

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**EROSÃO DIFERENCIAL NO ARENITO FURNAS,
DEVONIANO, NA REGIÃO DO RIO QUEBRA-PERNA
E DO CANYON DO GUARTELÁ, PARANÁ**

Juliane Kyoko Tamura

Orientador: Prof. Dr. Mário Sérgio de Melo
Co-Orientador: Prof. Dr. Paulo César Fonseca Giannini

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2003/35)

SÃO PAULO
2003

TF
T159
JK.e

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



**EROSÃO DIFERENCIAL NO ARENITO FURNAS, DEVONIANO, NA
REGIÃO DO RIO QUEBRA-PERNA E DO CANYON DO
GUARTELÁ, PARANÁ**

Juliane Kyoko Tamura

Orientador: Prof. Dr. Mário Sérgio de Melo

Co-orientador: Prof. Dr. Paulo César Fonseca Giannini

**TRABALHO DE FORMATURA
(TF- 2003/ 35)**

59
5.e

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DOAÇÃO	Seção
Graduação - IGc	
Data: 06/05/2004	

EROSÃO DIFERENCIAL NO AREITO FURNAS, DEVONIANO, NA
REGIÃO DO RIO QUEBRA-PEÇA E DO CANYON DO
GUARATEIA, PARANÁ

Juliana Kyara Teixeira

Orientador: Prof. Dr. Mano Sérgio de Melo

Co-orientador: Prof. Dr. Paulo César Fonseca Guimarães

TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2023-25)

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900014499



**EROSÃO DIFERENCIAL NO ARENITO FURNAS,
DEVONIANO, NA REGIÃO DO RIO QUEBRA-
PERNA E DO CANYON DO GUARTELÁ, PARANÁ**

JULIANE KYOKO TAMURA

Monografia de Trabalho de Formatura

Banca Examinadora

Prof. Dr. Mário Sérgio de Mello

Prof. Dr. Kenitiro Suguio

Prof. Dr. José Roberto Canuto

São Paulo

2003

Agradecimentos:

Meus agradecimentos são dedicados a todos que, de alguma forma, contribuíram com a conclusão desse trabalho. Agradeço as pessoas do Instituto que ajudaram no projeto: Marcos (Laboratório de microsonda, IGc-USP), Isaac, Bruna e Douglas (Laboratório do MEV, IGc-USP), Flávio (Laboratório de raio-x, IGc-USP), Gatão e equipe da laminação de amostras petrográficas. Ao Prof. Dr. Daniel Atencio, agradeço pelo auxílio e por esclarecer minhas dúvidas de mineralogia.

Aos meus orientadores, agradeço toda dedicação: Prof. Mário Sérgio de Melo, por ter me aceitado orientar no meu trabalho de formatura (TF), apesar de nem me conhecer na época, e por toda confiança durante o período da orientação. Agradecimento especial ao Prof. Paulo César Fonseca Giannini por toda orientação (não apenas CO-orientação) e dedicação, não só no TF, como durante todos os momentos em que necessitei de apoio durante a graduação.

Aos meus amigos de faculdade, obrigada pelos ótimos momentos que passamos, tanto na faculdade como em nossas inesquecíveis viagens de campo. E também obrigada por terem dividido comigo as terríveis horas que a Geologia nos proporcionou, como provas e entrega de trabalhos e relatórios.

Aos meus amigos do estágio, obrigada pela compreensão durante esses difíceis momentos de minha vida.

Ao meu querido Fábio, obrigada por estar sempre do meu lado, nos bons e maus momentos.

Aos meus pais, obrigada pela dedicação e preocupação durante todos esses anos, e por terem se esforçado tanto para que eu me formasse como uma profissional. Não estaria aqui sem o apoio de nossa família.

Obrigada a todos.

RESUMO

A Formação Fumas é uma unidade sedimentar do Grupo Paraná, cuja área de afloramento nos estados do Paraná e São Paulo é de aproximadamente 4290 km². No Paraná, encontra-se na porção leste do estado e apresenta feições morfológicas típicas, como fumas, sumidouros, fendas, cavernas, lapas, depressões e lagoas. As lapas formadas no arenito abrigam sítios arqueológicos de antigos povos indígenas.

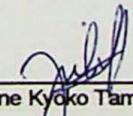
A área de estudo contemplou duas regiões: Sumidouro do rio Quebra-Perna, situada cerca de 30 km à leste da cidade de Ponta Grossa, e Canyon do Guartelá, distante em torno de 10 km a sudeste da cidade de Tibagi.

A litologia dominante nas regiões estudadas é um arenito quartzoso, com intercalações pelíticas estas mais freqüentes na região do Sumidouro. Ao microscópio petrográfico, confirma-se composição quase exclusivamente quartzosa (>95%) do arcabouço, com presença subordinada de palhetas de muscovita. Grãos de feldspato só foram identificados nas camadas pelíticas. As rochas sedimentares consistem em camadas de arenito com espessura variável (0,2 a 2,0m) e estratificação cruzada e plano-paralela, com intercalações pelíticas relativamente delgadas (0,2 a 1,0m). Observa-se predomínio das fácies com intervalo granulométrico entre areia fina e grossa, com moda em areia média. O empacotamento na maior parte dos afloramentos é aberto. Os contatos são desde retos até suturados.

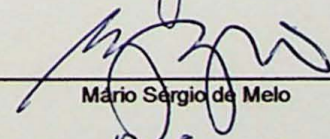
Os dois tipos de cimentos predominantes são o quartzo, resultante do crescimento secundário dos grãos, e a caulinita, que consiste em agregados de placas arranjadas subparalelamente, formando hábito em sanfona. A compactação química posterior à cimentação por quartzo é fortemente evidenciada pelos contatos retos entre os sobrecrecimentos.

Os mecanismos naturais de destruição das pinturas rupestres estão possivelmente ligados ao processo de formação de incrustações, que ocorrem basicamente de três modos: na superfície, preenchendo as microfraturas ou entre as descamações superficiais de arenito. Trata-se de caulinita, subordinadamente associada a minerais do grupo da illita e com provável ocorrência de alunite e crandalita. Possivelmente a cristalização desses minerais deve influenciar no processo de descamação do arenito, que acaba por destruir as pinturas rupestres encontradas nos diversos sítios arqueológicos da região.

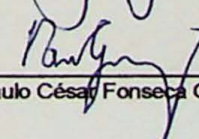
Aluna:


Juliane Kyoko Tamura

Orientador:


Mario Sérgio de Melo

Co-orientador:


Paulo César Fonseca Giannini

ABSTRACT

The Fumas Formation, Devonian of the Paraná Basin, contains mainly kaolinite cemented sandstones. In some areas of its outcrops in the Paraná State, southern Brazil, the sandstones presents typical landforms due to underground and surface erosion, as the furnas (sinkholes), caves, ponds, dales and ruiniform relief. The sedimentary and brittle structures usually form natural shelters with archaeological sites containing cave paintings.

Two areas of the Fumas Formation were studied for the analysis of the links between rock attributes and the erosion processes: the Quebra-Perna river basin, situated about 30 km to the east of the city of Ponta Grossa, and the Guartelá Canyon, situated about 10 km to the southeast of the city of Tibagi. Both areas are in the Campos Gerais region, in the Second Paraná Plateau.

The dominant rock in the studied areas is a quartz-sandstone with rare mudstone layers, these more frequent in the Quebra-Perna area. Muscovite is a common accessory mineral. Preserved feldspar has been identified only in the mudstone layers. Grain size varies between fine to coarse sand, sorting ranging from very badly to well selected. Kaolinite is the major cement, arranged in booklets of euhedral plates. Silica overgrowth in the quartz grains is a second ubiquitous cement, resulting in a strong chemical compaction, evidenced by linear contacts between grains, which are often euhedral or subhedral.

Encrustations on superficial weathered sandstones occur in three different ways: a) in the surface of the weathered sandstones; b) filling microfissures near the surface of the rock massifs; c) filling discontinuities between sedimentary structures. These encrustations are made of kaolinite with small quantities of minerals of the illite group. In some samples discrete quantities of minerals of the alunite and crandalite groups were also detected. The crystallization of these encrustations is closely related to superficial exfoliation of the sandstone, what is destroying the archaeological cave paintings found in the region.

ÍNDICE ANALÍTICO

1)	INTRODUÇÃO	1
2)	OBJETIVOS.....	2
3)	MATERIAIS E MÉTODOS	2
3.1)	Revisão bibliográfica	2
3.2)	Atividades de campo	2
3.3)	Atividades laboratoriais.....	3
3.3.1)	Confecção de seções delgadas.....	3
3.3.2)	Análise petrográfica.....	3
3.3.3)	Análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) com espectrometria de energia dispersiva (EED).....	4
3.3.4)	Difratometria de raio-x	5
4)	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	5
5)	RESULTADOS OBTIDOS	6
5.1)	Revisão bibliográfica.....	6
5.1.1.)	Formação Furnas	7
5.1.2.)	Erosão na Formação Furnas	9
5.1.3.)	Petrografia do Arenito Furnas.....	10
5.2)	Atividades de campo	11
5.3)	Análise petrográfica	21
5.4)	Análise ao microscópio eletrônico de varredura	26
5.4.1)	Amostras mineralógicas	26
5.4.2)	Amostras petrográficas.....	29
5.5)	Difratometria de raio-x.....	34
6)	INTERPRETAÇÕES DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES.....	42
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

ANEXO 1: QUADRO-SÍNTESE DE BIBLIOGRAFIA SOBRE A FORMAÇÃO FURNAS

ANEXO 2: QUADRO-SÍNTESE COM DADOS DAS AMOSTRAS COLETADAS

ANEXO 3: QUADRO-SÍNTESE DE RESULTADOS DE ANÁLISE PETROGRÁFICA

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: 1- Escarpa da Serra Geral; 2- Escarpa Devoniana; 3- Extensão original dos Campos Gerais no Segundo Planalto Paranaense; 4: GU- região do <i>Canyon</i> do Guartelá; 5: SU- região do Sumidouro do rio Quebra-Perna (adaptação de Melo, 2002)	1
Figura 2: Seção esquemática do Estado do Paraná mostrando a estrutura geológica do relevo. PAR: Paranaguá; CTB: Curitiba; PGR: Ponta Grossa, GUA: Guarapuava; S.M.: Serra do Mar; P.C.: Planície Costeira. (Melo, 2002).....	6
Figura 3: Mapa geológico do Estado do Paraná com detalhe na porção leste, local em que aflora o Grupo Paraná (Adaptação de MINEROPAR, 1989).....	7
Figura 4: Detalhe da geologia regional na área do Sumidouro do rio Quebra-Perna e do Buraco do Padre. 1- aluviões quaternários; 2- diques de diabásio; 3- Grupo Itararé; 4- Formação Ponta Grossa; 5- Formação Fumas; 6- embasamento; 7- principais estruturas (falhas, fraturas e fumas); 8- rios e lagos; 9- área do Buraco do Padre; 10- região do Sumidouro do Quebra-Perna. (Adaptado de Melo <i>et al.</i> , 2000).....	12
Figura 5: Geologia da região do <i>Canyon</i> do Guartelá. 1: Embasamento proterozóico a ordoviciano; 2: Formação Fumas; 3: Formação Ponta Grossa; 4: Grupo Itararé; 5: diques de diabásio e rochas filiadas; 6: sedimentos aluviais quaternários; 7: principais estruturas (falhas, fraturas); 8: escarpas; 9: lagoas fechadas; 10: sede e perímetro do Parque Estadual do Guartelá (Adaptado de Melo, 2002a).....	12
Figura 6: Seção colunar e foto do ponto SU.01, região do Sumidouro do rio Quebra-Perna	14
Figura 7: Seção colunar e foto do ponto SU.05, região do Sumidouro do rio Quebra-Perna.....	14
Figura 8: Seção colunar e foto do ponto SU.06, região do Sumidouro do rio Quebra-Perna.....	15
Figura 9: Seção colunar e foto do ponto GU.05, região do <i>Canyon</i> do Guartelá.....	15
Figura 10: Seção colunar e foto do ponto GU.06, região do <i>Canyon</i> do Guartelá.....	16
Figura 11: Seção colunar e foto do ponto GU.08, região do <i>Canyon</i> do Guartelá.....	16
Figura 12: Seção colunar e foto do ponto GU.09, região do <i>Canyon</i> do Guartelá.....	17
Figura 13: Incrustação sobre o arenito, de coloração bege e hábito botrioidal. Ponto SU.O5, amostra SU.05MA.....	19
Figura 14: Incrustação de material branco preenchendo microfraturas de arenito alterado. Ponto SU.O6, amostra SU.06MB.....	19

Figura 15: Material pulverulento branco associado a processo de descamação do arenito, Ponto SU.05, amostra SU.05MD. Na imagem à direita, detalhe da destruição de pinturas rupestres pelo processo de descamamento no teto da Lapa Ponciano, ponto GU.02.....	19
Figura 16: À esquerda, pintura rupestre afetada parcialmente, início do processo de descamação, Ponto GU.02. À direita, pinturas rupestres preservadas, sem material pulverulento associado, ponto GU.09 (Lapa Floriano).	19
Figura 17: Ilustração do ponto BP.02, onde foi possível observar no mesmo horizonte da rocha distribuição heterogênea dos alvéolos.....	20
Figura 18: Alvéolos desenvolvidos paralelamente às estratificações cruzadas. Ponto GU.09.....	20
Figura 19: Alvéolos formados em arenito alterado, intensamente perfurado por ação biogênica. Ponto SU.06, Amostra SU.06B.....	20
Figura 20: Bordas de alvéolos com musgos associados. Ponto BP.02.....	20
Figura 21: Alvéolos sobre pavimento sub-horizontal com fluxo laminar de água constante. Ponto GU.07. Detalhe dos alvéolos na foto à direita.....	20
Figura 22: Alvéolo preenchido por material de cor branca. Ponto SU.07.....	21
Figura 23: Ponto de estudo BP.01, na fuma denominada Buraco do Padre. Em primeiro plano, visualiza-se a queda do rio Quebra-Pedra e, ao fundo, o local de acesso (fenda).....	21
Figura 24: Plaquetas de muscovita amassadas e estiradas entre grãos de quartzo. Imagem à direita com nicóis cruzados. Lâmina BP.02C.....	23
Figura 25: Composição de três imagens; A- visão geral da lâmina, onde é possível observar o empacotamento heterogêneo; B- detalhe do cimento bege que ocorre nas bordas dos grãos; C- detalhe do cimento de caulinita, em agregados vermiformes de placas euédricas. Amostra GU.05.....	24
Figura 26: Cimento de óxido/hidróxido de ferro, englobando caulinita de hábito sanfonado. Amostra GU.01.....	25
Figura 27: Composição de três imagens; A- visão geral, com diferenciação de dois hábitos de agregados, maciço em 1 e floculoso em 2; B- detalhe na porção maciça (1), mostrando tratar-se de lamelas relativamente contínuas; C- detalhe da porção floculosa (2), mostrando tratar-se de lamelas descontínuas e fragmentadas. Amostra GU.02MA, detector SE1.....	27

- Figura 28: A: cristal com hábito em cruz, aumento de 5000 vezes, detector SE1. B: Hábito fibro-lamelar do cimento, aumento de 10000 vezes, detector SE1. C: hábito fibro-lamelar, escala 2500 vezes, detector SE1. D: detalhe em C, observa-se arranjo sub-paralelo, aumento de 10000 vezes, detector SE1. Amostra BP.02MA.....28
- Figura 29: Cimento lamelar associado à matéria orgânica. Na imagem à esquerda, visão geral da amostra, e na direita, detalhe ilustrando tubos e filamentos. EED revelou Si, Al, S, P, Fe, Ca, Mg e K. Amostra SU.05MC, detector QBSD (imagem esquerda) e SE1 (imagem direita).....28
- Figura 30: Imagem à esquerda apresenta quatro fases composicionais diferentes ao detector QBSD: 1-material pulverulento com Al, Si, S, P, K, O e Ca; 2 – cristal euédrico, com Si, Al, S, K, O e Cl; 3 – filamento (provavelmente algum tipo de contaminação), com Al, Cl, Cu, O e K; 4: mineral pesado, com Si, Al, Ti, K e P; 5: cola prata (por se tratar de amostra muito porosa, a cola deve ter impregnado os poros durante a aplicação do vácuo). A imagem da direita, obtida com detector SE1 é a mais adequada para observação de morfologia. Amostra SU.05MA.....29
- Figura 31: Caulinita em placas euédricas, dispostas paralelamente, formando hábito sanfonado. Amostra SU.06MC, 1500X, detector SE1.....31
- Figura 32: Várias placas de cimento de caulinita sanfonada sobre grão de quartzo, este no canto esquerdo inferior. Amostra BP.02A, 1000 X, detector SE1.....31
- Figura 33: Dois tipos de cimento: 1- cimento de óxido de Ti; 2- cimento bege ao microscópio óptico, de composição caulinítica, preenchido poros intergranulares. Amostra SU.02, 150X, detector QBSD.....31
- Figura 34: Mesmo cimento caulinítico da figura anterior sob maior aumento, destacando-se placa euédrica no detalhe. Amostra GU.05E, 2500X, detector QBSD.....31
- Figura 35: Mapa de localização de três pontos submetidos à microanálise química: 1- óxido de Fe; 2- caulinita sanfonada englobada pelo cimento ferruginoso. 3- grão de quartzo, com bordas suturadas. Amostra GU.01, 250X, detector QBSD.....31
- Figura 36: Cimento incolor, entre dois grãos de quartzo. Ocorre como um dique transversal. EED em dois pontos detectou Si, Al, O e K, composição compatível com a ilita. Amostra GU.05E, 1500X, detector QBSD.....31
- Figura 37: Grão de quartzo com face plana e microrugosa. A imagem da direita, de maior detalhe, permite observar moldes poligonais de cristais de sobrecrescimento, evidência de compactação química entre crescimentos secundários adjacentes. Amostra GU.05A, detector SE1.....32

Figura 38: Grão de quartzo com faces desenvolvidas. Imagem à direita mostra formas geométricas associadas à simetria trigonal do quartzo. Amostra SU.06MC.....	32
Figura 39: Matriz de rocha pelítica. Realizaram-se cinco análises com EED, a fim de verificar as diferentes superfícies (lisa e rugosas). EED revelou Al, Si, O, Ti, Fe e K, localmente com S e P. Amostra SU.05E, 4000X, detector SE1.....	33
Figura 40: Grãos com formas sugestivas de feldspato. EED revelou Si, Al, O e K. Amostra SU.05E, detector SE1.....	33
Figura 41: Cristais alongados, cujo EED revelou Si, Al, O, Fe, K e S. Possível alunite. Amostra SU.05E, 10000 vezes, detector SE1.....	33
Figura 42: Difratoograma da amostra GU.02MA.....	35
Figura 43: Difratoograma da amostra GU.02MB.....	35
Figura 44: Difratoograma da amostra SU.05MA.....	36
Figura 45: Difratoograma da amostra SU.05MB.....	36
Figura 46: Difratoograma da amostra SU.05MC.....	37
Figura 47: Difratoograma da amostra SU.05MD.....	37
Figura 48: Difratoograma da amostra SU.05ME.....	38
Figura 49: Difratoograma da amostra SU.06MA.....	38
Figura 50: Difratoograma da amostra SU.06MB.....	39
Figura 51: Difratoograma da amostra SU.06MC.....	39
Figura 52: Difratoograma da amostra SU.07MA.....	40
Figura 53: Composição de todos difratogramas.....	41

1) INTRODUÇÃO

O presente trabalho visa apresentar as atividades desenvolvidas e os resultados obtidos no período de Março a Novembro de 2003, no âmbito da disciplina 0144-500 – Trabalho de Formatura (ano letivo de 2003, TF 35).

O projeto desenvolveu um estudo petrográfico nos arenitos da Formação Furnas com intuito principal de contribuir para o avanço no conhecimento dos processos de erosão diferencial que resultam na formação das feições morfológicas típicas e atuam na destruição de pinturas rupestres e no controle da erosão subterrânea.

As áreas de estudo estão situadas dentro dos Campos Gerais, uma unidade fitogeográfica cuja definição original foi dada por Maack (1948). Esta unidade situa-se na porção centro-leste do Estado do Paraná (Figura 1), onde se distribui como faixa curva com convexidade para noroeste, com 11.761,41 km² de extensão, entre as coordenadas 23°45' e 26°15' de latitude sul e 49°15' e 50°45' de longitude oeste (Melo, 2002). As áreas estudadas para detalhamento são duas: Sumidouro do Rio Quebra-Perna, com aproximadamente 150 km², situada cerca de 30 km a leste da cidade de Ponta Grossa, e o Canyon do Guartelá, distante em torno de 10 km a sudeste da cidade de Tibagi (Figura1).

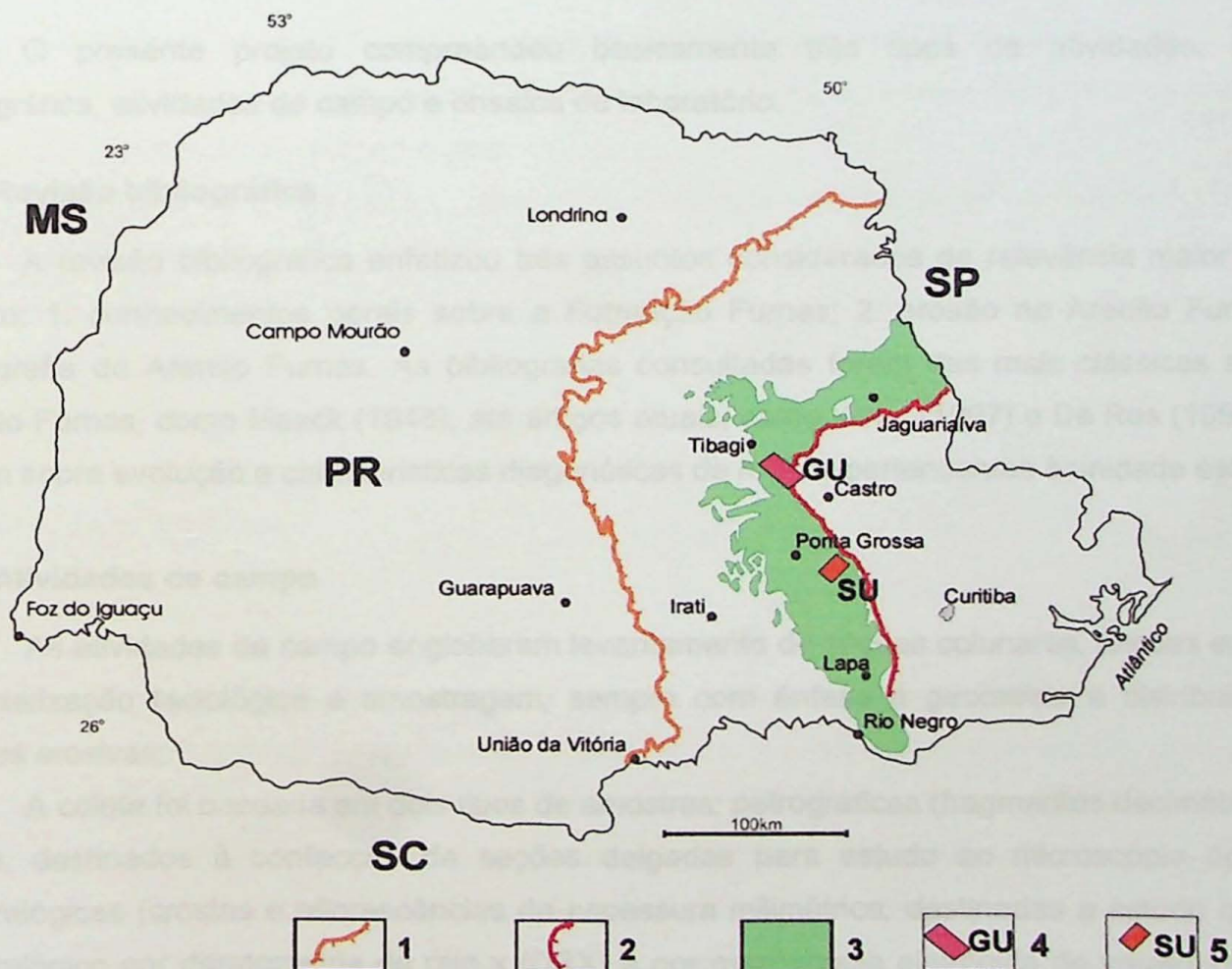


Figura 1: 1- Escarpa da Serra Geral; 2- Escarpa Devoniana; 3- Extensão original dos Campos Gerais no Segundo Planalto Paranaense; 4- GU- região do Canyon do Guartelá; 5- SU- região do Sumidouro do rio Quebra-Perna (adaptação de Melo, 2002).

