distrito seriam favorecidos. No segundo, depósitos auríferos tipo *lode*.

Devido à ausência de boas exposições, escassez de análises químicas e à natureza regional do levantamento, essas questões não foram aqui esgotadas. Pesquisas de maior detalhe devem ser dirigidas para testar-se também a influência termal do Domo de Caeté na recristalização da paragênese e de seu papel como fonte de possíveis fluidos mineralizantes. Portanto, para melhor avaliar-se as duas possibilidades há necessidade de monitoramento químico, além de maior detalhamento em campo.

No caso de uma origem por metamorfismo de protólitos básicos (previamente alterados em assoalho oceânico) seria esperado que apresentassem composição compatível com derivação a partir dos metabasaltos espilitizados. E, em relação aos supostos precursores, deveriam apresentar enriquecimento em Na, ou seja, deveriam exibir evidências de espilitização prévia (Yardley 1989).

Entretanto, qualquer futura abordagem litogeoquímica mais detalhada deve ter em conta que esses elementos nem sempre se comportam conservadoramente nos processos de espilitização. Por exemplo, Ni, Cu, Zn são facilmente mobilizados pelos fluidos mineralizantes (C. Juliani 1995, inf.verbal).

Mesmo os elementos de terras raras (ETR) podem apresentar variações, tanto no conteúdo total, quanto em seus padrões de normalização ao condrito. Enriquecimento em ETR leves, em proporções de 10 a 30 vezes os valores dos precursores, ou seja, 100 a 300 vezes o condrito, foram assinalados em espilitos da Índia (Helmann & Henderson 1977). Assim, conteúdos totais de ETR, bem como algumas razões de abundância como La/Sm e La/Yb - freqüentemente empregadas na reconstituição de protólitos em metabasitos de outros ambientes - são de pouca utilidade, seja com relação à rocha alterada, seja nas encaixantes espilitizadas.

## FORMAÇÕES FERRÍFERAS BANDADAS - BIF's

### FÁCIES ÓXIDO E SILICATO

#### *Petrografia*

A associação está representada por BIFs de fácies óxido, de composição quartzo (metacherte) + magnetita +/- (hematita), muito bem laminada em escala milimétrica, que localizadamente passa a fácies silicato com recristalização de clorita, grunerita e granada. Um estudo detalhado dessas formações ferríferas foi recentemente desenvolvido como apoio ao mapeamento (Raposo 1996), por isso a abordagem aqui apresentada é restrita à caracterização de quatro ocorrências. Ocorrem especialmente, mas não exclusivamente intercaladas na unidade basal toleítica (P8/5 e P9/4).

#### *Litogeoquímica e Petrogênese*

A tabela 5 mostra a composição química com sílica variando de 40,9 a 60%; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> entre 31,6 e 49,8%, FeO entre 1,7 e 14,7%

O espectro de distribuição de ETR normalizado ao padrão mostra a existência de dois padrões contrastantes, embora com idêntica inclinação das curvas (figura 25).

O primeiro (círculos cheios na figura 25), apresenta: i) discreto enriquecimento em ETRL ( $La_N = 9,3$  e  $33,2$ ); ii) forte depleção nos ETRP ( $Lu_N = 1,1$  e  $1,3$ ); iii) anomalias de Eu variando de levemente negativa  $Eu_N/Eu^* = 0,86$ , a moderadamente positiva ( $Eu_N/Eu^* = 1,16$ ). Corresponde à fácies silicato

(QUARTZO-MAGNETITA), com passagem para a fácies óxido, representada pela presença de clorita (quadrados cheios-figura 25) ocorrendo um aumento nos níveis totais de ETR, especialmente de ETRL (figura 25).

Quando normalizados ao NASC mostram acentuado empobrecimento nos níveis totais de ETR (cerca de 10 X) e fortes anomalias positivas de Eu, especialmente as de fácies óxido (círculos cheios na figura 26). Trata-se de padrão característico das formações ferríferas tipo Algoma onde as anomalias positivas de Eu (relativamente ao condrito) têm sua gênese atribuída às fácies proximais de depósitos exalativos de fundo oceânico (Fryer 1983). O enriquecimento relativo em Eu, quando comparado aos padrões de sedimentos clásticos normais é atribuído a condições redutoras com extração efetiva de  $\text{Eu}^{++}$  da pilha vulcanogênica, com conseqüente enriquecimento dos oceanos, fenômeno mais característico dos ambientes arqueanos.

### FÁCIES CARBONATO:QUARTZO-CARBONATO-SERICITA "XISTOS" (LAPA SECA)

As formações ferríferas de fácies carbonato foram extensivamente detalhadas do ponto de vista geoquímico (Ladeira 1985) e por isto nossos trabalhos regionais não as abordaram deste ponto de vista. Entretanto, devido à sua importância no contexto das mineralizações auríferas alguns comentários relativamente às possíveis gênese são formulados abaixo.

#### Quartzo + Carbonato (Ankerita) + Sericita

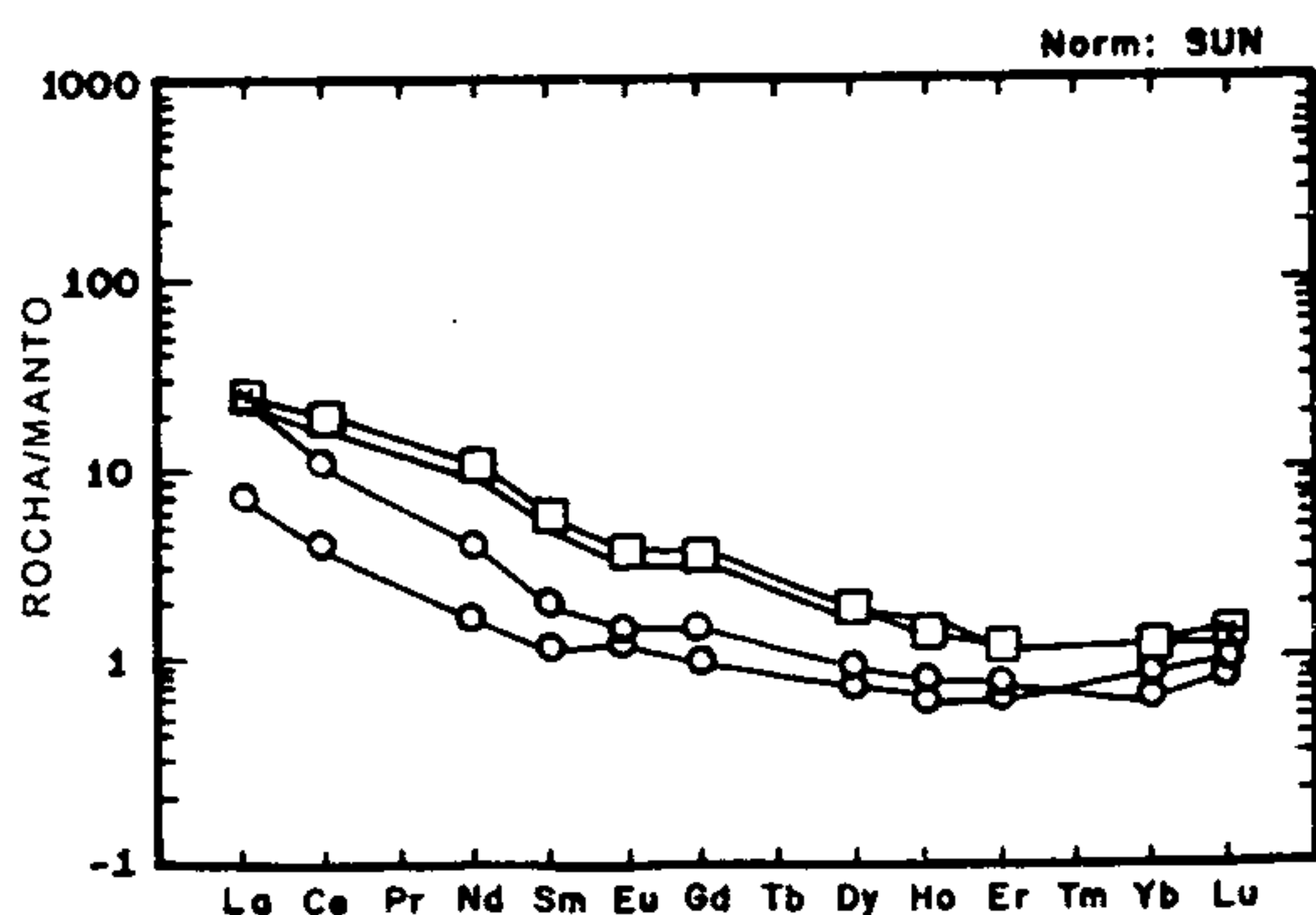


Figura 25: Distribuição dos ETR normalizados a manto primitivo (Sun, 1982) para as formações ferríferas bandadas (BIF). Notar o padrão arqueano, com forte depleção nos níveis totais de ETR e anomalias positivas de Eu para as BIF de fácies óxido a quartzo-magnetita (círculos). As BIF de fácies óxido-silicato a quartzo-magnetita e clorita (asteriscos) apresentam maior enriquecimento nos níveis totais de ETR e discreta anomalia negativa de Eu. O padrão enriquecido (tipo "Proterozóico") pertence a fácies carbonato (quadrados).

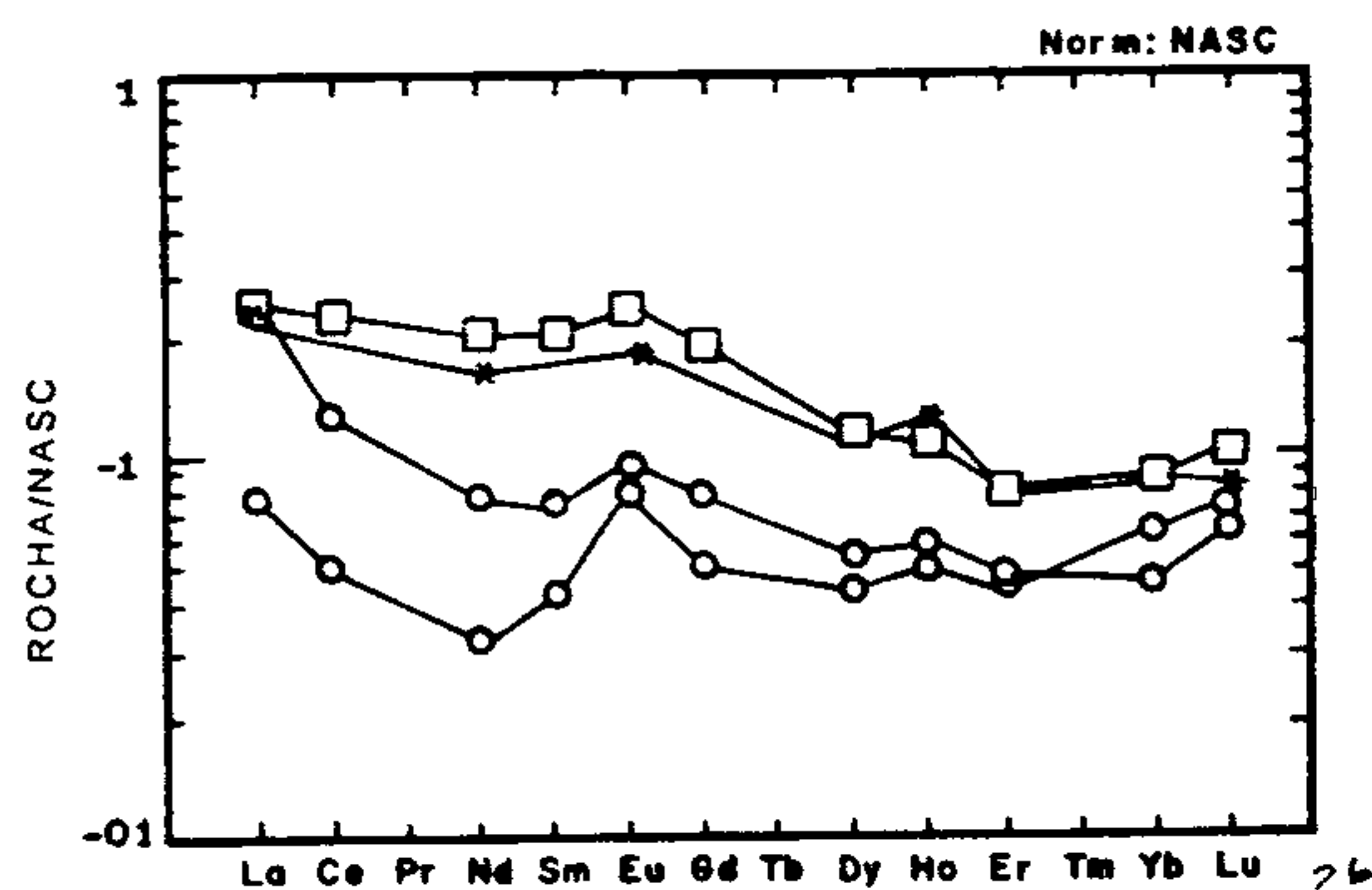


Figura 26: Assinatura de ETR de formações ferríferas bandadas normalizados ao padrão NASC, mostrando empobrecimento na concentração total dos elementos e anomalias positivas de Eu.

**+ Clorita (+/-albita +/-fucksita +/-epidoto)-Lapa Seca:** são horizontes carbonáticos há muito caracterizados *strata-bound*, do tipo SEDEX, representando depósitos de formação ferrífera, de fácies carbonato (ver resumo em Ladeira 1991). Entretanto a designação Lapa Seca foi empregada posteriormente para um número tão diversificado de associações carbonáticas que tornaram-se imprópria.

Fora da área clássica de exposição, em trabalhos mais recentes (e.g. Vieira 1991) reconhecem, além de afinidades exalativas, uma expressiva zoneografia de alteração hidrotermal - pós-deposicional, pré-metamórfica - em rochas máfico-ultramáficas cujo produto final foi também designado de Lapa Seca. Da mesma forma, Vial et al. (1987) interpretaram o mesmo minério carbonático como produto de alteração hidrotermal e *overprint* tectônico sobre rochas vulcânicas félsicas.

Os resultados preliminares dos trabalhos cartográficos sugerem que em relação à essa disputa é provável que existam "Lapas Secas" e "Lapas Secas". Embora à parte das ocorrências possa ser atribuída origem sedimentar-exalativa, na maior parte das vezes, o termo tem sido empregado incorretamente para uma grande diversidade de protólitos, carbonatizados. Além de protólitos ultramáficos e félsicos, previamente mencionados na literatura, identificou-se também metassedimentos clásticos (metarritmitos e pelitos carbonosos) carbonatizados (P11/5) que recebem localmente a designação de Lapa Seca. Por essa peculiaridade recomenda-se o emprego do termo de maneira restrita, a horizontes químico-exalativos *strata-bound*.

## TURMALINITOS "STRATA-BOUND"

### Introdução

O termo turmalinito *strata-bound* é aqui empregado no sentido restrito proposto no trabalho de Silva (1991), para horizontes constituídos por rochas bimineralicas, com quartzo e turmalina em proporções geralmente similares, portadoras de microbandamento co-planar com a trama tangencial primária do pacote (S<sub>1</sub>). Ou seja, onde a turmalina e o quartzo são de natureza pré-metamórfica e contidos na foliação S<sub>1</sub> (P9/6).

O quadro 6, baseado no trabalho Silva (1991), é uma tentativa de se caracterizar os principais modos de ocorrência de rochas quartzo-turmalínicas e os respectivos processos genéticos.

Foram caracterizadas duas ocorrências. A primeira (FR37) localiza-se no morro da Água Quente, proximidades da fazenda Quebra Osso e associa-se a metacherte, formação ferrífera bandada e filito carbonoso, conjunto com cerca de 1500m de comprimento por 60m de largura. A segunda é uma intercalação de pequena espessura (<1m) em metapelitos (NS 256B). Petrograficamente é uma rocha finamente bandada, com alternância de bandas milimétricas de turmalina (agulhas) e quartzo (poligonizado). Opacos (sulfetos e óxidos) ocorrem como acessórios. Localmente esse bandamento é afetado por dobras D2 abertas, caracterizando a cristalização pré-sin-metamórfica da paragênese.

### Litogeoquímica e Petrogênese

Apenas a amostra FR37 foi analisada quimicamente. Trata-se de rocha rica em

sílica (72,5%) e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (8,9%). Entre os elementos traços, além de B (5040ppm), são acentuadamente enriquecidas em Zn (223ppm), Cr (1546ppm), Ni (432ppm), V (226ppm) e As (27ppm).

O padrão de distribuição de ETR normalizado ao condrito (figura 27) mostra uma distribuição discretamente enriquecida em relação aos valores condriticos (La<sub>N</sub> = 4,8) e Lu<sub>N</sub> (3,2); forte anomalia negativa de Eu (Eu/Eu\* = 0,43); enriquecimento relativo dos ETRP em relação aos ETRL.

O enriquecimento relativo em ETRP, na ausência de granada, tem sido interpretado em turmalinitos de Broken Hill como evidência de intensa alteração hidrotermal com perda dos ETRL em ambientes vulcanogênicos proximais, relacionados a depósitos sulfetados (Slack 1993).

As anomalias negativas de Eu podem ser interpretadas como devidas a fonte marinha e à deposição de fluidos hidrotermais mais resfriados em ambientes distais, relativamente à fonte vulcanogênica como as concreções hidrotermais da Zona de Fratura Romanche (Lottermoser 1989),

Quando comparado (círculo cheio) com os padrões dos metassedimento clásticos, pobres em boro, de derivação vulcanogênica da área (triângulos cheios) ou com rochas clásticas similares de Barberton (asteriscos) ou com o NASC (quadrados cheios) na figura 28, mostram padrão acentuadamente distinto de todos. Especialmente pelo forte empobrecimento nos ETRL e a forte anomalia negativa de Eu.

A presença de rochas quase bimineralicas a quartzo e turmalina relativamente abundantes no

Quadro 6 - Principais modos de ocorrência e associações de rochas quartzo-turmalínicas

TURMALINITOS STRATA-BOUND	
MODO DE OCORRÊNCIA	ASSOCIAÇÕES
1. DETRÍCA.....	* Placeres fósseis
2. EVAPORÍTICA .....	* Bifs, Sahbkas/playa lakes
3. EXALATIVA deposição direta.....	* Bifs, chertes, tufos e lavas
substituição.....	* Seqüências clásticas areno-pelíticas
ROCHAS QUARTZO-TURMALÍNICAS NÃO STRATA-BOUND	
1. PLUTÔNICA .....	* Veios quartzo-turmaliníferos
2. EXALATIVA .....	* Veios e bolsões em Bifs, chertes, tufos e lavas

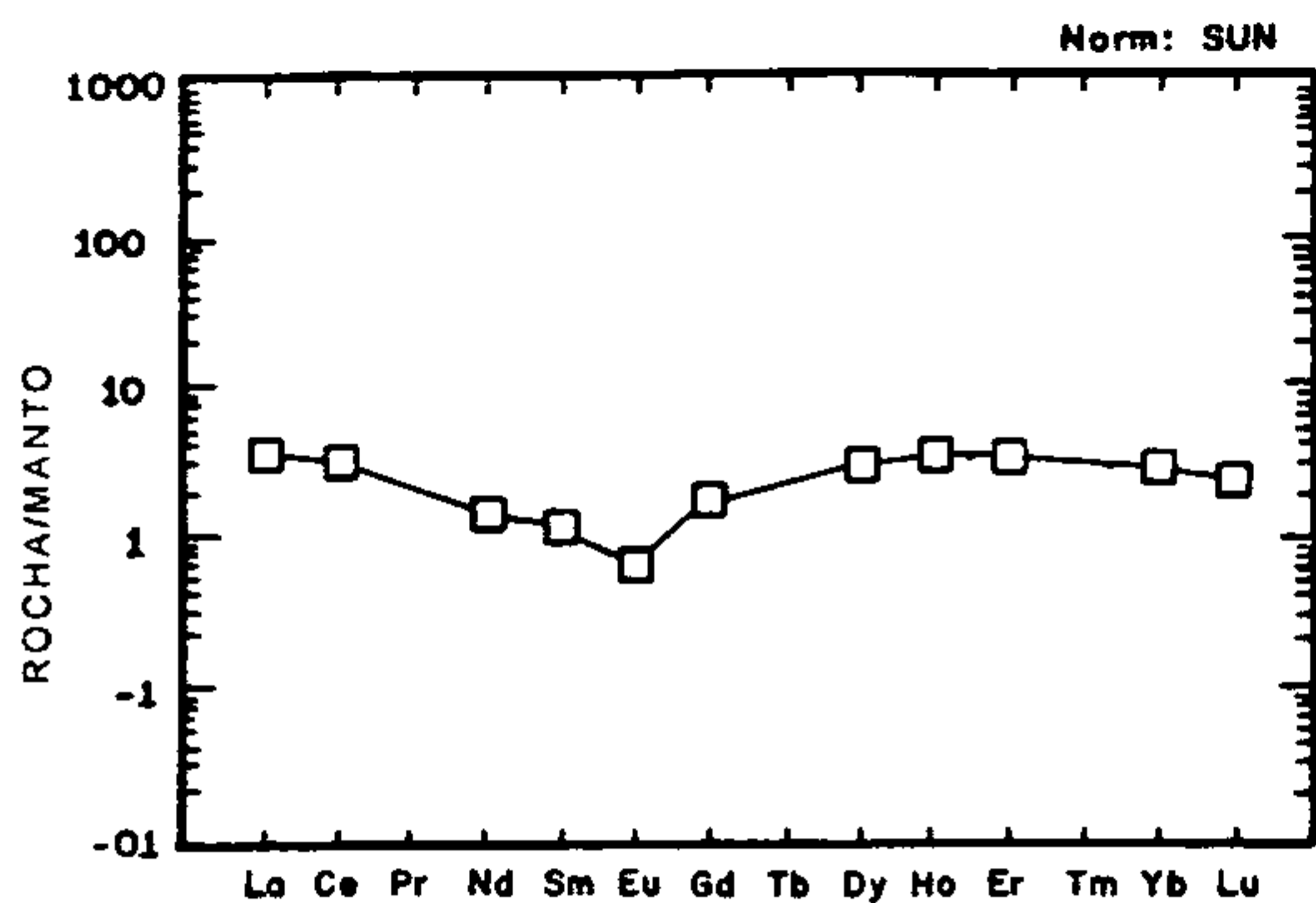


Figura 27: Assinatura de ETR de turmalinito strata-bound normalizado ao condrito

Quadrilátero Ferrífero têm suscitado freqüentes discussões genéticas desde o trabalho de Fleisher & Routhier (1973) na mina de Passagem de Mariana. Excetuando-se esse trabalho e o de (Silva 1991) em geral essas rochas são interpretadas como de origem hidrotermal/pós-metamórfica ou plutônica (venulações associadas a intrusões graníticas).

No GBRV a referência mais antiga a rochas quartzo-turmalínicas de expressão aflorante regional é dada pela ocorrência situada entre Mata Porcos e o Viaduto do Funil que despertou a atenção de Pires et al. (1990) por refletirem: *aparentemente um nível estratigráfico*, apesar de (segundo eles) pertencerem à *auréola* de uma fonte térmica (Complexo de Bação) à qual estariam geneticamente vinculadas. Mais recentemente, esses mesmos turmalinitos foram interpretados como de derivação químico-exalativa devido à sua composição peculiar, à natureza pré-metamórfica da associação quartzo-turmalina e por correlação com outras ocorrências brasileiras (Silva 1991). Nesse caso, nenhuma fonte granítica aflorante, ou oculta, freqüentemente invocada, foi necessária para explicar as feições micro e mesoestruturais observadas e a provável fonte do boro. Gênese similar (exalativa) já tinha sido atribuída aos turmalinitos da região de Pitangui-Mateus Leme, ainda no âmbito do GBRV, por Teixeira & Aita (1986) - interpretação parcialmente modificada em Teixeira & Kuyumjian (1991).

Fora do GBRV, turmalinitos correlacionáveis da mina de Passagem de Mariana foram reconhecidos como de natureza *strata-*

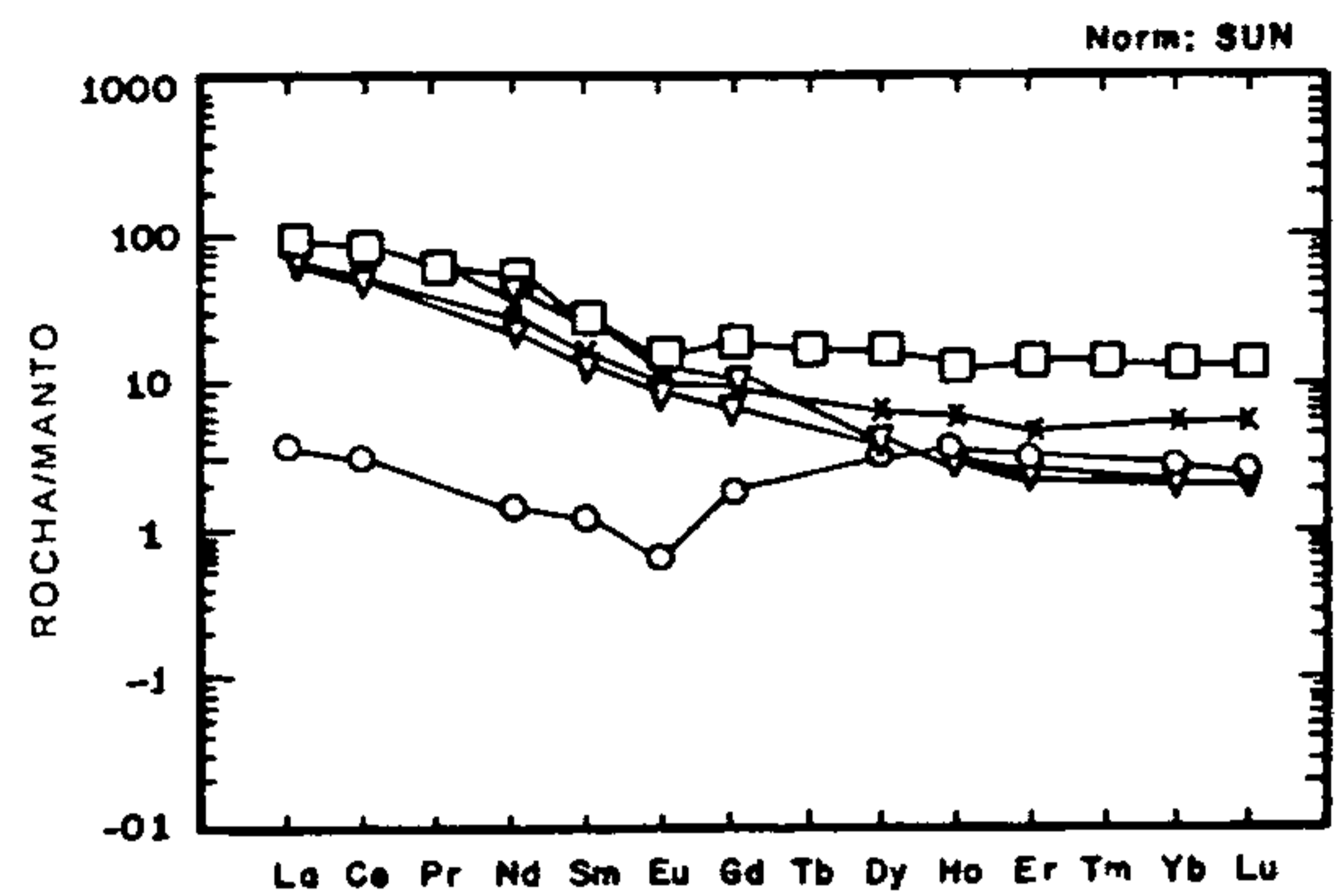


Figura 28: Assinatura de ETR de turmalinito da figura 27 comparada aos padrões dos metassedimentos clásticos pobres em boro, vulcanogênicos (triângulos), de rochas similares de Barberton (asteriscos) e com o NASC (quadrados).

*bound*. A paragênese representada por quartzo-turmalina foi considerada como pré-metamórfica por Fleisher & Routhier (1973).

Na região de Mateus Leme, uma nova ocorrência de turmalinitos *strata-bound* foi reconhecida na fazenda Pindaíba durante os trabalhos de integração do Projeto Rio das Velhas, confirmando a importância estratigráfica e metalogenética desses horizontes. Trata-se de níveis de espessura decimétrica, intercalados concordantemente em pacotes decamétricos de agalmatolitos (xistos pirofilíticos), cianititos e xistos fuchsíticos, oriundos de pervasiva alteração dos horizontes máficos basais da seqüência (C. Heineck 1995 - informação verbal). O mais interessante nessa nova descoberta é a presença nesses níveis turmaliníferos estratiformes de concentrações de granada (manganesífera?), caracterizando uma associação do tipo *cotícule* que é interpretada como evidência de atividade exalativa na interfácies sedimento-água (Lottermoser 1989; Slack 1993) e constitui-se em um guia potencial para a prospecção de depósitos de sulfetos polimetálicos (Slack 1993).

Do ponto de vista exploratório, essas peculiaridades adquirem grande importância pelo fato de tanto os turmalinitos quanto algumas das eventuais pré-concentrações auríferas e sulfetadas poderiam ter origem em um amplo sistema convectivo-hidrotermal fossilizado, de idade arqueana. Porém sua posterior evolução em depósitos economicamente interessantes teria vinculação direta à tectônica colisional superposta. Essas hipóteses implicam afinidades

sedimentar-exalativas (SEDEX), em condições similares às observadas nos modernos assoalhos oceânicos. Ou, mais apropriadamente, a algumas ocorrências paleoproterozóicas dos distritos de Sullivan (Canadá) e Broken Hills (Austrália).

Relativamente à ocorrência NS 256B (não analisada quimicamente), sua origem pode ser distinta. O fato de ocorrer de maneira *strata-bound* em uma seqüência clástica pode indicar uma natureza relacionada à substituição seletiva de níveis pelíticos em ritmitos por fluidos ricos em boro. Nesse caso, um padrão de ETR similar ao dos metassedimentos encaixantes (tipo NASC) seria esperado.

## VULCANISMO FÉLSICO

### **Petrografia**

As rochas félsicas são de composição dacítica e caráter predominantemente fragmental (piroclásticas). Ocorrem tanto sob a forma de tufo quanto aglomerados e brechas (classificação segundo o IUGS-Le Maitre 1989).

### **Tufos**

Apresentam granulação fina (tufo) a grossa (lapilli-tufo), compostos essencialmente por cristaloclastos de plagioclásio e mais raramente de quartzo: tufo de cristal. Granulometricamente variam de bimodais a polimodais, sendo os bimodais os mais comuns. A composição é predominantemente dacítica. A sericita é o principal acessório e ocorre como alteração no interior ou nas bordas dos cristaloclastos de plagioclásio (albita), ou em feixes e bandas irregulares marcando a (discreta) foliação  $S_1$ . Os horizontes em geral são maciços, podendo localmente apresentar discreto bandamento em escala decimétrica a métrica.

