

Programa de Pós-Graduação em Geociências

Mestrado e Doutorado - Porto Alegre

**OS FILITOS CARBONOSOS DO PASSO DO
MARMELEIRO, SUL DE IBARÉ, RS
CARACTERIZAÇÃO E ABORDAGEM GENÉTICA
DA GRAFITA**

ALESSANDRO SILVA DE OLIVEIRA

ORIENTADORA: GÊNNOVA MARIA PULZ

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. André Sampaio Mexias - UFRGS

Prof. Dr. Egydio Menegotto - UFSM

Prof. Dr. Francisco Egidio Pinho - UFMT

**Dissertação de mestrado apresentada
como requisito parcial para obtenção do Título
de Mestre em Geociências.**

Porto Alegre - 2003

Oliveira, Alessandro Silva de

Os filitos carbonosos do Passo do Marmeleiro, Sul de Ibaré, RS
Caracterização e abordagem genética da grafita. / Alessandro Silva
de Oliveira - Porto Alegre : UFRGS, 2003.

[118 f.] il.

Dissertação (Mestrado). - Universidade Federal do Rio Grande
do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em
Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2003.

1. Isótopos de Carbono. 2. Difração de Raios X. 3. Filito
Carbonoso. 4. Marmeleiro. 5. Grafita. 6. Grafite. I. Título.

Catálogo na Publicação
Biblioteca Geociências - UFRGS
Renata Cristina Grün CRB10/1113

AGRADECIMENTOS

O autor externa seu reconhecimento a diversas pessoas e instituições. Apesar de correr o risco de omitir algum nome, o autor deixa aqui registrada sua gratidão a todos aqueles (as) que contribuíram para esta titulação tão importante:

✦ Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGeo), Instituto de Geociências – UFRGS, que estando em sinergia com instalações, instituições e pesquisadores renomados oportunizaram ao mestrando aperfeiçoamento profissional e pessoal durante a elaboração deste trabalho;

✦ Ao corpo docente da UFRGS pelas aulas, entrevistas e reuniões em gabinete, que foram sem sombra de dúvida, imprescindíveis para realização deste trabalho, bem como para o meu aperfeiçoamento profissional;

✦ A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado;

✦ A FAPERGS – PADCT – FINEPE (Processo nº 01/1517-8), pelo suporte financeiro para esta pesquisa, incluindo trabalhos de campo, análises litogeoquímicas e aquisição de equipamentos científicos fundamentais para o sucesso deste estudo. Assim como pelo apoio no registro e divulgação dos resultados;

✦ Ao PRONEX – Programa de Apoio a Núcleos de Excelência – (PRONEX/FINEP/UFRGS Processo nº 76971/006-00), em especial ao seu coordenador, Prof. Dr. Milton Luiz Laquintinie Formoso.

✦ À Prof. Dr^a Gênova Maria Pulz pelas inúmeras discussões e sugestões durante o desenvolvimento do trabalho, bem como pelas infundáveis correções em meus manuscritos;

✦ Aos funcionários dos Laboratórios de Geoquímica, Difração de Raios X e Microsonda Eletrônica e do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica (IG/UFRGS), pelo auxílio incansável na obtenção dos dados.

✦ Aos funcionários do Programa de Pós-Graduação em Geociências, bem como aos funcionários do laboratório de laminação e pessoal administrativo do Instituto de Geociências da UFRGS pelo apoio administrativo.

✦ Aos motoristas do Instituto de Geociências companheiros e amigos de estrada, senhores Cláudio, Porto, Adalto e Jarson.

✦ Às bibliotecárias do Instituto de Geociências/ UFRGS pelo auxílio nas citações bibliográficas.

✦ À pesquisadora Maria do Carmo Lima e Cunha e Prof. Roberto Cunha pelo companheirismo e incentivo

✦ Aos colegas de programa de Pós-Graduação e bolsistas de IC do Instituto de Geociências. Em especial a paciente Lauren Duarte pelo companheirismo nos laboratórios de informática e ao corajoso Everton Bongioiolo pela parceria nos trabalhos de campo “nos fundos de campo a norte de Bagé”. À Liane Callarge pelas discussões e sugestões que contribuíram para este estudo.

✦ Ao Kayo Dias, Elzio Barboza, Roberta Acauam e Adriane dos Santos pelo coleguismo de pesquisa no IG/UFRGS.

✦ A Janaína Pelizzon, que apesar de distante das ciências, mantinha-se totalmente inserida no mestrado ajudando a manter o mestrando feliz.

✦ À minha família, em especial a minha mãe Rosmary.

Enfim, a *Oxalá* por me guiar nas noites frias na escuridão vazia do Campus do Vale, quando após um dia longo de trabalho me dirigia para casa.

*Este é um texto de um novo tempo, ele é escrito em times new roman, e os mais afoitos
dirão que ele é então da nova roma; A roma que conta
muito bem o tempo.*

Índice geral

Agradecimentos.....	iii
Índice geral.....	iv
Lista de figuras.....	vi
Lista de tabelas.....	vii
Abstract.....	viii
Resumo.....	ix
Capítulo 1 – Escopo do Trabalho: Objetivos e métodos..	1
1.1 - Introdução.....	1
1.2 - Localização e vias de acesso.....	4
1.3 - Objetivos.....	4
1.4 - Metodologia e procedimento analítico.....	5
Capítulo 2 – Grafite e Grafita: Estado da Arte.....	14
2.1 - Introdução.....	14
2.2 - Propriedades físico-químicas do carbono.....	16
2.3 - Cristalografia da grafita.....	19
2.4 - Usos da grafita.....	20
2.5 - Cristalinidade da matéria carbonosa.....	23
2.6 - Depósitos minerais de grafita e tipos de minério.....	27
2.7 - Aspectos econômicos.....	29
2.7.1 - Preços.....	30
Capítulo 3 – Isótopos de Carbono dos Filitos Carbonosos.....	33
3.1 - Introdução.....	33
3.2 - Carta Editor Chefe.....	34
3.3 - Isótopos de Carbono dos Filitos Carbonosos da Seqüência Metavulcano-Sedimentar Marmeleiro, Sul de Ibaré, Estado do Rio Grande do Sul.....	35
3.3.1 - Abstract.....	35
3.3.2 - Introdução.....	35
3.3.3 - Contexto geológico.....	36
3.3.4 - Métodos de estudo.....	39
3.3.5 - Petrografia dos filitos carbonosos.....	40
3.3.6 - Isótopos de carbono dos filitos carbonosos.....	41
3.3.7 - Discussão.....	42
3.3.8 - Conclusões.....	45
3.3.9 - Agradecimentos.....	45
3.3.10 - Referências bibliográficas.....	46
3.3.11 - Legenda das figuras.....	51
3.3.12 - Legenda das tabelas.....	53

Capítulo 4 - Geoquímica	62
4.1 - Introdução.....	62
4.2 - Difração de raios X (DRX).....	62
4.3 - Caracterização preliminar da geoquímica dos filitos carbonosos.....	66
4.3.1 - Elementos maiores e menores.....	67
4.3.2 - Elementos terras raras.....	69
Capítulo 5 - Divulgação em eventos científicos	77
5.1 - Introdução.....	77
5.2 - Publicações em eventos.....	77
Capítulo 6 - Considerações finais	89
Referências bibliográficas	93
Anexo 1 - Mapa de pontos visitados	101
Anexo 2 - Lista de pontos dos trabalhos de campo	102
Anexo 3 - Difração de raios X	103
A.3.1.- Análises por DRX.....	103
A.3.2.- Síntese da metodologia de preparação das amostras.....	104
A.3.3.- Comentários sobre hardware e software utilizados nas análises de DRX.....	106
Anexo 4 - Geofísica e topografia	112
A4.1 - Levantamento taqueométrico.....	112
A4.2 - Susceptibilidade magnética aparente.....	112

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Geologia do Distrito Mineiro de Lavras do Sul.	2
Figura 1.2 – Mapa de localização e vias de acesso à área do Passo do Marmeleiro.	6
Figura 1.3 – Localização e topografia do alvo 1 no Passo do Marmeleiro.	8
Figura 1.4 – Metodologia de obtenção dos concentrados de grafita.	9
Figura 1.5 – Metodologia de análise da fração menor que 2 micrometros	13
Figura 2.1 – Estrutura cristalina teórica da grafita	17
Figura 2.2 – Comparação entre a grafita e outros lubrificantes.	22
Figura 2.3 – Gráfico da variação dos preços do minério de grafita	31
Figura 2.4 – Gráficos estatísticos da produção de grafita.	32
Figura 3.1 – Geologia do Distrito Mineiro de Lavras do Sul.	56
Figura 3.2 – Esboço geológico da área estudada.	57
Figura 3.3 – Imagens das rochas carbonosas da Sequência Marmeleiro.	58
Figura 3.4 – Diagramas da variação dos isótopos de carbono nos diferentes ambientes e nas rochas estudadas.	59
Figura 3.5 – Diagrama mostrando a relação entre o teor de carbono e dados de isótopos de carbono das rochas carbonosas da Sequência Marmeleiro.	60
Figura 3.6 – Classificação da matéria carbonosa por DRX.	61
Figura 4.1 – Difratoograma de raios X de filito carbonoso, rocha total.	71
Figura 4.2 – Difratoograma de raios X da fração menor que 2 micrometros de filito carbonoso.	72
Figura 4.3 – Difratoograma de DRX amostras de grafita microcristalina do Passo do Marmeleiro.	73
Figura 4.4 – Difratoograma de DRX das amostras de grafita criptocristalina do Passo do Marmeleiro.	74
Figura 4.5 – Difratoograma de DRX das amostras de grafita criptocristalina do Passo do Marmeleiro.	75
Figura 4.6 – Distribuição dos ETR nas amostras de filito carbonoso do Passo do Marmeleiro.	76
Figura A1.1 – Mapa de pontos geológicos	102
Figura A4.1 – Representação gráfica da susceptibilidade magnética aparente na área estudada.	116
Figura A4.2 – Perfil geofísico A-A' no Passo do Marmeleiro.	117
Figura A4.3 – Perfil de susceptibilidade magnética aparente B-B' na área de estudo.	117
Figura A4.4 – Perfil geofísico C-C' na área de estudo.	118

Lista de Tabelas

Tabela 1.1 - Condições analíticas dos estudos de difração de raios X adotados neste estudo.	10
Tabela 2.1 - Propriedades dos isótopos de carbono.	18
Tabela 2.2 - Propriedades físicas da grafita natural.	19
Tabela 2.3 - Características do grafite e dos lubrificantes líquidos.	21
Tabela 2.4 - Características e propriedades dos três tipos de grafita natural.	28
Tabela 2.5 - Reservas e produção de minério grafitoso no mercado internacional.	30
Tabela 2.6 - Variação dos preços em relação aos tipos comercializáveis de grafita.	31
Tabela 3.1 - Dados de C, $\delta^{13}\text{C}$ e DRX dos filitos carbonosos do Passo do Marmeleiro.	54
Tabela 3.2 - Dados C, H e N, dos filitos carbonosos do Passo do Marmeleiro.	54
Tabela 3.3 - Teores de carbono das rochas estudadas e folhelhos de vários continentes.	54
Tabela 3.4 - Variação dos teores de carbono em algumas ocorrências brasileiras de grafita.	55
Tabela 4.1 - Parâmetros obtidos nas análises de DRX do resíduo de filito carbonoso.	64
Tabela 4.2 - Valores de LC e dados de DRX do filito carbonoso estudado.	66
Tabela 4.3 - Análises de elementos maiores do filito carbonoso do Passo do Marmeleiro.	67
Tabela 4.4 - Dados geoquímicos (ppm e ppb) das amostras de filito carbonoso estudado.	67
Tabela 4.5 - Resultados das análises de ETR das amostras do filito carbonoso estudado.	70
Tabela A3.1 - Condições analíticas de DRX deste estudo.	103
Tabela A3.2 - Resultados das análises de DRX nas amostras de resíduo deste estudo.	107
Tabela A4.1 - Medidas de Kap do alvo 1.	114
Tabela A4.2 - Síntese dos resultados de Kap no alvo 1.	115

Abstract

Graphite is an industrial mineral of many applications in the global economy. The studied area is located to the south of Ibaré town and is related to the Marmeleiro Volcano-sedimentary Sequence in the southwest of the Sulriograndense Shield. This supracrustal sequence comprises metabasic and metaultrabasic rocks, marble, calc-silicate rocks, metapelites and carbonaceous phyllites. These carbonaceous metasediments occur as folded and boudinag layers of variable thickness. These layers are discontinuous along a NW direction. The parageneses are variable proportions of carbonaceous material, white mica, quartz, clinozoisite, opaque minerals and leucoxene. The mineral equilibrium and textural relationships indicate two metamorphic events in the studied area, represented by greenschist and amphibolite facies parageneses. The carbonaceous phyllites were studied by petrography and X-rays diffraction (XRD), as well as by rock geochemistry and carbon isotopes. Two petrographic types of graphite were recognized in the same polished section, which are represented by micro- and cryptocrystalline types. XRD data show that d002 interplanar distance of carbonaceous material varies between 3,3505 and 3,3551 Å. These values suggest that the graphite crystallinity varies from sample to sample. Petrographic and carbon isotope data combined with rock geochemistry indicate that the precursor of carbonaceous rocks were shales. The discrimination of the clastic fraction in the studied carbonaceous rocks was made by rock geochemistry. In addition, the Cu, Pb, Zn, As and Sb association suggest a volcanogenic contribution in these rocks. REE patterns, normalized to C1 chondrite, also support the clastic contribution, as well as the presence of volcanogenic material in the studied carbonaceous phyllites. Moreover, the $\delta^{13}\text{C}$ values (-27 a -24 ‰) indicate an organic source for the carbonaceous material of the studied rocks. The geologic controls for graphite prospection are related to biogenic processes combined with sedimentary and metamorphic processes that affected Marmeleiro supracrustal sequence. Carbon grades of studied rocks are similar to graphite ore as exploited in abroad mines.

Resumo

A grafita é um mineral industrial utilizado por diversos setores da economia globalizada. A área estudada insere-se no contexto regional da Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro na porção ocidental do Escudo Sul-riograndense, a sudeste de Ibaré. Esta seqüência supracrustal contém rochas metabásicas, metaultrabásicas, mármore, rochas calcissilicáticas, metapelitos e filitos carbonosos. A grafita estudada ocorre em metassedimentos boudinados e dobrados, que afloram em cristas, segundo NW, formando pacotes de espessura variável e sem continuidade lateral. Estas rochas são constituídas por proporções variáveis de matéria carbonosa, mica branca, quartzo, clinozoisita, minerais opacos e leucoxênio. As relações de equilíbrio mineral e texturais indicam dois eventos metamórficos na área estudada, os quais estão representados por paragêneses do fácies xistos verdes e anfibolito. Os filitos carbonosos estudados foram investigados por petrografia e difração de raios X (DRX), assim como por geoquímica de rocha e isótopos de carbono. Dois tipos petrográficos de grafita foram reconhecidos na mesma seção polida, os quais correspondem aos tipos micro e criptocristalina. Dados de DRX mostram que o espaçamento interplanar d002 do material carbonoso nas rochas estudadas está situado no intervalo de 3,3505 a 3,3551 Å. Estes valores sugerem que a cristalinidade da grafita varia de uma amostra para outra. Os dados petrográficos, isótopos de carbono e geoquímicos de rocha indicam que os metassedimentos carbonosos derivaram de folhelhos. A geoquímica de rocha sugere que as rochas estudadas têm uma contribuição clástica. Ao passo que, a associação Cu, Pb, Zn, As e Sb indica uma contribuição vulcanogênica nos filitos estudados. Os padrões de ETR, normalizados em relação ao condrito C1, corroboram a origem clástica e a contribuição vulcanogênica nas rochas estudadas. Ademais, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ (-27 a -24 ‰) indicam uma origem biogênica para o material carbonoso das rochas estudadas. Os controles geológicos para prospecção de grafita na área estudada estão relacionados com processos biogênicos, sedimentares e metamórficos que afetaram a seqüência supracrustal Marmeleiro. Os teores de carbono dos litótipos estudados são similares aos teores deste elemento em minérios grafitosos explorados em prospectos internacionais.

CAPITULO 1 - ESCOPO DO TRABALHO: OBJETIVOS E MÉTODOS .

1.1. Introdução

Santos *et al.* (1998) dividiram o Estado do Rio Grande do Sul em 15 distritos mineiros agrupados em 4 domínios. A ocorrência grafítica estudada insere-se no Distrito Mineiro de Lavras do Sul, (Fig. 1.1). Este apresenta geologia diversificada, representada pelos Complexos Cambaí e Marmeleiro recobertos em parte por seqüências de cobertura. Todavia, este contexto geológico encontra-se fortemente afetado pela tectônica do Brasiliano, possuindo ainda o registro deste evento também na forma de granitóides. Além de garimpeiros e faiscadores, que atuam na região a alguns séculos, este distrito tem relevância no estado pelas ocorrências de ouro (Au), que foram explotadas por diversos investidores até 1940. Nesta época destacavam-se os investimentos internacionais de companhias belgas e inglesas. Após este período, investidores nacionais e o DNPM prosseguiram os estudos na área, que foram reiniciados, na década de 70, pelas companhias Brasileira do Cobre e Riograndense de Mineração. Além do ouro, conhece-se nesta região algumas ocorrências de cobre, asbesto, calcário e talco.

A presente dissertação está estruturada em sete capítulos e quatro anexos. No primeiro capítulo discorre-se sobre os aspectos introdutórios, métodos e localização da área estudada; já no segundo revisa-se o estado da arte do conhecimento sobre a grafita e outros temas relacionados que mereceram destaque.

Geologia do Distrito Mineiro de Lavras do Sul

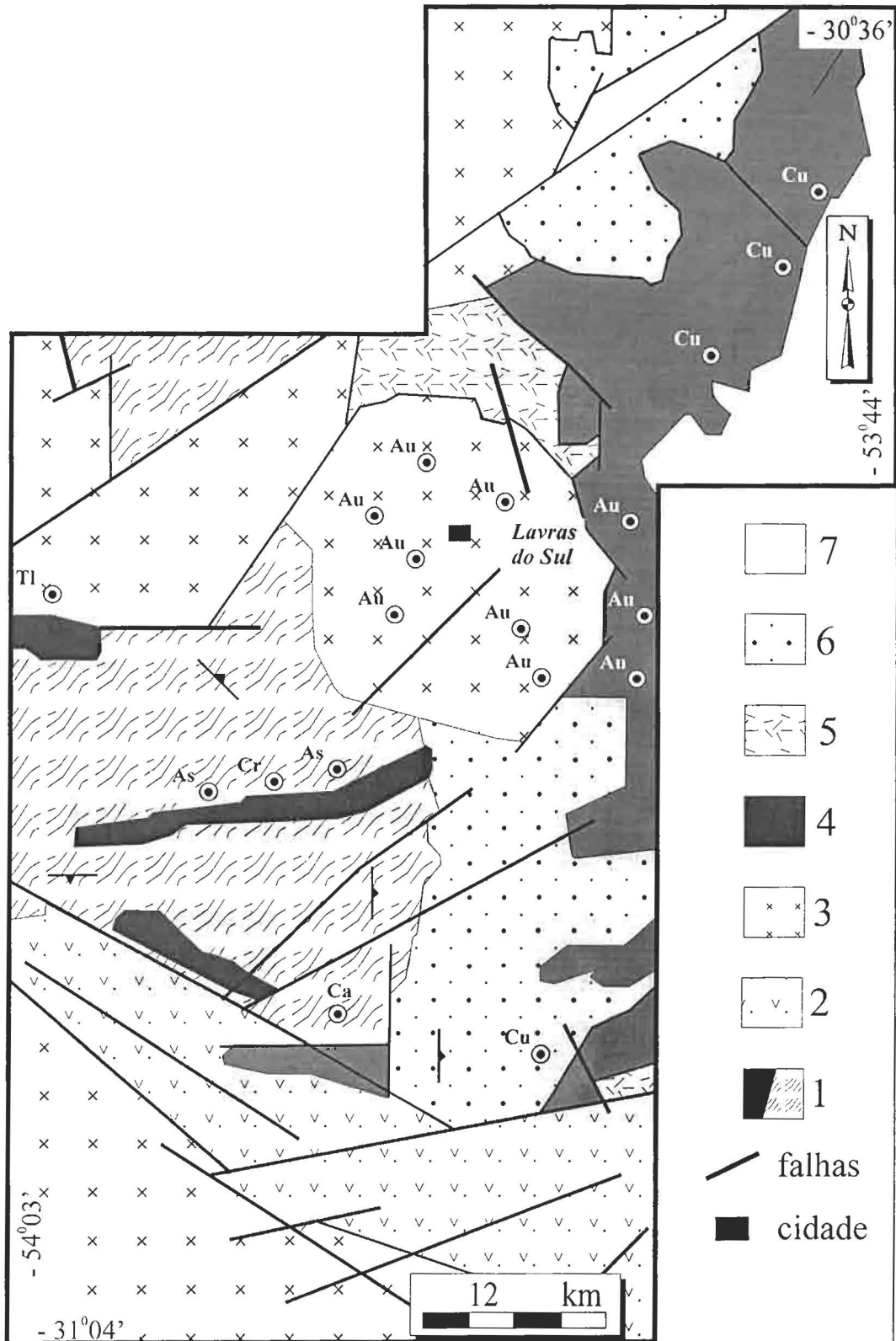


Figura 1.1: Geologia do Distrito Mineiro de Lavras do Sul (modificado de Santos *et al.* 1998 e Nardi & Lima 1985), destacando a localização das ocorrências de ouro (Au), cobre (Cu), cromo (Cr), asbesto (As), calcário (Ca) e talco (Tl). Legenda: 1) Complexo Cambaí; 2) Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro; 3) Associação Shoshonítica de Lavras do Sul; 4) Formação Hilário; 5) Formação Acampamento Velho; 6) Formação Pessegueiro; 7) Formação Santa Bárbara.

No terceiro capítulo apresenta-se o artigo submetido a Revista Pesquisas em Geociências IG/UFRGS, abordando aspectos sobre isótopos de carbono das rochas carbonosas estudadas. No quarto capítulo apresenta-se dados inéditos do estudo de caracterização dos fílitos carbonosos, sob o ponto de vista geoquímico. Neste capítulo também são apresentados os resultados de difração de raios X (DRX) da grafita destas rochas. Estas informações estão sendo organizadas para serem apresentadas, no futuro próximo, sob forma de artigos científicos. No quinto capítulo foram anexados os trabalhos de divulgação desta pesquisa sob a forma de abstracts, resumos e posters em eventos científicos nacionais. No sexto capítulo, foram integrados os dados gerados neste estudo, esta síntese apresenta as principais conclusões desta pesquisa. Já o sétimo capítulo contém as referências bibliográficas, que embasam a presente obra. Nos anexos apresentam-se informações, que embora relevantes, mas que por seu caráter específico não incluíam-se no escopo de nenhum dos capítulos anteriores. O primeiro anexo contém o mapa de pontos da área estudada e o anexo dois a lista de pontos. Já o terceiro anexo contém um detalhamento da técnica de DRX, assim como os resultados das medidas de DRX nas amostras analisadas neste estudo; no anexo quatro são apresentados os dados de topografia e geofísica.

Desde a instalação da Escola de Geologia aqui no estado, a área em escopo vem despertando a atenção dos pesquisadores das ciências naturais e geológicas. Ainda na década de 60, grande parte do Distrito Mineiro de Lavras foi estudado por mapeamentos, perfis geológicos e ensaios físico-químicos. Estes estudos estão bem descritos na literatura. Já naquela época, pesquisadores do USGS (*United States Geologic Survey*) acompanhavam os trabalhos e realizavam até análises isotópicas com amostras desta localidade. Porém, os estudos iniciais concentraram-se em aspectos da geologia básica e prospecção de bens metálicos. O presente trabalho insere-se em um novo tempo, onde a realidade do mundo globalizado induz a busca e pesquisa de minerais industriais, como a grafita.

A ocorrência de grafita em fílitos carbonosos no Passo do Marmeleiro, já é conhecida a algumas décadas. Estas rochas encontram-se registradas em algumas descrições regionais anteriores, mas sem nenhum aprofundamento específico nestes litótipos. Siviero (2001) estudou a Sequência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro, com ênfase nos rochas calssilicáticas e mármore. *Desta maneira, a presente*

dissertação marca o início dos estudos específicos das rochas carbonosas da Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro.

1.2. Localização e vias de acesso

A região do Passo do Marmeleiro está localizada nas proximidades do limite entre as localidades de Lavras do Sul e Torquato Severo. A área de estudo está situada na porção sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, a SW do município de Lavras do Sul. Esta região, de relevo arrasado e geologia complexa, é pouco conhecida se comparada a outras porções do escudo gaúcho.

O principal acesso à área estudada se faz pela BR-290, que em sua porção de interesse liga a capital do estado, Porto Alegre, a Uruguaiana (Fig 1.2). Partindo de Porto Alegre trafega-se em direção a oeste, até o cruzamento das BR-290 e BR-392. Segue-se para sul na BR-392 até a entrada de Caçapava do Sul, cruza-se a cidade, e utilizando a rodovia RS-11 ou RS-357 segue-se para sudoeste em direção a localidade de Lavras do Sul. A área localiza-se a sudoeste da região urbanizada de Lavras do Sul. Seguindo pela RS-357, a partir de Lavras do Sul, chega-se a parte norte da área estudada. Também é possível acessar a área partindo de Bagé ou São Gabriel, utilizando a RS-473.

1.3. Objetivos

A pesquisa que gerou esta dissertação como produto final visa:

Oportunizar ao mestrando o **aprofundamento** em aspectos da geoquímica, possibilitando seu aperfeiçoamento profissional;

Estudar os teores dos elementos traços das rochas carbonosas da Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro, compará-los com os dados da média dos folhelhos, a fim de identificar os elementos enriquecidos nas amostras estudadas;

Analisar o potencial metalogenético do prospecto grafitoso, com enfoque no tipo genético de ocorrência, com o auxílio de dados isotópicos de carbono;

Elaborar a *dissertação de mestrado* que além dos dados inéditos contenha uma *monografia sintetizando* o atual estado do conhecimento sobre grafita;

Estudar a cristalinidade do material carbonoso da região do Passo do Marmeleiro por Difração de Raios X, buscando contribuir para a análise das possibilidades de uso desta substância mineral.

1.4. Metodologia e procedimento analítico

Os objetivos propostos foram atingidos empregando-se revisão bibliográfica, perfis geológicos locais e regionais, identificação de minerais, análises físico-químicas, estudo da grafita, elaboração sistemática de resumos e compilação final.

A revisão bibliográfica sobre os temas de interesse para este estudo antecedeu os trabalhos de campo nas lentes de fílitó carbonoso e suas rochas encaixantes (anexos 1 e 2). Nesta etapa do trabalho foram utilizadas fotografias aéreas (1:60000 e 1:25000) e as cartas topográficas do EB-DSG, denominadas de SH.21-Z-B-VI-4 (Folha Coxilha do Tabuleiro) e SH.21-Y-A-IV-3 (Folha Lavras do Sul) e adjacentes.

Localização da Área de Estudo

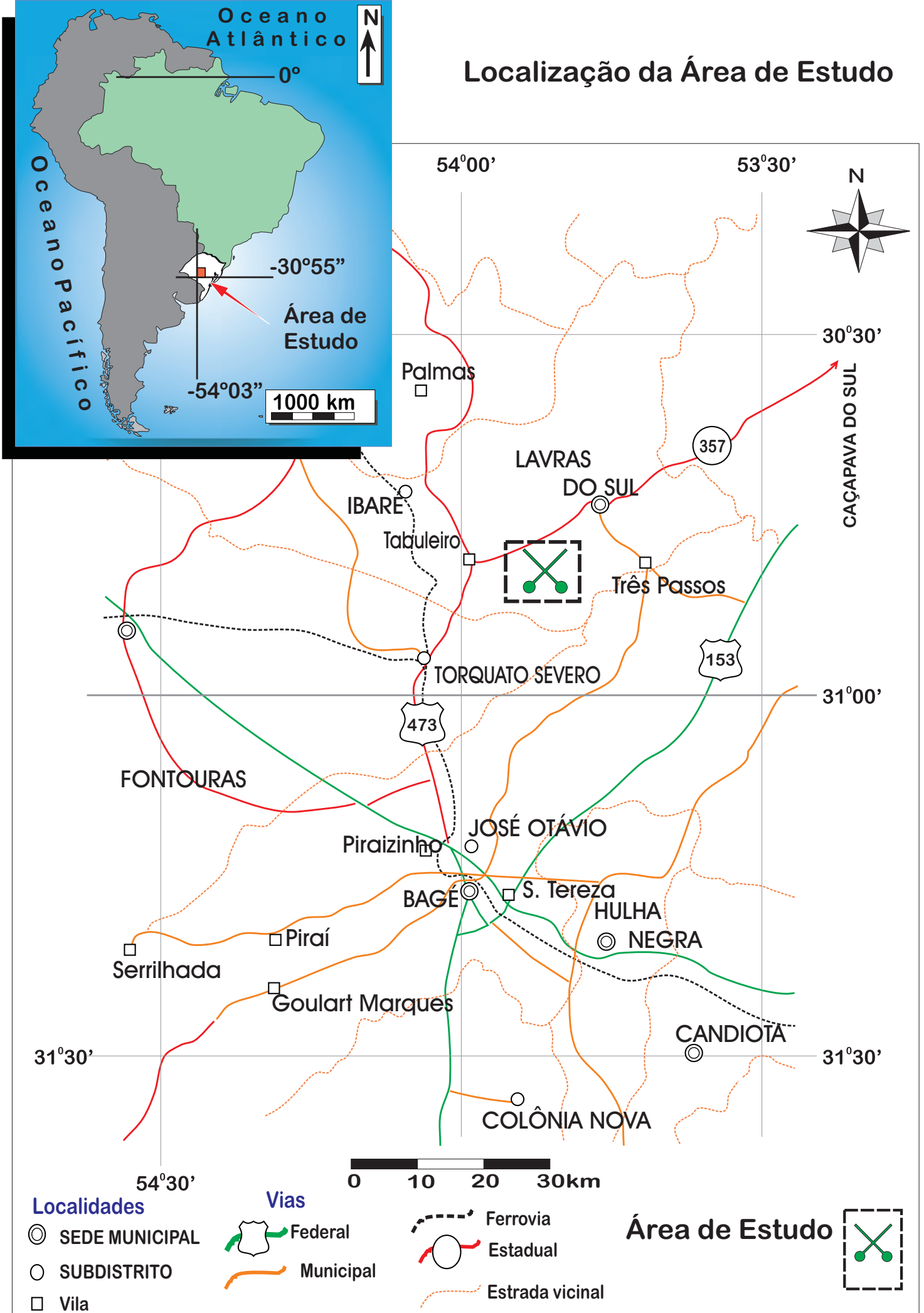


Figura 1.2 - Localização e vias de acesso a Região do Passo do Marmeleiro.

Durante os trabalhos de campo foram feitos perfis litogeofísicos, os quais forneceram dados representativos da susceptibilidade magnética aparente (Kap) das rochas aflorantes. Durante o mapeamento litoestrutural da Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro foram coletadas cerca de 200 amostras de mão, ao longo de perfis geológicos aproximadamente NS. Em cada amostra foram feitas pelo menos três medidas de Kap, com o emprego do aparelho Kappameter KT3. Estes dados foram corrigidos em função da rugosidade e dimensões da amostra. Os dados foram organizados em tabelas, com o auxílio do Excel2000⁽¹⁾, e representados em mapas de isovalores, com o emprego do Surfer 6⁽¹⁾ e do Corel Draw 9⁽¹⁾.

As rochas carbonosas aflorantes no Passo do Marmeleiro (coordenadas -30°56'26" de latitude sul e -54°03'33" de longitude oeste) também foram amostradas, por uma malha de 350 x 500 metros. As amostras foram coletadas ao longo de três perfis NE-SW, transversais à estruturação das camadas (Fig 1.3). Esta região foi detalhada tendo em vista ser a ocorrência conhecida mais próxima as vias de acesso por terra, este local será neste estudo nomeado de Alvo 1.

A cristalinidade do material carbonoso foi investigada por difração de Raios X (DRX) (anexo 3), no Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As amostras foram moídas a #200 *mesh* e analisadas por DRX para estudo da paragênese da rocha. Para obtenção de análises da grafita foram preparados concentrados com ataques com HF concentrado, a fim de remover o quartzo, o qual apresenta reflexões semelhantes a grafita nos difratogramas. Os concentrados de grafita foram obtidos, utilizando uma adaptação do procedimento empregado por French (1964), Grew (1974), Diessel *et al.* (1978), Wada *et al.* (1974), Wintsch *et al.* (1981), Itaya (1981) e Landis (1971). As amostras selecionadas foram pulverizadas com o auxílio de gral de ágata. Aliquotas de aproximadamente 10 gramas do material pulverizado foram atacadas com os ácidos clorídrico (HCL) e fluorídrico (HF). O período de ataque variou de amostra para amostra, atingindo no máximo 12 horas para aquelas mais silicáticas. As reações, a quente, foram intercaladas com lavagens com água destilada, secagem e decantação natural, por um período de 48 a 72 horas (Fig 1.4).

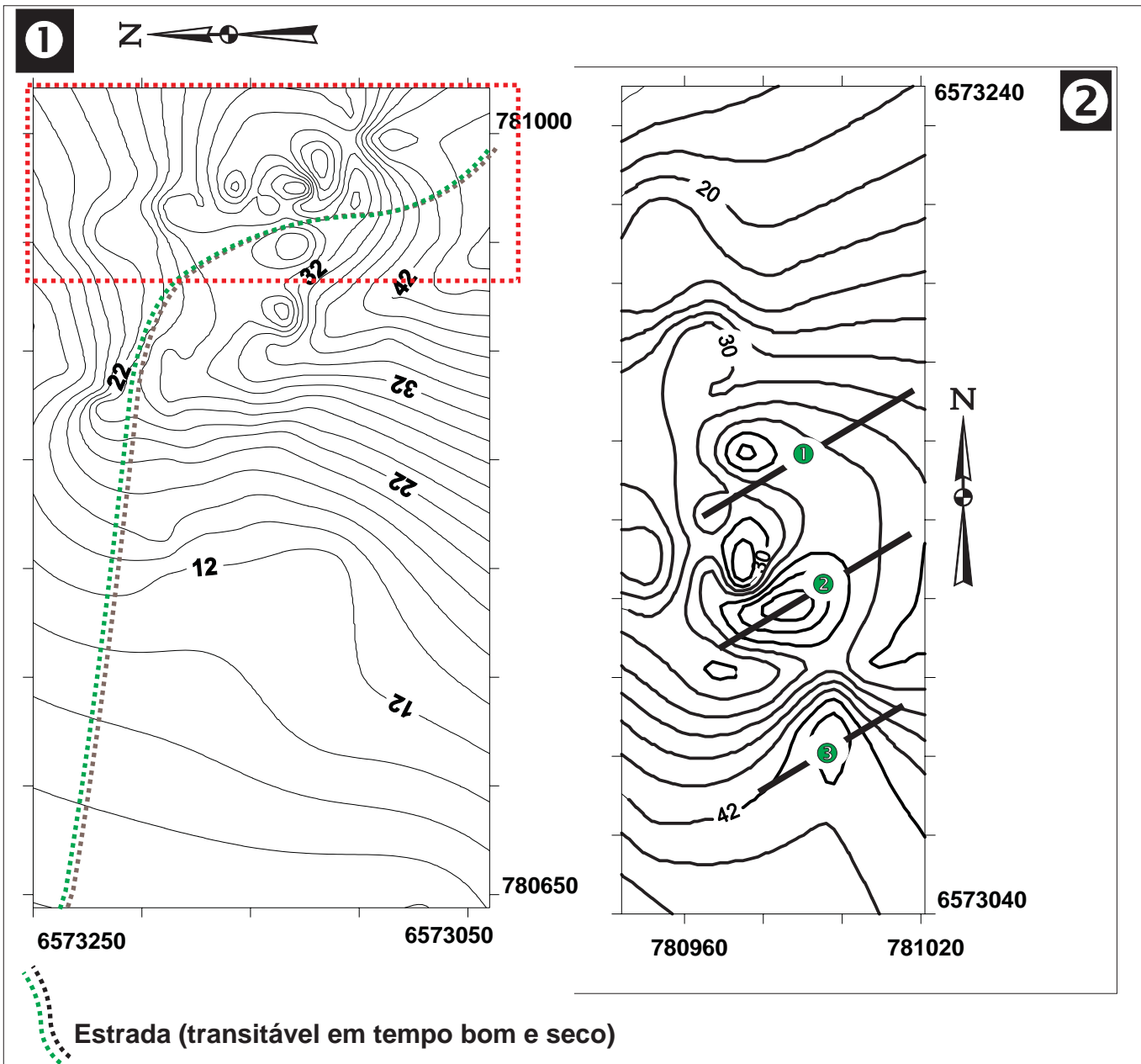


Figura 1.3 - Localização e topografia de uma fração da região do alvo um. O passo do marmeleiro aparece no vértice noroeste do mapa 1. Mapa 1) Vista parcial do Alvo 1. Mapa 2) Detalhe da região de filito carbonoso amostrada, esta região está contida no mapa um e é destacada por um quadro pontilhado.

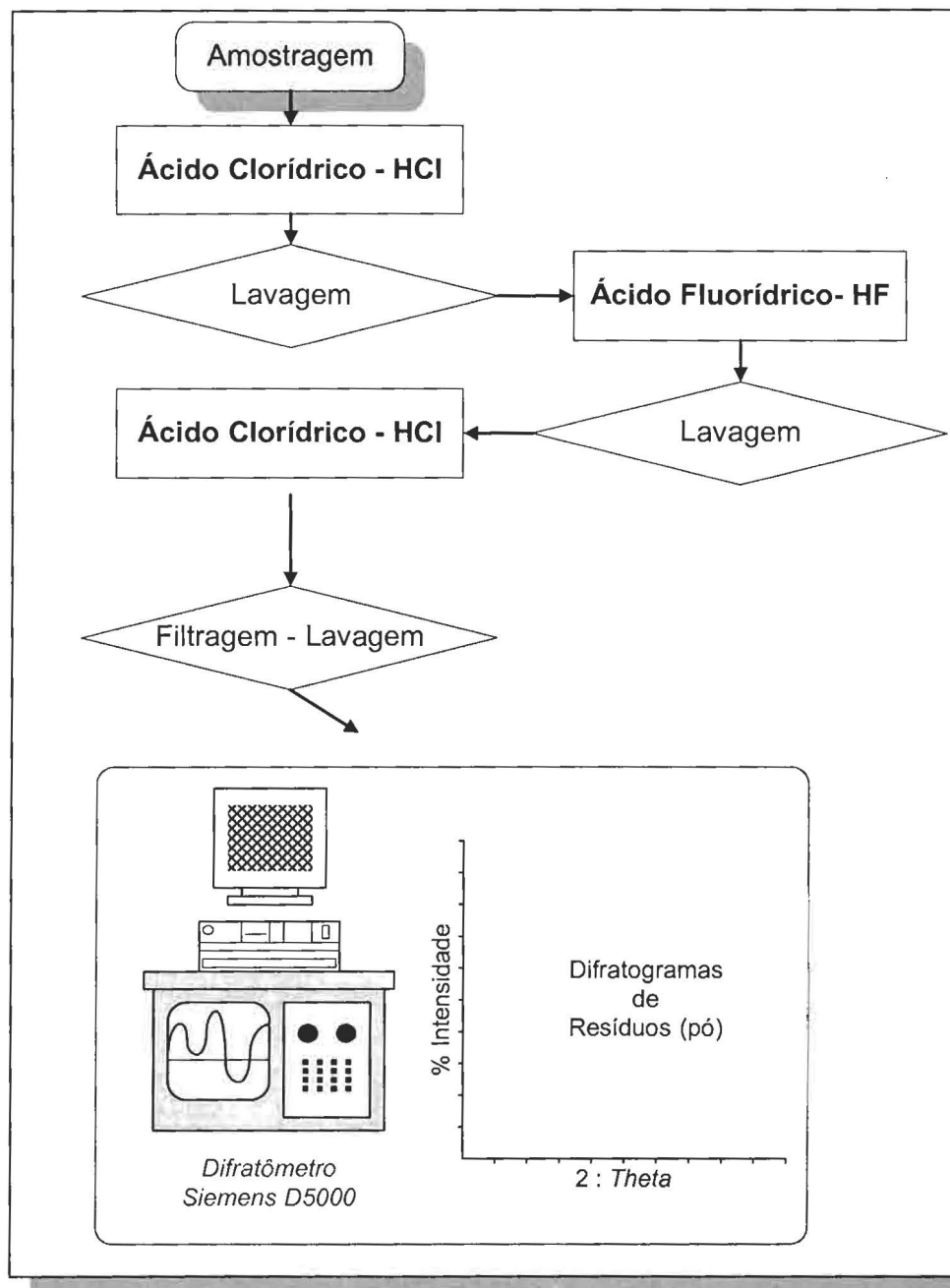


Figura 1.4- Metodologia para concentração "via úmida" e análise por DRX da matéria carbonosa (grafita).

A fração menor que 2 micra de uma amostra de pó de rocha foi analisada, iniciando a investigação dos argilominerais presentes. Foram executadas leituras em amostra natural (seca ao ar), glicolada e calcinada (Fig 1.5). As análises de difração de raios X foram realizadas com o equipamento *Siemens D5000* e interpretadas com o auxílio do programa *DIFRAT AT* e *EVA2001*, utilizando a base de dados *JCPDS 1989*. As condições analíticas utilizadas variaram, conforme o objetivo da análise, mas todas foram realizadas com tubo de radiação $\text{CuK}\alpha$, com precisão de 0,026 grau. O tempo de contagem, o avanço em graus (*step*) e o intervalo de leitura (*range*) utilizados são registrados na tabela 1.1.

Tabela 1.1 - Condições analíticas das análises de difração de raios X adotados neste estudo. Abreviaturas : N = Normal; C = Calcinada; G = Glicolada.

	<i>Step size</i>	<i>Step time</i>	<i>2 theta range</i>
Amostra de pó de rocha	0,025°	1,5 s	2-72
Resíduo insolúvel	0,020°	1 s	2-72
Resíduo insolúvel + padrão	0,020°	2 s	22-32°
Fração < 2micra, N e C	0,020°	2 s	2-28°
Fração < 2micra G	0,020°	3 s	2-28°

Os estudos de DRX realizados foram centrados na reflexão oriunda do espaçamento entre os planos (002). O pico desta reflexão situa-se em $2\theta \cong 26^\circ$. O padrão utilizado foi aquele que está registrado na ficha JCPDS:25-284, de Holcombe (1974), no qual os valores correspondem a: $d_{002}=3,34914^*$; $d_{100}=2,12669$; $d_{101}=2,02672$; $d_{102}=1,79492$; $d_{004}=1,67389$; $d_{103}=1,53985$.

Para a obtenção dos difratogramas foram empregados diferentes métodos gráficos digitais. No início foi utilizado o *DIFRAT AT*, que foi substituído pelo *EVA 2001*. Como algumas amostras já tinham sido processadas antes da implementação do EVA, faz-se necessário descrever o processo empregado anteriormente, o qual necessitava do emprego de conversores. O formato "RAW" disponibilizado pelo equipamento não é compatível com os pacotes (*softwares*) comerciais disponíveis e capazes de representar graficamente as tabelas de números. Esta conversão foi realizada inicialmente nas dependências do Laboratório de Difração de Raios X. Na máquina *Siemes 386*, rodava-se as rotinas escritas pelo Prof^o Dr. Norberto Danni, as quais trabalhavam em sinergia com algumas comerciais e permitiram abrir o formato "RAW" obtendo-se o "ASCII" na forma de arquivos (*.TXT) ou (*.DAT). Em seguida, estes dados foram processados pela Ferramenta

(*Software*) Microcal Origin 6[®]. A utilização desta ferramenta possibilitou a produção dos gráficos apresentados no capítulo 4. Este gráfico foi vetorizado e editado com o uso das ferramentas Adobe Illustrator 7[®] e Corel Draw 9[®].

Atualmente com o *EVA 2001* a obtenção das figuras é muito mais simples, bastando rodar aplicativos deste pacote, que permitem a conversão para formatos comuns aos *softwares* no mercado como o Adobe Illustrator[®] e o Corel Draw[®].

Treze amostras de filito carbonoso foram selecionadas para análises de $\delta^{13}\text{C}$ e carbono total, no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP). O material carbonoso foi calcinado em atmosfera oxidante e o CO_2 liberado na combustão da amostra foi analisado para isótopos de carbono por espectrometria de massa. Detalhes desta técnica podem ser encontrados em Hoefs (1987) e Faure (1986). Os dados de isótopos de carbono são apresentados em relação ao padrão PDB (*Peedee Belemnite*) e expressos em valores per mil: $\delta^{13}\text{C} = [(R_s - R_a) / R_s] \times 1000$, onde R_s e R_a referem-se às razões $\delta^{13}\text{C} / \delta^{12}\text{C}$ do padrão e da amostra, respectivamente.

Os teores de carbono, hidrogênio e nitrogênio de algumas réplicas das amostras utilizadas no estudo de isótopos de carbono também foram determinados. As análises foram realizadas na CIENTEC - Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul (Porto Alegre, RS). Estas análises foram obtidas com o instrumental da LECO Corporation (modelo CHN-600), utilizando a norma ASTM-D5373.

Alíquotas das amostras de mão dos metassedimentos carbonosos da Sequência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro, previamente pulverizadas na fração de 200 *mesh*, foram analisadas por fluorescência de raios X, via pastilha fundida com tetraborato de lítio, para os seguintes óxidos: Al_2O_3 (%), CaO (%), Fe_2O_3 (%), K_2O (%), MgO (%), MnO (%), Na_2O (%), SiO_2 (%), TiO_2 (%). O teor de FeO (%) foi determinado por titulação.

Utilizando digestão multiácida seguida de espectrometria de plasma com acoplamento indutivo (ICP), os seguintes elementos foram determinados: Ag (ppm), Al (%), Ba (ppm), Be (ppm), Bi (ppm), Ca (%), Cd (ppm), Co (ppm), Cr (ppm), Cu (ppm), Fe (%), K (%), La (ppm), Li (ppm), Mg (%), Mn (%), Mo (ppm), Na (%), Ni (ppm), P (%), Pb (ppm), Se (ppm), Sn (ppm), Sr (ppm), Ti (%), V (ppm),

W (ppm), Y (ppm), Zn (ppm) e Zr (ppm).

Os teores de Au, As, Sb e Hg foram determinados por absorção atômica com abertura *fire assay* para Au, geração de vapor frio para Hg e de hidretos para As e Sb. As análises químicas das 16 amostras analisadas foram realizadas, em Belo Horizonte (MG), nos laboratórios da Lakefield Geosol Ltda.

O levantamento topográfico (anexo 4) foi obtido com o emprego de diversas técnicas e métodos científicos incluindo: Levantamento taqueométrico, o qual compreende um processo rápido e econômico para a obtenção indireta da distância horizontal e diferença de nível. Os instrumentos empregados forneceram dados referentes às leituras processadas na mira, com auxílio dos fios estadimétricos, bem como o ângulo de inclinação do terreno, lido no limbo vertical do aparelho.