2) OBJETIVOS

O objetivo geral do projeto foi analisar detalhadamente as características petrográficas e mineralógicas da Formação Furnas, a fim de relacioná-las com a erosão diferencial dos arenitos. A principal finalidade foi confrontar as fácies deposicionais e feições de alteração superficial observadas no campo com possíveis petrofácies estabelecidas por microscopia óptica, e avaliar a possibilidade de existência de contrastes de textura ou mineralogia do arcabouço ou do cimento entre diferentes porções do arenito. Com isso, pretendeu-se contribuir para o conhecimento dos processos que degradam pinturas rupestres e do controle exercido pelos litotipos sobre feições erosivas decorrentes de processos da telogênese e do intemperismo, tais como dissolução química e degradação mecânica.

Além disso, o projeto também teve como objetivo a análise de aspectos da evolução diagenética do Arenito Furnas aflorante nas áreas de estudo e o treinamento em diversos métodos e técnicas de sedimentologia e petrografia, incluindo microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura (MEV) com espectrometria de energia dispersiva (EED).

3) MATERIAIS E MÉTODOS

O presente projeto compreendeu basicamente três tipos de atividades: revisão bibliográfica, atividades de campo e ensaios de laboratório.

3.1) Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica enfatizou três assuntos considerados de relevância maior para o projeto: 1. conhecimentos gerais sobre a Formação Furnas; 2. erosão no Arenito Furnas; 3. petrografia do Arenito Furnas. As bibliografias consultadas foram das mais clássicas sobre o Arenito Furnas, como Maack (1948), até artigos atuais, como Wray (1997) e De Ros (1998), que tratam sobre evolução e características diagenéticas de rochas pertencentes à unidade estudada.

3.2) Atividades de campo

As atividades de campo englobaram levantamento de seções colunares, feições erosivas, caracterização faciológica e amostragem, sempre com ênfase à geometria e distribuição de feições erosivas.

A coleta foi baseada em dois tipos de amostras: petrográficas (fragmentos decimétricos de rocha, destinados à confecção de seções delgadas para estudo ao microscópio óptico) e mineralógicas (crostas e eflorescências de espessura milimétrica, destinadas a estudo químico-mineralógico por difratometria de raio x (DRX) e por microscopia eletrônica de varredura (MEV) com microanálise química por espectrometria de energia dispersiva (EED)).

3.3) Atividades laboratoriais

As atividades laboratoriais executadas podem ser subdivididas em cinco etapas:

3.3.1) *Confecção de seções delgadas*

Para o estudo petrográfico das amostras de arenito, realizou-se impregnação prévia, utilizando-se de resina colorida para diferenciar os poros originais e os poros produzidos pelo processo de laminação. A impregnação foi feita em impregnador a vácuo Struers Epovac.

Inicialmente, as amostras foram reduzidas ao tamanho de aproximadamente 1cm³, para caberem nos recipientes de borracha apropriados à câmara de vácuo (frascos Struers de 30 mm de diâmetro). Em seguida, as amostras foram acondicionadas em estufa, por 24 horas, para retirada da umidade.

A mistura utilizada como meio impregnante foi então preparada nas seguintes proporções: 50 ml de resina Epoxiglass 1204 (XGY 1109), 5 ml de endurecedor Epoxiglass, 3,5 ml de álcool etílico (C₂H₆O) e 0,5 g de corante azul de Orasol.

A amostra foi introduzida na câmara de vácuo do impregnador, acondicionada dentro do frasco de borracha. Após cerca de 30 minutos de vácuo, deu-se início ao gotejamento da mistura de impregnação.

A velocidade de gotejamento mais eficiente para o equipamento utilizado foi de aproximadamente 1 gota/s. Durante esse processo, cuidou-se para que as gotas caíssem ao lado da amostra, e nunca sobre ela, pois isto dificultaria a saída do ar contido nos poros da amostra, e impediria a penetração efetiva da resina.

Após o término do processo, a amostra impregnada foi deixada por aproximadamente uma hora no vácuo, para só então ser acondicionada na estufa. Após cerca de 24 horas, a amostra, já endurecida, foi extraída do frasco de borracha, para ser submetida aos procedimentos de corte e laminação.

Para cada amostra petrográfica impregnada, foi confeccionada uma lâmina com lamínula, para descrição ao microscópio petrográfico, e outra, sem lamínula, para estudos ao microscópio eletrônico de varredura.

3.3.2) *Análise petrográfica*

A análise petrográfica foi realizada em 35 lâminas delgadas de 30 µm de espessura, impregnadas previamente. O equipamento utilizado foi o microscópio petrográfico Axioplan 2 – Zeiss do Laboratório de Petrografia Sedimentar do IG-USP. Para descrição das lâminas foi seguida uma seqüência lógica sugerida por Giannini (2000), cuja finalidade é disciplinar a análise da amostra, do geral ao particular, das feições deposicionais para as diagenéticas e dos aspectos descritivos para os interpretativos. Esta seqüência pode ser dividida em dez passos principais:

- a) Descrição mesoscópica sucinta, com destaque para cor, grau de alteração e estruturas sedimentares.
- b) Estimativa modal percentual de componentes petrográficos deposicionais (arcabouço e matriz) e diagenéticos (cimento e porosidade secundária).
- c) Descrição dos aspectos deposicionais do arcabouço, isto é, mineralogia, textura e petrotrama. No estudo da textura, procura-se avaliar a granulação modal, o desvio-padrão e o grau de seleção granulométricos, de acordo com a tabela de estimativa visual de Pettijohn *et al.* (1973), e os parâmetros de forma (esfericidade e arredondamento) segundo a escala de Powers (1953). No estudo da petrotrama, atenta-se para orientação, imbricação e empacotamento, bem como para segregação granular gerada por diferenças de textura, mineralogia ou pelo arranjo espacial.
- d) Descrição da matriz, incluindo mineralogia e textura, e identificação de matriz falsa (pseudo e epimatriz), seguindo critérios de Dott Jr. (1964) e Dickinson (1970).
- e) Descrição da mineralogia e textura do cimento, com indicação de possíveis gerações de cimentos.
- f) Descrição de tipos de contato intergranular e de feições de quebra ou deformação de grãos, e avaliação de seu significado enquanto indícios de compactação química e mecânica, respectivamente.
- g) Descrição do tipo de porosidade secundária, quanto a forma e arranjo espacial, segundo a classificação de Choquette & Pray (1970).
- h) Avaliação da maturidade mineralógica do arenito, segundo classificação de Folk (1968).
- i) Avaliação da maturidade textural do arenito, segundo o critério triplo escalonado de Folk (1968).
- j) Classificação petrográfica da rocha segundo Dott Jr. (1964).

Para uma melhor orientação e padronização das observações, toda a descrição petrográfica foi realizada com o auxílio de fichas-formulário, individuais por amostra, cujos resultados estão esquematizados na forma de quadros-síntese (Anexo 3).

Este estudo serviu também para a captação de imagens petrográficas e seleção de amostras a serem detalhadas textural e quimicamente ao sistema MEV-EED (microscopia eletrônica de varredura com espectrometria de energia dispersiva).

3.3.3) *Análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) com espectrometria de energia dispersiva (EED)*

A análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) com espectrometria de energia dispersiva (EED) foi realizada no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do IG-USP.

O processo de preparação consiste na colagem da amostra ao *stub* (disco porta-amostra) por uma fita de carbono e recobrimento por película deste elemento ou de ouro. Os detectores

utilizados são: elétrons secundários (SE1) e retroespalhados (QBSD), cujas finalidades são, respectivamente, caracterizar as superfícies de micro-relevo e distinguir áreas com diferentes pesos atômicos médios. Utiliza-se também de um detector de espectrometria de energia dispersiva, capacitado à realização de microanálises químicas qualitativas e semiquantitativas, estas apenas no caso de amostras serem planas (lâminas).

3.3.4) *Difratometria de raio-x*

As amostras mineralógicas sofreram desagregação prévia, com auxílio de agulha de aço e foram separadas na lupa estereoscópica. Em seguida, os concentrados foram moídos em almofariz de ágata e encaminhadas ao laboratório de difratometria de raio-x.

No laboratório, as amostras pulverizadas foram prensadas entre duas lâminas, até que o material ficasse aderido a uma delas. A lâmina com amostra aderida foi então submetida ao difratômetro Siemens 5000 para obtenção dos difratogramas. Posteriormente, com os dados já obtidos, foram realizadas sessões de interpretação para esses dados, com auxílio do programa EVA, a fim de determinar as distâncias interplanares diagnósticas dos minerais presentes em concentração superior a aproximadamente 5%.

4) DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O presente projeto iniciou-se efetivamente no mês de março de 2003, e o encerramento das atividades está previsto para dezembro do mesmo ano, com a apresentação oral dos resultados e das conclusões obtidas durante o projeto.

Foi entregue um relatório parcial no mês de Agosto, a fim de relatar as atividades desenvolvidas durante os primeiros cinco meses. Sendo assim, a apresentação do andamento das atividades é aqui dividida em duas fases: antes e depois do relatório parcial.

Na primeira fase, foram realizadas revisão bibliográfica e os levantamentos de campo. Iniciaram-se as análises petrográficas ao microscópio óptico e ao MEV, além da preparação das amostras para difratometria de raio-x. Nos últimos meses, continuaram-se as análises petrográficas ao microscópio óptico e ao MEV e realizaram-se análises de amostras mineralógicas por difratometria de raio-x.

As atividades de campo ocorreram entre os dias 21 e 25 de abril de 2003. Realizou-se descrição detalhada de cada afloramento, com amostragem sistemática, na qual, para cada afloramento, procurou-se coletar amostras de diferentes fácies e estágios de erosão.

No total, coletaram-se 51 amostras, sendo 38 petrográficas (12 do Sumidouro do rio Quebra-Perna; 3 do Buraco do Padre; 23 do *Canyon* do Guartelá) e 13 mineralógicas (9 do Sumidouro do rio Quebra-Perna; 2 do Buraco do Padre; 2 do *Canyon* do Guartelá).

Dessas amostras, 17 foram impregnadas e analisadas ao microscópio óptico antes de Agosto e as 18 restantes, depois.

Realizaram-se, no total, seis sessões ao MEV, três antes e três depois do primeiro relatório. Nas três primeiras, enfatizaram-se as incrustações do arenito, tendo sido analisadas por essa razão nove amostras mineralógicas e apenas uma petrográfica. Já nas três últimas, as amostras analisadas eram todas petrográficas.

A tabela 1 apresenta o cronograma das atividades desenvolvidas:

Tabela 1: Cronograma de atividades atualizadas X refere-se às atividades realizadas

ATIVIDADES	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1. Revisão bibliográfica	X		X	X	X	X				
2. Análise petrográfica	X	X		X	X	X	X	X		
3. Microanálise química e morfológica ao MEV/EED			X		X	X	X	X		
4. Atividades de campo		X								
5. Confeção de lâminas delgadas			X	X		X	X			
6. Difractometria de raio-x			X	X	X	X				
7. Redação de relatórios				X	X	X		X	X	
8. Preparação da apresentação oral									X	X
9. Apresentação oral e defesa										X

5) RESULTADOS OBTIDOS

5.1) Revisão bibliográfica

O Estado do Paraná apresenta relevo onde se destacam planaltos escalonados com caimento para oeste-noroeste, separados por escarpas que formam verdadeiros degraus topográficos verticalizados. De leste para oeste, tem-se a Planície Costeira, a Serra do Mar, o Primeiro Planalto Paranaense, a Escarpa Devoniana, o Segundo Planalto Paranaense, a Serra Geral e, finalmente, o Terceiro Planalto Paranaense, o qual se estende às margens do rio Paraná (Figura 2).

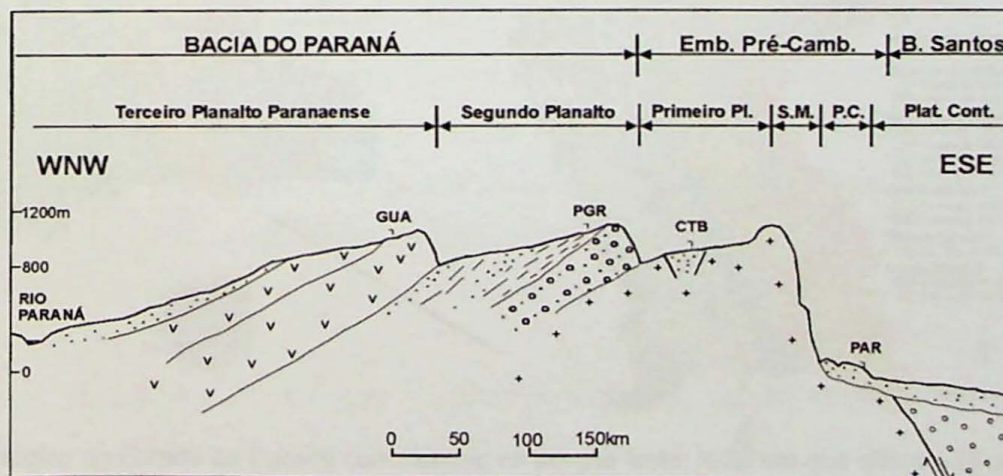


Figura 2: Seção esquemática do Estado do Paraná mostrando a estrutura geológica do relevo. PAR: Paranaguá; CTB: Curitiba; PGR: Ponta Grossa, GUA: Guarapuava; S.M.: Serra do Mar; P.C.: Planície Costeira. (Melo, 2002).

Na porção leste do Segundo Planalto Paranaense, situam-se os Campos Gerais, cuja definição original foi dada por Maack (1948), como uma região fitogeográfica, compreendendo campos limpos com capões e matas ciliares de florestas de Araucária (Melo *et al.*, 2000). Estes campos constituem vegetação reliquiar de épocas mais secas do Quaternário (Maack, 1948), provavelmente associadas a um baixo nível relativo do mar (Bigarella, 1964). Estudos biogeográficos e palinológicos permitem interpretar que a vegetação de campos é um relictos de clima mais frio e seco, e essas condições climáticas impossibilitariam a expansão de florestas de Araucária, cuja preferência é para clima frio e úmido, sem estação seca pronunciada (Behling, 1997). A preservação dos campos ocorre em função de alguns fatores, como solos pobres em nutrientes, rasos e arenosos e do isolamento imposto pela barreira geomorfológica representada pela Escarpa Devoniana (Melo, 2002).

O Arco de Ponta Grossa é uma importante estrutura de direção NW-SE, que marcou profundamente a geologia e a geomorfologia ímpares do Estado do Paraná, sem paralelo no Brasil. Ele é o responsável por algumas das feições geológicas e geomorfológicas mais notáveis do flanco leste da Bacia do Paraná, e por marcante estruturação dos arenitos por fraturas, falhas e diques, que influenciam os processos erosivos e o fluxo de água subterrânea (Melo, 2002).

5.1.1.) Formação Furnas

A Formação Furnas corresponde à unidade basal do Grupo Paraná (Lange & Petri, 1967), e, no Estado do Paraná, aflora na porção leste (Figura 3).

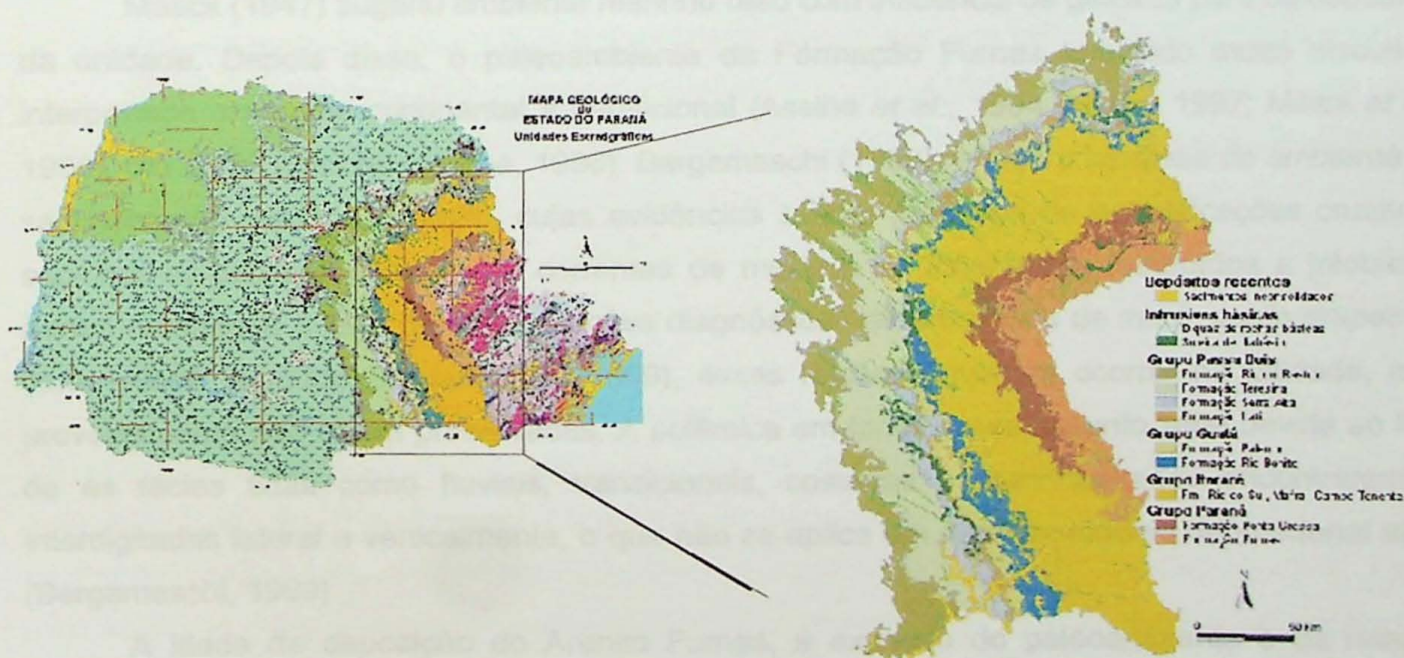


Figura 3: Mapa geológico do Estado do Paraná com detalhe na porção leste, local em que aflora o Grupo Paraná (Adaptação de MINEROPAR, 1989)

A primeira publicação científica conhecida sobre as rochas da formação estudada é de Derby (1878 *apud* Bergamaschi, 1999). O nome "Furnas" é atribuído a Clarke (1913 *apud* Bigarella *et al.*, 1966).

Trata-se de uma unidade arenosa na área estudada com espessura máxima entre 250 e 300 m (Maack, 1970; Assine, 1996). Nos estados do Paraná e São Paulo, aflora numa área de 4290 km² (Maack, 1947). Segundo Bigarella *et al.* (1961), o Arenito Furnas apresenta contatos discordantes com o embasamento, e abrupto com os estratos basais da Formação Ponta Grossa. Esta segunda idéia contraria a maioria dos autores, como Lange & Petri (1967) e Assine (1996), segundo os quais o aumento de ocorrência das intercalações de camadas pelíticas na porção superior do Arenito Furnas delineia um padrão de transição gradual com os folhelhos da Formação Ponta Grossa sobreposta.

A Formação Furnas é uma unidade homogênea, composta basicamente por quartzoarenitos de coloração branca, com granulometria entre areia média e areia grossa e cimento caulínico. Apresenta-se disposta em camadas bem marcadas com espessuras de 0,5 a 5,0 m e geometria tabular, lenticular e cuneiforme. A estrutura sedimentar sindeposicional mais marcante é a estratificação cruzada planar, tangencial na base ou acanalada (Assine, 1996).

O Arenito Furnas é separado em três unidades (Assine, 1996). Ocorrem, na unidade inferior, intercalações métricas de conglomerados e arenitos conglomeráticos quartzosos, com concentração de seixos e calhaus. A unidade intermediária apresenta laminações heterolíticas em meio a arenito fino a grosso, enquanto a unidade superior corresponde a arenito médio a muito grosso, que além das intercalações com as camadas pelíticas, apresenta depósitos residuais de seixos e calhaus.

Maack (1947) sugeriu ambiente marinho raso com influência de geleiras para os depósitos da unidade. Depois disso, o paleoambiente da Formação Furnas tem sido muito discutido, interpretado ora como continental a transicional (Assine *et al.*, 1994; Milani, 1997; Milani *et al.*, 1998), ora como marinho (Assine, 1996). Bergamaschi (1999) reforça a hipótese de ambiente de sedimentação marinho costeiro, cujas evidências seriam presença de estratificações cruzadas espinhas-de-peixe (formadas por correntes de maré) e de icnofósseis (atribuídos a trilobitas), porém reconhece a falta de outras feições diagnósticas de processos de maré, como *drapes* de lama. Ainda segundo Bergamaschi (1999), essas feições deveriam ocorrer na unidade, mas provavelmente não foram preservadas. A polêmica em torno desse assunto seria devida ao fato de as fácies tidas como fluviais, transicionais, costeiras e marinhas-rasas encontrarem-se interdigitadas lateral e verticalmente, o que não se aplica em nenhum modelo deposicional atual (Bergamaschi, 1999).

A idade de deposição do Arenito Furnas, a exemplo do paleoambiente e da relação estratigráfica com a Formação Ponta Grossa, é outro assunto ainda polêmico nos dias atuais, existindo incertezas se o período corresponderia ao Siluriano ou Devoniano. O anexo 1 corresponde ao quadro organizado por Bergamaschi (1999), com uma síntese bibliográfica quanto

aos aspectos de paleoambiente, relação estratigráfica com a Formação Ponta Grossa e idade de deposição da Formação Furnas.

5.1.2.) Erosão na Formação Furnas

As estruturações do Arenito Furnas, tanto de origem sedimentar quanto tectônica, têm determinado seu comportamento como aquífero estrutural, com vazões muito variadas (Maack, 1970), que dependem da presença de descontinuidades mais que da porosidade intergranular. Por outro lado, a percolação controlada pelas estruturas determina a ocorrência dos processos erosivos subterrâneos formadores das feições de relevo típicas da região, como furnas, lagoas, depressões, sumidouros, cavernas e fendas (Melo, 2002).

A origem das furnas é um assunto polêmico. Maack (1946) supôs sua formação a partir da decomposição dos calcários da *Série Açungui*, enquanto Oliveira (1927 *apud* Melo *et al.*, 2000) considerou que as furnas são resultantes da erosão mecânica pelas águas subterrâneas em profundidade. Maack (1946) considerou que as grutas subterrâneas também podem ser decorrentes da remoção de “massas de caolim” pelas águas subterrâneas na base do Arenito Furnas.

Le Bret (1974) afirmou que o Arenito Furnas é muito pouco permeável, não sendo possível a ocorrência de erosão e dissolução, e que a geração das formas de relevo, como furnas, deveria estar relacionada às cavernas de dissolução dos calcários no embasamento.

Somente nos anos 80 (Maack, 1981), começou a ganhar destaque a suposição de que a origem das feições estaria relacionada diretamente à erosão e dissolução da Formação Furnas. Soares (1989) discutiu a origem das furnas e concordou com a suposição de Maack (1981), porém atribuiu à erosão mecânica pela água maior importância em relação à dissolução química.

Soares & Rebello (1991) observaram que a composição da água da Lagoa Dourada, depressão formada sobre o Arenito Furnas (Melo *et al.*, 2000), não chega a caracterizar existência de águas duras, concluindo que não deveria haver ligação das feições de erosão da Formação Furnas com o calcário subjacente. Afirmaram também que, devido ao baixo teor de sílica encontrado, não seria possível admitir que a dissolução de minerais silicáticos fosse o principal processo gerador da depressão.

Wray (1997) afirma que a partir da remoção de cimento silicático de arenitos por dissolução química, seria possível desagregar grandes blocos de arenito apenas com a pressão da mão. Essa dissolução da sílica pode ocorrer em função de diversos fatores, como clima, forma cristalina da sílica, presença de elementos reativos, pH e temperatura da solução. Cita também que a percolação de água ao longo dos arenitos pode resultar em grandes fissuras, formas ruiniformes (quando a percolação ocorre em condições subaéreas), feições cársticas, inclusive com formações de espeleotemas, alvéolos, canais de drenagens e painéis, características encontradas no Arenito Furnas.