A matriz é muito fina, entre 0,01 e 0,1mm (tufo a cinza fina). Algumas variedades incluem matriz de tufo a pó (< 0,06mm). Os cristais de quartzo e albita são xenomórficos e acham-se discretamente orientados e envolvidos por agregados sericíticos, orientados segundo  $S_1$ .

Os cristais maiores têm tamanho médio 0,2

e 1,0mm (tufo a cinza grossa). O plagioclásio tem composição de oligoclásio a albita, é idiomórfico, freqüentemente apresenta geminações ígneas complexas e eventualmente zoneamento composicional. Com freqüência exibe evidências da origem piroclástica, como bordas irregularmente fragmentadas (P10/4).

O quartzo ocorre mais freqüentemente na matriz porém os cristais maiores são tipicamente vulcanogênicos: idiomórficos, bipiramidais, sem extinção ondulante e com golfos de corrosão.

### **Aglomerados e Brechas**

Aglomerados e brechas, especialmente os primeiros, ocorrem com alguma freqüência (P10/1, P10/2 e P10/3). A matriz está representada pelos tufo acima descritos. Na mesma amostra podem ocorrer litoclastos angulosos (bloco), ou arredondados e fusiformes (bombas). Esses litoclastos apresentam a mesma composição petrográfica da matriz, representando fragmentos de lavas previamente constituintes do aparelho emissor (ejetólitos **acessórios**) - P10/5. Mais raramente, algumas bombas mostram evidências de derivação **juvenil**: mesma composição, porém com texturas devitrificadas (solidificação aérea). Poucos fragmentos derivados de vidro básico, sem vinculação genética com a associação, foram observados (**material acidental**)

Os **litoclastos** ocorrem como fragmentos de tamanho muito variável, predominantemente entre 2 e 8mm, excepcionalmente podendo alcançar 20 a 30cm. Têm composição dacítica a traqui-andesítica (SS 145B -P10/3). Predominam as variedades holocristalinas, com texturas microporfíricas seriadas, com fenocristais idiomórficos de plagioclásio com tamanho entre 0,5 e 1,0mm. Apresentam geminações complexas e outras feições vulcanogênicas originais como zoneamento composicional.

Mostram discreta a moderada alteração a epidoto e sericita preservando, porém, as texturas originais (microporfíricas) ou afíricas. Os fenocristais são microscopicamente indistinguíveis daqueles que constituem os tufo de cristais. Muito

localizadamente foram observados horizontes portadores de fenocristais idiomórficos de oxi-hornblenda em rocha de composição traqui-andesítica.

A **matriz** é constituída por agregados microfelsíticos com micrólitos (0,2mm) de quartzo, feldspato, hornblenda. O carbonato pode ocorrer na matriz na forma de poiquiloblastos englobando as fases félsicas ou em agregados intersticiais.

Alguns desses ejetólitos fusiformes são de natureza juvenil, tendo a mesma composição dacítica-andesítica da matriz, porém com granulação acentuadamente mais fina. Apresentam matriz feltrosa (devitrificada), constituída por agregados de micrólitos (0,2mm) de plagioclásio arranjados de maneira fibrorradiada (esferulitos) ou aleatória. Apresentam evidências de cristalização rápida ("quenching aéreo"), especialmente: a) por agregados de coloração castanha (LN) e hábito esferulítico dos cristalitos e b) por uma penetrativa rede de microfraturas côncavo-convexa (anastomosadas)- fraturas perlíticas.

Material acidental ocorre muito localizadamente (apenas em um afloramento). Trata-se de fragmentos castanho-escuro (LN), constituídos por agregados de baixa resolução microscópica (cristálitos de epidoto), representado devitrificação de vidro básico.

#### *Alterações Hidrotermais*

As principais alterações incluem **sericitização** e a **silicificação-carbonatação**. A sericitização em geral é pervasiva, com supressão (hidrólise) dos feldspatos resultando em produtos finais do tipo quartzo-sericita xistos. Parte do processo ocorre de maneira pré- a sintectônica, com as micas constituindo uma superfície planar mais ou menos regular ( $S_1$ ). Ocorre também na forma de bolsões ou formando bandas de espessura milimétrica, paralelas à  $S_1$ , relacionadas a processos de milonitização superpostos. O grau de alteração é discreto a moderado, raramente chegando a obliterar a paragênese primária.

#### *Litogeoquímica*

Devido à heterogeneidade composicional,

especialmente das variedades de granulometria grossa, procurou-se selecionar amostras da matriz para análise química. Com exceção das amostras SS-145B que são de litoclastos, as demais análises são procedentes da matriz dos aglomerados.

#### *Elementos Maiores e Traços*

A maior parte das amostras é de natureza félsica ( $SiO_2 > 66\%$ ). Apresentam discreto a moderado grau de alteração, representado por valores de PF, à exceção da amostra SS 145B (0,4%). Os valores de  $CO_2$  para algumas amostras são elevados, alcançando o máximo de 3,5% nesta última amostra (tabela 6). São rochas acentuadamente sódicas para seu grau de diferenciação ( $Na_2O/K_2O$ , sempre  $>2$ ) mesmo nas variedades mais silicosas. Apresentam teores altos e variáveis de Sr e forte depleção em Rb (20 a 58 ppm)

Devido à discreta alteração hidrotermal, os diagramas classificatórios tipo TAS (Debon 1989) podem ser apropriadamente empregados (figura 29). A composição preponderante corresponde ao campo 3, dos dacitos. Notar no mesmo diagrama a seta indicando o plote dos dacitos arqueanos tipo F1 de Barberton (Condie 1981), usado como referência.

Em diagramas classificatórios empregando sílica contra razões de elementos imóveis  $Zr/TiO_2$  de Winchester & Floyd (1977) - a composição dacítica é igualmente destacada (figura 30). Nesse diagrama, os dacitos tipo F1 estão representados por um círculo cheio.

#### *Elementos Terras Raras*

O padrão de distribuição (figura 31) caracteriza-se por: i) regularidade e paralelismo das curvas; ii) forte fracionamento; iii) ausência de anomalias significativas de Eu; iv) depleção nos ETRP, com desenvolvimento de "concauidade para cima" em um grupo considerável; v) perfeita correlação com o padrão dos dacitos arqueanos tipo F1 de Barberton (Condie 1981) plotados em conjunto para fins comparativos (e cujo estreito paralelismo das curvas não permite a sua individualização na figura 31).

Os *spidergrams* com normalização dos

## Prancha 10

1 - Fotografia (Afloramento SS63): brecha vulcanogênica grossa com fragmentos angulosos de mesma composição da matriz (metadacítica) Unidade Ribeirão Vermelho.

2 - Fotografia (Afloramento SS63): mesmo afloramento da foto anterior mostrando um horizonte aglomerático rico em ejetólitos fusiformes de mesma composição da matriz dacítica. O caráter fusiforme do ejetólito implica em rápido resfriamento (quenching) sub-aéreo e, conseqüentemente, no caráter piroclástico do material sem retrabalhamento epiclástico. A granulação grossa dos fragmentos sugere tratar-se de depósitos do tipo proximais. Unidade Ribeirão Vermelho.

3 - Fotomicrografia (Amostra SS145) - LP: aglomerado dacítico constituído por abundantes pórfiros de albita exibindo maclas polissintéticas e algumas faces idiomórficas originais (cristaloclastos) em matriz fina a quartzo e albita. O mineral máfico original foi substituído por muscovita em pequenas palhetas (amarelo). Unidade Ribeirão Vermelho.

4 - Fotomicrografia (Amostra SS93A) - LP: metatufo dacítico (tufo a pó) com raros cristaloclastos idiomórficos, bipiramidais, com golfos de corrosão e sem deformação intracristalina, indicando origem vulcanogênica. A matriz é constituída por agregado recristalizado de quartzo e albita. O máfico original acha-se muscovitizado. Unidade Morro Vermelho.

5 - Fotomicrografia (Amostra SS138B) - LP: litoclasto de composição dacítica em aglomerado. A albita ocorre em cristais idiomórficos com geminação e faces ígneas preservadas. Alguns cristais podem exibir forte extinção ondulante (seta). A matriz é quartzo-albítica muito fina. O máfico original acha-se preservado e microscopicamente pode ser caracterizado como oxi-hornblenda (prismas amarelos). Trata-se possivelmente de fragmento de acessório de horizonte extrusivo (lava). Unidade Ribeirão Vermelho.



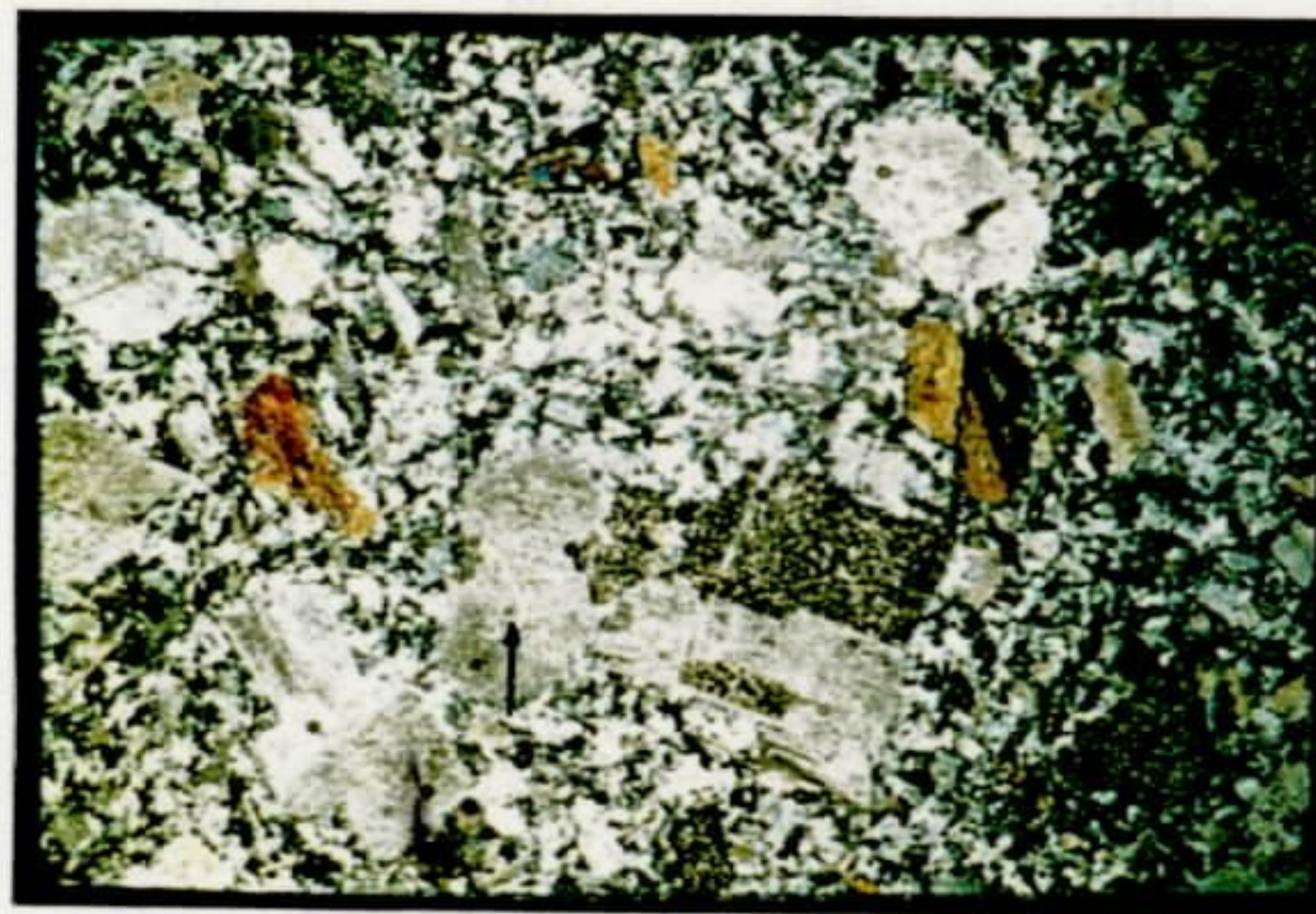
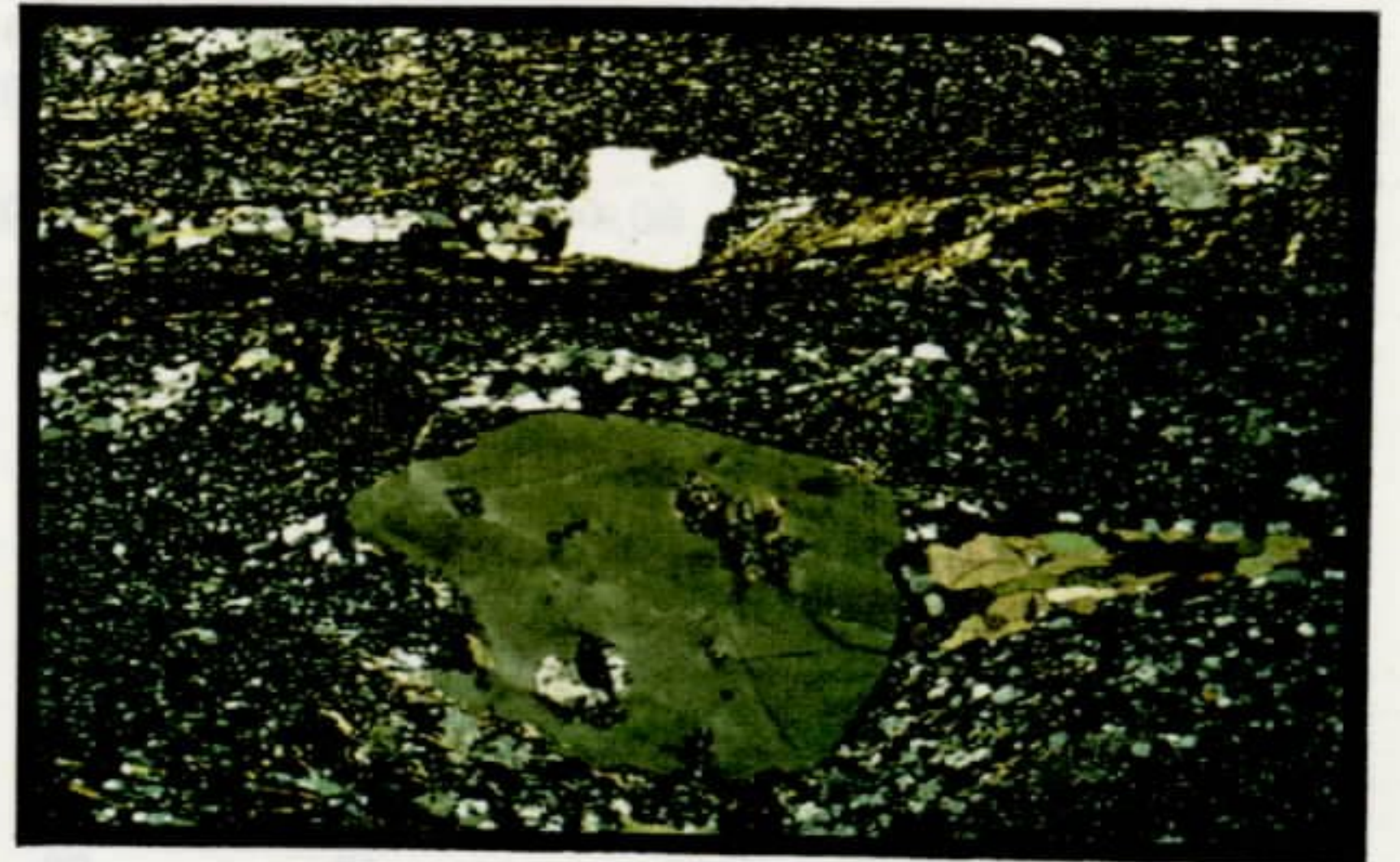
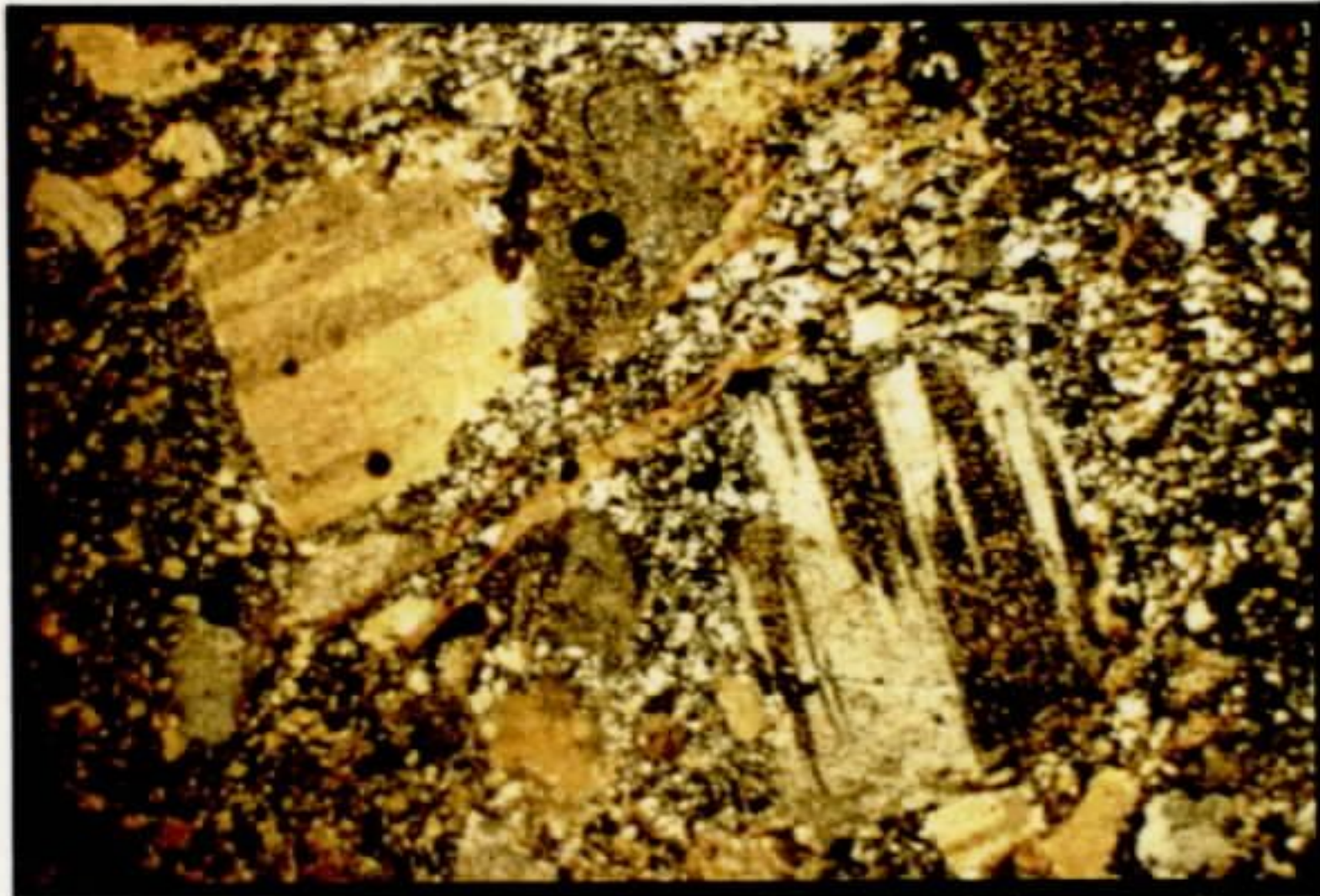


Tabela 6. - Análise química de elementos maiores (%) e elementos traços (ppm) de metavulcânicas félsicas.

Ordem Amostra	1 F1	2 SS142	3 SS145B	4 SS145MT	5 SS157	6 SS163	7 SS93A	8 WL106
SiO <sub>2</sub>	67,10	66,50	68,70	62,20	63,90	66,80	70,80	65,70
TiO <sub>2</sub>	0,28	0,44	0,30	0,54	0,44	0,44	0,23	0,52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,50	15,60	13,00	14,20	13,80	15,90	14,40	15,90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,94	1,60	2,00	1,10	1,70	4,20	2,00	3,40
FeO	1,02	2,00	0,28	3,60	1,40	0,28	0,14	1,30
MnO	0,04	0,08	0,09	0,09	0,07	0,08	0,08	0,08
MgO	1,60	3,00	0,92	3,90	2,20	2,20	0,58	1,40
CaO	3,90	0,79	4,10	3,50	4,00	0,38	2,30	3,80
Na <sub>2</sub> O	5,23	4,40	5,70	4,70	5,10	7,10	4,20	5,00
K <sub>2</sub> O	1,72	2,50	0,63	0,61	1,40	0,41	2,00	1,10
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,10	0,10	0,11	0,08	0,08	0,12	0,08	0,13
Subtotal	98,43	97,01	95,83	94,52	94,09	97,91	96,81	98,33
S	-	0,00	0,17	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00
H <sub>2</sub> O	-	0,08	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03	-
CO <sub>2</sub>	-	0,86	3,50	2,90	4,80	0,08	1,90	0,10
PF	0,65	1,98	0,43	2,36	1,08	1,77	1,17	1,31
Total	99,08	99,85	99,93	99,80	99,99	99,76	99,88	99,74
Mg #	60,44	60,85	44,08	60,23	57,23	49,13	34,76	36,40
Cr	70	81	42	199	63	59	32	71
Ni	15	111	21	100	25	33	10	31
Co	20	45	20	33	27	33	17	28
Sc	-	10	12	18	9	13	8	16
V	35	66	52	107	69	70	23	66
Cu	32	16	59	14	19	17	11	7
Pb	-	34	25	28	25	25	46	41
Zn	70	41	24	86	45	70	54	113
As	-	3	6	14	12	6	1	4
Rb	-	42	22	20	39	21	58	32
Ba	650	360	276	269	362	90	997	653
Sr	500	363	870	561	635	474	444	1675
Ta	-	5	5	5	5	5	5	5
Nb	-	6	5	5	5	5	5	5
Zr	160	140	150	140	160	160	150	230
Y	12	-	15	20	12	12	7	21
Th	-	5	5	5	5	5	5	5
U	-	10	10	10	10	10	10	10
La	14,00	-	16,78	-	11,31	10,74	11,22	11,47
Ce	30,00	-	34,79	-	24,78	28,05	26,13	23,42
Nd	14,00	-	17,44	-	13,00	14,65	12,72	11,00
Sm	2,40	-	2,94	-	2,36	2,39	1,64	1,86
Eu	0,67	-	0,77	-	0,75	0,55	0,45	0,51
Gd	1,70	-	2,66	-	1,93	1,57	0,89	1,32
Dy	0,85	-	1,69	-	1,28	0,96	0,52	1,05
Ho	-	-	0,33	-	0,23	0,17	0,09	0,18
Er	0,38	-	0,85	-	0,48	0,37	0,18	0,41
Yb	0,32	-	0,68	-	0,36	0,32	0,17	0,36
Lu	0,05	-	0,11	-	0,08	0,08	0,04	0,05

- 1 - Dacitos arqueanos tipo F1 de Barberton (Condie, 1981).
- 2 - Muscovita-quartzo-plagioclásio xisto (Un. Ribeirão Vermelho).
- 3 - Metadacito (Un. Ribeirão Vermelho).
- 4 - Plagioclásio-sericita-quartzo xisto (Un. Ribeirão Vermelho).
- 5 - Muscovita-quartzo-plagioclásio xisto (Un. Ribeirão Vermelho).
- 6 - Sericita-quartzo-plagioclásio xisto (Un. Ribeirão Vermelho).
- 7 - Plagioclásio-quartzo-mica xisto (Un. Morro Vermelho).
- 8 - Epidoto-mica-quartzo-plagioclásio xisto (Un. Mestre Caetano).

elementos compatíveis e incompatíveis relativamente aos valores do MORB mostram uma excelente homogeneidade de distribuição de todo o grupo e a boa correlação com o padrão do F1 de Barberton (indistinguível na escala da figura) - figura 32. O diagrama mostra fortes anomalias negativas de elementos compatíveis, especialmente o Ti e os ETRP (além do Zr em menor grau), características de vulcanismo calcialcalino dos arcos modernos (Wilson 1989). Entretanto, o nível de distribuição de K e Rb são superiores ao dos arcos modernos, fato que pode ser interpretado com enriquecimento pós-magmático da tefra nesses dois elementos, apesar da relativa imobilidade dos ETR.

**Petrogênese**

A assinatura geoquímica fortemente empobrecida em elementos incompatíveis (elementos litófilos de raio iônico grande - LILEs), especialmente K, Rb e ETRL, associada ao forte fracionamento dos ETR (altas razões  $La_N/Lu_N$ ), e, a ausência de anomalia de Eu, corresponde às características do magmatismo do tipo TTG (e.g. Barker

1979; Park & Tarney 1987). Ou seja, as manifestações vulcânicas félsicas do cinturão seriam co-genéticas e co-magmáticas com os domos intrusivos TTGs que cortam o GBRV. *Greenbelt Rio de Janeiro, Paraíba*  
A estreita correlação com a assinatura os dacitos tipo F1 de Barberton (Condie 1981) - equivalentes extrusivos dos domos TTGs daquele cinturão - aponta também na mesma direção.

A forte depleção nos níveis totais de ETR associada à "concavidade para cima" dos ETRP são indicativos (como no caso dos TTGs, cf Taylor & McLeman 1985) de magma evoluído a partir de fonte sub-crustal, a partir da fusão parcial de crosta toleítica, tendo hornblenda e, especialmente, granada, como importantes fases residuais (e.g. Barker 1979; Park & Tarney 1987).

O paralelismo e o grau de fracionamento semelhante sugerem: uniformidade da fonte; natureza co-genética e, quem sabe, co-magmática para todas as amostras analisadas. Indica também a relativa imobilidade dos ETR durante os processos de litificação,

*Fonte  
Jornal  
Lithophrase  
Gleason*

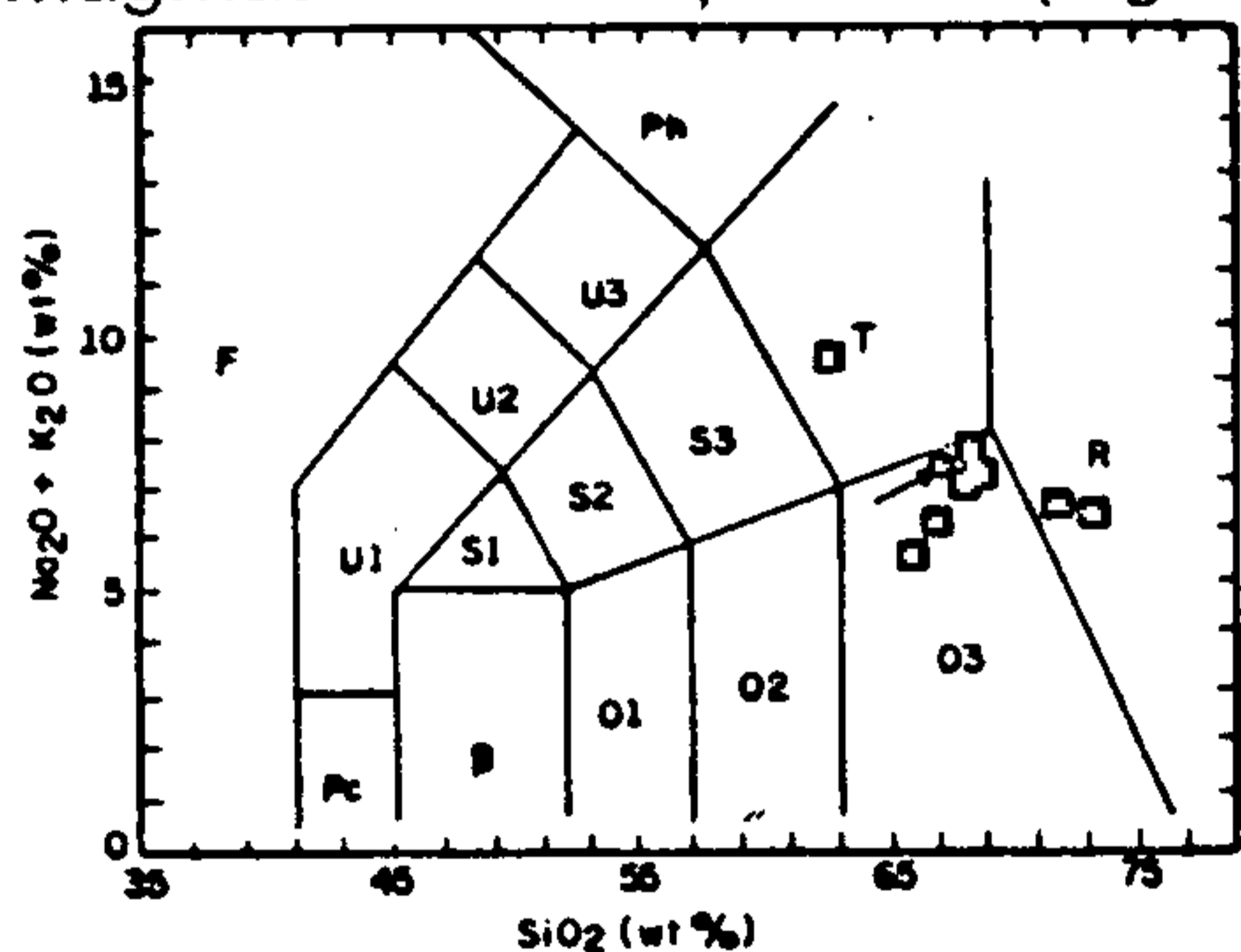


Figura 29: Diagrama "TAS" (Le Maitre 1989) para as metavulcanoclásticas félsicas. Notar: 1) A distribuição majoritária no campo 03 dos dacitos; 2) A ausência de termos intermediários (andesitos); 3) A boa correlação com os dacitos tipo "F1" (círculo) de Barberton (Condie 1981).