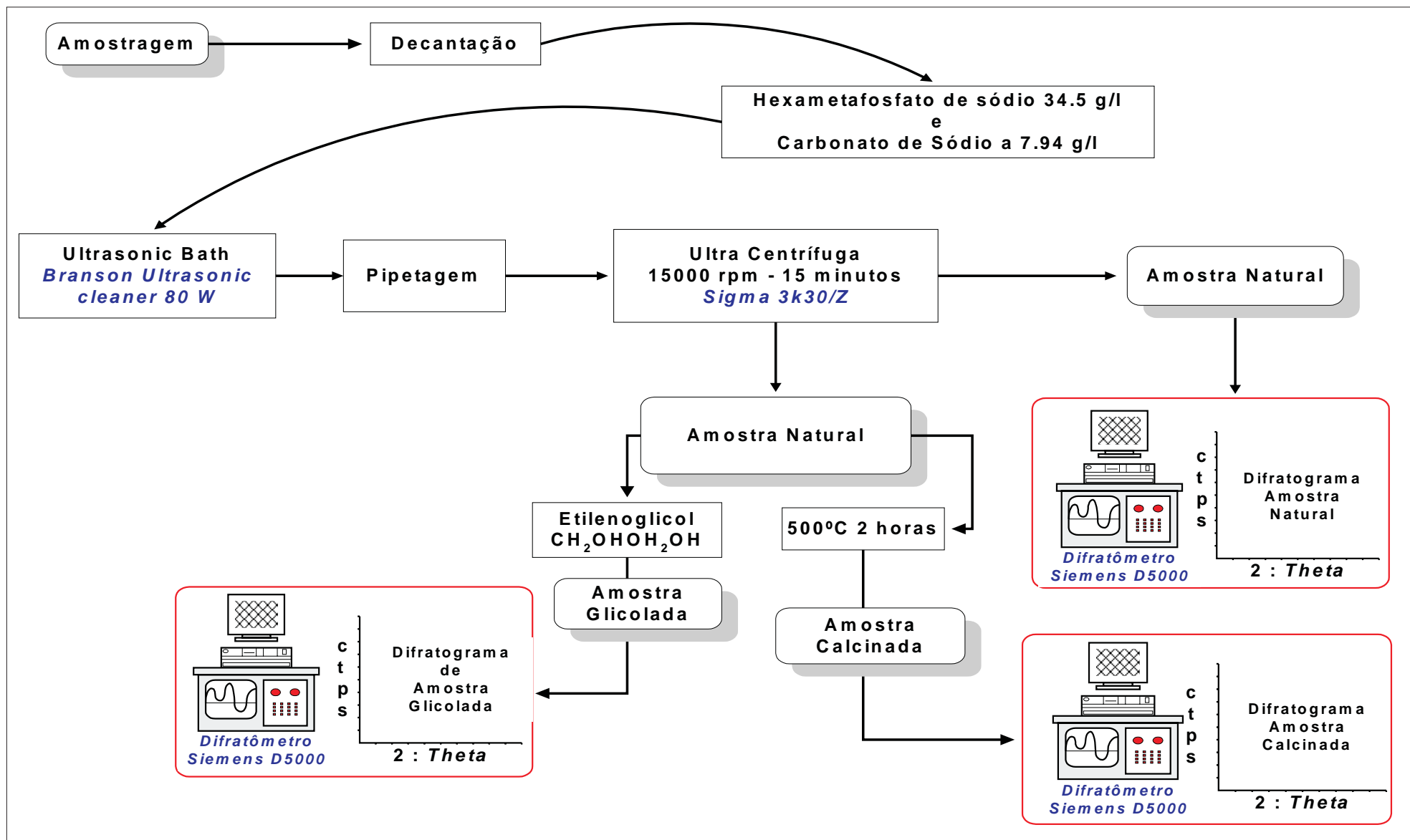


Figura 1.5 - Organograma do procedimento analítico para análises de DRX da fração menor que 2 micrometros.

CAPÍTULO 2 - GRAFITE E GRAFITA: ESTADO DA ARTE

2.1 - Introdução

O objetivo deste capítulo é situar o leitor no assunto que será discutido, sem a intenção de esgotar o tema “carbono”. Busca-se fornecer subsídios para o início dos relatos sobre os estudos em grafita. A maioria dos compostos de carbono são melhor descritos como “compostos orgânicos”, que são um dos alvos da química orgânica. Porém, neste capítulo o enfoque será a grafita, que é um dos alótropos cristalinos inorgânico de carbono.

O carbono ocorre de muitas formas na natureza e a ciência produziu diversos materiais artificiais com este elemento. O número de compostos de carbono só não é superior aos conhecidos para o elemento hidrogênio.

A grafita é usada desde a antiguidade na produção de tintas e pigmentos, entre outros usos artesanais. Na era moderna o minério de grafita foi descoberto em 1400, na Bavária, hoje uma região da Alemanha. Em 1504, descobriram uma mina de grafita em Cumberlândia, na Inglaterra. No século XVIII, em virtude dos conflitos da Inglaterra com o imperador Napoleão Bonaparte, os estudos para substituir o minério de grafita, que faltava, foram incentivados.

O químico Nicolas Conté aqueceu a altas temperaturas uma mistura com argila, grafita, massa e água. Estava inventando o grafite duro, e até hoje, os lápis são fabricados por processos similares. Em 1779, Carl Scheele mostrou que a grafita poderia ser oxidada para CO_2 , prevendo que esta era uma forma de carbono.

Em 1789, Abraham Werner nomeou grafite do grego “Γραφειν”, “*graphein*”, com referência a escrever (Kirk *et al.* 1978; Kelly 1981). O substantivo feminino grafite ou grafita, provém do vocábulo alemão *graphit*, ou do termo francês *graphite* (Ferreira 1999). Em latim, o vocábulo “carbo” significa carvão, o qual deriva da palavra grega “γρ’αφειν” significando escrever, em razão do seu uso na fabricação do lápis. Neste trabalho adotou-se a proposta de Aurélio Ferreira (1999), devido sua ampla aceitação na língua portuguesa.

Plumbagina e chumbo negro são outros nomes, que segundo Dana (1978), também fazem referência aos cristais naturais de grafita. Todavia, a terminologia técnica e industrial da ciência do carbono é vasta e ao longo da história diversos autores usam significados distintos para termos similares. A designação da ASTM C709-98 (*American Society for Testing and Materials–Standart Terminology Relating to Manufactured of Carbon and Graphite*) fornece uma lista de sugestões para o significado de diversas palavras, porém estes auxiliam, mas não encerram a problemática instaurada ao longo da história dos verbetes carbono, grafite, grafita, entre outros. Neste trabalho o verbete grafite será empregado como designação genérica dos compostos (sintéticos ou modificados), que embora sejam carbonosos não são grafita, pois suas características físicas e químicas diferem da grafita natural. Embora este grafite possa ser subproduto de um minério de grafita, ele também pode ser obtido por processos artificiais; também consegue-se aprimorar a grafita natural e transformá-la em um produto sintético, que denominaremos genericamente de grafite.

A grafita é encontrada na forma natural ou pode também ser fabricada sinteticamente. A grafita natural pode ser encontrada na forma de flocos, escamas, esferas, pequenos monocristais, além de agregados polieristalinos. Suas características variam de uma região de extração para outra.

A grafita sintética pode ser obtida a partir de uma gama de técnicas

diferentes, o que resulta em estruturas cristalinas variando desde estruturas policristalinas orientadas, até mesmo materiais desordenados e amorfos. A síntese da grafita pode ser realizada pela pirólise de várias misturas orgânicas em três estágios: 1) *carbonização*, entre 400 e 700°C, quando se dá a volatilização do hidrogênio, nitrogênio e oxigênio; 2) *polimerização*, entre 600 e 1200 °C, que promove a formação de monocamadas de carbono pirolítico; 3) *grafitização*, entre 1200 a 3000°C, quando ocorre a gradual evolução da estrutura grafítica tridimensional (Kindlein Jr. 1999).

2.2 - Propriedades físico-químicas do carbono

A estrutura atômica do carbono livre é $1s^2 2s^2 2p^2$ e sua valência natural é 4, mas isto pode variar. A catenação do carbono é elevada, muito superior a do enxofre e a do silício. Isto confere ao carbono uma pronta tendência a formar compostos com outros átomos de carbono, resultando em cadeias e anéis, contendo ligações simples (C–C), duplas (C=C) e triplas (C≡C). Na grafita, ligações coplanares trigonais são formadas com os átomos de carbono das redondezas da rede cristalina (Fig 2.1) na estrutura de folhas hexagonais (Kelly 1981).

O fenômeno da alotropia proporciona que um elemento químico ocorra em várias formas, podendo variar a estrutura, arranjo cristalino ou o número de átomos, que compõem suas moléculas. O carbono apresenta diversas formas alotrópicas, tanto amorfás, quanto cristalinas. As fases cristalinas são representadas pelo, diamante, grafita, fulerita (fulerenos – “buckyballs”), nanotubos (“buckytubes”) e os carbetos. Entre as fases amorfás, destacam-se tanto as fibras de carbono, como o carvão e o carbono vítreo, entre outras. As propriedades das diversas formas de carbono são controladas pelo tipo de hibridização e estão vinculadas essencialmente à configuração eletrônica de seus átomos. Dos 6 elétrons que o átomo de carbono possui, quatro são de valência ocupando os níveis $2s^2$ e $2p^2$. Estes orbitais estão muito próximos, o que permite combinações dos estados quânticos, denominados de hibridizações sp , sp^2 e sp^3 (Kindlei Jr 1999).

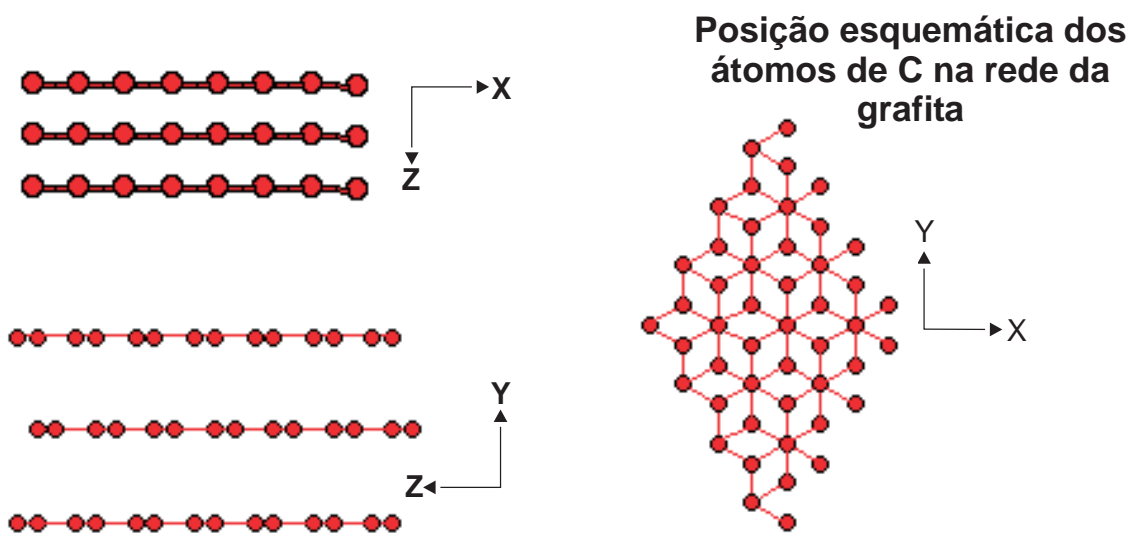
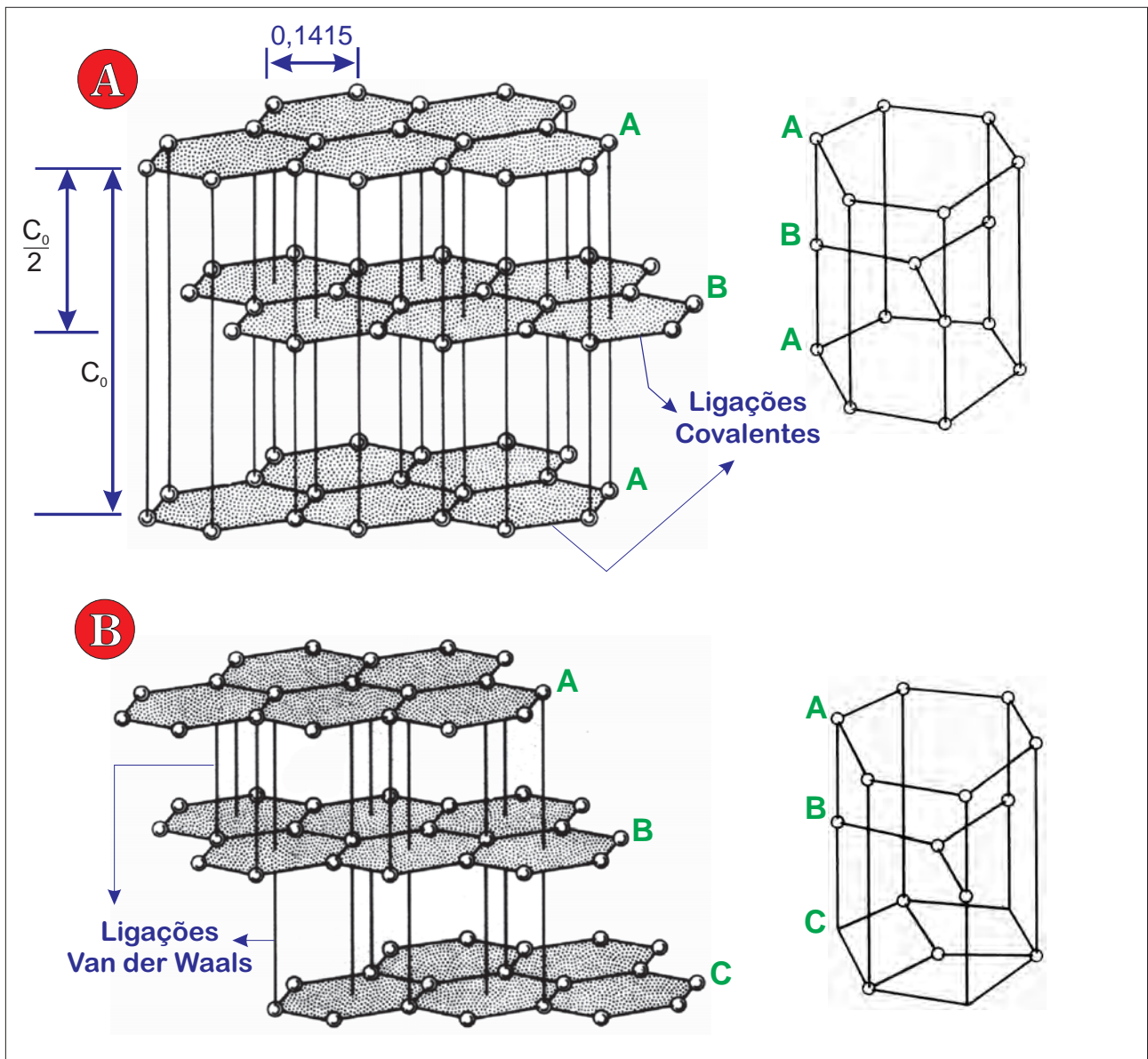


Figura 2.1: Estrutura cristalina da grafita: A) hexagonal; B) romboédrica.

O elemento carbono tem sete isótopos, o ^{12}C com seis nêutrons é o mais comum. A tabela 2.1 cita algumas características dos isótopos deste elemento.

Tabela 2.1: Isótopos de carbono, conforme dados de Kelly (1981) e Pierson (1993).

Isótopo	Abundância na natureza (%)	Massa atômica	Meia vida
^{10}C	0	10	19.45 s
^{11}C	0	11	20.3 min
^{12}C	98.892	12	Estável
^{13}C	1.108	13.00335	Estável
^{14}C	0	14	5730 anos
^{15}C	0	15	2.4 s
^{16}C			0.74 s

A grafita é quimicamente estável a baixas temperaturas, possui alta condutividade térmica e elétrica, coeficiente de expansão termal e de fricção baixos. O peso específico varia de 2,20 a 2,30 dependendo da pureza do material, já a densidade específica teórica é de $2,26 \text{ g/cm}^3$ (Kalyoncu 2000). A densidade varia entre $2,1$ a $2,3 \text{ g/cm}^3$, dependendo do tipo de material, conforme Pierson (1993).

O coeficiente de expansão linear ao longo do eixo a é levemente negativo até $383 \text{ }^\circ\text{C}$, e torna-se positivo acima desta temperatura. Ao longo do eixo c este coeficiente é de 238×10^{-7} entre 15 e $800 \text{ }^\circ\text{C}$. A condutividade térmica [$\text{W}/(\text{mk})$] ao longo do eixo a é máxima a $-100 \text{ }^\circ\text{C}$, quando vale $285 \text{ w}/(\text{mk})$; já a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ é $251 \text{ w}/(\text{mk})$. Ao longo do eixo c paralelo ao plano basal da rede, a resistência específica é de cerca de $10^{-4} \Omega.\text{cm}$. A resistência ao longo do eixo c perpendicular ao plano basal é aproximadamente 1Ω .

O valor da susceptibilidade magnética específica para a grafita do Sri Lanka é estimada em $-6.5 \times 10^{-6} \text{ uSI}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Ao longo do eixo c , ela é de $-0.5 \times 10^{-6} \text{ uSI}$, todavia ao longo do eixo a é de $-22 \times 10^{-9} \text{ uSI}$. A grafita é fortemente diamagnética, devido a abundância de elétrons π .

A moagem até atingir cristais menores que 20 nm causa uma deficiência em elétrons π destruindo o diamagnetismo. A grafita queima lentamente no ar a $450 \text{ }^\circ\text{C}$. A $800 \text{ }^\circ\text{C}$, a grafita reage com o vapor de água, monóxido e dióxido de carbono. A deformação plástica da grafita ocorre a $2500 \text{ }^\circ\text{C}$, (Kirk *et al.* 1978). A tabela 2.2 apresenta algumas características deste mineral.

Tabela 2.2- Propriedades físicas da grafita natural (modificado de Kirk *et al.* 1978). # - diferenças entre os valores calculados e experimentais causados por deslocamentos e imperfeições. ^(a) grafita pura e natural do Sri Lanka ca: cálculo aproximado.

Densidade [#] , g/ml	
Calculada	2,265
Experimental ^(a)	ca2,25
Compressibilidade, m ² /N, Sri Lanka	
A baixa pressão	4,5X10 ⁻¹¹
A alta pressão	<2X10 ⁻¹¹
Média	3,1X10 ⁻¹¹
Ponto de sublimação	4000-4015 K
Ponto triplice	
Grafite-líquido-gás, 10.1 Mpa	3900+50 K
Grafite-diamante-líquido12-13Gpa	4100-4200 K
Energia de superfície J/cm ²	ca 1,2X10 ⁻⁵

2.3 - Cristalografia da Grafita

A grafita é um sólido de cor cinza a preto, com brilho opaco a metálico, mole e escorregadia. Na escala de dureza de Mohs está entre 1 e 2, exibe clivagem basal perfeita, é flexível, mas não é elástica. Também é boa condutora de calor e eletricidade, muito refratária e quimicamente inerte (Kalyoncu 2000). Ocorre geralmente em cristais tabulares, de contorno hexagonal, com plano basal bem desenvolvido e clivagem perfeita, segundo {0001}, classe 6/m 2/m 2/m. (Dana, 1978). Oxigênio, álcalis, vapor de água e CO₂ atacam o carbono a elevadas temperaturas, porém em condições redutoras a grafita resiste sem se deformar ou fundir até 6000° F (Foose 1975).

A grafita ocorre em várias partes do mundo, a cristalinidade deste material varia muito, desde materiais praticamente amorfos até materiais com cristalitos, de aproximadamente 0,002 cm e, *flakes* isolados com 5 X 1mm de dimensão maior (Kelly 1981).

A grafita é a forma mais estável de carbono cristalino nas condições normais de temperatura e pressão. A grafita é composta por átomos de carbono no estado de hibridização sp², cada átomo está ligado a outros três por meio de ligações covalentes, restando assim um elétron “livre”. A esta carga livre atribui-se a alta condutividade elétrica da grafita.

As camadas são empilhadas alternadamente de modo que o centro dos

anéis de um plano fica sobre o vértice dos anéis dos planos adjacentes, isto forma um arranjo turbostático na estrutura. Esta configuração gera a rede hexagonal. Os planos entre si são fracamente interligados por forças de Van der Waals, resultando daí as propriedades anisotrópicas do cristal de grafita. Estes planos podem escorregar facilmente uns sobre os outros possibilitando a utilização da grafita como um excelente lubrificante sólido (Fig. 2.1).

A grafita foi um dos primeiros materiais a ser estudado pela difração de raios X. O arranjo consiste de um empilhamento de redes de planos hexagonais paralelos. O espaçamento entre os átomos nos planos da rede é de 1,42 Å e o espaçamento entre os planos da rede é de 3,354 Å. A célula unitária tem quatro átomos em um empilhamento planar na seqüência ABABA... Uma porcentagem pequena de grafita exibe uma estrutura de empilhamento ABCABCABC... resultando em uma forma romboédrica. A grafita romboédrica transforma-se em hexagonal a 2000°C. Este fato sugere que a estrutura hexagonal (Fig. 2.1) é mais estável termicamente (Kirk *et al.* 1978). A estrutura hexagonal perfeita possui regiões romboédricas com defeitos pontuais, vacâncias e deslocamentos. Os espaçamentos entre os átomos de carbono nos planos basais não são equivalentes (1,453 e 1,357 Å). Na seqüência estrutural ABABA os parâmetros cristalográficos são $a=2,409$ Å, $b=4,339$ Å e $c=6,708$ Å, o tamanho da cela C_6 é de 2,456 Å (Kelly 1981).

O grau de cristalinidade da matéria carbonosa, a forma de ocorrência e a granulometria dos cristais de grafita parecem estar relacionados. A granulometria, a cristalinidade, a pureza, as propriedades cristalográficas, bem como as características físico-químicas parecem ser as variáveis mais apropriadas para a classificação desta substância mineral.

2.4 - Usos da Grafita

A principal aplicação da grafita covalente e a *intercalated-graphite* é a lubrificação sólida, que consiste na redução da fricção e do desgaste entre duas superfícies em movimento relativo. A tabela 2.3 compara as características do material grafitoso com outros lubrificantes líquidos.

Tabela 2.3 – Características do material grafitoso e dos lubrificantes líquidos (modificado de Pierson 1993).

Condição	Material Grafitoso	Lubrificantes líquidos
Vácuo	Estável	Evapora
Temperatura criogênica	Estável	Congela
Altas pressões	Resiste a carga	Não suporta a carga
Ionização	Estável	Decomposto
Vida	Limitada	Renovável
Condutividade térmica	Baixa	Variável

O grafite e seus compostos, dissulfeto de molibdênio (MoS_2) e politetrafluoretileno (Teflon™) são os melhores lubrificantes sólidos em muitas condições, embora não possam ser utilizados em todas as situações. A eficiência da grafita e seus compostos é ilustrada na figura 2.2. Nestes gráficos são comparados o desgaste e o coeficiente de fricção de três tipos de lubrificantes: Tipo um (1) - (1) : ❶ - ESTER, ❷ - ESTER+ grafita (3G); ❸ - ESTER + grafite flúor (EGF), a temperatura de 21°C (Figs. 2.2 a,b) e a 260°C (Figs. 2.2 c,d). O desempenho destes lubrificantes é maior, quando existe um componente rolante ou rolante/deslizante (Pierson 1993).

Grafoil são folhas de grafite purificado quimicamente, prensado e temperado. Tem baixa densidade e um grande número de aplicações em polimento e limpeza de superfícies, bem como diversos usos em *high-surface materials* em lares, marcas e selagens de alta temperatura e *gaskets*. A grafita tem capacidade única de intercalar eletroquimicamente íons positivos e negativos; produz-se o grafite intercalado, que tem um bom número de aplicações eletroquímicas começando pelos eletrodos de baterias (Pierson 1993). A grafita também é empregada para a confecção de diversos produtos. Em alguns usos, é um dos vários compostos utilizados como matéria-prima para a obtenção de produtos finais de maior qualidade. Em algumas aplicações, a grafita não é usada na sua forma bruta, mas concentrada e beneficiada antes de integrar-se como matéria-prima na cadeia produtiva de alguns sub-produtos. Com o beneficiamento e a mistura de materiais naturais e sintéticos produz-se diversos sub-produtos utilizados nos mais variados setores da economia globalizada. Dentre os exemplos de emprego da grafita, destacam-se os lubrificantes secos, marcadores de leitura, lápis de desenho e escrita, matéria-prima para compostos

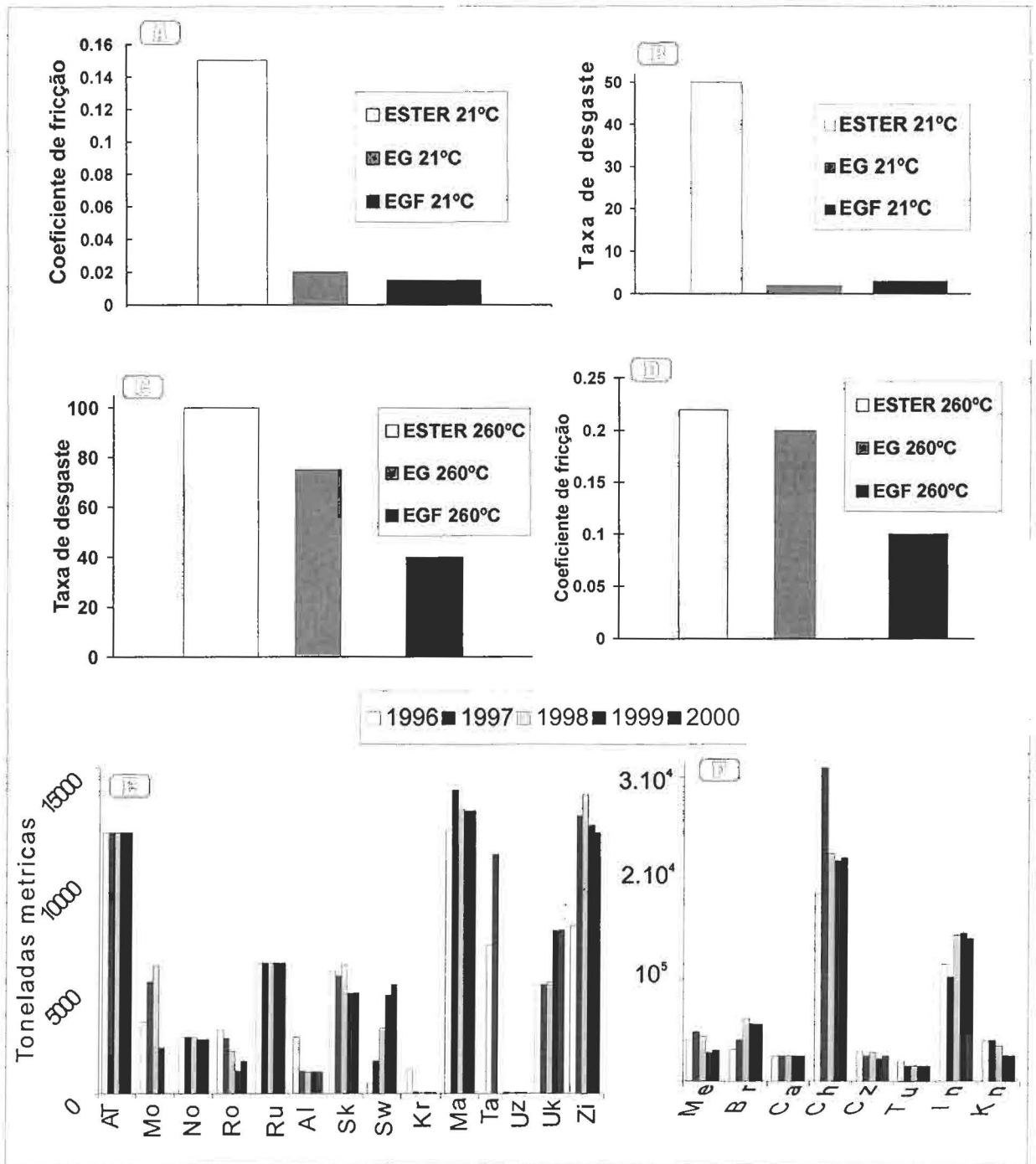
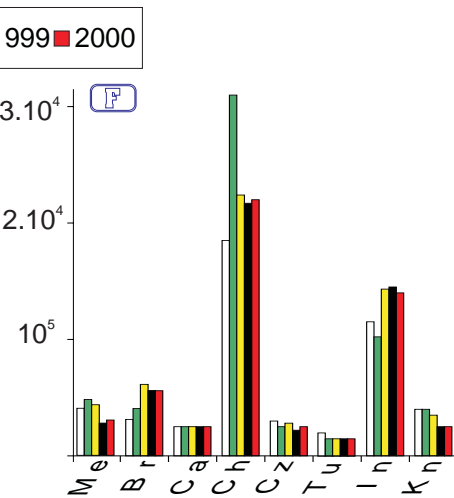
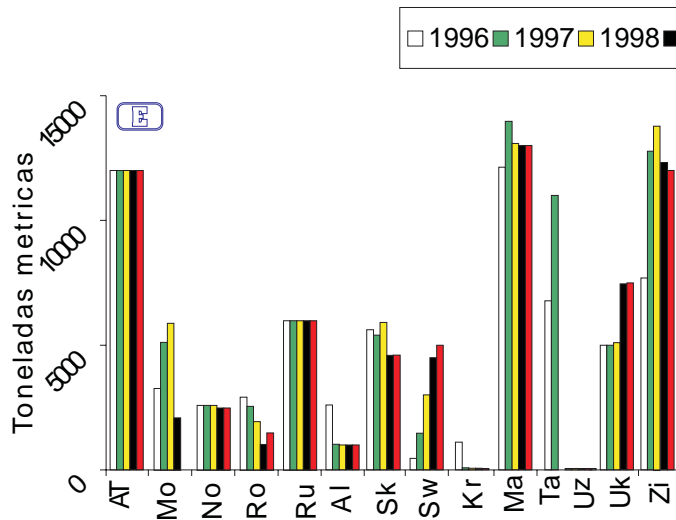
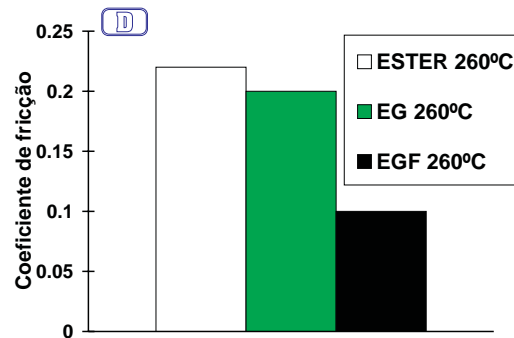
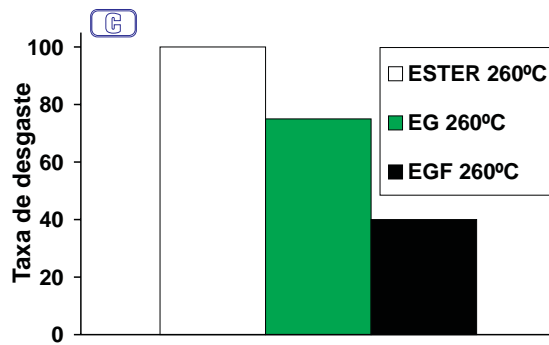
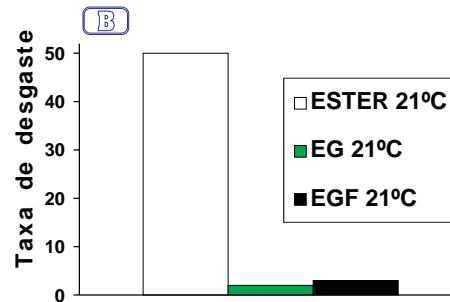
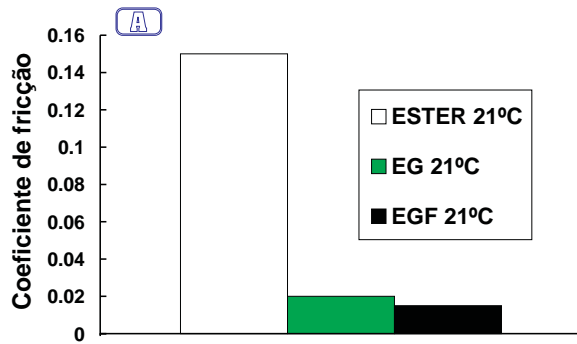


Figura 2.2: Gráficos sobre a grafita (modificado de Pierson 1993; Sznopce & Kalyoncu 2001). A,B,C,D) Gráficos de comparação do grafite com lubrificante líquido comum e com misturas de grafite mais lubrificante líquido a duas temperaturas distintas. E e F) Produção mundial em toneladas métricas/ano por país. At: Áustria, MO: Moçambique, NP: Noruega, RO: Romênia, Ru: Rússia, AI: Alemanha, Sk: Sri Lanka, Sw: Suíça, Kr: República da Coréia, Ma: Madagascar, Ta: Tanzânia, Uz: Uzbequistão, Uk: Ucrânia, Zi: Zimbabuê, Me: México, Br: Brasil, Ca: Canadá, Ch: China, Cz: República Tcheca, Tu: Turquia, In: Índia, Kn: Coréia do Norte.



lubrificantes, indústria de eletro-eletrônicos, diversos usos na produção do aço, escovas de motores e geradores, excelentes propriedades de resistência ao desgaste e intempéries, tintas industriais e pigmentos, solúvel em ferro fundido, carbono para açaria, aumentar a resistência à água em metais e ligas, superfícies de fundição e moldagem, queimadores lentos, condutores de calor, retentores de força com grande intervalo de temperaturas, refratários para cadinhos de aço, pisos e assoalhos de fornalhas de fundição, bem como paredes laterais e demais secções em alto fornos. Além dessas aplicações, a grafita é empregada na absorção de infravermelho, em diversos usos específicos da indústria aeroespacial, química, elétrica, metalúrgica e nuclear. O uso da grafita como auxiliar no combate aos fungos em sementes de soja e algodão vem sendo estudado pela EMATER e pela EMBRAPA na região centro-oeste do país (Goulart 2000, Mantovani *et al.* 1994, Cruz *et al.* 1999, entre outros).

2.5 - Cristalinidade da matéria carbonosa

Diversas pesquisas sobre a cristalinidade da grafita em terrenos de metamorfismo de contato e regional mostram que o espaçamento interplanar do mineral decresce com o aumento do grau metamórfico (Quinn & Glass 1958; French 1964; Griffin 1967; Landis 1971; Grew 1974; Diessel *et al.* 1978; Weis 1980; Wintsch *et al.* 1981; Itaya 1981; Okuyama-kusunose & Itaya 1987; Wada *et al.* 1994, entre outros). Segundo estes autores, a distância interplanar da grafita está relacionada com as condições de temperatura e pressão a que este mineral foi submetido.

O espaçamento entre os planos de átomos é determinado locando os picos no difratograma e efetuando a respectiva conversão, utilizando-se a equação de Bragg ①. Assim, a aplicação desta possibilita o cálculo dos espaçamentos da rede (d_{hkl}), a partir do comprimento de onda (λ), distância (η) e ângulo de incidência (Φ).

$$\Phi = \text{sen}^{-1} \left(\frac{\lambda}{2} \cdot \frac{n}{d_{hkl}} \right) \quad \text{①}$$

A *equação de Sherrer* ② permite aproximações sobre a proporcionalidade entre a largura e a altura de picos. Griffin (1967), Okuyama-Kusunose & Itaya (1987), Wada *et al.* (1994) e Kovalevski *et al.* (2001) utilizaram

esta equação para determinar o tamanho do cristálito ($LC=length\ crystallite$) da grafita, que é o tamanho do cristálito, em angströms perpendicular aos planos de difração. As estimativas são calculadas utilizando-se uma constante k . As variáveis são: comprimento de onda da radiação X em angströms (λ), a largura do pico a meia altura em termos de 2θ convertidos para radianos (B) e o ângulo de Bragg no máximo (Φ).

$$LC = K\lambda / (B \cos \Phi) \quad \textcircled{2}$$

Landis (1971), Grew (1974), Diessel *et al.* (1978) e Itaya (1981) realizaram medidas da largura do pico em $2\theta \cong 26^\circ$ a diferentes alturas do mesmo. Estes autores relacionaram este parâmetro com a cristalinidade da grafita.

O grau de grafitização (DG) $\textcircled{3}$ é um parâmetro que estabelece uma relação entre a cristalinidade da matéria carbonosa, a temperatura e a pressão a que as rochas foram submetidas (Tagiri 1981 e Wada *et al.* 1994.)

$$DG = \left[\frac{(d(002) - 3.7)}{\log LC(002)/1000} \right] \cdot 100 \quad \textcircled{3}$$

A equação $\textcircled{3}$ permite o cálculo do grau de grafitização (DG), partindo-se da distância entre os planos de átomos e o tamanho do cristálito. É necessário aferir uma constante para cada cinturão e para cada paragênese observada, pois o metamorfismo pode ser simplificado para este algoritimo apenas em caráter local, e não regional, e muito menos global. O valor 3.7 é sugerido para os pelitos de grau médio nos estudos de Wada *et al.* 1994. Embora a utilização do DG em equações geotermométricas exija a calibração da constante, estudo comparativos sem cunho termométrico podem ser efetuados com constantes já consagradas internacionalmente.

A partir da análise de dados químicos e de DRX, Quinn & Glass (1958) relacionaram os dados do *rank* do carvão com o grau metamórfico de metapelitos associados a carvões. Estes autores concluíram que a intensidade da grafitização pode ser estimada pela forma e posição dos picos nos difratogramas.

French (1964) estudou, por difração de raios X, a matéria orgânica associada a formações ferríferas precambrianas afetadas por metamorfismo de

contato, devido a intrusão de um gabro. Ele dividiu a cristalinidade da grafita em quatro grupos: material carbonoso amorfo, material carbonoso asfáltico, d-grafita e grafita *sharp pick*. Nos difratogramas de raios X, obtidos por este autor, o **material carbonoso amorfo** não apresenta picos ou bandas na região de $2\theta \cong 26^\circ$, onde deveria aparecer o pico referente as reflexões dos planos d002. O **material carbonoso asfáltico** apresenta uma banda larga na região de $2\theta \cong 25^\circ$, que corresponde a $d_{002} = 3,5\text{\AA}$. O **d-grafita** é um material grafítico com cristalinidade pobre apresentando um pico largo na região de $2\theta \cong 26^\circ$, com $d_{002}=3,43\text{\AA}$. French (1964) sugeriu que o material d-grafita seria um estágio de cristalização onde a estrutura da grafita ainda estaria desordenada. Já a grafita *sharp pick* é caracterizada nos difratogramas obtidos por um pico bem definido na região de $2\theta \cong 26,5^\circ$, que corresponde a $d_{002} = 3,36\text{\AA}$. Este tipo de grafita foi considerado como a grafita bem cristalizada.

Landis (1971) estudou rochas metamórficas com grafita, com o emprego de DRX e difração de elétrons. A grafita bem cristalizada tem espaçamento interplanar d002 variando entre 3,36 e 3,35Å. Este mineral ocorre em rochas submetidas ao metamorfismo da fácies epidoto-anfíbolito e anfíbolito. Landis (1971) revisou a classificação de French (1964) e propôs que a matéria carbonosa fosse classificada em dois grupos: os carbonos *sub-grafíticos* e a *grafita*. Os materiais sub-grafíticos foram subdivididos nos tipos d1, d2 e d3, em função de um índice relacionado com a análise da forma e intensidade dos picos nos difratogramas. A **grafita d₁** é caracterizada por um pico 002 relativamente intenso referente a distância d002 de 3,35 a 3,36Å, porém os picos localizados a ângulos menores são relativamente largos. A **grafita d₂** é caracterizada por pico 002 largo, mas que permite definir uma distância interplanar de 3,5 Å. Acima do fácies lawsonita-albita-clorita, pumpeleita-actinolita, xisto verde e xisto azul ocorre tanto a grafita d1, como a grafita d2. A **grafita d3** corresponde ao material amorfo de French (1964), o qual apresenta apenas bandas com alguns padrões muito largos, sugerindo reflexões de distâncias interplanares de aproximadamente 3,50-3,75Å. Este material ocorre em rochas submetidas ao metamorfismo desde o fácies zeolita até lawsonita-albita-clorita. A grafita bem cristalizada foi primeiramente reconhecida em rochas do fácies albita-epidoto-anfíbolito e anfíbolito. Este mineral apresentava as reflexões: 002, 100, 101

e 004, conforme o padrão estabelecido por Smith (1969 *apud* Landis 1971).

Itaya (1981) e Grew (1974) em estudo da matéria carbonosa de xistos pelíticos relatam que o processo de grafitação é extremamente lento, se comparado com o equilíbrio de óxidos e silicatos. Sugerem que a temperatura de grafitação completa difere em cada terreno metamórfico e sem relação direta com a duração do metamorfismo. Propõem que o comportamento da variação da cristalinidade da grafita é controlada por variáveis locais do metamorfismo em cada terreno. Apresentam um diagrama que relaciona a variação do espaçamento d002 com o grau metamórfico em terrenos submetidos ao metamorfismo de contato e regional. Apartir de revisão bibliográfica e estudo de seqüências tipo, em vários continentes, Grew (1974) discutiu as limitações dos estudos de DRX em materiais carbonosos. Este autor sugere que os dados devem ser usados com cautela, devendo ser confirmados por outras técnicas. Ele conclui que a reação de grafitação é lenta e que sofre influência do tipo de rocha, fato este também ressaltado por Diessel (1978). Isto sugere que a grafita tende a levar mais tempo para executar o processo de recuperação no caso do retrometamorfismo se comparada aos silicatos.

Karkhanis (1978) buscando determinar a história termal de bacias sedimentares estudou filitos carbonosos, por *electron spin resonance* (ESR), razão H/C e fluorescência de raios X (XRF). Este autor concluiu que O, S e N produzem deslocamentos na estrutura da molécula carbonosa. Todavia, Yen (1972) *apud* Karkhanis (1978) sugere que eventos geotermiais podem causar rupturas na estrutura da grafita.

Os estudos de Buseck & Bo-Jun (1985) e Kovalevski *et al.* (2001), com microscopia eletrônica de transmissão (TEM) e microscopia de transmissão de alta resolução (HRTEM), sugerem que as variações estruturais, microgranulométricas e imperfeições cristalinas da grafita interferem nas reflexões características do carbono determinadas a partir de DRX. Por isso, o emprego de DRX como única fonte de dados para o estudo da cristalinidade da grafita não é recomendado.

A cristalinidade da matéria carbonosa foi usada em conjunto com técnicas consagradas para o estudo do metamorfismo em vários continentes. Estes estudos mostram que realmente o espaçamento interplanar está diretamente relacionado com a temperatura na qual o material carbonoso foi submetido, porém

impurezas e outros fatores locais influenciam na distância interplanar. Por isso, a comparação entre diversas ocorrências exige estudos aprofundados e os resultados baseados somente em DRX não encerram os estudos necessários para o completo entendimento da estrutura cristalina do mineral em estudo.

Vários autores correlacionam o índice de cristalinidade (IC) de ilitas com os dados do *rank* do carvão, como por exemplo Frey & Niggli (1971), entre outros. Frey *et al.* (1980) realizaram estudos termobarométricos em filitos carbonosos considerando o índice de cristalinidade (IC) das ilitas, fases minerais em equilíbrio, grau de cristalinidade da matéria carbonosa e estudos de inclusões fluidas. O coeficiente de cristalinidade das ilitas é calculado pela largura da reflexão basal de primeira ordem a meia altura. O IC está relacionado com a rocha, mas é geralmente assumido que a influência diminui muito na anquizona (Kübler 1968 *apud* Frey *et al.* 1980). A variação contínua do índice de cristalinidade de ilitas Kübler (1967, 1968 *apud* Frey *et al.* 1980) pode ser usado para fornecer indicações sobre o grau metamórfico de metassedimentos de baixo grau metamórfico (Dunoyer & Segonzac 1970 *apud* Frey *et al.* 1980). Baixos valores de IC indicam alta cristalinidade e grau maior de metamorfismo. A ocorrência de camadas mistas de paragonita e muscovita causam o alargamento da reflexão de 10\AA da ilita Frey *et al.* (1980).

2.6 - Depósitos Minerais de Grafita e Tipos de Minério

Dois tipos gerais de grafita são conhecidos: a natural e a sintética. Grafflin (1983) divide a grafita natural em três tipos: lamelas disseminadas (*flake*), veios cristalinos (fibroso, colunar, foliado e maciço) e amorfo. Estes tipos de grafita distinguem-se entre si por variações nas propriedades físicas, aparência, composição química e impurezas (Tab. 2.4). As diferenças físicas dos três tipos são controladas pelo protólito e pelo processo natural de formação. Jense & Bateman (1981) dividiram a grafita natural em cristalina e amorfa.

Kalyoneu (2000) dividiu as ocorrências de grafita em torrão maciço (*lump*), lamelas cristalinas (*crystalline flake*) e amorfo. A grafita de veios hidrotermais maciços (*lump*) ocorre como partículas finas, de granulometria variável, ou em agregados, aciculares ou placóides, entre os grãos de quartzo. As lamelas cristalinas (*crystalline flake*) ocorrem como placas isoladas, lamelas irregulares,

angulares, arredondadas ou outras formas encontradas em camadas ou bolsões em rochas metamórficas. Em alguns depósitos, os *flakes* ocorrem concentrados em veios, lentes ou *Pods*.

Tabela 2.4 - Características e propriedades dos três tipos de grafita natural (modificado de Pierson 1993).

PROPRIEDADE	TIPO		
	Flake	Cristalino	Amorfo
Carbono, %	90	96	81
Enxofre, %	0,10	0,7	0,10
Densidade, g/cm ³	2,29	2,26	2,31
Grau de grafitização, %	99,9	100	28
Espaçamento d(002), nm	0,3355	0,3354	0,3361
Resistividade, Ω cm	0,031	0,029	0,091
Morfologia	lamelar	lamelar, acicular	Granular

Graffin (1983) dividiu a grafita artificial em primária e secundária: a primária é produzida como pó, enquanto a secundária é mecanicamente estruturada depois fatiada gerando um produto final similar ao *flake*.

Os depósitos de grafita são de três tipos: ígneos, metamórficos e hidrotermais. Os **depósitos de grafita ígnea** são aqueles em que este mineral cristaliza diretamente de líquidos magmáticos com alto teor de carbono livre. Os **depósitos metamórficos** são formados pela cristalização de grafita, devido ao metamorfismo regional ou de contato de protólitos carbonosos. Os **hidrotermalitos grafitosos** derivam de processos metassomáticos, nos quais a atuação de fluidos hidrotermais possibilitaram a concentração e/ou recristalização de paragêneses carbonosas. Em depósitos parametamórficos, a quantidade de grafita está relacionada com a quantidade de carbono original da rocha (Kirk *et al.* 1978).

Quanto a gênese, as ocorrências naturais de grafita podem ser classificadas como singenéticas e epigenéticas (Weis *et al.* 1981). As **singenéticas** são formadas pela acumulação primária de detritos orgânicos, os quais são convertidos em grafita pelo metamorfismo (Hoefs & Frey 1976; Oehler & Smith 1977). A grafita **epigenética** é originária de processos hidrotermais (Springer 1995) ou da substituição de ocorrências singenéticas (Weis *et al.* 1981). Por outro lado, Weis *et al.* (1981) explicaram que os depósitos epigenéticos de grafita são formados de materiais carbonosos ou concentrações pré-existentes de grafita, pela conversão

do carbono em CO (reação com vapor d'água) e a precipitação do carbono por reações de *Boudouard* ($2CO \rightarrow C + CO_2$).

2.7 - Aspectos Econômicos

No contexto do mercado internacional, o Brasil vem ocupando uma posição de destaque como produtor de minério grafítico (Tab. 2.5). As plantas de beneficiamento em operação no Brasil conseguem por meio de moagem e flotação produzir teores de até 98% de carbono no concentrado do minério de grafita. Contudo, já existe mercado consumidor para concentrados de minério com pelo menos 75% de grafita. Com o emprego de técnicas “via úmida”, o produto final alcança 99,95% de pureza.

Estão em operação no Brasil, três unidades de beneficiamento (ISO9002), no Estado de Minas Gerais: 1) **Planta de Pedra Azul** (teor médio = 6%), a qual é a maior planta de beneficiamento deste minério no país, produzindo cerca de 36 mil ton/ano de concentrado de carbono com pureza de 97% (concentrações mecânicas); 2) **Planta de Itapeçerica** (teor médio = 15%), a qual situa-se a 180 km de Belo Horizonte. Nesta planta é produzido um minério, com pureza de 99,9% a partir de concentração mecânica, combinada com processos químicos. Nesta planta opera uma unidade de rebeneficiamento para produção de grafitas coloidais, lubrificantes e expansíveis. Estes últimos são usados pelas indústrias de pilhas alcalinas, de refratários especiais e de peças automotivas, e 3) a **Planta de Salto da Divisa** (teor médio = 6%), a qual produz concentrado de carbono com pureza de 97% (concentração mecânica). Nesta planta o minério é extraído a céu aberto, com o uso de máquinas de lâmina sem a utilização de explosivos (Nacional de grafite 2003). Dados de produção e beneficiamento de grafita no Brasil foram sintetizados por Duarte (2000), os quais mostram que: a grafita natural é lavrada nos estados de Minas Gerais e Bahia. Em Minas Gerais, a Nacional de Grafite Ltda, a maior produtora de grafita natural beneficiada no Brasil, lavra grafita natural nos municípios de Itapeçerica (10.800 t/ano), Pedra Azul (30.000 t/ano) e Salto da Divisa (6.000 t/ano). O minério de grafita natural depois de lavrado é concentrado com teor de carbono fixo de 65,5 a 99,9% de pureza, e se dividem, quanto a granulometria, em três tipos: grafita granulada *lump*, grafita de granulometria intermediária e grafita

fina. A empresa Grafita MG, explora grafita em Serra Azul e Mateus Leme, em MG. No ano de 2000, foram produzidas 16.570 t de grafita, com teores de 14,0% de carbono, que foram destinadas ao mercado após simples moagem, vendida para produtores de ferro-gusa. A Mamoré Mineração e Metalúrgia Ltda., Grupo Paranapanema, lavra 6.000 t/ano de grafita em Maiquinique (BA), conforme Duarte (2000).