5.1.3.) Petrografia do Arenito Furnas

Giannini (2002) observou que os arenitos do *Canyon* do Guartelá e do Sumidouro do rio Quebra-Perna apresentam entre 70 e 80% de arcabouço, 10 a 20 % de cimento e 5 a 10% de poros. A composição mineralógica do arcabouço é caracterizada pelo predomínio de quartzo (>95% em volume), quase exclusivamente monocristalino, e pela presença constante de palhetas de muscovita e/ou fragmentos líticos de muscovita xisto. Bigarella *et al.* (1966) observaram feldspato, cujo teor é variável, e algumas vezes até desprezível. De Ros (1998) afirma que o feldspato é predominantemente potássico (microclínio), sendo rara a albita. A granulometria do arcabouço varia entre areia fina e areia grossa (Bigarella *et al.*, 1966; Giannini, 2002), e em algumas amostras atinge areia muito grossa.

Ainda segundo Giannini (2002), a textura caracteriza-se por seleção granulométrica moderada a boa, alta esfericidade e baixo arredondamento. Segundo De Ros (1998), o arredondamento original dos grãos de quartzo não pode ser identificado, uma vez que a forte dissolução por pressão a que foram expostos modificou sua forma através da reprecipitação e do crescimento secundário.

Os componentes mineralógicos mais comuns do cimento são os de aspecto ferruginoso, interpretados como óxidos e/ou hidróxidos de ferro (5 a 10 %) e a caulinita (70 a 95%). Os tipos predominantes de porosidade são o intergranular alongado e o intercrystalino em meio ao cimento caulinitico. As rochas foram consideradas como texturalmente submaturas a maduras e mineralogicamente supermaturas, e classificadas como quartzo-arenitos. Análises por difratometria de raios x detectaram quartzo, caulinita e mineral do grupo da crandalita, formado por alumino-fosfatos hidratados de cálcio (Giannini, 2002).

Quanto às relações entre a distribuição das feições diagenéticas (cimentos e porosidades secundárias) e as formas superficiais de alteração (crostas, manchas, alvéolos e nódulos), Giannini (2002) cita quatro hipóteses:

- 1) As manchas e alvéolos seriam decorrentes da distribuição heterogênea de dois tipos de textura encontrados no cimento caulinitico.
- 2) As manchas e alvéolos seriam determinados pela distribuição heterogênea do cimento ferruginoso.
- 3) As formas de alteração superficial estariam relacionadas à presença de cimentos fibro-lamelares de composição não-identificada.
- 4) O principal fator controlador da percolação heterogênea da água, e da conseqüente produção de manchas brancas e alvéolos, seria a porosidade intergranular.

Os arenitos da Formação Furnas caracterizam-se por evolução complexa, envolvendo decomposição dos feldspatos, cimentação caulinitica, neoformação de illita e quartzo, e posterior corrosão de quartzo (Ramos & Formoso, 1975; Melo, 1999; Melo *et al.*, 1999; Giannini, 2002). De Ros (1998) observou distribuição heterogênea de caulinitização e ilitização, que estaria associada

à percolação de fluidos quentes através de fraturas durante o magmatismo do Arco de Ponta Grossa. A idade da illita, obtida através do método K/Ar, coincide com a idade do magmatismo. Cita como origem da caulinita a substituição da mica, do feldspato e da pseudomatriz. A illita ocorre como agregados de cristais lamelares, substituindo caulinita vermicular, micas e feldspato. Ainda segundo De Ros (1998), os principais minerais acessórios diagenéticos encontrados no Arenito Furnas são: rutilo, anatásio, leucoxênio, hematita e turmalina.

5.2) Atividades de campo

Foram visitados no total 12 afloramentos, incluindo a revisão de dois pontos visitados na etapa relatada por Giannini (2002). Quatro afloramentos situam-se no Sumidouro do rio Quebra-Perna, dois na área do Buraco do Padre e seis no *Canyon* do Guartelá. A Tabela 2 apresenta os pontos e suas coordenadas UTM.

Tabela 2: dados dos afloramentos. Petro = amostras petrográficas; Min = amostras mineralógicas.

Ponto	Tipo de afloramento	Coordenada N	Coordenada E	Quantidade de amostras
SU.01	Lapa	0603523	7211723	1 Petro
SU.05	Lapa	-	-	6 Petro, 5 Min
SU.06	Lapa	0603604	7211822	3 Petro, 3 Min
SU.07	Parede	0603569	7211804	2 Petro, 1 Min
BP.01	Furna	0603981	7215659	1 Min
BP.02	Parede	0604067	7215655	3 Petro, 1 Min
GU.02	Lapa	0576032	7282636	2 Min
GU.05	Parede	0575770	7283163	9 Petro
GU.06	"Garganta"	0576062	7282722	3 Petro
GU.07	Lapa	0576514	7282029	-
GU.08	Lapa	576804	7281739	5 Petro
GU.09	Lapa	0576889	7281768	6 Petro

A nomenclatura dos afloramentos das amostras foi dada através das seguintes siglas: SU, BP e GU, para referir-se respectivamente às três áreas de coleta: Sumidouro do rio Quebra-Perna, Buraco do Padre e *Canyon* do Guartelá. Buraco do Padre é uma furna situada próximo ao Sumidouro e recebe o rio Quebra-Pedra, afluente da margem direita do rio Quebra-Perna. Adotou-se sigla diferente por se tratar de um local muito conhecido dentro da região estudada e com ótimas exposições do Arenito Furnas.

Por se tratar da continuidade do projeto relatado por Melo (2002) e Giannini (2002), optou-se por manter, além da nomenclatura, a numeração dos pontos adotada naqueles trabalhos, que assim foi reiniciada no número 05, tanto na região do Sumidouro do rio Quebra-Perna, como na do *Canyon* do Guartelá. Os pontos SU.01 e GU.02 daquele estudo foram revistos na etapa de campo do presente projeto.

As Figuras 4 e 5 ilustram os locais em que os afloramentos foram visitados, as quais é possível, além de situá-los, observar a geologia regional e estruturas próximas.

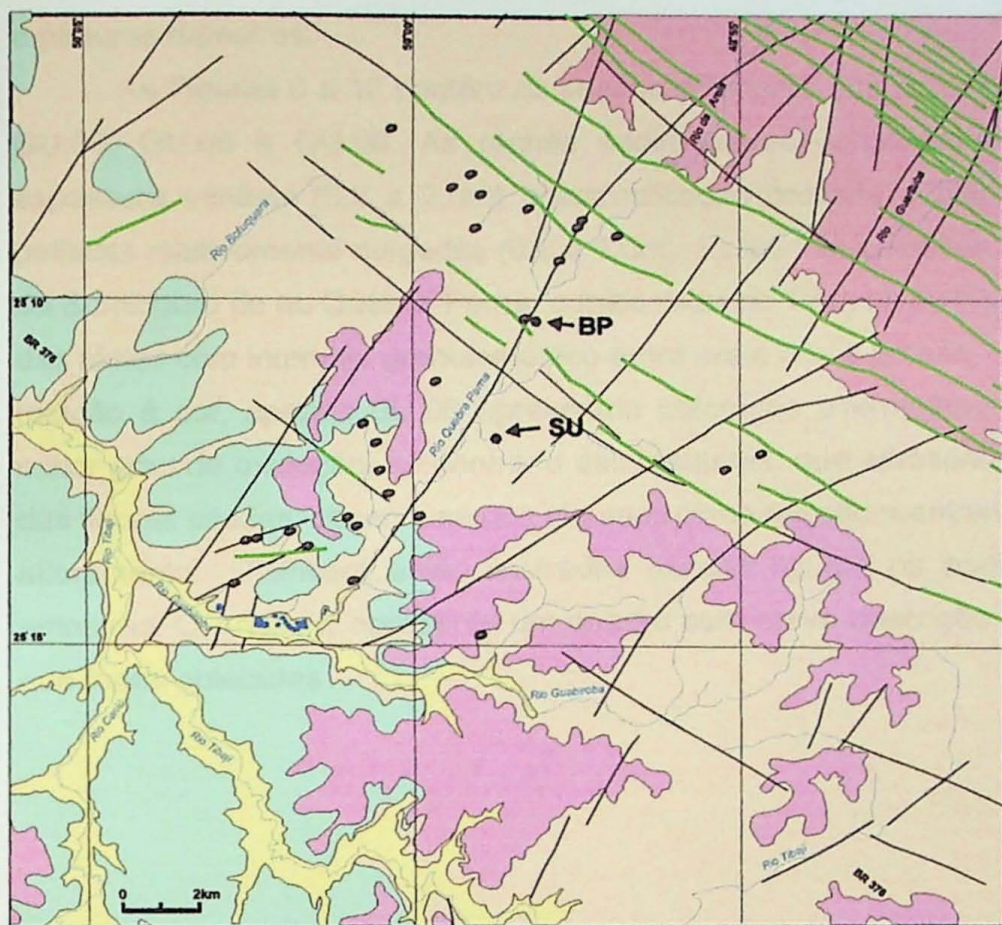


Figura 4: Detalhe da geologia regional na área do Sumidouro do rio Quebra-Perna e do Buraco do Padre. 1- aluviões quaternários; 2- diques de diabásio; 3- Grupo Itararé; 4- Formação Ponta Grossa; 5- Formação Furnas; 6- embasamento; 7- principais estruturas (falhas, fraturas e fendas); 8- rios e lagos; 9- área do Buraco do Padre; 10- região do Sumidouro do Quebra-Perna. (Adaptado de Melo *et al.*, 2000)

1 2 3 4 5 6 7 8 BP 9 SU 10

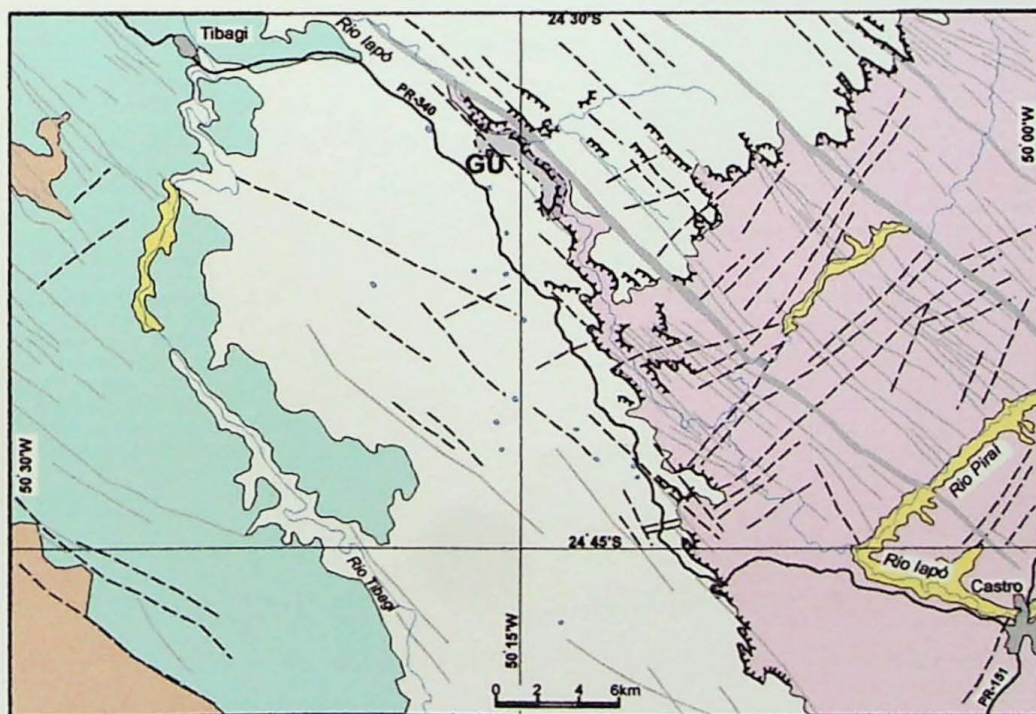


Figura 5: Geologia da região do Canyon do Guartelá. 1: Embasamento proterozóico a ordoviciano; 2: Formação Furnas; 3: Formação Ponta Grossa; 4: Grupo Itararé; 5: diques de diabásio e rochas filiadas; 6: sedimentos aluviais quaternários; 7: principais estruturas (falhas, fraturas); 8: escarpas; 9: lagoas fechadas; 10: sede e perímetro do Parque Estadual do Guartelá (Adaptado de Melo, 2002a).

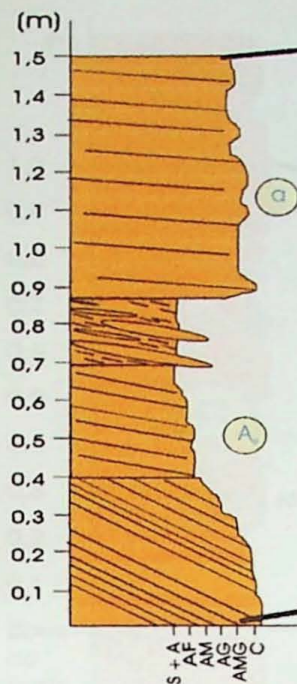
1 2 3 4 5 6 7 8 9 GU 10

Para alguns afloramentos, foi possível diferenciar fácies e construir seções colunares, enquanto para outros, a ênfase foi dada a aspectos mais específicos, como incrustações, alvéolos e pinturas rupestres.

As Figuras 6 a 12 contêm as seções colunares dos pontos SU.01, SU.05, SU.06, GU.05, GU.06, GU.08 e GU.09. As rochas sedimentares consistem em camadas de arenito com espessura variável (0,2 a 2,0m) e estratificação cruzada e plano-paralela, com intercalações pelíticas relativamente delgadas (0,2 a 1,0m). Essas intercalações são mais freqüentes na região do Sumidouro do rio Quebra-Perna, e mais raras no *Canyon* do Guartelá. Observa-se predomínio das fácies com intervalo granulométrico entre areia fina e grossa, com moda em areia média. Em relação à cor, apenas SU.06 apresentou coloração avermelhada, provavelmente associada a maior grau de oxidação, ao contrário das restantes, que apresentaram cor amarelada. Nas fotos das figuras citadas, observa-se que algumas camadas são reentrantes em relação as restantes do afloramento. Também estão ilustrados nessas figuras os pontos em que houve coleta de amostras. O Anexo 2 apresenta um quadro com breve descrição das amostras e dos locais em que foram coletadas.

Seção colunar

Amostras coletadas



SU.01D

SU.01C

SU.01B

SU.01A



Figura 6: Seção colunar e foto do ponto SU.01, região do Sumidouro do rio Quebra-Perna.

S+A= silte + argila; AF= areia fina; AM= areia média; AG= areia grossa; AMG= areia muito grossa; C= conglomerado.

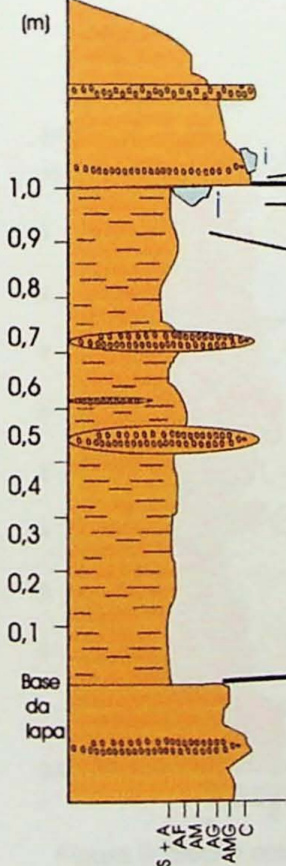
⊙ = presença de alvéolos distribuídos aleatoriamente

⊙ = presença de alvéolos paralelos às estratificações cruzadas.

SU.01D = amostra petrográfica coletada.

Seção colunar

Amostras coletadas



SU.05ME

SU.05MD

SU.05MC

SU.05F

SU.05MB

SU.05MA

SU.05E

SU.05D

SU.05C

SU.05B

SU.05A



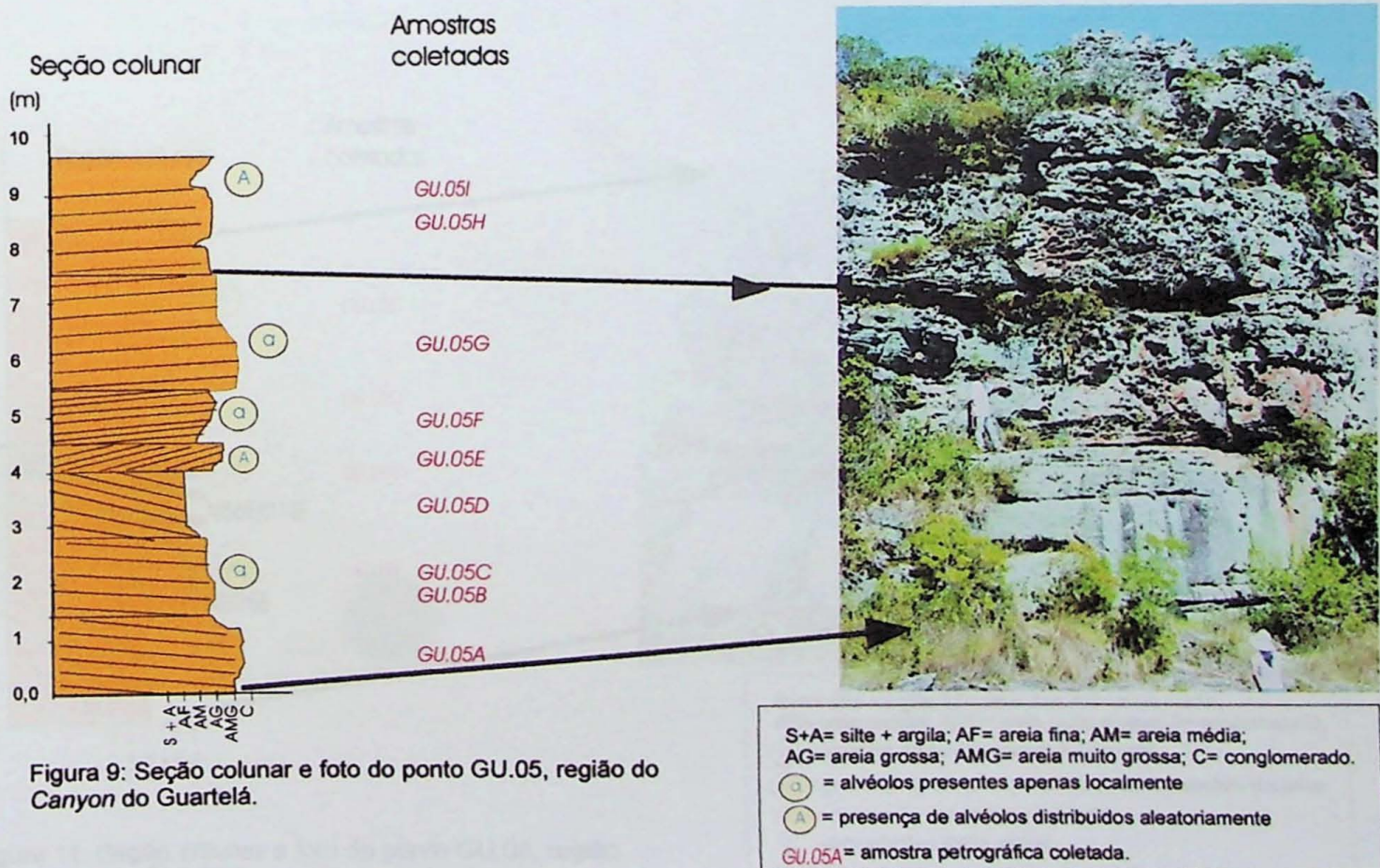
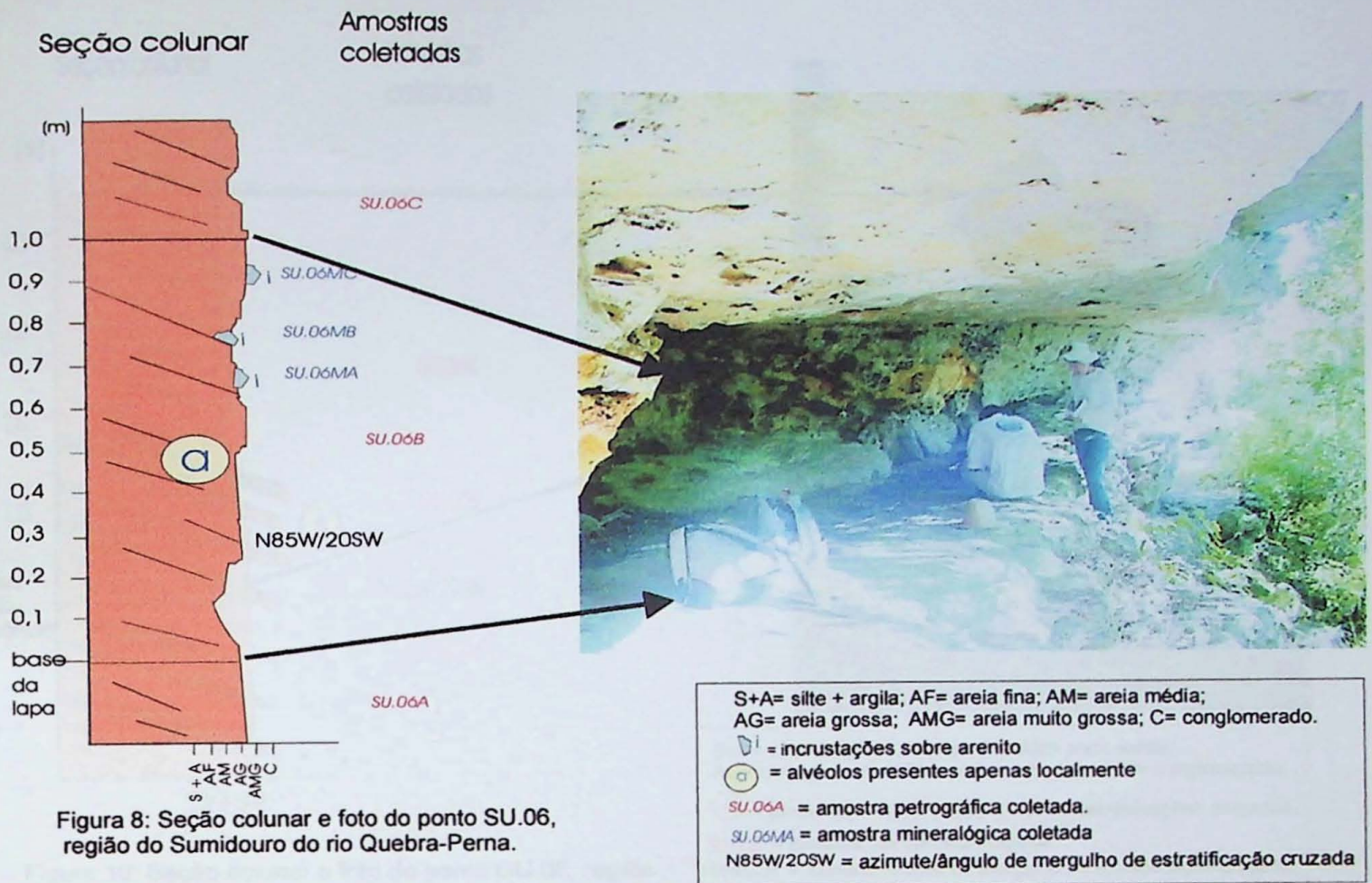
Figura 7: Seção colunar e foto do ponto SU.05, região do Sumidouro do rio Quebra-Perna.

S+A= silte + argila; AF= areia fina; AM= areia média; AG= areia grossa; AMG= areia muito grossa; C= conglomerado.

i = incrustações sobre arenito

SU.05A = amostra petrográfica coletada.