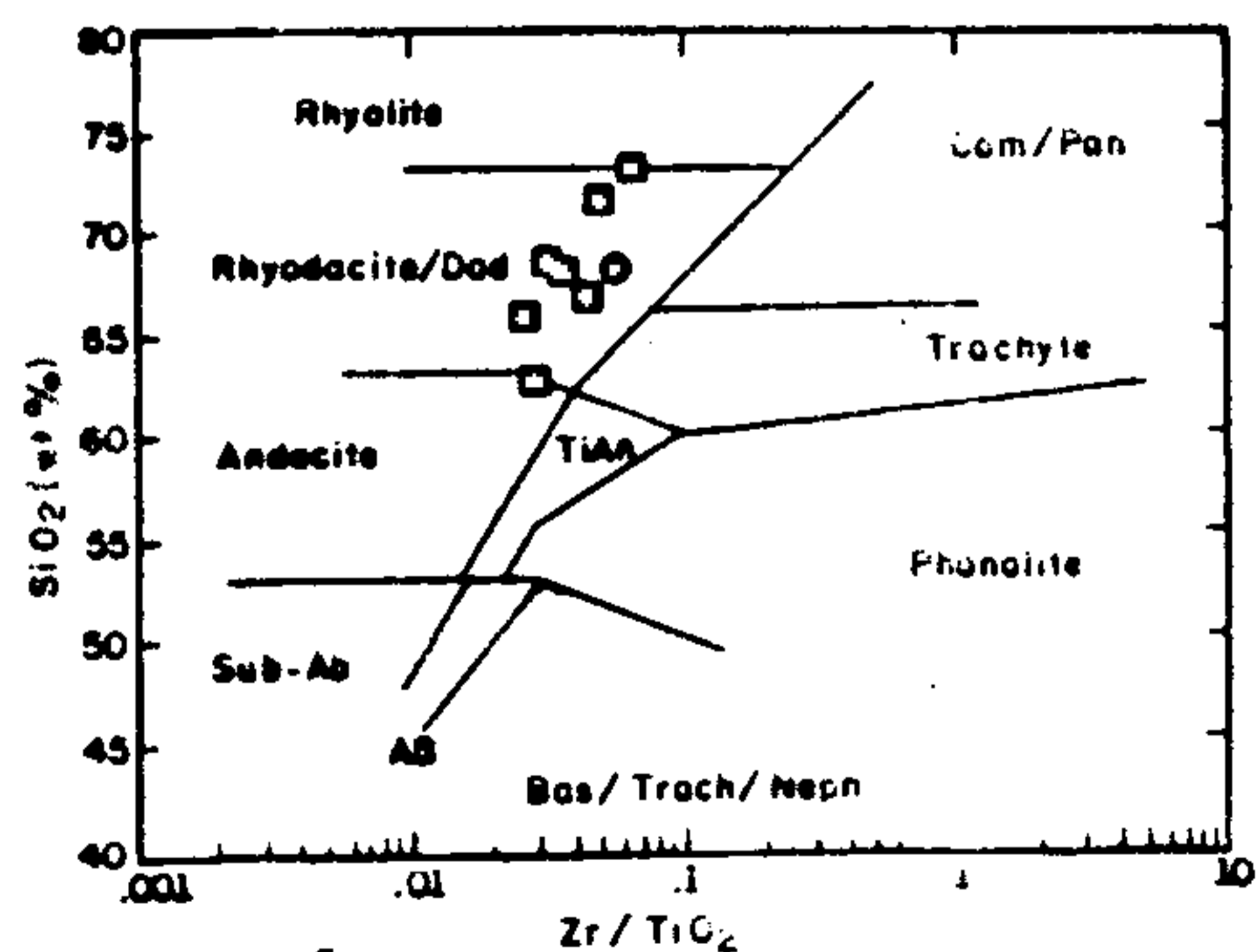


Figura 30: Diagrama  $SiO_2 \times Zr/TiO_2$  de Winchester & Floyd (1977) aplicado às rochas metavulcanoclásticas félsicas, destacando-se a composição dacítica. Círculo = dacitos tipo "F1" de Barberton (Condie 1981)

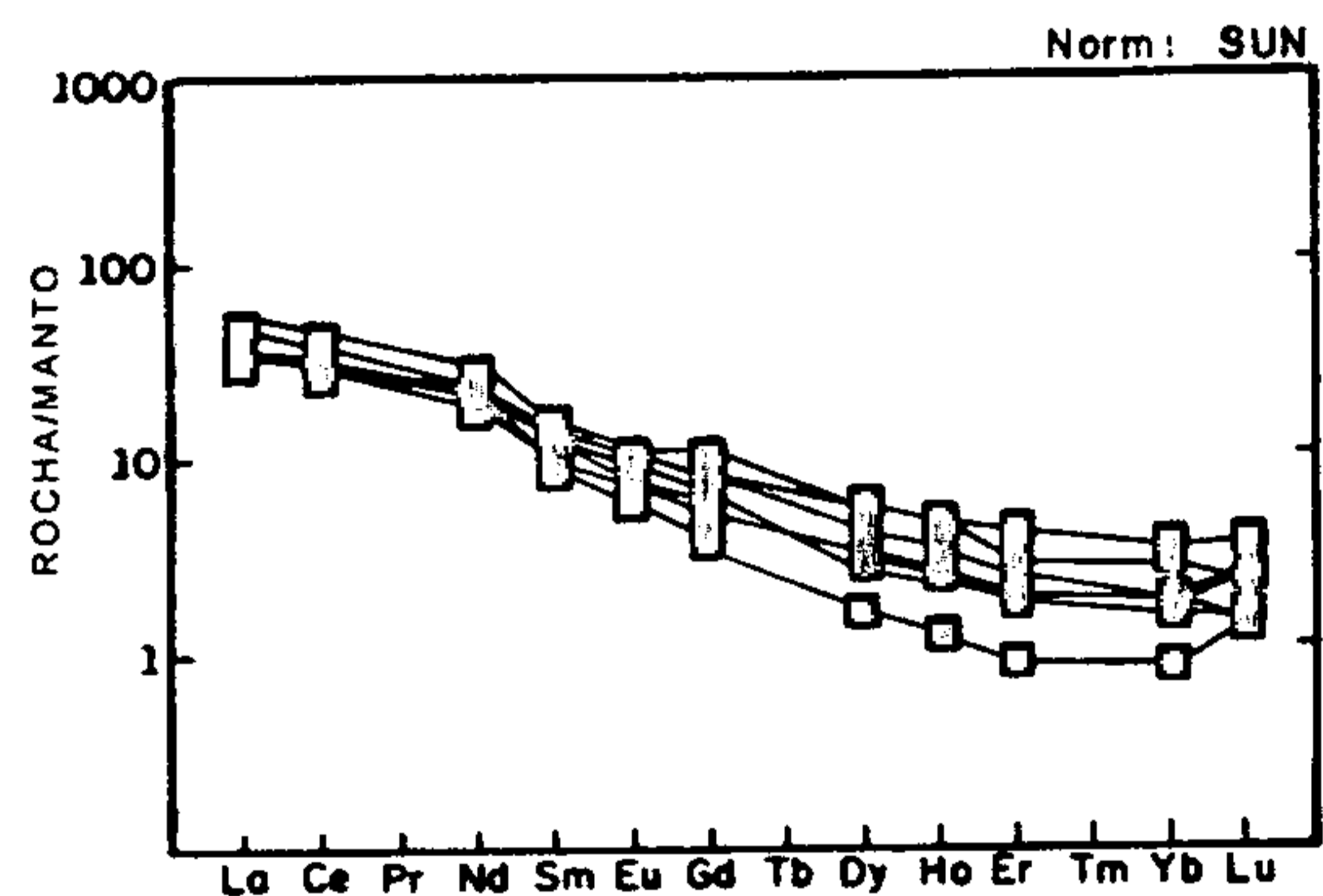


Figura 31: Distribuição dos ETR normalizados a manto primitivo (Sun 1982) para as metavulcanoclásticas félsicas, que se superpõem ao padrão dos dacitos "F1" de Barberton (Condie 1981). Notar a ausência de anomalias de Eu e a forte depleção nos ETRP.

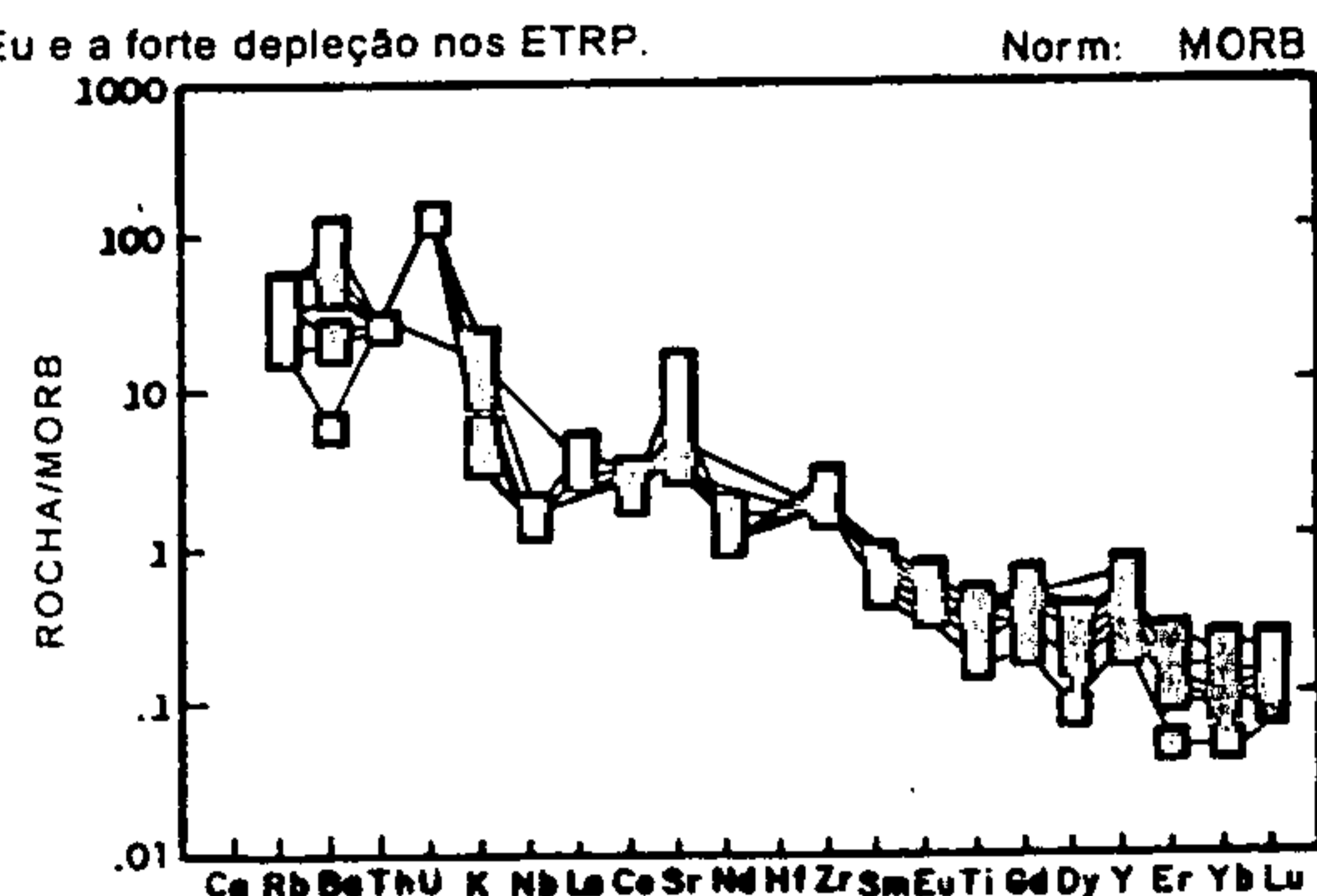


Figura 32: Spidergrams de rochas metavulcanoclásticas félsicas com normalização dos elementos compatíveis e incompatíveis em relação ao MORB. O padrão dos dacitos arqueanos tipo "F1" de Barberton se confunde com os destas rochas.

metamorfismo e alteração subseqüentes; ausência de contaminação terrígena importante (sin-a pós-deposicional) da tefra.

A preservação desse espectro empobrecido em ETRP é também indicativo da ausência de contaminação da tefra por sedimentação pelítico-aluminosa (granatífera).

Em outras palavras, a fonte do vulcanismo calcialcalino do cinturão (*back-arc*) deve ser a mesma do magmatismo gerador de prováveis tonalíticos do tipo TTG, os quais devem representar as raízes do vulcanismo gerado durante o período de encurtamento sin-colisional e representam remanescentes de um provável ambiente tipo arco, ou *back-arc* como é mais comumente aceito para a evolução desse tipo de magmatismo no arqueano.

## **METASSEDIMENTOS CLÁSTICOS (GRAUVACAS, ARENITOS E PELITOS)**

### **METARENITOS E METAGRAUVACAS**

#### *Introdução*

A discriminação microscópica entre arenitos "limpos" e *wackes/greywackes* segue de uma maneira geral os parâmetros clássicos de Pettijohn (1976): 1) limite de 15% de matriz (ou suposta) matriz pelítica, relativamente ao arcabouço, separando o campo das grauvacas e dos arenitos (limpos); 2) granulometria (pré-metamorfismo) da matriz, inferior a 0,03mm. Algumas amostras portadoras de pequenas proporções de arcabouço, constituídas praticamente de pura matriz, representando uma transição pelito/grauvaca foram tratadas quimicamente como grauvacas (SS91B). Entretanto, aqui - como na maior parte dos trabalhos referentes a associações metamorfizadas pré-cambrianas -, tanto as grauvacas quartzosas (*wacke*) quanto as grauvacas "normais" foram genericamente designados de "grauvacas".

O uso desta classificação para seqüências psamíticas deformadas e metamorfizadas deve ser visto com cautela, pois o *overprint* metamórfico-deformacional oblitera feições indicativas da origem pré-metamórfica e pré-diagenética da suposta matriz. A determinação da natureza clástica, sin-deposicional; diagenética (pseudo-matriz), ou mesmo poligenética (que constitui-se em objeto

principal do estudo de seqüências não metamorfizadas - e.g. Pettijohn 1976) perde o sentido quando enfoca-se metarenitos. Os processos de recristalização metamórficas dificultam o reconhecimento do que poderia ter sido a natureza da fração pelítica. Assim, toda a mineralogia pelítico-aluminosa: biotita, muscovita, clorita, granada, etc. é tomada em sua totalidade como derivada da suposta matriz clástica e, portanto, sempre que suas proporções volumétricas estimadas, excedem 15%, a rocha passa a ser tratada como grauvaca. É óbvio que essa sistemática tende a superestimar as proporções relativas de grauvacas relativamente aos arenitos. Trata-se de um erro sistemático e insolúvel nessa escala de trabalho porém de menor influência nas interpretações litigeoquímicas.

Outra peculiaridade que tende a elevar as proporções originais de matriz/clastos em psamitos metamorfizados relaciona-se à subgranulação milonítica e recuperação (*recovery*) dos clastos, formando uma falsa matriz em arenitos não grauvaqueanos ou aumentando a razão matriz/arcabouço em grauvacas (P12/2). Estes problemas, no entanto, são na maioria das vezes detectáveis e corrigíveis em nível de seção delgada.

A classificação dos subtipos baseada nas proporções volumétricas dos componentes QFR do arcabouço segue as sistemáticas de Crook (1974) e Taylor & McLennan (1985). Ou seja: todos os grãos poliminerálicos incluindo cherte e quartzo-arenitos são contados como fragmento de rocha (R) e todo o quartzo policristalino ou monocristalino, excluindo cherte e quartzo-arenitos, são contados como Q.

#### *Petrografia*

Grauvacas *feldspáticas* e *quartzwackes* compõem o mais importante registro sedimentar no Grupo Nova Lima (grauvacas líticas ocorrem muito raramente e não foram analisadas quimicamente). Em nível regional constituem uma clássica associação "grauvaca-siltito-argilito" que, em zonas de baixo *strain*, exibem estruturas sedimentares características de deposição em sistemas marinho turbidítico: *graded bedding*, estratificação cruzada, contato brusco dos

*couplet* grauvasca-argilito. Em geral apresentam granulação fina (submilimétrica), e muito localizadamente conglomeráticas. Intercalações de xistos calcissilicáticos (metamargas), ocorrem com freqüência. Pela diminuição da razão arcabouço/matriz, as rochas grauvascas gradam a pelitos grauvascaenos (arcabouço entre 25 e 1%) e, finalmente, a pelitos "limpos". Podem constituir depósitos de espessuras consideráveis (métricas a decamétricas).

Esses depósitos epiclásticos gradam lateral e verticalmente a seqüências piroclásticas e vulcanoclásticas, sendo muitas vezes a distinção entre ambos extremamente difícil, tanto em nível de afloramento, quanto ao microscópico. Por isso podem ser designadas de "grauvascas vulcanogênicas", designação empregada para as grauvascas de *greenstone belts* de outros continentes (e.g. Ojakangas 1985)

Fora do sistema turbidítico, em associação com depósitos químico-exalativos, ocorrem também pelitos carbonosos, química e mineralogicamente similares.

O **arcabouço** é constituído por clastos de quartzo (Q), plagioclásio (F) e muito raramente, nas variedades mais grossas, litoclastos (L) principalmente de vulcânicas félsicas. A matriz (granulação < 0,03mm) ocorre em todas as proporções, porém em média situa-se entre 20 e 60 % (P11/1, P11/2). Há variedades subordinadas, pobres em matriz, que gradam para arenitos feldspáticos de difícil distinção dos sedimentos tufáceos. Nesse casos, possivelmente, representam misturas de sedimentos epiclásticos e piroclásticos (tufitos) - P11/2. A granulação do arcabouço é variável, porém quase sempre milimétrica (média entre 0,2 e 0,5mm).

Quartzo nas variedades menos deformadas, exibe características de procedência vulcanogênica: ausência de extinção ondulante, golfos de corrosão e formas bipiramidais (F). Feições diagenéticas são raramente observadas como crescimento autigênico na periferia de clastos arredondados (f) xenomórficos, desprovido de geminação (F) ou, mais raramente, idiomórfica, exibindo geminações magmáticas relativamente bem

preservadas (F). Nesses casos, é possível que parte do material seja de origem vulcanoclástica direta (tufitos) -P9/2. Raramente foram observados no arcabouço clastos remanescentes de muscovita detritica, em geral mostrando formas "enrugadas" (P11/4).

Nas variedades quartzosas, mesmo na ausência de feldspato a derivação vulcanogênica pode ser deduzida microscopicamente pelo hábito bipiramidal do quartzo que ocorre em grãos totalmente destituídos de deformações intracristalinas e com frequentes golfos de corrosão (P11/3 e P11/4).

A **matriz** pelítica varia em granulação entre silte e argila. A fração siltosa é constituída por quartzo, feldspato e carbonato, formando agregados granobásticos e granoblásticos-alongados, inequigranulares, com distintas percentagens de filossilicatos (clorita, sericita, biotita). A disposição iso-orientada das palhetas micáceas caracteriza uma discreta a moderada foliação ( $S_n$ ), paralela ao *layering* ( $S_0 = S_1$ ). Com o aumento da percentagem de filossilicatos a matriz adquire estrutura filítica. Material carbonoso, disseminado ou concentrado, ocorre com freqüência. Magnetita, ilmentita, turmalina e opacos são acessórios comuns.

**Relações Entre Formação Mineral e Metamorfismo** - Em sua maior extensão a seqüência pelito-grauvascaena registra uma história deformacional simples e recristalização sob condições da fácies xistos-verdes. A foliação regional  $S_1$  é paralela ao *layering* ( $S_0 = S_1$ ) e é caracterizada pela recristalização iso-orientada (metamorfismo sin-cinemático) ( $D_1 / MS_1$ ): **quartzo + albita + sericita + biotita + clorita (+/-carbonato)**. Trata-se de condições da fácies xisto verde-média, zona da biotita. Clivagens de crenulação ( $S_2$ ) mais ou menos penetrativas ocorrem em charneiras de dobras  $D_2$ , porém esta fase não foi acompanhada de recristalização.

As maiores complexidades são observadas em amostras fortemente cisalhadas. Essas são reconhecidas pela lenticularização, subgranulação periférica, recuperação (*recovery*), ou desenvolvimento de *ribbons* de quartzo (tipo B2 de Boulier & Bouchez 1984). Nesse caso é comum, o anastomosamento

### Prancha 11

1 (Amostra SS46A) LP: metagrauvaca feldspática (vulcanogênica). Matriz a quartzo, feldspato e albita, rara sericita. O arcabouço inclui quartzo e plagioclásio. O primeiro (QZ) exibe eventualmente hábito vulcânico, golfos de corrosão além de ausência de deformações internas (seta). O plagioclásio (AB) é a albita e apresenta cristais idiomórficos vulcanogênicos com geminação complexa (seta). Unidade Córrego do Sítio.