Tabela 2.5: Reservas e produção de minério grafitoso no mercado internacional. Os Valores são expressos em porcentagem (%) e em peso (10^3 toneladas), modificado de Duarte (2000).

País	Reservas e Produção											
	1996				1999				2000			
	Reservas	%	Produção	%	Reservas	%	Produção	%	Reservas	%	Produção	%
Brasil	96000	20.1	36	5	95000	21	54	8.1	95000	21,0	71	9,7
Canadá	3000	0.6	22	3.1								
China	31000	65	350	48.6	310000	68	280	34.4	310000	68,0	300	41.3
Índia	1000	0.2	90	12.5	620	0.1	145	21.5	620	0,1	150	20,6
República da Coreia	20000	4.2	4	0.5								
Madagascar	1000	0.2	10	1.4	960	0.2	12	2.2	960	0,2	15	2,0
México	3000	0.6	45	6.3	3100	0.7	44	8.3	3100	0,7	45	6,0
Outros	43000	9.1	163	22.6	44400	10	143	25.5	44400	10,0	145	20,0
Total	477000	100	720	100	454080	100	678	100	454.08	100,0	726	100,0

2.7.1 - Preços

O teor de carbono, o tamanho do *flake* e do cristal, a distribuição granulométrica e o conteúdo de cinzas do minério grafitoso afetam o preço da grafita (Kalyoncu 2000). A grafita amorfa tem baixa cristalinidade e baixa pureza, o que acarreta num preço menor em relação a grafita cristalina. A tabela 2.6 resume a variação do preço médio do concentrado de grafita no período de 1999 a 2001. A figura 2.3 ilustra a variação no preço da tonelada do minério de grafita, no período de 1996 a 2001. A análise da variação do preço do minério grafitoso (Tab. 2.6 e Fig. 2.3) mostra a tendência de crescimento do valor da grafita amorfa. Este comportamento pode ser atribuído ao esgotamento do minério *flake* e *lump*, combinado com o aperfeiçoamento de tecnologias de aproveitamento do minério amorfo muitas vezes modificado industrialmente para aumentar sua qualidade.

A produção mundial da grafita em toneladas métricas por anos é exemplificada na figura 2.4. As reservas de grafita no Brasil a produção bruta, a produção beneficiada e o consumo de grafita no Brasil são sintetizadas graficamente na figura 2.4.

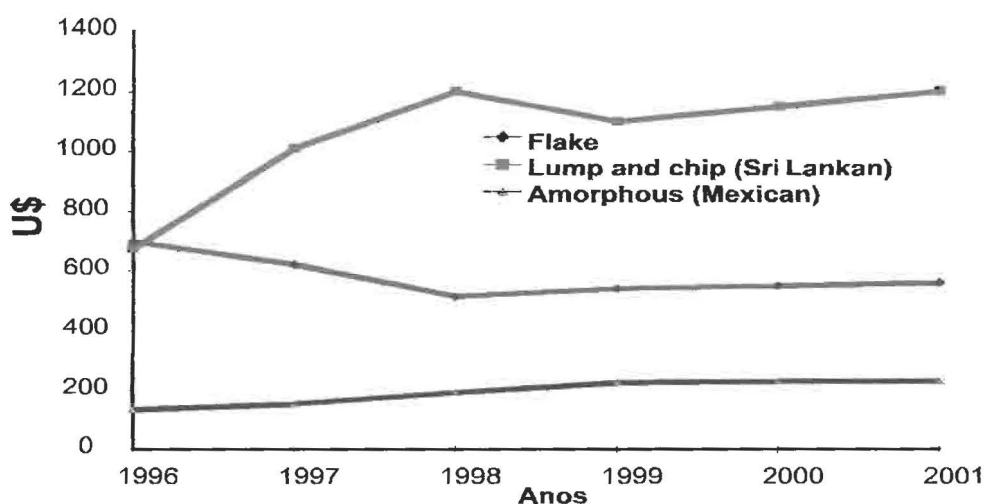


Figura 2.3 - Gráfico da variação dos preços, em dólar, nos portos de origem para envio aos Estados Unidos (modificado de Kalyoncu 2000).

Tabela 2.6 - Variação dos preços em relação aos tipos de concentrados comercializáveis de grafita. # Valores no porto de embarque (Suíça), por tonelada métrica (modificado de Kalyoncu 2000.)

Tipo	1999	2000	2001
<i>Flake</i> cristalino largo 94%C	\$570-\$750	\$570-\$750	\$570- \$750
<i>Flake</i> cristalino grosso 90%C	480-550	480-550	480- 550
<i>Flake</i> cristalino médio 90%C	370-410	370-410	370- 410
<i>Flake</i> cristalino fino 80-95%C	270-500	270-500	270- 500
Pó amorfo 80-85%C	220-235	220-235	220- 235
Sintético 99.95%C [#]	2290	1940	2,070

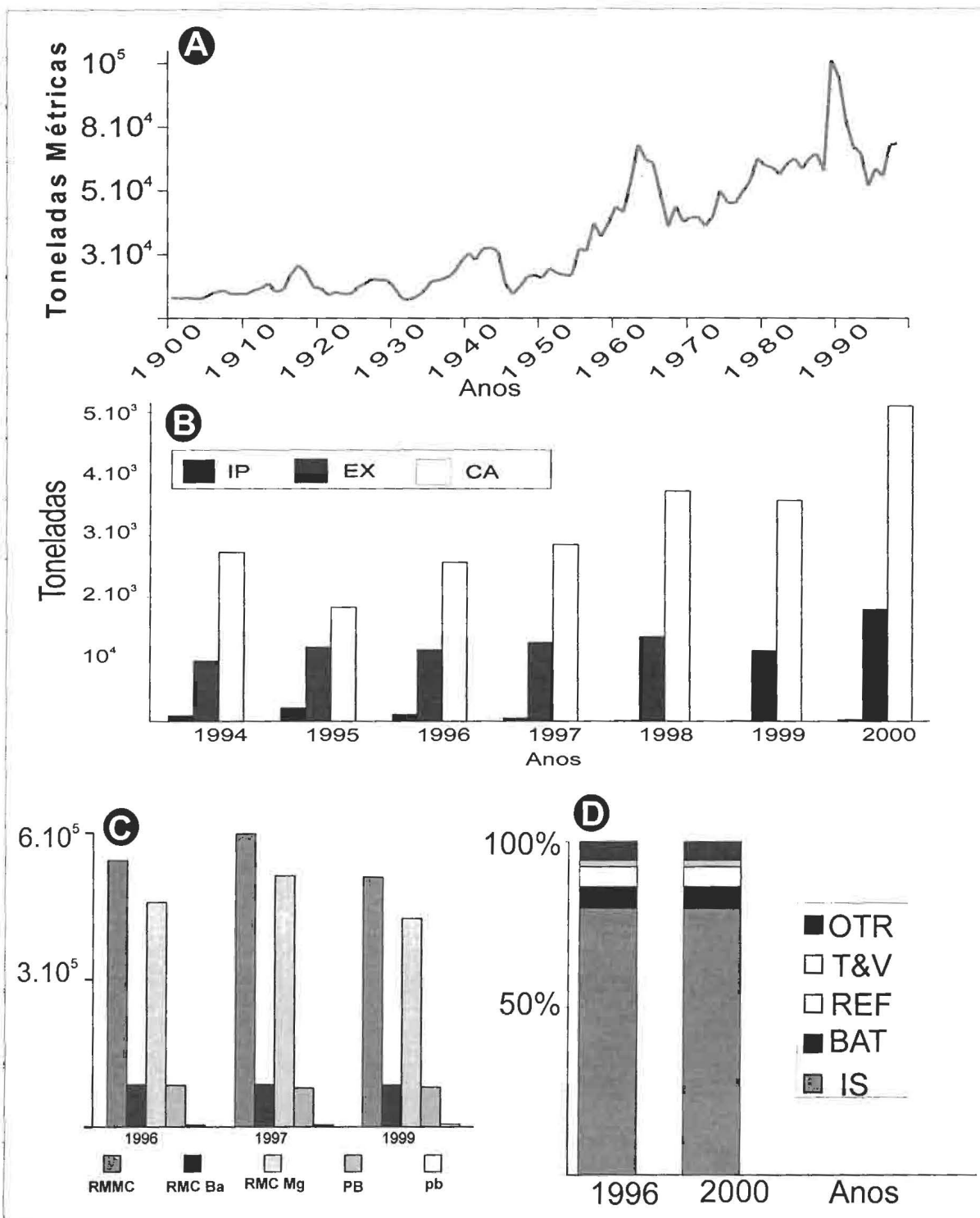


Figura 2.4: Gráficos estatísticos da produção de grafita. Dados de Duarte (2000) e Sznopek & Kalyoncu (2003). A) Produção mundial, metric tons X Anos. B) Importação, exportação e consumo aparente no Brasil, toneladas X Anos. C) Reservas de grafita no Brasil. RMMC Reservas de minério contido, RMC Ba - Reservas de minério contido no estado da Bahia, RMC Mg - Reservas de minério contido no estado de Minas Gerais, PB Produção bruta, pb - produção beneficiada. D) Consumo de grafita no Brasil. IS - Indústria siderúrgica, BAT - Baterias, T&V - tintas e vernizes, REF - Refratários, OTR - Outros.

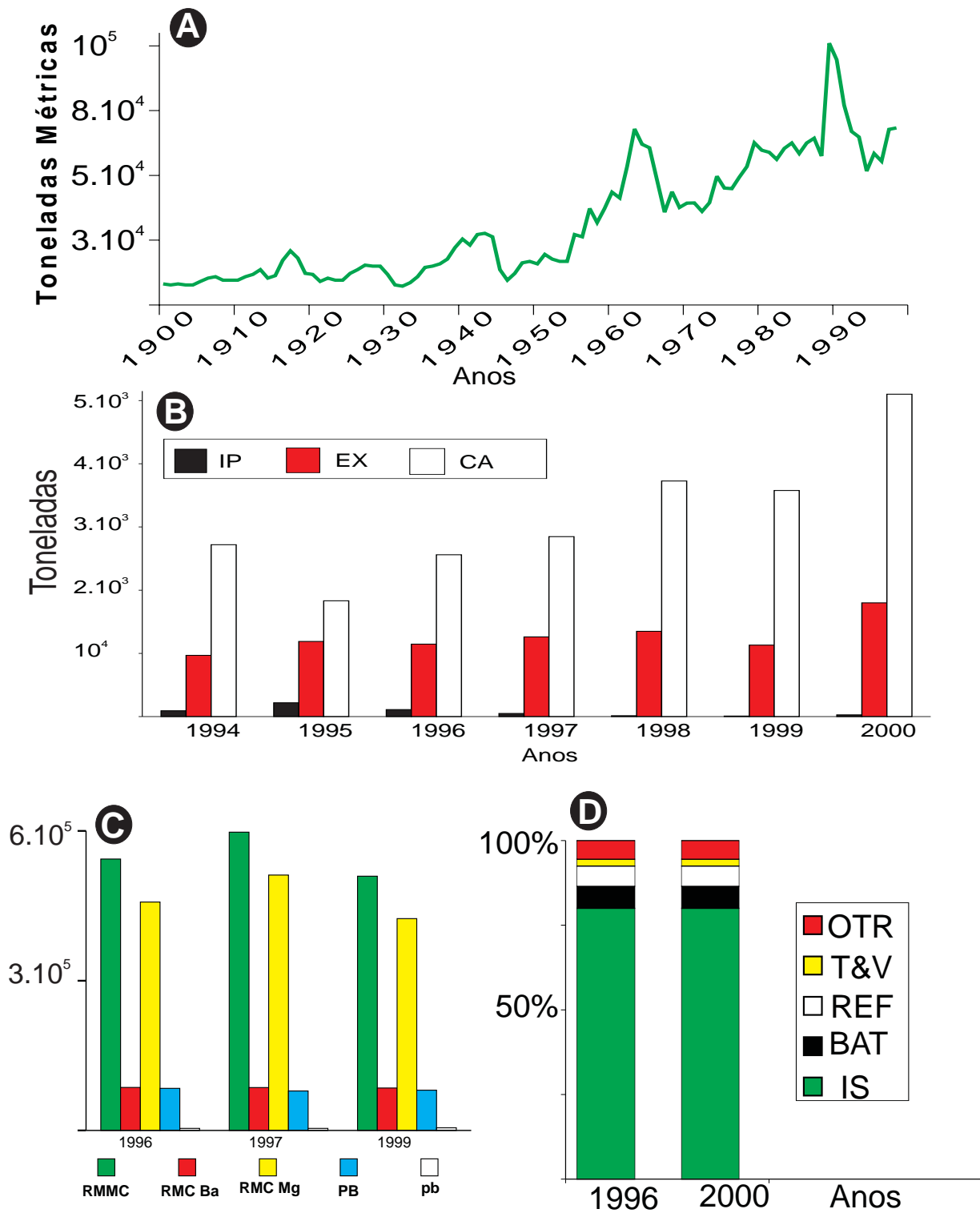


Figura 2.4: Gráficos estatísticos da produção de grafita. Dados de Duarte (2000) e Sznopek & Kalyoncu (2003). A) Produção mundial, metric tons X Anos. B) Importação, exportação e consumo aparente no Brasil, toneladas X Anos. C) Reservas de grafita no Brasil. RMMC Reservas de minério contido, RMC Ba - Reservas de minério contido no estado da Bahia, RMC Mg - Reservas de minério contido no estado de Minas Gerais, PB Produção bruta, pb - produção beneficiada. D) Consumo de grafita no Brasil. IS - Indústria siderúrgica, BAT - Baterias, T&V - tintas e vernizes, REF - Refratários, OTR - Outros.

CAPITULO 3 - ISÓTOPOS DE CARBONO DOS FILITOS CARBONOSOS

3.1 - Introdução

Neste capítulo é apresentada uma cópia do artigo: "*Isótopos de Carbono dos Filitos Carbonosos da Seqüência Metavulcano-Sedimentar Marmeleiro, Sul de Ibaré, Estado do Rio Grande do Sul*". Este trabalho foi submetido para publicação na Revista Pesquisas em Geociências, conforme carta de recebimento do editor (item 3.2).

O trabalho é apresentado na íntegra sem nenhuma modificação no conteúdo e redação. Contudo a numeração dos títulos, subtítulos, figuras e tabelas foram adaptadas para manter a seqüência do restante desta dissertação.

3.2 - Carta Editor Chefe



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
REVISTA PESQUISAS EM GEOCIÊNCIAS
Cx. Postal: 15001 - CEP:91509-900
Porto Alegre - RS - Brasil

Porto Alegre, 27 de outubro de 2002.

Ilmo. Sr.
Alessandro Silva de Oliveira
PPGCEO

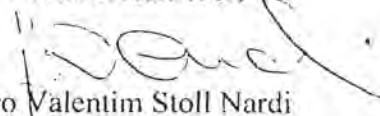
Prezado Colega:

Em nome da Comissão Editorial da Revista PESQUISAS EM GEOCIÊNCIAS, confirmo o recebimento do manuscrito:

Oliveira, A S, Pulz, G M, Bongiolo, E.M., Calarge, L. M. Isótopos de carbono dos filitos carbonosos da seqüência meta-vulcano-sedimentar Marmeleiro, sul de Ibaré, Estado do Rio Grande do Sul.

Agradecemos o encaminhamento do mesmo à revista Pesquisas em Geociências e manteremos contato tão logo sua avaliação pelo corpo consultivo seja realizada.

Atenciosamente,


Lauro Valentim Stoll Nardi
Editor-Chefe.

3.3 - Isótopos de Carbono dos Filitos Carbonosos da Sequência Metavulcano-Sedimentar Marmeleiro, Sul de Ibaré, Estado do Rio Grande do Sul

Alessandro Silva de Oliveira¹, Gênova Maria Pulz², Everton Marques Bongioiolo¹, Liane

Maria Calarge³

1 - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Caixa Postal 15001, Porto Alegre, RS, Brasil, Cep 91509-900 mixigeo@vortex.ufrgs.br

2 - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica, Caixa Postal 15001, Porto Alegre, RS, Brasil, Cep 91509-900 genova@portoweb.com.br

3 - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Centro de Tecnologia, Av. Unisinos, 950, São Leopoldo, RS, Brasil, CEP 93022-000.

3.3.1 - Abstract

Carbon isotope data for carbonaceous material in the graphite prospect of Marmeleiro Sequence, southwestern of the Sul-rio-grandense Shield, have been determined. The analyses results are approximately constant with $\delta^{13}\text{C}$ -values between -27 and -24 per mil. These values suggest that studied carbonaceous rocks were formed from syngenetic organic detritus, which were converted to graphite during the metamorphism. The degree of cristallinity of carbonaceous material has also been investigated. The results of X-ray diffraction [d(002): 3,35 - 3,37 Å] indicate this material cristallinity is intermediate between amorphous carbon and the fully ordered graphite.

KEYWORDS: carbon isotope, graphite prospect, syngenetic graphite, X-ray diffraction.

3.3.2 - Introdução

Os países em desenvolvimento consomem mais *minerais industriais*, tanto na forma de matéria-prima bruta, como beneficiada, que as nações desenvolvidas (Cordani, 2000). A grafita destaca-se entre os minerais industriais por suas propriedades físicas e químicas (Kelly, 1981; Pierson, 1993), que a tornam um

dos melhores lubrificantes sólidos, assim como possibilitam seu aproveitamento em condutores de calor e eletricidade, escovas de motores e geradores, tintas e pigmentos industriais, produção de ligas metálicas, materiais refratários e baterias (Kirk *et al.*, 1978). Apesar da possibilidade da grafita natural ser substituída por materiais sintéticos na maioria de suas aplicações, a alta tecnologia empregada na fabricação destes torna a substituição onerosa para os setores produtivos dos países em desenvolvimento. Este fato é um dos motivos para a aplicação de tratamentos térmicos e químicos na grafita natural, de baixa qualidade, a fim de maximizar seu aproveitamento industrial.

As ocorrências naturais de grafita podem ser classificadas, quanto a gênese, como singenéticas e epigenéticas (Weis *et al.*, 1981). As singenéticas são formadas pela acumulação primária de detritos orgânicos, os quais são convertidos em grafita pelo metamorfismo (Hoefs & Frey, 1976; Oehler & Smith, 1977). Por outro lado, a grafita epigenética é originária de processos hidrotermais (Springer, 1995) ou da substituição de ocorrências singenéticas (Weis *et al.*, 1981).

As principais explorações brasileiras de minério grafitoso estão situadas nos estados de Minas Gerais e Bahia. Outras ocorrências também são conhecidas nos estados de Goiás, Espírito Santo, Ceará, Rio de Janeiro, São Paulo e Pernambuco (Faria, 1997). No sul do Brasil, nenhuma ocorrência deste mineral é explorada até o momento. O crescente desenvolvimento da região sul tem aumentado a demanda por esta matéria-prima, o que motivou o presente estudo das rochas grafitosas, situadas na Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro, no sudoeste do Escudo Sul-rio-grandense. A análise do potencial metalogenético deste prospecto grafitoso, com enfoque no tipo genético de ocorrência, é discutida neste trabalho com o auxílio de dados isotópicos de carbono.

3.3.3 – Contexto Geológico

A área deste estudo situa-se no sudoeste do Escudo Sul-rio-grandense, no contexto da porção meridional da Província Mantiqueira (Jost & Hartmann, 1984). Nesta região, um importante lineamento NW-SE delimita os blocos Taquarembó e São Gabriel, o qual é denominado de Lineamento de Ibaré.

A Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro aflora numa estreita faixa noroeste, alongada por cerca de 12 km de extensão e delimitada pelo Lineamento de Ibaré na porção sul do Bloco São Gabriel (Fig. 3.1). É constituída por

metassedimentos límpidos e carbonosos, associados com mármore, rochas calcissilicáticas, talco xistos, anfíbolitos e vulcanoclásticas básicas a ácidas (Santos *et al.*, 1998; Siviero, 2001). Os litótipos desta seqüência supracrustal estão estruturados numa sinforme assimétrica e apresentam foliação definida por feixes lepidoblásticos de filossilicatos, por vezes associados com grafita ou alterados para argilominerais. As paragêneses minerais indicam pelo menos dois eventos metamórficos na região estudada, que atingiram, respectivamente, as fácies anfíbolito e xisto verde (Fernandes *et al.*, 1995; Siviero, 2001).

O embasamento da Seqüência Marmeleiro é representado por gnaisses foliados do Complexo Cambaí (Issler, 1983) e rochas básicas e ultrabásicas da Formação Mantiqueiras (Fig. 3.2). Ao longo do contato da Seqüência Marmeleiro com o Complexo Cambaí ocorrem diversas variedades petrográficas de filonitos. Na área deste estudo, o Complexo Cambaí está representado por gnaisses de composição monzonítica, granodiorítica, diorítica, tonalítica e trondhjemítica. As melhores exposições desta unidade estão na porção norte separando a Seqüência Marmeleiro da Associação Shoshonítica de Lavras do Sul (Fig. 3.1). Estimativas por U-Pb (SHRIMP) em zircões obtidas no Metadiorito Passinho, à sudeste do Passo do Marmeleiro, sugerem que o magmatismo do Complexo Cambaí iniciou por volta de 879 ± 14 Ma (Leite *et al.*, 1998).

A Associação Shoshonítica de Lavras do Sul, constituída por rochas plutônicas e vulcânicas brasileiras (Nardi & Lima, 1985), aflora a nordeste da área estudada. A continuidade do limite sudeste da Seqüência Marmeleiro é truncada por rochas vulcânicas shoshoníticas, da Formação Hilário (Ribeiro & Fatnel, 1978), posicionada na porção inferior da Associação Vulcano-Plutônica do Taquarembó (Wildner, 1999). Minioli & Kawashita (1971) apresentaram dados K-Ar, no intervalo de 495 a 523 ± 20 Ma, para os andesitos da Formação Hilário. Segundo Lambrini *et al.* (1999), os vulcanitos da Formação Hilário foram depositados em um corpo d'água raso e representam fácies distais do vulcanismo Lavras. Segundo Wildner (1999), a Associação Vulcano-plutônica do Taquarembó contém depósitos epiclásticos e de fluxo do tipo *lahaar*, bem como lavas com disjunções colunares, sugerindo que esta unidade foi depositada em ambiente continental, predominantemente aéreo e, por vezes, sub-aquoso na região estudada.

Rochas alcalinas da Associação Vulcano-plutônica do Taquarembó,

representadas pela Suíte Intrusiva Saibro, afloram a sudoeste da seqüência supracrustal Marmeleiro. Datações Rb-Sr em rochas desta suíte intrusiva forneceram idades no intervalo de 580 a 537 Ma, com razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ variando de 0,7049 a 0,7107 (Nardi & Bonin, 1991). Além desta unidade, afloram na porção sudoeste da área estudada rochas da Suíte Intrusiva Santo Afonso, de afinidade cálcio-alcalina alto-K, e a noroeste da região estudada ocorre o Granito Jaguari, de afinidade alcalina, com idades Rb-Sr em rocha total de 537 ± 10 Ma e idade aparente Pb-Pb de 565 ± 55 Ma, que atestam sua vinculação com a Orogênese Brasileira (Gastal & Lafon, 1998).

No contexto regional da área estudada, a nordeste da zona urbana de Lavras do Sul, ocorre uma unidade sedimentar de idade eopaleozóica, denominada de Formação Santa Bárbara, relacionada com a Bacia do Camaquã. Segundo Ribeiro & Lichtenberg (1978), esta formação é representada por camadas vermelhas inclinadas, “Camaquã inclinado”, compostas por arenitos arcoseanos, conglomerados, siltitos, argilitos e lavas intermediárias.

Na porção sudoeste, a Seqüência Marmeleiro está em contato com os arenitos e conglomerados aluviais e arcóseos da Formação Maricá (Robertson, 1966). Esses sedimentos foram redenominados para Formação Pessegueiro por Santos *et al.* (1998) que corresponde Alogrupo Maricá por Paim *et al.* (2000), a qual é sobreposta por siltitos sub-horizontais da Formação Budó e pelos conglomerados da Formação Suspiro. Paim *et al.* (2000) revisaram os dados geocronológicos regionais e concluíram que o Alogrupo Maricá, foi depositado entre 620 e 592 Ma.

Anfíbolitos e talco xistos constituem a porção inferior da Seqüência Marmeleiro, enquanto no topo predomina um espesso pacote de metassedimentos e metavulcanoclásticas. Lentes métricas de granada anfíbolitos ocorrem intercaladas em xistos magnesianos e quartzo xistos na Seqüência Marmeleiro. Os anfíbolitos são constituídos por hornblenda, granada, quartzo, plagioclásio, epidoto, clinozoisita, titanita, carbonato, apatita e minerais opacos. Na porção inferior da Seqüência Marmeleiro também afloram pequenas lentes de talco xistos intercaladas nos quartzo xistos (Siviero, 2001).

No topo da Seqüência Marmeleiro afloram metassedimentos, representados por quartzitos, quartzo xistos, micaxistos, filitos carbonosos, grafita xistos, mármore e rochas calcissilicáticas, além de metatufos, ora limpidos, ora

grafíticos. Em escala local, os metasedimentos da Sequência Marmeleiro afloram em cristas de alto ângulo, sem continuidade lateral e com espessura variável. A foliação das rochas carbonosas é definida pelo alinhamento de filossilicatos e grafita, a qual está orientada ora para noroeste, ora leste-oeste.

A norte do Passo do Marmeleiro, aflora a Formação Santa Tecla recobrando parcialmente o granito Jaguari e o Complexo Cambaí (Fig. 3.2). Segundo Formoso & Willig (1966), esta unidade pós-permiana é constituída por arenitos e conglomerados com concreções de opala e calcedônia com cimento ferruginoso, xistos e lavas andesíticas.

3.3.4 – Métodos de Estudo

As rochas carbonosas no Passo do Marmeleiro (coordenadas - 30°56'26" de latitude sul e -54°03'33" de longitude oeste) foram amostradas por uma malha de 350 x 500 metros. As amostras foram coletadas ao longo de três perfis NE-SW, transversais à estruturação das camadas (Fig. 3.2). Treze amostras foram selecionadas para análises de $\delta^{13}\text{C}$ e carbono total no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP). O material carbonoso foi calcinado em atmosfera oxidante e o CO_2 , liberado na combustão da amostra, foi analisado para isótopos de carbono por espectrometria de massa. Detalhes desta técnica podem ser encontrados em Hoefs (1987) e Faure (1986). Os dados de isótopos de carbono são apresentados em relação ao padrão PDB (*Peedee Belemnite*) e expressos em valores per mil: $\delta^{13}\text{C} = [(R_s - R_a) / R_s] \times 1000$, onde R_s e R_a referem-se às razões $\delta^{13}\text{C} / \delta^{12}\text{C}$ do padrão e da amostra, respectivamente.

Os teores de carbono, hidrogênio e nitrogênio de algumas réplicas das amostras utilizadas no estudo dos isótopos de carbono também foram determinados na CIENTEC-Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul (Porto Alegre, RS). Estas análises foram obtidas com o instrumental da LECO Corporation (modelo CHN-600), utilizando a norma ASTM-D5373.

A cristalinidade do material carbonoso foi investigada por difração de raios X (DRX) no Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As amostras foram moídas a 200 *mesh* em gral de ágata. Em seguida, concentrados de grafita foram obtidos conforme adaptação do procedimento sugerido por Grew (1974). Aliquotas de 10

gramas do material pulverizado foram atacadas com HCl e HF, por um período de 2 a 24 horas, dependendo da quantidade de impurezas nas amostras. Após cada ataque ácido, as amostras foram lavadas com H₂O destilada e decantadas por um período de 48 a 72 horas. As análises de DRX foram realizadas pelo método do pó não orientado, com equipamento *Siemens D5000* e interpretadas com o auxílio do programa *DIFRAT_{plus 2001} EVA₇*, utilizando a base de dados *JCPDS (1989)*. As seguintes condições analíticas foram utilizadas nas análises pelo método do pó não orientado: tubo de radiação *CuK α* , intervalo de 2 a 72 graus de 2θ , com precisão de 0,026 grau degrau em incrementos de 0,02°, tempo de contagem de 1,5 segundos, voltagem de 40 kV e corrente de 30 mA. A identificação dos argilominerais de uma amostra foi obtida através do método do pó orientado, na fração menor que 2 micrometros, amostra seca ao ar, glicolada e calcinada.

3.3.5 – Petrografia dos Filitos Carbonosos

Os filitos carbonosos ocorrem como lentes nos flancos da sinforme regional, que estrutura a seqüência supracrustal Marmeleiro. A proporção de matéria carbonosa varia de 20 a 84 % do volume modal de uma amostra para outra (Siviero, 2001).

A foliação dos litótipos carbonosos varia desde uma xistosidade fina até uma clivagem de crenulação bem desenvolvida, as quais são marcadas por feixes lepidoblásticos de mica branca, que se alternam com domínios de matéria carbonosa e quartzo. Estruturas S-C, planos C' e a concentração de matéria carbonosa em domínios sigmoidais evidenciam a foliação milonítica nas rochas estudadas (Fig. 3.3). Segregações de quartzo, de possança centimétrica, ao longo de charneiras de dobras e fraturas são comuns nestes litótipos. Resultados microtermométricos de inclusões carbônicas, aquo-carbônicas e aquosas no quartzo de veios e vênulas alojados nas rochas, indicam que o metamorfismo retrogressivo atingiu no mínimo temperaturas de 211 a 219 °C, conforme dados de homogeneização das inclusões fluidas (Acauan *et al.*, 2002).

A paragênese das rochas estudadas é constituída por quantidades variáveis de matéria carbonosa, quartzo, mica branca, clinozoisita, minerais opacos e leucoxênio. A illita foi observada nas amostras intemperizadas. Além dos minerais identificados no presente estudo, Siviero (2001) encontrou pseudomorfos cuédricos

de andalusita em metapelitos carbonosos, que afloram a alguns quilômetros à leste do Passo do Marmeleiro.

Duas variedades petrográficas de matéria carbonosa podem ser reconhecidas na mesma seção polida. A variedade mais abundante mostra-se como lamelas micrométricas de grafita criptocristalina intercaladas nos filossilicatos e argilominerais. Sob microscópio petrográfico de luz refletida, a grafita criptocristalina aparece com poder refletor baixo e sem clivagem visível. Esta variedade de grafita ocorre como uma película paralela à foliação ou realçando a clivagem dos filossilicatos.

A segunda variedade de grafita está representada por lamelas microcristalinas, da ordem de centenas de micrometros, clivagem bem desenvolvida e poder refletor mais alto que a primeira variedade. A grafita microcristalina ocorre tanto em feixes lamelares, como em domínios elipsoidais paralelos à foliação milonítica ou preenchendo fraturas. A proporção de grafita micro-criptocristalina é da ordem de 1:3 nas seções polidas descritas.

A cristalinidade da matéria carbonosa varia de uma amostra para outra. Os resultados de DRX, das doze amostras utilizadas no estudo isotópico, mostram que as distâncias interplanares $d(002)$ deste material variam de 3,35 a 3,37 Å (Tab. 3.1, Fig. 3.6). Estes valores correspondem ao carbono sub-grafítico, denominado grafita do tipo d1, segundo a proposta de Landis (1971). Contudo, em outras lentes de material carbonoso, inseridas na Seqüência Marmeleiro, Siviero (2001) registrou a presença de grafita com distância interplanar $d(002)$ de 3,35 a 3,50 Å, o que corresponde aos tipos de grafita d1 e d2.

3.3.6 – Isótopos de Carbono dos Filitos Carbonosos

Processos metamórficos podem transformar a matéria carbonosa em grafita, CO_2 e CH_4 , H_2 e água (Wintsch *et al.*, 1981; Itaya, 1981). A degradação térmica de compostos orgânicos promove a perda de hidrocarbonetos resultando na remoção preferencial de ^{12}C (Hoefs & Frey, 1976). O material carbonoso residual torna-se enriquecido em ^{13}C se comparado aos compostos volatilizados. Hoefs & Frey (1976) notaram que rochas carbonosas metamorfozadas, sob condições inferiores a 350 °C, tendem a apresentar razões $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ aproximadamente constantes. Segundo estes autores, o fracionamento dos isótopos de carbono, devido a perda de voláteis, ocorre entre 350 e 500 °C.

Amostras representativas das diferentes variedades petrográficas das rochas estudadas foram analisadas para isótopos de carbono (Tab. 3.1). Os resultados das análises de $\delta^{13}\text{C}$ são homogêneos, com uma variação inferior a 3 per mil de uma amostra para outra e assemelham-se à média daqueles derivados de uma fonte orgânica (Ohmoto, 1986; Schidlowski *et al.*, 1975, Schidlowski, 2001; Schoell & Wellmer, 1981), conforme ilustrado na figura 3.4.

Os teores de carbono das rochas estudadas variam de 0,25 a 6,16 % em rocha total. A razão H/C é aproximadamente constante em torno de 0,06 (Tab. 3.2). A comparação dos teores de carbono das rochas estudadas com os valores referenciais deste elemento apresentados por Cameron & Garrels (1980), Vine & Tourtelot (1970) e Wedepohl (1995) mostram que os litótipos do Passo do Marmeleiro estão relativamente enriquecidos em carbono (Tab. 3.3). De um modo geral, os valores isotópicos de carbono mostram uma correlação negativa com a proporção de C total (Tab. 3.1 e Fig. 3.5). A análise conjunta dos dados obtidos neste estudo sugere que o decréscimo dos teores de carbono é acompanhado pelo aumento dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e da cristalinidade da matéria carbonosa nas rochas estudadas (Tab. 3.1).

As características petrográficas dos filitos carbonosos da Seqüência Marmeleiro, somadas à correlação dos dados isotópicos de carbono com o grau de cristalinidade da grafita, indicam que o metamorfismo afetou estas rochas. Mesmo assim, o fracionamento dos isótopos de carbono nestes litótipos parece ter sido reduzido ou praticamente nulo, já que a dispersão dos valores isotópicos é pequena (<3 per mil), assim como a razão de H/C é aproximadamente constante e, ainda, a paragênese é desprovida de carbonatos. Por isso, os valores $\delta^{13}\text{C}$ deste estudo podem ser considerados representativos ou muito próximos das razões isotópicas do protólito das rochas estudadas, assumindo que o metamorfismo ocorreu sem a perda significativa de compostos de carbono.

3.3.7 - Discussão

Estudos isotópicos em minérios singenéticos de grafita nos Estados Unidos, Alasca e México mostram que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ variam de -27 a -16 per mil (Weis *et al.*, 1981). Os valores de isótopos de carbono das rochas carbonosas da Seqüência Marmeleiro (Fig. 3.4 e Tab. 3.1) estão dentro do intervalo de variação dos

minérios carbonosos derivados de material biogênico, denotando a acumulação singenética de detritos orgânicos. Estes valores têm a mesma ordem de grandeza daqueles registrados por Santos *et al.* (1995) em rochas carbonosas de Minas Gerais, como por exemplo na Mina Nacional Grafite ($\delta^{13}\text{C} = -25,8$ per mil).

Por outro lado, Weis *et al.* (1981) explicaram que os depósitos epigenéticos de grafita são formados de materiais carbonosos ou concentrações pré-existentes de grafita, pela conversão do carbono em CO (reação com vapor d'água) e a precipitação do carbono por reações de Boudouard ($2\text{CO} \rightarrow \text{C} + \text{CO}_2$). A interação do carbono biogênico ($\delta^{13}\text{C} \sim -30$ a -20 per mil, Schoell & Wellmer, 1981) com o carbono juvenil ($\delta^{13}\text{C} \sim -7$ per mil, Hoefs, 1987) ou carbono sedimentar ($\delta^{13}\text{C} \sim 0 \pm -4$ per mil, Ohmoto, 1986) afeta a assinatura dos isótopos de carbono da grafita epigenética. Conseqüentemente, o minério epigenético tende a apresentar valores isotópicos intermediários entre os reservatórios de carbono biogênico e inorgânico (Fig. 3.4b).

Exemplos clássicos de depósitos epigenéticos de grafita são os veios monominerálicos no Sri Lanka (Ceilão) e Montana (EUA), os quais estão alojados em metassedimentos da fácies granulito e, por vezes, associados com pegmatitos (Erdosh, 1970; Katz, 1971). Segundo Weis *et al.* (1981), os valores dos isótopos de carbono do minério do Sri Lanka variam de $-8,6$ a $-8,0$ per mil, enquanto os de Montana são da ordem de $-6,1$ per mil. Estes dados foram relacionados com a remobilização do carbono das rochas encaixantes do minério e com a reação do CO com rochas carbonáticas.

Outro estilo de ocorrência epigenética de grafita foi descrito por Luque *et al.* (1992) em peridotitos serpentinizados, situados na Espanha. Nesta ocorrência, a grafita apresenta valores dos isótopos de carbono entre $-17,3$ e $-16,58$ per mil, os quais foram atribuídos, por estes autores, a uma origem magmática envolvendo a assimilação do carbono biogênico de rochas crustais. Depósitos epigenéticos de grafita em escarnitos e em minérios grafitosos contendo carbonatos na paragênese, também apresentam dados de isótopos de carbono caracterizados por valores intermediários ($-17,5$ a $-6,0$ per mil) entre os reservatórios biogênico e carbonático (Weis *et al.*, 1981; Soman *et al.*, 1986). Enfim, a assinatura isotópica da grafita epigenética depende de diversos fatores, incluindo as razões isotópicas do material fonte, reação com minerais carbonáticos, quantidade relativa de C biogênico

versus C inorgânico, tempo de duração das reações e, em menor extensão, das condições de pressão e temperatura (Weis *et al.*, 1981).

A natureza biogênica do material carbonoso somada à granulação fina das rochas aflorantes no Passo do Marmeleiro sugerem que sedimentos orgânicos foram acumulados em ambiente subaquoso, nos quais predominavam condições calmas e redutoras. Os dados isotópicos de carbono permitem considerar a fração carbonosa das rochas estudadas como sendo uma concentração singenética de carbono biogênico.

O metamorfismo do carbono é um dos fatores que condiciona a cristalinidade da grafita, a qual depende das condições físico-químicas nas quais o material carbonoso foi submetido (Simandi & Kenan, 1997; Kovalevski *et al.*, 2001). As rochas do Passo do Marmeleiro têm paragêneses da fácies xisto verde, o que explica o predomínio da grafita criptocristalina (tipo d1) na lente estudada (Fig. 3.6). Por outro lado, no contexto regional da Seqüência Marmeleiro há registros de paragêneses metamórficas de mais alto grau. Fernandes *et al.* (1995) identificaram porfiroblastos de estauroлита nos metapelitos desta seqüência supracrustal e Siviero (2001) descreveu pseudomorfos de andalusita nos metapelitos carbonosos. Portanto, é possível que no contexto regional da seqüência supracrustal estudada ocorram outras lentes carbonosas contendo grafita bem ordenada ou seja com cristalinidade mais alta que aquela observada nas rochas do Passo do Marmeleiro.

O controle sedimentar da matéria orgânica tem implicações na tonelagem e nos teores de carbono do prospecto estudado. O teor de carbono nas rochas depende de diversos fatores relacionados com este controle, tais como a produção primária de matéria carbonosa, taxa de sedimentação, grau de oxidação e degradação pós-deposicional da matéria orgânica (Santos *et al.*, 1995). A estes fatores somam-se os efeitos da diagênese e do metamorfismo. Simandi & Kenan (1997) atestam que a exploração comercial é possível em minérios grafitosos com no mínimo 4 % de carbono. Os teores de carbono das rochas grafitosas do Passo do Marmeleiro atingem até 6 %, valor que ultrapassa o teor mínimo de carbono em minérios comerciais explorados no hemisfério norte, assim como tem a mesma ordem de grandeza de algumas ocorrências brasileiras (Tab. 3.4).

3.3.8 – Conclusões

As características geológicas e isotópicas dos filitos carbonosos da Seqüência Marmeleiro fornecem subsídios para a identificação de alguns controles prospectivos para grafita na área estudada, quais sejam:

1) controle biogênico relacionado com a produção de material orgânico como denotam os valores dos isótopos de carbono (~ -27 a -24 per mil) das rochas. Em termos metalogenéticos, a assinatura dos isótopos de carbono permite considerar o prospecto estudado como uma ocorrência singenética de material carbonoso;

2) controle sedimentar, que possibilitou a acumulação de carbono orgânico em depressões da Seqüência Marmeleiro;

3) controle metamórfico, que transformou o carbono biogênico em lamelas cripto- e microcristalinas de grafita, associadas a paragêneses da fácies xisto verde. Dados de DRX mostram que a distância interplanar $d(002)$ da grafita varia de 3,35 a 3,37 Å. Estes valores correspondem aos tipos d_1 e d_2 de grafita, os quais são variedades deste mineral com cristalinidade intermediária entre material carbonoso amorfo e grafita bem ordenada;

4) o teor de carbono total das rochas estudadas foi determinado em até 6 %, valor com mesma ordem de grandeza daquele registrado em áreas de minério grafítico atualmente exploradas no hemisfério norte e em algumas ocorrências brasileiras.

Enfim, o potencial grafítico da seqüência supracrustal estudada merece uma atenção especial considerando as similaridades geológicas e genéticas com minérios grafíticos bem conhecidos. Neste sentido a caracterização tecnológica da grafita estudada auxiliará na delimitação dos usos deste material. A aplicação de tratamentos térmicos e químicos podem melhorar as propriedades deste material, de forma que o aproveitamento comercial do produto beneficiado possa ser maximizado.

3.3.9 – Agradecimentos

Os autores externam sua gratidão ao químico Julio Zeitter por sua colaboração na preparação dos concentrados de grafita. A equipe mostra-se grata a Dr^a Maria do Carmo Lima e Cunha pela revisão e sugestões ao manuscrito. O primeiro autor também agradece a CAPES pela concessão de bolsa de mestrado no

âmbito do Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Esta pesquisa foi financiada pelo programa PADCT-FINEP-FAPERGS (Proc. nº 01/15178) e PRONEX – FINEP – UFRGS (Proc. nº 76971/006-00)

3.3.10 – Referências Bibliográficas

- Acauan, R. B.; Pulz, G. M. & Duarte, L. C. 2002. Análise das inclusões fluidas nos veios de quartzo dos filonitos da região de Torquato Severo, Estado do Rio Grande do Sul. **Reunião da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 54**. [CD ROM], 2002, Anais/resumos...,Goiânia, SBPC/UFG.
- ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO. 2001. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/>> Acesso em 20/outubro/2002.
- Cameron, E.M. & Garrels, R.M. 1980. Geochemical compositions of some precambrian shales from the canadian shield. **Chemical Geology, 28**:181-197.
- Cordani, U.G. 2000. The role of the earth sciences in a sustainable world. **Episodes, 23**(3):155-162.
- Erdosh, G. 1970. Geology of the Bogala Mine, Ceylon, and the origin of vein-type graphite. **Mineralium Deposita, 5**:375-382.
- Fambrini, G.L.; Martin, M.A.B.; McReath, I. & Fragoso, A.R.S.C. 1999. Subaqueous pyroclastic deposits of the Hilário Formation, RS. In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 1., 1999, Gramado. **Boletim de resumos**, p.34.
- Faria, L.F. 1997. Controle e tipologia de mineralizações de grafita flake do nordeste de Minas Gerais e sul da Bahia: uma abordagem regional. 108p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Faure, G. 1986. **Principles of isotope geology**. New York, John Wiley & Sons, 2.ed 589p.
- Feitosa, A.J.; Marcelo S.B. & Menezes Jr, C.A. 1972. Ocorrências e beneficiamento de grafita em Pernambuco. **Mineração e Metalurgia, 55**(328):120-123.
- Fernandes, L.A.D.; Menegat, R.; Costa, A.F.U.; Koester, E.; Porcher, C.C.; Tommasi, A.; Kraemer, G.; Ramgrab, G.E. & Camozzato, E. 1995. Evolução tectônica do

- Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: parte I – uma contribuição a partir do registro geológico. **Revista Brasileira de Geociências**, **25**(4):351-374.
- Fornoso, M.L.L. & Willig, C.D. 1966. A discordância Palermo-Santa Tecla. **Notas e Estudos. Escola de Geologia, UFRGS**, **1**(2):83-88.
- Gastal, M.C.P. & Lafon, J.M. 1998. Gênese e evolução dos granitóides metaluminosos de afinidade alcalina da porção oeste do escudo sul-riograndense: geoquímica e isótopos de Rb-Sr e Pb-Pb. **Revista Brasileira de Geociências**, **28**:11-28.
- Grew, E.S. 1974. Carbonaceous material in some metamorphic rocks of New England and other areas. **Journal of Geology**, **82**:50-73.
- Hoefs, J. & Frey, M. 1976. The isotopic composition of carbonaceous matter in a metamorphic profile from the Swiss Alps. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, **40**:945-951.
- Hoefs, J. 1987. **Stable isotope geochemistry**. New York, Springer Verlag, 3.ed. 208p.
- Issler, R. S. 1983. Evolução crustal da Faixa Arco-Fossa Tijucas e faixa magmática Pedras Grandes: Cráton Dom Feliciano. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, I., 1983, Porto Alegre. **Atas...** Porto Alegre, 1983, SBG. v.1, p.19-36.
- Itaya, T. 1981. Carbonaceous material in pelitic shists of the Sanbagawa metamorphic belt in central Shikoku, Japan. **Lithos**, **14**:215-224.
- Jost, H. & Hartmann, L.A. 1984. A Província Mantiqueira: setor meridional. In: Almeida, F.F.M. & Hasui, Y. (eds.). **Pré-Cambriano do Brasil**. São Paulo, Edgard Blücher. p.345-368.
- Katz, M.B. 1971. The Precambrian metamorphic rocks of Ceylon. **Geologische Rundschau**, **60**: 1523-1549.
- Kelly, B. T. 1981. **Physics of graphite**. London, Applied Science. 477p.
- Kerrick, R. 1990. Mesothermal gold deposits: a critique of genetic hypotheses. In: Robert, F.; Sheahan, P.A.; Green, S.B. (eds). **Grenstone gold and crustal evolution**. Quebec, Geological Association of Canada. Mineral Deposits Division. p.13-31.
- Kirk, R. E.; Othmer, D. F.; Grayson, M. & Eckroth, D. 1978. **Kirk-Othmer**

- Encyclopedia of Chemical Technology.** New York, John Wiley & Sons. 3.ed., p.556-710.
- Kovalevski, V.V.; Buseck, R.P. & Cowley, M.J. 2001. Comparison of carbon in shungite rocks to other natural carbons: An X-ray and TEM study. **Carbon**, **39**:243-256.
- Kretz, R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. **American Mineralogist**, **68**:277-279.
- Landis, C.A. 1971. Graphitization of dispersed carbonaceous material in metamorphic rocks. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, **30**:34-45.
- Leite, J.A.D.; Mcnaughton, H.J. & Chemale Jr., F. 1998. SHRIMP U/Pb zircon geochronology of Neoproterozoic juvenile and crustal-reworked terranes in Southernmost Brazil. **International Geology Review**, **40**: 688-705.
- Luque, F.J.; Rodas, M. & Galán, E. 1992. Graphite vein mineralization in the ultramafic rocks of southern Spain: mineralogy and genetic relationships. **Mineralium Deposita**, **27**:226-233.
- Minioli, B. & Kawashita, K. 1971. Contribuição à estratigrafia do Eo-palcozóico do "Escudo Sulrio-grandense". In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971, São Paulo. **Anais...** São Paulo, SBG. v.1, p.193-198.
- Nardi, L. V. S. & Bonin, B. 1991. Post-orogenic and non-orogenic alkaline associations: the Saibro Intrusive Suite, southern Brazil – A case study. **Chemical Geology**, **92**(1/3):197-211.
- Nardi, L. V. S. & Lima, E. F. 1985. A Associação Shoshonítica de Lavras do Sul, RS. **Revista Brasileira de Geociências**, **15** (2):139-146.
- Oehler, D.Z. & Smith, J.W. 1977. Isotopic composition of reduced and oxidized carbon in early Archean rocks from Isua, Greenland. **Precambrian Research**, **5**:221-228.
- Ohmoto, H. 1986. Stable isotope geochemistry of ore deposits. **Reviews in Mineralogy**, **16**: 491-560.
- Paim, P.S.G; Chemale Jr., F. & Lopes, R.C. 2001. A Bacia do Camaquã. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (eds). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Edição revisada, Centro de Investigação do Gondwana, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,

p.119-131.