SU.05MA = amostra mineralógica coletada



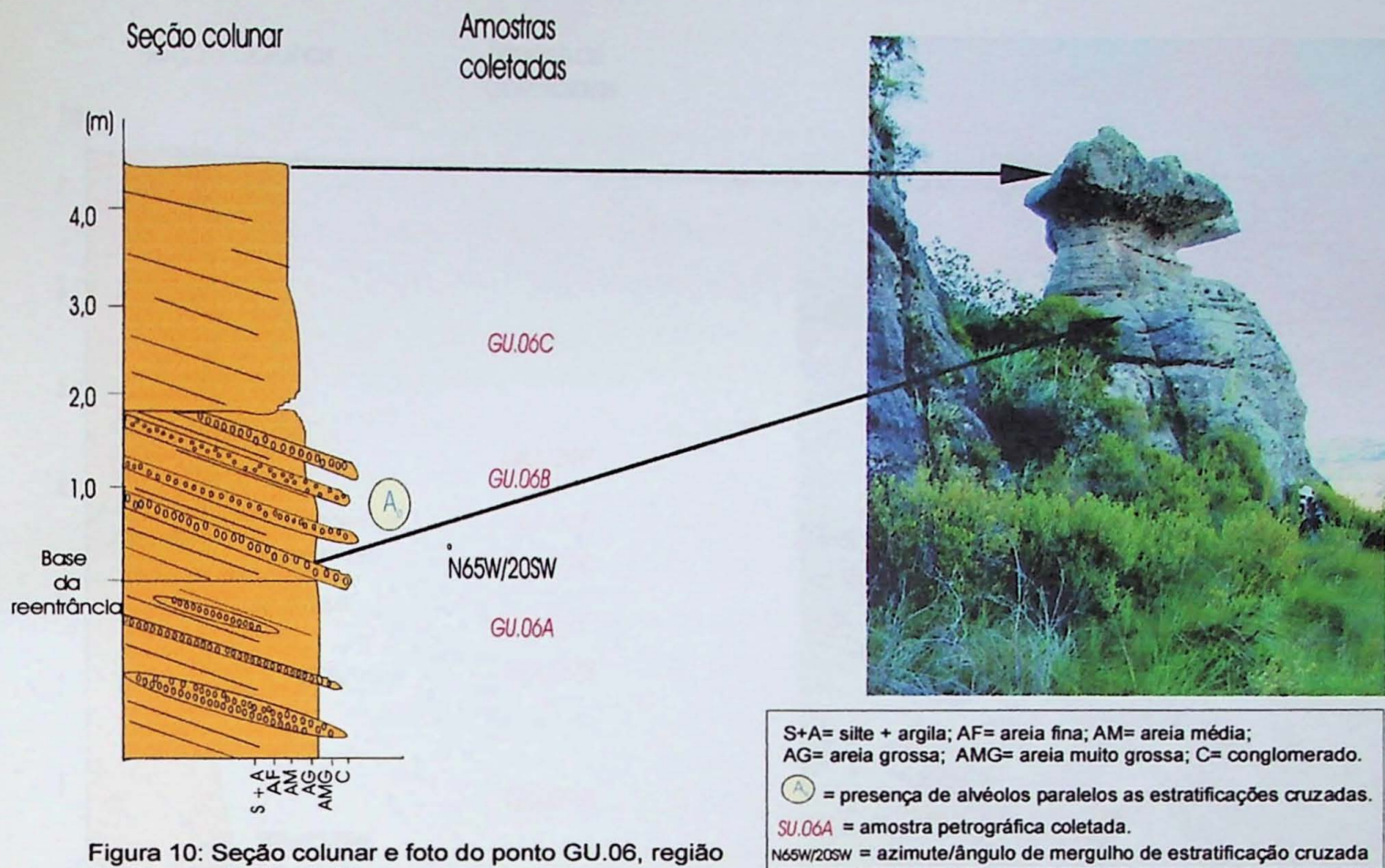


Figura 10: Seção colunar e foto do ponto GU.06, região do Canyon do Guartelá.

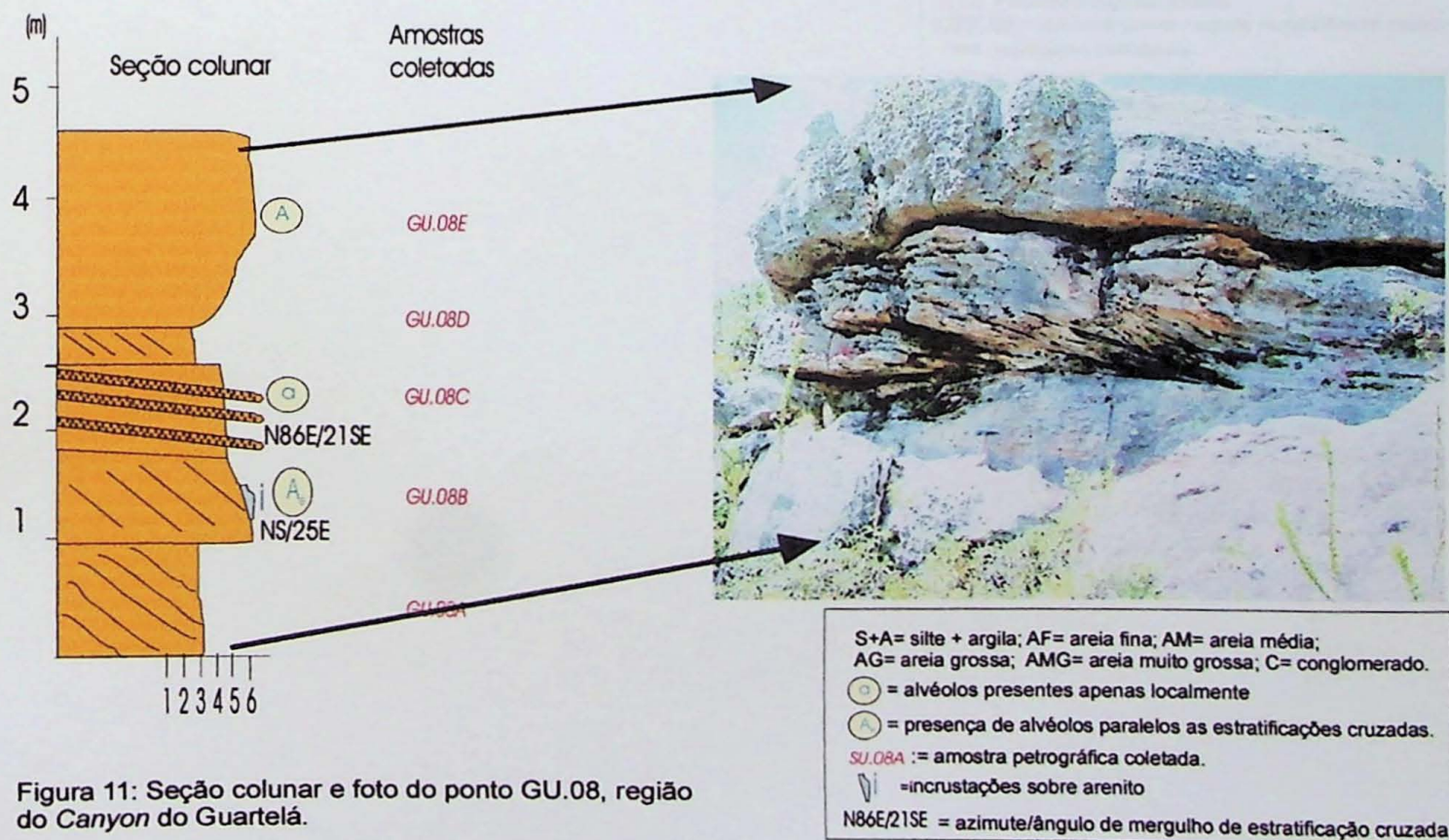
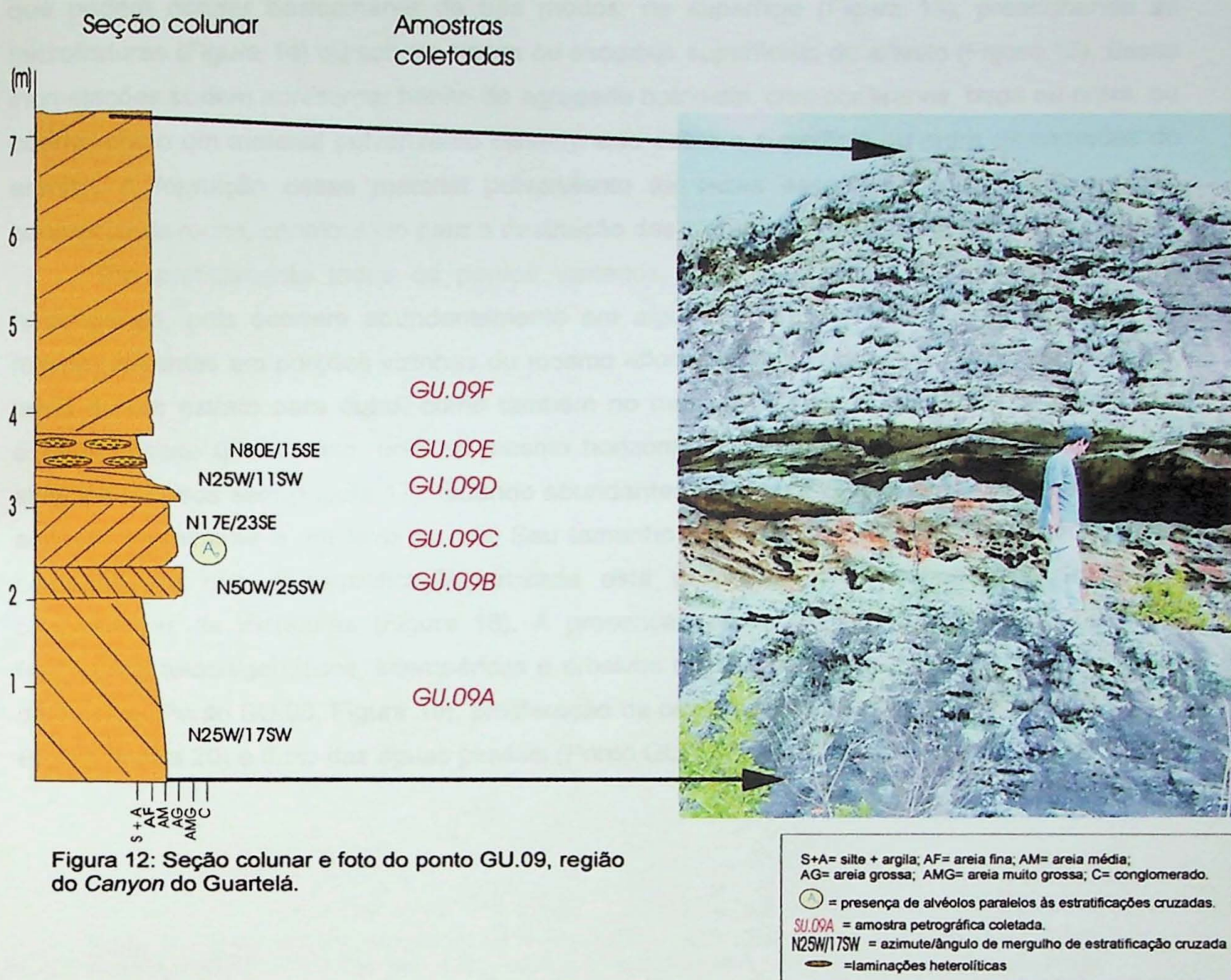


Figura 11: Seção colunar e foto do ponto GU.08, região do Canyon do Guartelá.



Notou-se a presença de material superficial em algumas fácies, na forma de incrustações que podem ocorrer basicamente de três modos: na superfície (Figura 13), preenchendo as microfraturas (Figura 14) ou sob as placas ou escamas superficiais do arenito (Figura 15). Essas incrustações podem apresentar hábito de agregado botrioidal, com cor branca, bege ou preta, ou ocorrer como um material pulverulento disseminado sobre a superfície ou entre as camadas do arenito. A formação desse material pulverulento às vezes associa-se com a descamação superficial da rocha, contribuindo para a destruição das pinturas rupestres (Figura 16).

Em praticamente todos os pontos visitados, existem alvéolos distribuídos de forma heterogênea, pois ocorrem abundantemente em algumas porções, tornando-se escassos ou mesmo ausentes em porções vizinhas do mesmo afloramento. A distribuição pode ser aleatória, tanto de um estrato para outro, como também no mesmo estrato. O ponto BP.02 é um bom exemplo desse último caso, pois no mesmo horizonte do arenito, existem locais com muitos alvéolos e outros sem (Figura 17). Quando abundantes, os alvéolos por vezes conferem à rocha aspecto semelhante a um favo de mel. Seu tamanho varia de milimétrico até decimétrico. Nas camadas em que a estratificação cruzada está presente, eles ocorrem freqüentemente concordantes às estruturas (Figura 18). A presença dessas feições é também associada a fenômenos telodiagenéticos, intempéricos e erosivos observados em campo, como perfurações de insetos (Ponto SU.06, Figura 19), proliferação de organismos, como musgos e líquens (Ponto BP.02, Figura 20) e fluxo das águas pluviais (Ponto GU.07, Figura 21).



Figura 13: Incrustação sobre o arenito, de coloração bege e hábito botrioidal. Ponto SU.05, amostra SU.05MA



Figura 14: Incrustação de material branco preenchendo microfraturas de arenito alterado. Ponto SU.06, amostra SU.06MB



Figura 15: Material pulverulento branco associado a processo de descamação do arenito, Ponto SU.05, amostra SU.05MD. Na imagem à direita, detalhe da destruição de pinturas rupestres pelo processo de descamamento no teto da Lapa Ponciano. Ponto GU.02.



Figura 16: À esquerda, pintura rupestre afetada parcialmente, início do processo de descamação, Ponto GU.02. À direita, pinturas rupestres preservadas, sem material pulverulento associado. Ponto GU.09 (Lapa Floriano).



Figura 17: Ilustração do ponto BP.02, onde foi possível observar em mesmo horizonte e fácies, porções com e sem alvéolos.



Figura 18: Alvéolos desenvolvidos paralelamente às estratificações cruzadas. Ponto GU.09



Figura 19: Alvéolos formados em arenito alterado, intensamente perfurado por ação bioêênica. Ponto SU.06. Amostra SU.06B.



Figura 20: Bordas de alvéolos com musgos associados. Ponto BP.02.



Figura 21: Alvéolos sobre pavimento sub-horizontal com fluxo laminar de água constante. Ponto GU.07. Detalhe dos alvéolos na foto à direita.

O ponto SU.07 corresponde a um paredão sub-vertical de arenito com intensa alveolização. Nota-se a freqüente presença de material pulverulento na forma de incrustações sobre o arenito. Observam-se, inclusive, alguns alvéolos preenchidos por material esbranquiçado (Figura 22).

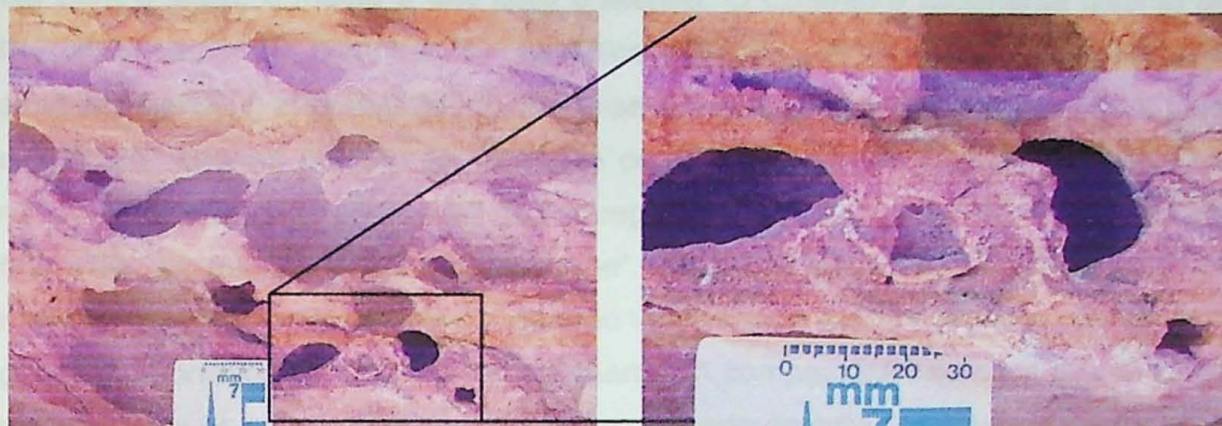


Figura 22: Alvéolo preenchido por material de cor branca. Ponto SU.07

O ponto BP.01 (Figura 23) corresponde à fuma do Buraco do Padre, e consiste em parede com camadas métricas do arenito, cujo acesso se faz através de uma fenda.



Figura 23: Ponto de estudo BP.01, na fuma denominada Buraco do Padre. Em primeiro plano, visualiza-se a queda do rio Quebra-Pedra e, ao fundo, o local de acesso (fenda).

5.3) Análise petrográfica

A análise petrográfica foi aplicada a um total de 35 lâminas. Dessas, nove são do Sumidouro do rio Quebra- Perna, três da região do Buraco do Padre e 23 do *Canyon* do Guartelá. Os resultados obtidos encontram-se na forma de quadro no Anexo 3.

Como já mencionado anteriormente, todas as amostras foram coletadas para investigar atributos petrológicos com possibilidade de influírem na formação de características erosivas do arenito. Em alguns casos, a ênfase foi dada à comparação petrográfica dos arenitos reentrantes em relação ao restante do afloramento. Em outros, o estudo foi voltado para a presença e/ou distribuição de alvéolos.

No ponto SU.05, correspondente a uma lapa (Figura 7), a ênfase foi dada às camadas reentrantes. A comparação das amostras estudadas neste ponto permite agrupá-las, com base na granulometria, em dois tipos: arenito médio a muito grosso, aflorante na base (SU.05A) e no topo

da lapa (SU.05F), e siltito (SU.05B e SU.05C) com algumas lentes arenosas (SU.05D), na reentrância da lapa. O arcabouço é composto basicamente por quartzo (90 a 97%) e muscovita (3 a 10%). As amostras apresentam boa seleção, exceto na lâmina SU.05D. A esfericidade é média a baixa para o siltito, e média a alta para o arenito. O cimento é facilmente distinto apenas no arenito, onde apresenta composição caulinitica e hábito vermiforme ou sanfonado. Em todas amostras coletadas no afloramento, observou-se cimento de quartzo sobrecrecido. Outro tipo de cimento ocorre apenas no teto da lapa. De composição não identificada, caracteriza-se pela ocorrência como agregado sacaroidal de cor bege e disposição nas bordas dos grãos. Para efeito de descrição, foi denominado "cimento bege". Os poros são caracterizados pela distribuição heterogênea. Compactação mecânica, quando verificada, é evidenciada por placas de muscovita alongadas e deformadas entre os grãos de quartzo. A compactação química é mais evidente onde os contatos entre os grãos são retos, e, mesmo quando os grãos não se tocam, todas as arestas se apresentam facetadas, indicando presença sistemática de sobrecrecimento de quartzo.

Na lapa do ponto SU.06 (Figura 8), foram coletadas as amostras SU.06A, SU.06B e SU.06C, que correspondem, respectivamente, à base, reentrância e ao teto da lapa. Em relação aos componentes, o arcabouço varia de 49 a 85%, sendo o restante representado pelo cimento (10 a 50%), cujo maior teor é referente à amostra SU.06B. O arcabouço é composto por quartzo, localmente com muscovita e traços de turmalina. O intervalo granulométrico situa-se entre areia grossa a muito grossa, esta última granulometria encontrada na amostra SU.06B. O arenito encontra-se moderadamente selecionado nos três locais de coleta, porém na amostra obtida no teto da lapa (SU.06C) nota-se que existe segregação granular. Os grãos apresentam esfericidade entre baixa e alta, este último caso na reentrância, e são subangulares a subarredondados. Apresentam empacotamento fechado. A compactação mecânica, quando presente, é evidenciada por placas de muscovita deformadas entre grãos de quartzo. Em relação ao cimento, todas apresentam cimento de quartzo sobrecrecido. Além disso, nota-se que cada amostra apresenta um tipo de cimento diferente: SU.06A apresenta o cimento bege, que ocorre como massa microcristalina sacaroidal; já SU.06B tem cimento de óxido/hidróxido de ferro, em meio a placas euédricas de caulinita; e SU.06C apresenta caulinita sanfonada, com porções periféricas compostas pelo "cimento bege".

No ponto BP.02 (Figura 17), foram coletadas amostras em três situações: nas bordas de alvéolos em área intensamente alveolizada (BP.02A), em provável alvéolo em estágio inicial (BP.02B), e em local sem alvéolo (BP.02C). As amostras correspondem a arenito médio a grosso, moderadamente a mal selecionado, composto basicamente por quartzo. O arcabouço corresponde a 85%, com poros e cimento variando entre 10 a 5%. Quanto à morfometria, BP.02A apresenta alta esfericidade e grãos subangulares a subarredondados, enquanto as outras duas amostras têm esfericidade média a baixa e grãos subarredondados. Observa-se segregação granular sutil e empacotamento fechado nas lâminas BP.02A e BP.02C. O cimento de caulinita, além do de quartzo sobrecrecido, está presente em todas as amostras desse ponto, com hábito

vermiforme bem desenvolvido. O cimento de óxido/hidróxido de ferro só não está presente na amostra BP.02C. Esta mesma amostra apresenta compactação mecânica melhor evidenciada, devido à presença de filossilicatos estirados e amassados entre os grãos de quartzo (Figura 24). Todas as amostras possuem, como características de compactação química, arestas facetadas e contatos retos entre os sobrecrescimentos de quartzo.

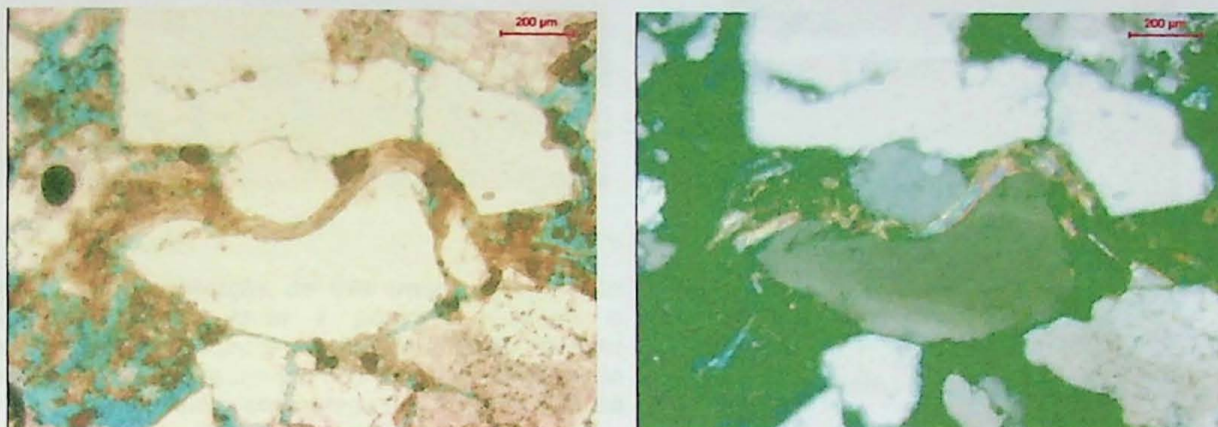


Figura 24: Plaquetas de muscovita amassadas e estiradas entre grãos de quartzo. Imagem à direita com nicóis cruzados. Lâmina BP.02C.

No ponto GU.05 (Figura 9), foram coletadas nove amostras, algumas localizadas na mesma camada, em pontos com ou sem alvéolos. O arcabouço compreende de 75 a 88% dos componentes, enquanto o cimento varia de 3 a 10% e os poros entre 2 e 5%, exceto nos locais com alvéolos, que chegam a apresentar até 15% de porosidade. Quartzo predomina no arcabouço (97 a 100%), com presença subordinada de muscovita. O intervalo granulométrico varia entre areia média e areia muito grossa, a esfericidade varia entre baixa e média, os grãos são subangulosos a subarredondados e o empacotamento é aberto. Mineralogicamente, estas amostras são classificadas como supermaturas, e texturalmente, como submaturas. A principal diferença observada entre pontos com e sem alvéolos é a maior proporção de poros, pior seleção granulométrica e empacotamento mais aberto nos primeiros. O cimento presente em todas as amostras é o de cor bege (Figura 25), o mesmo encontrado na lâmina SU.05F (do ponto SU.05), e o composição quartzosa, resultante do recrescimento dos grãos. A amostra GU.05E apresentou um cimento sacaroidal incolor, de ocorrência pontual entre alguns grãos de quartzo, desconhecido e não observado em nenhuma outra amostra. A presença de placas de muscovita amassadas entre os grãos de quartzo dá-se apenas nas amostras em que foi observada silicificação a olho nu, diferentemente do que ocorre no ponto SU.05, onde essa característica foi verificada em todas as amostras.