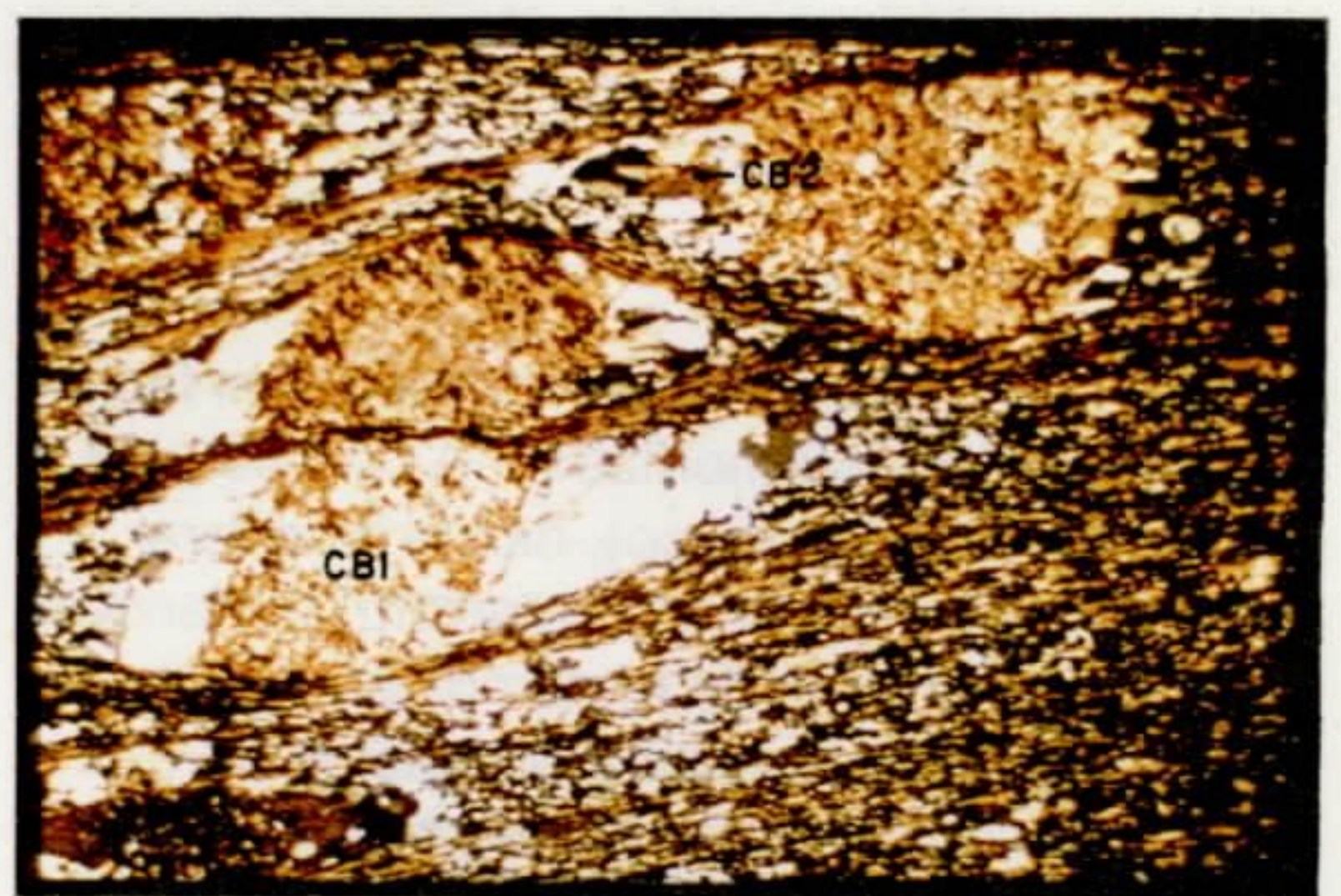
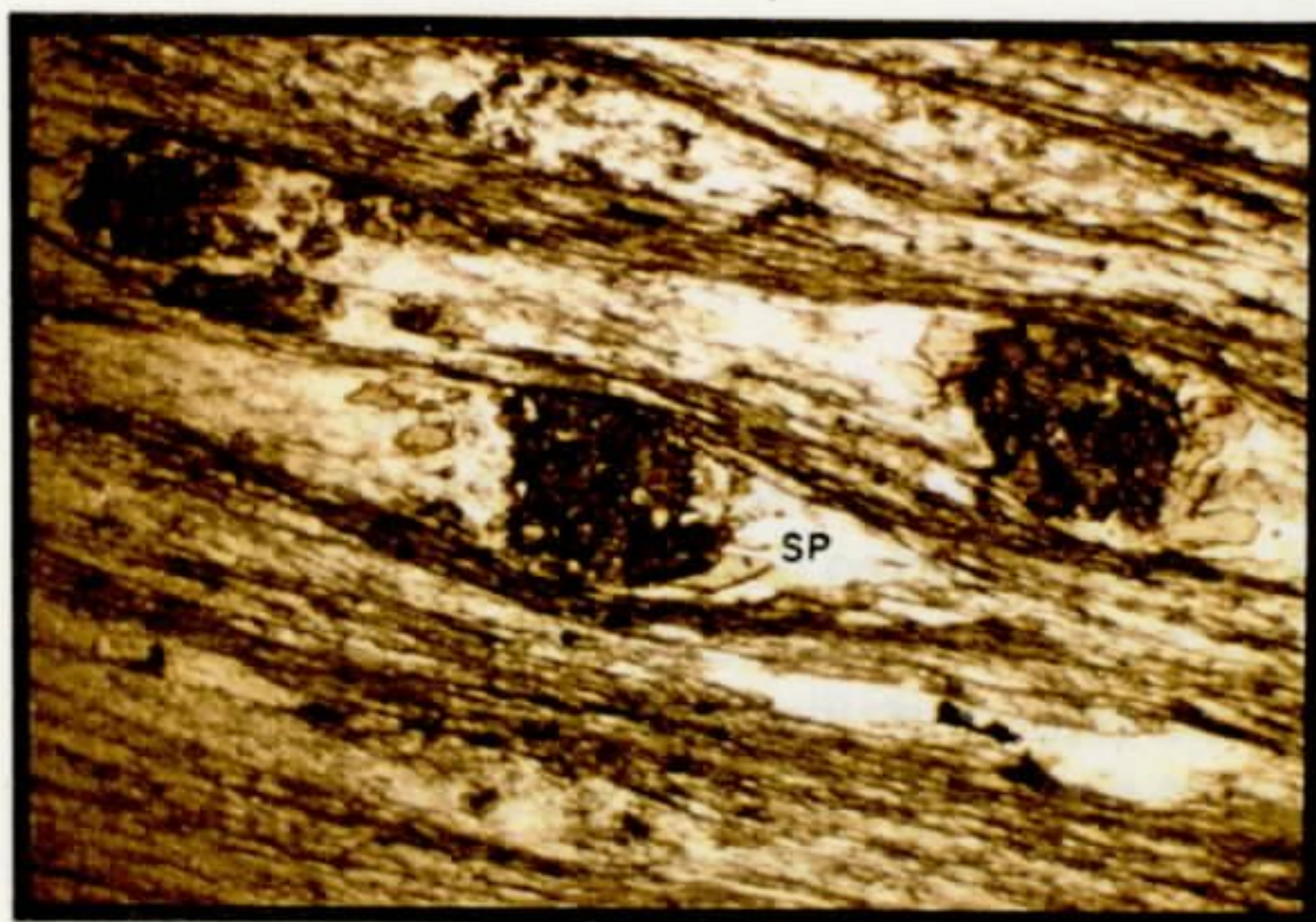
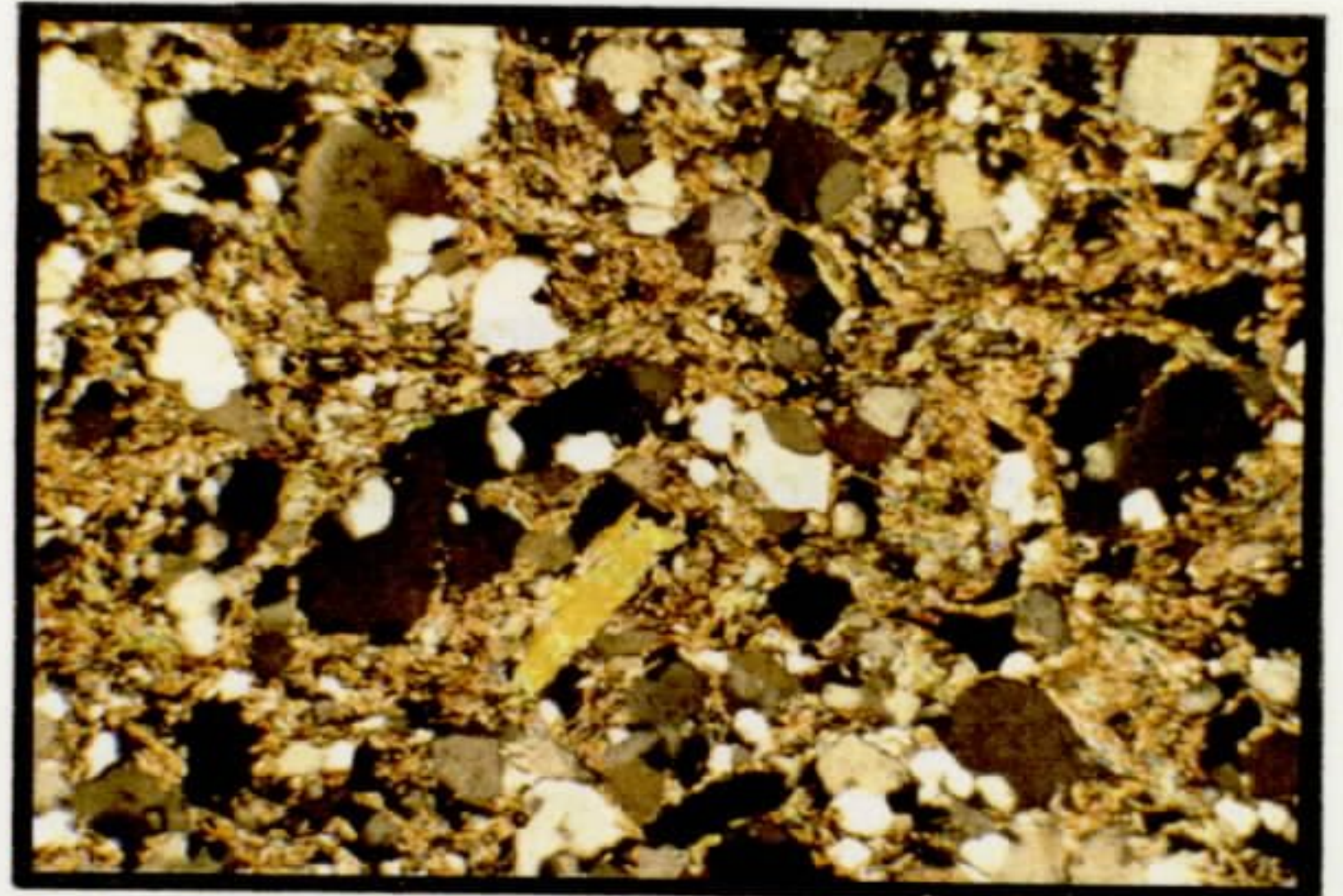
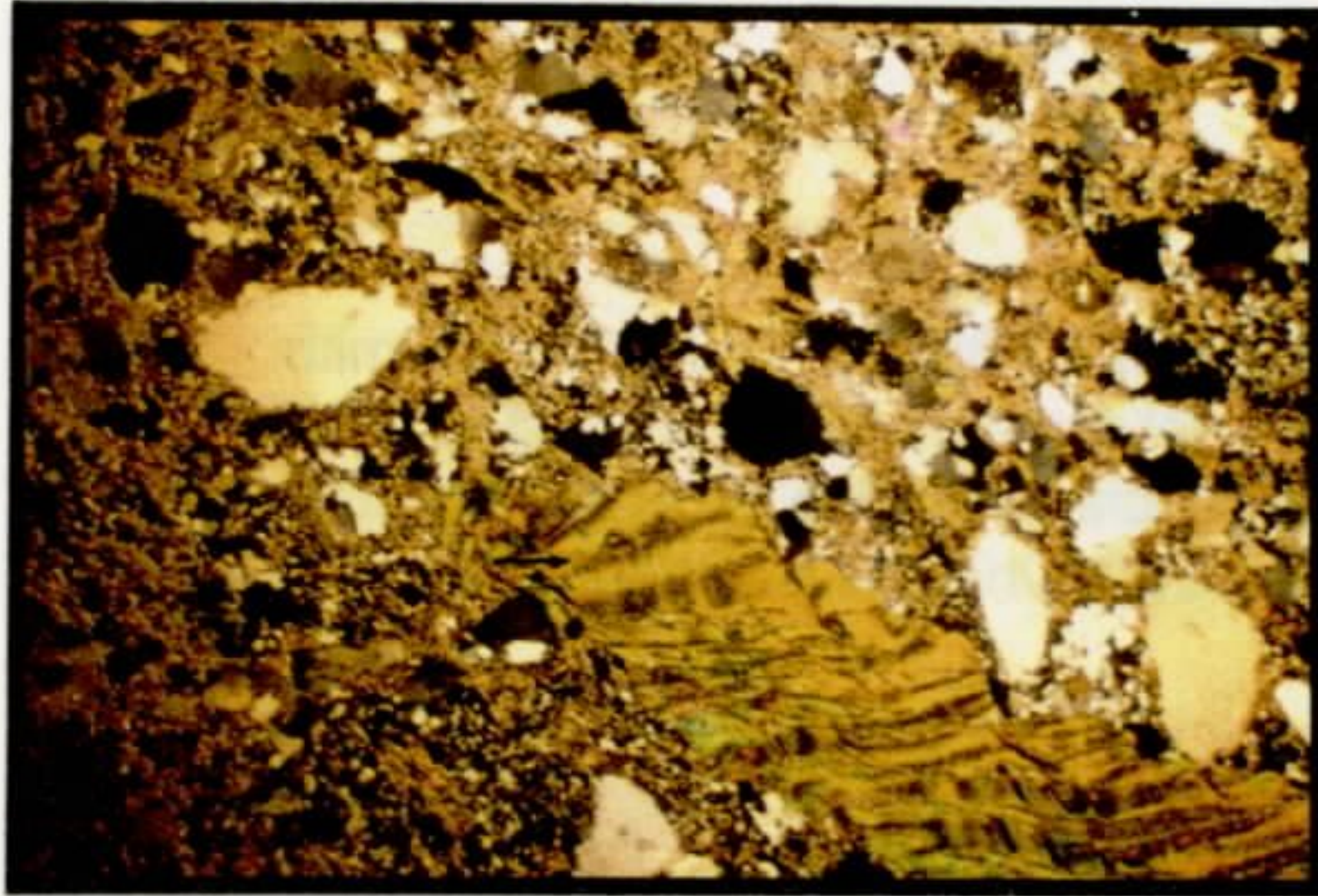
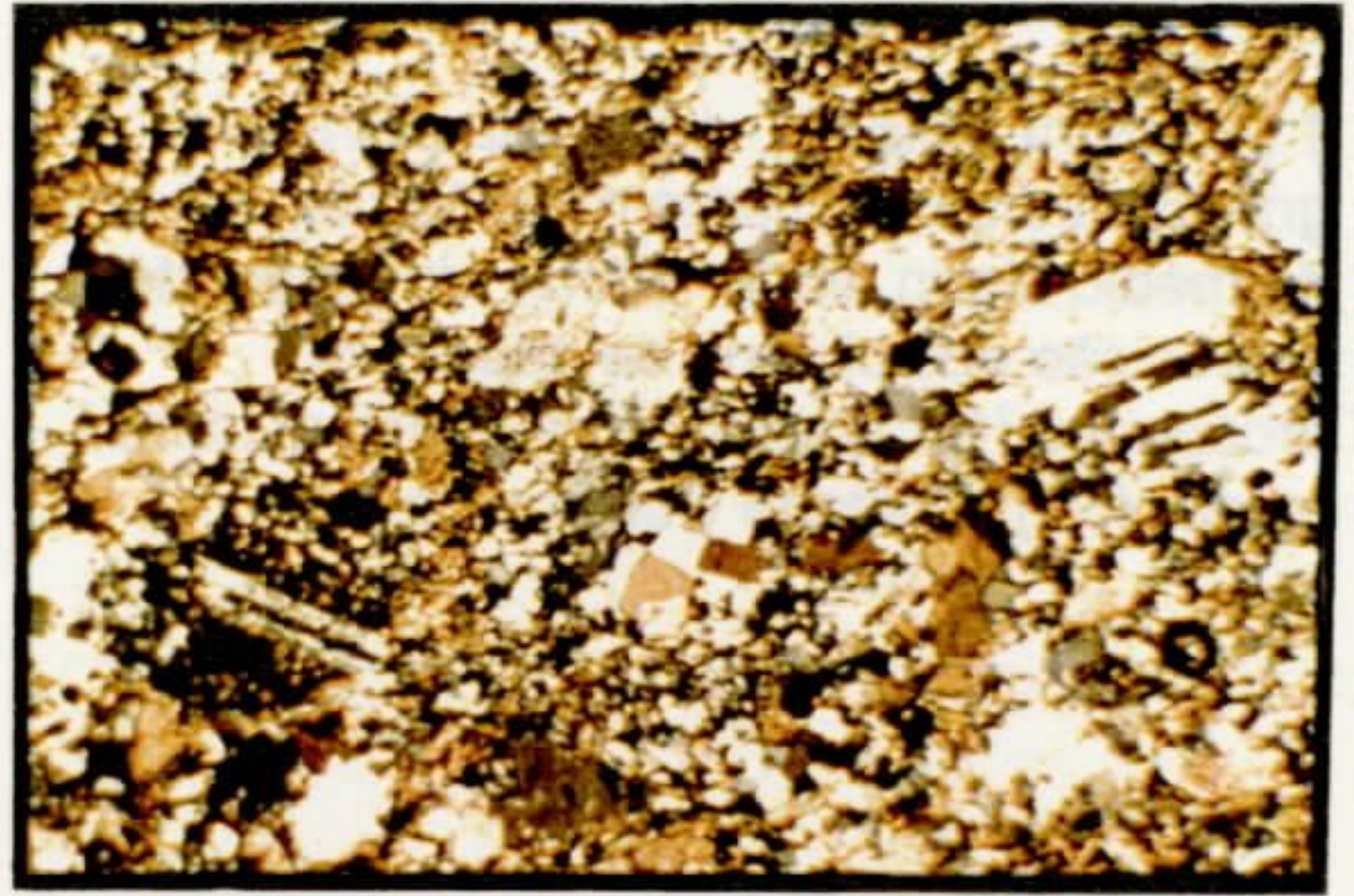
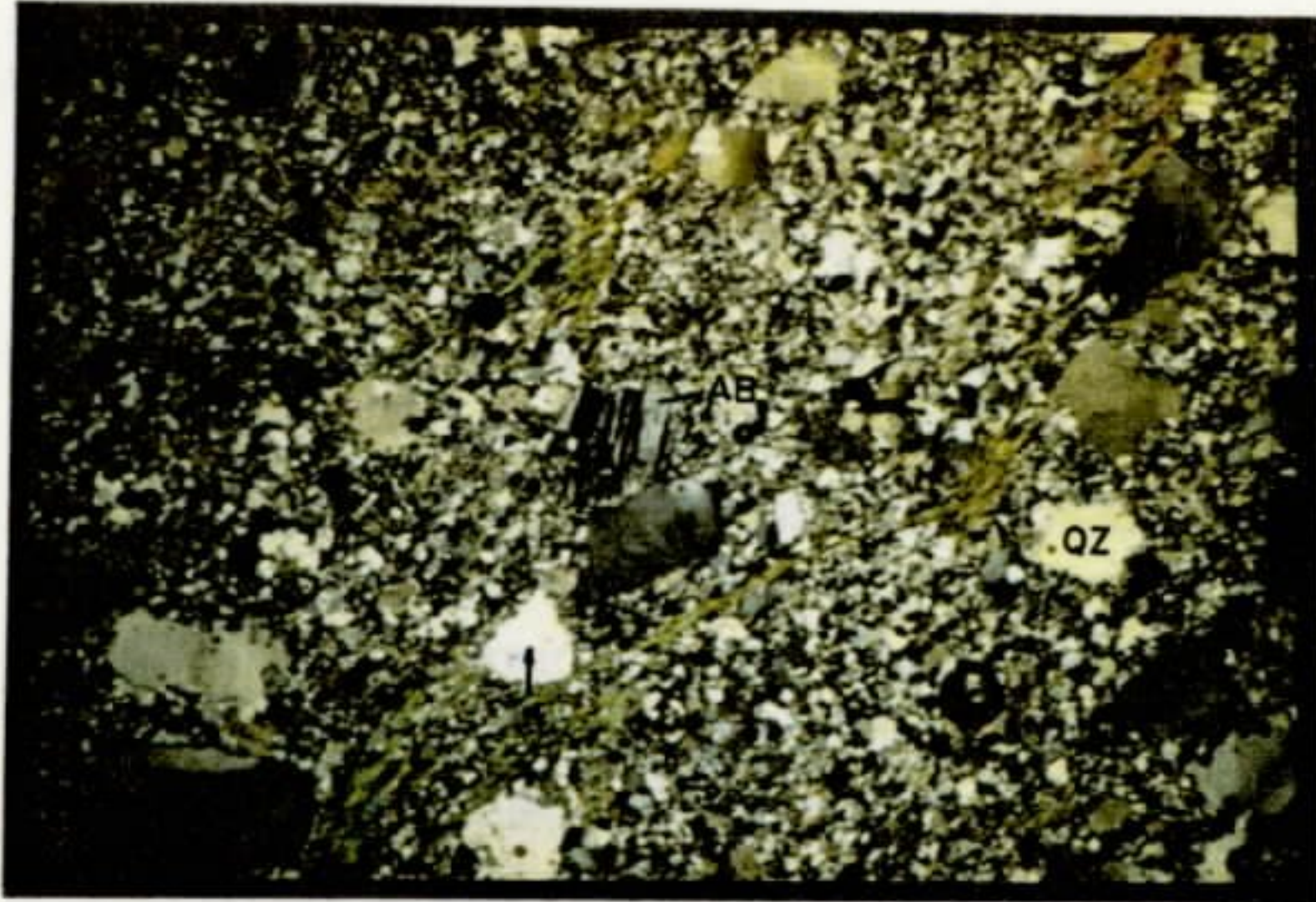
2 (Amostra SS07A) -LP: variedade de metagrauvaca vulcanogênica similar à amostra anterior, porém com maior razão arcabouço/matriz. A maior percentagem de cristaloclastos de plagioclásio vulcanogênico preservado sugere alguma contribuição piroclástica direta (tufitos). Unidade Córrego do Sítio.

3 (Amostra WL256) - LP: metaquartzo grauvaca (vulcanogênica). Arcabouço rico em quartzo bipiramidal, sem deformação interna (vulcanogênico). O grande blasto contorcido de muscovita (seta), possivelmente é de natureza clástica. Matriz a quartzo-sericita  
Unidade Andaime.

4 (Amostra NS206A) - LP: metaquartzo grauvaca similar à anterior (WL256). Unidade Andaime.

5 (Amostra NS171) - LN: metapelito carbonoso (quartzo-sericita xisto) com carbonatação pré-metamórfica. Porfiroblastos de carbonato marrom, deformados pela foliação regional S1 (pré-metamórficos) com desenvolvimento de sombras de pressão (SP). Unidade Córrego do Sítio.

6 LP: detalhe da amostra anterior, mostrando em destaque o caráter pré-metamórfico do carbonato na sombra de pressão (CB1) e a segunda fase de carbonatação representado pelo carbonato recristalizado na SP (CB2).



## Prancha 12

1 (Amostra RM610) - LP: metaquartzo grauvasca discretamente milonitizada, em zona de médio strain. Notar o forte alongamento e disposição dos clastos de quartzo do arcabouço (QZ1) segundo a principal trama planar (Sn). Unidade Córrego do Sítio.

2 (Amostra WL255) - LP: metaquartzo grauvasca milonitizada, em zona de alto strain, com foliação S-C paralelizada. Notar a cominuição periférica do porfiroclasto de quartzo do arcabouço (QZ1) com recristalização de fina geração nas bordas e sombras de pressão (QZ2), modificando as razões arcabouço/matriz original (pseudomatriz tectônica). Exemplo em estágio mais avançado de milonitização comparativamente ao da amostra anterior (RM610). Unidade Andaime.

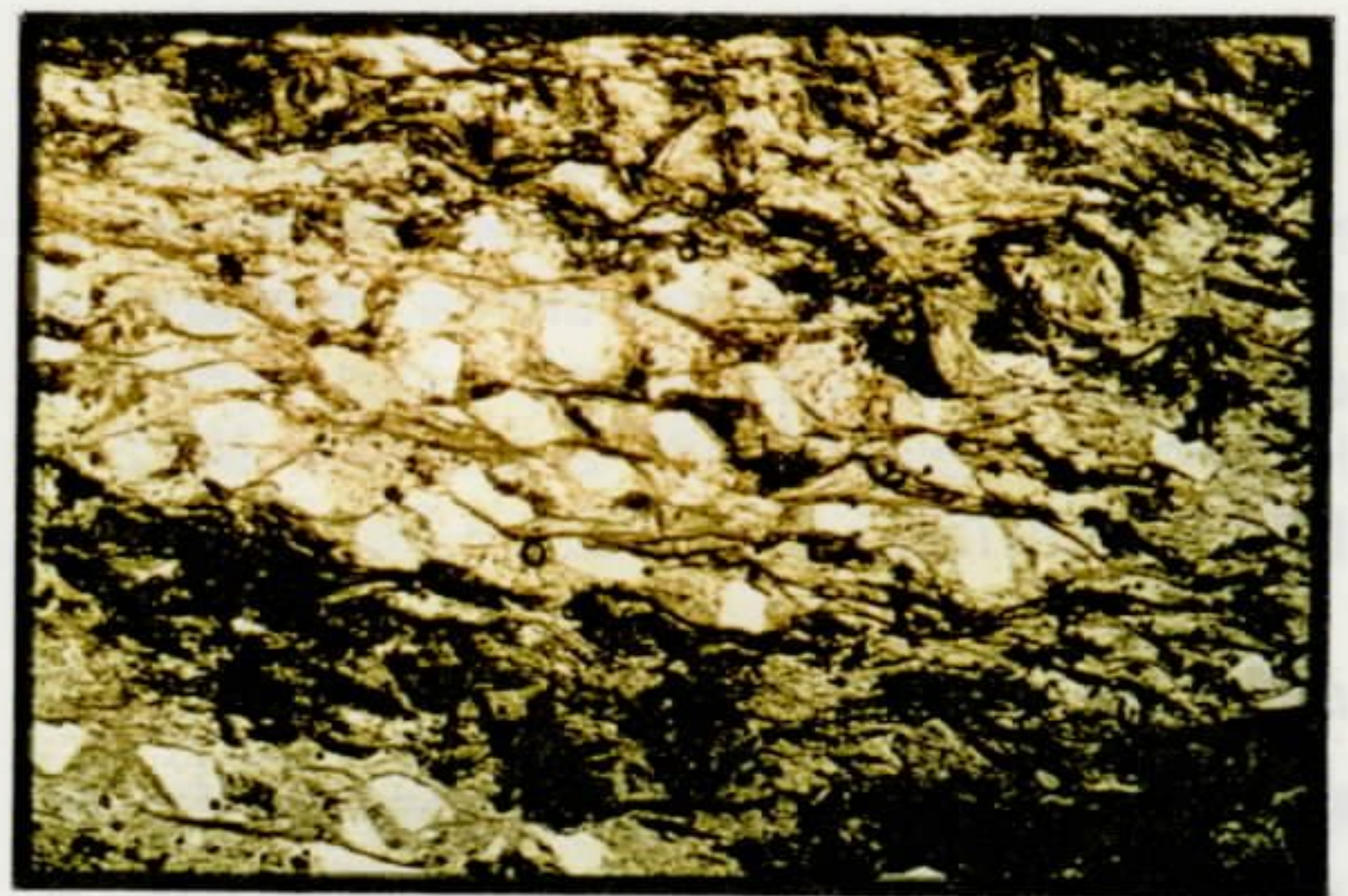
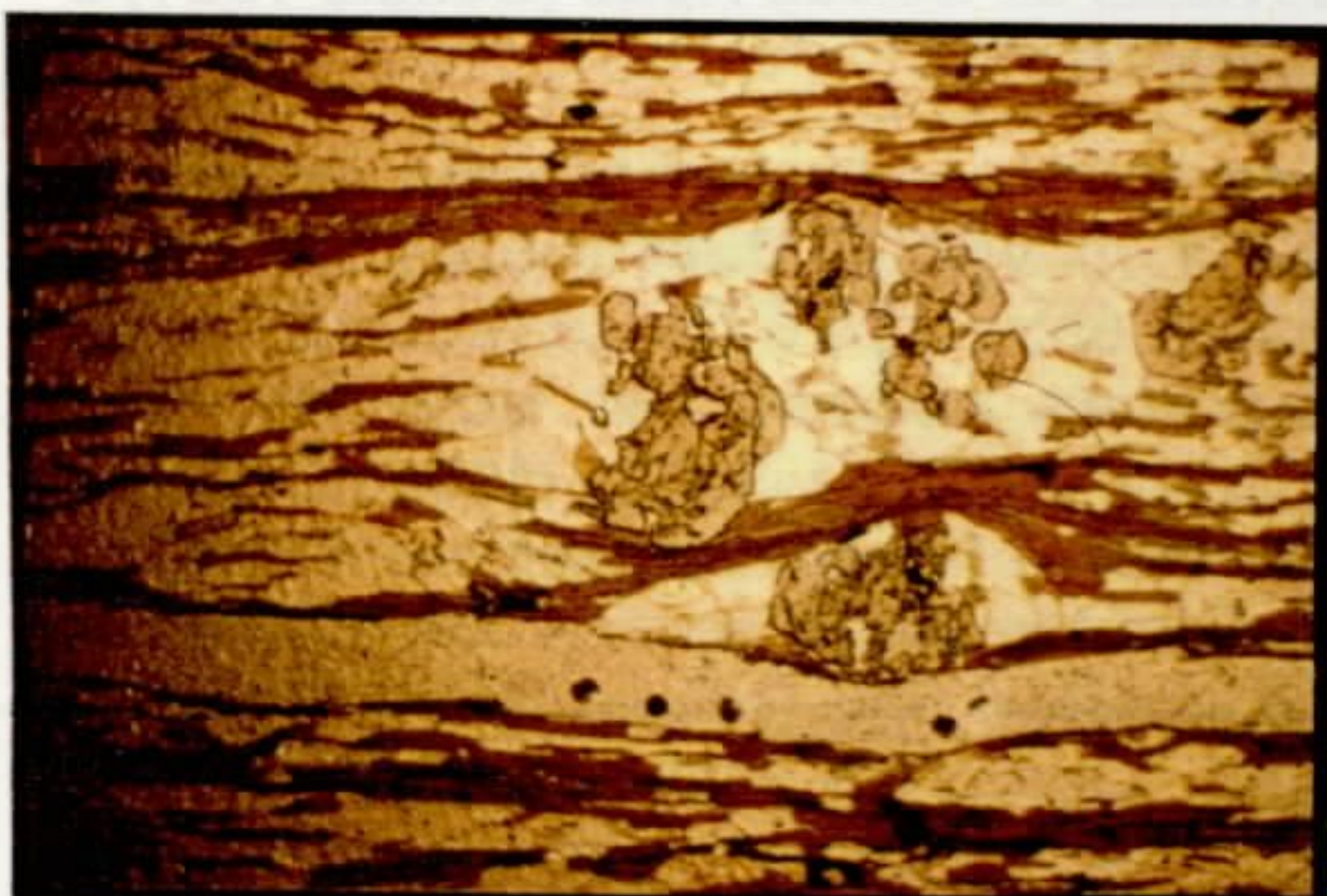
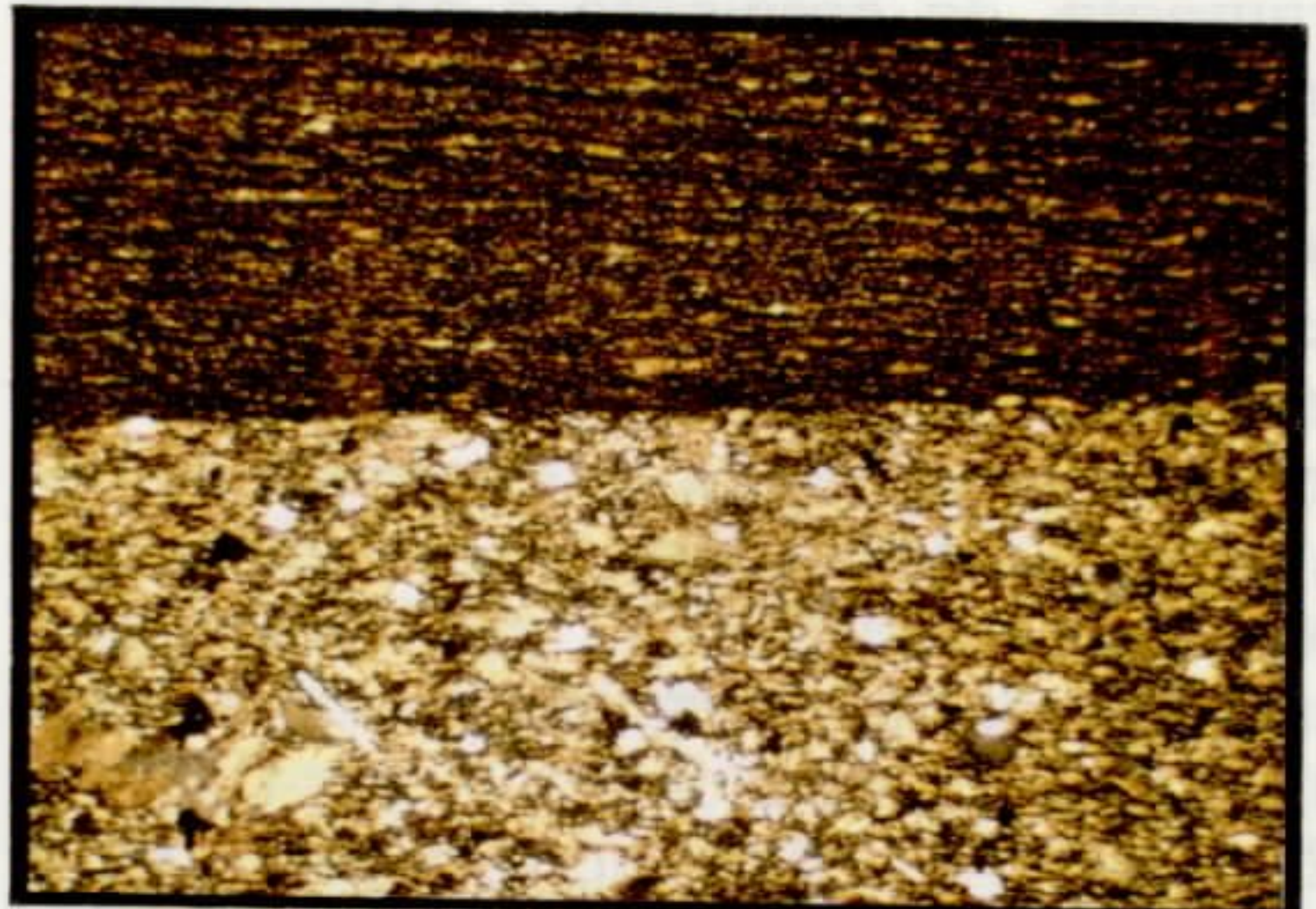
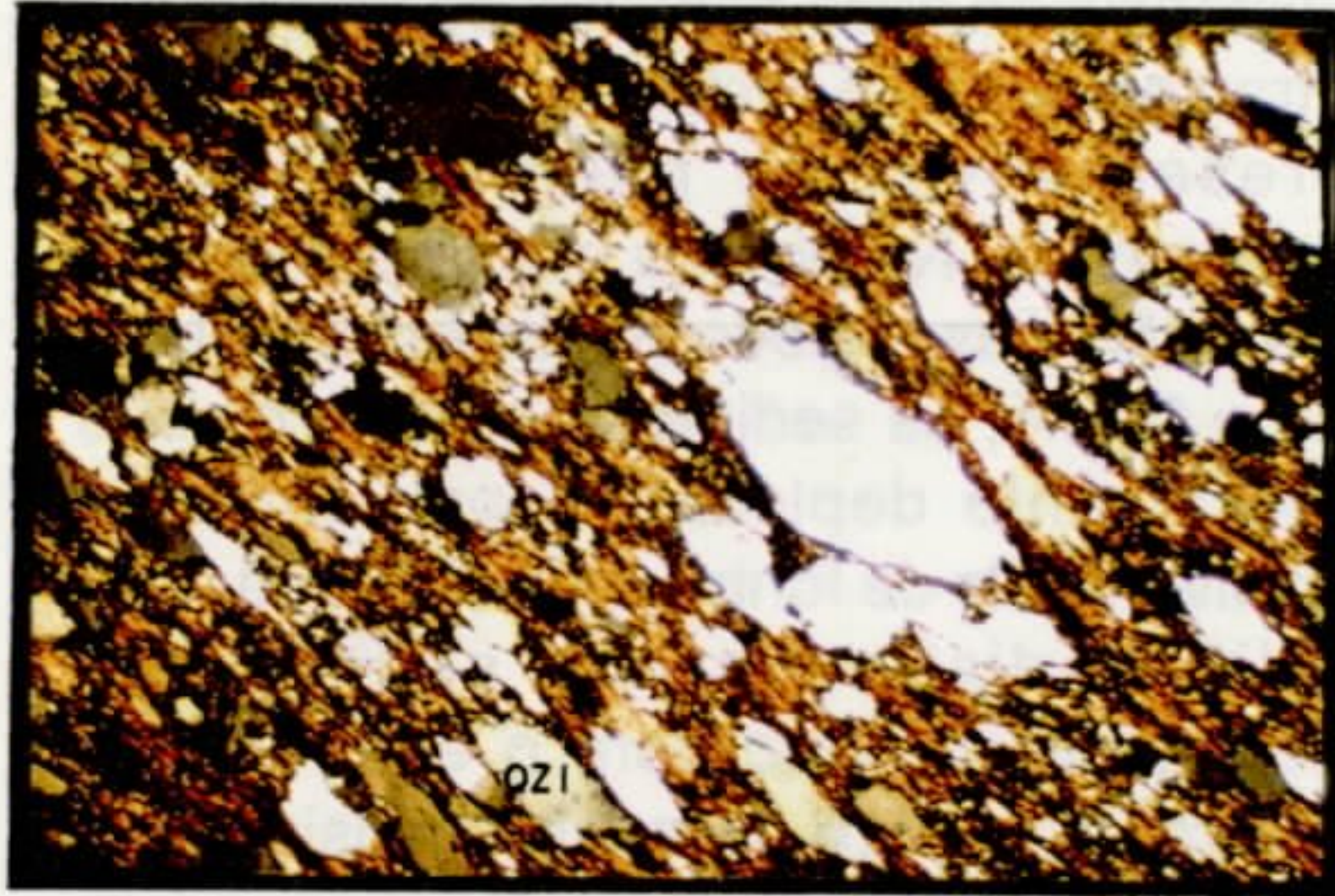
3 (Amostra RM629I) - LP: microrritmito (couplet metagrauvasca/argilito) em seqüência turbidítica distal. Notar a granulação muito fina do arcabouço da grauvasca Unidade Córrego do Sítio.

4 (Amostra RM629P) -LP: microrritmito (couplet metagrauvasca/argilito) na mesma seqüência turbidítica da amostra anterior (RM629I). Unidade Córrego do Sítio.

5 (Amostra HR406) - LN: metapelito em fácies anfibolito retrometamorfizado. A paragénese principal quartzo (branco), biotita titanífera (avermelhada) e granada (marrom) pertencem a uma fase anterior de metamorfismo (M1). A principal foliação contorna os blastos de granada gerando sombras de pressão (S2), reorienta as palhetas de biotita titanífera que está parcialmente recristalizada à muscovita (M2). Unidade Catarina Mendes.

6 (Amostra JS214) - LN: metarenito ortoquartzítico com alguma matriz sericítica. Os grão de quartzo do arcabouço (cinza claro) mostram discreta lenticularização. As bandas ortoquartzíticas são separadas por bandas ricas em cloritóide (cinza escuro) isorientados relativamente à trama principal (S1). Unidade Rio de Pedras.





de foliações (milonito S-C tipo II de Lister & Snoke 1984), com cominuição parcial do arcabouço. Como consequência ocorre uma sensível diminuição da razão arcabouço/matriz, dando origem a uma **pseudo matriz tectônica** (P12/1 e P12/2). Em casos de recristalização sob condições extremas de re-hidratação da pilha supracrustal, esses processos geram ultramilonitos (filonitos), fazendo com que as grauvas sejam tomadas por filitos (F).