- Pierson, H. O. 1993. Handbook of carbon, graphite, diamond and fullerenes: properties, processing and applications. Noyes Publications, New Jersey, 399p.
- Ribeiro, M. & Fantinel, L. M. 1978. Associações petrotectônicas do Escudo Sul-riograndense: I – Tabulação e distribuição das associações petrotectônicas do Escudo do Rio Grande do Sul. **Lheringia**, **5**:19-54.
- Ribeiro, M. & Lichtenberg, E. 1978. Síntese da geologia do escudo do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. **Anais... Recife, SBG**. v.6, p.2451 – 2463.
- Robertson, J.F. 1966. Revisão estratigráfica e nomenclatura das unidades litológicas na área de Caçapava-Lavras, estado do Rio Grande do Sul – Brasil. **Notas e Estudos. Escola de Geologia, UFRGS**, **1**(2):41-44
- Santos, E.L., Maciel, L.A.C. & Zir Filho, J.A. 1998. **Distritos Mineiros do Estado do Rio Grande do Sul**. Queiroz, E.T. & Schobbenhaus, C. (coord.). Porto Alegre, DNPM, 35p.
- Santos, R. V.; Fernandes, S.; Menezes, M.G. & Oliveira, C.G. 1995. Geoquímica de isótopos estáveis de carbono de rochas carbonosas do quadrilátero ferrífero, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, **25**(2):85-91.
- Schidlowski, M. 2001. Carbon isotopes as biogeochemical recorders of life over 3.8 Ga of earth history: evolution of a concept. **Precambrian Research**, **106**:117-134.
- Schidlowski, M.; Eichmann, R. & Junge, C.E. 1975. Precambrian sedimentary carbonates: carbon and oxygen isotope geochemistry and implications for the terrestrial oxygen budget. **Precambrian Research**, **2**:1-69
- Schoell, M. & Wellmer, F.W. 1981. Anomalous ^{13}C depletion in early Precambrian graphites from Superior Province, Canada. **Nature**, **290**:696-699.
- Simandi, G.J. & Kenan, W.M. 1997. Crystalline flake graphite. In: Geological Fieldwork, British Columbia Ministry of Employment and Investment, paper 1998-1. Disponível em :<<http://www.em.gov.bc.ca/Mining/Geolsurv/EconomicGeology/metallificminerals/mdp/profiles/p04.htm>>. Acesso em: 26 ago. 2002.

- Siviero, R. S. 2001. **Petrografia e geoquímica aplicada ao aproveitamento industrial do mármore da região do Arroio Marmeleiro, Torquato Severo, RS.** Porto Alegre. 131p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Soman, K.; Lozova, R.V. & Sivadas, K.M. 1986. Geology, genetic types, and origin of graphite in south Kerala, India. **Economic Geology**, **81**:997-1002.
- Springer, J.S. 1985. Carbon in Archean rocks of the Abitibi Belt (Ontario, Quebec) and its relation to gold distribution. **Canadian Journal Earth Science**, **22**:1945-1951.
- UFRGS, 1967. **Mapeamento Geológico Quadrícula Coxilha do Tabuleiro.** Trabalho de Graduação, Escola de Geologia, Curso de Geologia, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1967. 13v., 588p. (inédito).
- Vine, J. D. & Tourtelot, E.B. 1970. Geochemistry of black shale deposits – A Summary Report. **Economic Geology**, **65**:253-272.
- Wedepohl, K.H., 1995. The composition of the continental crust. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, **59** (7): 1217-1232, 1995.
- Weis, P.L.; Friedman, I. & Gleason, J.P. 1981. The origin of epigenetic graphite: evidence from isotopes. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, **45**:2325-2332.
- Wernick, E. & Corso, C. R. 1968. Sobre a ocorrência de mineração de grafite no município de Peixe, Estado de Goiás. **Mineração e Metalurgia**, **36**(332):14-15.
- Wildner, W. 1999. **Associação Vulcano-Plutônica Taquarembó: magmatismo alcalino básico – ácido Cambriano do Escudo Sul-rio-grandense.** Porto Alegre. 175p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Wintsch, R.P.; O'Connell, A.F.; Ransom, B.L. & Wiechmann, M.J. 1981. Evidence for the influence of fCH₄ on the crystallinity of disseminated carbon in greenschist facies rocks, Rhode Island, USA. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, **77**:207-213.

3.3.11 - Legenda das figuras

Figura 3.1: Geologia do Distrito Mineiro de Lavras do Sul (modificado de Santos *et al.* 1998 e Nardi & Lima 1985), destacando a localização das ocorrências de ouro (Au), cobre (Cu), cromo (Cr), asbesto (As), calcário (Ca) e talco (Tl). Legenda: 1) Complexo Cambaí; 2) Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro; 3) Associação Shoshonítica de Lavras do Sul; 4) Formação Hilário; 5) Formação Acampamento Velho; 6) Formação Pessegueiro; 7) Formação Santa Bárbara.

Figura 3.2: A) Esboço geológico da área estudada (modificado de UFRGS, 1967; Gastal & Lafon 1998; Nardi & Lima 1985; Ribeiro & Fantinel 1978), destacando a região da malha de amostragem isotópica no Passo do Marmeleiro. Legenda: 1) Formação Cerro Mantiqueiras, 2) Complexo Cambaí, 3) Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro, 4) Suíte Intrusiva Saibro, 5) Granito Jaguari, 6) Formação Maricá, 7) Formação Hilário, 8) Formação Suspiro e Formação Budó, 9) Formação Santa Tecla. (B) Seção topográfica da lente de filito carbonoso no Passo do Marmeleiro, destacando os perfis de amostragem isotópica. Amostras coletadas na L1: a1-a8; L2: a9-a12; L3: a13-a16.

Figura 3.3: Rochas carbonosas da Seqüência Marmeleiro. A) Amostra de mão de filito carbonoso destacando a foliação realçada por feixes lamelares de grafita. B) Amostra de mão de mica branca-quartzo-grafita xisto com a intercalação de grafita e filossilicatos na foliação da rocha. C) Fotomicrografia de seção delgada mostrando a concentração de grafita em domínio sigmoidal. D) Fotomicrografia de lâmina delgada com estilólitos realçados pela grafita de cristalinidade variável. E) Fotomicrografia de seção polida destacando a coexistência de lamelas de grafita micro- e criptocristalina. F) Fotomicrografia de seção polida destacando as lamelas de grafita microcristalina envoltas pela matriz de quartzo e filossilicatos. Abreviaturas: G: Grafite.

Figura 3.4 – A) Diagrama mostrando a variação dos isótopos de carbono, expressos em PDB (*Peedee Belemnite*), dos seguintes reservatórios de carbono: 1 – Carbonatos marinhos; 2 – Carbonatitos, os quais fornecem assinatura do carbono ígneo; 3 –

Carbono reduzido biogênico. (modificado de Kerrich, 1990). B) Diagrama comparando a assinatura isotópica de ocorrências de carbono singenéticas: Passo do Marmeleiro (este estudo), Mina Nacional Grafite (Santos *et al.*, 1995) e epigenéticas: Montana (Weis *et al.*, 1981) e Peridotito da Espanha (Luque *et al.*, 1992).

Figura 3.5 – Diagrama mostrando a relação entre o teor de carbono e a assinatura de isótopos de carbono das rochas carbonosas da Sequência Marmeleiro (ax=número da amostra).

Figura 3.6 – Classificação da matéria carbonosa, conforme proposta de Landis (1971), considerando a cristalinidade deste material em relação a P e T no metamorfismo. Os difratogramas de raios X mostram que a distância interplanar da grafita diminui com o aumento do grau metamórfico. B) Difratogramas do resíduo insolúvel de filito carbonoso do Passo do Marmeleiro (amostras Aq5 e Aq6), destacando os picos com d(002) de 3,35 – 3,37 Å, típicos da grafita. C) Difratograma de raios X da mineralogia total das rochas estudadas, destacando os picos da illita (Ill), quartzo (Qtz) e grafita (Gr). Abreviaturas segundo a proposta de Kretz (1983): Prh=prenhita, Pmp=pumpeleita, Act=actinolita

3.3.12 – Legenda das Tabelas

Tabela 3.1 – Dados quantitativos dos teores de carbono total (%), isótopos de carbono (per mil) e difração de raios X (Ângstroms) dos filitos carbonosos do Passo do Marmeleiro.

Tabela 3.2 – Resultados das análises de teor de carbono, hidrogênio e nitrogênio, em base seca, das amostras de filitos carbonosos do Passo do Marmeleiro.

Tabela 3.3 – Estimativas dos teores de carbono, conforme: 1 – Cameron & Garrels (1980); 2 – Vine & Tourtelot (1970); 3 – Wedepohl (1995) e 4 – Este estudo. Abreviaturas: Org: carbono orgânico, min: teor mínimo de carbono.

Tabela 3.4 – Variação dos teores de carbono em algumas ocorrências brasileiras de grafita, conforme: 1-Anuário Mineral Brasileiro (2001); 2 – Wernick & Corso (1968); 3 – Feitosa *et al.* (1972) e 4 – Este estudo. Abreviaturas: Tm: teor médio.

Tabela 3.1 – Dados quantitativos dos teores de carbono total (%), isótopos de carbono (per mil) e difração de raios X (Ångstrons) dos filitos carbonosos do Passo do Marmeleiro.

Amostra	C	$\delta^{13}\text{C}$	Espaçamento d(002)
a1	2,36±0,02	-26,47±0,15	3,35
a3	0,80±0,01	-23,90±0,20	3,36
a5	3,32±0,14	-27,26±0,12	3,35
a6	2,88±0,00	-26,86±0,01	3,37
ar6	2,68±0,11	-26,94±0,03	3,37
a7	4,43±0,19	-26,31±0,03	3,36
a8	3,29±0,27	-27,08±0,70	3,35
a10	1,44±0,13	-25,86±0,14	3,35
a11	3,37±0,19	-26,82±0,13	3,36
a12	3,23±0,24	-26,59±0,05	3,36
a13	0,25±0,02	-24,69±0,08	---
a15	1,26±0,20	-25,17±0,33	3,36
a16	2,70±0,34	-24,35±0,06	3,36

Tabela 3.2 – Resultados das análises de teor de carbono, hidrogênio e nitrogênio, em base seca, das amostras de filitos carbonosos do Passo do Marmeleiro.

Amostra	C (%)	H (%)	N (%)	H/C(%)
a7	6,16	0,30	<0,05	0,048
a16	2,05	0,24	0,06	0,117
a22	2,29	0,11	0,05	0,048
a30b	3,87	0,18	0,05	0,046
a35	3,66	0,25	0,06	0,06

Tabela 3.3 – Estimativas dos teores de carbono, conforme: 1 – Cameron & Garrels (1980); 2 – Vine & Tourtelot (1970); 3 – Wedepohl (1995) e 4 – Este estudo. Abreviaturas: Org: carbono orgânico, min: teor mínimo de carbono.

	C (%)
Xistos carbonosos do Fanerozóico (com carbonato) ¹	0,83
Xistos carbonosos do Fanerozoico (sem carbonato) ¹	0,87
Xistos carbonosos Proterozóicos ¹	1,68
Xistos carbonosos do Arqueano ¹	0,77
Média dos Folhelhos Pretos ²	3,2 _{org}
Média dos Folhelhos Pretos ²	0,33 _{min}
Crosta continental ³	0,02
Crosta continental superior ³	0,32
Crosta continental inferior ³	0,06
Prospecto Marmeleiro ⁴	0,25 – 6,16

Tabela 3.4 – Variação dos teores de carbono em algumas ocorrências brasileiras de grafita, conforme: 1-Anuário Mineral Brasileiro (2001); 2 – Wernick & Corso (1968); 3 – Feitosa *et al.* (1972) e 4 – Este estudo. Abreviaturas: Tm: teor médio.

Minas Brasileiras	
	C (%)
Total Brasil – 2001 ¹	6,68
Total Bahia ¹	9,5
Total Minas Gerais ¹	6,41
Maiquinique, BA ¹	9,5
Almenara, MG ¹	12,29
Arcos, MG ¹	17,01
Cachoeira do Pajeu, MG ¹	19,68
Itapecerica, MG ¹	17,83
Itatiaiuçu, MG ¹	20
Mateus Leme, MG ¹	14
Pedra Azul, MG ¹	6,85
Salto da Divisa, MG ¹	5,21
Santo Antônio do Monte, MG ¹	11,4
São Francisco de Paula, MG ¹	16
Mata Azul, GO ²	40 _{Tm}
Cachoeira do João, PE ³	2,81
Glória, PE ³	5,76
Bonome, PE ³	3,58
Prospecto Marmeleiro ⁴	0,25 – 6,16

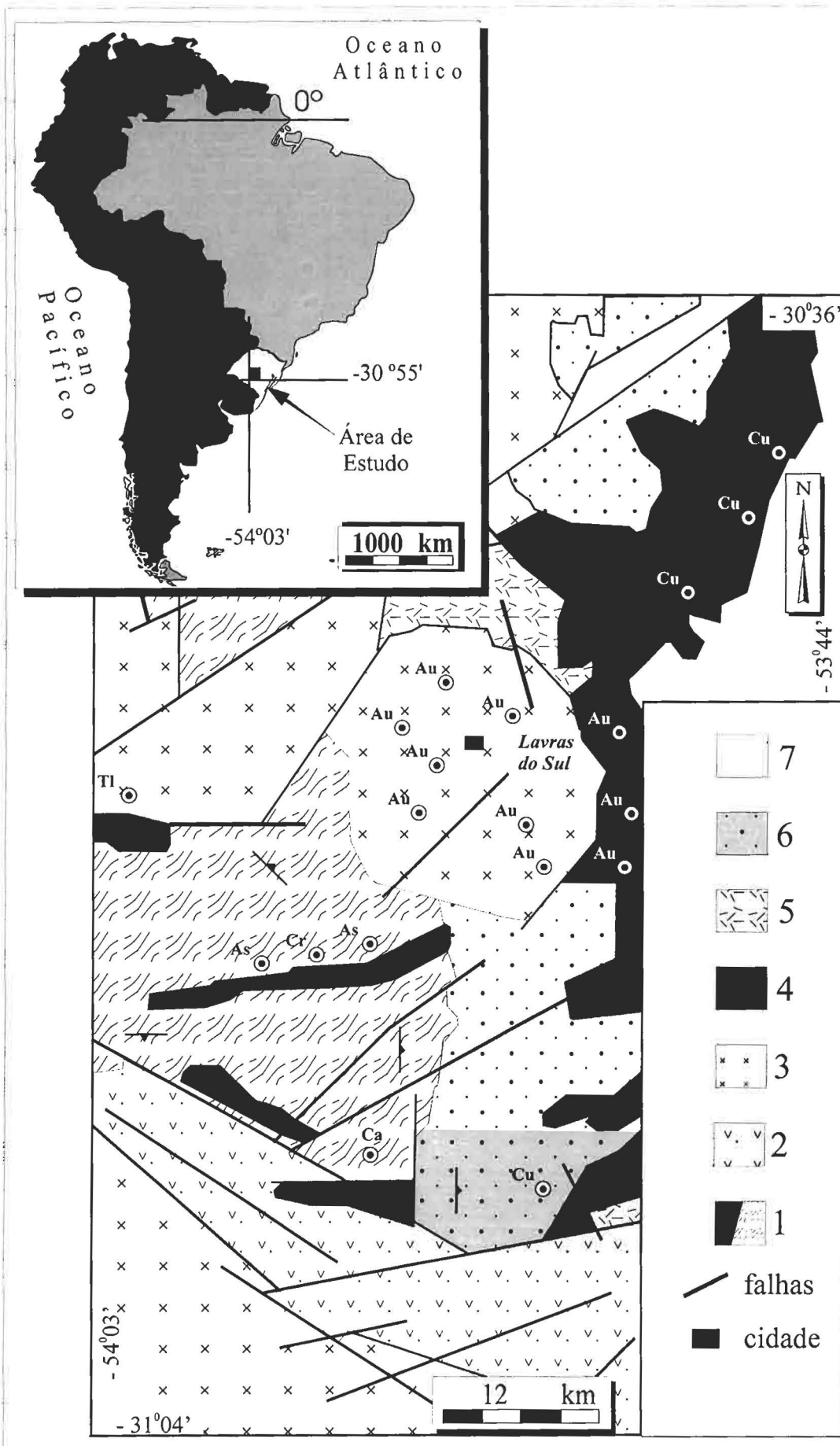
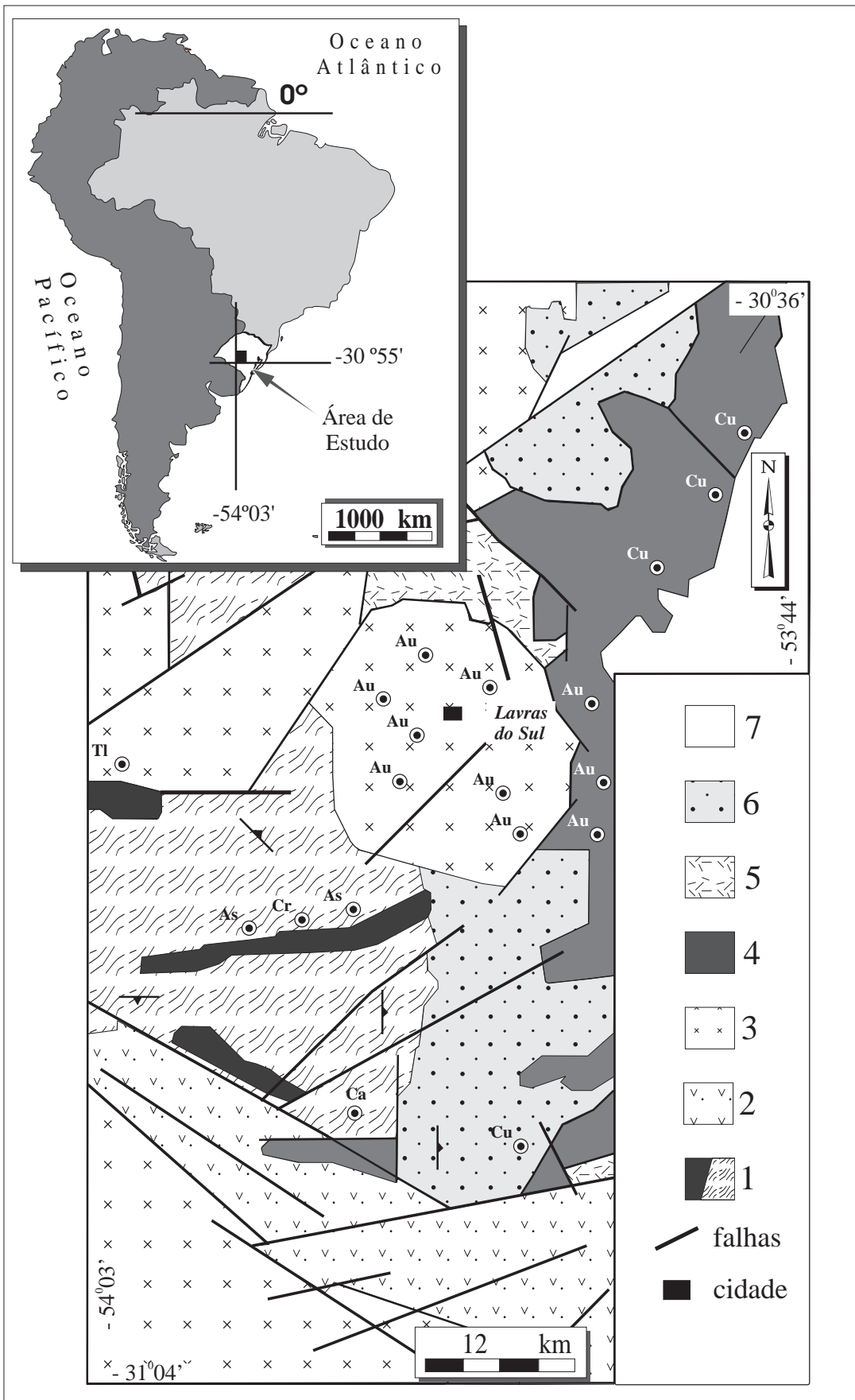


Figura 3.1: Geologia do Distrito Mineiro de Lavras do Sul (modificado de Santos *et al.* 1998 e Nardi & Lima 1985), destacando a localização das ocorrências de ouro (Au), cobre (Cu), cromo (Cr), asbesto (As), calcário (Ca) e talco (Tl). Legenda: 1) Complexo Cambaí; 2) Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro; 3) Associação Shoshonítica de Lavras do Sul; 4) Formação Hilário; 5) Formação Acampamento Velho; 6) Formação Pessegueiro; 7) Formação Santa Bárbara.



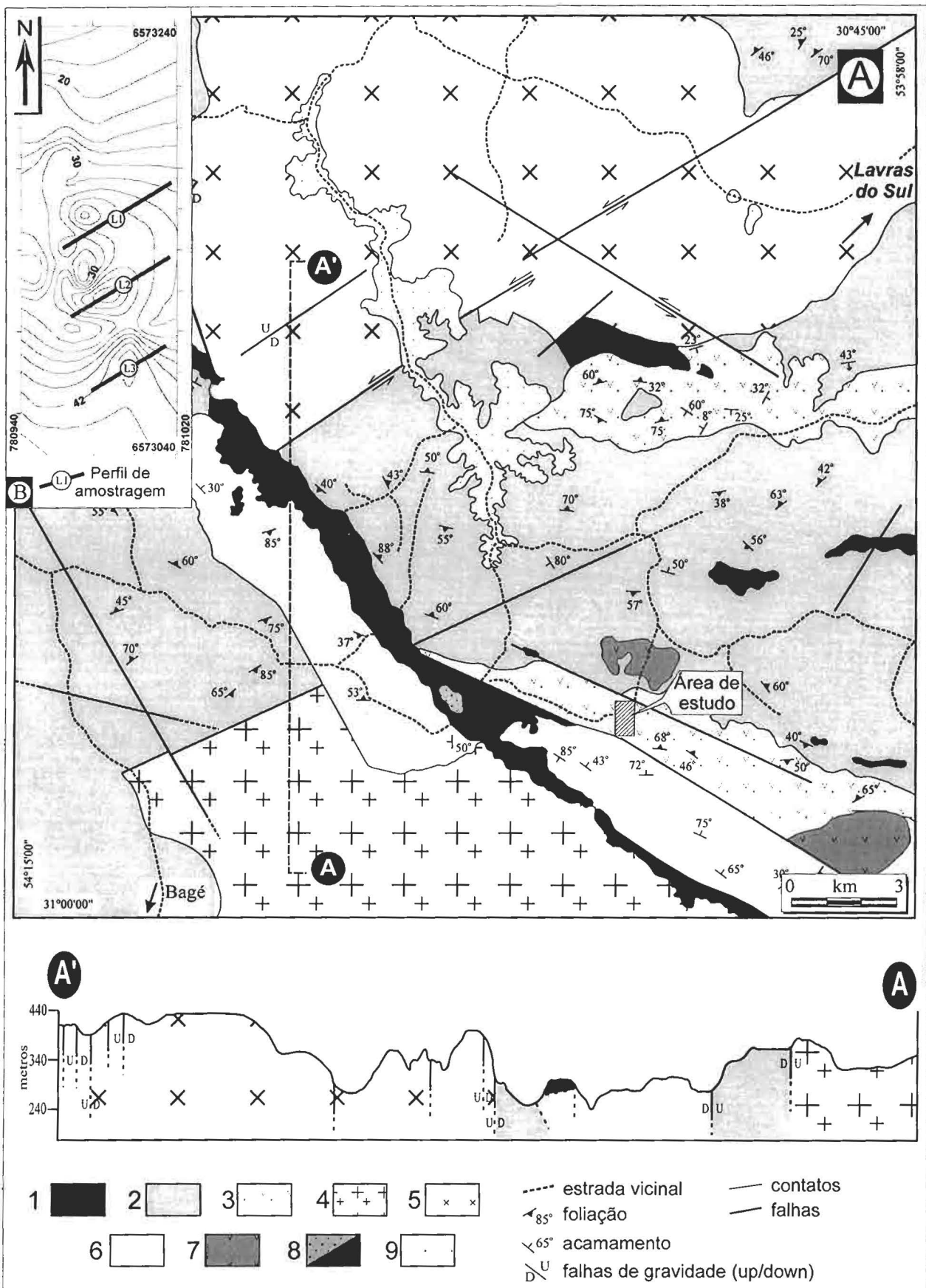
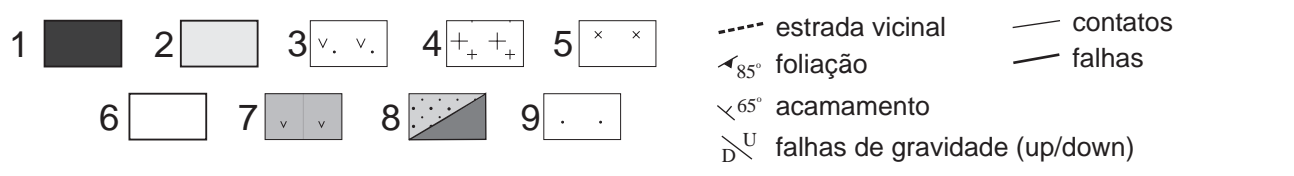
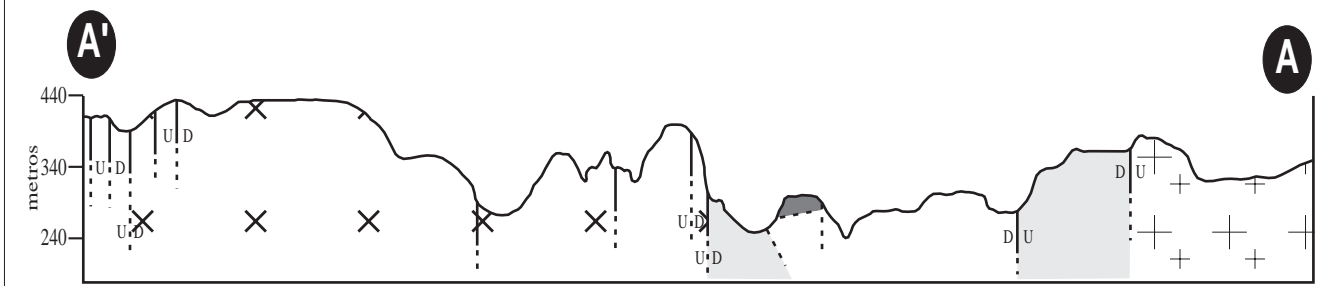
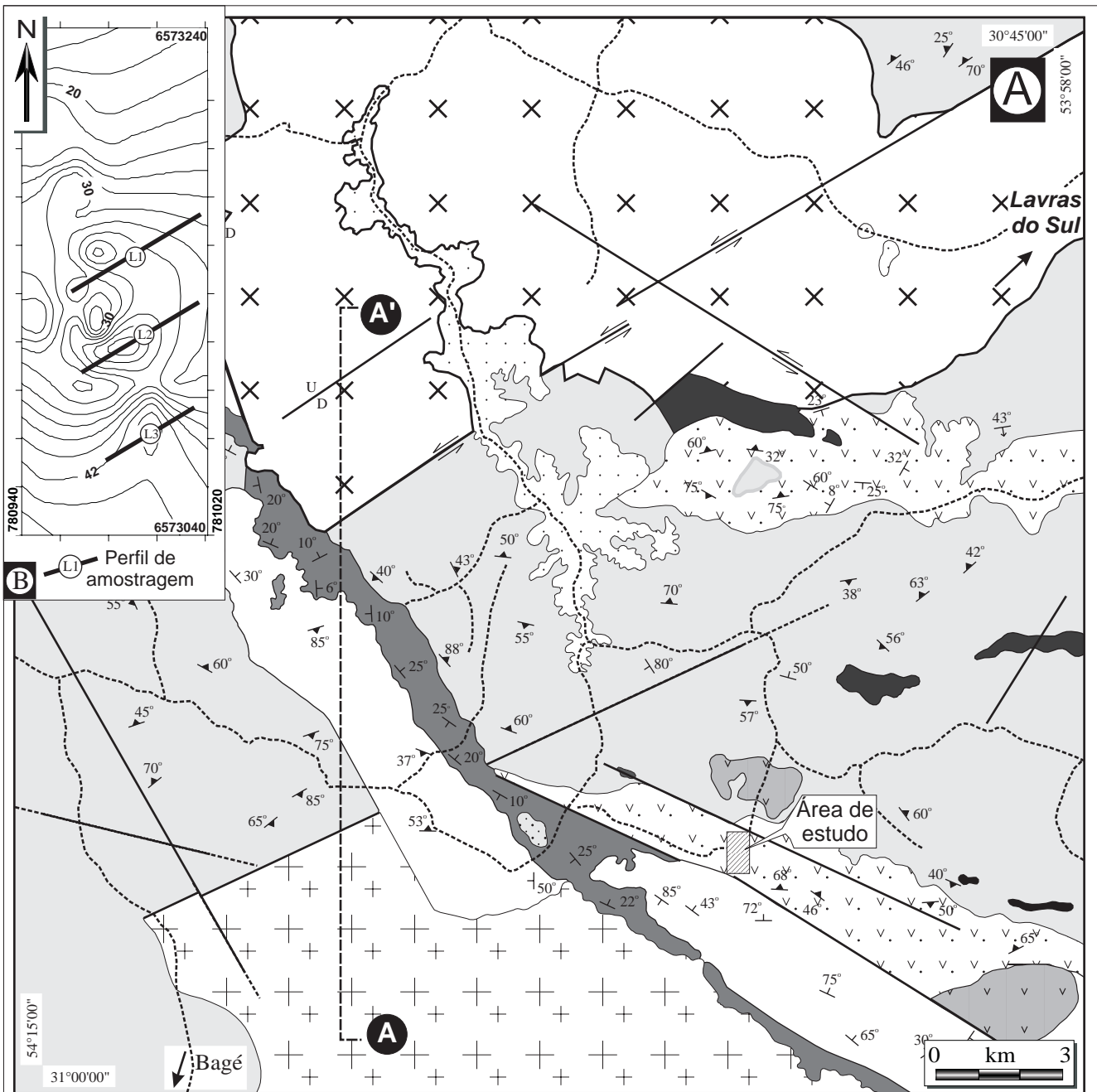


Figura 3.2: A) Esboço geológico da área estudada (modificado de UFRGS, 1967; Gastal & Lafon 1998; Nardi & Lima 1985; Ribeiro & Fantinel 1978), destacando a região da malha de amostragem isotópica no Passo do Marmeleiro. Legenda: 1) Formação Cerro Mantiqueiras, 2) Complexo Cambaí, 3) Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro, 4) Suíte Intrusiva Saibro, 5) Granito Jaguari, 6) Formação Maricá, 7) Formação Hilário, 8) Formação Suspiro e Formação Budó, 9) Formação Santa Tecla. (B) Seção topográfica da lente de filito carbonoso no Passo do Marmeleiro, destacando os perfis de amostragem isotópica. Amostras coletadas na L1: a1-a8; L2: a9-a12; L3: a13-a16.



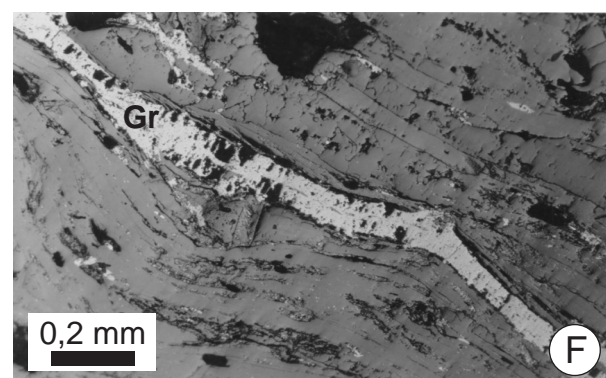
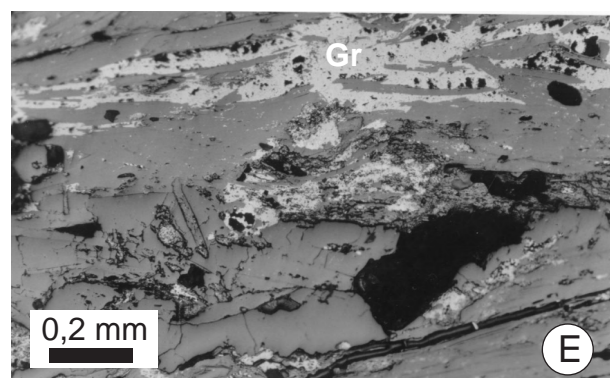
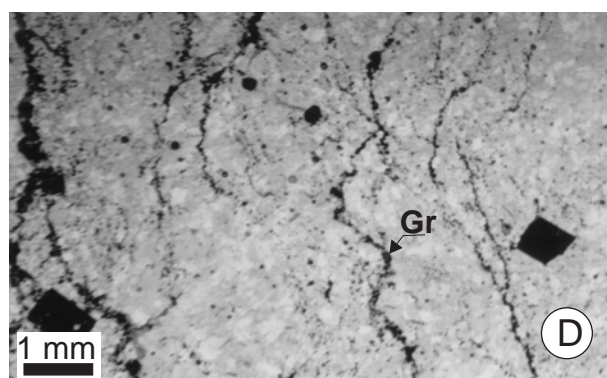
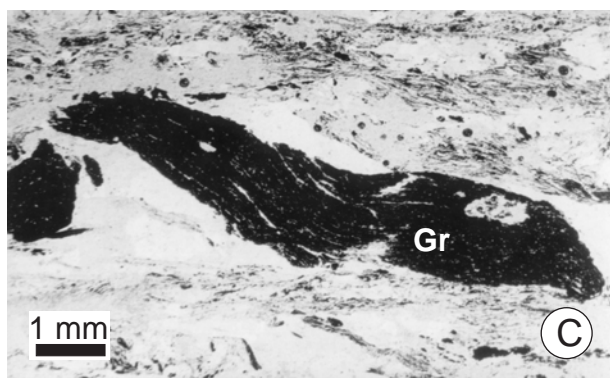
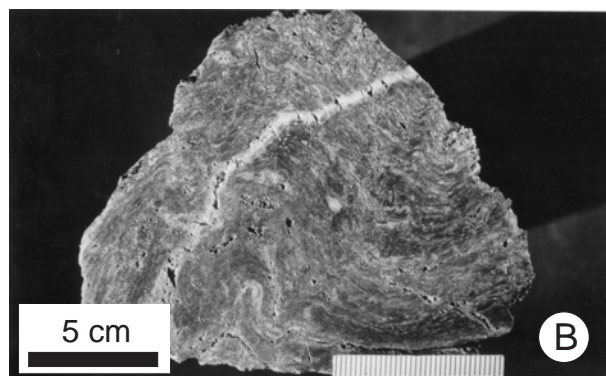
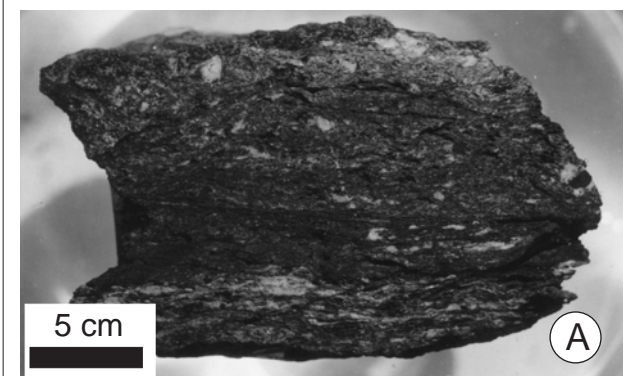


Figura 3.3: Rochas carbonosas da Seqüência Marmeleiro. A) Amostra de mão de filito carbonoso destacando a foliação realçada por feixes lamelares de grafita. B) Amostra de mão de mica branca-quartzo-grafita xisto com a intercalação de grafita e filossilicatos na foliação da rocha. C) Fotomicrografia de seção delgada mostrando a concentração de grafita em domínio sigmoidal. D) Fotomicrografia de lâmina delgada com estilolitos realçados pela grafita de cristalinidade variável. E) Fotomicrografia de seção polida destacando a coexistência de lamelas de grafita micro- e criptocristalina. F) Fotomicrografia de seção polida destacando as lamelas de grafita microcristalina envoltas pela matriz de quartzo e filossilicatos. Abreviaturas: G: Grafite.

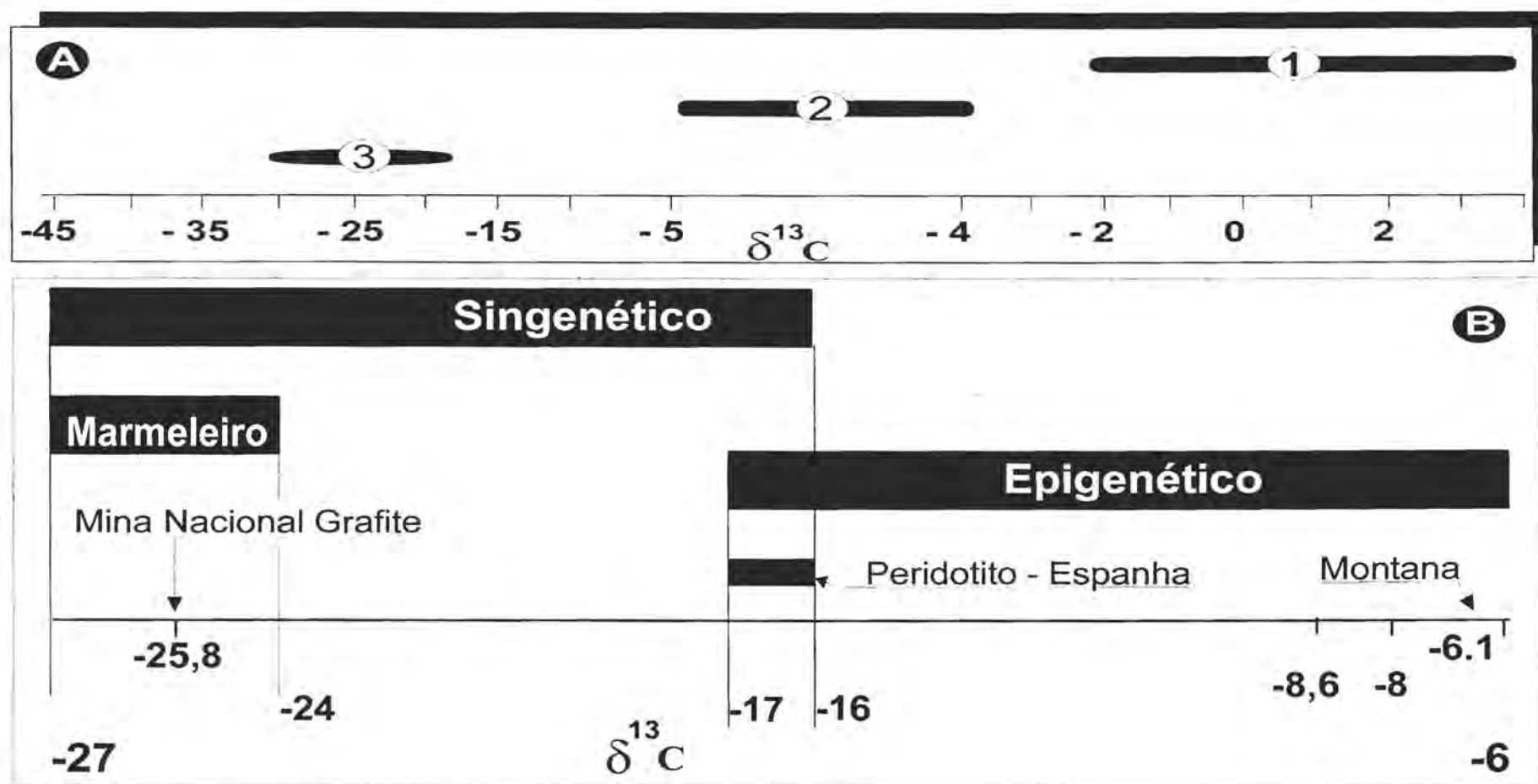
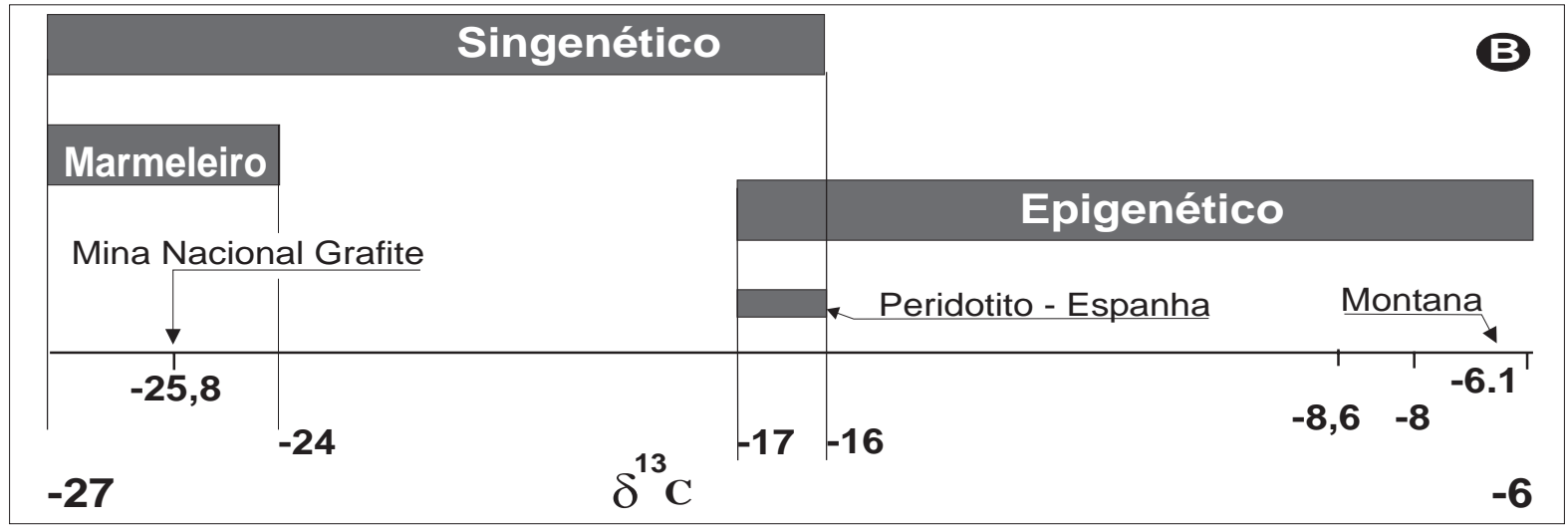
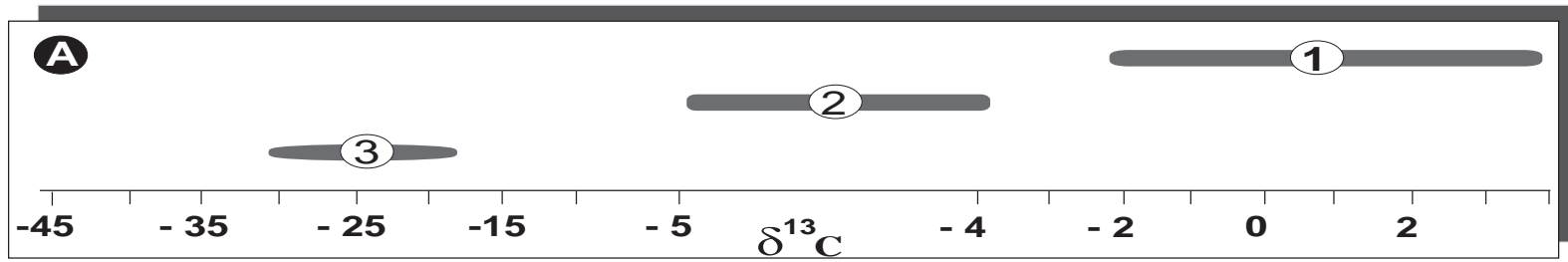


Figura 3.4: A) Diagrama mostrando a variação dos isótopos de carbono, expressos em PDB (*Peedee Belemnite*), dos seguintes reservatórios de carbono: 1 Carbonatos marinhos; 2 Carbonatitos, os quais fornecem assinatura do carbono ígneo; 3 Carbono reduzido biogênico. (modificado de Kerrich, 1990). B) Diagrama comparando a assinatura isotópica de ocorrências de carbono singenéticas: Passo do Marmeleiro (este estudo), Mina Nacional Grafite (Santos *et al.*, 1995) e epigenéticas: Montana (Weis *et al.*, 1981) e Peridotito da Espanha (Luque *et al.*, 1992).



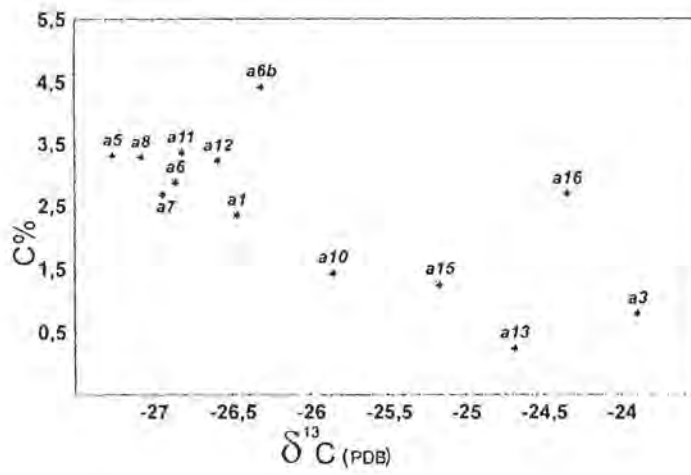
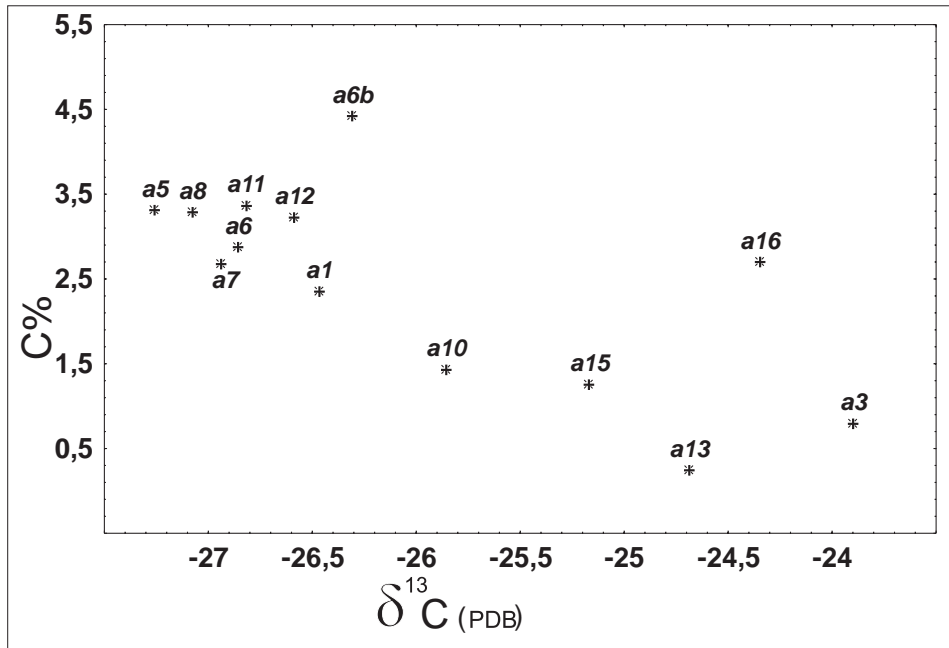


Figura 3.5 : Diagrama mostrando a relação entre o teor de carbono e a assinatura de isótopos de carbono das rochas carbonosas da Seqüência Marmeleiro (ax=número da amostra).