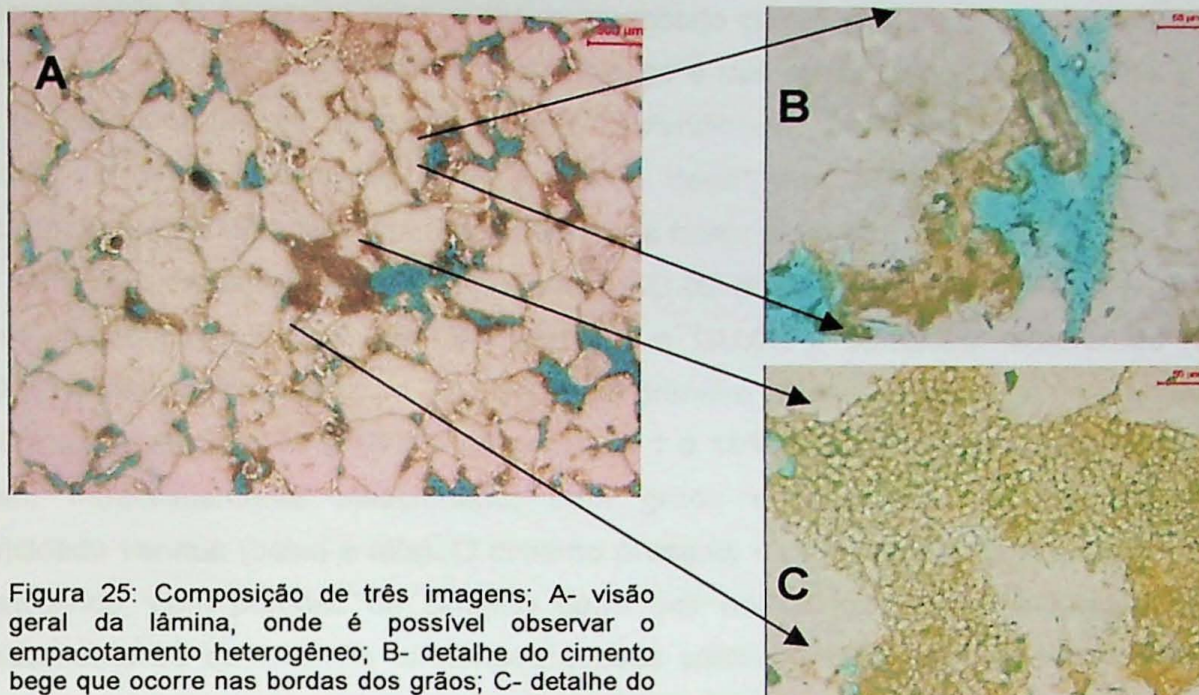


Figura 25: Composição de três imagens; A- visão geral da lâmina, onde é possível observar o empacotamento heterogêneo; B- detalhe do cimento bege que ocorre nas bordas dos grãos; C- detalhe do cimento de caulinita, em agregados vermiformes de placas euédricas. Amostra GU.05.

O afloramento GU.06 corresponde a feição erosiva marcante, semelhante a uma cabeça (saliência) sobre um pescoço (adelgaçamento), como pode ser observado na Figura 10. Para esse ponto, coletaram-se três amostras, base (GU.06A), adelgaçamento (GU.06B) e saliência (GU.06C), com o intuito de identificar possíveis fatores controladores desse adelgaçamento. O arcabouço corresponde de 75 a 85% dos componentes, o cimento varia de ausente a 5% e a porosidade de 18 a 20%. O arenito é grosso a muito grosso, com grânulos. Apresenta-se mal selecionado, com exceção da amostra SU.06A (seleção moderada). A esfericidade varia de baixa a alta, os grãos de quartzo são subangulosos a subarredondados, o empacotamento é aberto, e o cimento, além do sobrecrecimento de quartzo, quando presente, corresponde a caulinita sanfonada, localmente o "cimento bege".

O ponto GU.08 (Figura 11) corresponde à Lapa Floriano, na qual foram analisadas cinco amostras. As características de campo observadas permitem dividir estas amostras em três tipos: base, sem alvéolos e saliente (GU.08A), níveis com alvéolos (GU.08B. e GU.08E) e camadas reentrantes sem alvéolos (GU.08C e GU.08D). A base apresenta 85% de arcabouço, 10% cimento e 5% poros. No arcabouço, notam-se dois níveis granulométricos intercalados (grânulos e areia muito grossa), e cada um apresenta seleção mediana, ambos com esfericidade média e grãos subangulares. Além do crescimento secundário de quartzo, existem dois tipos de cimento presentes: caulinita de hábito sanfonado e óxido/hidróxido de ferro. Já os níveis com alvéolos apresentam entre 90 e 94% de arcabouço, 5 a 10% cimento e 1 a 10% de poros. O arcabouço apresenta-se muito mal selecionado, com intervalo granulométrico que varia de areia fina a grânulos. Quanto à morfometria, os grãos encontram-se com esfericidade baixa a média e subarredondados a subangulosos. O cimento presente corresponde ao crescimento secundário de quartzo e caulinita sanfonada, com níveis associados a óxido/hidróxido de ferro. Na amostra

correspondente às camadas reentrantes, o arcabouço corresponde a 80%, o cimento a 12% e a porosidade a 7% dos componentes. O arcabouço é mal selecionado (areia grossa a grânulos), com grãos subangulares de média a baixa esfericidade. O cimento presente corresponde a caulinita sanfonada intersticial e ao "cimento bege", em película ou intersticial, além do crescimento secundário do quartzo encontrado na maior parte das amostras.

As seis amostras coletadas no ponto GU.09 (Figura 12) podem ser divididas em três grupos: camadas salientes (GU.09A, GU.09B e GU.09F), camadas reentrantes (GU.09D e GU.09E) e camada com alvéolos (GU.09C). No primeiro grupo, o arcabouço corresponde a cerca de 85%, o cimento de 10 a 15% e os poros de 1 a 10% dos componentes. Trata-se de arenito grosso, moderadamente selecionado, com grãos subangulares a subarredondados de esfericidade variada (baixa a alta). O cimento presente é de caulinita, de hábito sanfonado bem desenvolvido, com porções de cimento bege nas bordas dos grãos e também observa-se recrescimento do quartzo. As diferenças dessas camadas com as reentrantes são que estas últimas apresentam intervalo granulométrico entre areia fina a muito grossa, são mal selecionadas e contêm maior porcentagem de cimento (entre 15 e 20%). A camada com alvéolos apresenta 90% de arcabouço, 5% de cimento e 5% de porosidade. Entretanto, o arenito é composto por grânulos (2,5 a 3,0 mm), apresenta seleção moderada e grãos de baixa esfericidade e subarredondados. Os tipos de cimento presente são: caulinita sanfonada intersticial, óxido de ferro nas bordas dos grãos e crescimento secundário dos grãos de quartzo.

A amostra GU.01 foi reanalisada, com ênfase no estudo do cimento de óxido de ferro. Essa amostra foi coletada por Giannini (2002) em um corpo tabular discordante, de espessura centimétrica, com aparência de dique clástico. O cimento ocorre em grande abundância na lâmina (50%) preenchendo os poros, tanto intergranulares como intercristalinos, em meio a caulinita sanfonada (Figura 26).

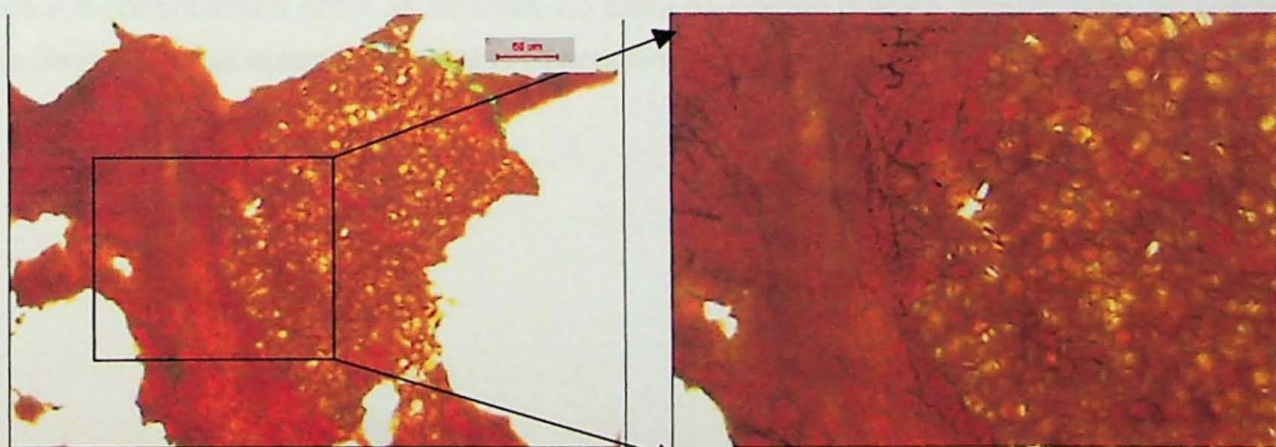


Figura 26: Cimento de óxido/hidróxido de ferro, englobando caulinita de hábito sanfonado. Amostra GU.01.

5.4) Análise ao microscópio eletrônico de varredura

As análises ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) foram aplicados aos dois tipos de amostras, petrográficas e mineralógicas. No total, foram realizadas seis sessões no decorrer do projeto, durante as quais foram estudadas nove amostras mineralógicas e oito amostras petrográficas.

5.4.1) Amostras mineralógicas

O estudo ao MEV para as amostras mineralógicas foi voltado para dois aspectos principais, morfologia e composição química. Essas amostras foram coletadas na superfície exposta do arenito, sendo assim, ficaram sujeitas aos processos intempéricos e também à ação de musgos e líquens, entre outros organismos. Giannini (2002) coletou amostras expostas a mesmas condições para análise de difratometria de raio-x. As amostras coletadas na Lapa Ponciano, GU.02MA e GU.02MB, já analisadas ao raio-x por aquele autor, foram reamostradas para estudo ao MEV. Giannini (2002) detectou quartzo, caulinita e minerais do grupo da crandalita. Com isso, as seções também foram voltadas para investigar composição química e possíveis hábitos desse grupo de minerais.

As amostras, no geral, apresentaram certa homogeneidade, tanto em relação ao hábito, como também quanto à composição química. O hábito observado na maioria delas é lamelar, apesar de alguma variação no hábito de agregado em menores aumentos. A amostra SU.06MA apresenta hábito botrioidal com aumento de 100X, mas, à magnitude de 400X já é possível notar a presença de cristálitos lamelares. A amostra GU.02MA (Figura 27) também retrata esse aspecto, pois, apesar de verificar-se, ao aumento de 150X, dois tipos distintos de hábito, maciço e floculoso, ambos apresentam-se, sob maiores magnitudes, formados por lamelas. A principal diferença é a continuidade entre as lamelas, no caso da porção maciça (Figura 27B), ao contrário da parte floculosa, que apresenta lamelas descontínuas (Figura 27C).

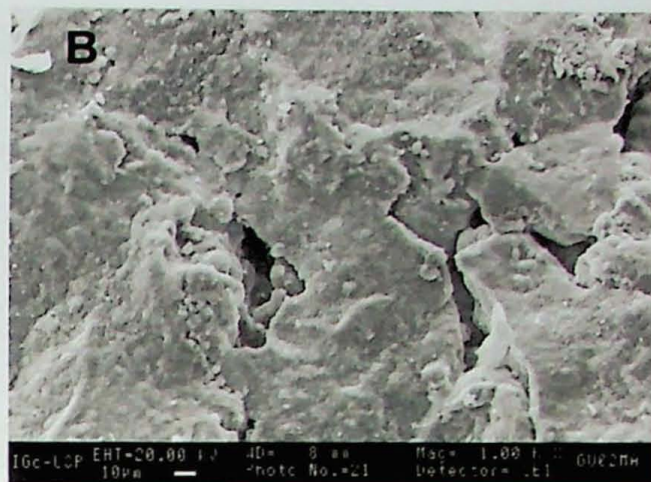
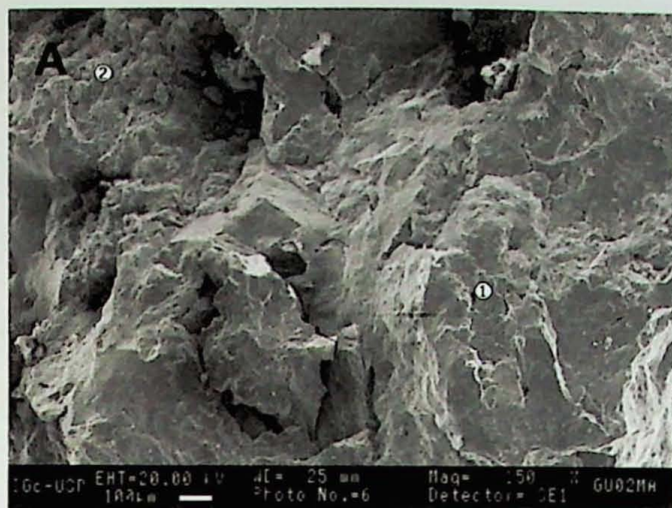


Figura 27: Composição de três imagens; A- visão geral, com diferenciação de dois hábitos de agregados, maciço em 1 e floculoso em 2; B- detalhe na porção maciça (1), mostrando tratar-se de lamelas relativamente contínuas; C- detalhe da porção floculosa (2), mostrando tratar-se de lamelas descontínuas ou fragmentadas. Amostra GU.02MA, detector SE1.



A amostra BP.02MA apresentou, além das lamelas, outros tipos de hábitos, em diferentes escalas. Em um aumento de 5000X, observou-se a presença de cristálitos em forma de cruz, detectados em apenas uma área da amostra (Figura 28A). Para um aumento de 10000X, registraram-se dois tipos de feições do cimento: cristais de hábito fibro-lamelar do cimento (Figura 28B), cristais de hábito fibro-lamelar, porém em arranjo sub-paralelo (Figura 28C e D). Neste último caso, a forma é indicativa de filossilicato, porém a ocorrência pontual em áreas menores que o diâmetro do feixe eletrônico do equipamento impede análise química confiável.

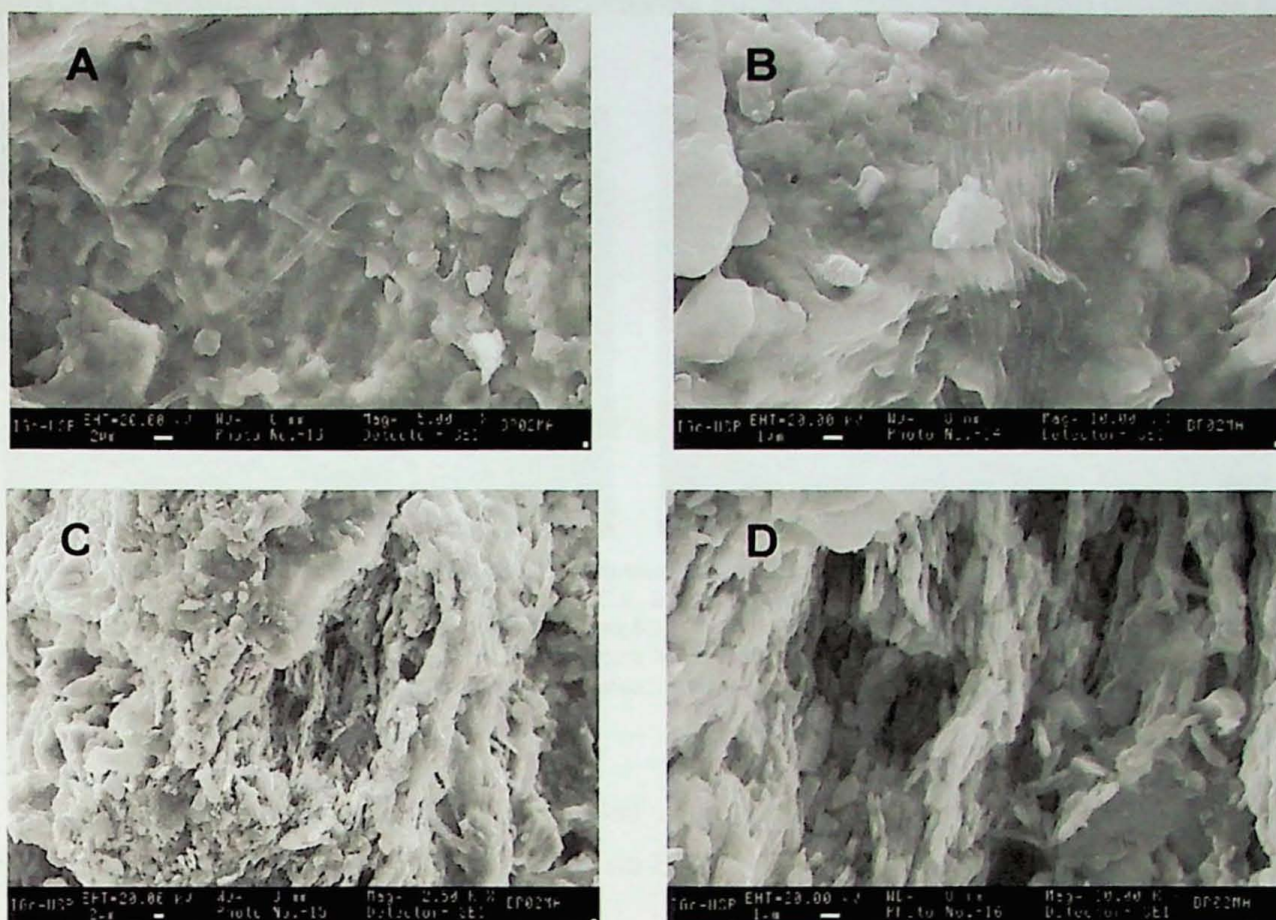


Figura 28: A: Cristal com hábito em cruz, aumento de 5000 vezes, detector SE1. B: Hábito fibro-lamelar do cimento, aumento de 10000 vezes, detector SE1. C: hábito fibro-lamelar, escala 2500 vezes, detector SE1. D: detalhe em C, onde se acentua o arranjo sub-paralelo, aumento de 10000 vezes, detector SE1. Amostra BP.02MA.

Ainda em relação ao tipo de hábito, merece destaque também a amostra SU.05MC (Figura 29), que no campo já se mostrou um material de aspecto diferente (mamelonar de cor preta). Em escala de microscopia de varredura, este material caracteriza-se por agregado maciço, englobando, além das lamelas, tubos e filamentos, cujas formas são indicativas de origem orgânica, possivelmente musgos.

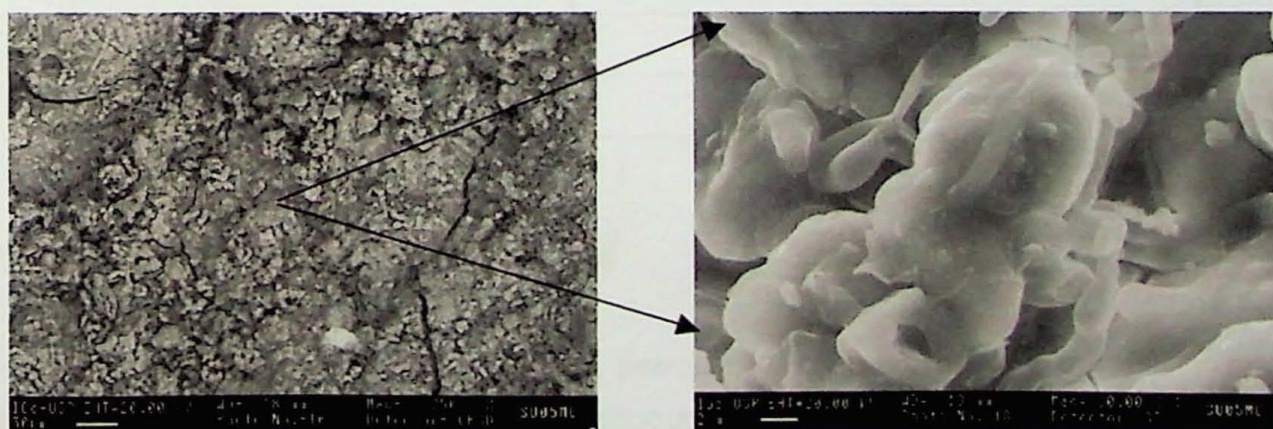


Figura 29: Cimento lamelar associado à matéria orgânica. Na imagem à esquerda, visão geral da amostra, e na direita, detalhe ilustrando tubos e filamentos. EED revelou Si, Al, S, P, Fe, Ca, Mg e K. Amostra SU.05MC, detector QBSD (imagem esquerda) e SE1 (imagem direita).

A amostra SU.05MA apresentou microfissões alveolares distribuídas de forma heterogênea (Figura 30). Observa-se também um cristal de forma euédrica, cuja composição detectada ao EED revelou Al, Si, K, S O e Cl.

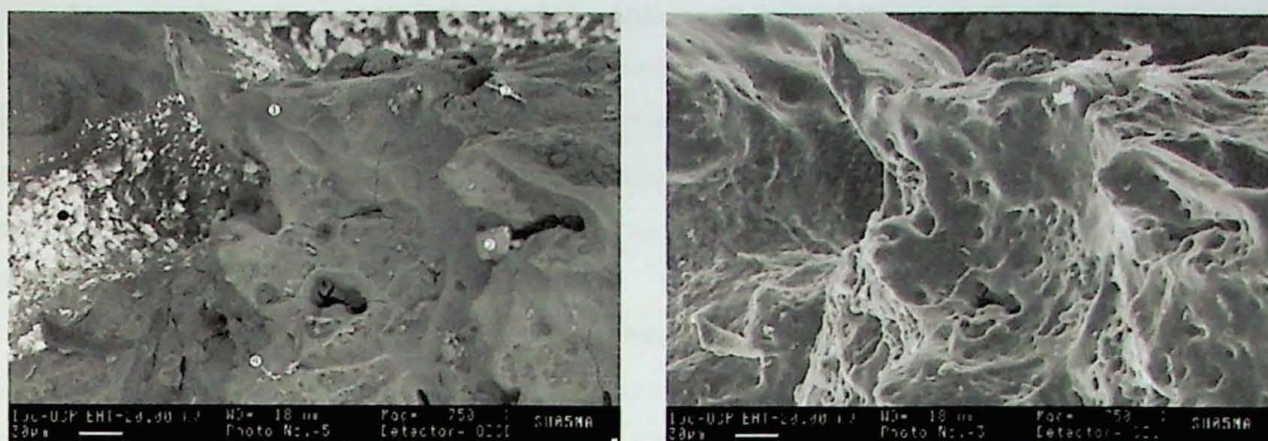


Figura 30: A imagem à esquerda apresenta quatro fases composicionais diferentes ao detector QBSD: 1- material pulverulento com Al, Si, S, P, K, O e Ca; 2 – cristal euédrico, com Si, Al, S, K, O e Cl; 3 – filamento (provavelmente algum tipo de contaminação), com Al, Cl, Cu, O e K; 4: mineral pesado, com Si, Al, Ti, K e P; 5: cola prata (por se tratar de amostra muito porosa, a cola deve ter impregnado os poros durante a aplicação do vácuo). A imagem da direita, obtida com detector SE1 é a mais adequada para observação de morfologia. Amostra SU.05MA.

Em relação à composição química das amostras mineralógicas, observou-se presença constante dos elementos Al, Si, O, seguidos de S, P e K, além de concentrações variáveis de Fe, Cl, Na, Mg e Ca (Tabela 3).

Tabela 3: composição química das amostras de incrustações obtida através de EED

Amostra	Composição do material
GU.02MA	Si, Al, O, S, P, K, Ca, Na e Cl
GU.02MB	Si, Al, O, S, P, Mg e Cl
SU.06MA	Si, Al, O, Fe e K
SU.06MC	Si, Al, O, Fe, S, K, e Cl
SU.05MA	Si, Al, O, K, S, P, O e Ca
SU.05MC	Si, Al, O, Fe, S, P, Ca, Mg e K
BP.02MA	Si, Al, O, Fe, S, K e P

5.4.2) Amostras petrográficas

No estudo ao MEV das amostras petrográficas, procurou-se contemplar os dois componentes texturais da rocha, cimento e arcabouço.

Para o estudo do cimento, foram utilizadas amostras em lâminas delgadas, uma vez que os cimentos ocorrem em proporções menores, nas bordas de grãos ou como massa intersticial.

Exceção importante é o cimento de caulinita sanfonada, que preenche intensamente os poros na forma de agregados de placas euédricas bem desenvolvidas (Figura 31 e 32), sendo assim de fácil identificação.

Através da análise pelo microscópio óptico, observaram-se quatro tipos de cimento, além da caulinita de hábito sanfonado bem desenvolvido: 1-material de cor bege de composição química não identificado; 2- material criptocristalino de aspecto ferruginoso, preliminarmente descrito como óxido/hidróxido de ferro; 3- material incolor, cuja composição química também é desconhecida, de ocorrência pontual apenas na amostra GU.05E; 4- cimento de quartzo, formado através de sobrecrecimento.