Em áreas localizadas, especialmente nas proximidades do Domo de Bação, a história é mais complexa. A foliação dominante é uma  $S_2$ , caracterizada pelo alinhamento de grandes palhetas de biotita titanífera, em geral retrometamorfizadas (cloritizadas). A foliação pretérita ocorre apenas como feições reliquias (Si) englobadas pelos poiquiloblastos de granada, biotita titanífera e, mais raramente, de cordierita e estaurolita. A biotita titanífera e a granada podem ocorrer como blastos precoces (atualmente, porfiroclastos) contornados pela foliação de mica, desenvolvendo sombras de pressão assimétricas (P12/5). Por consequência, a recristalização desta paragênese foi de natureza intercinemática, indicando acentuada elevação do gradiente termal (reativação do domo granítico?) em ambiente distensivo ou de baixo *strain*: pós-D1, pré-D2, cujas relações podem ser assim resumidas: **MP1 = granada + biotita titanífera + estaurolita + cordierita**.

Ainda sob altas temperaturas porém sob regime compressivo, ocorreu a (re) cristalização dessa paragênese segundo a foliação dominante ( $S_2$ ):  **$D_2 MS_2 = granada + biotita + estaurolita + cordierita + cianita + quartzo$** .

Finalmente, sob condições de baixas temperaturas, ocorreu o retrometamorfismo da biotita, substituída pela clorita, da granada pela clorita e óxidos de ferro e dos minerais aluminosos pela sericita e quartzo: **MP2 = clorita + sericita + quartzo + hematita**.

#### *Litogeoquímica*

#### **Metassedimentos Depletados (de fonte vulcanogênica). Elementos Maiores e Traços**

Embora do ponto de vista petrográfico e sedimentológico os arenitos/grauvas e

pelitos não exibam mais que sutis variações, a assinatura geoquímica aqui obtida mostrou a existência de duas populações fortemente contrastantes, com distintas proveniências, representativas de paleoambientes incompatíveis. Na porção mais setentrional do cinturão, nas regiões de Rio Acima, Nova Lima e Caeté, os sedimentos clásticos são quimicamente depletados, provenientes exclusivamente de fonte vulcanogênica. São de difícil distinção dos sedimentos piroclásticos, mesmo com o emprego de terras raras e, com os quais, transicionam em todas as escalas (tufitos). Correspondem às grauvas depletadas de Barberton (tipo Fig Tree/Formação Belvue Road - Condie 1981). No segmento meridional, proximidades do Complexo de Bação, na região de São Bartolomeu, onde atingem a fácies anfíbolito e na região do Córrego do Sitio, são sedimentos quimicamente mais maduros, denunciando, além de fonte vulcanogênica, presença de fonte granítica continental.

#### *Alteração hidrotermal*

Alteração hidrotermal pré-metamorfismo pode ser importante, especialmente a carbonatação (P8/6) onde porfiroclasto lenticularizado de carbonato CB1 é deformado pela foliação  $S_1$ , com recristalização de carbonato pós-D1 (CB2) nas sombras de pressão.

A tabela 7 corresponde às grauvas (e arenitos) enquanto o pelitos constam da tabela 8. Em ambas estão listados para efeito de comparação valores representativos de grauvas de Belvue Road (Condie 1981) e o padrão NASC.

As primeiras com apenas uma excessão (tabela 7) apresentam teores de sílica variando entre 52 e 63%, correspondendo às grauvas **pobres em quartzo**, dos modernos arcos de ilha na classificação de Crook (1974). Nessa mesma classificação se enquadra também a análise das grauvas de Barberton tipo Belvue Road (67% de sílica). Como as grauvas dos arcos modernos, apresentam também altas razões  $Na_2O/K_2O (>1)$  - ver Taylor e McLennan (1985). Outra característica compatível com a de grauva de arco é o caráter depletado em Rb, no caso variando entre 26 e 81 ppm, correspondendo a uma derivação direta da

Tabela 7 - Análise química de elementos maiores (%) e elementos traços (ppm) de metagrauvas e metarenitos, (fonte vulcanogênica; depletados).

Ordem Amostra	1 SS91B	2 NS171	3 HR168	4 MP37A	5 MP37B	6 BELV
SiO <sub>2</sub>	73,30	52,40	62,70	60,90	63,00	67,50
TiO <sub>2</sub>	0,23	1,00	0,53	0,59	0,56	0,42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,30	12,90	10,90	13,10	12,40	11,80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,20	7,30	5,20	3,40	4,30	-
FeO	0,57	6,80	4,70	7,50	5,50	4,72
MnO	0,06	0,29	0,15	0,16	0,16	0,14
MgO	2,20	4,80	4,70	4,90	4,40	4,90
CaO	0,12	2,70	2,10	0,70	0,99	5,54
Na <sub>2</sub> O	0,20	1,00	1,70	2,40	2,40	2,75
K <sub>2</sub> O	4,40	0,69	0,90	1,10	1,00	2,20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	0,11	0,08	0,08	0,07	-
Subtotal	97,63	89,99	93,66	94,83	94,78	99,97
S	0,00	0,02	0,01	0,17	0,17	-
H <sub>2</sub> O	0,03	0,05	0,02	-	-	-
CO <sub>2</sub>	0,08	7,00	2,60	1,60	1,90	-
PF	2,08	3,16	3,64	3,40	3,19	-
Total	99,79	100,17	99,91	100,00	100,04	99,97
Mg #	70,38	39,02	47,17	45,26	45,56	64,91
Cr	31	380	901	729	644	-
Ni	22	157	265	210	196	234
Co	19	73	72	65	60	-
Sc	10	38	27	25	24	10
V	27	275	153	170	150	-
Cu	9	74	61	51	44	-
Pb	32	39	42	35	34	-
Zn	25	169	166	137	127	-
As	1	2	6	21	26	-
Rb	135	26	35	36	36	81
Ba	835	132	293	318	277	489
Sr	31	179	96	51	69	318
Ta	5	5	5	5	5	-
Nb	5	5	6	5	5	-
Zr	140	110	120	130	130	153
Y	9	22	15	21	17	-
Th	5	5	5	5	5	-
U	10	10	10	10	10	-
La	13,99	11,17	20,18	17,42	15,73	22,00
Ce	29,38	25,79	41,21	36,74	32,31	45,00
Nd	14,39	10,28	16,91	16,24	14,34	17,20
Sm	2,19	2,55	2,65	2,80	2,53	3,10
Eu	0,59	0,62	0,66	0,65	0,57	0,80
Gd	1,51	1,86	1,61	1,76	1,48	2,60
Dy	1,24	1,24	1,52	1,52	1,41	2,30
Ho	0,25	0,25	0,29	0,28	0,26	0,49
Er	0,64	0,66	0,68	0,63	0,63	0,93
Yb	0,57	0,70	0,90	0,90	0,84	1,27
Lu	0,09	0,15	0,13	0,15	0,14	0,19

- 1 - Mica-quartzo xisto (Un. Ouro Fino).  
 2 - Carbonato-clorita-quartzo xisto (Un. Córrego do Sítio).  
 3 - Clorita-quartzo-plagioclásio xisto (Un. Córrego do Sítio).  
 4 - Clorita-plagioclásio-quartzo xisto (Un. Mestre Caetano).  
 5 - Clorita-plagioclásio-quartzo xisto (Un. Mestre Caetano).  
 6 - Grauvas de Belvue Road, Barberton (Condie, 1981).

Tabela 8 - Análise química de elementos maiores (%) e elementos traços (ppm) de metapelitos, (fonte vulcanogênica; depletados)..

Ordem Amostra	1 SS93B	2 RM157B	3 RM39	4 NASC	5 BELV
SiO <sub>2</sub>	59,40	-	75,70	-	67,50
TiO <sub>2</sub>	0,76	-	0,29	-	0,42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,20	-	9,20	-	11,80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,50	-	1,90	-	-
FeO	2,40	-	2,60	-	4,72
MnO	0,09	-	0,10	-	0,14
MgO	4,50	-	2,10	-	4,90
CaO	0,06	-	1,20	-	5,54
Na <sub>2</sub> O	0,28	-	1,50	-	2,75
K <sub>2</sub> O	3,70	-	1,90	-	2,20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,08	-	0,05	-	-
Subtotal	94,97	-	96,54	-	99,97
S	0,00	0,00	0,13	-	-
H <sub>2</sub> O	0,11	-	-	-	-
CO <sub>2</sub>	0,17	-	2,30	-	-
PF	4,81	-	1,08	-	-
Total	99,95	-	100,05	-	99,97
Mg #	52,18	-	46,48	0,00	64,91
Cr	518	282	344	-	-
Ni	189	43	79	-	234
Co	51	41	35	-	-
Sc	30	21	12	-	10
V	229	194	83	-	-
Cu	45	11	46	-	-
Pb	37	42	23	-	-
Zn	173	17	140	-	-
As	14	45	32	-	-
Rb	130	255	53	-	81
Ba	641	315	499	-	489
Sr	38	47	123	-	318
Ta	5	5	5	-	-
Nb	6	18	5	-	-
Zr	130	292	107	-	153
Y	28	69	19	-	-
Th	5	37	5	-	-
U	10	10	10	-	-
La	-	30,18	20,35	32,00	22,00
Ce	-	71,18	39,92	73,00	45,00
Pr	-	-	-	7,90	-
Nd	-	28,44	14,05	33,00	17,20
Sm	-	6,01	2,74	5,70	3,10
Eu	-	1,01	0,65	1,24	0,80
Gd	-	2,95	1,87	5,20	2,60
Tb	-	-	-	0,85	-
Dy	-	1,38	1,24	5,80	2,30
Ho	-	0,24	0,23	1,04	0,49
Er	-	0,56	0,50	3,40	0,93
Tm	-	-	-	0,50	-
Yb	-	0,46	0,46	3,10	1,27
Lu	-	0,07	0,07	0,48	0,19

1 - Quartzo-clorita xisto (Un. Morro Vermelho).

2 - Filito carbonoso (Un. Morro Vermelho).

3 - Mica-quartzo xisto (Un. Morro Vermelho).

4 -NASC-North American Shale Composite (Haskin *et al.*, 1968).

5 - Grauvacas de Belvue Road, Barbeton (Condie, 1981).

fonte vulcanogênica igualmente depletada, sem alterações anisoquímicas pós-deposicionais. O  $\text{Al}_2\text{O}_3$  varia entre 11 e 13%, dentro da faixa esperada para esse tipo de ambiente (Belvue Road empregada como padrão mostra teor de 11.80%). Uma única análise (SS91B) é proveniente de grauvaça **intermediária em quartzo** equivalente às modernas areias de ambientes transicionais arco/continente, na classificação de Crook (1974). Trata-se de rocha extremamente silicosa ( $\text{SiO}_2 = 73.3\%$ ) que sofreu mudanças anisoquímicas, pós-deposicionais, especialmente silicificação na forma de microvenulações de quartzo. Além disto, diferentemente das demais, é rica em potássio ( $\text{K}_2\text{O} = 4.4\%$ ) e em Rb (135 ppm). Com raros grãos no arcabouço, representando uma transição para a seqüência pelítica. Trata-se rocha rica em material carbonoso, quartzo e sericita, razão pela qual apresenta os altos conteúdos em K e alto Rb. Apresenta também um  $\text{Mg}\#$  alto (70,38) comparativamente ao restante do grupo 39,02 a 45,56).

Os pelitos (tabela 8) apresentam sílica variando de 59,4 a 75%. Uma das amostras apresenta extrema concentração de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (18%), acompanhada de igual acréscimo de potássio. Trata-se de sedimento profundamente modificado por processos pós-deposicionais ou derivado de fonte quimicamente distinta (hiperaluminosa).

Essa diferença fica bem evidenciada no diagrama  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  de Taylor & McLennan (1985) da figura 33. Nele os pelitos (quadrados) posicionam-se acima da linha  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 1$ . Uma delas (SS93B), e a amostra SS91B anteriormente mencionada ocupam uma posição totalmente afastada do grupo principal sugerindo fortes transformações pós-deposicionais. As demais (círculos), inclusive a de Barberton (asterisco), deposicionais ocupam campo das grauvacas arqueanas de Taylor & McLennan (1985).

Os ETR (figuras 34 e 35), ao contrário dos elementos maiores, mostram uma boa homogeneidade e ausência de transformações pós-deposicionais. Da mesma forma que os dacitos precursores, apresentam o mesmo padrão depletado nos níveis totais de ETR, a forte depleção nos ETRP e ausência de anomalias de Eu. Além de corresponderem ao padrão das fontes mostram perfeita correlação com o padrão das grauvacas de Belvue Road, mostrada em asteriscos. Relativamente às grauvacas, os pelitos - que tiveram toda a sua assinatura de elementos maiores alterada - mostram surpreendente comportamento conservador, sendo igualmente indistinguíveis tanto das grauvacas da área quanto das de Barberton (asterisco) - figura 35.

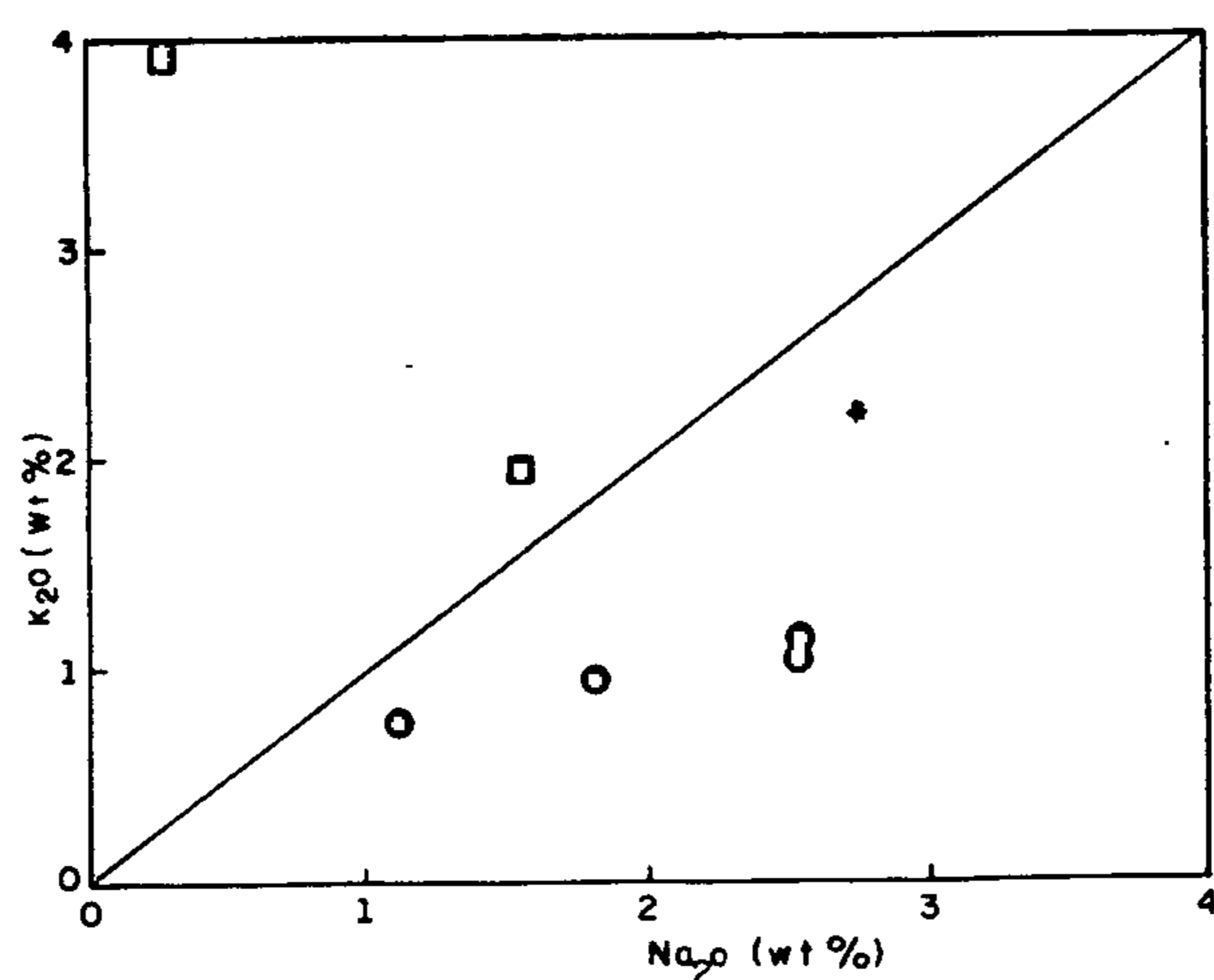


Figura 33: Diagrama  $\text{K}_2\text{O} \times \text{Na}_2\text{O}$  de Taylor & McLennan (1985) aplicado aos metassedimentos depletados, discriminando os pelitos (quadrados) que sofreram transformações pós-deposicionais, as demais ocupando o campo das grauvacas arqueanas.

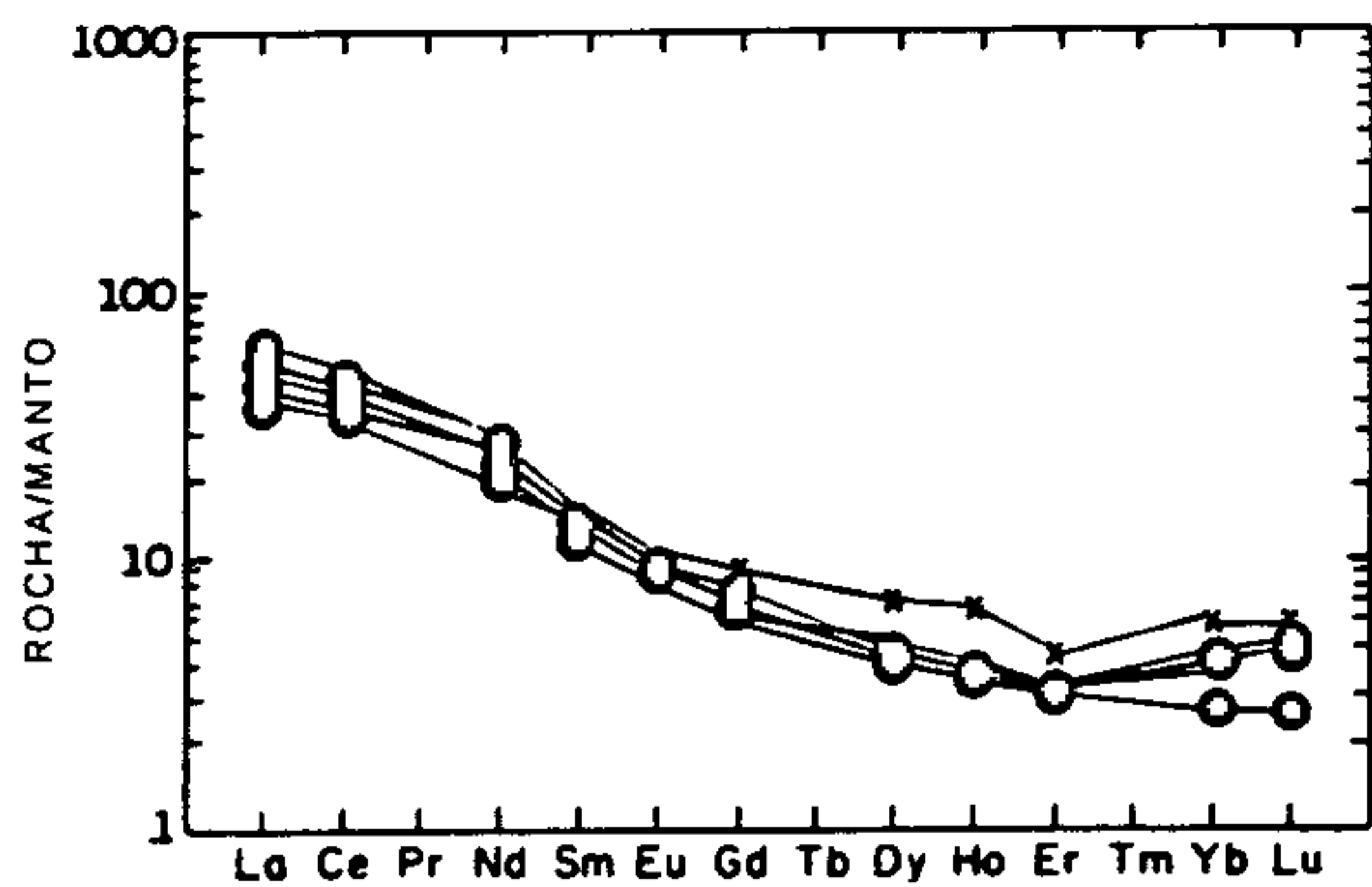


Figura 34: Distribuição de ETR normalizados a manto primitivo (Sun 1982) das grauvacas "depletadas" (norte do cinturão). Notar: 1) A ausência de anomalias de Eu; 2) A forte depleção em ETRP; 3) A uniformidade da rocha-fonte e sua similaridade com o padrão dos dacitos; 4) A boa correlação com as grauvacas do grupo Fig Tree de Barberton (Condie 1981 = asteriscos).

### Origem e Proveniência

A unidade está intimamente associada a centros de vulcanismo félsico explosivo. Sua imaturidade composicional, sua assinatura geoquímica calcialcalina e as estruturas deposicionais razoavelmente bem preservadas, permitem inferir um cenário evolutivo em dois estágios: i) rápida erosão dos edifícios félsicos subaéreos e ii) rápida ressedimentação em áreas deprimidas adjacentes, sob regime de correntes de turbidez.

O reconhecimento, discriminação cartográfica e caracterização geoquímica deste expressivo pacote de sedimentos vulcanogênicos, imprime aos estudos do GBRV nova dimensão, seja do ponto de vista evolutivo, seja exploratório. Permite levantar especulações sobre a real extensão do magmatismo félsico original (até aqui subestimado) no âmbito do cinturão. A constatação mais óbvia é que o discreto registro cartográfico da unidade félsica - relativamente à unidade máfico-ultramáfica - (figura 1), nem de longe reproduz as proporções originais do vulcanismo Rio das Velhas. Especialmente pelo fato de o vulcanismo máfico nos *greenstone belts* ser caracteristicamente submarino e portanto - ao contrário do que ocorre com os centros félsicos - poupado à desagregação intempérica pré-metamórfica. Estimativas baseadas no conteúdo de quartzo vulcanogênico das grauvacas dos *greenstone belts* canadenses (Ayres 1977, in: Ojakangas 1985) sugerem que o volume dos sedimentos piroclásticos e lavas félsicas, à época da deposição, poderia ter sido duas

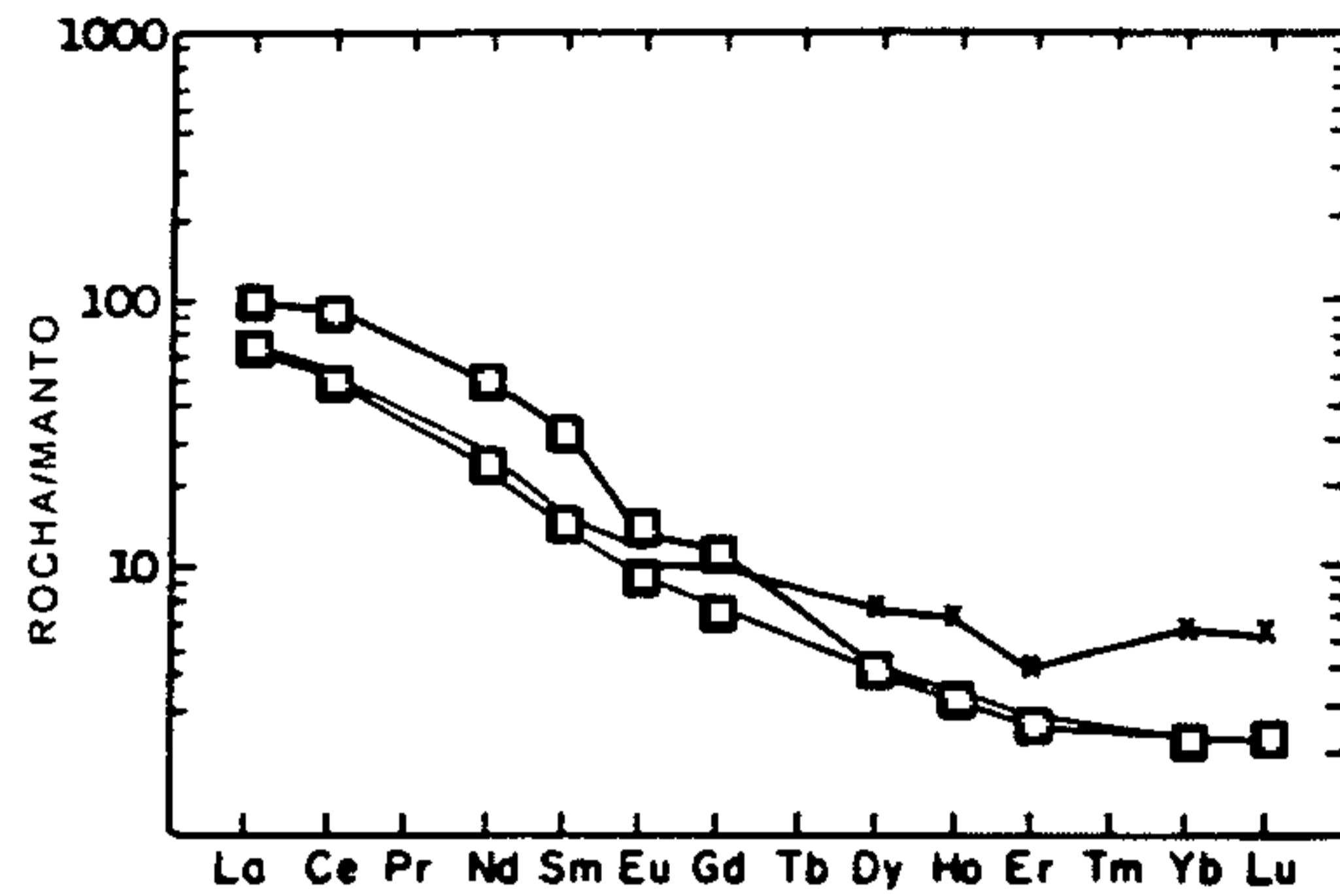


Figura 35: Distribuição dos ETR normalizados a manto primitivo (Sun 1982) para os metapelitos "depletados" (norte do cinturão). Notar: 1) A ausência de anomalias de Eu; 2) A forte depleção em ETRP; 3) A uniformidade da rocha-fonte e a similaridade com o padrão dos dacitos e das grauvacas "depletadas" da área, bem como com o padrão das grauvacas do Grupo Fig Tree de Barberton (Condie 1981 = asterisco).

vezes superior ao das grauvacas deles derivadas (presentemente expostas). Dada a similaridade dos contextos, esta poderia ser uma boa estimativa inicial para a reconstituição paleoambiental do GBRV.

### Metassedimentos não-depletados (de fonte mista). Elementos maiores e traços

Da mesma forma que as características petrográficas e sedimentológicas mostram pequenas diferenças entre os sedimentos clásticos nos distintos segmentos do cinturão, os elementos maiores não mostram diferenças acentuadas.

As tabelas 9 (grauvacas) e 10 (pelitos) mostram um maior enriquecimento em sílica, com a maior parte das análises correspondendo às das grauvacas **pobres em quartzo** ( $\text{SiO}_2$  entre 45 e 68%). Apenas duas análises (RM 596A e NS 254A) correspondem a **variedades intermediárias em quartzo**.

Nos diagramas  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  (figura 36) essas aparentes similaridade desaparecem. Tanto os pelitos (quadrados) quanto as grauvacas (triângulos) mostram forte espalhamento acima e abaixo da linha  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 1$ , mostrando afinidades de parte da população com fontes potássicas não depletadas com influência continental (Taylor & McLennan 1985).

### Elementos Terras Raras

Com relação aos ETR, menos móveis, as diferenças entre os metassedimentos do norte e do sul do cinturão são marcantes (figuras 34 e 37)

Tabela 9 - Análise química de elementos maiores (%) e elementos traços (ppm) de metagrauvas. (fonte mista; não-depletadas)

Ordem Amostra	1 HR316B	2 MP444C	3 MP539A	4 NS254A	5 RM622A	6 RM629I	7 RM596A	8 RM629N	9 NASC
SiO <sub>2</sub>	65,80	62,80	60,70	69,80	64,10	50,90	68,90	66,90	-
TiO <sub>2</sub>	0,68	0,74	0,55	0,44	0,60	0,60	0,76	0,29	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,30	15,20	13,10	12,00	16,10	10,70	12,60	7,80	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,20	2,80	1,80	0,88	2,30	4,00	3,50	1,00	-
FeO	4,70	5,40	6,10	4,10	4,00	8,70	5,10	3,80	-
MnO	0,09	0,18	0,24	0,20	0,06	0,56	0,06	0,18	-
MgO	2,50	3,60	4,50	3,60	4,30	6,60	3,10	4,20	-
CaO	1,40	0,50	3,40	0,97	0,11	1,90	0,09	4,50	-
Na <sub>2</sub> O	3,60	2,30	2,40	2,80	1,70	0,70	0,35	0,06	-
K <sub>2</sub> O	2,70	2,00	1,50	2,10	2,50	1,80	1,60	1,00	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,19	0,15	0,08	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	-
Subtotal	97,16	95,67	94,37	96,94	95,83	86,52	96,11	90,28	0,00
H <sub>2</sub> O	0,07	0,14	0,13	0,09	0,17	0,09	0,07	0,08	-
CO <sub>2</sub>	1,60	1,80	2,50	2,00	0,92	11,70	0,65	8,30	-
PF	1,16	2,40	2,54	0,80	2,85	1,37	3,06	1,17	-
Total	99,92	99,87	99,41	99,74	99,60	99,59	99,82	99,75	-
Mg #	43,53	44,75	50,95	56,74	55,80	48,88	40,11	61,43	0,00
Cr	167	432	430	695	368	822	475	300	-
Ni	50	160	124	195	98	225	63	100	-
Co	29	42	30	33	26	41	32	19	-
Sc	10	19	15	14	13	12	18	10	-
V	120	160	123	76	114	135	173	45	-
Cu	40	92	140	104	43	95	31	18	-
Pb	32	21	39	27	32	138	24	26	-
Zn	102	14	67	80	78	88	104	51	-
As	22	28	20	41	16	199	24	38	-
Rb	57	63	53	76	91	64	55	52	-
Ba	1144	784	355	659	471	283	268	148	-
Sr	480	154	137	238	41	64	52	92	-
Nb	9	12	10	13	12	10	8	11	-
Zr	166	164	127	154	162	130	185	112	-
Y	4	19	12	17	14	22	31	16	-
La	25,81	25,45	16,51	18,69	21,07	17,41	69,72	16,32	32,00
Ce	55,77	54,99	38,47	42,55	46,06	38,49	135,90	49,98	73,00
Pr	-	-	-	-	-	-	-	-	7,90
Nd	29,53	22,85	18,78	2051,00	23,59	17,66	42,22	36,64	33,00
Sm	5,04	3,72	3,50	3,59	4,07	3,14	6,75	7,07	5,70
Eu	1,20	0,71	0,81	0,73	0,98	0,76	1,54	1,63	1,24
Gd	4,25	2,90	3,27	2,97	3,68	2,76	5,27	7,37	5,20
Tb	-	-	-	-	-	-	-	-	0,85
Dy	3,79	2,33	3,32	2,67	3,58	2,69	4,10	6,60	5,80
Ho	0,76	0,46	0,67	0,52	0,73	0,53	0,81	1,32	1,04
Er	2,10	1,28	1,82	1,37	2,07	1,41	2,15	3,57	3,40
Tm	-	-	-	-	-	-	-	-	0,50
Yb	1,87	1,23	1,54	1,16	-	1,12	1,57	2,41	3,10
Lu	0,25	0,18	0,21	0,16	-	0,15	0,22	0,33	0,48

- 1 - Biotita-quartzo-plagioclásio xisto (Un. Catarina Mendes).  
 2 - Clorita-plagioclásio-quartzo-sericita xisto (Un. Catarina Mendes).  
 3 - Metagrauva feldspática (Un. Catarina Mendes).  
 4 - Clorita-biotita-plagioclásio-quartzo xisto (Un. Catarina Mendes).  
 5 - Plagioclásio-quartzo xisto (Un. Córrego do Sítio).  
 6 - Carbonato-quartzo-mica-clorita xisto (Un. Córrego do Sítio).  
 7 - Sericita-clorita-quartzo xisto (Un. Córrego do Sítio).  
 8 - Carbonato-quartzo-mica-clorita xisto (Un. Córrego do Sítio).  
 9 - NASC-North American Shale Composite (Haskin et al., 1968).