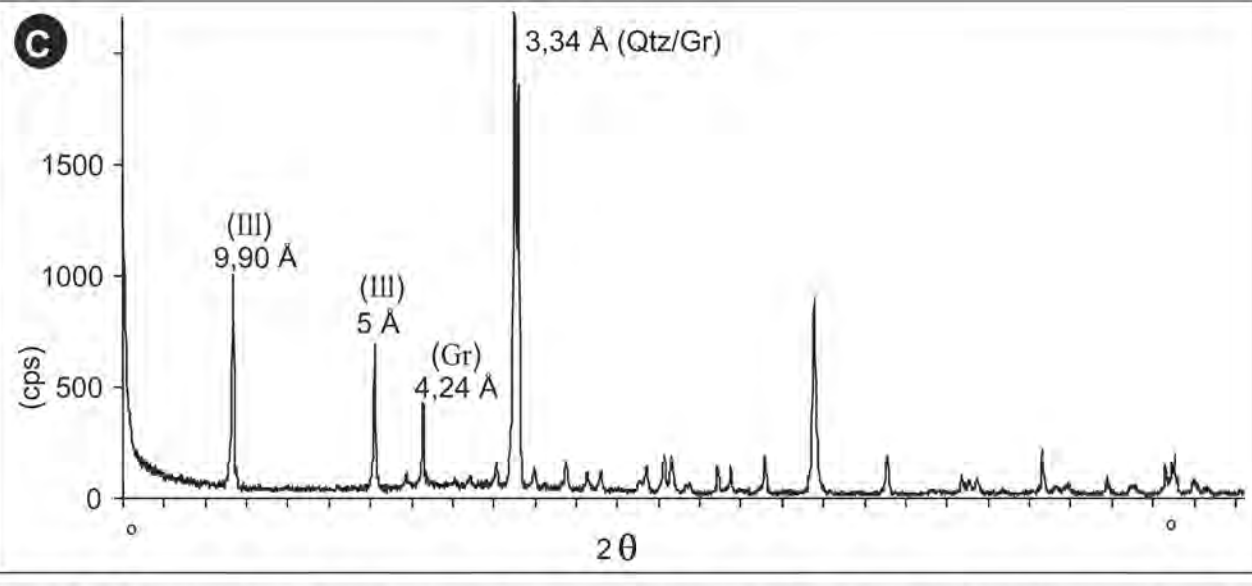
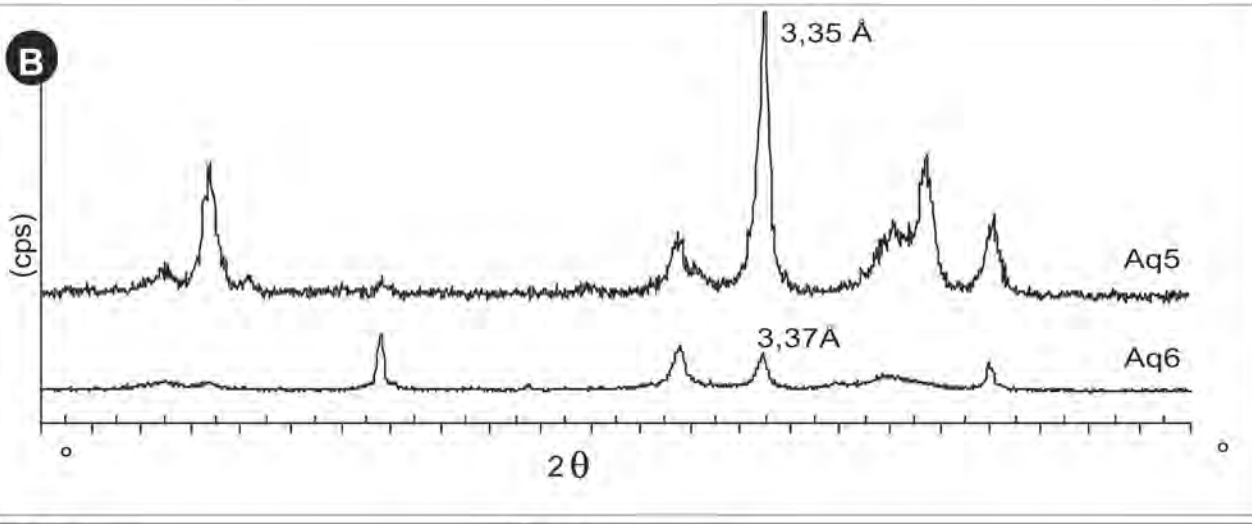
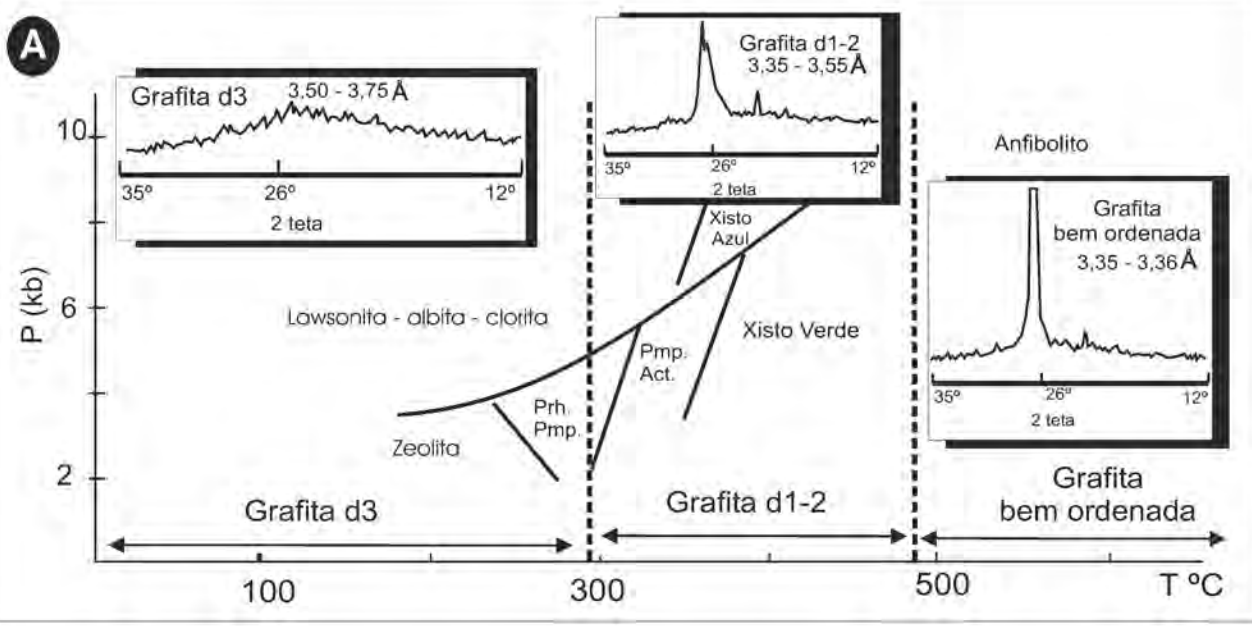


Figura 3.6 : Classificação da matéria carbonosa, conforme proposta de Landis (1971), considerando a cristalinidade deste material em relação a P e T no metamorfismo. Os difratogramas de raios X mostram que a distância interplanar da grafita diminui com o aumento do grau metamórfico. B) Difratogramas do resíduo insolúvel de filito carbonoso do Passo do Marmeleiro (amostras Aq5 e Aq6), destacando os picos com d(002) de 3,35 - 3,37 Å, típicos da grafita. C) Difratograma de raios X da mineralogia total das rochas estudadas, destacando os picos da illita (III), quartzo (Qtz) e grafita (Gr). Abreviaturas segundo a proposta de Kretz (1983);

A fração menor que 2 micrometros de filito carbonoso também foi analisada em radiação X proveniente de um tubo de cobre. Os resultados obtidos estão sintetizados na figura 4.2, os quais sugerem que a amostra é composta por ilita, caolinita e quartzo.

Após o ataque ácido obteve-se o concentrado de material carbonoso, que foi novamente estudado por DRX. Os resíduos foram analisados em radiação $\text{CuK}\alpha$, utilizando a metodologia sintetizada no capítulo 1.

A calibração do experimento foi obtida com um padrão interno de calcita, e, em seguida, a análise foi realizada. A determinação do *crystallite size* e/ou *crystallite length* (LC) foi calculada com os dados dos difratogramas aferidos pelo padrão interno de calcita. O padrão interno adicionado consistiu de pó de calcita natural pura moída em gral de ágata. Os difratogramas obtidos de resíduo mais padrão mostravam os picos de alta intensidade da calcita, devido a tendência deste mineral apresentar poucas distorções e deslocamentos ou outros defeitos, que alteram a resposta difratométrica. Estes picos são relativamente mais intensos que os demais e situaram-se a ângulos maiores do que o d002 da grafita. Calculou-se o *background* inserido nos difratogramas, devido influência do ruído dos sensores digitais do equipamento e demais operações matemáticas de processamento de dados anteriores ao fornecimento dos valores ao usuário. Estes cálculos foram feitos no Programa EVA 2001. As curvas representativas do difratograma foram suavizadas usando-se a função *smooth* do EVA, o fator selecionado nesta operação foi de 0.150 para todas as amostras. Tais curvas suaves foram então mais facilmente interpretadas. Calculou-se a área contida sob as curvas e a largura das mesmas a diversas alturas. Os dados gerais sobre os picos são apresentados na tabela 4.1. O centro de gravidade de cada curva foi calculado com o auxílio do EVA. Isto possibilitou um alinhamento da calcita com o padrão e um aumento na confiabilidade das medidas da grafita, que estavam no mesmo difratograma.

Tabela 4.1 – Resultados dos cálculos obtidos com o EVA 2001 nos difratogramas de resíduo de fítilo carbonoso + padrão de calcita.

Amostras	Left Angle	Right Angle	Left Int.	Right Int.	Obs. Max	d (Obs.Max)	MaxInt.	NetHeight	FWHM	ChordMid.	I. Breadth	Gravity C.	d(GravityC.)	Raw Area	Net Area	X offset
	2Theta	2Theta	Cps	Cps	2Theta	Angstrom	Cps	Cps	2Theta	2Theta	2Theta	2Theta	Angstrom	CpsX2Theta	CpsX2Theta	
aqc10	26.045	27.125	1.5	0.51	26.579	3.35171	34	33	0.327	26.575	0.442	26.599	3.34915	15.67	14.59	0.025
aqc10	28.825	29.845	38.1	40.9	29.466	3.02954	2748	2708	0.231	29.462	0.277	29.43	3.0331	789.4	749.2	
aqc11	26.13	27.23	0.56	0.21	26.573	3.3524	175	175	0.282	26.565	0.342	26.554	3.35479	60.07	59.75	0.030
aqc11	28.81	29.87	27	103	29.466	3.02952	4034	3960	0.22	29.463	0.259	29.434	3.03276	1095.8	1026.9	
aqc12	28.665	30.205	6.16	9.24	29.465	3.02958	5611	5604	0.218	29.463	0.265	29.442	3.03191	1494.8	1483	
aqc12	26.105	26.945	7.74	5.53	26.576	3.35197	144	138	0.277	26.569	0.316	26.547	3.35568	49.12	43.54	0.015
aqc15	25.932	27.172	1.5	1.21	26.551	3.35515	34.1	32.8	0.433	26.529	0.505	26.548	3.35549	18.23	16.55	0.008
aqc15	28.872	29.772	44.4	44.4	29.462	3.02996	816	771	0.267	29.453	0.308	29.416	3.03454	277.7	237.6	
aqc16	28.523	29.923	20.9	20.8	29.466	3.0295	2052	2031	0.228	29.464	0.277	29.427	3.03344	592.1	562.9	
aqc16	26.063	27.183	0.86	0.43	26.558	3.35422	77.6	76.9	0.315	26.555	0.403	26.578	3.35182	31.74	31.01	0.023
aqc5	28.908	29.908	74.2	111	29.47	3.02914	5080	4985	0.222	29.467	0.26	29.44	3.0321	1390.9	1298	
aqc5	26.088	26.988	5.5	4.4	26.579	3.35165	160	155	0.275	26.571	0.318	26.547	3.35565	53.82	49.34	0.008
aqc6	28.638	30.238	11.7	11.7	29.466	3.02949	4619	4607	0.225	29.464	0.27	29.435	3.03266	1262.3	1243.5	
aqc6	26.118	27.118	1.1	1.47	26.588	3.35051	66.1	64.8	0.289	26.586	0.351	26.597	3.34937	24.03	22.76	0.042
aqc7	25.905	27.125	3.41	5.12	26.578	3.35174	380	376	0.295	26.569	0.35	26.543	3.35614	136.8	131.6	0.075
aqc7	28.765	30.405	3.11	2.09	29.467	3.02944	5888	5885	0.225	29.465	0.268	29.444	3.0317	1582.9	1578.7	
aqc8	28.6	30.38	10.1	0.67	29.468	3.02927	4922	4916	0.22	29.466	0.263	29.443	3.03181	1302.3	1292.7	
aqc8	25.98	27.06	2.48	2.23	26.577	3.35195	161	159	0.283	26.571	0.341	26.55	3.35524	56.59	54.04	0
nqc1	28.573	30.333	2.02	0.91	29.463	3.02978	2517	2516	0.229	29.46	0.281	29.431	3.03307	708.2	707.2	
nqc1	25.733	27.833	2.27	0.76	26.603	3.34873	8626	8624	0.228	26.6	0.276	26.569	3.35292	2386.4	2383.3	0.033
nqc2	28.785	29.885	4.13	10.3	29.46	3.03007	1886	1878	0.238	29.457	0.287	29.427	3.03341	547.4	539.5	
nqc2	25.905	27.025	9.29	11.4	26.593	3.34997	1484	1473	0.225	26.59	0.273	26.556	3.35451	414.2	402.7	0.025

A cristalinidade da grafita do Passo do Marmeleiro foi comparada com os dados das amostras da Nacional Grafite Ltda. (Minas Gerais, Brasil), assim como com padrões internacionais e com registros bibliográficos do comportamento do material carbonoso. As características analisadas foram:

Critério 1 – Posição relativa e absoluta das maiores contagens de reflexões em função do ângulo 2θ ;

Critério 2 – Tamanho do cristálito (*Crystallite size, LC - Length crystallite*);

Critério 3 – Aplicação qualitativa da teoria intrínseca a equação que resulta no LC, considerando as intensidades e larguras relativas e absolutas de picos nos difratogramas de DRX.

As características petrográficas da grafita nas amostras estudadas foram descritas no capítulo 3. Em síntese as descrições petrográficas das seções polidas possibilitaram a distinção de duas variedades de grafita: cripto-microcristalina. Integrando os dados petrográficos com as análises de DRX pode-se refinar a classificação do material carbonoso das rochas do Passo do Marmeleiro. As semelhanças observadas nos difratogramas de DRX, quanto aos critérios 1 a 3, possibilitaram o agrupamento das amostras do Passo do Marmeleiro em dois grupos.

✕ grafita microcristalina, a qual é representada pelas amostras A16, A15, A10 (Fig. 3.3). Nestas amostras o espaçamento $d(002)$ varia de 3,34915 a 3,35549 Å, o que corresponde a reflexões na região de $2\theta \approx 26,5^\circ$. Os difratogramas de RX (Fig. 4.3) apresentam um pico definido (*Sharp pick*) na região de $2\theta \approx 44,5^\circ$ e uma banda de baixa intensidade na região de $2\theta \approx 60^\circ$. Os dados de DRX obtidos para este grupo possibilitaram a estimativa do LC variando de 189 a 259 Å (Tab. 4.2). O pico referente à distância de 1,79 Å é menos intenso do que o correspondente à distância de 2 Å;

✕ grafita criptocristalina, que é representada pelas amostras A5, A6, A7, A8, A11 e A12. Nestas amostras o espaçamento $d(002)$ varia de 3,34937 a 3,35614 Å, o que corresponde a reflexões na região de $2\theta \approx 26,5^\circ$. Os difratogramas de RX (Fig 4.4, 4.5 e 4.6) apresentam um pico definido (*Sharp pick*) na região de $2\theta \approx 44,5^\circ$ e uma banda de baixa intensidade na região de $2\theta \approx 60^\circ$. Os dados de DRX

obtidos para este grupo de amostras possibilitaram a estimativa do LC variando de 277 a 297 Å (Tab. 4.2). O pico referente à distância de 1,79 Å é menos intenso ou da mesma ordem de grandeza daquele referente à distância de 2 Å;

Tabela 4.2 - Dados obtidos, com o D5000, e constantes utilizadas no cálculo do LC via equação de Scherrer.

Amostra	K	λ (Å)	β (°)	2θ (°)	d_{002} (max.)	d_{002} (gravit.)	L_c (Å)
a5	0.9	1.5422	0.275	26.579	3.35165	3.35565	297
a6	0.9	1.5422	0.289	26.588	3.35051	3.34937	283
a7	0.9	1.5422	0.295	26.578	3.35174	3.35614	277
a8	0.9	1.5422	0.283	26.577	3.35195	3.35524	289
a10	0.9	1.5422	0.327	26.579	3.35171	3.34915	250
a11	0.9	1.5422	0.282	26.573	3.3524	3.35479	290
a12	0.9	1.5422	0.277	26.576	3.35197	3.35568	295
a15	0.9	1.5422	0.433	26.551	3.35515	3.35549	189
a16	0.9	1.5422	0.315	26.558	3.35422	3.35182	259

4.3 - Caracterização preliminar da Geoquímica dos filitos carbonosos

Os resultados das análises químicas são apresentados nas tabelas 4.3 e 4.5, enquanto os dados de isótopos de carbono e teor de carbono são apresentados nas tabelas 3.1 e 3.2.

Os dados composicionais das rochas carbonosas do Passo Marmeleiro, que são mostrados nas tabelas 4.3 e 4.4 foram discutidos no artigo: *Geoquímica das Rochas Carbonosas da Seqüência Metavulcano-Sedimentar Marmeleiro, Estado do Rio Grande do Sul*, publicado na 54ª Reunião da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, conforme capítulo 5.

Tabela 4.3 – Resultados das análises de elementos maiores, expressos em porcentagem, das amostras de filito carbonoso do Passo do Marmeleiro.

Amostras	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Ti
A1	5,5	0,02	5,3	3,2	0,63	0,01	0,1	0,04	0,36
A3	5,1	0,02	8,2	2,1	0,36	0,02	0,11	0,16	0,29
A5	4,5	0,03	2,5	1,9	0,4	0,01	0,07	0,05	0,18
A6	5,3	0,04	4,3	2,9	0,56	0,02	0,11	0,05	0,33
A7	4,2	0,02	>10	1,6	0,31	0,01	0,07	0,06	0,2
A8	5	0,03	6,5	2,3	0,41	0,03	0,12	0,05	0,31
A10	5,8	0,03	5	3,5	0,69	0,02	0,17	0,07	0,39
A11	6	0,02	1,6	4,1	0,9	0,02	0,13	0,02	0,46
A12	5,7	0,03	3,2	3,8	0,81	0,02	0,12	0,04	0,42
A13	6,1	0,04	3,5	3,5	0,55	0,02	0,18	0,08	0,39
A15	5,3	0,03	3,1	2,8	0,48	0,02	0,08	0,03	0,29
A16	5,8	0,03	4,4	3,5	0,62	0,02	0,15	0,05	0,38

Tabela - 4.4 – Dados composicionais, expressos em ppm, dos filitos carbonosos da Sequência Metavulcanosedimentar Marmeleiro. Em todas as amostras analisadas, os teores de Ag, Be e Cd situaram-se abaixo de 3 ppm, enquanto os teores de Bi, Sn e W situaram-se abaixo de 20 ppm, e os teores de Au abaixo de 5 ppb.

Amostras	Ba	Co	Cr	Cu	Li	Mo	Ni	Pb	Sc	Sr	V	Y	Zn	Zr
A1	289	<8	304	66	22	37	43	95	17	37	385	34	191	125
A3	373	<8	102	336	12	19	15	62	14	58	270	20	164	94
A5	243	<8	218	61	18	24	38	504	<3	25	260	21	127	73
A6	324	<8	434	30	22	42	97	70	<3	30	524	30	370	106
A7	187	17	264	162	11	91	58	61	<3	19	441	21	423	74
A8	289	10	143	35	13	12	22	149	10	29	616	35	361	85
A10	523	<8	137	52	19	23	21	193	15	41	476	23	200	66
A11	410	<8	184	17	28	4,3	20	86	17	40	1000	46	150	152
A12	396	<8	353	66	26	46	61	73	13	36	852	40	172	140
A13	487	<8	94	43	18	<3	16	64	14	62	128	17	58	45
A15	196	11	102	49	26	10	22	50	<3	34	281	26	133	103
A16	411	13	381	95	20	21	95	57	18	40	529	46	132	127

4.3.1 - Elementos Maiores e Menores

A comparação da composição dos filitos carbonosos em relação as médias dos folhelhos apresentadas por Wedepohl (1971, 1995), Cameron & Garrels (1980), Shaw (1980) e Gromet *et al.* (1984) permite afirmar que:

✕ Em relação as médias propostas por estes autores, exceto Shaw (1980), as rochas estudadas apresentam leve enriquecimento em SiO_2 e Fe_2O_3 . Contudo, estas amostras são levemente empobrecidas em TiO_2 , Al_2O_3 e MgO , assim como apresentam-se empobrecidas em Na_2O , CaO e FeO ;

✕ Os teores de Cr (94 a 434 ppm), V (128 a 1000 ppm) e Pb (50 a 504 ppm) da maioria das rochas estudadas estão enriquecidos em relação a média dos folhelhos;

✕ Por outro lado, as amostras estão empobrecidas em Li (18 a 28 ppm), Sr (19 a 62 ppm) e Ba (187 a 523 ppm) em relação à média dos folhelhos;

✕ Além disso, algumas amostras apresentam-se enriquecidas em Cu (17 a 336 ppm), Ni (15 a 97 ppm), Mo (<3 a 91 ppm) e Zn (58 a 423 ppm), enquanto outras estão empobrecidas nestes elementos, se comparadas com a média dos folhelhos;

✕ Os teores de C_{total} , Cr, Sr, Ba, V, Cu, Zn, Ni, Pb, Co, Hg, Sb e As nas rochas carbonosas da Seqüência Marmeleiro são da mesma ordem de grandeza daqueles registrados na média das rochas carbonosas do Proterozóico (Cameron & Garrels 1980);

✕ Os teores de C, Cr e V estão consideravelmente enriquecidos nas amostras estudadas, se comparados as médias propostas por Wedephol (1995) e Cameron & Garrels (1980);

✕ Os teores de Sc mostram-se levemente enriquecidos se comparados as médias de Shaw (1980) e Wedephol (1995), e levemente empobrecidas em relação aos dados de Gromet *et al.* (1984) e Cameron & Garrels (1980);

✕ Os teores de V, Pb, Cr, Ni e Zn dos metassedimentos estudados estão relacionados com a paragênese destas rochas. Em especial, os teores de Cr e V sugerem a presença de minerais do grupo dos espinélios nestes litótipos;

✕ As amostras estudadas estão enriquecidas em Y e Ni se comparadas às médias propostas por Shaw (1980) e Wedephol (1995). Por outro lado, os valores de

Y são da mesma ordem de grandeza dos sugeridos por Cameron & Garrels (1980). O Ni está empobrecido se relacionado com os estudos de Gromet *et al.* (1984) e Cameron & Garrels (1980);

✕ O Zr está empobrecido nas rochas carbonosas em relação as médias de Gromet *et al.* (1984) e Shaw (1980);

✕ O Mo está enriquecido se comparado as médias propostas por Cameron & Garrels (1980) e Wedephol (1995);

✕ Os teores de Co estão levemente empobrecidos, se comparados ao proposto por Shaw (1980), Gromet *et al.* (1984) e Wedephol (1995), porém apresentam-se acentuadamente empobrecidos se relacionados com os estudos de Cameron & Garrels (1980);

✕ A associação de Cu, Pb, Zn, As e Sb foram considerados, por Cameron & Garrels (1980) e Fralick *et al.* (1989), como indicativos de uma contribuição vulcanogênica nos folhelhos.

4.3.2 - Elementos Terras Raras (ETR)

As rochas carbonosas da Seqüência Marmeleiro apresentam distintos padrões de ETR em relação ao condrito CI de Evensen *et al.* (1978), que permite reuni-las em:

Litótipos com anomalia negativa em Eu (Fig. 4.7a) - este padrão de ETR é semelhante ao NASC (Gromet *et al.* 1984), exceto pelo maior fracionamento de ETRP. Além disto, o padrão deste grupo de rochas assemelha-se ao da amostra LN27 da Associação Shoshonítica Lavras do Sul (Nardi & Lima 1985), o qual é típico de rochas ígneas félsicas, quando normalizadas para os valores do condrito CI (Evensen *et al.* 1978). Aplicando os critérios geoquímicos propostos por Fralick *et al.* (1989), na área do Passo do Marmeleiro, pode-se aventar a hipótese que os filitos carbonosos estudados possuem uma contribuição de material vulcanogênico. A similaridade entre o padrão ETR das rochas estudadas com o da amostra LN27 de Nardi & Lima (1985), favorecem a hipótese aventada (Fig. 4.7a,b). Recomenda-se que a similaridade do padrão ETR das amostras estudadas com as de Nardi & Lima (1985) seja investigada no futuro com técnicas de maior detalhe.

Rochas sem anomalia negativa em Eu (Fig. 4.7c) - O padrão de ETR destes litótipos difere do NASC (Gromet *et al.* 1984), porém assemelha-se ao das rochas shoshoníticas de Lavras do Sul exemplificadas pelas amostras AN106 e LP21 de Nardi & Lima (1985).

Tabela 4.5 - Resultados das análises de elementos terras raras (ETR), em ppm, das amostras de filito carbonoso do Passo do Marmeleiro.

Amostra	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Ho	Er	Yb	Lu
A 1	18,82	40,35	12,27	2,305	0,449	1,929	0,245	0,572	0,393	0,035
A 2	21,6	34,93	13,49	2,685	0,463	1,765	0,203	0,546	0,371	0,039
A 5	24,91	39,65	17,01	3,693	0,661	2,585	0,359	0,835	0,615	0,119
A 6	14,85	27,21	13,28	3,473	0,582	2,809	0,524	1,436	1,019	0,181
A 7	24,12	50,08	18,17	4,185	0,804	3,295	0,439	1,085	0,936	0,204
A 8	54,9	111,8	37,29	8,428	1,436	6,497	0,83	2,145	1,396	0,236
A 11	32,15	54,18	26,07	6,09	1,113	4,653	0,657	1,815	1,247	0,204
A 12	26,92	42,01	20,25	4,566	0,834	3,279	0,445	1,171	0,813	0,137
A 14	17,29	33,76	13,12	2,702	0,639	1,773	0,353	0,973	0,701	0,136
A 16	26,36	44,99	20,44	4,803	0,927	3,982	0,612	1,652	1,083	0,186
A 22	20,385	39,774	18,112	2,58	0,348	2,388	0,531	1,461	1,205	0,21
A 30	20,08	46,24	17,24	4,716	0,906	3,828	0,667	1,851	1,398	0,218
A 32	17,87	36,85	13,26	2,936	0,464	2,048	0,196	0,517	0,464	0,095
A 35	22,7	34,64	12,96	2,168	0,507	1,581	0,188	0,501	0,466	0,066

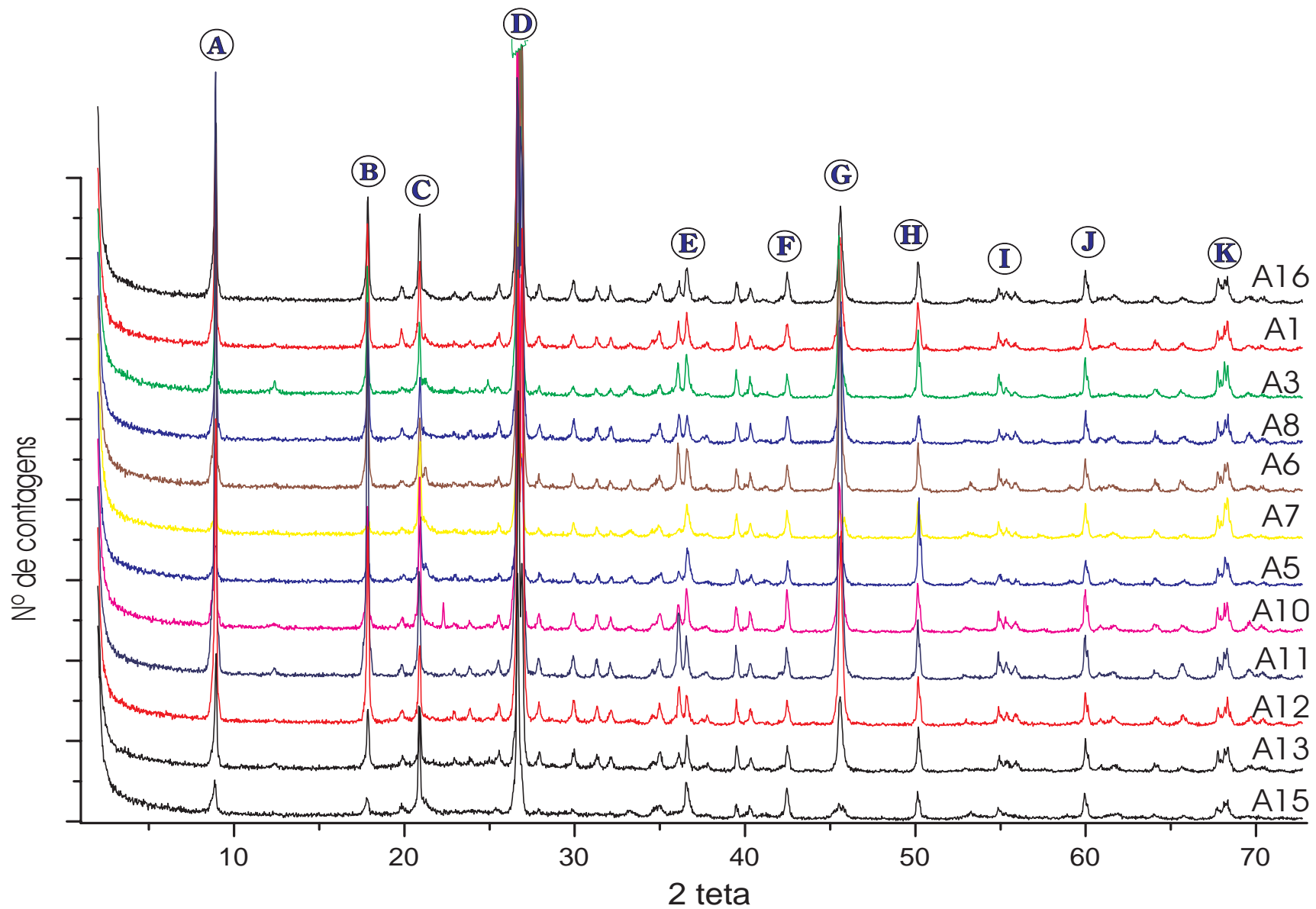


Figura 4.1: Difratogramas de raios X, no intervalo de dois teta de 2-72, amostras de rocha total. Picos diagnosticados. A) illita, mica branca - 9,97 Å; B) illita, mica branca - 4,97 Å; C) quartzo - 4,24 Å; D) quartzo e grafita - 3,34 Å, o qual é um pico relativamente intenso e, por isso, teve sua parte superior recortada nesta figura; E, F, H) quartzo, mica branca/illita; G, I) quartzo, mica branca e grafita; J) grafita; K) quartzo.

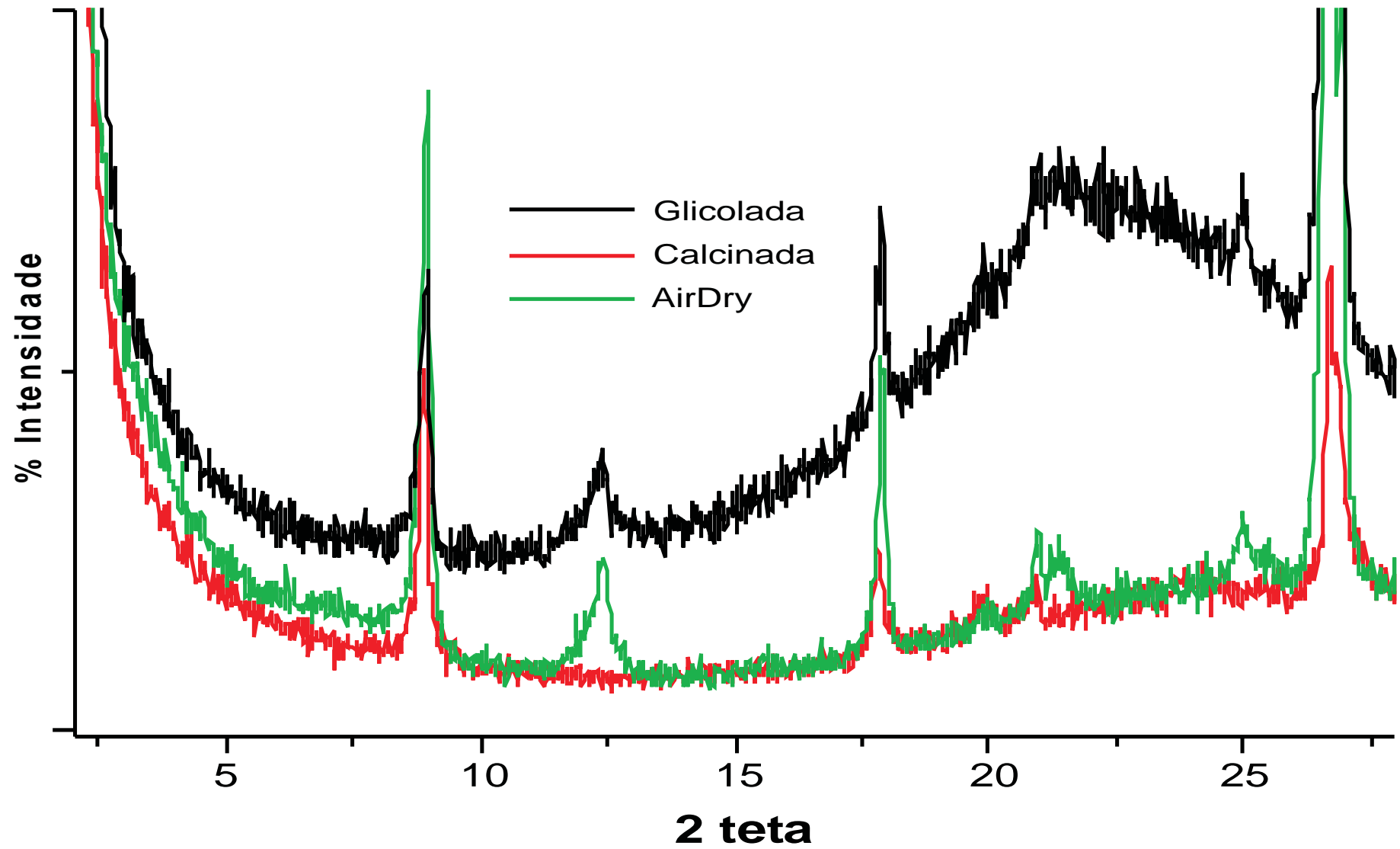


Figura 4.2: Difratoogramas de raios X, da fração menor que 2 micrometros, da amostra R166 - filito carbonoso.

Grafita Microcristalina

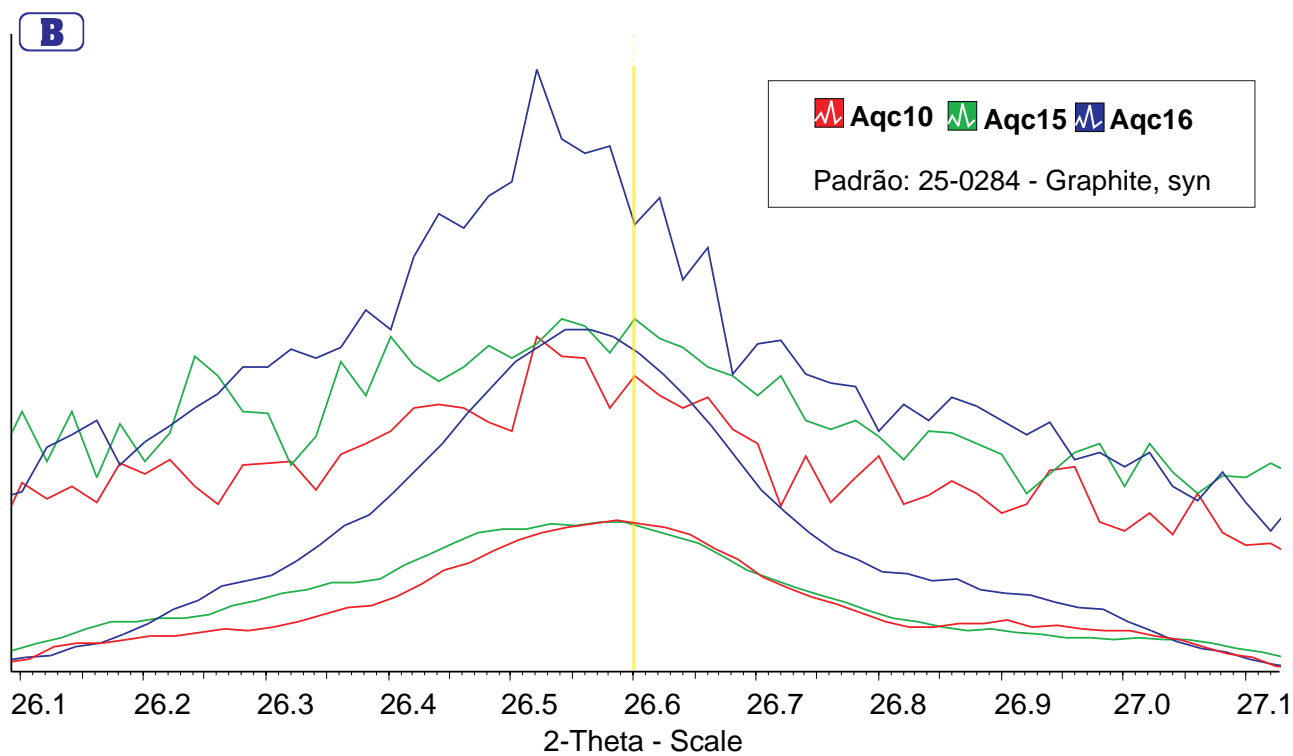
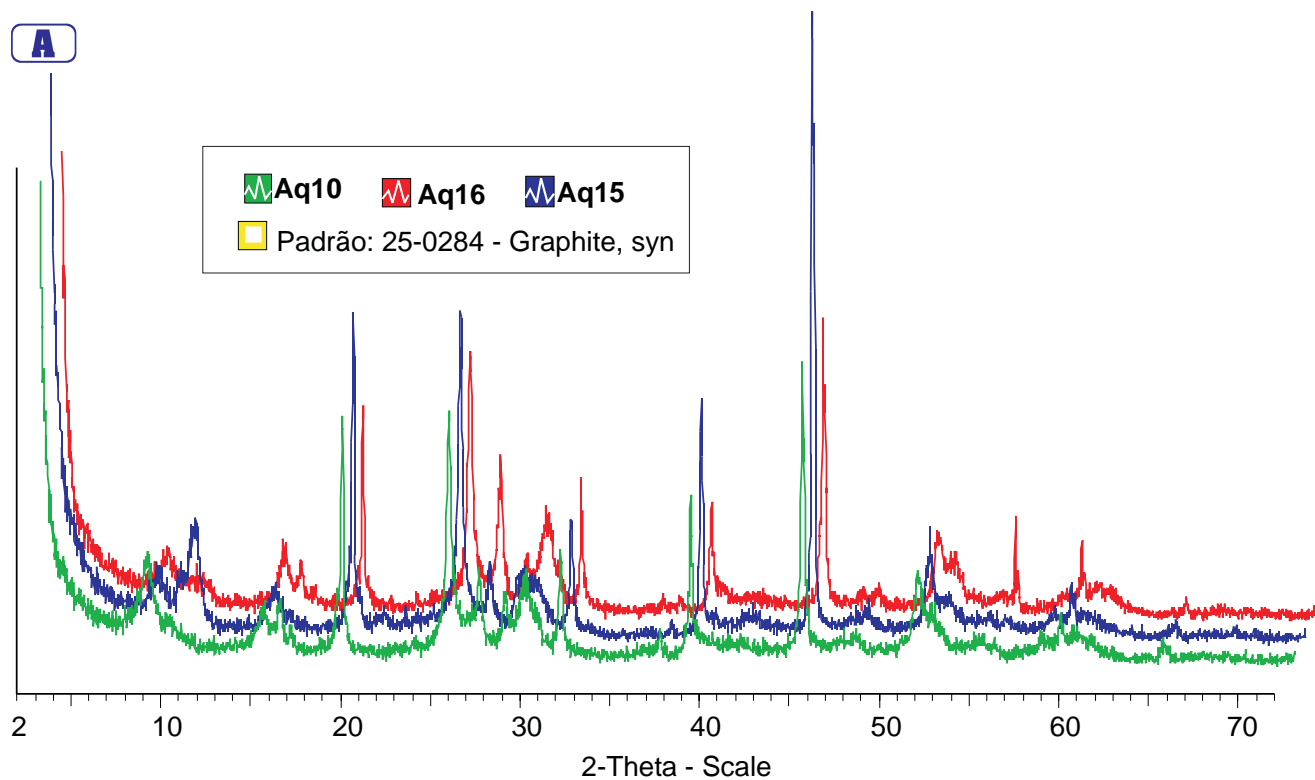


Figura 4.3 - Difratoigramas de RX da grafita microcristalina dos filitos carbonosos do Passo do Marmeleiro. A) Resíduo Insolúvel; B) Resíduo + padrão.

Grafita criptocristalina

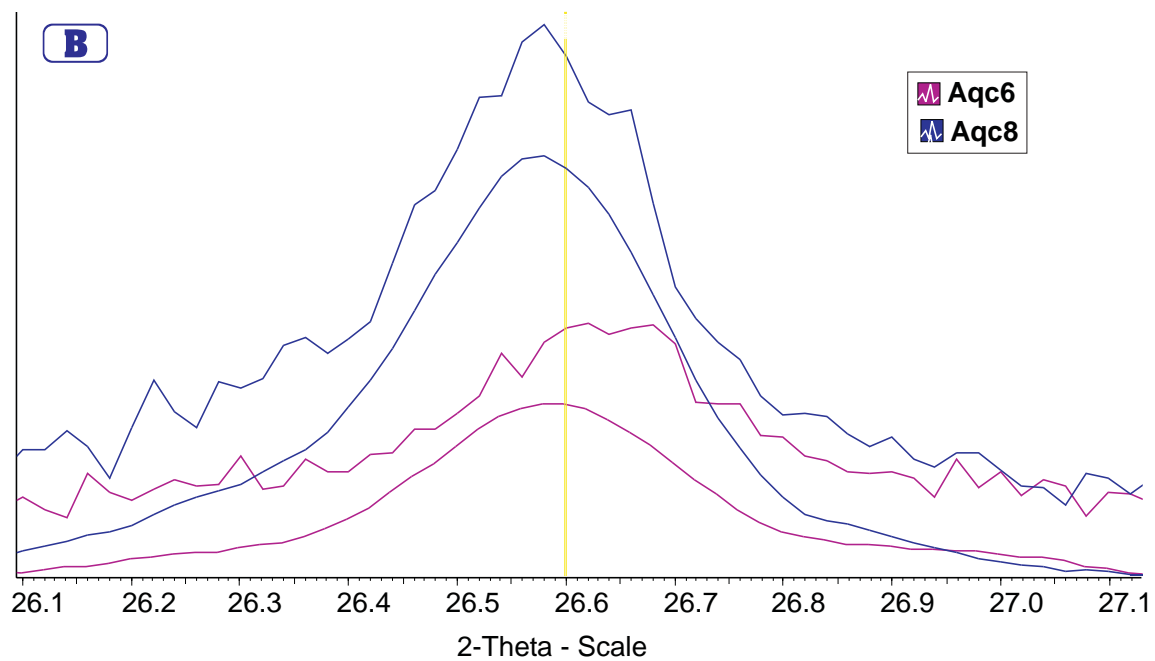
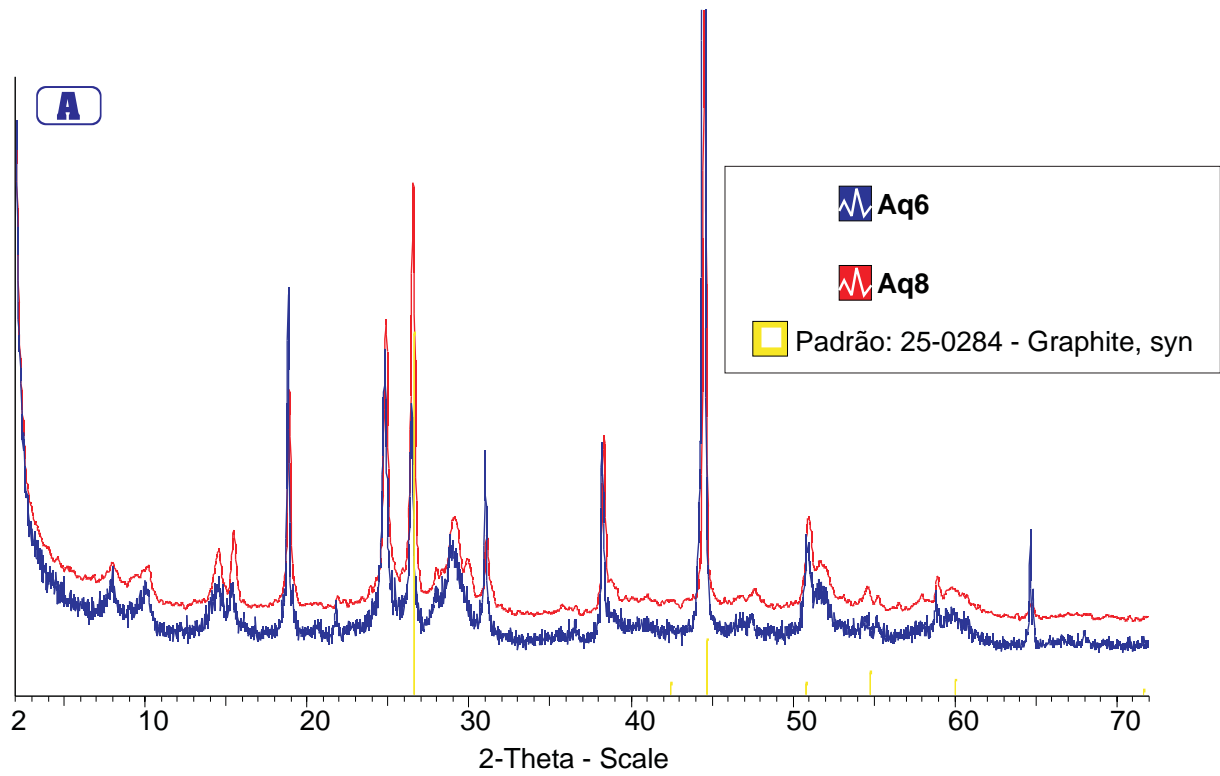


Figura 4.4 - Difratogramas da grafita criptocristalina do Passo do Marmeleiro. A) Resíduo Insolúvel; B) Resíduo + padrão.