O cimento bege foi analisado nas lâminas SU.02A (Figura 33) e GU.05E (Figura 34). Análise química obtida através do EED revelou apenas Si, Al e O. Na primeira amostra, análise semi-quantitativa também detectou traços de Fe. Nas proximidades do ponto analisado, nota-se presença de cimento de óxido/hidróxido de Fe e Ti (Figura 33), o que pode ter influído na detecção de Fe. Pela composição apresentada, o material bege deve corresponder a caulinita, porém com cristais de reduzida dimensão. Na Figura 34, cujo aumento é maior, é possível visualizar algumas microplacas de caulinita.

Para o cimento descrito ao microscópio óptico e por Giannini (2002) como possível óxido/hidróxido de ferro verificou-se, na amostra GU.01 (Figura 35), Fe e O, além de Al, Si, S e K, estes dois últimos em baixo teor. Na Figura 33, referente à amostra SU.02A, existe um cimento também identificado como óxido/hidróxido de ferro, porém EED detectou Ti e O, com presença subordinada de Al, Si e Fe. Ou seja, existem pelo menos duas composições distintas para o cimento com aspecto de óxido/hidróxido. A presença de Al e Si possivelmente corresponde à presença da caulinita, uma vez que cristálitos placóides podem ser vistos em meio ao cimento.

O cimento incolor, sem cristalização, encontrado apenas na amostra GU.05E (Figura 36) revelou Si, Al, O e K, e pontualmente Na. Essa composição indica illita, uma vez que o Na deve provir da resina utilizada para impregnação da amostra, visto que EED realizado em grão de quartzo também indicou a presença deste elemento.

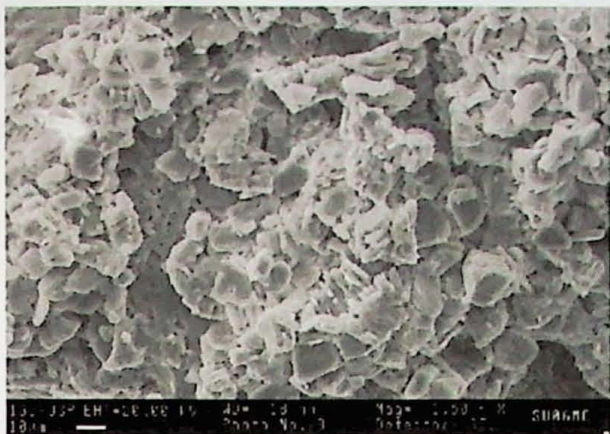


Figura 31: Caulinita em placas euédricas, dispostas paralelamente, formando agregado sanfonado. Amostra SU.06MC, 1500X, detector SE1.

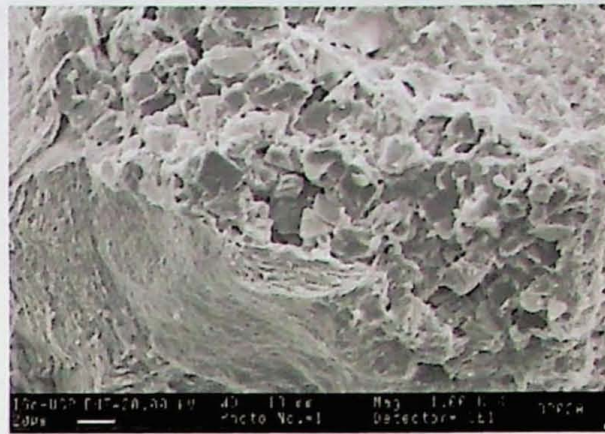


Figura 32: Cimento de caulinita sanfonada sobre grão de quartzo, este no canto esquerdo inferior. Amostra BP.02A, 1000 X, detector SE1.

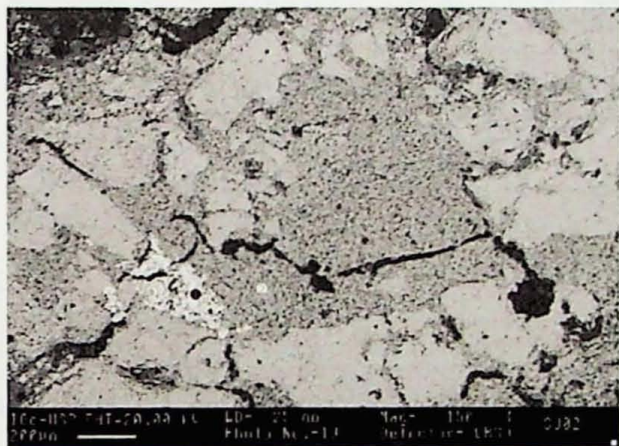


Figura 33: Dois tipos de cimento: 1- cimento de óxido de Ti; 2- cimento bege ao microscópio óptico, de composição caulinitica, preenchendo poros intergranulares. Amostra SU.02, 150X, detector QBSD.

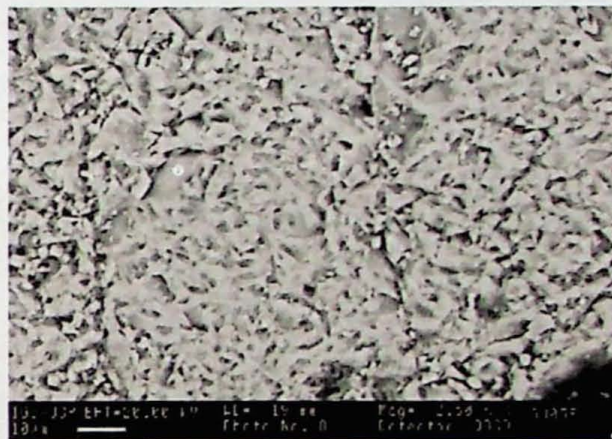


Figura 34: Mesmo cimento caulinitico da figura anterior sob maior aumento, destacando-se placa euédrica no detalhe. Amostra GU.05E, 2500X, detector QBSD.

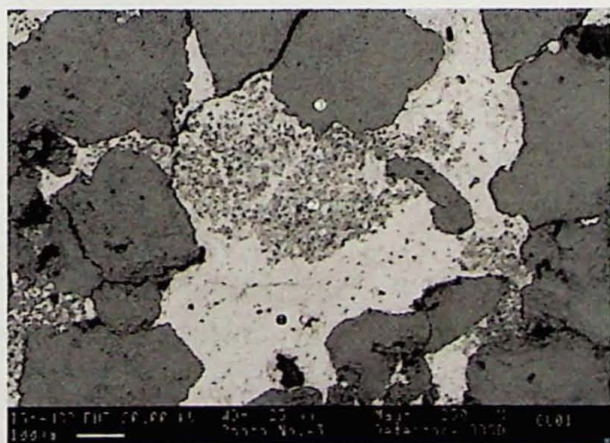


Figura 35: Mapa de localização de três pontos submetidos à microanálise química: 1- óxido de Fe; 2- caulinita sanfonada englobada pelo cimento ferruginoso. 3- grão de quartzo, com bordas suturadas. Amostra GU.01, 250X, detector QBSD.

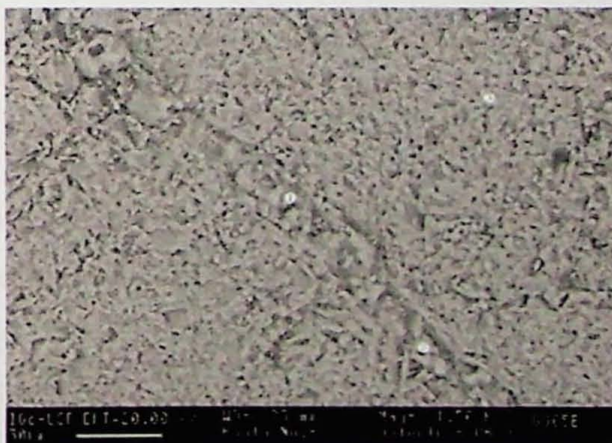


Figura 36: Cimento incolor, entre dois grãos de quartzo. Ocorre como um dique transversal. EED em dois pontos detectou Si, Al, O e K, composição compatível com illita. Amostra GU.05E, 1500X, detector QBSD.

Observações realizadas ao microscópio óptico evidenciaram grãos de quartzo bem facetados com contatos retos. Ao MEV, foi possível observar nas faces planas algumas formas geométricas, como losangos e triângulos, bem desenvolvidos (Figuras 37 e 38), cujas ocorrências são comuns quando os grãos foram expostos a processos de recrescimento ou mesmo dissolução.

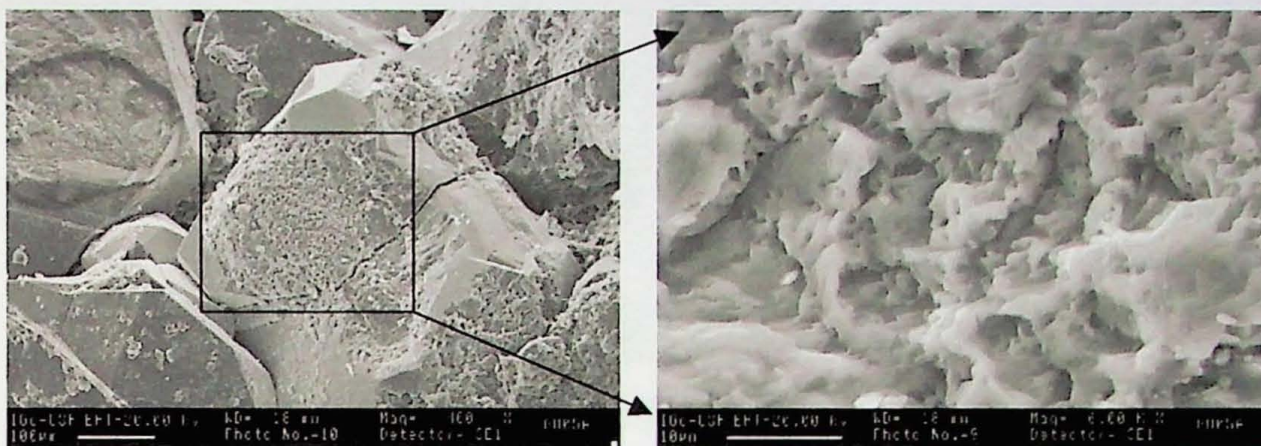


Figura 37: Grão de quartzo com face plana e microrugosa. A imagem da direita, de maior detalhe, permite observar moldes poligonais de cristais de sobrecrecimento, evidência de compactação química entre crescimentos secundários adjacentes. Amostra GU.05A, detector SE1.

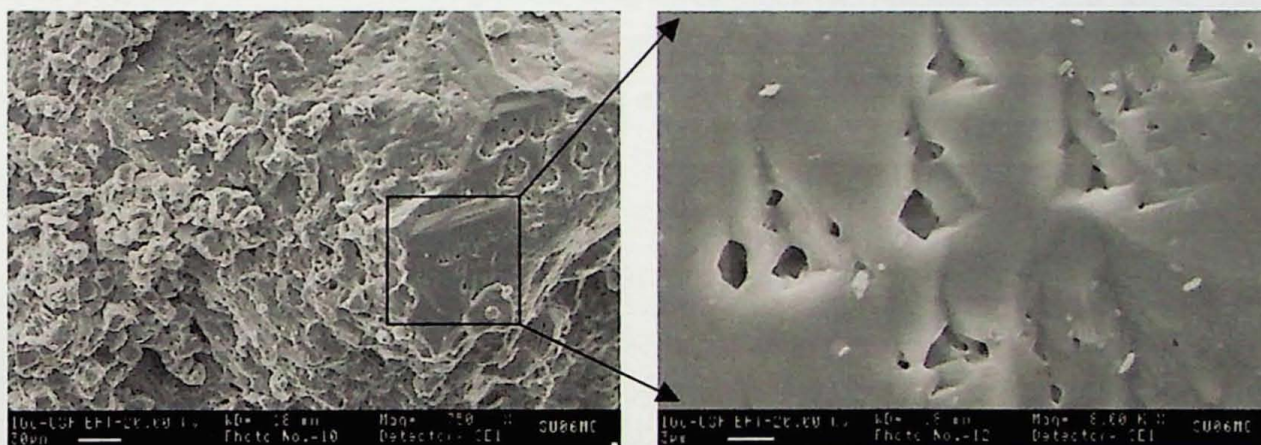


Figura 38: Grão de quartzo com faces desenvolvidas. Imagem à direita mostra formas geométricas associadas à simetria trigonal do quartzo, e que podem ser produzidas por dissolução e/ou precipitação química. Amostra SU.06MC.

Realizou-se uma sessão ao MEV voltada ao estudo das camadas pelíticas que se intercalam no Arenito Furnas, representadas na amostra SU.05E. O intuito foi detalhar o arcabouço desse tipo de rocha, uma vez que sua identificação ao microscópio petrográfico é muito limitada pela magnitudes relativamente baixas do equipamento. A matriz da rocha consiste em lamelas, com porções mais rugosas (Figura 39), cuja composição química apresentou Al, Si, O, Ti, Fe e K, localmente com S e P. Segundo Welton (1984), caulinita apresenta picos de Ti e Fe nos gráficos obtidos das análises ao EED. Porém, presença constante de K leva a crer que a matriz da rocha contenha também illita, embora o hábito característico desse mineral não tenha sido identificado nas imagens.

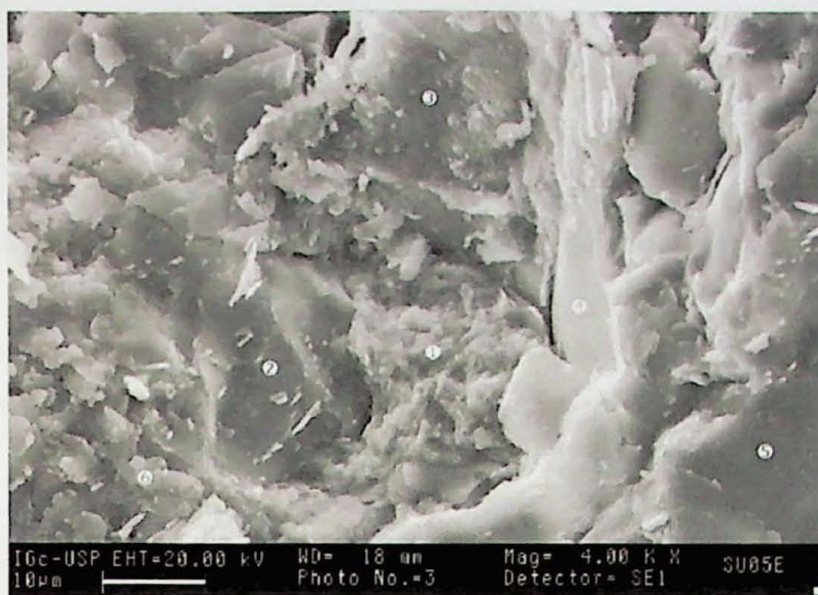


Figura 39: Matriz de rocha pelítica. Realizaram-se cinco análises com EED, a fim de verificar as diferentes superfícies (lisa e rugosas). EED revelou Al, Si, O, Ti, Fe e K, localmente com S e P. Amostra SU.05E, 4000X, detector SE1.

Ainda na mesma amostra, observaram-se grãos com formas prismáticas clivadas sugestivas de feldspato, cujo resultado de EED indicado de Si, Al, O e K, permite interpretar como feldspato potássico (Figura 40). Também foram encontrados agregados de cristais alongados com terminação piramidal, semelhantes a agulhas, dispostos em uma microcavidade (Figura 41). EED revelou Si, Al, O, Fe, K e S. Pela composição química, supõe-se que o mineral pertença ao grupo da alunita, isoestrutural da crandalita suspeita em estudos prévios (Giannini, 2002).



Figura 40: Grãos com formas sugestivas de feldspato. EED revelou Si, Al, O e K. Amostra SU.05E, detector SE1.

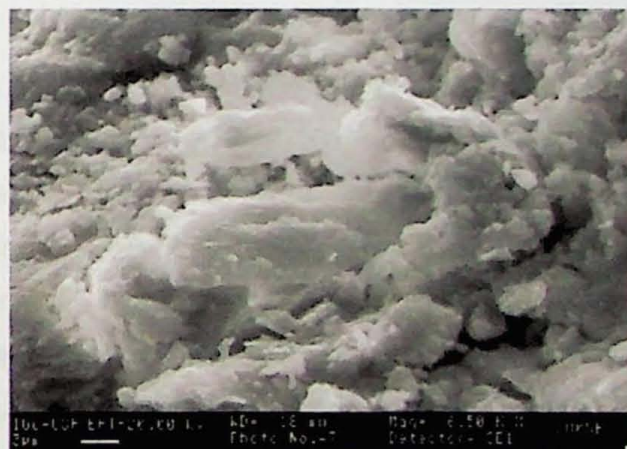
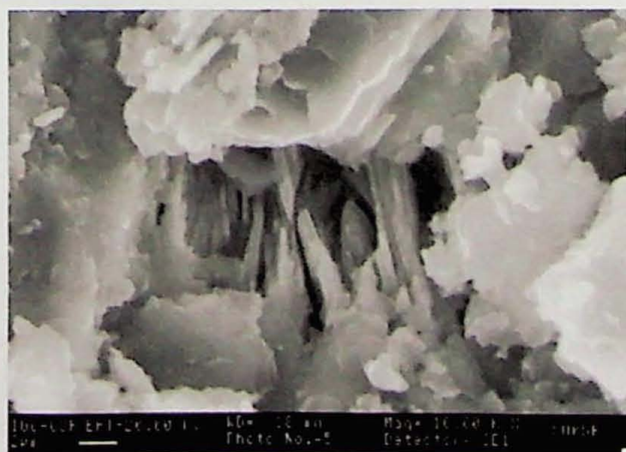


Figura 41: Cristais alongados de terminação piramidal, cujo EED revelou Si, Al, O, Fe, K e S. Possível alunita. Amostra SU.05E, 10000 vezes, detector SE1.



5.5) Difractometria de raio-x

Foram analisadas por difratometria de raio-x 11 amostras mineralógicas. Dessas, nove são da área do Sumidouro do rio Quebra-Perna e duas do *Canyon* do Guartelá.

Os gráficos individuais obtidos durante as análises com os possíveis minerais correspondentes aos picos detectados ao difratômetro, encontram-se nas Figuras 42 a 52. A Figura 53 corresponde a uma montagem de todos os difratogramas obtidos, cujo intuito é observar a mineralogia geral detectada no conjunto das amostras e compará-las entre si. Observa-se que praticamente todas as amostras analisadas apresentaram quartzo e caulinita.

Outro aspecto que chama atenção é a presença abundante de picos na zona de baixos ângulos 2θ dos difratogramas das amostras GU.02MA, SU.05MA, SU.05MB, SU.05ME, SU.06MA e SU.06MB. Nos três primeiros casos, podem ser interpretados como minerais do grupo da esmectita ou clorita (distância interplanar 001 14 Å, e nos três últimos, como minerais do grupo da illita ou muscovita (distância interplanar 001 10 Å). Porém, em função do material ser muito superficial e sujeito a intensos processos intempéricos, a preservação da esmectita é considerada improvável. Do mesmo modo, existem vários outros picos (denominados como 0?, 1? E 2?) nessa mesma região, que remetem apenas a minerais de ocorrência desconhecida e improvável na área, como zeólitas. Esses picos devem corresponder à presença de matéria orgânica, de fato verificada em campo e ao MEV. Já a presença da illita é mais provável, e verificada em mais de uma amostra.

As amostras também foram estudadas com intuito de confirmar presença de minerais do grupo da crandalita, previamente identificados por Giannini (2002). Porém, não houve picos significativos que denunciassem a ocorrência desses minerais. Entretanto, durante análises ao MEV (Tabela 3), notou-se presença constante do elemento P (fósforo). Além disso, nas amostras GU.02MA, SU.05MA, SU.05ME e SU.06MA observaram-se alguns picos que indicam alunita, sendo que minerais do grupo da crandalita podem ser considerados como um subsistema do grupo da alunita. Possivelmente, deve haver crandalita e alunita associadas ao material estudado, uma vez que dependeria apenas da substituição de S por P.