Tabela 10 - Análise química de elementos maiores (%) e elementos traços (ppm) de metapelitos,, (fonte mista; não-depletadas)

Ordem Amostra	1 JS314	2 MP419A	3 CF212C	4 NASC
SiO <sub>2</sub>	45,20	63,00	58,60	-
TiO <sub>2</sub>	3,80	0,62	0,61	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,50	15,10	15,10	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,10	1,80	4,50	-
FeO	13,90	4,30	4,40	-
MnO	0,18	0,14	0,06	-
MgO	8,30	2,90	8,20	-
CaO	0,69	3,40	1,10	-
Na <sub>2</sub> O	0,07	4,00	0,82	-
K <sub>2</sub> O	0,35	1,30	2,00	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,43	0,27	0,09	-
Subtotal	93,52	96,83	95,48	-
H <sub>2</sub> O	0,13	0,09	0,09	-
CO <sub>2</sub>	1,50	2,00	1,20	-
PF	4,68	0,98	3,07	-
Total	99,70	99,81	99,75	-
Mg #	42,16	46,61	63,36	-
Cr	131	103	452	-
Ni	35	20	192	-
Co	25	28	48	-
Sc	27	15	21	-
V	471	163	146	-
Cu	24	34	18	-
Pb	19	41	18	-
Zn	357	67	49	-
As	3	7	20	-
B	12	10	128	-
Rb	13	37	64	-
Ba	119	862	312	-
Sr	9	742	32	-
Nb	15	6	10	-
Zr	301	126	129	-
Y	62	12	14	-
La	25,81	18,91	6,81	32,00
Ce	55,77	43,61	20,84	73,00
Pr	-	-	-	7,90
Nd	29,53	21,31	14,78	33,00
Sm	5,04	3,55	4,12	5,70
Eu	1,20	0,74	0,43	1,24
Gd	4,25	2,85	4,33	5,20
Tb	-	-	-	0,85
Dy	3,79	2,19	3,82	5,80
Ho	0,76	0,43	0,73	1,04
Er	2,10	1,12	1,78	3,40
Tm	-	-	-	0,50
Yb	1,87	0,89	1,30	3,10
Lu	0,25	0,12	0,17	0,48

1 - Quartzo-clorita xisto (Un. Rio de Pedras).

2 - Clorita-plagioclásio-quartzo xisto (Un. Catarina Mendes).

3 - Biotita-quartzo-clorita xisto (Un. Catarina Mendes).

4 - NASC-North American Shale Composite (Haskin *et al.*, 1968).



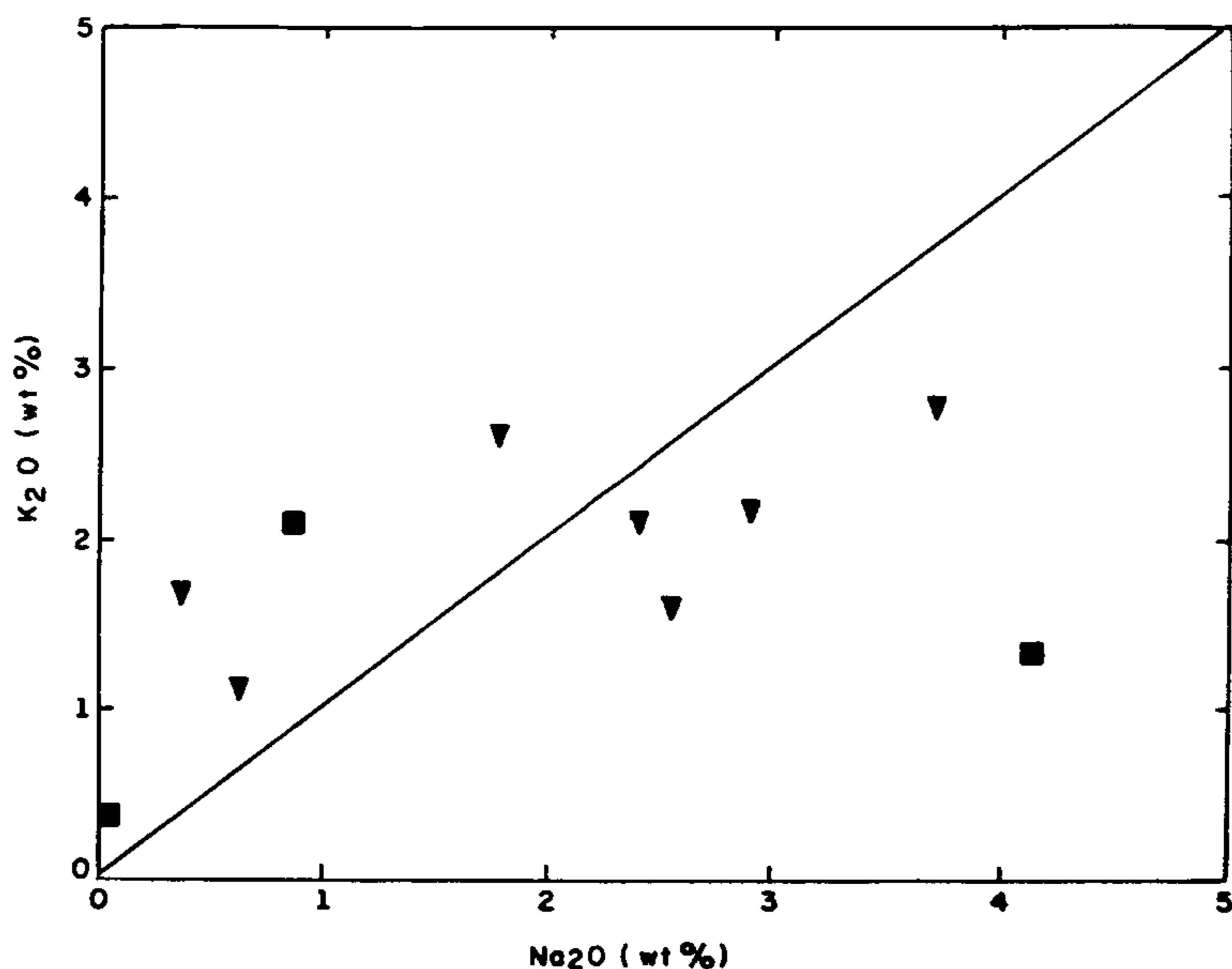


Figura 36: Diagrama K<sub>2</sub>O x Na<sub>2</sub>O de Taylor & McLennan (1985) aplicados aos metassedimentos não-depletados de fonte mista mostrando forte espalhamento das rochas pelíticas (quadrados) e grauvaquianas (triângulos).

Comparativamente ao padrão das grauvas depletadas, a seqüência clástica do sul mostra: 1) menor diferenciação (razões La<sub>N</sub>/Lu<sub>N</sub> baixas); 2) maior enriquecimento em ETRL (Yb<sub>N</sub> em geral > 5, com exceção dos pelitos (figura 38)); 3) ausência de concavidade para cima nos ETRP; 4) fortes anomalias negativas de Eu. 4) padrão similar ao do NASC representado por triângulos.

#### Proveniência

O padrão similar ao NASC, não-depletado, com anomalias negativas de Eu, é característico de sedimentos derivados de fontes continentais, não vulcanogênicas (graníticas), de natureza potássica, abundantes a partir do Arqueano Superior (Taylor & McLennan 1985).

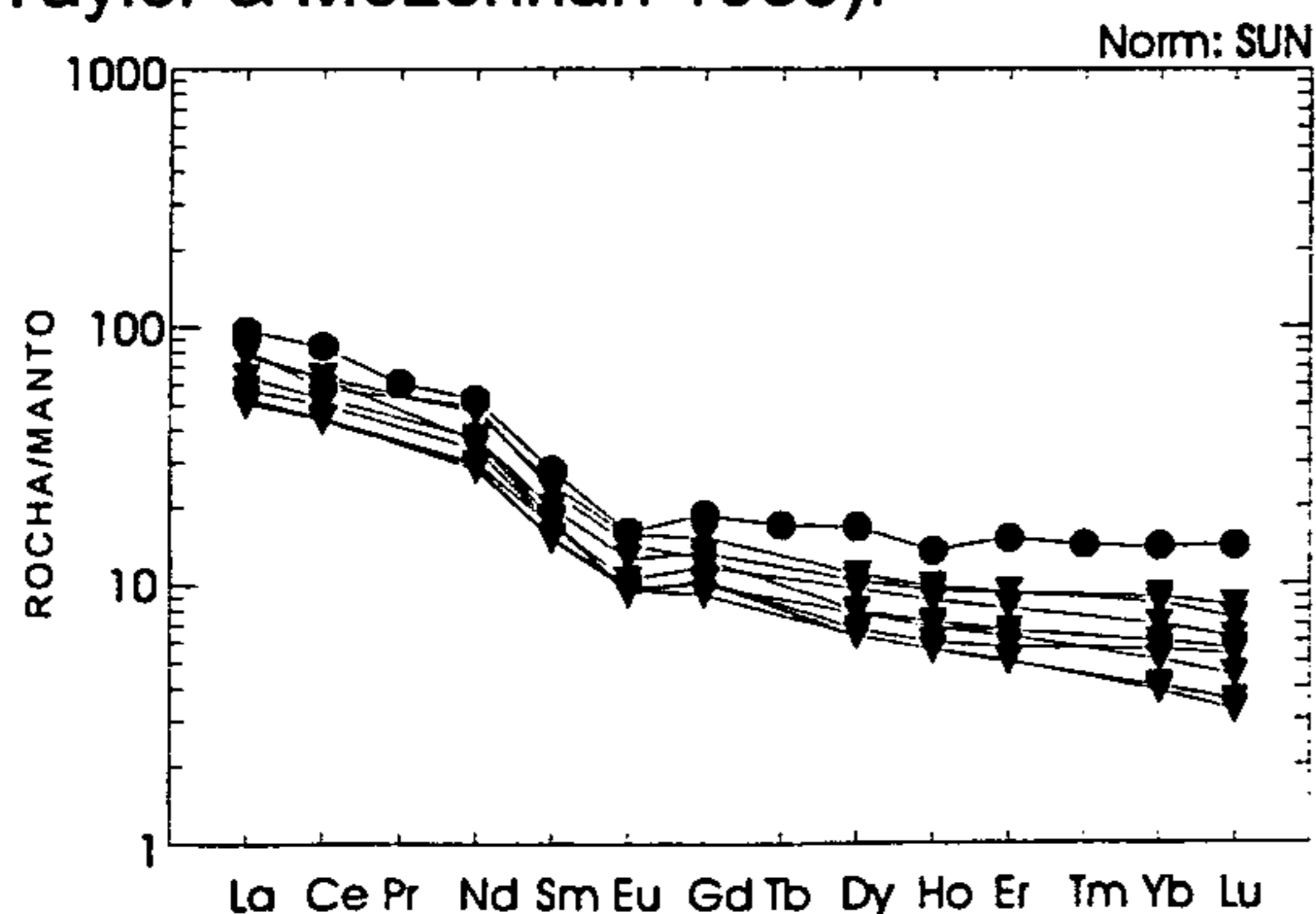


Figura 37: Distribuição dos ETR normalizados a manto primitivo (Sun 1982) para as grauvas "não-depletadas" (segmento meridional). Notar a similaridade com o padrão NASC (círculos) onde as anomalias negativas de Eu e o enriquecimento em ETRL sugerem fonte continental. A discreta depleção em ETRP sugere influência também de fonte não-continental (dacítica).

A presença de sedimentos depletados e não-depletados no mesmo cinturão aponta para fontes distintas no preenchimento da bacia, que podem ser monitoradas na mesma linha de tempo, correspondendo a paleogeografias distintas, com as fontes não depletadas indicando um ambiente de *back-arc* e as fontes depletadas um arco.

Outra alternativa seria uma evolução diacrônica onde as grauvas depletadas teriam sido depositadas anteriormente à fase colisional e as grauvas não-depletadas indicariam estágio de convergência avançado, posterior, com cavalgamento em margem continental.

Apenas estudos isotópicos por métodos de

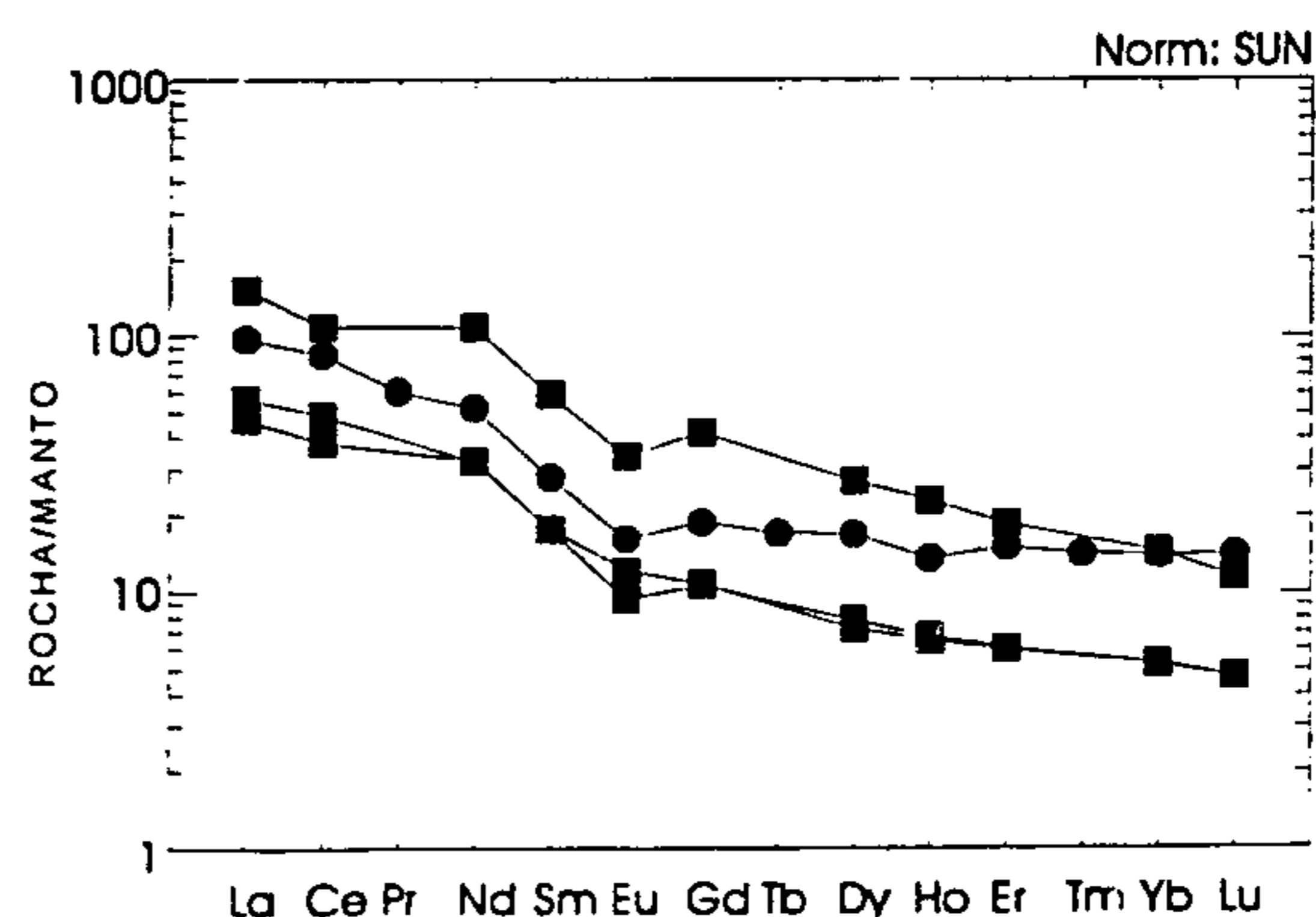


Figura 38: Distribuição dos ETR normalizados a manto primitivo (Sun 1982) para os pelitos "não-depletados" (segmento meridional). Notar: 1) A presença de fortes anomalias negativas de Eu e enriquecimento em ETRL (em duas amostras) interpretado como resultante de fonte continental similar a do NASC (astenscos); 2) A discreta depleção em ETRP sugestiva de influência de fonte não-continental (dacítica).

alta precisão SHRIMP, poderão esclarecer o tipo de evolução final, pré-inversão no GBRV.

O quadro 7 mostra as principais características químicas distintivas dos dois grupos.

## METASSEDIMENTOS CLÁSTICOS DO GRUPO MAQUINÉ (FORMAÇÕES PALMITAL E CASA FORTE)

### *Petrografia*

Foram analisadas seis amostras da seqüência clástica grossa das duas formações (tabela 11). São quartzos arenitos e subgrauvacas discreta a moderadamente enriquecidos em cloritóide e mica branca.

Apenas uma amostra de quartzo-mica xisto da Formação Palmital e outra da Formação Casa Forte, com evidências microscópicas de contribuição vulcanogênica, foram analisadas (NS117B e JS163C). Trata-se de rochas miloníticas com pronunciada xistosidade, compostas por albita-clorita-sericita-quartzo, com cristaloclastos remanescentes de albita raramente preservados.

As rochas com cloritóide são "xistos" quartzosos, microscopicamente caracterizados como *quartzwacke* de procedência félsica. São rochas portadoras de **muscovita-quartzo-cloritóide**, tendo opacos (magnetita?) como acessório. Boas exposições foram observadas no extremo sudoeste da Quadrícula Gandarela. Essas subgrauvacas ocorrem associadas a pelitos carbonosos e ocupam diversos horizontes no pacote epiclástico, na Formação Palmital do Grupo Maquiné.

O quartzo e o cloritóide ocorrem em proporções

equivalentes, podendo o último ocorrer em bandas individualizadas, monominerálicas, intercaladas em bandas ricas em quartzo (reproduzindo um *layering*). O cloritóide é formado por prismas idioblásticos milimétricos, dispostos aleatoriamente em meio à massa quartzosa, ou formando bandas constituídas por cristais desprovidos de orientação planar (pós-S<sub>1</sub>). O quartzo está representado por cristais idiomórficos de ascendência vulcanogênica (beta), eventualmente com seções bipiramidais ou com bordas arredondadas, mostrando feições vulcânicas primárias preservadas, como golfos de corrosão magmática e ausência de extinção ondulante (P12/6). A matriz é formada por finos agregados de mica branca, englobando os cristais de quartzo.

### *Litogeoquímica*

Com exceção das amostras JS178B e NS117B que apresentam 66,6 e 61% de SiO<sub>2</sub>, as demais são altamente silícicas (SiO<sub>2</sub> entre 77,9-82,2%). Também com exceção daquelas amostras, as demais apresentam baixos teores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (entre 6,9 e 12,4%), fato que somado às evidências de campo e microscópicas atestam o alto grau de maturidade do sedimento (tabela 11). São enriquecidas em K<sub>2</sub>O relativamente ao sódio, com razões Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O << 1. As amostras NS117B e NS119B são enriquecidas em MgO (6,6 e 3,0%, respectivamente).

Além do caráter acentuadamente mais maturo desses metassedimentos, os mesmos distinguem-se dos metassedimentos não-depletados do Grupo Nova Lima anteriormente abordados pelo caráter

Quadro 7. Parâmetros químicos distintivos entre as grauvacas depletadas e não-depletadas

Parâmetro	Grauvacas Depletadas	Grauvacas Não-Depletadas
razões LaN/LuN (diferenciação)	altas (> diferenciação)	baixas (< diferenciação)
enriquecimento em ETRL	menor	maior
empobrecimento em ETRP	maior	menor
anomalias de Eu (Eu/Eu*)	moderadas a ausentes	moderadas
possíveis fontes	exclusivamente vulcanogênica	mista: continental e vulcanogênica

Tabela 11 - Análise química de elementos maiores (%) e elementos traços (ppm) de metassedimentos clásticos do Grupo Maquiné.

Ordem Amostra	1 NS117B	2 JS178B	3 NS119B	4 JS166	5 JS70	6 JS163CL	7 NASC
SiO <sub>2</sub>	61,00	66,20	77,90	82,70	82,20	78,40	-
TiO <sub>2</sub>	0,75	0,83	0,37	0,45	0,36	0,40	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,90	17,10	10,10	8,00	6,90	12,40	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,90	5,40	2,60	3,40	2,70	2,60	-
FeO	2,70	4,20	1,40	2,00	3,10	2,60	-
MnO	0,03	0,15	0,06	0,09	0,06	0,16	-
MgO	6,60	0,38	3,00	0,76	1,60	0,75	-
CaO	0,09	0,05	0,01	0,18	0,06	0,07	-
Na <sub>2</sub> O	0,14	0,16	0,02	0,12	0,10	0,12	-
K <sub>2</sub> O	2,00	1,40	1,70	0,37	0,76	0,74	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	0,06	0,07	0,07	0,05	0,05	-
Subtotal	95,16	95,93	97,54	98,14	97,89	98,29	0,00
S	0,05	0,00	0,00	0,18	0,00	0,04	-
H <sub>2</sub> O	0,01	0,13	0,03	0,01	0,03	-	-
CO <sub>2</sub>	0,13	0,05	0,05	1,00	0,10	0,08	-
PF	4,52	3,97	2,42	0,90	2,03	1,54	-
Total	99,86	99,95	100,01	100,22	100,01	99,95	-
Mg #	59,49	6,96	58,84	21,12	34,02	21,30	0,00
Cr	471	539	175	211	146	209	-
Ni	290	137	108	66	85	100	-
Co	57	34	22	34	17	25	-
Sc	27	27	12	21	17	17	-
V	205	194	62	96	83	83	-
Cu	70	30	15	30	10	29	-
Pb	35	37	19	18	18	19	-
Zn	67	211	49	52	86	235	-
AS	40	67	9	21	1	19	-
K	16603	11622	14112	3071	6309	6143	-
Rb	62	50	51	19	27	31	-
Ba	586	885	676	71	211	130	-
Sr	18	123	50	30	18	50	-
Ta	5	5	5	5	5	5	-
Nb	5	10	5	5	5	5	-
Zr	130	208	120	139	125	131	-
Ti	4496	4976	2218	2698	2158	2398	-
V	26	32	25	28	27	24	-
Th	5	5	5	5	5	5	-
U	10	10	10	10	10	10	-
La	24,85	31,02	21,43	19,54	15,03	15,76	32,00
Ce	51,24	60,38	43,51	37,05	31,48	32,73	73,00
Pr	-	-	-	-	-	-	7,90
Nd	22,49	28,53	19,62	17,92	13,62	14,38	33,00
Sm	3,81	4,94	3,40	2,99	2,49	2,82	5,70
Eu	0,76	0,97	0,74	0,69	0,51	0,66	1,24
Gd	2,42	3,26	2,37	2,56	1,82	2,02	5,20
Tb	-	-	-	-	-	-	0,85
Dy	1,86	2,68	2,06	2,36	1,48	1,97	5,80
Ho	0,38	0,52	0,43	0,50	0,27	0,40	1,04
Er	1,10	1,34	1,23	1,47	0,62	1,10	3,40
Tm	-	-	-	-	-	-	0,50
Yb	1,07	1,44	1,12	1,34	0,66	1,20	3,10
Lu	0,18	0,17	0,19	0,16	0,10	0,17	0,05
Densidade	2,47	2,43	2,35	2,34	2,35	2,36	0,00

- 1 - Quartzo-clorita xisto (Un. Rio de Pedras).  
2 - Cloritóide quartzito (Un. Rio de Pedras).  
3 - Muscovita quartzito (Un. Jaguará).  
4 - Cloritóide quartzito (Un. Rio de Pedras).  
5 - Quartzo-mica xisto (Un. Jaguará).  
6 - Cloritóide-quartzito "xisto" (Un. Jaguará).

essencialmente potássico, com todas as análises plotando acima da linha  $K_2O/Na_2O = 1$  (figura 39), característico de arenitos de margens continentais passivas (Taylor & McLennan 1985). A distribuição dos ETR para os metarenitos e metapelitos desse Grupo é mostrada na figura 40. A similaridade com os metadacitos do Grupo Nova Lima está refletida na depleção nos níveis totais de ETR e ETRP, sugerindo fonte depletada. As anomalias negativas de Eu (moderadas) sugerem participação também de fontes continentais similares às do NASC.

A caracterização ambiental dessas rochas extremamente maduras deve ser vista com cautela.

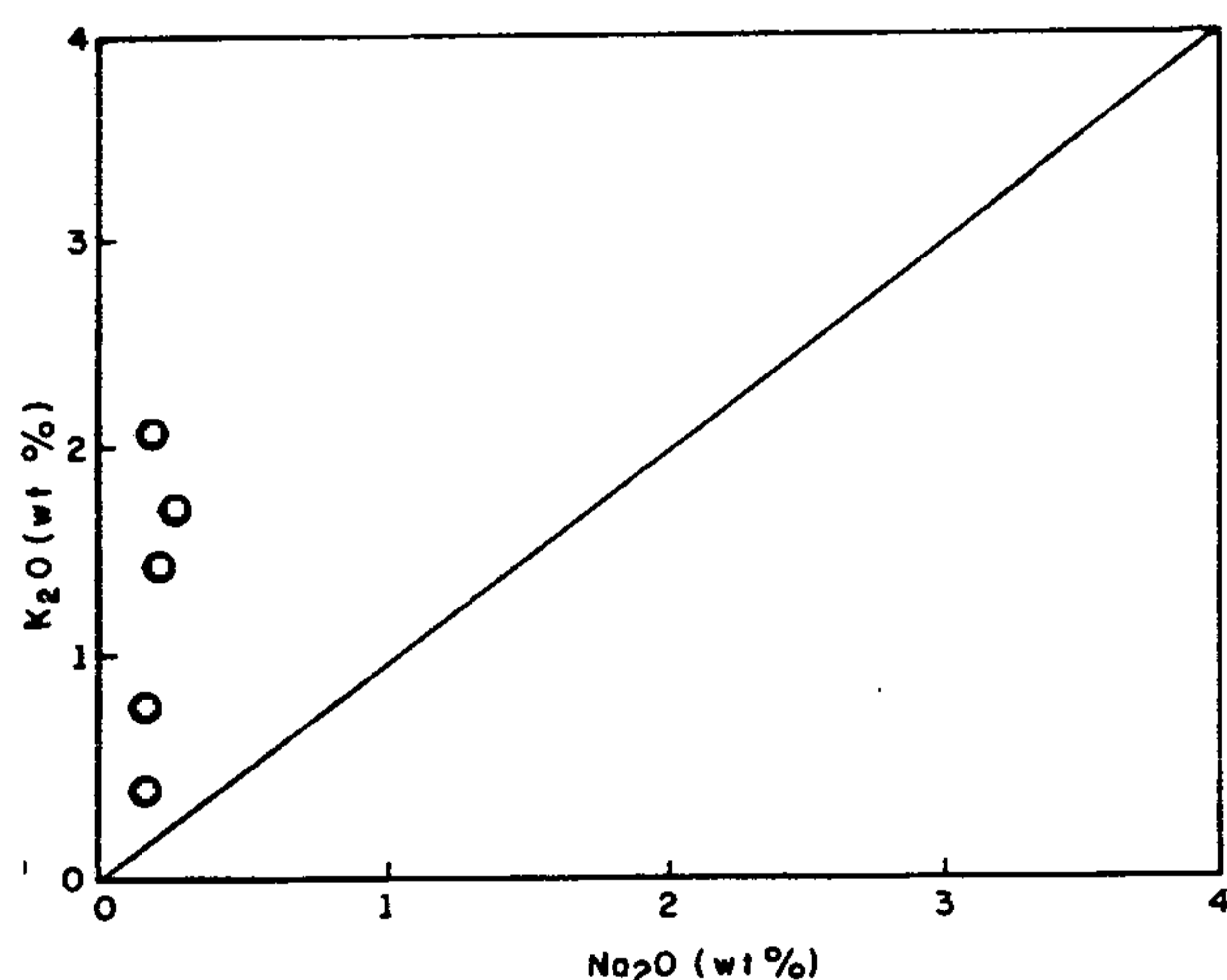


Figura 39: Diagrama  $K_2O \times Na_2O$  de Taylor & McLennan (1985) aplicado aos metassedimentos clásticos do Grupo Maquiné, mostrando um comportamento totalmente diferente do apresentado pelos metassedimentos não-depletados do Grupo Nova Lima.