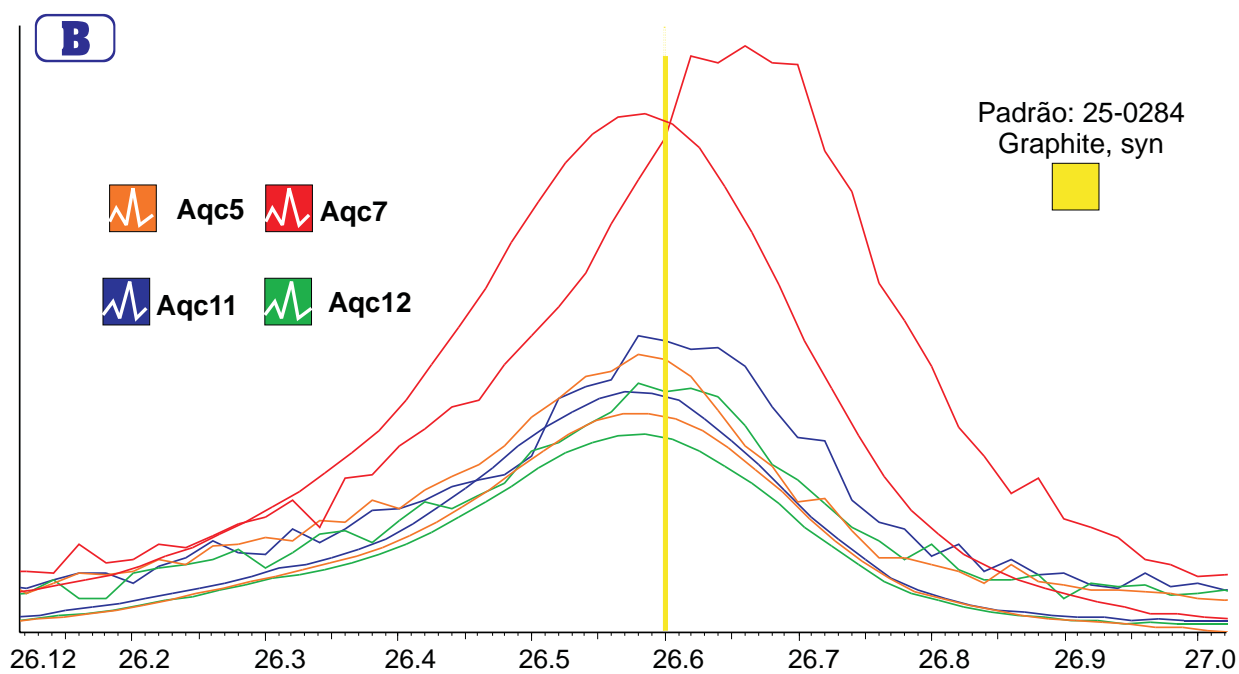
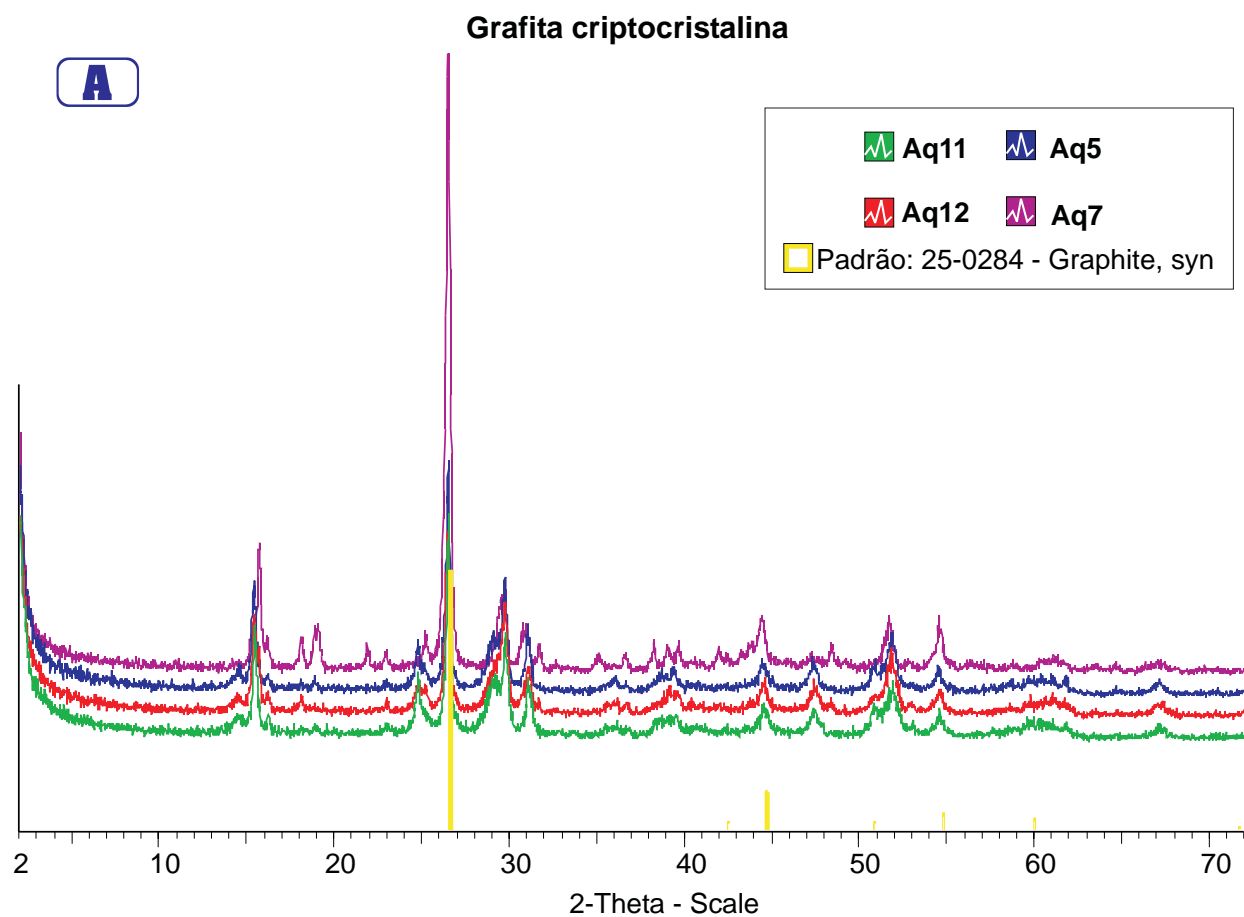


Figura 4.5 - Difratoformas da grafita criptocristalina do Passo do Marmeleiro. A) Resíduo Insolúvel; B) Resíduo + padrão.

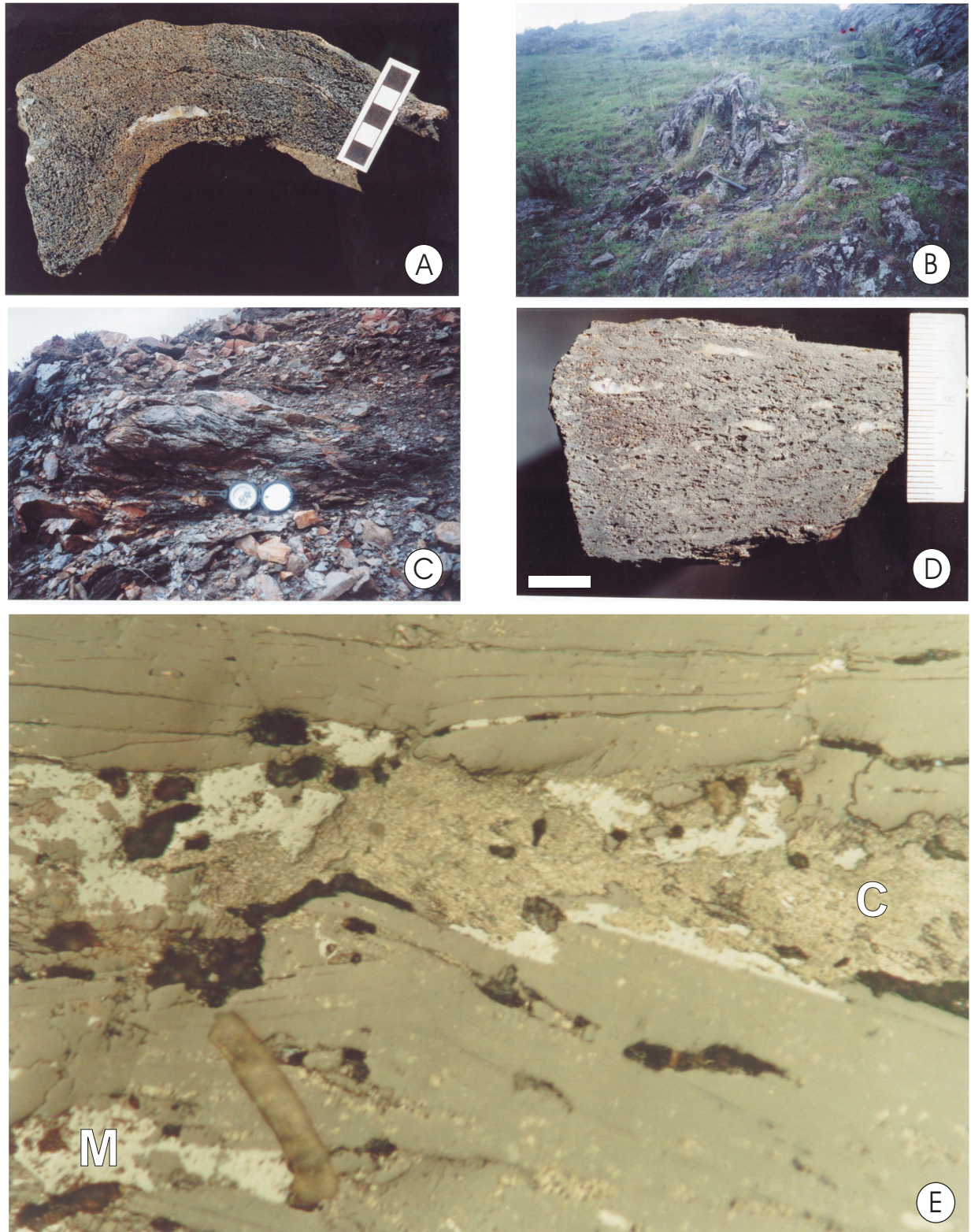


Figura 4.6 - Filitos Carbonosos do Passo do Marmeleiro. A) Amostra de mão de filito carbonoso com augens de quartzo paralelos a foliação milonítica. B) Afloramento de filito carbonoso intensamente deformado. C) vista em corte de afloramento de filito carbonoso mostrando a foliação deste litótipo, truncamento de planos S e C. D) Amostra de mão de filito carbonoso mostrando dobras mesoscópicas com segregações de quartzo em zonas de charneira e pronunciada porosidade como denotam a presença de *vugs*. E) Fotomicrografia de seção polida ilustrando a ocorrência de grafita microcristalina (M) associada a grafita criptocristalina (C).

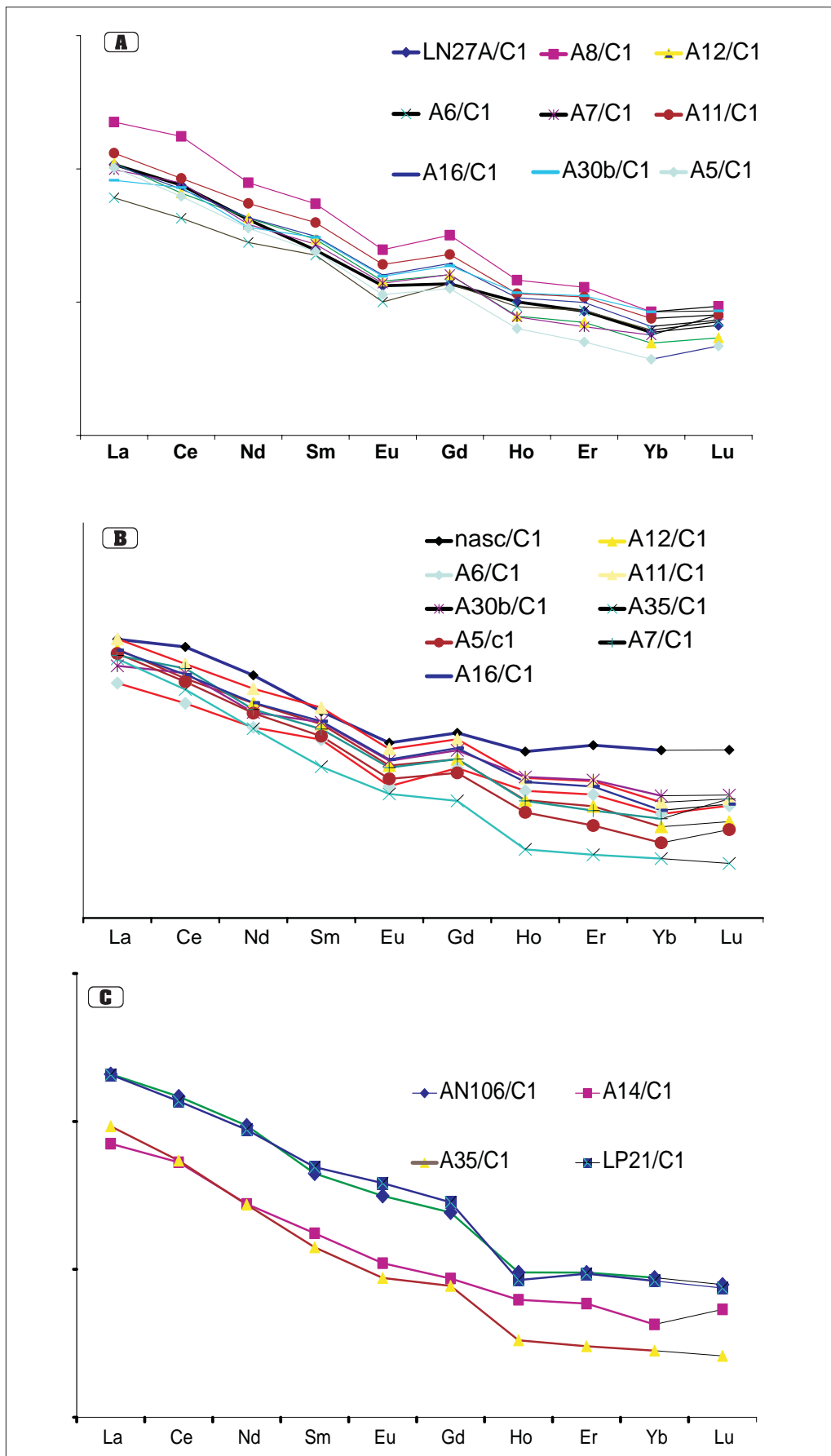


Figura 4.7 - Distribuição dos ETR nas amostras de filito carbonoso, normalizadas pelo condrito C1 (evensen *et al.* 1978). Nestes graficos as amostras estudadas são comparadas com aquelas de Nardi e Lima (1985) e Gromet *et al.* (1984). A) Amostras LN27A, A6, A16, A8, A7, A30b, A12, A11, A5. B) Amostras An106, A14, A35, Lp21. C) Amostras A8, A6, A11, A30b, Ln27A, A12, A7, A16, A5.

CAPITULO 5 - DIVULGAÇÃO DOS RESULTADOS EM EVENTOS CIENTÍFICOS

5.1 - Introdução

O objetivo deste capítulo é registrar os trabalhos de divulgação desta pesquisa, durante a elaboração da dissertação. A divulgação foi realizada em eventos científicos de abrangência nacional, quais sejam:

5.2 - Publicações em Eventos

Dias, K. D. N., Pulz, G. M. & Oliveira, A. S. 2002. Dados Geofísicos de Susceptibilidade Magnética das Rochas da Seqüência Metavulcano-Sedimentar Marmeleiro, Região de Torquato Severo, Estado do Rio Grande do Sul. 54 Reunião da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, Goiânia, 2002. Referências adicionais: Brasil Português; Home page: <http://www.sbpconet.org.br/eventos/54RA/>; palavras chaves: geofísica, filito carbonoso, susceptibilidade magnética aparente.

Oliveira, A. S. & Pulz, G. M. 2002a. Dados Isotópicos de Carbono das Rochas Carbonosas da Seqüência Metavulcano-Sedimentar Marmeleiro, Estado do Rio Grande do Sul. 41 Congresso Brasileiro de Geologia, Sociedade Brasileira de Geologia, João Pessoa, 2002. Referências adicionais: Brasil Português; Home page: <http://www.41cbg.com.br/>; palavras chaves: filito carbonoso, isotopos de carbono, depósito sin-genético.

Oliveira, A. S. & Pulz, G. M. 2002b. Geoquímica das Rochas Carbonosas da Seqüência Metavulcano-Sedimentar Marmeleiro, Estado do Rio Grande do Sul. 54 Reunião da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, Goiânia, 2002. Referências adicionais: Brasil Português; Home page: <http://www.sbpconet.org.br/eventos/54RA/>; palavras chaves: elementos maiores, elementos traço, filito carbonoso.

- 3028-A.3.9J (USP) Pereira, G. G. e Valim, J. B. - ESTUDO DAS PROPRIEDADES DE CO-INTERCALAÇÃO E TROCA ANIÔNICA SELETIVA DE SAIS BILIARES EM HIDRÓXIDOS DUPLOS LAMELARES.
- 3157-A.3.9J (UCS) Vicenzi, S. e Catelli, F. - HOLOGRAMAS DE LUZ BRANCA DE DUPLA EXPOSIÇÃO
- 3158-A.3.9J (UCS) Mello, K. B. de e Mossmann, V. L. da F. - DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE ATRITO ESTÁTICO E CINÉTICO UTILIZANDO AQUISIÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS

Geociências - A.4

Coordenador: Maria Stela de Godoy

- 973-A.4.1 (UFPA) Silva, L. A. da; Costa, R. A. B. da; Medeiros, A. F. de; Nepomuceno, A. A.; Takahashi, H. e Gobbi, D. - OBSERVAÇÃO DE EVENTOS DE ONDAS TIPO POROROCA (BORE-LIKE) NA REGIÃO EQUATORIAL POR IMAGEAMENTO AL L-SKY
- 973-A.4.1-A (UFPA) Silva, L. A. da; Costa, R. A. B. da; Medeiros, A. F. de; Nepomuceno, A. A.; Takahashi, H. e Gobbi, D. - DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE BOLHA DE PLASMA OBSERVADA POR IMAGEAMENTO EM FUNÇÃO DA LATITUDE
- 1514-A.4.1 (UFPA) Nepomuceno, A. A.; Costa, R. A. B. da; Silva, L. A. da; Medeiros, A. F. de; Takahashi, H. e Gobbi, D. - SIMULAÇÃO DO EFEITO DAS MARÉS ATMOSFÉRICAS SOBRE OS PERFIS DE EMISSÃO DO OXIGÊNIO ATÔMICO O(1S) E DO O₂ (B1) ATMOSFÉRICO
- 1514-A.4.1-A (UFPA) Nepomuceno, A. A.; Costa, R. A. B. da; Silva, L. A. da; Medeiros, A. F. de; Takahashi, H. e Gobbi, D. - INFLUÊNCIA DAS MARÉS ATMOSFÉRICAS NA INTENSIDADE DO AIRGLOW EQUATORIAL
- 1759-A.4.1 (INPE) Novaes, A. P. S.; Domingues, M. O. e Mendes Júnior, O. - DOCUMENTAÇÃO VISUAL DE RELÂMPAGOS: VERIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES COMPLEXAS
- 3195-A.4.1J (USP) Nascimento Junior, F. de A. e Mantovani, M. S. M. - CÁLCULO DA CORREÇÃO DE TERRENO PARA O TRECHO MERIDIONAL DA SERRA DO MAR.
- 370-A.4.5 (UFGRS) Oliveira, A. S. de e Pulz, G. M. - GEOQUÍMICA DAS ROCHAS CARBONOSAS DA SEQUÊNCIA METAVULCANO-SEDIMENTAR MARMELEIRO, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
- 817-A.4.5 (UFGRS) Siviero, R. S. e Pulz, G. M. - GEOQUÍMICA APLICADA AO APROVEITAMENTO INDUSTRIAL DO MÁRMORE DA SEQUÊNCIA METAVULCANO-SEDIMENTAR MARMELEIRO, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
- 1140-A.4.5 (UFBA) Almeida Neto, T. C. de; Santos, C. C. e Barbosa, R. M. - A INFLUÊNCIA DO CHORUME NA DECOMPOSIÇÃO DO MATERIAL DE EMPRÉSTIMO NO LIXÃO DE CANABRAVA EM SALVADOR-BA
- 1815-A.4.5-A (UEFS) Godinho, A. B.; Rocha, C. C. da; Silva, A. de B. e Rocha, W. de J. S. da F. - GERAÇÃO DE SUPERFÍCIES CONTÍNUAS ATRAVÉS DE DADOS GEOQUÍMICOS LOCALIZADOS NOS MUNICÍPIOS DE TEOFILÂNDIA E SANTA LUZ - BA.
- 2913-A.4.5J (UFMG) Almeida, A. M. de; Dussin, I. A.; Berni, G.; Sampaio, N. P. e Horn, A. H. - INVESTIGAÇÃO EM CRISTAIS DE ZIRCON DO MACIÇO INTRUSIVO IBITUBA-ITAPINA, ESTADOS DE MINAS GERAIS E ESPÍRITO SANTO, BRASIL.
- 1025-A.4.6 (INPE) Blaz, R. e Domingues, M. O. - VISUALIZAÇÕES DE RESULTADOS DE MODELOS ATMOSFÉRICOS DE PREVISÃO NUMÉRICA DE TEMPO NO *OPENDX*
- 2776-A.4.6J (UECE) Lutfi, E. Y. S.; Oliveira, C. J. de; Costa, A. A.; Albuquerque, J. S.; Oliveira, J. C. P. e Castro, N. S. B. - MODELAGEM ATMOSFÉRICA DA PORÇÃO NORTE DO NORDESTE BRASILEIRO UTILIZANDO DADOS DO PROJETO EMAS
- 3007-A.4.6J (UFRJ) Silva, F. das N. R. da e França, J. R. de A. - ANÁLISE CLIMÁTICA A PARTIR DA DUPLICAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CO₂ (DIÓXIDO DE CARBONO) NUM MODELO DE CIRCULAÇÃO GERAL.
- 3101-A.4.6J (UFAL) Lima, E. de P. e Lyra, R. F. da F. - ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE TEMPERATURA NUMA REGIÃO DE CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR NOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS

- 3194-A.4.6J (USP) Scherrer, T. M. e Massambani, O. - EFEITOS IONOSFÉRICOS DE EXPLOSÕES SOLARES: UM ESTUDO DE CASO NO PERÍODO DE MÁXIMA ATIVIDADE SOLAR.
- 303-A.4.9-A (UECE) Paula, D. P. de e Pessoa, P. R. S. - ANÁLISE TÉRMICA DE FORTALEZA A PARTIR DA "ILHA DE CALOR" URBANO
- 811-A.4.9 (UNESP) Ugeda Júnior, J. C.; Soares, M. dos S. e Tommaselli, J. T. G. - PERSISTÊNCIA DOS VENTOS NA CIDADE DE PRESIDENTE PRUDENTE - SP.
- 1148-A.4.9 (UFMS) Saydelles, A. P. e Sartori, M. da G. B. - ANÁLISE DA DIREÇÃO E VELOCIDADE DOS VENTOS NA ÁREA CENTRAL DE SANTA MARIA -RS
- 1231-A.4.9-A (UEFS) Oliveira, C. N. N. de; Almeida, L. S. de e Lima, G. B. - ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS FENÔMENOS EL NIÑO E LA NIÑA NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA DE FEIJÃO, MANDIOCA E MILHO DO MUNICÍPIO DE FEIRA DE SANTANA-BA

Química - A.6

Coordenador: Ladir C. da Silva

- 383-A.6.6 (UEPB) Silva Filho, E. C. da; Airoldi, C. e Fonsêca, M. G. da - OBTENÇÃO DE ISOTERMAS DE ADSORÇÃO DE PESTICIDAS EM MATERIAIS INORGÂNICOS
- 765-A.6.6 (UFMS) Teixeira, A. L. R.; Melnikov, P.; Santos, F. J. dos; Delben, A. e Delben, J. R. - MODIFICAÇÃO DA SUPERFÍCIE DE ESPONGOLITO COM H₃PO₄
- 1294-A.6.6 (UFMS) Rolim, R.; Paulino Sobrinho, J. A.; Melnikov, P.; Delben, A. S. e Delben, J. R. - O USO DE HF EM SOLUÇÃO NA FLUORETAÇÃO DOS GÊIS-PRECURSORES DE VIDROS DE FLUORETO
- 1338-A.6.6 (UFRJ) Eon, J. G.; Bulhões, F. P. de e Moura, L. C. de - SÍNTESE DE HIDRÓXIDO DUPLOS LAMELARES (HDL MG₂,ALFE) INTERCALADOS COM CARBONATOS
- 1736-A.6.6 (UESC) Gomes, N. S.; Lana, E. J. L. e Oliveira, R. A. de - PREPARAÇÃO DE ÉTERES METÁLICOS E ETÍLICOS DA NARINGENINA UTILIZANDO O SISTEMA DE CATÁLISE DE TRANSFERÊNCIA DE FASE
- 1796-A.6.6 (UFRJ) Moura, L. C. de; Nascimento, H. J. M. do e Eon, J. G. - SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE HIDRÓXIDOS DUPLOS LAMELARES (HDL NI₂AL, Y=2,3 E 4), INTERCALADOS COM CARBONATO
- 2283-A.6.6J (UFS) Anjos, F. S. C. dos; Vieira, E. F. da S. e Cestari, A. R. - OBTENÇÃO DE DADOS CINÉTICOS E TERMOQUÍMICOS DA REMOÇÃO DE CORANTE ANIÔNICO EM MEIO AQUOSO POR MEMBRANAS DE QUITOSANA
- 2289-A.6.6J (UFG) Silva, L. de B.; Rabelo, D. e Alcântara, E. F. C. - IMOBILIZAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E PROPRIEDADES DA URÉIA E TIOURÉIA
- 2318-A.6.6J (UFS) Ferreira, G. B. e Mesquita, M. E. de - OBTENÇÃO DE NOVOS COMPLEXOS DE ÍONS LANTANÍDEOS COM O 4,4,4-TRIFLÚORO-1-FENIL-1,3-BUTANODIONA
- 2877-A.6.6J (PUC/CAMPINAS) Pechi, P. V. e Carvalho, W. A. - APLICAÇÃO DE ZEÓLITAS NATURAIS COMO PENEIRAS MOLECULARES NA RETENÇÃO DE MN E CD
- 2928-A.6.6J (UFMG) Caetano, M. L.; Frezard, F. e Demichelli, C. P. - SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE COMPOSTOS DE ANTIMÔNIO COM ADENOSINA, ADENOSINA, MONOFOSFATO E ADENOSINA TRIFOSFATO
- 3006-A.6.6J (UECE) Rodrigues, E. de A. e Girão, J. H. S. - SÍNTESE HIDROTÉRMICA DE PENEIRA MOLECULAR TENDO COMO MATÉRIA-PRIMA CAULINITA DE UM CAULIUM DA REGIÃO DO VALE DO JAGUARIBE
- 3124-A.6.6J (UECE) Carmo, G. K. A. do e Paula, M. I. A. de - VERIFICAÇÃO DA POTABILIDADE DA ÁGUA EXTRAÍDA DA RAIZ DA *SPONDIAS TUBEROSA* UMBU "ÁRVORE SAGRADA DO SERTÃO"
- 3193-A.6.6J (USP) Marchesi, M. S. e Silva, R. S. da - EFEITO DO ÍON RU(III) NA PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E BIOLÓGICAS EM COMPLEXOS DO TIPO [RU(NH₃)₂(CATECOLAMINA-R)]ⁿ⁺.

2408-A.3.7J (UFU) Silva, R. S. da; Mendes Júnior, D. R.; Qu, F. e Dantas, N. O. - ABSORÇÃO E EMISSÃO ÓPTICA DE PONTOS QUÂNTICO SEMICONTUDORES DE PBS EM VIDROS ÓXIDOS

Geociências - A.4

Coordenador: Juliano Lopes de Oliveira

420-A.4.7 (UFRGS) Dias, K. D. N.; Pulz, G. M. e Oliveira, A. S. de - DADOS DE SUSCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA DAS ROCHAS DA SEQUÊNCIA METAVULCANO-SEDIMENTAR MARMELEIRO, REGIÃO DE TORQUATO SEVERO, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

421-A.4.7 (UFRGS) Acauan, R. B.; Pulz, G. M. e Duarte, L. da C. - ANÁLISE DAS INCLUSÕES FLUIDAS NOS VEIOS DE QUARTZO DOS FILONITOS DA REGIÃO DE TORQUATO SEVERO, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

1674-A.4.7 (UEFS) Santo, E. B. da S. do E.; Rocha, W. de J. S. da F. e Barbosa, L. M. - O USO DA IMAGEM LANDSAT - TM PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DE EXTRAÇÃO DE AREIA NO MUNICÍPIO DE FEIRA DE SANTANA - BAHIA.

1810-A.4.7 (UEFS) Pacheco, J. M.; Barbosa, L. M. e Sanches, A. L. - ANÁLISE DE MINERAIS PESADOS COMO ELEMENTO DE COMPREENSÃO DA DINÂMICA COSTEIRA DA PLANÍCIE QUATERNÁRIA DO RIO SÃO FRANCISCO SE/AL.

1862-A.4.7 (CEFET) Fonseca-Zang, W. A. da e Zang, J. W. - CHARACTERIZATION OF A FERRIC IRON TOURMALINE FROM GERMANY

1862-A.4.7-A (CEFET) Zang, J. W. e Fonseca-Zang, W. A. da - CORRELATION OF CHEMICAL COMPOSITION AND REFRACTIVE INDICES OF GARNETS

617-A.4.8 (UFMS) Blini, R. C. B.; Silva, J. L. L. e Leipnitz, I. I. - UMA ORICTOCENOSE LACUSTRE EM TRES LAGOAS/MS.

1660-A.4.8-A (UNIRIO) Assis, C. M. de; Thiago, C. M. e Senra, M. C. E. - O REGISTRO DE BIVÁLVIOS DE ÁGUA DOCE DO CRETÁCEO DO BRASIL

2987-A.4.8J (UFRJ) Sayão-sanjinés, A. E.; Pugirá, M. da S. e Vilela, C. G. - FORAMINÍFEROS DE SEDIMENTOS DE FUNDO DA BAIJA DE GUANABARA. RJ.

906-A.4.10 (UFRN) Araújo, L. P. de e Petta, R. A. - SISTEMA DE GERENCIAMENTO DAS ÁGUAS (SGA) APLICADO A ANÁLISE DAS RELAÇÕES DE RISCO EM SAÚDE PÚBLICA E QUALIDADE DA ÁGUA E DOS RECURSOS HÍDRICOS DA CIDADE DE NATAL (RN)

906-A.4.10-A (UFRN) Araújo, L. P. de; Petta, R. A.; Vasconcelos, L. S. e Vasconcelos, N. S. - SISTEMA DE GERENCIAMENTO DAS ÁGUAS APLICADO A ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA NOS BEBEDOUROS NAS INSTALAÇÕES DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

1764-A.4.10 (UFPE) Silva, H. P. de B.; Maciel, L. N. de Q.; Silva, A. de M.; Costa, D. L. C.; Pereira, E. C. G.; Mota Filho, F. de O.; Lima, E. e Silva, N. H. - ANÁLISE COMPARATIVA DO EFEITO DO ÁCIDO ÚSNICO SOBRE ELEMENTOS DO GRANITO E IGNI-MBRITO

1815-A.4.10 (UEFS) Godinho, A. B.; Rocha, W. de J. S. da F.; Silva, A. de B. e Rocha, C. C. da - BASE DADOS GEO-REFERENCIADA DA REGIÃO DE TEOFILÂNDIA/SANTA LUZ - BA.

1995-A.4.10 (SEDUC) Erpen, E. B. e Rossete, A. N. - MAPA DO POTENCIAL DE PROCESSOS EROSIVOS DA ZONA URBANA DE NOVA XAVANTINA - MATO GROSSO

2517-A.4.10J (UNB) Carvalho, A. de; Santos, M. V. dos e Rosa, J. W. C. - SISTEMA DE INFORMAÇÕES AMBIENTAIS PARA UNIDADES DE CONSERVAÇÃO. COLETA DE INFORMAÇÕES AMBIENTAIS: PARQUE NACIONAL GRANDE SERTÃO VEREDAS.

2525-A.4.10J (UNB) Giacomoni, M. H.; Santos, M. V. dos e Rosa, J. W. C. - SISTEMA DE INFORMAÇÕES AMBIENTAIS PARA UNIDADES DE CONSERVAÇÃO. CONSTRUÇÃO DO SISTEMA: PARQUE NACIONAL GRANDE SERTÃO VEREDAS.

2685-A.4.10J (UNB) Oliveira, G. I. M. de e São, E. E. - IDENTIFICAÇÃO DE TIPOS DE PASTAGENS CULTIVADAS NO CERRADO BRASILEIRO: DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO.

2713-A.4.10J (UNESP) Romano, R.; Moreno, M. M. T. e Moreno, M. M. T. - REAPROVEITAMENTO DOS REJEITOS DE ENGOBE E ES-MALTE EM MASSAS PARA REVESTIMENTOS CERÂMICOS.

3174-A.4.10J (USP) Victória, D. de C. e Ferraz, E. S. de B. - USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO JI-PARANÁ(RO).

3253-A.4.10J (UEFS) Pacheco, J. M. e Barbosa, L. M. - ANÁLISE TEXTURAL E MINERALOQUÍMICA DOS DEPÓSITOS SEDIMENTARES DA PLANÍCIE QUATERNÁRIA COSTEIRA DO RIO SÃO FRANCISCO

Química - A.6

Coordenador: Ladir C. da Silva

94-A.6.2 (EFOA/CEUFE) Siqueira, M. E. P. B. de e Santos Neto, A. J. dos - ANÁLISE DE PRAGUCIDAS ORGANOFOSFORADOS EM ÁGUA POR EXTRAÇÃO EM DISCOS DE FASE SÓLIDA C-18

958-A.6.2 (UNAF??) Afonso, M. M. de F.; Freire, L. S.; Feccini, P. A. A.; Martins, G. Z.; Lopes, C. S. G.; Soares, V. L.; Costa, C. T. Á. da e Rezende, L. A. de - ANÁLISE "IN VIVO" DO EFEITO DOS HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS

1065-A.6.2 (UCS) Rizzon, M. R.; Boff, F. A.; Arruda, A. C. S.; Booth, I. A. S. e Girardi, R. - INVESTIGAÇÃO DE CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESSADOS NAS ÁGUAS DA BARRAGEM FAXINAL/RS

1080-A.6.2 (UEPB) Henrique, I. N. e Sousa, J. T. de - TRATAMENTO E UTILIZAÇÃO DE ESCOTOS SANITÁRIOS NA AGRICULTURA (ESPECIFICAMENTE, NA CULTURA DO GERGELIM)

1080-A.6.2-A (UEPB) Henrique, I. N. e Sousa, J. T. de - PÓS-TRATAMENTO DE ESCOTOS, ATRAVÉS DE SISTEMAS WETLANDS

1449-A.6.2 (UFRJ) Moreira, L. S.; Almeida, A. L. F.; Alcantara, S. de; Perez, D. V. e Menegheli, N. - ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO DE METAIS TÓXICOS EM ÁGUAS IN NATURA E DE ABASTECIMENTO DO RIO PARAÍBA DO SUL

1667-A.6.2 (UEMA) Santos, Q. M. de O. e Oliveira, J. D. de - AVALIAÇÃO DO EFEITO POLUIDOR DO CHORUME NO LIXÃO DA CIDADE DE IMPERATRIZ/MA

1794-A.6.2 (UMC) Silva, S. G. da e Rodrigues, F. A. - CIMENTOS PREPARADOS A PARTIR DE CINZA DE CASCA DE ARROZ: EFEITO DA ESTEQUIOMETRIA SOBRE REATIVIDADE

1863-A.6.2 (CEFET-GO) Oliveira, E. M.; Pelegrini, R. e Fonseca-Zang, W. A. da - DESCOLORAÇÃO DO EFLUENTE FINAL DE INDÚSTRIA PAPELEIRA ATRAVÉS DO PROCESSO FOTOCATALÍTICO

1863-A.6.2-A (CEFET-GO) Sales, P. de T. F.; Oliveira, M. B. de; Tsujii, P. K.; Souza, A. R. de; Dutra, R. M. S.; Gomes, W. V.; Pelegrini, R. e Fonseca-Zang, W. A. da - TRATAMENTO DO CORANTE DISPERSIVO POR PROCESSO FOTOCATALÍTICO

1962-A.6.2 (CIMESA) Freitas, S. S. de - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA REGIÃO ESTUARINA DO RIO DO SAL - SE

2333-A.6.2J (UNIMEP) Souza, L. J. S. de e Vives, A. E. S. de - ANÁLISE DE METAIS EM AMOSTRAS DE ÁGUA COM EMPREGO DA TÉCNICA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

2727-A.6.2J (CEFET-PR) Martins, A. P. L.; Feitosa, A. e Assis, L. M. - ESTUDO DO EMPREGO DE POAS NA DEGRADAÇÃO DE COMPOSTOS ORGANOCORADOS

2730-A.6.2J (CEFET-PR) Fonseca, T. T. R.; Assis, L. M. e Floriano, J. B. - REMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO POR METAIS.

3111-A.6.2J (UNISC) Machado, É. L.; Severo Filho, W. A.; Rosa, C. A. L. e Machado, É. L. - DEFINIÇÃO DE CONVERSÕES QUÍMICAS CLÁSSICAS NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS INORGÂNICOS DE LABORATÓRIO: GERAÇÃO DE DADOS BÁSICOS PARA O ESTABELECIMENTO DE UMA ETE MULTIPROPÓSITO

2474-A.6.8J (UNESP) Silva, M. R. A. da; Nogueira, R. F. P.; Trovô, A. G.; Paterlini, W. C.; Modé, D. F. e Nogueira, R. F. P. - ESTUDO DE COMPLEXOS DE FERRO PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES CONTENDO CONTAMINANTES ORGÂNICOS PELA UTILIZAÇÃO DO PROCESSO FOTO-FENTON E LUZ SOLAR

2481-A.6.8J (UNESP) Trovô, A. G.; Nogueira, R. F. P. e Nogueira, R. F. P. - INFLUÊNCIA DA INTENSIDADE LUMINOSA SOLAR NA DEGRADAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS POR REAGENTE FOTO-FENTO

DADOS GEOFÍSICOS DE SUSCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA DAS ROCHAS DA SEQÜÊNCIA METAVULCANO-SEDIMENTAR MARMELEIRO, REGIÃO DE TORQUATO SEVERO, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Kayo Delorenzo Nardi Dias^{1*} 1938994@vortex.ufrgs.br, Gênova Maria Pulz² (orientadora), Alessandro Silva de Oliveira²

1-Departamento de Geologia, IG,UFRGS, Porto Alegre/RS; 2-Programa de Pós-graduação em Geociências, IG, UFRGS, Porto Alegre/RS

(INTRODUÇÃO) A magnetometria é uma técnica geofísica, que quantifica a susceptibilidade magnética e/ou magnetização remanescente das rochas. Os resultados desta técnica possibilitam a distinção de rochas com diferentes proporções de minerais ferrimagnéticos, como observado na Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro. Esta seqüência supracrustal está situada na porção sudoeste do Escudo Sul-riograndense, próximo ao limite do município de Lavras do Sul com o vilarejo de Torquato Severo (RS). No presente estudo são apresentados os resultados das medidas de susceptibilidade magnética aparente (Kap) das rochas da Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro, visando o estabelecimento de critérios quantitativos para distinguir os litótipos, que constituem esta seqüência supracrustal.

(METODOLOGIA) Durante o mapeamento litoestrutural da Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro foram coletadas cerca de 200 amostras de mão, ao longo de perfis geológicos aproximadamente NS. Para cada amostra foram obtidas medidas de Kap, com o emprego do aparelho Kappameter KT3.

(RESULTADOS) A Seqüência Metavulcano-Sedimentar Marmeleiro forma um estreito cinturão NW-SE, curvilíneo, de aproximadamente 6 km de extensão, o qual é constituído por anfíbolitos, carbonato-talco xistos, mármore, quartzo xistos, quartzitos, filitos carbonosos, micaxistos e milonitos. Este cinturão é delimitado, a norte, por gnaisses do Complexo Cambaí e, a sul, por metassedimentos da Formação Maricá e rochas vulcânicas básicas da Formação Hilário. Os dados de susceptibilidade magnética aparente (Kap) das rochas estudadas podem ser agrupados em: Grupo 1: caracterizado por valores de Kap variando entre 0 e 0,5 unidades SI, os quais foram determinados nos metassedimentos e milonitos. Além destes litótipos, uma amostra hidrotermalizada de epidoto granito, o qual intrude a seqüência supracrustal estudada, também apresentou um baixo valor de Kap, da ordem de 0,30 unidades SI. Nesta amostra a alteração hidrotermal é facilmente reconhecida pela substituição parcial dos grãos de magnetita e hematita, por massas de epidoto e mica branca. Grupo 2: definido por valores de Kap entre 0,5 e 10 unidades SI, que foram medidos em amostras de granito milonitizado e quartzo-mica milonito. Grupo 3: caracterizado por valores de Kap superiores a 10 unidades SI, os quais foram registrados nos anfíbolitos e rochas básicas da área mapeada.

(CONCLUSÕES) Do exposto conclui-se que os baixos valores de Kap dos metassedimentos da Seqüência Metavulcano-Sedimentar Marmeleiro podem ser atribuídos a baixa proporção de minerais ferrimagnéticos nestas rochas. Os baixos valores de Kap da amostra de epidoto granito refletem a destruição dos grãos de magnetita durante a interação deste litótipo com o fluido hidrotermal. Por outro lado, os anfíbolitos e as rochas básicas são caracterizados por altos valores de Kap (>10 unidades SI), indicando a presença de minerais ferrimagnéticos nestes litótipos. Comparando os resultados de Kap dos diferentes litótipos da área estudada é possível identificar contrastes magnéticos, que podem ser utilizados como critérios para distinguir os metassedimentos e hidrotermalitos dos anfíbolitos e rochas básicas.

AGÊNCIA FINANCIADORA: FAPERGS-PADCT-FINEPE (Proc. 01/1517.8) e PIBIC/CNPq/UFRGS

TRABALHO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

INTRODUÇÃO

A determinação da susceptibilidade magnética aparente (K_{ap}) possibilita a distinção de rochas com diferentes proporções de minerais ferromagnéticos.

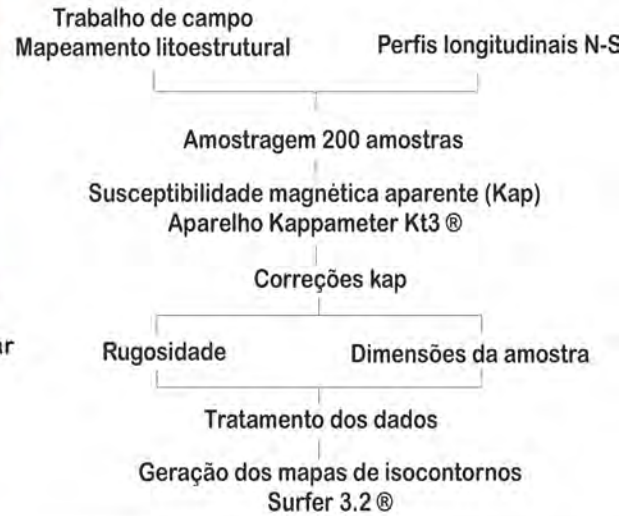
O objetivo deste estudo é estabelecer critérios quantitativos de K_{ap} para distinguir os litótipos da Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro, situada na região de Lavras do Sul e Torquato Severo, RS.

LOCALIZAÇÃO

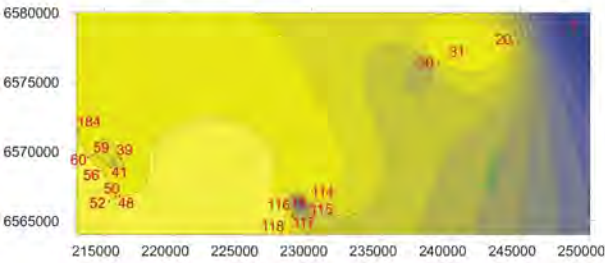


Vista Panorâmica do Afloramento de Filito Carbonoso da Seqüência Metavulcano-sedimentar

METODOLOGIA

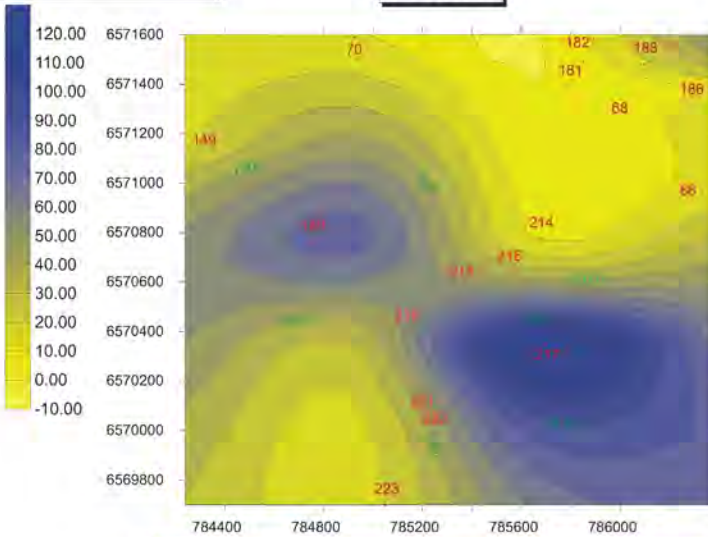


Perfil 1



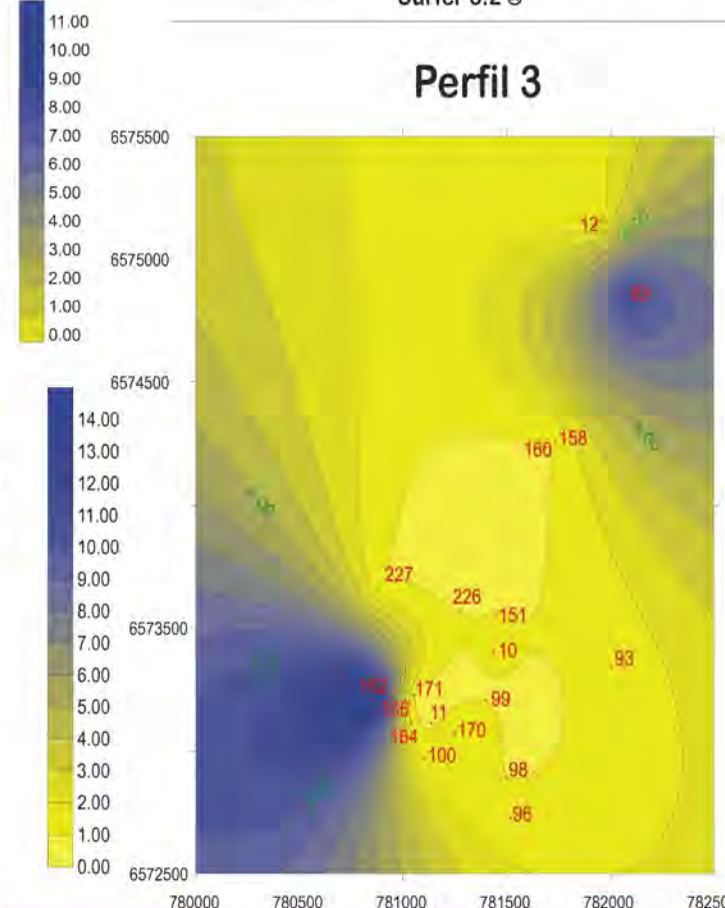
Ponto	E	N	Z (x 10 ³)	LITOLOGIA
1	248855	6579578	125	quartzito ferruginoso
19	228264	6565725	0	ardósia
20	243457	6577619	0	biotita granito
31	238776	6576712	0	Tufo
39	216400	6569650	1.21231	andesito
41	215700	6569100	28.5	andesito com intercalações de arenito
42	215500	6568950	0	tufo
55	214925	6568845	0	tufo lítico
56	215190	6568926	12.519	Granito
59	214424	6569873	15.235	brecha ferruginosa
60	214147	6569782	0	filito carbonoso
114	229925	6566850	0.5885	ardósia
115	229450	6566525	0	argilito
116	229200	6566275	89.25	vulcânica
117	228300	6565850	0	arenito lítico
118	228100	6564650	0.856	tufo lítico

Perfil 2



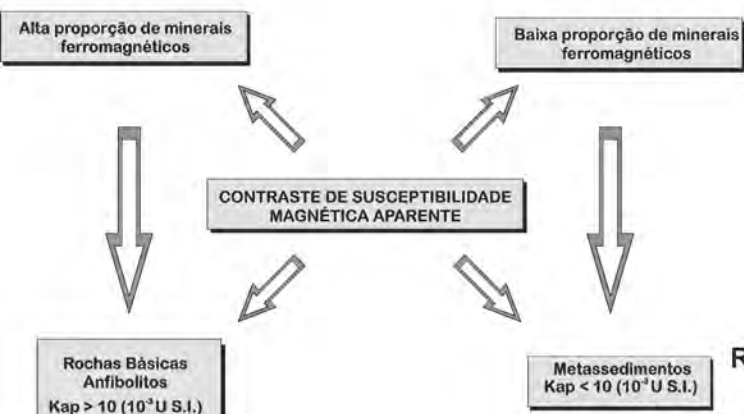
Ponto	E	N	Z	Litologia
66	786337	6570969	0.44	filito carbonoso
68	785995	6571239	0.41195	mármore
70	784928	6571590	0.12	monzogranito
139	784750	6570765	11.2992	talco xisto
149	784240	6571145	0.7452	granito milonitizado
181	785850	6571494	0	quartzo-mica xisto
182	785889	6571604	0.3036	epidoto granito
186	786373	6571390	0	metapelito
188	786096	6571482	13.0326	anfíbolito

Perfil 3



Ponto	E	N	Z (x 10 ³)	Litologia
10	781433	6573401	0.12	rocha básica
11	781134	6573116	0	filito carbonoso
12	781925	6575150	0.2568	muscovita xisto
83	782075	6574855	10.0045	monzogranito
93	782000	6573345	0.276	tufo a pó
96	781515	6572730	0.31779	muscovita xisto
98	781500	6572890	0	quartzo xisto
99	781400	6573205	0	metapelito carbonosa
100	781105	6572970	0.066	filito carbonoso
151	781449	6573544	0.055	quartzo-mica xisto
158	781734	6574253	0	anfíbolito
160	781684	6574233	0	quartzito
162	780853	6573209	14.3	rocha básica
164	781039	6573109	0.4815	quartzo xisto
166	781044	6573217	0	filito carbonoso
170	781248	6573075	0.66	quartzo-mica xisto c/pórfiros de hematita
171	781050	6573225	0.02728	mica-quartzo xisto e filito carbonoso

CONCLUSÕES



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Instituto de Geociências - IG
Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica - CPGq

Kayo Delorenzo Nardi Dias
Gênova Maria Pulz
Alessandro Silva de Oliveira

E-mail - 1938994@vortex.ufrgs.br
genova@portoweb.com.br
mixigeo@vortex.ufrgs.br

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Reynolds, L. R.; Rosebaum, J. G.; Hudson R. M.; Fishman S. N. 1987. ROCK MAGNETISM, THE DISTRIBUTION OF MAGNETIC MINERALS IN THE EARTH'S CRUST, AND AEROMAGNETIC ANOMALIES. In: Geologic Applications of Modern Aeromagnetic Surveys, Hanna, W. F. (ed.). U. S. Geological Surveys Bulletin, 1924:24-45

GEOQUÍMICA DAS ROCHAS CARBONOSAS DA SEQÜÊNCIA METAVULCANO-SEDIMENTAR MARMELEIRO, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Alessandro Silva de Oliveira* *mixigeo@vortex.ufrgs.br*, Gênova Maria Pulz (orientadora)

Programa de pós-graduação em geociências, IG,UFRGS, Porto Alegre/RS

(INTRODUÇÃO) A grafita é um mineral utilizado como matéria-prima para a fabricação de lubrificantes sólidos, materiais refratários, condutores de eletricidade e de calor, tintas e pigmentos industriais, assim como na produção de aço, escovas de motores e geradores, entre outros. Na Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro, situada na porção sudoeste do Escudo Sul-riograndense, a cerca de 15 km a ENE do vilarejo de Torquato Severo, ocorrem metassedimentos carbonosos, que podem ser aproveitados como rocha fonte de grafita, com cristalinidade variável. A Seqüência Metavulcano-Sedimentar Marmeleiro contém rochas metabásicas, metaultrabásicas, mármores e metassedimentos ora límpidos, ora carbonosos. Os metassedimentos carbonosos afloram em cristas segundo NW, porém localmente dispõem-se segundo E-W, formando pacotes de espessura variável e sem continuidade lateral. Em amostra de mão, estas rochas apresentam coloração cinza claro a escuro e são constituídas por proporções variáveis de matéria carbonosa, mica branca, quartzo, clinzoisita, minerais opacos e leucoxênio. A integração dos dados petrográficos, isotópicos e geoquímicos indicam que os metassedimentos carbonosos derivam de folhelhos, os quais foram metamorfizados na fácies xisto verde a anfíbolito. Neste estudo os teores dos elementos traços das rochas carbonosas da Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro foram comparados com os dados da média dos folhelhos, a fim de identificar os elementos enriquecidos nas amostras estudadas.