Figura 42: Difratoograma da amostra GU.02MA

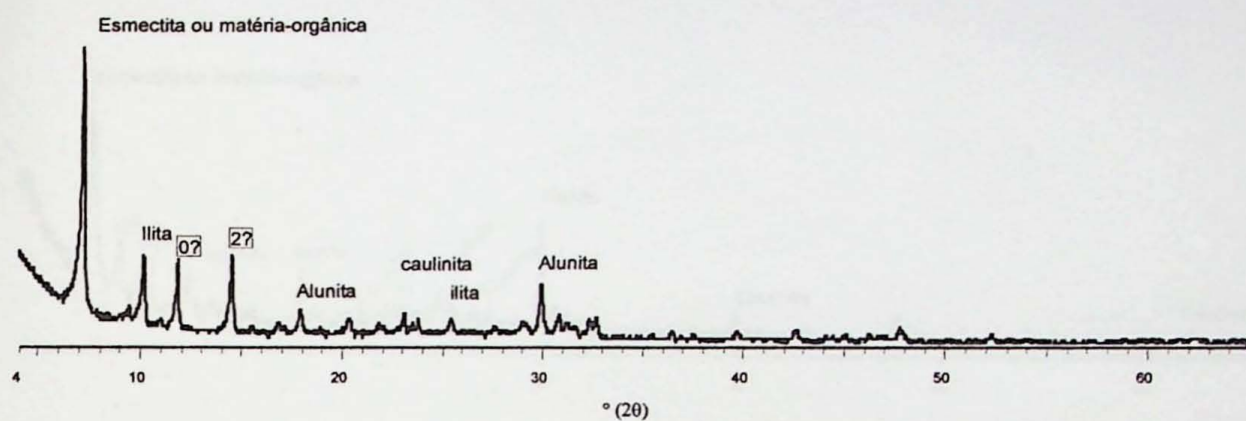


Figura 43: Difratoograma da amostra GU.02MB

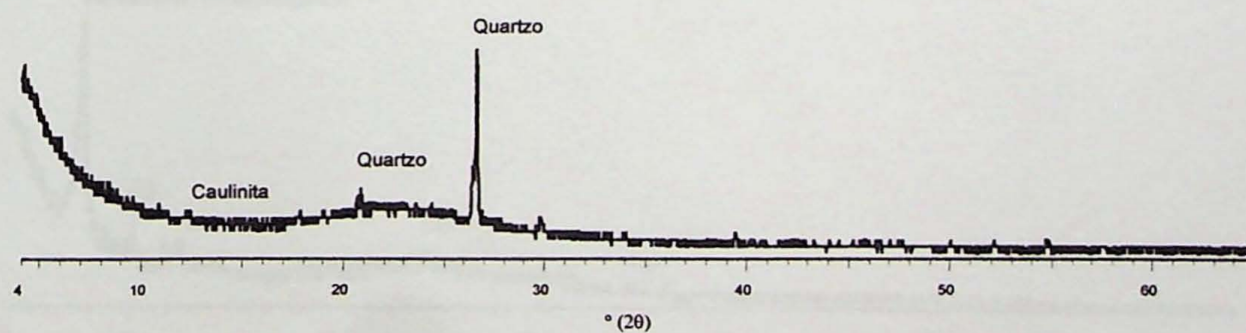


Figura 44: Difratoograma da amostra SU.05MA

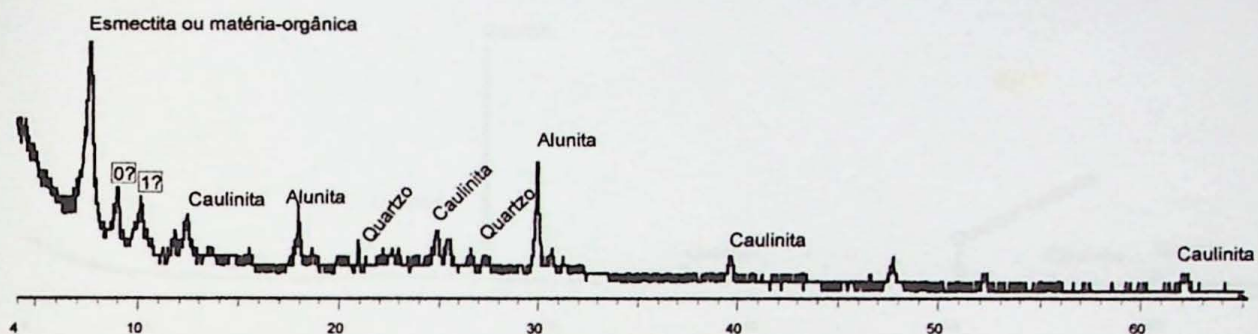


Figura 45: Difratoograma da amostra SU.05MB

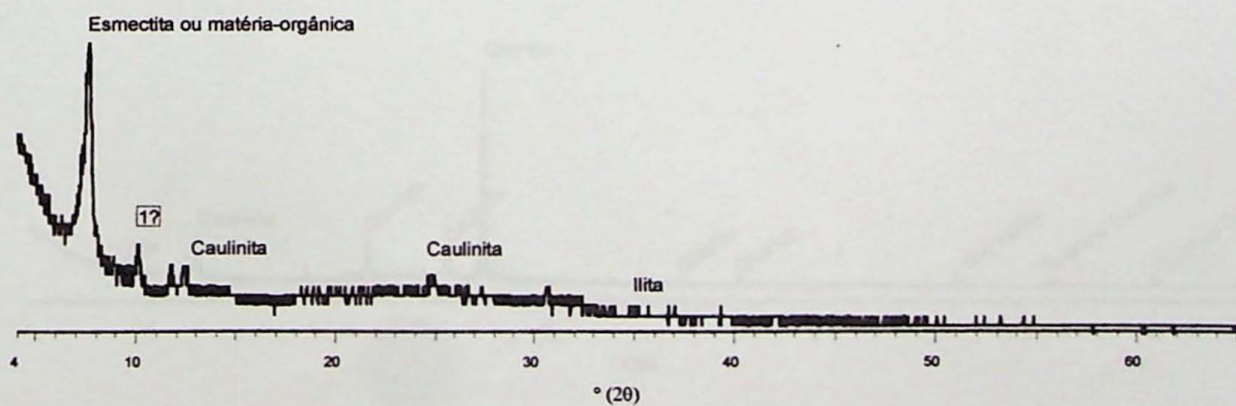


Figura 46: Difratoograma da amostra SU.05MC

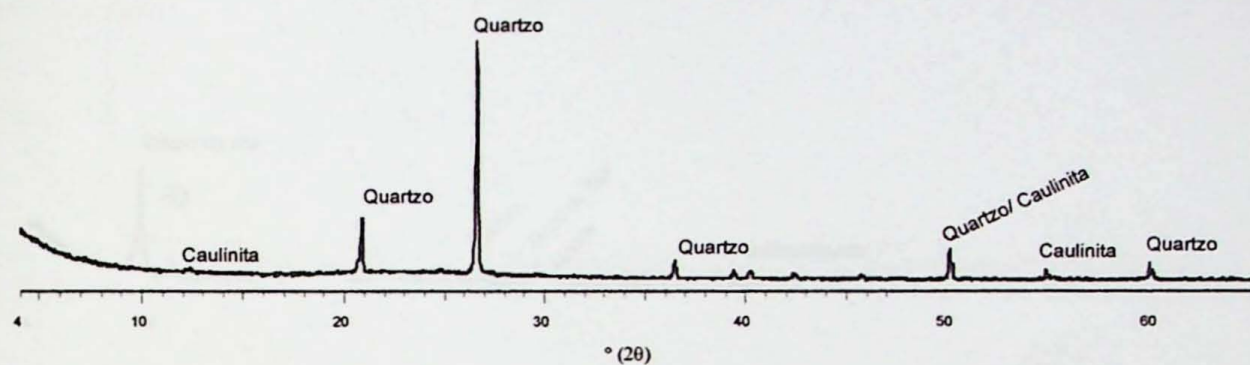


Figura 47: Difratoograma da amostra SU.05MD

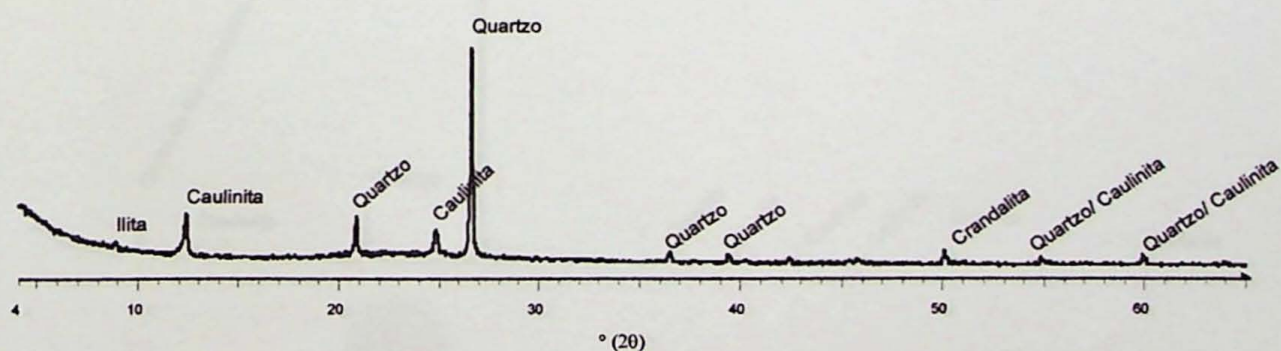


Figura 48: Difratoograma da amostra SU.05ME

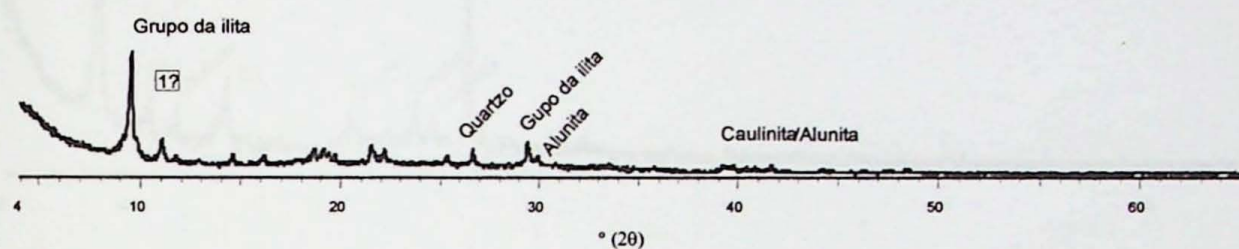


Figura 49: Difratoograma da amostra SU.06MA

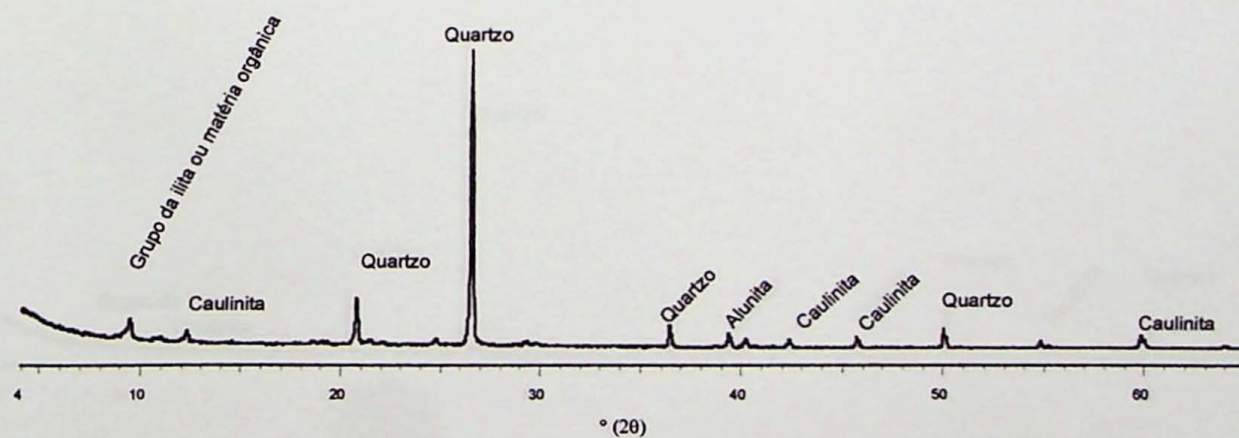


Figura 50: Difratoograma da amostra SU.06MB

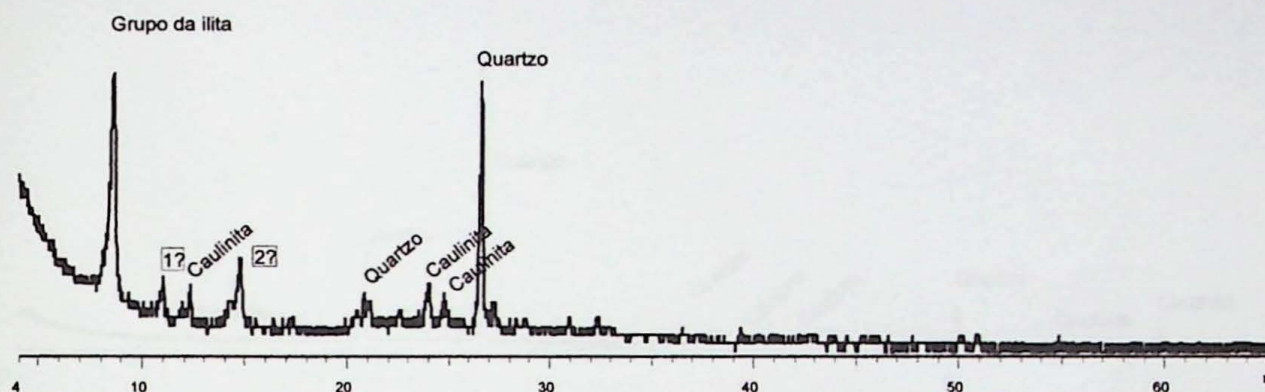


Figura 51: Difratoograma da amostra SU.06MC

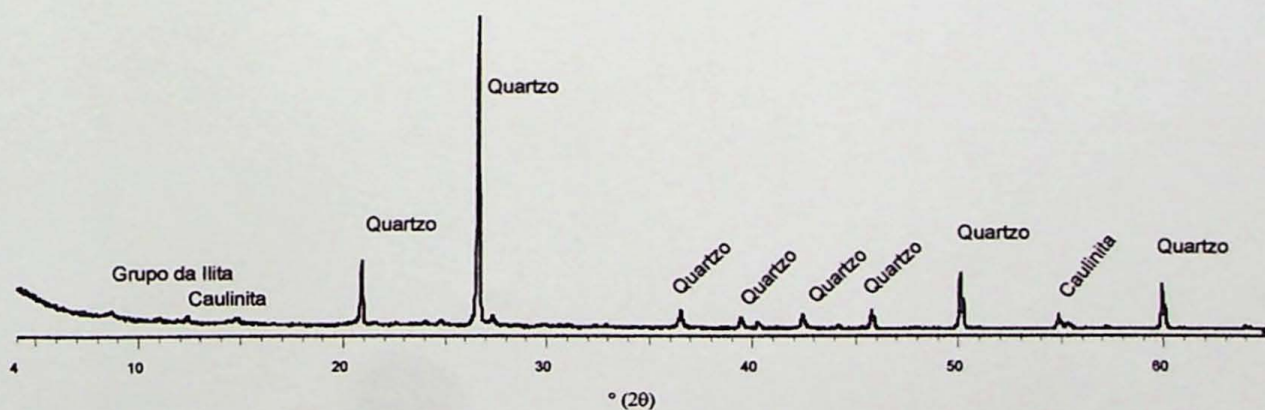


Figura 52: Difratoograma da amostra SU.07MA

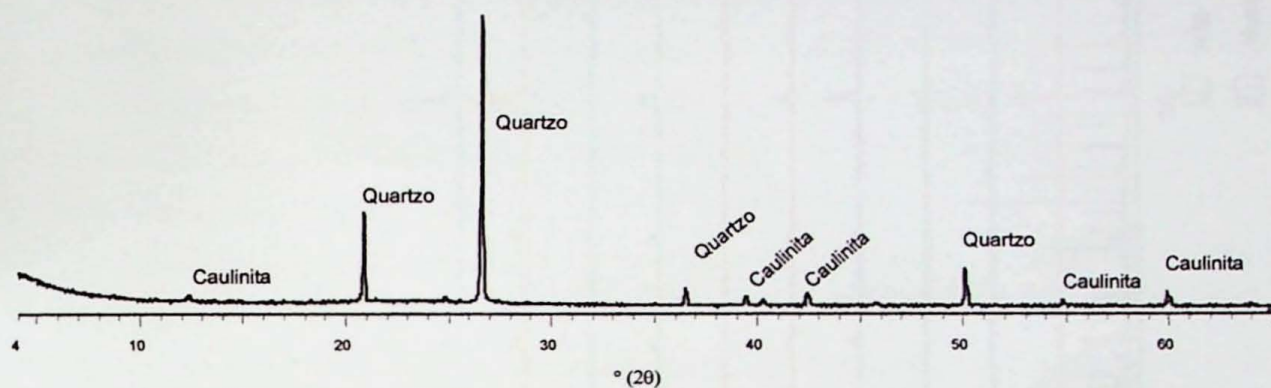
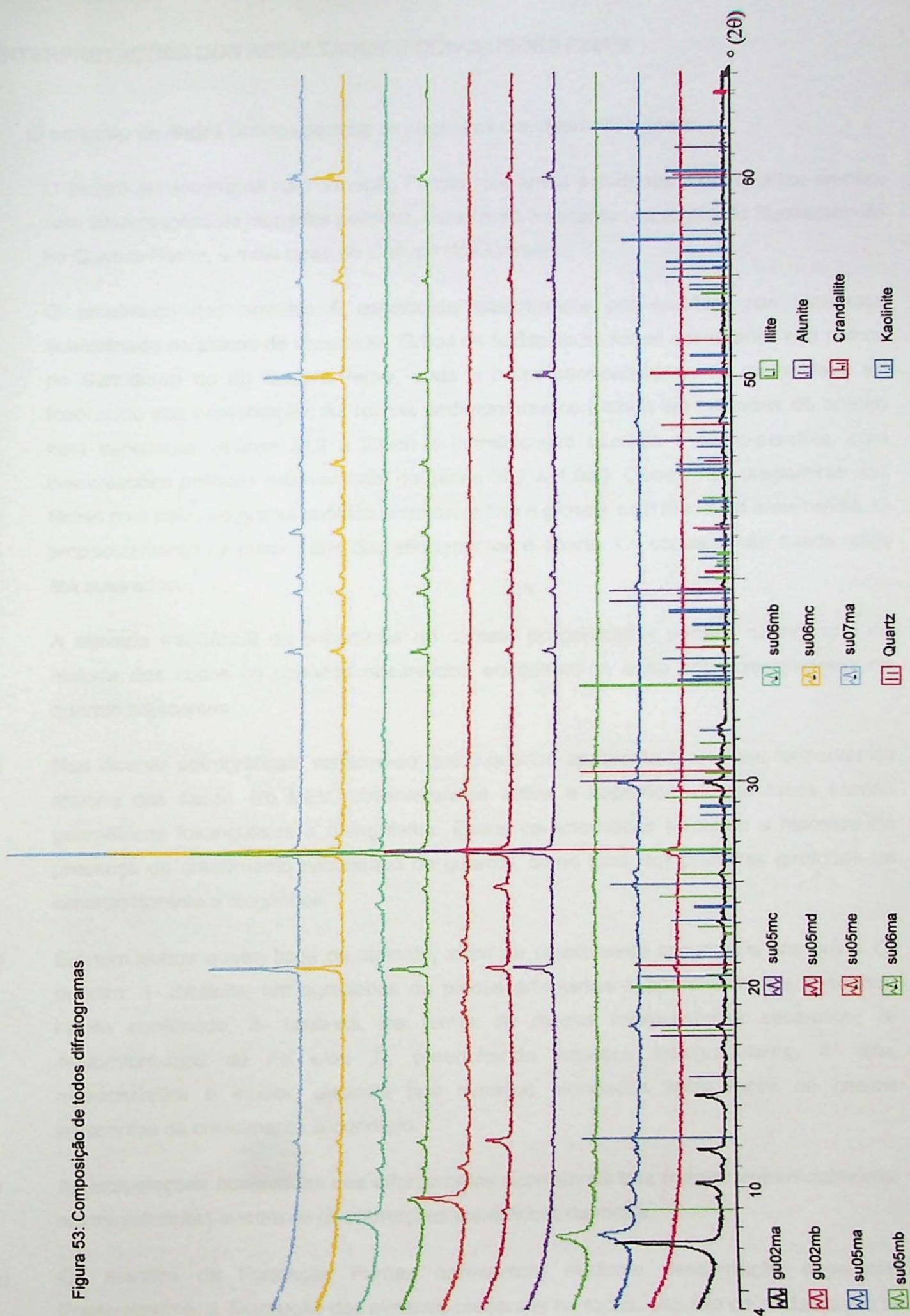


Figura 53: Composição de todos difratogramas



6) INTERPRETAÇÕES DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES FINAIS

O conjunto de dados obtidos permite as seguintes considerações finais:

- a) O litotipo predominante na Formação Furnas nas áreas estudadas é um quartzo-arenito, com intercalações de camadas pelíticas, estas mais freqüentes na região do Sumidouro do rio Quebra-Perna, e mais raras no *Canyon* do Guartelá.
- b) O arcabouço dos arenitos é constituído basicamente por quartzo, com presença subordinada de placas de muscovita. Grãos de feldspato só foram observados nos pelitos do Sumidouro do rio Quebra-Perna, onde a baixa permeabilidade da rocha deve ter favorecido sua preservação. As rochas sedimentares consistem em camadas de arenito com espessura variável (0,2 a 2,0m) e estratificação cruzada e plano-paralela, com intercalações pelíticas relativamente delgadas (0,2 a 1,0m). Observa-se predomínio das fácies com intervalo granulométrico entre areia fina e grossa, com moda em areia média. O empacotamento na maior parte dos afloramentos é aberto. Os contatos são desde retos até suturados.
- c) A elevada freqüência de superfícies de contato poligonizadas permite sugerir que na maioria dos casos os contatos observados encontram-se entre sobrecrecimentos de quartzo adjacentes.
- d) Nas lâminas petrográficas, verificou-se que o quartzo apresenta faces bem formadas na maioria dos casos. No MEV, observaram-se sobre a superfície destas faces formas geométricas losangulares e triangulares. Essas características reforçam a hipótese de presença de crescimento secundário de quartzo, como uma das primeiras gerações de cimento durante a diagênese.
- e) Existem outros quatro tipos de cimento, além do crescimento secundário dos grãos de quartzo: 1- caulinita, em agregados de placas arranjadas subparalelamente, formando hábito sanfonado; 2- caulinita, na forma de massa microcristalina sacaroidal; 3- óxido/hidróxidos de Fe e/ou Ti, preenchendo espaços intergranulares; 4- illita, microcristalina e incolor, disposta nos espaços alongados entre faces de cristais adjacentes de crescimento secundário.
- f) As incrustações observadas nos afloramentos ocorrem de três formas: superficialmente, em microfraturas e entre as descamações superficiais da rocha.
- g) Os arenitos da Formação Furnas apresentam evidente descamação superficial. Possivelmente, a dissolução dos minerais presentes na rocha, seguido da cristalização na

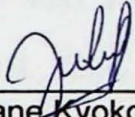
forma de incrustações nas superfícies de descamações, deve acelerar o processo de destruição das camadas do arenito.

- h) Ao MEV, verificou-se que o material das incrustações tem composição geral Si, Al e O, com ocorrência praticamente constante de K, Fe e S e/ou P, e presença variável de Ca, Na, Mg e Cl (Tabela 3). O conjunto de elementos detectados e seu modo de ocorrência permitem interpretar que este material não é formado apenas por caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), devendo existir outros minerais associados. Com base nesses elementos, é possível supor que as incrustações correspondam a uma mistura de caulinita e illita com minerais do grupo da alunita e, talvez, subordinadamente, da crandalita.
- i) As análises por difratometria de raio-x confirmam presença de minerais do grupo da alunita em algumas amostras. A suspeita de presença de crandalita baseia-se nos resultados de EED e em resultados prévios de difratometria. Por se tratar de grupos de minerais isoestruturais, é possível que ambos ocorram juntos, uma vez que isso depende apenas da substituição química de S por P.
- j) A origem do P e do S presentes nos possíveis minerais dos grupos da alunita e crandalita pode estar associada à matéria orgânica de organismos atuais, enquanto os outros elementos destes minerais devem estar relacionados à decomposição de componentes do arcabouço e/ou do cimento do arenito (feldspato, illita, caulinita).
- k) A origem da erosão diferencial e das formas de relevo pode ter sido influenciada por diversos processos, desde escalas macroscópicas (escoamento das águas meteóricas e subterrâneas, estruturas rúpteis e sedimentares) até escalas meso e microscópicas (aspectos texturais da rocha, perfurações de insetos, presença de matéria orgânica de organismos atuais, como musgos e líquens). O fluxo de água deve ter papel importante em todos os fenômenos, através da percolação intraestratal ou mesmo do escoamento superficial.
- l) As camadas reentrantes em geral apresentam má seleção de grãos e seu cimento constantemente ocorre associado à presença de óxido de Fe. As características individuais dessas camadas levam a associar a origem das reentrâncias a quatro fatores distintos: 1- intemperismo mais rápido dos pelitos e laminações heterolíticas que ocorrem intercaladas às camadas de arenito; 2- presença de perfurações de insetos, o que facilitaria fluxo de água superficial e sub-superficial, favorecendo a alteração e o transporte de material dissolvido e/ou desagregado; 3- maior porosidade e permeabilidade, favorecida pelos espaços intergranulares amplos, gerando maior fluxo de água e, conseqüentemente, maior alteração; 4- controle pelas estruturas sedimentares do arenito, especialmente intercalações de estratos de texturas diferentes.

- m) O primeiro caso citado na conclusão anterior (l) aplica-se melhor na área do Sumidouro do rio Quebra-Perna, onde as reentrâncias correspondem aos níveis mais finos, os pelitos, ao contrário do que ocorre no *Canyon* do Guartelá, onde a ocorrência das reentrâncias aparentemente está mais relacionada a contrastes texturais, como as de porosidade intergranular.
- n) É necessário considerar ainda outros aspectos locais para entender a formação das camadas reentrantes de alguns afloramentos. Por exemplo, alguns pontos dentro da região do Sumidouro correspondem ao local do antigo leito do rio Quebra-Perna, que pode ter ocasionado erosão diferencial das camadas.
- o) A formação de alvéolos tem outros fatores condicionantes além de atributos da rocha, como sugere a presença de alvéolos associados ao escoamento de águas pluviais. As perfurações de insetos também favorecem percolação de água, o que pode acarretar a formação de alvéolos.

São Paulo, 12 de Novembro de 2003.

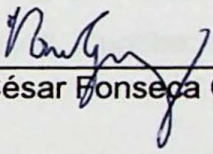
Aluna:


Juliane Kyoko Tamura

Orientador:


Mário Sérgio de Melo

Co-orientador:


Paulo César Fonseca Giannini

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSINE, M.L.; SOARES, P.C.; MILANI, É.J. 1994. Seqüências tectono-sedimentares mesopaleozóicas da Bacia do Paraná, sul do Brasil. São Paulo, *Rev. Bras. Geoc.*, v.24, n.2, p.77-89.
- ASSINE, M.L. 1996. *Aspectos da estratigrafia das seqüências pré-carboníferas da Bacia do Paraná no Brasil*. São Paulo, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 207p.
- BEHLING, H. 1997. Late Quaternary vegetation, climate and fire history of the *Araucaria* forest and campos region from Serra Campos Gerais Paraná State (South Brazil). *Review of Paleobotany and Palybology*. **91**: 109-121.
- BERGAMASCHI, 1999. *Análise estratigráfica do Siluro-Devoniano (Formações Fumas e Ponta Grossa) da sub-bacia de Apucarana, Bacia do Paraná, Brasil*. São Paulo, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 167p.
- BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R.; FILHO L. M. 1961. Considerações sôbre a Formação Fumas. Curitiba, *Boletim Paranaense de Geografia*, n. 4/5, 53-69.
- BIGARELLA, J. J. 1964. Variações climáticas no quaternário e suas implicações no revestimento florístico do Paraná. Curitiba. *Boletim Paranaense de Geografia*, n. 10, 11, 12 13, 14 e 15, 211-231.
- BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R.; FILHO, P. L. M. 1966. Estruturas e texturas da Formação Fumas e sua significação paleogeográfica. Curitiba. *Boletim da Universidade Federal do Paraná*, n.14, 1-114.
- CHOQUETTE, P.W. & PRAY, L.C. 1970. Geological nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *Am. Assoc. Petrol. Geologists Bull.*, **54**: 207-250.
- DE ROS, L. F. 1998. Heterogeneous generation and evolution of diagenetic quartzarenites in the Silurian-Devonian Fumas Formation of the Paraná Basin, southern Brazil. *Sedimentary Geology*, v. 116, n.1-2, p.99-128.
- DICKINSON, W.R. 1970. Interpreting detrital modes of graywacke and arkose. *Jour. Sedim. Petrology*, **40**(1/2):695-707
- DOTT JR, R.H. 1964. Wacke, greywacke and matrix- what approach to immature sandstone classification? *J. Sedim. Petrology*, **34**(3):625-632
- FOLK, R.L. 1968. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Texas, Hemphill's Publish.Co., 1980. 185p.