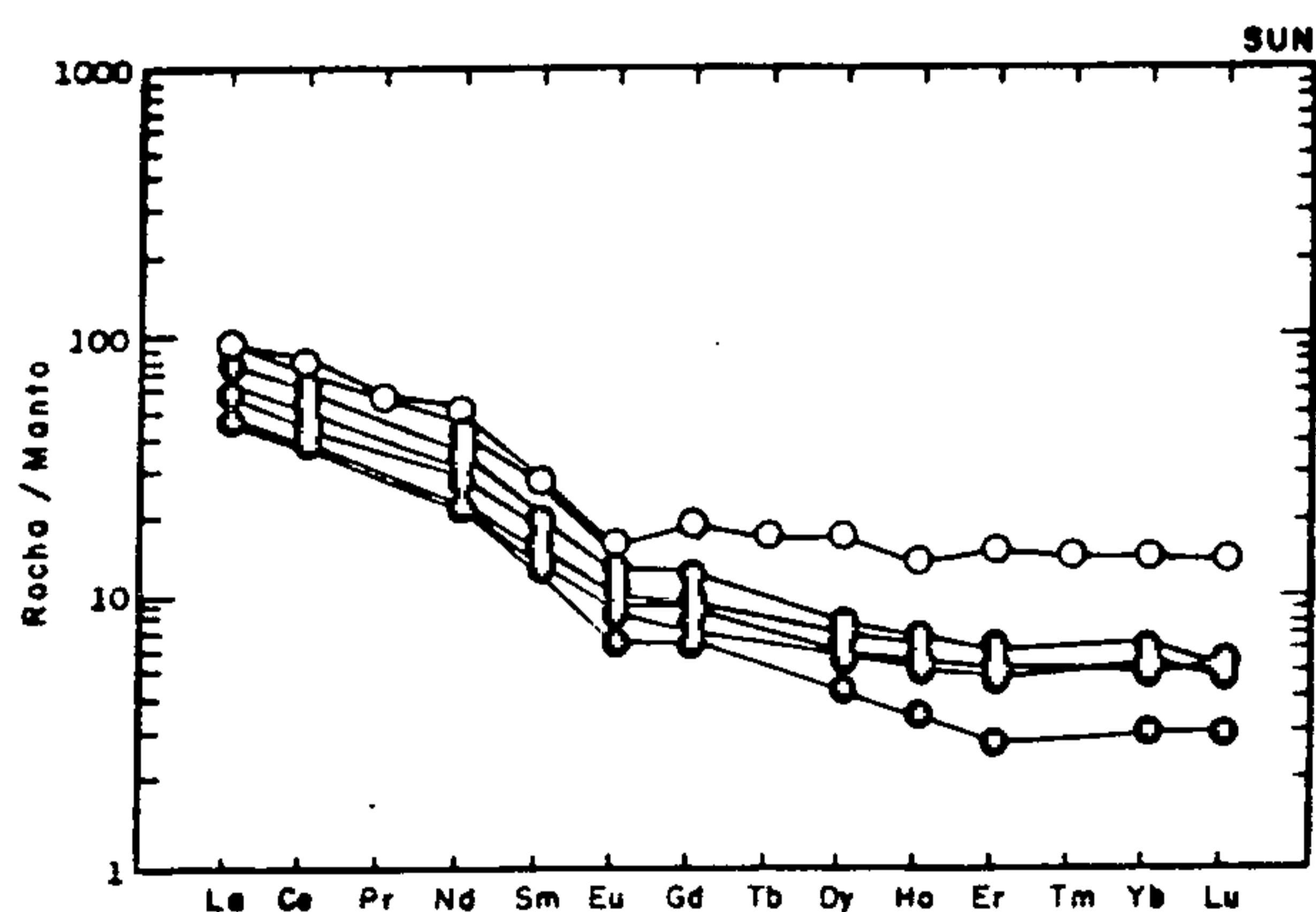


Figura 40: Distribuição dos ETR normalizados a manto primitivo (Sun 1982) para os arenitos e pelitos do Grupo Maquiné. A depleção nos níveis totais de ETR e nos ETRP sugere fonte depletada (similar aos dacitos do Grupo Nova Lima). As moderadas anomalias negativas de Eu sugerem mistura também com fontes continentais similares às do NASC (representado em tom mais claro para comparação).

O acentuado enriquecimento em cloritóide e sua distribuição regional implica derivação a partir de sedimentos com razões Fe/Mg anormalmente elevadas; alta  $fO_2$ ; teor elevado de Al (Winkler 1967). Neste caso, a unidade químico-exalativa do Grupo Nova Lima, portadora de expressivos horizontes exalativos (BIFs), pode ter tido papel preponderante como fonte do Fe necessário à geração do cloritóide, através de uma reação do tipo: **hematita + Fe-clorita = cloritóide + magnetita + quartzo +  $H_2O$**  (Winkler 1967)

Devido à expressiva quantidade de cloritóide, mineral pouco usual em sedimentos clásticos metamorfizados em regime fechado, sua gênese poderia estar relacionada à introdução de fluidos hidrotermais. Entretanto, como sua estabilização requer ambientes com altas razões Fe/Al, a contribuição de material procedente da erosão da porção Média, constituída por importantes pacotes de BIFs, poderia ter alguma relação com sua abundância.

## RELAÇÕES ENTRE METAMORFISMO, DEFORMAÇÃO E POSSÍVEIS MINERALIZAÇÕES

Trabalhos previamente executados no GBRV reconhecem implícita, ou explicitamente, marcantes evidências de afinidades exalativas do distrito aurífero, tendo em conta a importância da sedimentação químico-exalativa do Grupo Nova Lima (ver síntese em Ladeira 1991). Como consequência, a suposta natureza singenética dos depósitos era amplamente favorecida. O refinamento proporcionado por trabalhos centrados em detalhamento estrutural - nos últimos anos - permitiu demonstrar o caráter epigenético e metamórfico da maioria dos depósitos auríferos, os quais, não por acaso, exibem freqüentemente controles relacionados ao *overprint* metamórfico-deformacional.

Entretanto, a execução de trabalhos exageradamente preocupados com aspectos estruturais (em detrimento da reconstituição dos protólitos das encaixantes dos minérios) levou à formulação de modelos exploratórios "catastrofistas", por assim dizer. Estes, por

subestimarem características primárias (pré-deformacionais), embora tenham validade para o entendimento da gênese de depósitos isolados, não fornecem respostas a todas as questões, quando a evolução global das mineralizações em nível de distrito é focalizada. E, principalmente, deixam margem a controvérsias quanto à gênese das pré-concentrações de minério e de alguns tipos de alterações associadas. De uma forma geral deixam de focar detalhes relevantes, especialmente com referência a:

- I. fonte e origem dos fluidos;
- II. detalhes dos processos deposicionais;
- III. causa(s) e fonte(s) da pré-concentração do minério;
- IV. relações temporais entre deposição do minério, alteração hidrotermal e metamorfismo/deformação;

Hipóteses alternativas ao dilema catastrofismo *versus* singeneticismo não tiveram a atenção merecida, possivelmente devido à falta de cartografia geológica adequada cobrindo a totalidade do cinturão. Por esse motivo, o projeto ora desenvolvido (em escala 1:25.000) tem dedicado especial atenção ao assunto, visando o reconhecimento de novas paragêneses que possam fornecer indicações de processos atuantes, em escala mais regional.

As principais premissas a serem analisadas com referência à gênese das mineralizações conhecidas e como parâmetros previsionais para futuros trabalhos exploratórios são: 1) o fato de as mineralizações no distrito não estarem restritas a uma litologia particular, ocorrendo tanto na seqüência vulcano-química (BIFs e tufos máficos) quanto na clástica (pelitos carbonosos); ii) na maior parte dos casos são sempre acompanhadas de cisalhamento e alteração pervasiva das encaixantes (especialmente carbonatação e silicificação), ou em veios quartzo-carbonatados, indicativos de baixas condições de P/T.

Além disto, deve-se levar em conta que o detalhamento microscópico, aqui resumido, mostra o caráter pré-metamórfico (pré-S<sub>1</sub>) das principais alterações, incluindo carbonatação e sericitização - além de presença de

abundantes depósitos químico-exalativos como BIF, turmalinitos e outras paragêneses exóticas, fato que chama a atenção para a importância da compreensão dos processos geológicos primários (pré-metamórficos) operantes sobre um segmento de crosta oceânica primitiva, na formulação de qualquer modelo exploratório regional.

## CONCLUSÕES

- 1) a integração dos dados de campo, petrológicos e litogeoquímicos, permite caracterizar duas paleoambiências contrastantes no âmbito do Grupo Nova Lima: a primeira, similar aos modernos assoalhos oceânicos N-MORB (TH1), inclui seqüências máfico-ultramáficas toleíticas (komatiíticas) e químico-exalativas. A segunda, calcialcalina, tem similaridade com as vulcânicas de arcos ou de *back-arc* sendo caracterizada pelo padrão de ETR desprovido de anomalia de Eu e com forte depleção nos ETRP e nos LILE's, típico de magmas evoluídos a partir da fusão parcial de crosta toleítica, em níveis mantélicos relativamente rasos e que se constituem em equivalentes extrusivos dos domos TTG;
- 2) O emprego sistemático de ETR mostrou-se indispensável para a classificação e discriminação das diversas associações, especialmente aquelas mais afetadas por alteração hidrotermal (carbonatação, cloritização, sericitização e enriquecimento em TiO<sub>2</sub>). Esses elementos mostraram-se moderadamente imóveis no contexto de certos graus de alteração, seja na seqüência félsica ou na máfica e muitas vezes constituíram-se no único critério para a identificação do protólito. Mesmo nos casos em que a alteração modificou dramaticamente o padrão de distribuição, o estudo dos espectros de ETR ainda é importante para o reconhecimento da alteração e para evitar-se um grande número de análises convencionais (no caso, totalmente inútil em termos de determinação de protólitos e de paleo-ambiências);
- 3) na unidade vulcanogênico-exalativa foram

- caracterizados BIFs de fácies óxido, silicato e turmalinitos. Os primeiros mostram o clássico padrão dos sedimentos exalativos proximais enriquecidos em Eu e depletados nos níveis totais de ETR. Os turmalinitos apresentam anomalias negativas de Eu similares a outros exalitos;
- 4) foram caracterizadas paragêneses exóticas a QUARTZO-TURMALINA e CORDIERITA-ANTOFILITA no GBRV. Os dados disponíveis são compatíveis com manifestações hidrotermais-convectivas circulando em, ou sob, um assoalho oceânico, conferindo consistência a modelos exploratórios anteriormente preconizados para a região (e.g. Ladeira 1991). Constituem-se, assim, em rastreadores de sistemas hidrotermais fósseis, os quais têm especial significado para o planejamento de futuros trabalhos exploratórios referentes a depósitos SEDEX economicamente interessantes de sulfetos polimetálicos e ouro;
  - 5) do ponto de vista petrogenético, a estabilidade das rochas a antofilita-cordierita (RAC) fornece razoáveis estimativas termobarométricas ( $P_{CO_2}$  2,5-3,0kbar e T próximas a 600°C) para o metamorfismo regional da faixa, sugerindo efeito termal do Domo (granítico) de Caeté com elevação local das isógradas durante e imediatamente após o pico deformacional operante no cinturão;
  - 6) essas observações devem encorajar novos trabalhos exploratórios no GBRV, em especial, com referência à potencialidade relativa a sulfetos de Cu-Zn arqueanos do tipo Mattagami e de novos depósitos de ouro do tipo *iodé*;
  - 7) as rochas clásticas imaturas do Grupo Nova Lima bem como do Grupo Maquiné apresentam padrão similar ao NASC, e como consequência poderiam ter derivado de fonte granítica-K, porém com influência de sedimentos vulcanogênicos e químico-exalativos dada pela presença do cloritóide e depleção em ETRP;
  - 8) em que pese os efeitos do *overprint* metamórfico-deformacional e a pervasiva alteração, a assinatura geoquímica do GBRV permite reconstituir uma história evolutiva em três estágios: I) **Estágio Extensional** - rifteamento de possível crosta primordial TTG (ainda não reconhecida); magmatismo subaquoso komatiítico-toleítico (geração do assoalho oceânico); sedimentação predominantemente químico-exalativa, em ambientes anóxicos, associada à alteração e pré-concentrações de minérios, ligadas a sistemas hidrotermais-convectivos; II) **Estágio Compressional Inicial (Pré-colisional)** - subducção (ou processo similar) da crosta oceânica. Fusão parcial em nível subcrustal, produzindo o vulcanismo dacítico de *back-arc*, liberando um resíduo rico em granada responsável pela depleção em ETRP nos dacitos, e pobre em plagioclásio (ausência de anomalias de Eu). A escassez de termos intermediários confere ao magmatismo um caráter bimodal (basáltico-dacítico): magmatismo "estilo arqueano". A rápida exumação e redeposição de material do "arco" (emerso), sob regime tectonicamente instável, dá origem aos espessos depósitos turbidíticos (grauvacas depletadas do norte); III) **Estágio Compressional Final (Colisional)**. - com a convergência pré-colisional a bacia passou a receber contribuição também de sedimentos continentais de fonte granítica potássica (grauvacas do segmento sul) passando, no fechamento (Grupo Maquiné) a regimes deposicionais francamente continentais a partir de fontes mistas. Apesar das concepções tectônicas atuais francamente uniformitaristas tornarem a conceituação original dos *greenstone belts* um tanto *old fashioned*, não deixa de ser interessante a estreita similaridade entre a evolução GBRV e de Barberton, apesar do intervalo temporal de quase 1Ga decorrido entre a geração de ambos.

## DEPÓSITOS MINERAIS

Por Orivaldo Ferreira Baltazar

### INTRODUÇÃO

O bem mineral mais importante é, de longe, o ouro que ocorre associado às seqüências vulcano-sedimentares do Grupo Nova Lima, tendo como subprodutos em todas as minas em operação, a prata, o enxofre para a produção de ácido sulfúrico e o arsênio, estes dois últimos produzidos nas minas de Cuiabá e Raposos (Vieira & Oliveira 1988). O ouro ocorre também em lentes de conglomerados da Formação Casa Forte (Grupo Maquiné), embora em teores não-econômicos.

Também são importantes o serpentinito, proveniente de metaultrabasitas do Complexo Córrego dos Boiadeiros, e rochas ultramáficas da unidade Quebra Osso, estas utilizadas como fundentes.

Outros bens de importância secundária são o ferro, extraído em depósitos coluviais junto ao Morro do Pires (Quadrícula Rio Acima), a areia para material de construção retirada dos aluviões de vários rios e as cascalheiras resultantes da desagregação de veios de quartzo, abundantes em xistos do topo do Grupo Nova Lima.

### DEPÓSITOS AURÍFEROS

As principais minas de ouro do Quadrilátero Ferrífero são mostradas na figura 41, adaptada de Ladeira (1991).

O ouro associa-se a corpos sulfetados ou a veios de quartzo (Vieira & Oliveira 1988;

Vieira 1991), cujas rochas hospedeiras são as formações ferríferas bandadas (FFB) e a Lapa Seca (LS), esta, originalmente, um sedimento químico para Ladeira (1980) e Vial (1980) ou rochas vulcânicas hidrotermalizadas na concepção de Vial et al. (1987).

Os corpos de minério sulfetado ocorrem nas formas maciça, bandada ou mesmo disseminada, tanto nas FFB's quanto na LS (Vieira 1991), sendo menos freqüentes em veios de quartzo, onde ocorrem na forma disseminada. São de dois tipos (Vieira 1987): o tipo 1 a pirrotita, com pirita e arsenopirita subordinadas, em zonas de cisalhamento dúcteis a dúcteis-rúpteis ou em charneiras de dobras, junto a veios de quartzo paralelos aos cisalhamentos; o tipo 2 a pirita e arsenopirita, substituindo as bandas de minério de ferro das FFB's ou o carbonato de ferro na LS. Nos corpos sulfetados, o ouro está preferencialmente incluso na interface dos grãos de sulfeto e, em menor proporção, na ganga. Geometricamente estes corpos de minério têm formas de *ribbons* ou charutos orientados segundo as lineações de estiramento regionais (Az 90° a 120°) ou eixos de dobras recumbentes de direções similares. Suas dimensões variam nos intervalos de 0,5m a 20m de espessura por 10m a 300m de largura, com até mais de 5.000m de extensão (Vieira & Oliveira 1988). Mineralizações deste tipo predominam nas minas de Morro Velho, Raposos, Cuiabá, Faria, Bicalho, Bela Fama, Urubu, Morro da Glória, Lamego, São Bento e Santa Quitéria.

Os corpos de minério associados a veios de

Figura 41: Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero, mostrando as principais minas de ouro

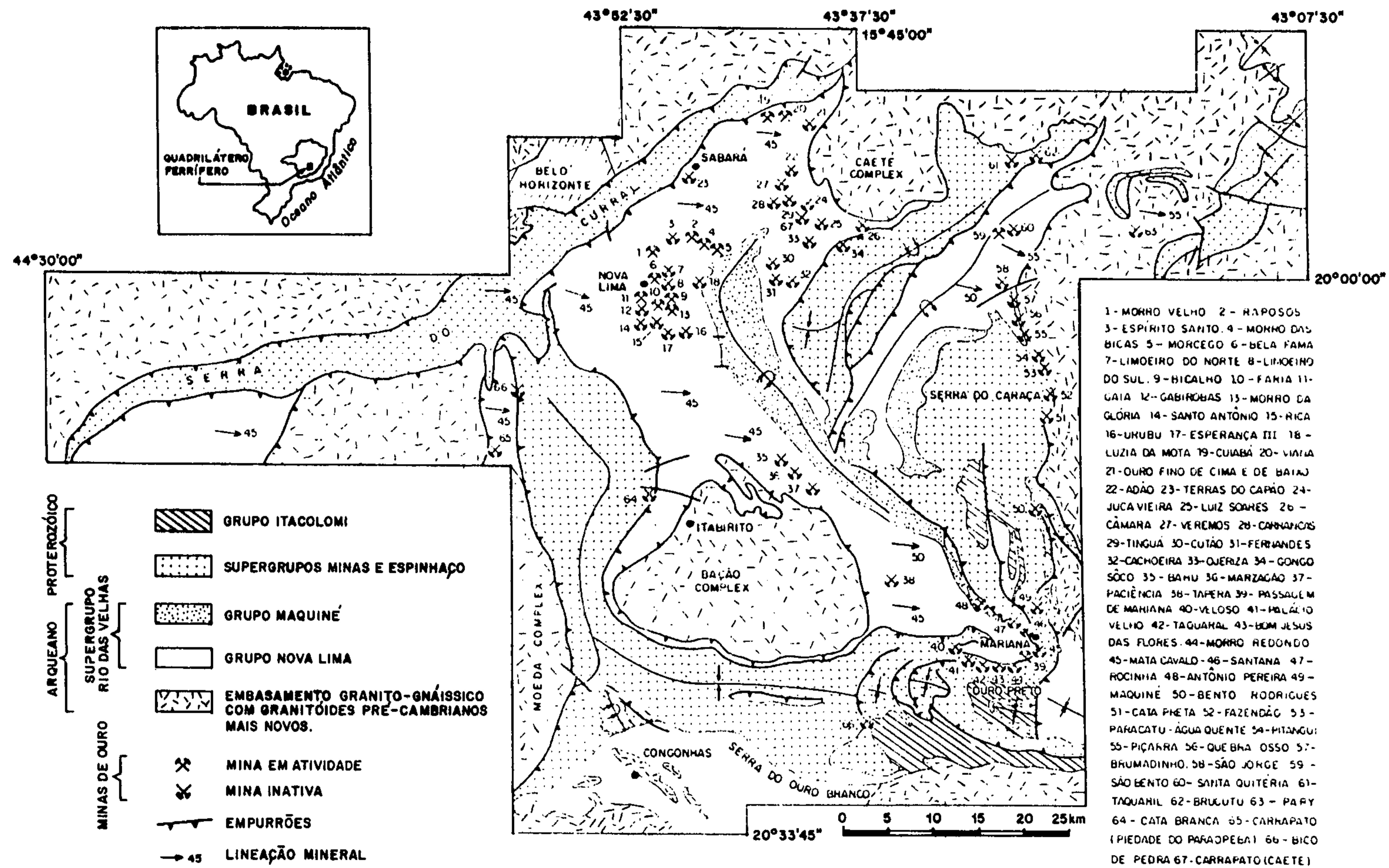


Fig. 41 - Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero, mostrando as principais minas de ouro ( Fonte : Ladeira, 1991 ).



quartzo estão intimamente relacionados a alteração hidrotermal ao longo de antigas e extensas zonas de cisalhamento dúctil, das quais uma das mais notáveis é o lineamento de São Vicente ao longo do qual alinham-se importantes minas como as de Morro Velho, Bicalho, Urubu, Bela Fama e Paciência. Este lineamento corta toda a extensão do *greenstone* dentro do QF, de NW para SE, desde a região de Nova Lima, na serra do Curral, até Mariana, junto ao fechamento do anticlinal de Mariana. Um outro lineamento importante, de mesmo *trend*, é o que contém o depósito aurífero de Juca Vieira, também caracterizado por intensa alteração hidrotermal da rocha hospedeira e sua conseqüente transformação (Scarpelli 1991). Embora este autor tente estabelecer a ligação cogenética entre os depósitos acima mencionados, devido aos seus padrões mineralógicos, geométricos e estruturais similares e também relacioná-los às estruturas formadas devido as forças compressivas de leste para oeste, ou seja, à tectônica brasileira (*thrust belts*), estes lineamentos parecem ser bem mais antigos, tendo sido apenas reativados, com reorientação de suas estruturas de uma posição anterior para a atual. Tal hipótese se baseia em observações referidas no item sobre o evento D<sub>1</sub>, do capítulo Geologia Estrutural.

Estes corpos de minérios associados a veios de quartzo, alteração hidrotermal em zonas de cisalhamento, são extensivos a todas as litologias do Grupo Nova Lima, desde suas unidades máfico-ultramáficas basais, até às seqüências ressedimentadas turbidíticas do topo. As zonas de alteração são caracterizadas por um zoneamento freqüentemente simétrico em torno de núcleos de quartzo fumê, lenticularizados ou "boudinados", desenvolvendo-se de dentro para fora sub-zonas de sericitização, carbonatação e cloritização (Vieira 1988). É no contato da zona de sericitização com o quartzo do núcleo que se desenvolve uma estreita zona de sulfetos disseminados com ouro associado (Vieira & Oliveira 1988; Vieira 1991). Estes são os corpos de minério predominantes nas minas de Bela Fama, Paciência, Viana e Juca Vieira.

Estes corpos de minério mostram-se, em geral, paralelizados com o acamadamento original, exibindo também uma forte foliação de mesma atitude. Os corpos e as zonas de alteração foram formados durante o primeiro evento deformativo-Arqueano- e remobilizados no segundo-Proterozóico (Vieira 1991). Ao primeiro estaria relacionada a geração de zonas de cisalhamento dúcteis, transcorrentes e de empurrão, com dobras isoclinais associadas. O segundo, caracterizar-se-ia por dobras inclinadas, de eixos paralelos ao estiramento e aos eixos de dobras do primeiro evento, com desenvolvimento de empurrões ao seu final. Scarpelli (*op cit.*) também admite origem epigenética ou pelo menos recristalização posterior para a mineralização, baseado nas relações de corte entre o acamadamento original e os planos de foliação portadores de sulfetos nas formações ferríferas. Ladeira (1980, 1991) defende uma origem singenética, via sistema exalativo hidrotermal submarino, com as formações ferríferas e suas mineralizações caracterizados como exalitos típicos.

No quadro 8 (simplificada de Vieira & Oliveira 1988) estão relacionadas, por distrito aurífero, as principais minas de ouro do *Greenstone Belt* Rio das Velhas, com respectivas mineralizações predominantes e rochas hospedeiras. O quadro 9 (Baltazar et al., 1995) sumariza reservas e teores das principais minas, tendo como fonte de dados o Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM.

Depósitos secundários de ouro ocorrem em elúvios-colúvios, aluviões recentes e terraços antigos, tendo seus maiores potenciais no vale do rio Santa Bárbara e dos seus principais formadores como os rios Conceição e Socorro, e ainda o ribeirão Caraça, na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero.

## SERPENTINITOS

Serpentinitos, provenientes de rochas ultrabásicas do Complexo Córrego dos Boiadeiros, são explorados pelas minerações Extramil e Integral no extremo sudeste da quadricula São Sebastião das Águas Claras,

sendo utilizados como fundentes. Também na Unidade Quebra Osso, nas quadrículas Santa Bárbara e Catas Altas no extremo nordeste do QF, rochas ultramáficas como serpentinitos, peridotitos e dunitos são explorados para utilização como fundentes.

## FERRO-MANGANÊS

O Supergrupo Rio das Velhas apresenta-se, ainda, potencialmente favorável a mineralizações secundárias de Ferro-Manganês, similares àquelas de Morro Don'Ana (extremo sudeste

da folha Santa Bárbara), as quais mostram as seguintes características: manganês em quartzo-sericita-grafita xisto na forma de óxidos e hidróxidos, entre eles a pirolusita (polianita) e psilomelano na forma de crosta laterítica na superfície do terreno, preenchendo fraturas com espessuras máximas de 40cm, ou como nódulos e concreções em solo argiloso amarelo-ocre. O ferro ocorre sob a forma de canga, rica em fragmentos de formação ferrífera magnetítica cimentados por óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Apresenta um teor médio de: 58,25% de Fe; 4,02% de SiO<sub>2</sub>; 2,37% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e 0,68% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Quadro 8 - Minas de ouro do Quadrilátero Ferrífero no Grupo Nova Lima (SGRV).

	MINA	MINERALIZAÇÃO PREDOMINANTE	HOSPEDEIRA	OBSERVAÇÕES
DISTRITO DE NOVA LIMA	Morro Velho	Sulfeto	Lapa Seca	Au/Ag
	Bicalho	Sulfeto	Lapa Seca	Au/Ag
	Bela Fama	Veio de quartzo	Tufo Félsico	Au/Ag
	Raposos	Sulfeto	BIF	Au/Ag, S
	Faria	Sulfeto	BIF	Au/Ag
	Morro das Bicas	Sulfeto	BIF	Au/Ag, S ligada à Mina
	Morro da Gloria	Sulfeto	BIF	de Raposos
	Esperança III	Sulfeto	BIF	-
	Santo Antônio	Sulfeto	BIF	-
	Rica	Sulfeto	BIF	-
	Urubu	Sulfeto	BIF	-
	Limoeiro Sul	Qz/Filito	Filito	-
	Luzia da Mota	Qz/Filito	Filito	-
D. CAETÉ	Morcego	Sulfeto	BIF	-
	Cuiabá	Sulfeto	BIF	Au/Ag, S
	Viana	Veio de quartzo	Metabasalto	Au/Ag ligada à Mina
	Juca Vieira	Veio de quartzo	Máfica/Interm.	Cuiabá
D. STA BÁRBARA	Luís Soares	Sulfeto	BIF	-
	São Bento	Sulfeto	BIF	Au/Ag
	Santa Quitéria	Sulfeto	BIF	-
D. OURO PRETO				-
				-
				-
				-
	Bico de Pedra	Sulfeto	Filito	-

Fonte: Vieira & Oliveira, 1988 - Simplificado

Quadro 9 - Principais minas de ouro do *Greenstone Belt* Rio das Velhas.

MINA	RESERVA(milhões/ton.)	TEORES(g/t Au)
01- Cuiabá	11,20	8,49
02- Lamego	1,70	5,69
03- Juca Vieira	-	-
04- Raposos	4,30	6,27
05- Morro Velho	6,60	10,00
06- Bela Fama	0,11	6,57
07- Bicalho	0,34	7,42
08- Faria	0,40	6,23
09- Morro da Glória	0,08	8,09
10- São Bento	0,47	5,40
11- Córrego do Sítio *	0,70	2,90

Fontes: DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

\*Takai, et al. (1991)



## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O Projeto Rio das Velhas insere-se no Programa de Distritos Mineiros, do DNPM, e de Províncias Mineraias, da CPRM.

O somatório de informações reunidas em pouco mais de três anos de trabalho (setembro de 1992 a dezembro de 1995) permite que se conclua por aspectos políticos e técnicos. Em primeiro lugar deve-se destacar o acerto da política de estudos dos distritos mineiros; a sólida parceria DNPM/CPRM, mais uma vez se mostrou eficaz, desta vez encarando o desafio de investigar em detalhe uma região extremamente complexa e problemática como o Quadrilátero Ferrífero. (O mapa gerado através do convênio DNPM/USGS, divulgado no final da década de sessenta, a quase trinta anos, não apresentava uma divisão estratigráfica para o Grupo Nova Lima).

A receptividade do Projeto, por parte da comunidade universitária e empresarial, é inquestionável e pode ser atestada pelas manifestações de apoio recebidas e pelo interesse demonstrado na obtenção de dados técnicos. O interesse pelo Greenstone Belt Rio das Velhas no meio acadêmico reflete-se no número de teses de doutorado e dissertações de mestrado em andamento, com alunos provenientes de diversas universidades brasileiras. Estágios foram concedidos a estudantes alemães. Profissionais de empresas de mineração mantiveram contatos permanentes com a equipe do Projeto na troca e busca de informações. Esta abertura permitiu a avaliação da qualidade técnica do Projeto

durante sua execução. Este exemplo, bem sucedido, está sendo estendido para a região de Crixás-Pilar-Guarinos, em Goiás.

Do ponto de vista técnico, pode-se concluir como os mais importantes, os seguintes:

1. Pela primeira vez o (greenstone belt) Rio das Velhas foi cartografado na escala 1:25.000, de maneira sistemática e integral no Quadrilátero Ferrífero, estabelecendo-se uma proposta de divisão estratigráfica e tectônica.
2. A divisão estratigráfica levou em conta aspectos litológicos, estruturais (sedimentares e ígneos) e químicos, reconhecendo-se, do ponto de vista da ambiência geológica, as associações metavulcânica/plutônica máfica-ultramáfica, metavulcano-sedimentar química, metassedimentar química-pelítica, metavulcano-sedimentar clástica, metassedimentar clástica marinha (ressedimentada) metassedimentar clástica não-marinha (litorânea e fluvial).
3. A divisão tectônica representa uma proposta ainda a ser testada em maior profundidade. Está apoiada em observações estruturais (deformação), e metamórficas que se complementam com os critérios utilizados para a divisão estratigráfica. Os quatro blocos (domínios) tectônicos sugeridos (Nova Lima, Caeté, Santa Bárbara e São Bartolomeu) estão separados pelas falhas (ou sistemas de falhas) Bem-Te-Vi, São Vicente e Fundão. Desses quatro blocos, apenas o Bloco Caeté tem a seqüência estratigráfica completa, em

nível de Grupo ou ambiência geológica. O Bloco Nova Lima, o mais a oeste, não registra o Grupo Maquiné. No Bloco Santa Bárbara, o mais a leste, não foi possível reconhecer representantes de um domínio vulcanoclástico subaquático, identificados nos Blocos Nova Lima e Caeté.

No Bloco São Bartolomeu; o mais ao sul, foram reconhecidas apenas as unidades sedimentares do topo do Grupo Nova Lima (sedimentar marinho) e do Grupo Nova Maquiné (marinho raso, litorâneo e continental).