(METODOLOGIA) Alíquotas de 10 gramas de quatorze amostras de metassedimentos carbonosos da Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro, previamente pulverizados na fração de 200 *mesh*, foram analisadas pela técnica de espectrometria de plasma com acoplamento indutivo (ICP), para os seguintes elementos: Ag (ppm), Al (%), Ba (ppm), Be (ppm), Bi (ppm), Ca (%), Cd (ppm), Co (ppm), Cr (ppm), Cu (ppm), Fe (%), K (%), La (ppm), Li (ppm), Mg (%), Mn (%), Mo (ppm), Na (%), Ni (ppm), P (%), Pb (ppm), Sc (ppm), Sn (ppm), Sr (ppm), Ti (%), V (ppm), W (ppm), Y (ppm), Zn (ppm) e Zr (ppm).

(RESULTADOS) Os teores de Cr (94 a 434 ppm), V (128 a 1000 ppm) e Pb (50 a 504 ppm) indicam o enriquecimento destes elementos nos metassedimentos carbonosos da Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro em relação a média dos folhelhos (Wedepohl 1971). Por outro lado, as amostras estudadas estão empobrecidas em Li (18 a 28 ppm), Sr (19 a 62 ppm) e Ba (187 a 523 ppm) em relação à média dos folhelhos. Além disso, algumas amostras dos metassedimentos carbonosos apresentam-se enriquecidas em Cu (17 a 336 ppm), Ni (15 a 97 ppm), Mo (<3 a 91 ppm), Zn (58 a 423 ppm) e La (<20 a 58 ppm), enquanto outras estão empobrecidas nestes elementos, se comparadas com a média dos folhelhos. Em todas as amostras, analisadas, os teores de Ag, Be e Cd situaram-se abaixo de 3 ppm, enquanto os teores de Bi, Sn e W situaram-se abaixo de 20 ppm.

(CONCLUSÕES) Do exposto conclui-se que os metassedimentos carbonosos da seqüência supracrustal estudada estão enriquecidos V, Pb, Cr, Ni e Zn em relação a média dos folhelhos, devido a presença de minerais opacos nestas rochas. Em especial, os teores de Cr e V indicam a presença de minerais do grupo dos espinélios nestes litótipos.

AGÊNCIA FINANCIADORA: FAPERGS – FINEP – PADCT (Proc. 01/1517.8) e UFRGS/IG/CAPES

GEOQUÍMICA DAS ROCHAS CARBONOSAS DA SEQUÊNCIA METAVULCANO-SEDIMENTAR MARMELEIRO, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Alessandro Silva de Oliveira & Gênova Maria Pulz

Curso de Pós-graduação em Geociências, Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Porto Alegre.

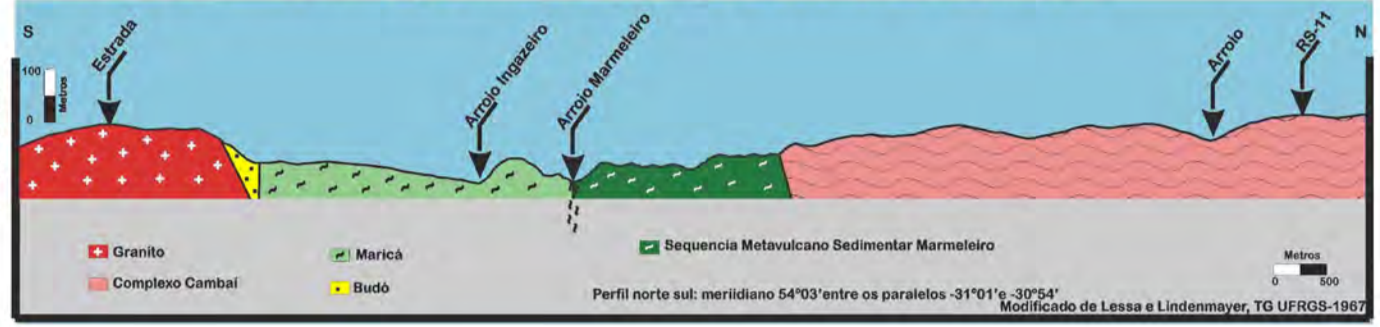
Agência financiadora: FAPERGS - FINEP - PADCT (Proc. 01/1517.8) e UFRGS - IG - CAPES

Introdução

A grafita é um mineral utilizado como matéria-prima para a fabricação de lubrificantes sólidos, materiais refratários, condutores de eletricidade e de calor, tintas e pigmentos industriais, assim como na produção de aço, escovas de motores e geradores, entre outros.



O quadrado laranja de aresta inferior esquerda -30°55', -54°03' não está em escala em relação ao restante do croqui.



Objetivo

Comparar os teores dos elementos traços das rochas carbonosas da Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro com os dados da média dos folhelhos, a fim de identificar os elementos enriquecidos nas amostras estudadas.

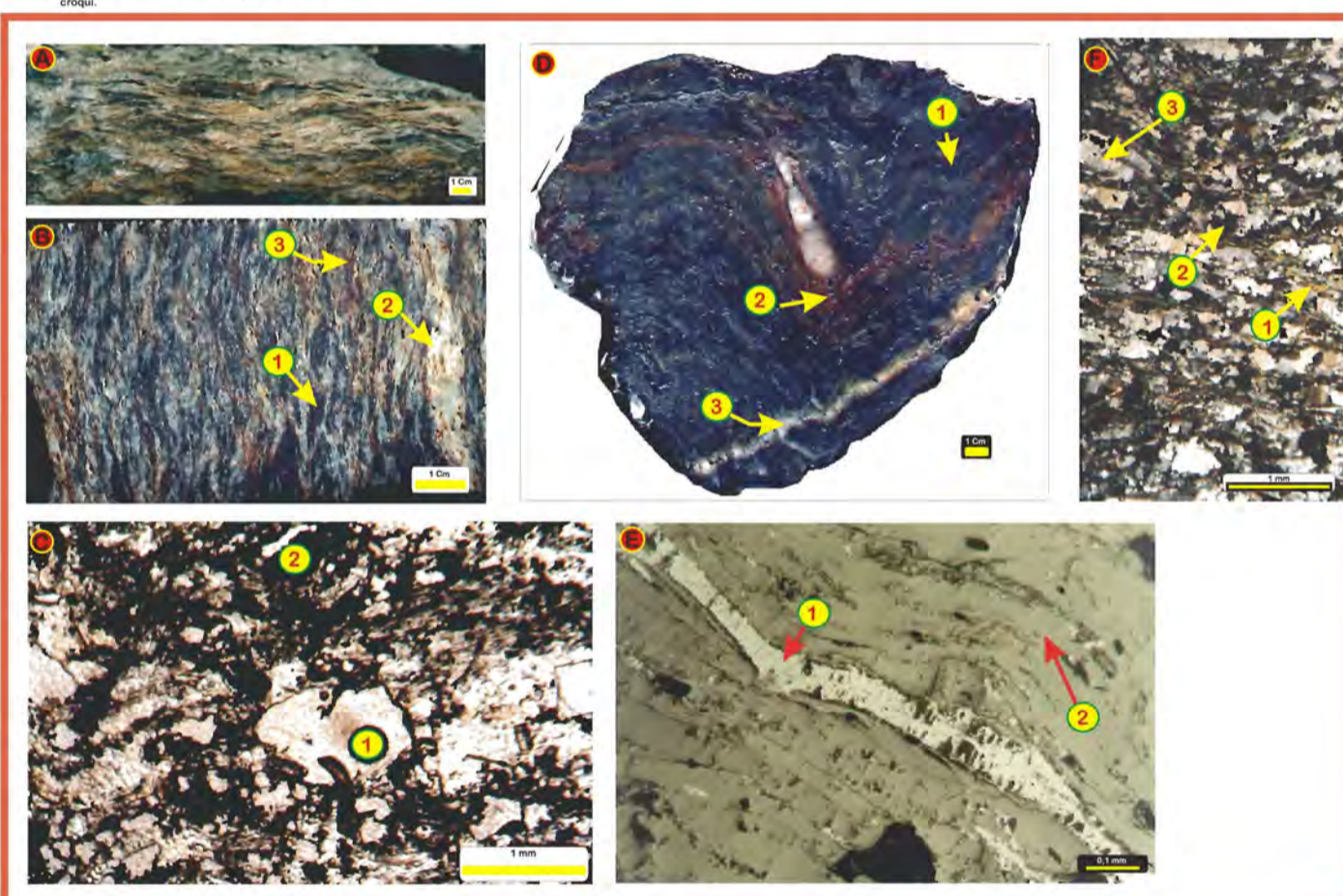
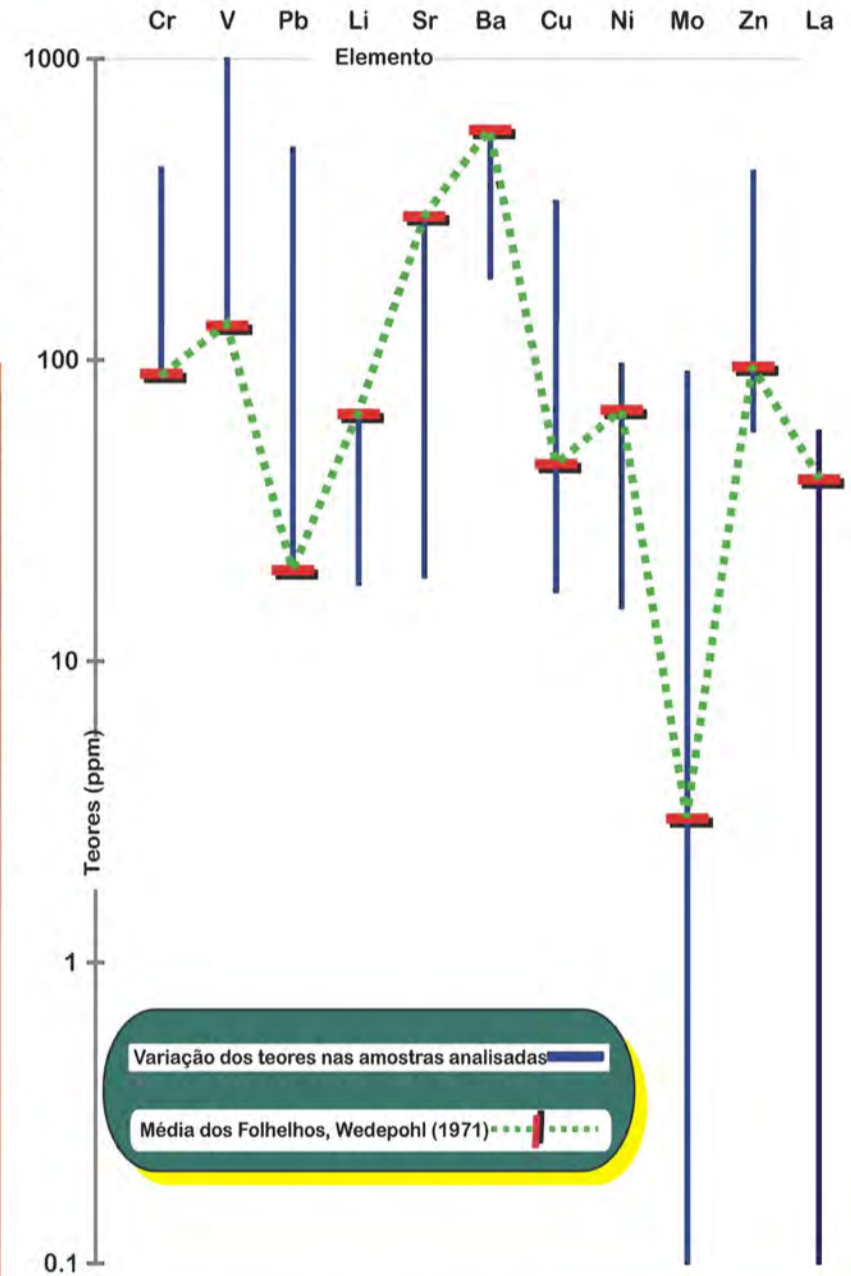
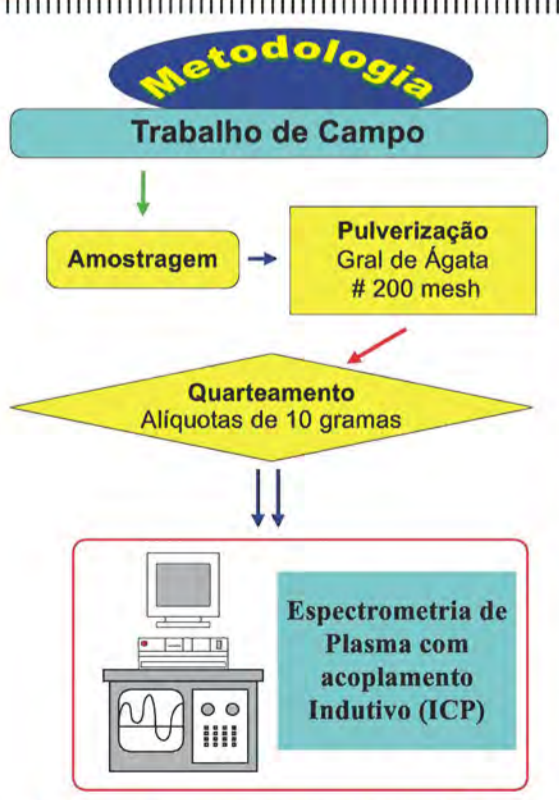


Foto A: Foliação milonítica crenulada em afloramento de grafita xisto;
Foto B: Amostra de mão de grafita xisto: 1- grafita, 2-quartzo, 3-oxidação;
Foto C: Fotomicrografia de grafita xisto, sob luz transmitida, aumento 2,5X. 1- quartzo, 2- minerais opacos e grafita;
Foto D: Amostra de mão de grafita xisto. 1- grafita, 2- oxidações, 3- quartzo.
Foto E: Fotomicrografia de secção polida, sob luz refletida, aumento 10X. 1-grafita, 2-silicatos;
Foto F: Fotomicrografia de lâmina delgada, sob luz transmitida, aumento 2,5X. 1- mica branca, 2- minerais opacos e grafita, 3-quartzo.

Os metassedimentos carbonosos afloram em cristas segundo NW, porém localmente dispõem-se segundo E-W, formando pacotes de espessura variável e sem continuidade lateral. Em amostra de mão, estas rochas apresentam coloração cinza claro a escuro e são constituídas por proporções variáveis de matéria carbonosa, mica branca, quartzo, clinzoisita, minerais opacos e leucoxênio.



Na Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro, situada na porção sudoeste do Escudo Sul-riograndense, a cerca de 15 km a ENE de Torquato Severo, ocorrem metassedimentos carbonosos, que podem ser aproveitados como rocha fonte de grafita, com cristalinidade variável.

A Seqüência Metavulcano-Sedimentar Marmeleiro contém rochas metabásicas, metaultrabásicas, mármore e metassedimentos ora límpidos, ora carbonosos.



Referências
Wedepohl, K. H., 1971 Environmental influences on the chemical composition of shales and clays. IN: Ahrens, L.H., Press, F., Runcom, S.K. & Urey, H. C. (eds). Physics and chemistry of the earth, v.8: Oxford, Pergamon Press, p. 305-335.

DIA 17/09/2002 (TERÇA-FEIRA)

MANHÃ

SALA MÁRIO FIGUEIREDO

SIMPÓSIO: APLICAÇÕES DE ISÓTOPOS NA GEOLOGIA

Coordenadores: Dr. Moacir Macambira (UFPA) & Dr. Marcio Pimentel (UnB)

- 08:20-08:40 C- AND O ISOTOPE FLUCTUATIONS IN CARBONATES OF THE FRECHEIRINHA FORMATION, NW CEARÁ, NORTHEASTERN BRAZIL
A.N. Sial; V.P. Ferreira & A. R. Almeida
- 08:40-09:00 ESTRATIGRAFIA ISOTÓPICA DE CARBONO NO EOCRETÁCEO DAS BACIAS RIFTE DO LESTE BRASILEIRO
Gilmar Vital Bueno
- 09:00-09:20 C, Pb AND Sr ISOTOPIC CHEMOSTRATIGRAPHY IN PROTEROZOIC CARBONATE SEQUENCES IN THE EASTERN TRANSVERSAL DOMAIN OF THE BORBOREMA PROVINCE, NORTHEASTERN BRAZIL.
V.H. Santos; V.P. Ferreira; A.N. Sial; M. Babinski & M.M. Pimentel
- 09:20-09:40 C- AND O-ISOTOPE COMPOSITIONS OF THE JACOCA AND OLHO D'AGUA CAP CARBONATE SEQUENCES, SERGIPE, NORTHEASTERN BRAZIL
A. N. Sial, V.P. Ferreira and V.H. Santos
- 09:40-10:00 OS CICLOS SEDIMENTARES E AS RESPOSTAS ISOTÓPICAS DE CARBONO E OXIGÊNIO NA INTERPRETAÇÃO DE SEQUÊNCIA SEDIMENTARES EM SEÇÕES CARBONÁTICAS ALBIANA
Ricardo L. M. Azevedo
- 10:00-10:20 ESTRATIGRAFIA DE ISÓTOPOS ESTÁVEIS EM CARBONATOS QUE RECOBREM OS DIAMICTITOS DA GLACIAÇÃO VARANGIANA, NA FAIXA PARAGUAI, BRASIL
C. J. S. de Alvarenga, R. V. Santos, E. L. Dantas
- 10:20-10:40 Intervalo
- 10:40-11:00 C AND O ISOTOPE COMPOSITION OF EARLY PALEOPROTEROZOIC CARBONATES FROM THE MINAS SUPERGROUP AND THE LOMAGUNDI PHENOMENON IN BRAZIL
A.N. Sial; V.P. Ferreira; A.W. Romano & M.M. Pimentel
- 11:00-11:20 LITOQUÍMICA E ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE ROCHAS DE PALEOSSISTEMAS HIDROTERMAIS OCEÂNICOS MESOPROTEROZÓICOS DO GRUPO SERRA DO ITABERABA, SP
Annabel Pérez-Aguilar; Caetano Juliani; Lena V. S. Monteiro; Jorge S. Bettencourt & Ian McReath
- 11:20-11:40 ESTUDO ISOTÓPICO DE CARBONATOS EM BASALTOS DA FM. SERRA GERAL, REGIÃO DO ALTO URUGUAI (RS)
Márcia Gomes, André S. Mexias, Milton Formoso, Alcides N. Sial
- 11:40-12:00 DADOS ISOTÓPICOS DE CARBONO DAS ROCHAS CARBONOSAS DA SEQUÊNCIA METAVULCANO-SEDIMENTAR MARMELEIRO, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
Alessandro S. Oliveira & Gênova M. Pulz

Geoquimicamente, o granito é classificado como da série shoshonítica, cujo magma foi originado diretamente do manto.

Foi realizada uma análise na tipologia do zircão segundo o método de Pupin (1980) em seis amostras de monzogranito (3b), com cerca de trinta grãos em cada amostra, para obter os índices T e A. Os cristais são de tamanhos sub-milimétricos (0,1 a 0,5 mm), incolores a amarelados, de forma bi-piramidais, sendo classificados predominantemente como D, P₁ e P₂. De acordo com Pupin (1980), interpreta-se que os magmas graníticos são origem mantélica de alto teor em álcalis.

No Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, Japão, foram realizadas as datações geocronológicas pelo método U-Pb em pin-point, com auxílio de LA-MC-ICPMS (laser ablation multi-collector ICP mass spectrometer). Este espectrômetro de massa é composto de emissor de laser YAG com lente Chicane, possibilitando um diâmetro mínimo da cratera de 15 a 20 microns, com detectores multi-coletor. Atualmente o aparelho está sendo utilizado para análises isotópicas de ²³⁸U/²⁰⁶Pb, ²³⁵U/²⁰⁷Pb, ²⁰⁸Pb/²⁰⁷Pb e análises químicas de U, Th, Pb e elementos terras raras (REE) em minerais. A confiabilidade nas análises de REE foi confirmada por meio das análises de ativação por nêutron (NAA). Entretanto, a medida de ²³⁵U/²⁰⁷Pb pode se apresentar com um valor superior ao normal, mostrando os dados analíticos como se estivessem em discórdia.

No total, foram analisados 6 grãos de zircão, 2 do granito e 4 do tufo soldado. Todos os dados do granito em 18 pontos to-

tais analisados caíram no lado direito da curva ideal no diagrama de concórdia. As idades calculadas com base na proporção ²³⁸U/²⁰⁶Pb são do evento de collage continental pan-africana, que foi o processo de formação do supercontinente West-Gondwana: para o grão 1, 838 ± 62, 728 ± 54, 713 ± 52, 677 ± 50, 703 ± 52, 731 ± 54, 707 ± 52, 605 ± 44, 753 ± 55 Ma; para o grão 2, 655 ± 48, 759 ± 56, 712 ± 53, 650 ± 48, 633 ± 47, 624 ± 46, 659 ± 48, 721 ± 53 Ma.

Os dados do tufo soldado adquiridos de dois grãos (grãos 3, 4) em 8 pontos totais apresentaram idades mais antigas do que a Orogenia transamazônica. Aproximadamente a metade dos dados caiu sobre a curva da concórdia. As idades calculadas são: para o grão 3, 1974 ± 213, 2104 ± 227, 2498 ± 269, 2616 ± 282 Ma e; para o grão 4, 2409 ± 261, 2193 ± 237, 2.367 ± 256, 2395 ± 228 Ma. Acredita-se que estes grãos são de origem detritica provenientes do embasamento. Interpretando os dados do grão 3 que caíram fora da curva da concórdia como pertencentes à linha de discórdia, a idade deste grão seria de 2600Ma, correspondendo à do micro cráton Luís Alves.

A metade dos dados do grão 5 caiu na proximidade da concórdia, com as idades calculadas em: 703 ± 54, 601 ± 46, 638 ± 49, 672 ± 51, 662 ± 50 Ma. Considerando os dados fora da concórdia como da discórdia, a idade deste grão corresponde a 620Ma. Os dados do grão 6, também da mesma rocha, caíram fora da concórdia, e as idades calculadas são mais jovens: 597 ± 45; 514 ± 39; 490 ± 37 e 575 ± 44. Os grãos 5 e 6 são interpretados como originados do magma do próprio fluxo piroclástico.

DADOS ISOTÓPICOS DE CARBONO DAS ROCHAS CARBONOSAS DA SEQÜÊNCIA METAVULCANO-SEDIMENTAR MARMELEIRO, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Alessandro Silva de Oliveira ¹; Gênova Maria Pulz ²

1 - Curso de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001 CEP 91509-900, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: mixigeo@vortex.ufrgs.br

2 - Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001 CEP 91509-900, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: genova@portoweb.com.br

Nesta pesquisa são discutidos os dados de isótopos de carbono dos filitos carbonosos e grafita xistos, que ocorrem no contexto da Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro, situada na porção sudoeste do escudo sul-riograndense, a cerca de 15 km do vilarejo de Torquato Severo. Nesta seqüência supracrustal ocorrem rochas calcissilicáticas, mármore, anfíbolitos, talco xistos, quartzo xistos, quartzitos, micaxistos, filitos carbonosos e grafita xistos. Estas rochas foram afetadas pelo Lineamento de Ibaré, que produziu faixas de filonitos e protomilonitos por toda a região da Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro. As paragêneses minerais registradas nos litótipos desta seqüência supracrustal variam desde a fácies xisto verde até anfíbolito. As lentes de filitos carbonosos e grafita xistos afloram ao longo de cristas, que se estendem por cerca de 800 metros de extensão, com espessura de 300 metros. A paragênese destes litótipos é constituída por grafita (de cristalinidade variável) associada com mica branca, quartzo, clinozoisita, minerais opacos e leucoxênio. Em amostra de mão, estas rochas são caracterizadas por tons de cinza claro a escuro, granulação fina e proeminente laminação. A xistosidade da rocha é marcada por feixes lepidoblásticos de mica branca intercalados com domínios carbonosos e lentes granoblásticas de quartzo. Estes litótipos apresentam porções hidrotermalizadas, nas quais aparecem veios e vênulas de quartzo seccionando a foliação e disseminações de minerais opacos. Análises isotópicas destas rochas carbono-

possibilitaram a quantificação de d¹³C_(POB) no intervalo de -23,9 ± 0,2 a -27,26 ± 0,12 per mil. Estes valores são característicos da maioria dos folhelhos orgânicos, os quais apresentam d¹³C da ordem de -26 ± 7 per mil (Schidlowski 1988). O estreito intervalo de variação dos valores d¹³C dos filitos carbonosos e grafita xistos da seqüência supracrustal estudada podem ser atribuídos à degradação térmica da matéria orgânica durante o metamorfismo. Este processo promove o aumento da cristalinidade e da reflectância ótica do material carbonoso. A estabilização da grafita é acompanhada pelo decréscimo da razão H/C e perda de carbono leve. Desta forma, os isótopos de ¹³C tornam-se mais pesados, podendo deslocar sua assinatura por até 10 per mil em relação ao querogênio precursor (Strauss 1986; Schoell & Wellmer 1981). Portanto, os valores de d¹³C dos filitos carbonosos e grafita xistos da seqüência supracrustal estudada atestam a origem orgânica destes litótipos.

REFERÊNCIAS

- STRAUSS, H. 1986. Carbon and sulfur isotopes in Precambrian sediments from the Canadian Shield. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v.50, p. 2653-2662.
- SCHOELL, M. & WELLMER, F.W. 1981. Anomalous ¹³C depletion in early Precambrian graphites from Superior Province, Canada. *Nature*, v.290, p.696-699.
- SCHIDLOWSKI, M. 1988. A 3800-million-year isotopic record of life from carbon in sedimentary rocks. *Nature*, v.333, p. 313-318.

CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final deste estudo é possível integrar os dados obtidos nesta pesquisa e concluir que:

- I. apesar dos avanços na caracterização dos materiais carbonosos, sob o ponto de vista físico-químico, há uma carência de informações sobre os ambientes geológicos e processos de formação do material grafitoso. A revisão do estado da arte do material carbonoso sugere que os avanços das pesquisas sobre o carbono têm sido motivadas principalmente por fatores econômicos. Por exemplo, há diversos estudos dedicados a caracterizar as propriedades cristalinas da grafita, as quais influenciam na aplicação deste material nos diversos segmentos industriais. Por outro lado, os estudos sobre depósitos de grafita tem analisado detalhadamente a evolução metamórfica dos ambientes que alojam rochas carbonosas. A carência de pesquisas sobre a gênese e controles de depósitos de grafita brasileiros, em especial do Rio Grande do Sul, motivou o presente estudo;

II. na região do Passo do Marmeleiro, situada entre Torquato Severo e Ibaré (RS), afloram filitos carbonosos intercalados em metassedimentos límpidos da Seqüência Marmeleiro, os quais foram descritos em campo e em laboratório, com auxílio de técnicas petrográficas, isotópicas $\delta^{13}\text{C}$, difração de raios X e geoquímica de rocha total. A integração dos dados disponíveis, até o momento, indicam que os filitos carbonosos estudados foram metamorfisados na fácies anfibolito (zona da estauroлита/andaluzita) e, posteriormente retrometamorfisadas para a fácies xisto verde (zona da clorita);

III. os teores de carbono medidos nas rochas estudadas são da mesma ordem de grandeza daqueles registrados em prospectos no hemisfério norte e em algumas ocorrências brasileiras. Apesar de uma avaliação sobre a viabilidade econômica do prospecto grafitoso do Passo do Marmeleiro ultrapassar os objetivos propostos no presente estudo, recomenda-se uma atenção especial ao potencial grafitoso da Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro. Em especial, se forem consideradas as similaridades genéticas e geológicas com minérios grafitosos bem conhecidos. Por isso, sugere-se a continuidade dos estudos no sentido da caracterização tecnológica da grafita, incluindo o uso de tratamentos térmicos e químicos para melhorar a qualidade do minério;

IV. as características geológicas e isotópicas das rochas estudadas indicam três controles prospectivos para grafita na Seqüência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro:

a. *controle biogênico;*

b. *controle sedimentar;*

c. *controle metamórfico.*

- V. a assinatura $\delta^{13}\text{C}$ sugere que a acumulação de material carbonoso nas rochas estudadas está relacionada com processos singenéticos biogênicos. A acumulação de detritos orgânicos ocorreu em ambientes sub-aquosos durante a deposição dos sedimentos da Sequência Metavulcano-sedimentar Marmeleiro. O metamorfismo destes sedimentos orgânicos possibilitou a conversão do material carbonoso em grafita, com cristalinidade variável. Petrograficamente foi possível distinguir dois tipos de grafita, conforme as propriedades deste material em seções polidas;
- VI. os dados de DRX também evidenciam as variações na cristalinidade da grafita. As medidas de espaçamento interplanar d_{002} fornecem valores da ordem de 3,3505 a 3,3551 Å. A confiabilidade destes resultados foi monitorada com a utilização de um padrão interno de calcita natural pura. A integração dos dados petrográficos com os cálculos do tamanho do cristálito ($LC = \text{lenght crystallite}$) corrobora a divisão da grafita estudada em micro- e criptocristalina;
- VII. os dados composicionais das rochas estudadas apresentam pouca variação de uma amostra para outra. Os teores dos elementos maiores podem estar relacionados com a origem sedimentar clástica e biogênica. Ao passo que, os teores da associação Cu, Pb, Zn, As e Sb podem estar relacionados com uma contribuição vulcanogênica similar como aquela discutida por Cameron & Garrels (1980) e Fralick *et al.* (1989);
- VIII. dados composicionais das rochas estudadas mostram que há um enriquecimento em V, Pb, Cr, Ni e Zn em relação a média dos folhelhos apresentada por Cameron & Garrels (1980), Shaw (1980) e Wedephol (1995). Isto pode ser atribuído à paragênese dos filitos carbonosos, como exemplifica a presença de minerais do grupo dos espinélios;

- IX.** os filitos carbonosos apresentam valores nulos ou muito baixos de susceptibilidade magnética aparente (K_{ap}). Isto permite separá-los das rochas encaixantes por geomagnetometria;
- X.** algumas amostras dos metassedimentos carbonosos estudados apresentam anomalia negativa em Eu em relação ao condrito C1. O padrão de ETR destas rochas assemelham-se ao NASC, denotando sua derivação sedimentar. Por outro lado, outras amostras de filito carbonoso apresentam padrão ETR sem anomalia negativa em Eu em relação ao condrito C1. A ausência de anomalia em Eu sugere uma contribuição vulcanoclástica em alguns litótipos carbonosos da área estudada. Esta hipótese é corroborada pela integração dos dados de ETR com a associação Cu, Pb, Zn, As, Sb;
- XI.** enfim, o presente estudo, apesar de ser a primeira contribuição à caracterização de isótopos de carbono, assim como da geoquímica de rocha total e DRX dos filitos carbonosos do Passo do Marmeleiro, mostra sob o ponto de vista prospectivo que esta região merece atenção da comunidade científica brasileira. Em especial, pesquisas geotermométricas baseadas na cristalinidade da grafita poderiam contribuir para a caracterização de terrenos metamórficos polifásicos, uma vez que este mineral é mais refratário ao retrometamorfismo do que os silicatos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACAUAN, R. B.; PULZ, G. M. & DUARTE, L. C. 2002. Análise das inclusões fluidas nos veios de quartzo dos filonitos da região de Torquato Severo, Estado do Rio Grande do Sul. **Reunião da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência**, 54. [CD ROM], 2002, Anais resumos..., Goiânia, SBPC/UFG.
- ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO. 2001. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br> /> Acesso em 20/outubro/2002.
- BASTIN, E.S. 1912. The graphite deposits of Ceylon: a review of present knowledge with a description of a similar deposit near Dillon, Montana. **Economic Geology**, 7: 410-433.
- BATES, R.L. 1960. Classification and geology of the industrial minerals and rocks. In: **Forum on geology of industrial minerals**, 8., Iowa, 1960. proceedings..., Iowa Geological Survey, 1960. p. 185-189.
- BATES, R.L. 1983. Introduction. In: LEFOND, S.J. (ed.) **Industrial minerals and rocks: nonmetallics other than fuels**. 5. ed., New York: Society of Mining Engineers, 1983. v. 2, p. 3-7.
- BRINDLEY, G.W. & BROWN, G. 1980. **Crystal structures of clay minerals and their x-ray identification**. London: Mineralogical Society, 1980. 495 p. (Mineralogical Society monograph: 5)
- BUSECK, R. P. & BO-JUN, H. 1985. Conversion of carbonaceous material to graphite during metamorphism. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 49: 2003-2016.

- CAMERON, E.M. & GARRELS, R.M. 1980. Geochemical compositions of some precambrian shales from the Canadian Shield. **Chemical Geology**, **28**: 181-197.
- CORDANI, U.G. 2000. The role of the earth sciences in a sustainable world. **Episodes**, **23**(3):155-162.
- CRUZ, I.; VIANA, P.A.; WAQUIL, J.M. 1999. Manejo das pragas iniciais de milho mediante o tratamento de sementes com inseticidas sistêmicos. **Circular Técnica**, **31** Embrapa milho e sorgo. Sete Lagoas – Folheto:Fol4789, 39p.
- DANA, J.D. 1978. **Manual de Mineralogia**, revisto por Cornelius Hurlbut, Jr., Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro. 5 reimpressão. 711p.
- DIAS, K. D. N., PULZ, G. M. & OLIVEIRA, A. S. 2002. Dados geofísicos de susceptibilidade magnética das rochas da Sequência Metavulcano-Sedimentar Marmeleiro, região de Torquato Severo, Estado do Rio Grande do Sul. 54 Reunião da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, Goiânia.
- DIESSEL, C.F.K.; BROTHERS, R.N.; BLACK, P.M. 1978. Coalification and graphitization in high-pressure schists in new Caledonia. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, **68**: 63-78.
- DUARTE, M. A. 2000. **Grafita natural - revisado**, DNPM/MG, Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/>> Acesso em 19/março/2003.
- ERDOSH, G. 1970. Geology of the Bogala Mine, Ceylon, and the origin of vein-type graphite. **Mineralium Deposita**, **5**: 375-382.
- EVENSEN, N.M.; HAMILTON, P.J.; O'NIONS, R.K. 1978. Rare-earth abundances in chondritic meteorites. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, **42** (8): 1199-1212.
- FAMBRINI, G.L.; MARTIN, M.A.B.; MCREATH, I. & FRAGOSO, A.R.S.C. 1999. Subaqueous pyroclastic deposits of the Hilário Formation, RS. In: **Simpósio sobre vulcanismo e ambientes associados**, 1., 1999, Gramado. Boletim de resumos, p.34.
- FARIA, L.F. 1997. **Controle e tipologia de mineralizações de grafita flake do nordeste de Minas Gerais e sul da Bahia: uma abordagem regional**. 108p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.
- FAURE, G. 1986. **Principles of isotope geology**. New York, John Wiley & Sons, 2.ed 589p.
- FEITOSA, A.J.; MARCELO S.B. & MENEZES JR. C.A. 1972. Ocorrências e beneficiamento de grafita em Pernambuco. **Mineração e Metalurgia**, **55**(328): 120-123.

- FERNANDES, L.A.D.; MENEGAT, R.; COSTA, A.F.U.; KOESTER, E.; PORCHER, C.C.; TOMMASI, A.; KRAEMER, G.; RAMGRAB, G.E. & CAMOZZATO, E. 1995. Evolução tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: parte I – uma contribuição a partir do registro geológico. **Revista Brasileira de Geociências**, **25**(4): 351-374.
- FERREIRA, A. B. H. 1999. Novo Aurélio Século XXI: o dicionário da língua portuguesa, Aurélio Buarque de Holanda Ferreira. 3 ed. 2 impressão. Editora Nova Fronteira S.A. Rio de Janeiro. 2128 p.
- FOOSE. 1975. Graphite. In: LEFOND, S.J. (ed.) **Industrial minerals and rocks: nonmetallics other than fuels**. New York: Society of Mining Engineers, 1975. 1360 p.
- FORMOSO, M.L.L. & WILLIG, C.D. 1966. A discordância Palermo-Santa Tecla. **Notas e Estudos. Escola de Geologia, UFRGS**, **1**(2): 83-88.
- FRALICK, P.W., BARRETT, T.J., JARVIS, K.E., JARVIS, I., SCHNIEDERS, B.R., KEMP, R.V. 1989. Sulfide-facies iron formation at the Archean Morley occurrence, northwestern Ontario: contrasts with oceanic hydrothermal deposits. **The Canadian Mineralogist**, **27**: 601-616
- FRENCH, M. B. 1964. Graphitization of organic material in a progressively metamorphosed precambrian iron formation. **Science**, **146**: 917-918.
- FREY, M. & NIGGLI, E. 1971. Illit-Kristallinität, mineralfazien und inkohlungsgrad. **Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.**, **51**: 229-234.
- FREY, M.; TEICHMÜLLER, M.; TEICHMÜLLER, R.; MULLIS, J.; KÜNZI, B.; BREITSCHMID, A.; GRUNER, U.; SCHWIZER, B. 1980. Very low-grade metamorphism in external parts of the Central Alps: illite crystallinity, coal rank and fluid inclusion data. **Eclogae Geology Helv.**, **73**: 173-203.
- GASTAL, M.C.P. & LAFON, J.M. 1998. Gênese e evolução dos granitóides metaluminosos de afinidade alcalina da porção oeste do escudo sul-riograndense: geoquímica e isótopos de Rb-Sr e Pb-Pb. **Revista Brasileira de Geociências**, **28**: 11-28.
- GOULART, A.C.P. 2000. Influência do grafite adicionado as sementes de soja e algodão na eficiência do tratamento com fungicidas. **Boletim de pesquisa**, **8**. Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados-MS. 27p.
- GRAFFIN, G.D. 1983. Graphite. In: LEFOND, S.J.(ed). **Industrial mineral and rocks: nonmetallics other than fuels**. 5 ed. New York: Society of Mining Engineers, 1983. v. 2, p. 757-773.
- GREW, E.S. 1974. Carbonaceous material in some metamorphic rocks of New England and other areas. **Journal of Geology**, **82**: 50-73.

- GRIFFIN, M.G. 1967. X-ray diffraction techniques applicable to studies of diagenesis and low rank metamorphism in humic sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, **37**: 1006-1011.
- GROMET, L.P.; DYMEK, R.F.; HASKIN, L.A.; KOROTEV, R.L. 1984. The "North American shale composite": its compilation, major and trace element characteristics. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **48** (12): 2469-2482.
- HOEFS, J. & FREY, M. 1976. The isotopic composition of carbonaceous matter in a metamorphic profile from the Swiss Alps. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **40**: 945-951.
- HOEFS, J. 1987. **Stable isotope geochemistry**. New York, Springer Verlag, 3.ed. 208p.
- ISSLER, R. S. 1983. Evolução crustal da Faixa Arco-Fossa Tijucas e Faixa Magmática Pedras Grandes: Cráton Dom Feliciano. In: **Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia**, 1., 1983, Porto Alegre. Atas... Porto Alegre, 1983, SBG. v.1, p.19-36.
- ITAYA, T. 1981. Carbonaceous material in pelitic shists of the Sanbagawa metamorphic belt in central Shikoku, Japan. *Lithos*, **14**: 215-224.
- JELINEK, A. R. 2002. Topografia. **Apostila de Aula**. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 92p.
- JENSE, M.L. & BATEMAN, A.M. 1981. **Economic Mineral Deposits**. John Wiley Sons Inc. 3 ed. 593 pp.
- JOST, H. & HARTMANN, L.A. 1984. A Província Mantiqueira: setor meridional. In: Almeida, F.F.M. & Hasui, Y. (eds.). **Pré-Cambriano do Brasil**. São Paulo, Edgard Blücher. p.345-368.
- KALYONCU, R.S. 2001. **Graphite**. Disponível em: <<http://www.usgs.gov/>> Acesso em 13 março 2003.
- KARKHANIS, S.N. 1978. Chemical studies on insoluble carbonaceous matter from Precambrian sediments from Onvervacht Group of South Africa by electron spin resonance and X-ray diffraction techniques. *Journal of the Geological Society of India*, **19** (6): 233 - 239.
- KATZ, M.B. 1971. The Precambrian metamorphic rocks of Ceylon. *Geologische Rundschau*, **60**: 1523-1549.
- KELLY, B. T. 1981. **Physics of graphite**. London, Applied Science. 477p.
- KERRICH, R. 1990. Mesothermal gold deposits: a critique of genetic hypotheses. In: Robert, F.; Sheahan, P.A.; Green, S.B. (eds). **Grenstone gold and crustal evolution**. Quebec, Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division. p.13-31.

- KINDLEIN Jr., W. 1999. **Estudo da Síntese e caracterização de pó de diamante obtido por altas pressões**. Porto Alegre. Tese de Doutorado em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- KIRK, R. E.; OTHMER, D. F.; GRAYSON, M. & ECKROTH, D. 1978. **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology**. New York, John Wiley & Sons. 3 ed., p.556-710.
- KOVALEVSKI, V.V.; BUSECK, R.P. & COWLEY, M.J. 2001. Comparison of carbon in shungite rocks to other natural carbons: an X-ray and TEM study. **Carbon**, **39**: 243-256.
- KRETZ, R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. **American Mineralogist**, **68**: 277-279.
- LANDIS, C.A. 1971. Graphitization of dispersed carbonaceous material in metamorphic rocks. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, **30**: 34-45.
- LEITE, J.A.D.; MCNAUGHTON, H.J. & CHEMALE JR., F. 1998. SHRIMP U/Pb zircon geochronology of Neoproterozoic juvenile and crustal-reworked terranes in Southernmost Brazil. **International Geology Review**, **40**: 688-705.
- LESSA, M. & LINDENMAYER, D.H. 1967. **Quadricula Coxilha do Tabuleiro, Geologia da Faixa X**. In: UFRGS, 1967. *Mapeamento Geológico Quadricula Coxilha do Tabuleiro*. Trabalho de Graduação, Escola de Geologia, Curso de Geologia, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1967. 13v., 588p. (inédito).
- LUQUE, F.J.; RODAS, M. & GALÁN, E. 1992. Graphite vein mineralization in the ultramafic rocks of southern Spain: mineralogy and genetic relationships. **Mineralium Deposita**, **27**: 226-233.
- MANTOVANI, B.H.M.; MANTOVANI, E.C.; CRUZ, I.; MEWES, W.L.C.; OLIVEIRA, A.C. 1994. Influência do tratamento com inseticidas e com grafite sobre o ângulo de repouso de sementes de milho. **Relatório técnico anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo 1992-1993**, v.6, p.273, 1994. EMBRAPA/CNPMS.
- MINIOLI, B. & KAWASHITA, K. 1971. Contribuição à estratigrafia do Eo-paleozóico do "Escudo Sulrio-grandense". In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971, São Paulo. **Anais...** São Paulo, SBG. v.1, p.193-198.
- NACIONAL DE GRAFITE. 2003. Disponível em: <<http://www.grafite.com.br/>> Acesso em 13 março 2003.
- NARDI, L. V. S. & BONIN, B. 1991. Post-orogenic and non-orogenic alkaline associations: the Saibro Intrusive Suite, southern Brazil – A case study. **Chemical Geology**, **92**(1/3):197-211.
- NARDI, L. V. S.; LIMA, E. F. 1985. A Associação Shoshonítica de Lavras do Sul, RS. **Revista Brasileira de Geociências**, **15** (2):139-146.

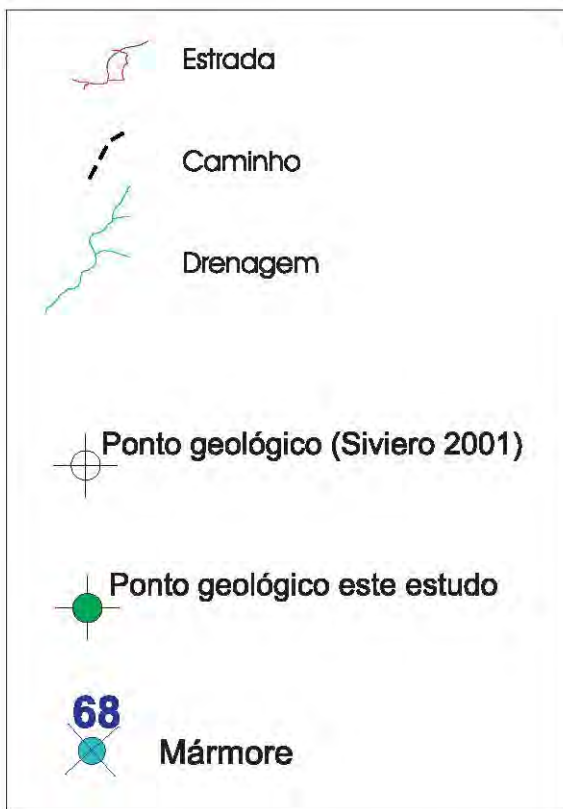
- OEHLER, D.Z. & SMITH, J.W. 1977. Isotopic composition of reduced and oxidized carbon in early Archean rocks from Isua, Greenland. **Precambrian Research**, **5**:221-228.
- OHMOTO, H. 1986. Stable isotope geochemistry of ore deposits. **Reviews in Mineralogy**, **16**: 491-560.
- OKUYAMA-KUSUNOSE, Y.; ITAYA, T. 1987. Metamorphism of carbonaceous material in the Tono contact aureole, Kitakami mountains, Japan. **Journal Metamorphic Geology**, **5**: p.121-139.
- OLIVEIRA, A. S. & PULZ, G. M. 2002a. Dados Isotópicos de Carbono das Rochas Carbonosas da Seqüência Metavulcano-Sedimentar Marmeleiro, Estado do Rio Grande do Sul. 41 Congresso Brasileiro de Geologia, Sociedade Brasileira de Geologia, João Pessoa, 2002.
- OLIVEIRA, A. S. & PULZ, G. M. 2002b. Geoquímica das Rochas Carbonosas da Seqüência Metavulcano-Sedimentar Marmeleiro, Estado do Rio Grande do Sul. 54 Reunião da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, Goiânia, 2002.
- PAIM, P.S.G; CHEMALE JR., F. & LOPES, R.C. 2001. A Bacia do Camaquã. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (eds). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Edição revisada, Centro de Investigação do Gondwana, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p.119-131.
- PIERSON, H. O. 1993. **Handbook of carbon, graphite, diamond and fullerenes: properties, processing and applications**. Noyes Publications, New Jersey, 399p.
- QUINN, W.A. & GLASS, D. H. 1958. Rank of coal and metamorphic grade of rocks of the Narragansett basin of Rhode Island. **Economic Geology**, **53**: 563-576.
- RIBEIRO, M. & FANTINEL, L. M. 1978. Associações petrotectônicas do Escudo Sul-riograndense: I – Tabulação e distribuição das associações petrotectônicas do Escudo do Rio Grande do Sul. **Lheringia**, **5**:19-54.
- RIBEIRO, M. & LICHTENBERG, E. 1978. Síntese da geologia do escudo do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. **Anais...** Recife, SBG. v.6. p.2451 – 2463.
- ROBERTSON, J.F. 1966. Revisão estratigráfica e nomenclatura das unidades litológicas na área de Caçapava-Lavras, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Notas e Estudos. Escola de Geologia, UFRGS**, **1**(2):41-44.
- SANTOS, R. V.; FERNANDES, S.; MENEZES, M.G. & OLIVEIRA, C.G. 1995. Geoquímica de isótopos estáveis de carbono de rochas carbonosas do quadrilátero ferrífero, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, **25**(2):85-91.