4. A natureza da sedimentação do Bloco São Bartolomeu mostra uma proveniência distinta em relação a dos outros blocos. Dominam metagrauvacas com freqüentes intercalações de rochas carbonáticas, calciossilicáticas, metaultramáficas (metamargas) e para-anfibolitos. As metagrauvacas mostram contribuição de fonte mista (granítica+vulcanogênica), não-depletadas, reunidas na Unidade Catarina Mendes. Embora essas litologias tenham sido reunidas ao Greenstone Belt Rio das Velhas, trabalhos mais detalhados poderão atribuí-las a uma outra bacia de sedimentação, correlacionável a seqüências similares expostas ao sul do Quadrilátero Ferrífero, na região de Conselheiro Lafaiete.
5. O metamorfismo é da fácies xisto verde nos litótipos dos blocos Nova Lima, Caeté e Santa Bárbara, tendo atingindo a fácies anfibolito no Bloco São Bartolomeu.
6. A Geofísica é ferramenta extremamente importante e poderosa para esse tipo de estudo em distritos mineiros, mas não é fator impeditivo para sua execução. Os canais que se mostraram mais favoráveis à cartografia geológica foram os radiométricos, principalmente de contagem total (U, Th, K) e de potássio.
7. Embora sendo um Greenstone de idade arqueana, são abundantes as estruturas primárias ígneas e sedimentares. Dentre elas destacam-se texturas spinifex, quench, brechas subaquosas hialoclásticas, texturas ortocumuladas e cumuladas (Unidade Quebra Osso); pillow lavas, variolas, cumulus (Unidade Ouro Fino).

Estruturas do tipo turbidítica; acamamento gradacional, estratificações plano-paralela e cruzada (Unidades Córrego do Sítio, Mindá, Catarina Mendes e outros). Nos litótipos do Grupo Maquiné preservam-se estruturas dos tipos estratificação gradacional, cruzada acanalada e tabular de pequeno e grande porte, marcas, ondas assimétricas, herring bone e tidal bundle.

8. A evolução estrutural do GBRV é interpretada em três eventos deformacionais, dois de natureza compressional e um extensional intermediário.
9. O estudo litogeoquímico permitiu uma série de conclusões, apresentadas no próprio capítulo de Petrologia e Litogeoquímica. Destacamos, aqui, a história evolutiva apresentada em três estágios: 1) Estágio Extensional (rifteamento de possível crosta TTG, magmatismo e sedimentação); 2) Estágio Compressional Inicial - Pré-Colisional (subducção ou processo similar, fusão parcial e vulcanismo); 3) Estágio Compressional Final-Colisional (sedimentação também continental de fontes mistas).
10. Do ponto de vista econômico, o bem mineral mais importante é o ouro, tendo como subprodutos a prata e enxofre. São conhecidos, também, depósitos de manganês e ferro de menor importância, além de serpentinitos utilizados como fundentes.

Por essas conclusões é recomendável que se adote os seguintes procedimentos futuros como forma de se investigar a totalidade da Província Mineral do Quadrilátero Ferrífero:

- Digitalização das Cartas Geológicas 1:25.000 (incluindo o Supergrupo Minas)
- Avaliação tipológica preliminar dos jazimentos de ouro
- Caracterização geofísica-geológica das mineralizações auríferas
- Mapeamento geológico do Greenstone Belt na periferia do Quadrilátero Ferrífero

- Roteiro para excursão técnica
- Impressão do mapa geológico integrado e texto explicativo
- Workshop sobre o Greenstone Belt Rio das Velhas em períodos continuados.
- Aerolevanteamento geofísico de toda a Província Mineral do Quadrilátero Ferrífero
- Atualização do conhecimento sobre o Supergrupo Minas.





## BIBLIOGRAFIA

- ALKMIN, F. F.; JORDT EVANGELISTA, H.; MARSHAK, S.; BRUECKNER, H. 1994. Manifestações do evento Transamazônico no Quadrilátero Ferrífero, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38 Camboriú, 1994. *Boletim de Resumos Expandidos*. Camboriú, SBG, v. 1. p. 75-76.
- ALLEN, J. R. 1963. The classification of cross-stratified units with notes on their origin. *Sedimentology*, 2: 93-114.
- ALMEIDA, F. F. M. 1976. Estruturas do Pré-Cambriano inferior brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA., 29, Ouro Preto, 1976. Resumos. Belo Horizonte, SBG, p. 201 - 202
- BABINSKI, M.; CHEMALE JR., F.; VAN SCHMUS, W. R. 1991. Geocronologia Pb/ Pb em rochas carbonáticas do Supergrupo Minas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA., 3. São Paulo, 1991. Anais... São Paulo, SBGq, v.1, p. 628-631.
- BALTAZAR, O. F. & RAPOSO, F. O. 1993. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Folha SF.23-X-B-I - Mariana. Estado de Minas Gerais. Escala 1:100.000. Brasília, DNPM/CPRM, 183p.
- BALTAZAR, O. F.; CORRÊA NETO, A. V.; SILVA, L. C.; SILVA, S. L.; ZUCCHETTI, M.; PIVA PINTO, C. 1995. A New approach on the Rio das Velhas greenstone belt geology and stratigraphy (Minas Gerais State, Brazil). In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 9. Caracas, 1995. Anais ... Caracas.
- BALTAZAR, O. F.; ROSIÈRE, C. A.; CORRÊA NETO, A. V.; SILVA, J. N. 1995. Geologia Estrutural do Grupo Maquiné, Supergrupo Rio das Velhas, na porção central do Quadrilátero Ferrífero (MG). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 5. Gramado, 1995. *Boletim de Resumos Expandidos*. Gramado, SBG - Núcleo RS. p.11-13.
- BALTAZAR, O.F.; CORRÊA NETO, A.V.; SILVA, S.L.; ZUCHETTI, M.; CARVALHO, J.B.; RAPOSO, F. O. 1994. Uma Tentativa Preliminar de Aplicação da Estratigrafia de Seqüências ao Greenstone Belt Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero (MG). In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 38. Camboriú, 1994. *Boletim de Resumos Expandidos*. Camboriú, SBG, v. 1, p. 82-83.
- BARKER, F. 1979. Trondhjemite: definition, environment and hypotheses of origin. In: BARKER F, ed. *Trondhjemites, Dacites, and Related Rocks*. Amsterdam, Elsevier. p. 1-12.
- BOULLIER, A. M. & BOUCHEZ, S. L. 1978. Le quartz en rubans dans les mylonites. *Bull. Soc. Geol. France*, 20 (3): 253-262.
- BOUMA, A. H. 1962. *Sedimentology of some flysch deposits*. Amsterdam, Elsevier, 198p.

- BUTLER, R. W. H. 1982. The terminology of structures in thrust belts. *Journal of Structural Geology*, 4(3): 239-45.
- CHEMALE Jr. F., ROSIÈRE, C. A.; ENDO, I. 1991. Evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais - Um modelo. *Pesquisas* 18(2): 104-127.
- CHEMALE JR., F; ROSIÈRE, C.A.; ENDO, I..1994. The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Precambrian Research*, 65: 25-54.
- COLVINE, A. C., FYON, J. A., HEATHER, K. B., MARMONT, S., SMITH, P. M., TROOP, D. G. 1988. Archean Lode Gold Deposits in Ontario. *Ontario Geological Survey, Miscellaneous Papers*, 139. 136 p.
- CONDIE, K. C. 1981. *Archean Greenstone Belts*. Amsterdam, Elsevier 434 p.
- CORRÊA NETO, A. V. & BALTAZAR, O. F. 1995. Compartimentação Estrutural do *Greenstone Belt* Rio das Velhas no interior do Quadrilátero Ferrífero, MG. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 5-SNET 95. Gramado, 1995. *Boletim de Resumos Expandidos*. Gramado, SBG. Núcleo RS. p. 15-17.
- CORRÊA NETO, A. V. & BALTAZAR, O. F. 1995. Evolução estrutural do *Greenstone Belt* Rio das Velhas no interior do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Belo Horizonte, CPRM, 1995. (Relatório interno).
- CORRÊA NETO, A. V.; BALTAZAR, O. F.; SILVA, S. L. 1994. Evolução Estrutural do Setor Setentrional do *Greenstone Belt* Rio das Velhas (MG). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38. Camboriú, 1994. *Boletim de Resumos Expandidos*, Camboriú, SBG. v. 1, p. 69 - 70.
- COSTA, A. G. et al. 1992. Evolução metamórfica e estrutural para rochas do Complexo Básico-Ultrabásico da região de Manhauçu-Ipanema, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37. São Paulo, 1992. *Boletim de Resumos*. São Paulo, SBG, v. 1, p. 420.
- COSTA, C. S.; COSTA, A. G.; ROSIÈRE C. A. 1992. Considerações preliminares sobre a ambiência magmática das rochas ultramáficas do Complexo Córrego dos Boiadeiros, Quadrilátero Ferrífero, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37. São Paulo, 1992. *Boletim de Resumos Expandidos*, São Paulo SBG, p. 455-456.
- ✓ DORR II, J. V. N. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 641A: 110p.
- ✓ DORR II, J. V. N. II; GAIR, J. E.; POMERENE, J. B.; RYNEARSON, G. A. 1957. Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero, Brazil. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM, 31p. (Avulso 81).
- DOSSIN, T. M.; DOSSIN, I. A.; CHARVET, J.; BONHOMME, M. G. 1995. K/Ar chronology of a Mesozoic dike swarm from southern Espinhaço Region (SE Brazil). *Journ South Am. Earth Sc.* 8:47-53.
- EINSELE, G. 1992. *Sedimentary Basins: evolution, facies and sediment budget*. s. l. Springer-Verlag, 628p.
- ENDO, I. & FONSECA, M. A. 1992. Sistema de cisalhamento Fundão-Cambotas no Quadrilátero Ferrífero - MG: Geometria e Cinemática. *Revista da Escola de Minas*. SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 6. Ouro Preto, SBG, Núcleo Minas Gerais, 1991. 56(45): 28-31.
- ERIKSSON, K. A.; KIDD, W. S. F.; KRAPEZ, B. 1988. Basin analysis in regionally metamorphosed and deformed early Archen Terrains: Examples from Southern Africa and Western Australia. In: KLEINSPEH, K. L.; PAOLA, C. ed. *New Perspectives in Basin Analysis*. New York, Springer. p. 372-404.
- FARACO, M. T. L. & McREATH, I. 1990. Petrologia e geoquímica das rochas a antofilita-cordierita e a quartzo-clorita da Suíte Metamórfica Vila Nova na Serra do Ipitinga (NW do Pará). In: CONGRESSO

- BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36. Natal, 1990. *Boletim de Resumos*. Natal, SBG, p.209.
- FLEISHER, R. & ROUTHIER, P. 1973. The consanguineous origin of a tourmaline-bearing gold deposit: Passagem de Mariana (Brasil). *Econ. Geol.*, 68 (1): 11-22.
- FRYER, B.J., 1983. Rare earth elements in iron-formations. In: TRENDALL, A.F.; MORRIS, R.C. (Eds.). *Iron-formation: Facts and Problems*. Elsevier, Amsterdam, pp. 345-358
- GAIR, J. E. 1962. Geology and ore deposits of the Nova Lima and Rio Acima quadrangles, Minas Gerais, Brazil. U. S. Geological Survey Professional Paper, 341-A. 65p.
- GÉLINAS, L. & BROOKS, K. L. 1972. Archean quench-texture tholeiites. *Can J. Earth Sci.*, v.11, p. 324-240
- GÉLINAS, L.; BROOKS, C.; TREIENSKI, W. E. 1976. Archean variolites-quench immiscible liquids. *Can J. Earth Sci.* 13, p. 210-230.
- HASKIN, L. A.; HASKIN, F. A.; FREY, F. A.; WILDEMAN, T. R. 1968. Relative and absolute terrestrial abundance of the rare earths. In: *Origin and Distribution of the Elements*. New York, Pergamon Press, p. 889-912.
- HELLMAN, P. L. & HENDERSON, P. 1977. Are earth elements mobile during spilitisation? *Nature*. 267(5): 38-40.
- IRVINE, T. N. & BARAGAR, W. R. A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. F. Earth Sci.*, 8: 523-544.
- JACKSON, M. P. A. & TALBOT, C. J. 1989. Anatomy of Mushroom-shaped diapirs. *Journal of Structural Geology*, 11 (1/2): 211-230.
- JENSEN, L. S. 1976. A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks; Ontario Division of Mines, MP 66, 22p.
- JULIANI, C. & AGUILAR, A. P. 1994. Petrografia de granada-cordierita-cumingtonita anfibolitos da Serra de Itaberaba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, Camboriú, 1994. *Boletim de Resumos Expandidos*. Camboriú, SBG, v. 3, p.98-99.
- JULIANI, C.; SCHORSCHER, H. D.; AGUILAR, A. P.; BELJAVSKIS, P. 1992. Cordierita-granada-cumingtonita anfibolitos no Grupo Serra de Itaberaba (SP): evidências de alterações hidrotermais-metassomáticas pré-metamórficas. *Boletim IG-USP. Publicação Especial n.12*, p. 59-61.
- LADEIRA, E. A. 1980. Metallogenesis of Gold at the Morro Velho Mine and in Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. London/Canadá. 272p. (Thesis Ph. D. - Faculty of Graduate Studies of the University of Western Ontario).
- LADEIRA, E. A. 1981. Primeiras lavas com almofadas (pillows) encontradas no Supergrupo Rio das Velhas, de idade arqueana, no Quadrilátero Ferrífero e no Distrito de Pitangui, MG. *Ciências da Terra*, 1(1): 12-14.
- LADEIRA, E. A. 1985. Metalogênese do ouro na Mina de Morro Velho e no Distrito de Nova Lima, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. In: GROSSI SAD, J. H. & BARCELLOS DA SILVA, A. - *Contribuições à Geologia e à Petrologia*. Belo Horizonte, SBG/CBMM, p. 95-151. (B. Especial SBG - Núcleo MG).
- LADEIRA, E. A. 1991. Genesis of gold in Quadrilátero Ferrífero: A remarkable case of permanency, recycling and inheritance - A Tribute Djalma Guimarães, Pierre Routhier and Hans Ramberg. In: Ladeira, E. A. ed. *Brazil Gold'91*. Belo Horizonte. p. 11 - 30.
- LE MAITRE, R. W., ed. 1989. A classification of igneous rocks and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. London, Blackwell, 204p.
- LE MAITRE, R. W. 1989. *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. Oxford, Blackwell Sci. Pub. 193p.

- LISTER, G. S. & SNOKE, A. W. 1984. S-C mylonites. *Journal of Structural Geology*. 6:617-638.
- LOCZY, L. símbolo 38 \f "Symbol" \s 12  
LADEIRA, E. A. 1976. Geologia Estrutural e Introdução à Geotectônica. São Paulo, Edgard Blücher, 528 p.
- LOTTERMOSER, B. G. 1989. Rare earth elements studies in exhalites within the Willyama Supergroup, Broken Hill Block, Austrália. *Mineralium Deposit.* v. 24, p. 92-99.
- MACHADO, N. & CARNEIRO, M. A. 1992. U-Pb evidence of late Archaean tectono-thermal activity in the southern São Francisco shield, Brazil; *Can. Earth Sci.* 29 (11): 2341-46
- MACHADO, N. & NOCE, C. M. 1993. A evolução do Setor Sul do Cráton São Francisco entre 3,1 e 0,5 Ga baseada em geocronologia U-Pb. In: SIMPÓSIO. CRATON SÃO FRANCISCO, 2, Salvador, 1993. Anais... Salvador, SBG-BA, SE/SBG. p.100-102.
- MACHADO, N.; NOCE, C. M.; FENG, R. 1993. Idades  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  de zircões detríticos de rochas metassedimentares da região do Quadrilátero Ferrífero, sul do Cráton do São Francisco: Considerações sobre áreas-fonte e idades de sedimentação. In: SIMP. CRATON SÃO FRANCISCO, 2. Salvador, 1993. Anais... Salvador, SBG-BA, SE/SGM, p.149-151.
- MACHADO, N.; NOCE, C. M.; LADEIRA, E. A.; BELO DE OLIVEIRA, O. A. 1992. U-Pb geochronology of Archean magmatism and Proterozoic metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, southern São Francisco Craton, Brazil. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 104:1221-1227
- MACHADO, N.; SCHRANK, A.; ABREU, F. R.; KNAUER, L. G.; ABREU, P. A. A. 1989. Resultados preliminares da geocronologia U/Pb na Serra do Espinhaço Meridional. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 5. Belo Horizonte, 1989. Belo Horizonte, SBG, Bol. 10, p.171-174.
- MACHADO, N.; SCHRANK, A.; NOCE, C. M.; GAUTHIER, G. 1996. Ages of Detrital Zircon from Archean-Paleoproterozoic Sequences: Implications for greenstone belt setting and evolution of a Transamazonian Foreland Basin in Quadrilátero Ferrífero, SE Brazil; *ELSZ* (no prelo).
- MARINI, O. J. 1993. Filosofia do programa Distritos Mineiros do DNPM e aerogeofísica prospectiva: O exemplo do Projeto Rio das Velhas. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOC. BRAS. GEOF., 3. Rio de Janeiro, 1993. Anais... Rio de Janeiro, SBGf, v. 2, p. 434-438.
- MAXWELL, C. H. 1960. Geologic map of the Santa Rita Durão Quadrangle, Minas Gerais, Brazil. U. S. Geological Survey Professional Paper, 341-J, Escala 1:25.000.
- MESCHEDE, M. 1986. A method. of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y. *Chemical Geology*, vol. 56, pp. 207-218.
- MUTTI, E. 1992. Turbidite Sandstones, S. Donato Milanese, Agip S. p. A., 275 p.
- NALINI Jr, H. A.; ROSIÈRE, C. A.; ENDO, I. 1992. Sobre a geologia estrutural do anticlinal de Mariana, região sudeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: Uma revisão. *Revista da Escola de Minas*, 45 (1/2): 18-20
- NOCE, C. M. 1995. Geocronologia dos eventos de magmáticos, sedimentares e metamórfico na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. São Paulo. 128p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).
- NOCE, C. M.; MACHADO, N.; TEIXEIRA, W. 1994. O Complexo Belo Horizonte e a evolução arqueana do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38. Camboriú, 1994. Boletim de Resumos Expandidos. Camboriú, SBG, v. 1. p.68-69.
- O'ROURKE, J. E. 1957. The Stratigraphy of metamorphic rocks of the rio de Pedras and Gandarela Quadrangles, Minas

- Gerais, Brazil. 106p. (Thesis PhD-University of Wisconsin).
- OJAKANGAS, R. W. 1985. Evidence of Early Proterozoic Glaciation: the dropstone unit diamictite association. *Geol. Survey of Finland Bull* 331: 51 - 72.
- OLIVEIRA, G. A. E.; CLEMENTE, P. L. C.; VIAL, D. S. 1983. Excursão à Mina de Ouro de Morro Velho. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 2, Belo Horizonte, 1983. Anais... Belo Horizonte, SBG, Bol. 3, p.497-505.
- PADILHA, A. 1984. Formação Córrego dos Boiadeiros, uma seqüência komatiítica na base do Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas - Quadrilátero Ferrífero - MG. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33. Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, SBG. v. 6, p. 2668-2679.
- PARK, R. G. & TARNEY, J. 1987. The lewisian complex: a typical pre-cambrian high-grade Terrain? In: PARK, R. G. & TARNEY, J. ed.. Evolution of the Lewisian and comparable pre-cambrian high-grade terrains. Oxford. Blackwell. p.13-25.
- PEARCE, J. A. & CANN, J. R. 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace elements analysis. *Earth Plan. Sci. Let.*, 19:290-300.
- PEDREIRA, A. J. 1995. Observações sobre a sedimentologia do "Greenstone Belt" Rio das Velhas. Salvador, CPRM, 14p. Jun. (Relatório Interno).
- PEDREIRA, A. J. 1995. Associações de litofácies do Supergrupo Rio das Velhas. Salvador, CPRM, 4p. (Relatório Interno).
- PETTIJOHN, F. J. 1975. *Sedimentary Rocks*. 3 ed. New York, Harper and Row. 628p.
- PINTO C. P. & SILVA, L. C. 1996. "Contrasting Tectono - Stratigrafic Domains in the Rio das Velhas Greenstone Belts (RVGB), MG, Brazil". In: SIMPÓSIO DE TERRENOS ARQUEANOS DA PLATAFORMA SUL-AMERICANA, 1. Brasília, 1996. Anais... Brasília, SBG.
- PIRES, F. R. M.; HEES, F. J.; XAVIER, E. M. 1990. Turmalinito Nova Lima na auréola do Complexo Bação, Quadrilátero Ferrífero, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36. Natal, 1990, Boletim de Resumos. Natal, SBG, p.216.
- RAPOSO, F. O. 1996. Formações Ferríferas e metassedimentos químicos de áreas selecionadas do Quadrilátero Ferrífero e seu papel como possíveis fontes dos conglomerados da área. Belo Horizonte. 136p. (Dissertação de Mestrado Instituto de Geociências da Universidade de Minas Gerais).
- RENGER, F. E.; NOCE, C. M.; ROMANO, A. W.; MACHADO, N. 1994. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Geonomos*, 2(1): 1-11.
- RIBEIRO RODRIGUES, L. C.; CHEMALE Jr, F.; JOST, H. 1993. O sistema de falhas do Caraça. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 4. Belo Horizonte, 1993. Anais... Belo Horizonte, SBG. p. 226-229.
- RODRIGUES, F. A. C.; COSTA, A. F.; SOUZA, R. A. C.; ROSIÈRE, C. A. 1989. Sistemas de Cavalgamento do Nordeste do Quadrilátero Ferrífero. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 5. Belo Horizonte, 1989. Anais... Belo Horizonte, SBG, Bol. 10, p.6-10.
- ROMANO, A. W. 1989. Évolution tectonique de la région nord-ouest du Quadrilatère Ferrifère - Minas Gerais- Brésil (Géochronologie du socle - Aspects géochimiques et pétrographiques des Supergroupes Rio das Velhas et Minas). Nancy 259p. (Tese de Doutorado, Geoscience et Matemaux, Universite de Nancy I).
- RYNEARSON, G. A.; POMERENE, J. B.; DORR II, J. V. N. 1954. Contato basal da Série de Minas na parte ocidental do Quadrilátero Ferrífero - Minas Gerais, Brasil. DNPM/DGM. 18p. (Avulso,34).
- SANTOS, B. A. 1995. Brasil, Oportunidade real de investimento em mineração: o

- potencial mineral brasileiro. Ouro símbolo 45 \f "Symbol" \s 12 O potencial brasileiro. Salvador, 1995. (Palestra proferida no Congresso Brasileiro de Mineração, 6).
- SCARPELLI, W. 1991. Aspects of gold mineralization in the Iron Quadrangle, Brazil. In: LADEIRA, E. A. ed. Brazil Gold'91, Belo Horizonte, p.151-157.
- SCHORSCHER, H. D. 1976. Polimetamorfismo do Pré-Cambriano na região de Itabira, MG, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29. Ouro Preto, 1976. Resumos. Ouro Preto, SBG, p. 194-195.
- SCHORSCHER, H. D. 1978. Komatiitos na estrutura "greenstone belt" Série Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE GEOLOGIA, 30, Recife, 1978. Anais... Recife, SBG, v. 1, p. 292-293.
- SCHORSCHER, H. D. 1979. Evolução geotectônica e petrogenética do embasamento arqueano do Quadrilátero Ferrífero. Anais Acad. Bras. Ciên. Rio de Janeiro 51(4): p.767-768.
- SCHORSCHER, H. D. 1992. Arcabouço petrográfico e evolução crustal de terrenos pré-cambrianos do sudeste de Minas Gerais. Quadrilátero Ferrífero, Espinhaço Meridional e domínios granito-gnáissicos adjacentes. São Paulo. 393p. (Tese de Livre-Docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo).
- SCHRANK, A.; SOUZA FILHO, C. R.; FERRARI, M.; PAIXÃO, M.; PIRES, P.; PRADO, I.; BARROETO, H.; MORA, P. (1993). Nova ocorrência de rochas com textura spinifex no Grupo Nova Lima - Distrito de Caeté, MG. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 7. Belo Horizonte, 1993. Anais... Belo Horizonte, SBG, p. 123-127.
- SCHRANK, A.; SOUZA FILHO, C. R.; ROIG, H. L. 1991. Novas observações sobre as rochas ultramáficas do Grupo Quebra Osso e Formação Córrego dos Boiadeiros, Greenstone Belt Rio das Velhas (MG). Cadernos IGC/UNICAMP, 1(1): 6-29.
- SELLEY, R. C. 1988. Applied Sedimentology. London, Academic Press, 446p.
- SILVA, A. M. 1992. Geologia e petroquímica dos enxames de diques máficos do Quadrilátero Ferrífero e Espinhaço Meridional, M.G. Brasília. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociência, Universidade de Brasília).
- SILVA, A. M.; CHEMALE Jr., F.; KUYUMJIAN, R. M.; HEAMAN, L. 1996. Mafic dykes swarms of Quadrilátero Ferrífero and Meridional Espinhaço, Minas Gerais State, Brazil. Journ Am. Earth Sci. (no prelo).
- SILVA, A. M.; KUYUMJIAN, R. M.; CHEMALE Jr., F. 1991. Mafic dykes swarms in the southern São Francisco Craton, Southeastern Brazil. In: INTER. SYNP. ON MAFIC DYKES, 3. São Paulo, 1991. Ext. Abstr. São Paulo, p.90-93.
- SILVA, L. C. 1983. Basalto variolítico com matriz ultramáfica quenched. Primeiras evidências de derrames komatiíticos (?) na seqüência vulcanosedimentar Rio Itajaí-Mirim (SC). SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1. Porto Alegre, 1993. Atas... Porto Alegre, SBG, p. 260-271.
- SILVA, L. C. 1991. A preliminary evaluation of the Brazilian Archean and Proterozoic strata-bound tourmalinites and their significance as potential gold deposits. In: LADEIRA, E. A., ed. Brazil Gold 91. Rotterdam: Balkema, p.241-246.
- SLACK, J. F. 1993. Models for tourmaline formation in the Middle Proterozoic Belt and Purcell supergroups (Rochy Mountains and their exploration significance. Current Research , Part E); Geological Survey of Canada, Paper 93-1E p.33-40.
- SUGUIO, K. & BIGARELLA, J. J. 1990. Ambientes Fluviais. Editora da UFSC, 183p.
- SUN, S. S. 1982. Chemical composition and origin of the Earth's primitive mantle. Geochim. Cosmochim. Acta,

- 46 : 179 - 192.
- TAKAI, V.; PINTO, L. C.; DUCHINI Jr., J. 1991. Córrego do Sítio Gold deposit. In: LADEIRA, E. A., ed. Brazil Gold'91 Belo Horizonte, p. 811 - 816.
- TAYLOR, S. R. & McLENNAN, S. M. 1985. The continental crust: its composition and evolution (an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks) Oxford. Blackwell, 312 p.
- TEIXEIRA, N. A & KUYUMJIAN, R. M. 1991. The Mateus Leme-Pitangui hidrotermal zone: do they represent a fossil hot spring system in Rio das Velhas Greenstone Belt, Central Brazil? In: LADEIRA, E. A. ed. Brazil Gold' 91. Rotterdam: Balkena, p.171-177.
- TEIXEIRA, N. A. & AITA, L. 1986. Contexto geológico das ocorrências de pirofilita entre Pitangui-Mateus Leme, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Goiânia, 1986. Anais... Goiânia, SBG, Bol. 1, p.97-98.
- TEIXEIRA, W. 1985. A evolução geotectônica da porção meridional do Craton do São Francisco com Base em interpretações geocronológicas. São Paulo. 207p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociência da Universidade de São Paulo).
- TEIXEIRA, W.; CARNEIRO, M.A.; NOCE, C.M.; MACHADO, N. & TAYLOR, P.N., 1994 - Evolução Policíclica Arqueana dos Complexos Arqueanos da Porção Meridional do Craton do São Francisco, com base em Evidências Isotópicas de Sr, Pb e Nd. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, Camboriú, 1994, pp 71-72.
- THORPE, R. I.; CUMMING, G. L.; KRSTIC, D. 1984. Lead isotope evidence regarding age of gold deposits in the Nova Lima District, Minas Gerais, Brazil. Rev. Bras. Geoc., 14: 147-152.
- TUCKER, M. E. 1982. The Field Description of Sedimentary Rocks, Milton Keynes, The University Press, 112p. (Geol. Soc. London Handbook Series).
- VIAL, D. S. 1980. Geologia da mina de ouro de Ricalho. In: CONG. BRAS. GEOL., 31. Camboriú, 1980. Anais..., Camboriú, SBG, v.3, p. 1851-1860.
- VIAL, D. S.; FERREIRA Jr, M. G.; FERRARI, P. G. 1987. A Lapa Seca na mina de Morro Velho: Metavulcanitos alterados hidrotermalmente. In: SIMPÓSIO GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 4, Belo Horizonte, 1987. Anais... Belo Horizonte, SBG, Bol. 7, p.369-390.
- VIEIRA, F. W. R. & OLIVEIRA, G. A. I. 1988. Geologia do Distrito Aurífero de Nova Lima, Minas Gerais. In: SCHOBENHAUS, C. & COELHO, C. E. S., coord. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, DNPM/CVRD, v.3, p. 377-391.
- VIEIRA, F. W. R. 1987. Novo contexto geológico para a Mina de Ouro de Raposos. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 4, Belo Horizonte, 1987. Anais... Belo Horizonte, SBG, Bol. 7.. p. 343-347.
- VIEIRA, F. W. R. 1988. Processos epigenéticos de formação dos depósitos auríferos e zonas de alteração hidrotermal do Grupo Nova Lima, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35. Belém, 1988. Anais... Belém, SBG, v. 1, p. 76 - 86.
- VIEIRA, F. W. R. 1991. Petrologia e litogeoquímica do setor W do Greenstone Belt Rio das Velhas, MG. Nova Lima, Mineração Morro Velho S.A., 17p. (Relatório Interno).
- VIEIRA, F. W. R. 1991. Texture and processes of hydrothermal alteration and mineralization in the Nova Lima Group, Minas Gerais, Brazil, In: LADEIRA, E. A., ed. Brazil Gold '91. Rotterdam: Balkena, p.319-325.
- WALKER, R. G. 1984. *Facies Models*. Geoscience Canada, Reprint Series 1 p. 39-52
- WILSON, M. 1989. *Igneous Petrogenesis*. UKnwin-Hyman, 466p.
- WINCHESTER, J. A. & FLOYD, P. A. 1976. Geochemical magma-type discrimination: application to altered and meta-

morphosed basic igneous rocks. *Earth Planet. Sc. Lett.*, 28: 453-469.

WINKLER, H. G. F. 1967. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. New York, Springer-Verlag, 348p.

YARDLEY, B. W. D. 1989. *Introdução à Petrologia Metamórfica*. Brasília, Edunb. 340p.