- SANTOS, E.L., MACIEL, L.A.C. & ZIR FILHO, J.A. 1998. **Distritos Mineiros do Estado do Rio Grande do Sul**. Queiroz, E.T. & Schobbenhaus, C. (coord.). Porto Alegre, DNPM, 35p.
- SAXBY, J. D. 1970. Technique for the isolation of kerogen from sulfide ores. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, **34**: 1317-1326.
- SCHIDLOWSKI, M. 2001. Carbon isotopes as biogeochemical recorders of life over 3.8 Ga of earth history: evolution of a concept. **Precambrian Research**, **106**:117-134.
- SCHIDLOWSKI, M.; EICHMANN, R. & JUNGE, C.E. 1975. Precambrian sedimentary carbonates: carbon and oxygen isotope geochemistry and implications for the terrestrial oxygen budget. **Precambrian Research**, **2**:1-69
- SCHOELL, M. & WELLMER, F.W. 1981. Anomalous ^{13}C depletion in early Precambrian graphites from Superior Province, Canada. **Nature**, **290**:696-699.
- SHAW, D.M. 1980. Development of the early continental crust. Part III. Depletion of incompatible elements in the mantle. **Precambrian research**, **10**: 281-299.
- SIMANDI, G.J. & KENAN, W.M. 1997. **Crystalline flake graphite**. In: Geological Fieldwork, British Columbia Ministry of Employment and Investment, paper 1998-1. Disponível em :<http://www.em.gov.bc.ca/Mining/Geolsurv/EconomicGeology/metallic_minerals/mdp/profiles/p04.htm>. Acesso em: 26 ago. 2002.
- SIVIERO, R. S. 2001. **Petrografia e geoquímica aplicada ao aproveitamento industrial do mármore da região do Arroio Marmeleiro, Torquato Severo, RS**. Porto Alegre. 131p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SOMAN, K.; LOZOVA, R.V. & SIVADAS, K.M. 1986. Geology, genetic types, and origin of graphite in south Kerala, India. **Economic Geology**, **81**:997-1002.
- SPRINGER, J.S. 1985. Carbon in Archean rocks of the Abitibi Belt (Ontario, Quebec) and its relation to gold distribution. **Canadian Journal Earth Science**, **22**:1945-1951.
- STRIEDER, A.J.; ROLDÃO, D.G.; HARTMANN, L.A. 2000. The palma vocano-sedimentary supersuite. Precambrian sul-riograndense shield, Brasil. **International geology review** **42**: 984-999.
- SZNOPEK, J.L. & KALYONCU, R.S. 2003. **Natural graphite statistics**. Disponível em: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/of01-006/graphite.xls>> Acesso em 19/março/2003.
- TAGIRI, M. 1981. A measurement of the graphitizing-degree by the X-ray powder diffractometer. **Journal of Japanese Association Mineralogy Petrology and Economic Geology** **76**: 345-352.

- UFRGS. 1967. **Mapeamento Geológico Quadricula Coxilha do Tabuleiro**. Trabalho de Graduação, Escola de Geologia, Curso de Geologia, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1967. 13v., 588p. (inédito).
- VINE, J. D. & TOURTELOT, E.B. 1970. Geochemistry of black shale deposits: a summary report. **Economic Geology**, **65**:253-272.
- WADA, H.; TOMITA, T.; MATSURA, K.; IUCHI, K.; ITO, M.; MORIKIYO, T. 1994. Graphitization of carbonaceous matter during metamorphism with references to carbonate and pelitic rocks of contact and metamorphism, Japan. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, **118**: 217-228.
- WEDEPOHL, K. H., 1971. Environmental influences on the chemical composition of shales and clays. In: Ahrens, L.H., Press, F., Runcom, S.K. & Urey, H. C. (eds). **Physics and chemistry of the earth**, v.8: Oxford, Pergamon Press, p. 305-335.
- WEDEPOHL, K.H., 1995. The composition of the continental crust. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, **59** (7): 1217-1232.
- WEIS, P.L. 1980. Graphite skeleton crystals: a newly recognized morphology of crystalline carbon in metasedimentary rocks. **Geology**, **8**: 296-297.
- WEIS, P.L.; FRIEDMAN, I. & GLEASON, J.P. 1981. The origin of epigenetic graphite: evidence from isotopes. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, **45**:2325-2332.
- WERNICK, E. & CORSO, C. R. 1968. Sobre a ocorrência de mineração de grafite no município de Peixe, Estado de Goiás. **Mineração e Metalurgia**, **36**(332):14-15.
- WILDNER, W. 1999. **Associação Vulcano-Plutônica Taquarombó: magmatismo alcalino básico – ácido Cambriano do Escudo Sul-rio-grandense**. Porto Alegre. 175p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- WINTSCH, R.P.; O'CONNELL, A.F.; RANSOM, B.L. & WIECHMANN, M.J. 1981. Evidence for the influence of fCH₄ on the crystallinity of disseminated carbon in greenschist facies rocks, Rhode Island, USA. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, **77**: 207-213.

Anexo 1

mapa de pontos



Articulação da Folha

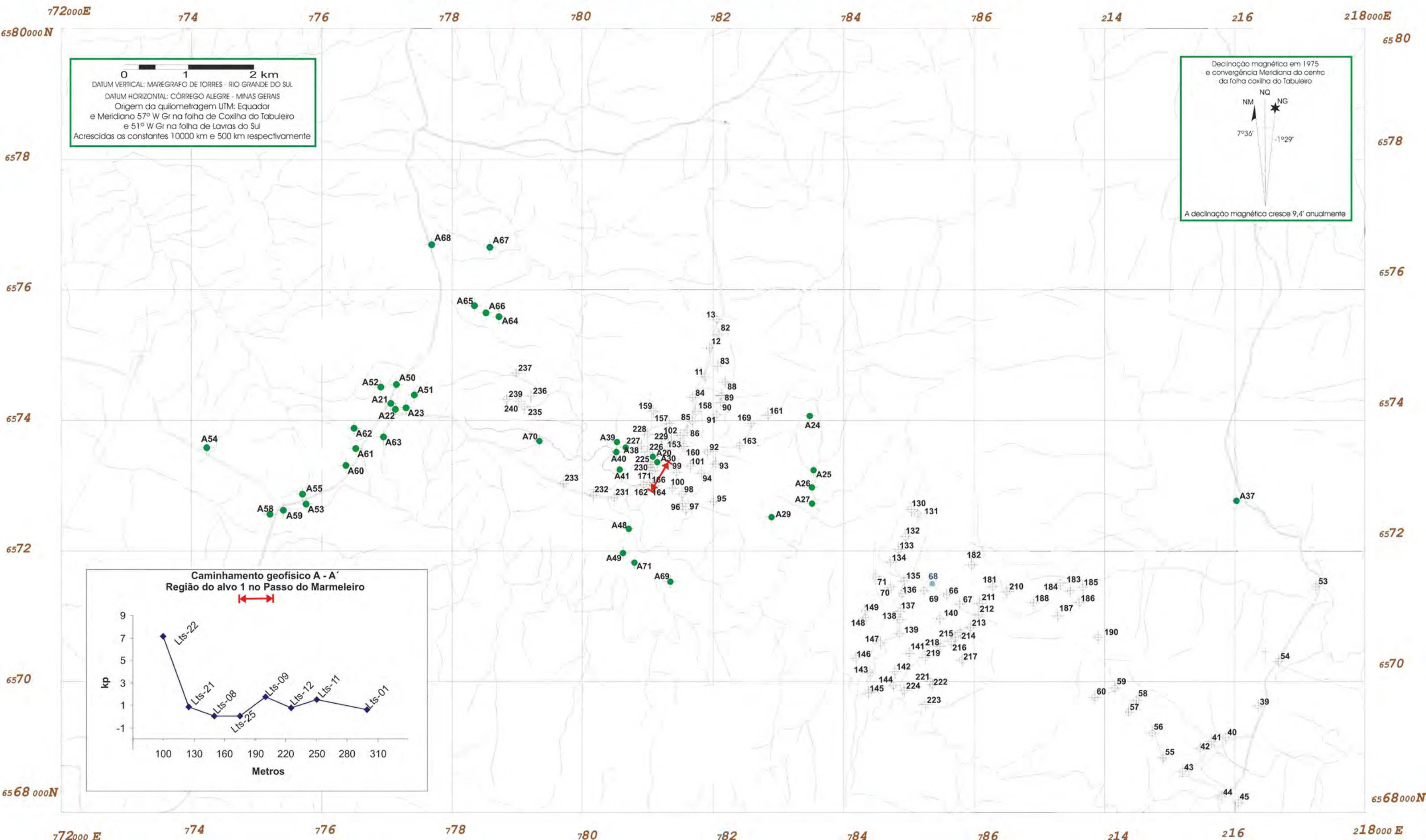
Coxilha do Tabuleiro MI - 2994/4	Lavras do Sul MI - 2995/3
Torquato Severo MI - 3007/2	Passo do Tigre MI - 3008/1

Prof^ª Orientadora
Dr^ª Gênova Maria Pulz
Geólogo Responsável
Alessandro Silva de Oliveira

Colaboradores

Dr. José Caruso Moresco Danni
Geóloga Rosemeri Soares Siviero
Geólogo Élzio da Silva Barbosa
Dicente de bacharelado Kayo Dias

Mapa da Região do Arroio Marmeleiro



Anexo 2 - Lista de Pontos			
Ponto	UTM (N)	UTM (E)	
A1	780897	6573262	Filito Carbonoso
A2	780897	6573262	Filito Carbonoso
A3	780897	6573262	Filito Carbonoso
A4	780897	6573262	Filito Carbonoso
A5	780897	6573262	Filito Carbonoso
A6	780897	6573262	Filito Carbonoso
A7	780897	6573262	Filito Carbonoso
A8	780897	6573262	Filito Carbonoso
A9	780897	6573262	Filito Carbonoso
A10	780897	6573262	Filito Carbonoso
A11	780897	6573262	Filito Carbonoso
A12	780897	6573262	Filito Carbonoso
A13	780897	6573262	Filito Carbonoso
A14	780897	6573262	Filito Carbonoso
A15	780897	6573262	Filito Carbonoso
A16	780897	6573262	Filito Carbonoso
A17	780897	6573262	Filito Carbonoso
A20	780898	6573263	Filito Carbonoso
A21	776965	6574199	Filito Carbonoso
A22	777097	6574222	Filito Carbonoso
A23	777311	6574224	Granada-clorita xisto
A24	783363	6574018	Complexo Cambaí
A25	783617	6573305	Complexo Cambaí
A26	783582	6572994	Complexo Cambaí
A27	783629	6572837	Seqüencia Marmeleiro
A30	780977	6573202	Filito Carbonoso
A31	781043	6573117	Filito Carbonoso
A32	781087	6573499	Calcissilicática
A37	216240	6572780	Complexo Cambaí
A38	780738	6573242	Metapelito
A39	780664	6573439	Filito Carbonoso
A40	78060	6573430	Filito Carbonoso
A42	781094	6573033	Filito Carbonoso
A44	781063	6573242	Filito Carbonoso
A45	781153	6573230	Vulcânica
A46	781445	6573342	Metapelito
A47	781531	6573702	Metapelito
A48	780606	6572447	Formação Maricá
A50	777039	6574409	Seqüencia Marmeleiro
A51	777373	6574304	Granada-clorita xisto
A53	776058	6572902	Siltito
A54	774291	6573445	Arenito
A56	775564	6571099	Granito
A58	775193	6572340	Formação Maricá
A59	775553	6572733	Arenito
A61	775193	6572340	Siltito
A68	775553	6572733	Complexo Cambaí

Anexo 3 - Difração de Raios X

A3.1. - Análises por Difração de Raios X - [DRX]

Análise por DRX constitui uma das primeiras etapas na identificação dos minerais nas rochas, solos, etc. É muito utilizada no estudo dos argilominerais. Brindley & Brown (1980) apresentaram uma discussão sobre os princípios e utilização da DRX aplicada na identificação das estruturas cristalinas.

O difratograma de uma montagem de cristais ou partículas tabulares orientados segundo sua menor dimensão (eixo c) revela a equidistância unitária do mineral da amostra. O tratamento da amostra com etileno-glicol e calor, indica se a equidistância é variável ou não, podendo-se comparar estes registros com o tratamento ao natural.

A técnica de identificação de argilominerais por DRX permite a determinação das equidistâncias unitárias. O difratograma de uma montagem normal deve abranger dos 2 aos 28° (ângulo 2 θ). A interpretação tem início com este registro, identificando-se primeiro os picos, isto é escrevendo as equidistância *d* a que correspondem cada um.

Cabe lembrar que apenas a reflexão principal não é suficiente para a interpretação ou identificação dos tipos de argilo minerais. Usa-se as técnicas de glicolagem e calcinação da amostra a 500 °C. O aquecimento por duas horas provoca a expulsão da molécula de água existente entre as camadas de alguns minerais, ou destrói a estrutura, como ocorre com a caolinita. A glicolagem força a expansão dos minerais, que podem admitir moléculas de etileno-glicol ou glicerol, aumentando as equidistâncias.

Tabela A3.1- Condições analíticas dos estudos difratométricos realizados em equipamento *Siemens D5000*, adotadas neste estudo.

	<i>Step size</i>	<i>Step time</i>	<i>2 teta range</i>
Amostra de pó de rocha	0,025°	1,5 s	2-72
Resíduo insolúvel	0,020°	1 s	2-72
Resíduo insolúvel + padrão	0,020°	2 s	22-32°
Fração < 2micra, seca ao ar	0,020°	2 s	2-28°
Fração < 2micra, Calcinação	0,020°	2 s	2-28°
Fração < 2micra Glicolada	0,020°	3 s	2-28°

A3.2 - Síntese da metodologia de preparação de amostras

O procedimento de preparação e leitura das amostras será descrito a seguir e esquematizado na *figura 1.4*. As amostras da fração maior que 2 micra geralmente não necessitam de glicolagem ou calcinação, para um estudo inicial da mineralogia total da rocha.

1. Renomear a amostra com um código simples de acordo com as especificações do laboratório. Por exemplo, neste estudo a amostra recebeu o código A1; onde a letra A identifica o nome do interessado na análise, Alessandro. Já o número 1, refere-se a identificação do local geográfico de onde a amostra foi retirada. Posteriormente nas leituras dos resíduos insolúveis as amostras foram codificadas com a letra [Q] significando que estes foram previamente atacados quimicamente, exemplo Aq1. Após a inserção do padrão interno a amostra do mesmo local recebeu o nome de AQC1, a letra [C] significa então que a amostra contém calcita colocada artificialmente para aferir a análise;
2. Quarteamento;
3. Separa-se uma alíquota, a qual é colocada em um copo de 250 ml ou de 150 ml, forma alta, com água deionizada. Adiciona-se 3 medidas de espátula do material;
4. Com um bastão de vidro, mistura-se bem a amostra e deixa-se decantar. Não havendo floculação, adiciona-se então defloculante, o qual é uma solução de hexametáfosfato de sódio a 34,5g/l e carbonato de sódio a 7,94 g/l. O volume utilizado de defloculante é 1% sendo adicionado 10 ml de defloculante por litro de suspensão;

5. Agita-se e coloca-se o copo na cuba de ultrasom por aproximadamente 30 minutos, mantendo-se o nível da água do equipamento no mesmo da amostra;
6. Retira-se o copo e agita-se novamente com bastão de vidro. A seguir deixa-se o material em repouso absoluto por 2 horas e 30 minutos;
7. Após o repouso, retira-se os 3 cm superiores, utilizando uma pipeta graduada. Obtém-se a fração aproximadamente menor que $2\mu\text{m}$;
8. Prepara-se duas (2) superfícies planas (lâminas de vidro) previamente niveladas a temperatura ambiente; coloca-se sobre as mesmas o seu referido número de laboratório ou identificação;
9. Após esses passos, tem-se duas lâminas com água mais amostra. Deve-se esperar cerca de 48 horas, se o clima estiver seco, contudo este período pode variar. Por exemplo, no caso deste procedimento foram necessárias 72 horas para secar, pois estávamos no inverno dificultando a secagem natural das amostras;
10. Uma das lâminas é calcinada em forno a aproximadamente $500\text{ }^{\circ}\text{C}$;
11. Após a leitura da amostra natural, esta é pulverizada com etilenoglicol ($\text{CH}_2\text{OHCH}_2\text{OH}$) e analisada novamente; só que agora com os parâmetros estipulados pela rotina glicolad.dql ou similar.

A3.3 - Comentários sobre hardware e software utilizados nas análises de DRX

Neste estudo o equipamento Siemens D5000 também foi operado sob o controle dos pacotes *Difrat At for Ms-Dos*[®] *Microsoft*[™] *Corporation*. A operação da máquina ocorria sob o domínio de um PC-desktop *Siemens*[®] 386 Sx33 Mhz. Os controles executados no painel do robô eram inteiramente executados pelo chefe do laboratório.

Atualmente, este processo foi substituído pelos pacotes DIFRATplus 2001 EVA7, Windows[®] 2000 MICROSOFT[™] CORPORATION; com isto, as atividades que necessitavam de programação externa pelo usuário se tornaram rotina facilitando o processamento de dados da máquina D5000. Atualmente, no laboratório de DRX, IG/CPGQ/UFRGS, o D5000 é controlado em ambiente Windows[®] com a máquina Pentium III 866 Mhz. A operação atual é mais acessível e poderosa no tratamento e visualização dos dados tanto quantitativa, como qualitativamente. Isto propicia uma considerável contribuição na maximização do aproveitamento do equipamento D5000. O ambiente Windows[®] é sem dúvida acessível a um número infinitamente maior de usuários, do que o antigo. Enfim, as modificações introduzidas tornaram o processo mais próximo do usuário final.

Tabela A3.2 - Dados de DRX dos resíduos de filito carbonoso estudados.

Amostra - Aq1				
Caption	Angle 2-Theta °	d value Angström	Intensity Count	Intensity % %
d=6,09023	14.535	6.09023	131	15.8
d=5,69731	15.544	5.69731	125	15.1
d=4,68130	18.946	4.6813	827	100
d=4,04376	21.967	4.04376	51	6.2
d=3,56881	24.935	3.56881	384	46.4
d=3,35023	26.591	3.35023	295	35.7
d=3,09383	28.84	3.09383	152	18.4
d=3,04661	29.297	3.04661	180	21.8
d=2,96581	30.114	2.96581	103	12.5
d=2,87210	31.121	2.8721	120	14.5
d=2,34438	38.372	2.34438	306	37
d=2,02963	44.618	2.02963	813	98.3
d=1,78757	51.063	1.78757	200	24.2
d=1,65990	55.311	1.6599	64	7.7
d=1,56411	59.02	1.56411	70	8.5
d=1,43849	64.769	1.43849	37	4.5

Amostra - Aq5				
Caption	Angle 2-Theta °	d value Angström	Intensity Count	Intensity % %
d=6,11948	14.466	6.11948	68	15.2
d=5,76165	15.369	5.76165	213	47.7
d=5,47754	16.172	5.47754	47	10.5
d=4,70733	18.84	4.70733	45	10.1
d=3,59493	24.751	3.59493	111	24.8
d=3,36317	26.486	3.36317	447	100
d=3,06950	29.074	3.0695	128	28.6
d=3,00551	29.707	3.00551	223	49.9
d=2,87779	31.058	2.87779	140	31.3
d=2,44836	36.683	2.44836	35	7.8
d=2,28416	39.425	2.28416	59	13.2
d=2,03647	44.46	2.03647	77	17.2
d=1,91698	47.395	1.91698	69	15.4
d=1,79303	50.896	1.79303	63	14.1
d=1,76102	51.889	1.76102	126	28.2
d=1,75376	52.12	1.75376	89	19.9
d=1,68081	54.565	1.68081	62	13.9
d=1,49851	61.881	1.49851	37	8.3

Tabela A3.2 (continuação) - Dados de DRX dos resíduos de filito carbonoso estudados.

Amostra - Aq6					Amostra - Aq7				
Caption	Angle 2-Theta °	d value Angström	Intensity Count	Intensity %	Caption	Angle 2-Theta °	d value Angström	Intensity Count	Intensity %
					d=5,64689	15.684	5.64689	253	19.9
					d=5,49674	16.115	5.49674	77	6
d=11,1651	7.914	11.16514	125	4.9	d=4,90566	18.072	4.90566	72	5.7
d=8,86551	9.971	8.86551	107	4.2	d=4,70838	18.836	4.70838	97	7.6
d=6,11112	14.485	6.11112	112	4.4	d=4,65512	19.053	4.65512	101	7.9
d=5,76508	15.36	5.76508	105	4.1	d=4,06086	21.874	4.06086	51	4
d=4,72116	18.784	4.72116	506	19.9	d=3,87478	22.938	3.87478	43	3.4
d=4,28900	20.697	4.289	49	1.9	d=3,53129	25.204	3.53129	87	6.8
d=4,08425	21.747	4.08425	81	3.2	d=3,36264	26.491	3.36264	1273	100
d=3,59264	24.767	3.59264	421	16.5	d=3,06266	29.14	3.06266	65	5.1
d=3,37061	26.427	3.37061	347	13.6	d=3,02610	29.5	3.0261	149	11.7
d=3,18594	27.989	3.18594	97	3.8	d=3,00410	29.721	3.0041	181	14.2
d=3,08002	28.972	3.08002	162	6.4	d=2,90662	30.742	2.90662	103	8.1
d=3,07505	29.02	3.07505	162	6.4	d=2,88609	30.966	2.88609	99	7.8
d=3,05650	29.2	3.0565	142	5.6	d=2,82159	31.692	2.82159	62	4.9
d=2,88305	31	2.88305	282	11.1	d=2,74049	32.656	2.74049	30	2.4
d=2,45796	36.535	2.45796	54	2.1	d=2,55543	35.095	2.55543	45	3.5
d=2,35301	38.226	2.35301	295	11.6	d=2,45214	36.624	2.45214	41	3.2
d=2,03624	44.465	2.03624	2544	100	d=2,35025	38.272	2.35025	70	5.5
d=1,91555	47.433	1.91555	62	2.4	d=2,30392	39.073	2.30392	58	4.6
d=1,79219	50.921	1.79219	150	5.9	d=2,27216	39.642	2.27216	58	4.6
d=1,68688	54.353	1.68688	48	1.9	d=2,09044	43.254	2.09044	51	4
d=1,67902	54.628	1.67902	51	2	d=2,06429	43.83	2.06429	60	4.7
d=1,56748	58.881	1.56748	93	3.7	d=2,03739	44.439	2.03739	116	9.1
d=1,44012	64.686	1.44012	177	7	d=1,87858	48.425	1.87858	64	5
d=1,43590	64.9	1.4359	94	3.7	d=1,76577	51.739	1.76577	116	9.1
d=1,37725	68.03	1.37725	39	1.5	d=1,67917	54.623	1.67917	115	9

Tabela A3.2 (continuação) - Dados de DRX dos resíduos de filito carbonoso estudados.

Amostra - Aq10				
Caption	Angle 2-Theta °	d value Angström	Intensity Count	Intensity % %
d=11,1733	7.908	11.17337	186	37.5
d=6,16136	14.367	6.16136	104	21
d=5,74782	15.406	5.74782	118	23.8
d=4,70202	18.861	4.70202	411	82.9
d=3,58361	24.83	3.58361	419	84.5
d=3,35902	26.52	3.35902	168	33.9
d=3,18954	27.957	3.18954	129	26
d=3,08545	28.92	3.08545	135	27.2
d=3,07712	29	3.07712	156	31.5
d=3,06144	29.152	3.06144	160	32.3
d=2,87877	31.047	2.87877	196	39.5
d=2,45330	36.607	2.4533	67	13.5
d=2,34820	38.307	2.3482	282	56.9
d=2,03357	44.527	2.03357	496	100
d=1,78975	50.996	1.78975	163	32.9
d=1,66067	55.283	1.66067	52	10.5
d=1,56703	58.9	1.56703	88	17.7

Amostra - Aq8				
Caption	Angle 2-Theta °	d value Angström	Intensity Count	Intensity % %
d=8,73273	10.123	8.73273	89.6	10.1
d=6,10663	14.496	6.10663	114	12.8
d=5,73448	15.443	5.73448	139	15.5
d=4,70132	18.864	4.70132	329	37
d=4,06333	21.86	4.06333	49.9	5.6
d=3,58138	24.846	3.58138	424	47.6
d=3,35871	26.522	3.35871	612	68.6
d=3,18758	27.974	3.18758	86.8	9.7
d=3,07039	29.065	3.07039	155	17.4
d=2,98833	29.881	2.98833	100	11.2
d=2,87570	31.081	2.8757	132	14.8
d=2,34734	38.322	2.34734	268	30.1
d=2,03270	44.547	2.0327	891	100
d=1,78952	51.003	1.78952	157	17.6
d=1,67847	54.648	1.67847	62.8	7
d=1,56592	58.946	1.56592	76.8	8.6
d=1,43840	64.773	1.4384	38.2	4.3

Tabela A3.2 (continuação) - Dados de DRX dos resíduos de filito carbonoso estudados.

Amostra - Aq12				
Caption	Angle 2-Theta °	d value Angström	Intensity Count	Intensity % %
d=6,16470	14.359	6.1647	38	10.6
d=5,75460	15.388	5.7546	200	55.7
d=5,65578	15.659	5.65578	141	39.3
d=5,47916	16.167	5.47916	56	15.6
d=4,90408	18.078	4.90408	48	13.4
d=3,87323	22.947	3.87323	43	12
d=3,59149	24.775	3.59149	74	20.6
d=3,53431	25.182	3.53431	62	17.3
d=3,36559	26.467	3.36559	359	100
d=3,00177	29.745	3.00177	222	61.8
d=2,87684	31.068	2.87684	102	28.4
d=2,44706	36.703	2.44706	34	9.5
d=2,29913	39.158	2.29913	67	18.7
d=2,27338	39.62	2.27338	55	15.3
d=2,03169	44.57	2.03169	81	22.6
d=1,91471	47.455	1.91471	78	21.7
d=1,87926	48.406	1.87926	41	11.4
d=1,79685	50.78	1.79685	47	13.1
d=1,79123	50.951	1.79123	48	13.4
d=1,76198	51.859	1.76198	126	35.1
d=1,72757	52.971	1.72757	37	10.3
d=1,67926	54.62	1.67926	56	15.6
d=1,39530	67.033	1.3953	32	8.9
d=1,38859	67.4	1.38859	32	8.9

Amostra - Aq11				
Caption	Angle 2-Theta °	d value Angström	Intensity Count	Intensity % %
d=6,11099	14.486	6.11099	50.9	13.2
d=5,74504	15.414	5.74504	184	48
d=5,46943	16.196	5.46943	47.4	12.3
d=3,86749	22.982	3.86749	34.3	8.9
d=3,59107	24.778	3.59107	120	31.3
d=3,36069	26.506	3.36069	385	100
d=3,05535	29.211	3.05535	114	29.7
d=2,99953	29.767	2.99953	184	47.9
d=2,87419	31.097	2.87419	108	28
d=2,03370	44.524	2.0337	64.7	16.8
d=1,91584	47.425	1.91584	58.3	15.2
d=1,79353	50.881	1.79353	65.3	17
d=1,75961	51.934	1.75961	98.6	25.6
d=1,67886	54.634	1.67886	48.1	12.5
d=1,49983	61.82	1.49983	31.1	8.1

Tabela A3.2 (continuação) - Dados de DRX dos resíduos de filito carbonoso estudados.

Amostra - Aq16					Amostra - Aq15				
Caption	Angle 2-Theta °	d value Angström	Intensity Count	Intensity % %	Caption	Angle 2-Theta °	d value Angström	Intensity Count	Intensity % %
d=11,1294	7.939	11.1294	122	24.7					
d=6,13838	14.421	6.13838	134	27.1					
d=5,78235	15.314	5.78235	108	21.9	d=11,0763	7.977	11.07637	136	10.1
d=5,50495	16.091	5.50495	68	13.8	d=9,54462	9.26	9.54462	141	10.4
d=4,79307	18.5	4.79307	89	18	d=9,09393	9.72	9.09393	160	11.8
d=4,72322	18.776	4.72322	353	71.5	d=8,75389	10.099	8.75389	203	15
d=4,07809	21.78	4.07809	56	11.3	d=4,70516	18.849	4.70516	540	39.9
d=3,59316	24.763	3.59316	443	89.7	d=4,61511	19.22	4.61511	86	6.4
d=3,36711	26.455	3.36711	275	55.7	d=4,07304	21.807	4.07304	71	5.3
d=3,19286	27.927	3.19286	115	23.3	d=3,58135	24.846	3.58135	542	40.1
d=3,06764	29.092	3.06764	179	36.2	d=3,36358	26.483	3.36358	140	10.4
d=2,88651	30.961	2.88651	238	48.2	d=3,18309	28.014	3.18309	117	8.7
d=2,35296	38.227	2.35296	201	40.7	d=3,14369	28.373	3.14369	134	9.9
d=2,03625	44.465	2.03625	494	100	d=2,88057	31.027	2.88057	209	15.5
d=1,91375	47.48	1.91375	62	12.6	d=2,45243	36.62	2.45243	48	3.6
d=1,79033	50.978	1.79033	144	29.1	d=2,35030	38.272	2.3503	402	29.7
d=1,75254	52.159	1.75254	83	16.8	d=2,03537	44.485	2.03537	1352	100
d=1,66419	55.156	1.66419	176	35.6	d=1,79487	50.84	1.79487	134	9.9
d=1,56774	58.871	1.56774	138	27.9	d=1,78831	51.04	1.78831	196	14.5
d=1,54343	59.892	1.54343	70	14.2	d=1,56650	58.922	1.5665	106	7.8
d=1,43943	64.721	1.43943	47	9.5	d=1,43789	64.799	1.43789	43	3.2

Anexo 4 - Geofísica e Topografia

A4.1 - Levantamento taqueométrico

Este levantamento foi realizado de 7 a 9 de setembro de 2001 e complementado no período de 28 a 31 de março de 2002. Esta técnica foi empregada a fim de ser elaborado o mapa base de parte da região do alvo 1, na qual se insere a lente de filito carbonoso e suas encaixantes.

As atividades de campo possibilitaram a aquisição de dados taqueométricos do relevo do terreno com o emprego de teodolito, réguas e mira topográficas, trena, GPS e bússola geológica. Os dados obtidos foram organizados em tabelas, possibilitando o cálculo e representação gráfica das curvas de nível da área de estudo (Fig. 1,3).

A4.2 - Susceptibilidade Magnética Aparente

As medidas de susceptibilidade magnética aparente (K_{ap}) foram realizadas durante os trabalhos de campo no Passo do Marmeleiro (alvo1), e foram complementadas em laboratório utilizando amostras de mão com diâmetro superior a 20 cm (Tabs A4.1 e A4.2).

Com o uso do *Surfer*[®] foi possível a construção de mapas de iso K_{ap} , os quais auxiliaram na análise do comportamento geofísico das rochas, dos veios de quartzo e intrusões graníticas, em escala local, na região do alvo 1 (Figs. A4.1 a A4.4). Os dados obtidos, até o presente momento, no alvo 1 permitem agrupar os valores de K_{ap} em dois grupos:

Grupo 1: caracterizado por valores de K_{ap} variando de 0 a 0,5 unidades SI, os quais foram determinados nos metassedimentos e milonitos da área estudada. Além destes litótipos, uma amostra hidrotermalizada de epidoto granito, o qual intrude a seqüência supracrustal estudada, também apresentou um baixo valor de K_{ap} , da ordem de 0,30 unidades SI. Nesta amostra a alteração hidrotermal é facilmente reconhecida pela substituição parcial dos grãos de magnetita e hematita, por massas de epidoto e mica branca.

Grupo 2: caracterizado por valores de K_{ap} superiores a 10 unidades SI, os quais foram registrados nos anfíbolitos e rochas básicas da área mapeada.

Do exposto conclui-se que os valores de K_{ap} dos metassedimentos da Seqüência Metavulcano-Sedimentar Marmeleiro podem ser atribuídos a baixa proporção de minerais ferrimagnéticos nestas rochas. Por outro lado, os anfíbolitos e as rochas básicas são caracterizados por altos valores de K_{ap} (>10 unidades SI), indicando a presença de minerais ferrimagnéticos nestes litótipos. Comparando os resultados de K_{ap} dos diferentes litótipos da área estudada é possível identificar contrastes magnéticos, que podem ser utilizados como critérios para distinguir os metassedimentos dos anfíbolitos e rochas básicas.

Tabela A4.1 - Dados de susceptibilidade magnética, expressos em unidade SI determinada nos trabalhos de campo da área do alvo 1. Abreviaturas: kap, kap',kap''=susceptibilidade aparente; Esc=fator de escala; Rug=rugosidade tabelada; Média kap,kap',kap''parciais=susceptibilidade real da rocha.

Amostra	kap	Esc	Rug	kap parcial	kap'	Esc	Rug	kap' parcial	kap''	Esc	Rug	kap'' parcial	Média
Lts 1	2,3	0,2	1,24	0,570	2,5	0,2	1,35	0,675	2,6	0,2	1,24	0,644	0,629
Lts 2	2,3	0,2	1,07	0,492	2,5	0,2	1,07	0,535	4,8	0,2	1,07	1,027	2,054
Lts 3	1,5	0,2	1,15	0,345	1,8	0,2	1,15	0,414	-	-	-	-	0,379
Lts 4	3,2	0,2	1	0,64	1,4	0,2	1,35	0,378	-	-	-	-	0,509
Lts 5	1,2	0,2	1,35	0,324	-	-	-	-	-	-	-	-	0,324
Lts 6	13,5	0,2	1,15	3,105	13	0,2	1,07	2,782	-	-	-	-	2,943
Lts 7	12,4	1	1,07	13,268	12,2	1	1,07	13,054	-	-	-	-	13,161
Lts 8	0	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Lts 9	1,5	0,2	1,24	1,748	-	-	-	-	-	-	-	-	1,748
Lts 10	2,3	0,2	1,15	0,529	4,5	0,2	1,35	1,215	-	-	-	-	0,872
Lts 11	6,6	0,2	1,35	1,782	4,8	0,2	1,24	1,190	-	-	-	-	1,486
Lts 12	3,5	0,2	1,07	0,749	-	-	-	-	-	-	-	-	0,749
Lts 13	1,6	0,2	1,24	0,396	4,2	0,2	1,15	0,966	2,6	0,2	1,35	0,702	0,688
Lts 14	3,2	0,2	1,24	0,793	1,5	0,2	1,07	0,321	1,8	0,2	1,15	0,414	0,509
Lts 15	1	0,2	1,07	0,214	4,8	0,2	1,07	1,027	2,5	0,2	1,07	0,535	0,592
Lts 16	0,8	0,2	1,15	0,184	-	-	-	-	-	-	-	-	0,184
Lts 17	2,8	0,2	1,78	0,996	2,4	0,2	1,35	0,648	-	-	-	-	0,822
Lts 18	1,8	0,2	1,35	0,486	-	-	-	-	-	-	-	-	0,486
Lts 19	0	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Lts 20	0	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Lts 21	2	0,2	2,02	0,808	-	-	-	-	-	-	-	-	0,808
Lts 22	10	1	1,07	10,7	2	1	1,07	2,14	7,4	1	1,15	8,51	7,116
Lts 23	12,2	1	1,15	14,03	11,2	1	1,07	11,984	-	-	-	-	13,007
Lts 24	0	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Lts 25	0	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Lts 26	3,8	0,2	1,44	1,094	-	-	-	-	-	-	-	-	1,094
Lts 27	5,6	0,2	1,07	1,198	-	-	-	-	-	-	-	-	1,198
AK 1	0	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
AK 2	0	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
AK 3	1,9	0,2	-	0,38	2,5	0,2	-	0,5	-	-	-	-	0,44
AK 4	1,8	0,2	-	0,36	2	0,2	-	0,4	-	-	-	-	0,38
AK 5	1,8	0,2	-	0,36	-	-	-	-	-	-	-	-	0,36
AK 6	0,5	0,2	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1
AK 7	0	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
AK 8	1,8	0,2	-	0,36	1,2	0,2	-	0,24	1,2	0,2	-	0,24	0,276
AK 9	7	0,2	-	1,4	17,5	0,2	-	3,5	8	0,2	-	1,6	2,166

Tabela A4.2 – Síntese dos dados de susceptibilidade magnética (kap corrigido) das rochas estudadas e coordenadas geográficas (E=leste; N=norte) das rochas estudadas. Os valores de kap são expressos em unidades SI.

Ponto	E	N	ALVO 1	
			kap corrigido	Rocha
Lts 1	0780914	6573265	0,629	Grafita xisto
Lts 2	0780936	6573177	2,054	Muscovita xisto
Lts 3	0780977	6573197	0,379	Muscovita xisto
Lts 4	0780972	6573151	0,509	Muscovita xisto
Lts 5	0781042	6573017	0,324	Granito milonitizado
Lts 6	0781054	6572967	2,943	Vulcânica básica
Lts 7	0780938	6572974	13,161	Vulcânica básica
Lts 8	0780887	6573092	0	Quartzo leitoso
Lts 9	0780907	6573172	1,748	Muscovita xisto
Lts 10	0780838	6573215	0,872	Muscovita xisto
Lts 11	0780931	6573253	1,486	Grafita xisto oxidado
Lts 12	0780970	6573226	0,749	Grafita xisto oxidado
Lts 13	0781025	6573193	0,688	Grafita xisto oxidado
Lts 14	0781087	6573117	0,509	Muscovita xisto
Lts 15	0781049	6573110	0,592	Muscovita xisto
Lts 16	0780995	6573140	0,184	Muscovita xisto
Lts 17	0780959	6573161	0,822	Muscovita xisto
Lts 18	0780875	6573117	0,486	Quartzo milonito
Lts 19	0780864	6573096	0	Quartzo leitoso
Lts 20	0780865	6573062	0	Quartzo leitoso
Lts 21	0780869	6573050	0,808	Quartzo milonito
Lts 22	0780858	6573040	7,116	Vulcânica
Lts 23	0780927	6573011	13,007	Vulcânica
Lts 24	0780996	6572971	0	Quartzo leitoso
Lts 25	0780903	6573111	0	Quartzo leitoso
Lts 26	0780861	6573195	1,094	Grafita xisto
Lts 27	0780862	6573196	1,198	Grafita xisto
AK 1	0781051	6573112	0	Muscovita xisto oxidado
AK 2	0781009	6573119	0	Quartzo leitoso
AK 3	0781066	6573159	0,44	-
AK 4	0781069	6573181	0,38	-
AK 5	0781067	6573214	0,36	Grafita xisto oxidado
AK 6	0781112	6573328	0,1	Filito carbonoso
AK 7	0781200	6573451	0	-
AK 8	0781199	6573477	0,276	Metapelito
AK 9	0780845	6573182	2,166	Vulcânica

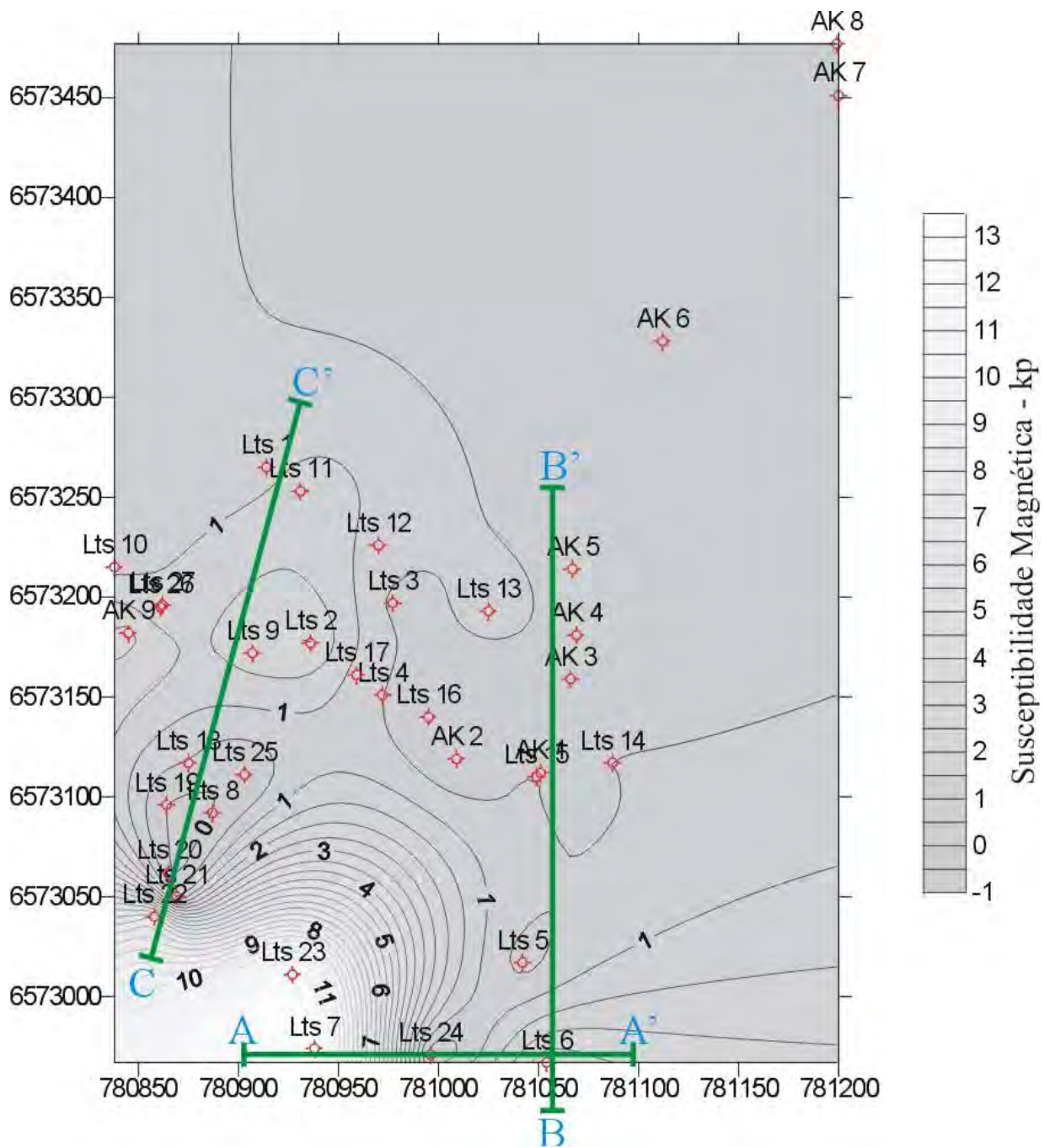
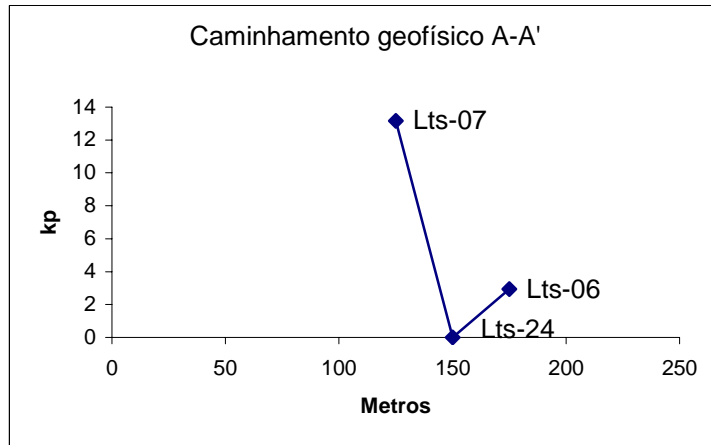


Figura A4.1 – Mapa de isoKap região do Alvo1, as linhas verdes são os perfis A-A'; B-B' e C-C'.



Legenda



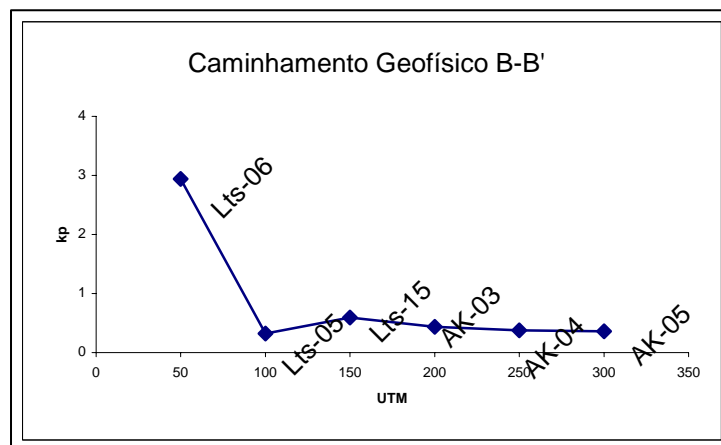
-  Vulcânica
-  Quartzo Leitoso

Figura A4.1 – Perfil geofísico (A-A') mostrando os valores de susceptibilidade magnética aparente(kap).



Legenda




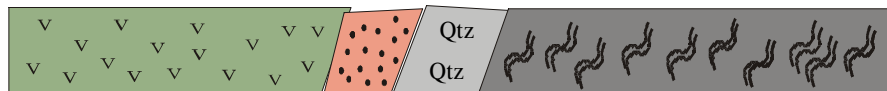
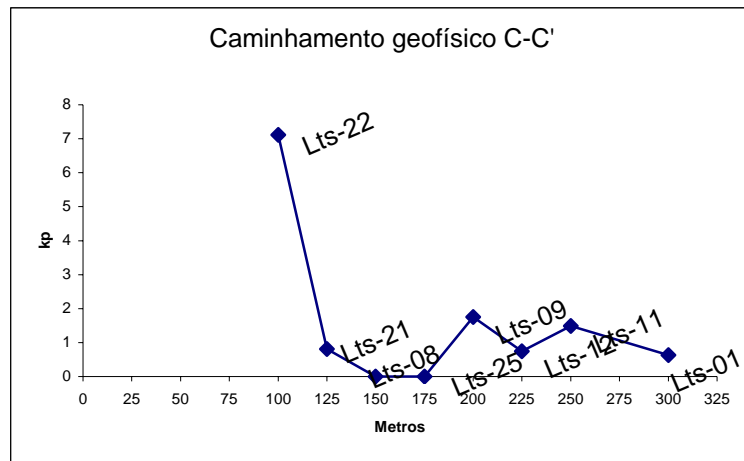
-  Vulcânica
-  Quartzo Milonito
-  Muscovita Grafita Xisto

Figura A4.2 – Perfil geofísico (B-B') mostrando os valores de susceptibilidade magnética aparente(kap).



Legenda





-  Vulcânica
-  Quartzo Milonito
-  Quartzo Leitoso
-  Muscovita Grafita Xisto

Figura A4.3 – Perfil geofísico (C-C') mostrando os valores de susceptibilidade magnética aparente(kap).