- GAINES, R.V.; SKINNER, H.C.W.; FOORD, E.E.; MASON, B.; ROSENZWEIG, A. 1997. Dana's New Mineralogy, 8^a. Editon. 1819 p.
- GIANNINI, P.C.F. 2000. As formações Pirambóia e Botucatu nos estados de São Paulo e Paraná. São Paulo, Inst. Geoc. Univ. S.Paulo. Relatório parcial de pesquisa (II) 86 p.
- GIANNINI, P.C.F. 2002. Relatório parcial de análises petrográficas e mineralógicas. In: Caracterização do patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná. Ponta Grossa, UEPG-DEGEO, Relatório Técnico de Pesquisa, 222 p.
- LANGE, F.W. & PETRI, S. 1967. The Devonian of the Paraná Basin. In: Problems in Brazilian Devonian geology. Curitiba, *Bol. Par. Geoc.*, v.21-22, p.5-55.
- LE BRET, M. 1974. As furnas de Vila Velha – Paraná: um caso de desmoronamento cárstico no arenito. São Paulo. Sociedade Brasileira de Espeleologia, 6p. (texto mimeografado inédito) (tradução Guy C. Collet).
- MAACK, R. 1946. Notas preliminares sobre uma nova estratigrafia do Devoniano do Estado do Paraná. In: CONGRESSO PAN-AMERICANO DE ENGENHARIA DE MINAS E GEOLOGIA, 2, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, v.4.
- MAACK, R. 1947. Breves notícias sobre a geologia dos estados do Paraná e Santa Catarina. Curitiba, *Arquivos de Biologia e Tecnologia (IBPT)*, vol. II, p. 63-154.
- MAACK, R. 1948. Notas preliminares sobre clima, solos e vegetação do Estado do Paraná. Curitiba, *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, v.II, p.102-200.
- MAACK, R. 1970. Notas preliminares sobre as águas do sub-solo da Bacia Paraná-Uruguaí. Curitiba, Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguaí, 162p.
- MAACK, R. 1981. Geografia física do Estado do Paraná. Rio de Janeiro, Livraria José Olympio Ed., 442 p.
- MELO, M.S. 1999. Análise sedimentológica dos depósitos da Lagoa Dourada, Vila Velha, Ponta Grossa, PR. Ponta Grossa, UEPG, Relatório Final de Pesquisa, 74p. (inédito).
- MELO, M.S.; 2002. Controle estrutural e litológico da erosão subterrânea e superficial de arenitos da região dos Campos Gerais do Paraná. Ponta Grossa, UEPG-DEGEO, projeto de pós-doutorado. 17 p.
- MELO, M.S. 2002a. *Canyon* do Guartelá, PR – Profunda garganta fluvial com notáveis exposições de arenitos devonianos. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; QUEIROZ, E.T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.), *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília, DNPM-CPRM-SIGEP, p.279-288 (SIGEP 94).
- MELO, M.S.; GIANNINI, P.C.F.; SAYEG, I.J. 1999. Kaolinitic clay in the Furnas Sandstone, Devonian of the Paraná Basin, Southern Brazil. *Acta Microscopica*, v.8(A), p.37-38.

- MELO, M.S.; GIANNINI, P.C.F.; PESSENDA, L.C.R. 2000. Gênese e evolução da Lagoa Dourada, Ponta Grossa, PR. São Paulo, Rev. do Instituto Geológico, v.21, n.1/2, p.17-31.
- MILANI, E.J. 1997. *Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental*. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 2 vols.
- MILANI, E. J.; FACCINI, U.F.; SCRERE, C.M.; ARAUJO, L.M. & COUPERTINO, J.A. 1998. Sequences and stratigraphic hierarchy of the Paraná Basin (Ordovician to Cretaceous), Southern Brazil. *Bol. IG-USP, Série Científica*, São Paulo, v. 29, p. 125-173.
- MINEROPAR - MINERAIS DO PARANÁ S/A. 1989. *Mapa Geológico do Estado do Paraná: escala 1:650.000*. MINEROPAR, Curitiba.
- PETTIJOHN, F.J.; POTTER, P.E.; SIEVER, R. 1973. *Sand and Sandstone*. Heidelberg, Springer-Verlag. 618p.
- POWERS, M.C. 1953. A new roundness scale for sedimentary particles. *Jour. Sedim.Petrol.*, v. 23:117-119.
- RAMOS, A.N. & FORMOSO, M.L.L. 1975. Argilominerais das rochas sedimentares da Bacia do Paraná. Rio de Janeiro, *Ciência - Técnica - Petróleo, Seção Exploração de Petróleo*, n.9, 72p. e anexos.
- SOARES, O. 1989. Fumas dos Campos Gerais, Paraná. Curitiba, Editora da UFPR, Scientia et Labor, 82p. (Série Didática).
- SOARES, C.R. & REBELLO, J. 1991. Nota sobre a origem geomorfológica e os parâmetros físico-químicos e biológicos da coluna d'água da fuma n.1 – Parque Estadual de Vila Velha (Estado do Paraná). In: *Congresso Brasileiro de Espeleologia*, 21, Curitiba (Separata, 15p.)
- WELTON, J.E. 1984. SEM petrology atlas. *The American Association of Petroleum Geologists*. Tulsa, 234 p.
- WRAY, R.A.L. 1997. A global review of solutional weathering forms on quartz sandstones. *Earth-Science Reviews*, n.42, p. 137-160.

ÍNDICE ANALÍTICO

1) INTRODUÇÃO	1
2) OBJETIVOS.....	2
3) MATERIAIS E MÉTODOS	2
3.1) Revisão bibliográfica	2
3.2) Atividades de campo	2
3.3) Atividades laboratoriais.....	3
3.3.1) Confeção de seções delgadas.....	3
3.3.2) Análise petrográfica.....	3
3.3.3) Análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) com espectrometria de energia dispersiva (EED).....	4
3.3.4) Difratometria de raio-x.....	5
4) DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	5
5) RESULTADOS OBTIDOS	6
5.1) Revisão bibliográfica.....	6
5.1.1.) Formação Furnas	7
5.1.2.) Erosão na Formação Furnas	9
5.1.3.) Petrografia do Arenito Furnas.....	10
5.2) Atividades de campo.....	11
5.3) Análise petrográfica	21
5.4) Análise ao microscópio eletrônico de varredura	26
5.4.1) Amostras mineralógicas	26
5.4.2) Amostras petrográficas.....	29
5.5) Difratometria de raio-x.....	34
6) INTERPRETAÇÕES DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES.....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

ANEXO 1: QUADRO-SÍNTESE DE BIBLIOGRAFIA SOBRE A FORMAÇÃO FURNAS

ANEXO 2: QUADRO-SÍNTESE COM DADOS DAS AMOSTRAS COLETADAS

ANEXO 3: QUADRO-SÍNTESE DE RESULTADOS DE ANÁLISE PETROGRÁFICA

*ANEXO 1: QUADRO-SÍNTESE DE BIBLIOGRAFIA SOBRE A
FORMAÇÃO FURNAS
(Bergamaschi, 1999)*

Anexo 1: Tabela com síntese bibliográfica (Bergamaschi, 1999)

AUTOR(ES)	INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL PROPOSTA PARA A FM. FURNAS	RELAÇÃO ESTRATIGRÁFICA INFERIDA C/ A FM. P. GROSSA	IDADE ASSINALADA
OLIVEIRA 1912	-----	CONCORDANTE	DEVONIANA
OLIVEIRA 1927	-----	CONCORDANTE	DEVONIANA
DU TOIT 1927, APUD LANGE & PETRI 1967	-----	CONCORDANTE	DEVONIANA
OPPENHEIM 1936, APUD BIGARELLA ET AL. 1966	AMBIENTES ESTUARINO OU FAIXAS COSTEIRAS	CONCORDANTE	DEVONIANA
CARVALHO 1941	AMB. ESTUARINO, EOL. E DE ÁGUAS CIRCULANTES	DISCORDANTE	PRÉ-DEVONIANA
MAACK 1947	MARINHO-RASO COM INFLUÊNCIA GLACIAL	CONCORDANTE	DEVONIANA
PETRI 1948	MARINHO-RASO	CONCORD.-TRANSICION.	DEVONIANA
MAACK 1950/51	DEPÓSITOS MARINHOS TRANSGRESSIVOS	CONCORD.-BRUSCO	DEVONIANA
CASTER 1951, APUD BIGARELLA ET AL. 1966	AMBIENTES PRAIAL E MARINHO COSTEIRO	CONCORD.-BRUSCO	DEVONIANA
ALMEIDA 1954	DEPÓS. COSTEIRO E NERÍTICO DE MAR TRANSGR.	CONCORDANTE	DEVONIANA
SANFORD & LANGE 1960	MARINHO-RASO	CONCORDANTE-TRANSICION.	DEVONIANA
LUDWIG & RAMOS 1965	CONTINENTAL-FLUVIAL	CONCORDANTE-BRUSCO ("DISCORDÂNCIA SEDIMENTOLÓGICA")	DEVONIANA
LANGE 1965	AMBIENTE COSTEIRO INFLUENCIADO POR ONDAS E CORRENTES	CONCORD.-BRUSCO	DEVONIANA
BIGARELLA ET AL. 1966	MARINHO DE OFFSHORE PRÓXIMO À LINHA DE COSTA	CONCORDANTE-BRUSCO, COM DIÁSTEMAS EROSIONAIS	DEVONIANA
BARBOSA ET AL 1966, APUD LANGE & PETRI 1967	-----	DISCORDANTE	SILURIANA
LANGE & PETRI 1967	MARINHO-RASO COM INFLUÊNCIA DE FORTES ONDAS E CORRENTES	CONCORDANTE / INTERDIGITADO	EODEVONIANA
BIGARELLA & SALAMUNI 1967	MARINHO RASO PRÓXIMO À COSTA, INFLUENCIADO P/CORRENTES RELATIV. FORTES	CONCORDANTE	EODEVONIANA
PETRI & FULFARO 1967	MARINHO-RASO	CONCORDANTE	EODEVONIANA
NORTHFLEET ET AL. 1969	CONTINENTAL-FLUVIAL	CONCORDANTE	EODEVONIANA
FULFARO 1971	AMB. PRODOMINANTEMENTE MARINHO, C/INFL. DE AMBS. COSTEIOS MISTOS EM CERTAS SEÇÕES	CONCORDANTE	EODEVONIANA
VIEIRA 1973	-----	CONCORDANTE - GRADACIONAL	EODEVONIANA
BIGARELLA 1973	MARINHO-RASO COM CORRENTES. PARA W (ORTOGONAIS À COSTA) NA BASE E PARA SSW (PARALELAS À COSTA) EM DIREÇÃO AO TOPO	DISCORDANTE (SUGERE UMA INCONFORMIDADE EROSIVA)	SILURIANA OU MESMO ORDOVICIANA
SCHNEIDER ET AL. 1974	CONTINENTAL-FLUVIAL	CONCORDANTE	EODEVONIANA
PETRI & FULFARO 1976	MARINHO-RASO	CONCORDANTE - TRANSICIONAL	EODEVONIANA
SCHNEIDER 1976	PREDOMINANTEMENTE FLUVIAL "ANASTOMOSADO" C/INFL. DE AMBS. TRANSICIONAIS NO TOPO	CONCORDANTE - BRUSCO NO CENTRO E TRANSICIONAL NOS BORDOS DA BACIA	EODEVONIANA
FULFARO ET AL. 1980, APUD DINIZ 1985	MARINHO-RASO, COM PRESENÇA DE DEPÓSITOS DELTAICOS ENTRE SP E PR	CONCORDANTE / INTERDIGITADO	EODEVONIANA
ANDRADE & CAMARÇO 1980	DEPOSIÇÃO ATRAVÉS DE UM SISTEMA FLUVIAL "ANASTOMOSADO" C/INFL. MARINHA NA BASE	CONCORD.-TRANSIC. NO CENTRO DA BACIA C/PEQS. DIÁSTEMAS NO BORDO	EODEVONIANA
BURJACK & POPP 1981	-----	-----	EOSSILURIANA P/A BASE (GO)
ANDRADE & CAMARÇO 1982	SISTEMA FLUVIAL "ANASTOMOSADO" COM INFLUÊNCIA MARINHA NA BASE	DISCORDANTE	SILURIANA
GAMA JR. ET AL. 1982	-----	CONCORDANTE E DIACRÔNICA	EODEVONIANA
PETRI & FULFARO 1983	AMBIENTE MARINHO COSTEIRO COM INCIDÊNCIA DE FORTES CORRENTES DE MARÉ	CONCORDANTE / INTERDIGITADO	EODEVONIANA
CAPUTO & CROWELL 1985	DEPÓSITOS DE OUTFLOW EM UMA FRANJA PERIGLACIAL	DISCORDANTE	SILURIANA
DINIZ 1985	DEPÓS. LITORÂNEOS OU FLÚVIO-DELT. NA PORÇÃO SUPERIOR EM SUBSUP. NA SUB-BACIA SUL	CONCORDANTE- TRANSICIONAL	EODEVONIANA
POPP & BARCELLOS-POPP 1986	FLUVIAL BRAIDED COM INFLUÊNCIA DE AMBIENTES TRANSICIONAIS NO TOPO	CONCORDANTE- TRANSICIONAL	EODEVONIANA
ACEÑOLAZA & CIGUEL 1987	AMBIENTE LITORÂNEO (INTERMARES, ICNOFÓCIES <i>Stolothus</i>)	DISCORDANTE	ORDOVICIANA A SILURIANA
MELO 1987	EXTENSA PLANÍCIE ALUVIAL (SISTEMA FLUVIAL BRAIDED) COM DEPÓSITOS TRANSICIONAIS NAS PORÇÕES MAIS DISTAIS DO SISTEMA	CONCORDANTE / BRUSCO	EODEVONIANA (SIEGENIANA / EOMSIANA)
ZALÁN ET AL. 1987	DEPÓS. ATRAVÉS DE UM VASTO SIST. FLUVIAL "ANASTOMOS." S/OQ. EVID. MAR. NOS AFLORAM.	DISCORDANTE (SUGEREM UM HIATO DE 10 Ma. ENTRE AS UNIDADES)	NEOSSILURIANA A EODEVONIANA
RODRIGUES ET AL. 1989	AMBIENTE FLUVIAL BRAIDED PARA O TOPO DA SEÇÃO NA REGIÃO DE PONTA GROSSA, PR	CONCORDANTE	EODEVONIANA
ZALÁN 1989	DEPÓS. REGRESS. EMINENTEMENTE CONTINENT.	DISCORDANTE	NEOSSILURIANA
PETRI 1989	CARÁTER MAIS CONTINENTAL NA BASE, TENDENDO P/MAR. NO TOPO	CONCORDANTE	EODEVONIANA
BERGAMASCHI 1992	TRAMA DE DEPÓS. FLUVIAIS, TRANSICION. E COSTEIOS, C/EMPILHAM. RETROGRADACIONAL	CONCORDANTE - BRUSCO	LOCHKOVIANA A PRAGUIANA (PR)
SOARES 1991	DEPÓSITO FLUVIAL ANASTOMOSADO, TENDENDO A DELTA COSTEIRO PARA O TOPO DA SEÇÃO	CONCORDANTE	EODEVONIANA
PEREIRA 1992	DEPÓSITOS CONTINENTAIS FLUVIAIS, TENDENDO A DELTAICO-LITORÂNEOS PARA O TOPO	CONCORDANTE	EODEVONIANA
BORGHI 1993	REGISTRO MARINHO-RASO, DEPOSITADO SOB AÇÃO DE CORR. DE MARÉS E TEMPESTADES	? DISCORDANTE (TIPOII)	? PRIDOLIANA A EODEVONIANA
ASSINE ET AL. 1994	SISTEMAS DE DELTAS CONSTRUÍDOS POR RIOS ENTRELAÇADOS	CONCORDANTE	EODEVONIANA
DINO & RODRIGUES 1995	DEPÓSITOS TRANSICIONAIS NO TOPO DA SEÇÃO NA REGIÃO DE JAGUARIÁVA, PR	CONCORDANTE- BRUSCO	PRAGUIANA P/O TOPO NO PR
DINO ET AL. 1995	DEPÓSITOS DE UM SISTEMA TIPO BRAID-DELTA NO TOPO DA SEÇÃO NO BORDO SUDOESTE DA BACIA	CONCORDANTE- BRUSCO	PRAGUIANA P/O O TOPO NO PR (SUBSUP. E SUP.)
MUSSA ET AL. 1996	DEPÓSITOS TRANSICIONAIS NO TOPO DA SEÇÃO NA REGIÃO DE JAGUARIÁVA, PR	CONCORDANTE	EODEVONIANA P/O TOPO NO PR

ANEXO 2: QUADRO-SÍNTESE COM DADOS DAS AMOSTRAS COLETADAS

ANEXO 2: QUADRO- SÍNTESE COM DADOS DAS AMOSTRAS COLETADAS 1/2

Amostra	Local da coleta	Granulometria	Seleção granulométrica	Estruturas/ Feições associadas
SU.05A	Base da lapa	Arenito grosso a conglomerático	Mal selecionado	Maciço
SU.05B	Base do pacote pelítico, reentrância da lapa	Silte argila	Bem selecionado	Finamente laminado
SU.05C	Próximo a lente arenosa, reentrância da lapa	Silte argila	Bem selecionado	Finamente laminado
SU.05D	Lente arenosa dentro do pacote pelítico, reentrante na lapa	Areia grossa a conglomerática	Mal selecionado	Estratificação cruzada de baixa angulosidade
SU.05E	Pacote pelítico, próximo ao topo da lapa (incrustações associadas)	Silte com granodecrescência ascendente	Bem selecionado	Lentes arenosas, prováveis heterolíticas
SU.05F	Topo da lapa (incrustações associadas)	Arenito grosso a conglomerático	Mal selecionado	Estratificações cruzadas
SU.06A	Base da lapa	Arenito grosso a conglomerático	Mal selecionado	Maciço
SU.06B	Parte reentrante da lapa, com alvéolos e incrustações superficiais	Arenito conglomerático a grosso	Mal selecionado	Maciço, porém bem friável
SU.06C	Topo da lapa	Arenito grosso a conglomerático	Mal selecionado	Maciço
SU.07A	Arenito com material pulverulento escuro associado	Arenito grosso com níveis conglomerático	Moderadamente selecionado	Estratificações cruzadas (N43W/23SW)
SU.07B	Arenito (alvéolos com material pulverulento)	Arenito grosso a conglomerático	Moderadamente selecionado	Alvéolos e estratificações cruzadas (N43W/23SW)
BP.02A	Arenito coletado na borda de um alvéolo	Areia grossa	Moderadamente selecionado	Alvéolos e aparentemente sem estratificações
BP.02B	Arenito com processo de formação de alvéolos se iniciando	Areia média com granulos	Mal selecionado	Estratificações cruzadas pouco espessas
BP.02C	Parede do arenito sem alvéolos	Areia grossa	Moderadamente selecionado	Estratificações cruzadas pouco espessas
GU.05A	Nível sem alvéolos	Areia média a grossa	Moderadamente selecionado	Estratificação cruzada de baixo ângulo
GU.05B	Local com alvéolos	areia média a grossa	Mal selecionado	Com alvéolos e finamente laminado
GU.05C	Local sem alvéolos	Areia média	Bem selecionado	Sem alvéolos e finamente laminado
GU.05D	Local sem alvéolos	Areia fina a média	Moderadamente selecionado	Sem alvéolos, com silicificação evidente
GU.05E	Camada reentrante do afloramento, com alvéolos	Areia média a muito grossa	Mal selecionado	Com muitos alvéolos
GU.05F	Arenito com poucos alvéolos	areia média a grossa	Moderadamente selecionado	Maciço com alguns alvéolos associados
GU.05G	Arenito com poucos alvéolos	Areia grossa	Bem selecionado	Maciço com alguns alvéolos associados
GU.05H	Local sem alvéolos	Areia fina com alguns granulos	Bem selecionado	Maciço sem alvéolos, com silicificação evidente
GU.05I	Local com alvéolos	Areia grossa a muito grossa	Mal selecionado	Maciço com alvéolos abundantes

ANEXO 2: QUADRO- SÍNTESE COM DADOS DAS AMOSTRAS COLETADAS 2/2

Amostra	Local da coleta	Granulometria	Seleção granulométrica	Estruturas/ Feições associadas
GU.06A	Base do "pescoço"	Areia média intercalada a níveis conglomerático	Moderadamente selecionado	Estratificação cruzada
GU.06B	"Pescoço" do afloramento	Areia média a grossa com seixos intercalado a níveis conglomeráticos	Mal selecionado	Alvéolos concordantes a estratificação cruzada (N65W/50SW)
GU.06C	Topo do "pescoço"	Areia média a grossa	Moderadamente selecionado	Estratificação cruzada pouco marcante
GU.08A	Base do afloramento	Areia média a grossa	Seleção variada	Estratificação cruzada de baixo grau, local com melhor seleção sem formação de alvéolos
GU.08B	Camada mais reentrante do afloramento.	Areia média a conglomerática com granodecrescência ascendente	Mal selecionado	Estratificação cruzada bem marcante, com alvéolos concordantes às estruturas
GU.08C	Em alguns locais, é camada reentrante	Areia grossa intercalada a camadas conglomeráticas.	Moderadamente selecionado	Estratificação cruzada bem marcante (N86E /21SE)
GU.08D	Camada reentrante do afloramento.	Areia fina a média	Moderadamente selecionado	Estratificação cruzada
GU.08E	Topo do afloramento	Arenito grosso a conglomerático granocrescência ascendente	Mal selecionado	Estratificação cruzada pouco evidente, com alvéolos
GU.09A	Base do afloramento	Areia média a grossa, com granodecrescência ascendente	Mal selecionado	Estratificação cruzada pouco evidente (N25W/ 17SW)
GU.09B	Local com poucos alvéolos	Areia grossa a muito grossa, intercalado a camadas de areia média a grossa	Mal selecionado	Estratificação cruzada e alguns alvéolos centimétricos (N50W/ 25SW)
GU.09C	Local com material pulverulento e alvéolos	Areia grossa a muito grossa	Moderadamente selecionado	Estratificação cruzada bem marcante, com alvéolos concordantes às estruturas
GU.09D	Camada reentrante do afloramento	Areia fina a grossa, com granodecrescência ascendente	Mal selecionado	Estratificação cruzada a plano-paralela
GU.09E	Por vezes, reentrante	Areia fina a média, com granocrescência ascendente	Moderadamente selecionado	Finamente laminado
GU.09F	Topo do afloramento	Areia fina a média	Moderadamente selecionado	Estratificação cruzada de baixo caimento

ANEXO 3: QUADRO-SÍNTESE DE RESULTADOS DE ANÁLISE PETROGRÁFICA

Amostra	SU.05A	SU.05B	SU.05C	SU.05D	SU.05E	SU.05F	SU.06A
Local de coleta	base da lapa	reentrância dentro da garganta da lapa	garganta da lapa	garganta da lapa	próximo ao teto da lapa	teto da lapa	base da lapa
Componentes	70% arc, 25% Cim, 5% poros	20% arc, 78% matr, 2% poros	10%arc, 90%matr	80% arc, 20%cim	60% arc, 40%matr	80% arc, 10% cim, 10%poros	45% arc, 50% cim, 1% poros
Mineralogia	qtz(97%), fdt(1%), msc(2%), turn(tr)	qtz (96%), msc (4%)	qtz (90), msc(10)	qtz (97%), msc (3%)	qtz (90%), msc (10%)	qtz (95%), msc (5%) e turn (tr)	qtz (97%), msc (3%)
Granulometria	0,5mm (areia média)	0,1 mm (areia muito fina)	0,05 (silte grosso)	dois níveis: 0,05 mm ou 2,3 mm	0,05 mm (silte grosso), outros só com matriz	dois níveis: 0,3 (areia média) ou 1,4 mm (areia muito grossa)	0,5 a 0,7 mm (areia grossa)
Desvio Padrão	0,35	0,5	0,35	0,35 (lâmina), 2 (conjunto)	0,35 (lâmina), 1 (conjunto)	0,35 (lâmina), 2 (conjunto)	0,5
Seleção granulométrica	bem selecionado	moderadamente selecionada	bem selecionado (os grãos dispersos na matriz apresentam-se no mesmo intervalo granulométrico)	muito mal selecionado	bem selecionada	bem selecionada	moderadamente bem selecionada
Esfericidade	média a alta	média	média a baixa	alta (moda menor) a baixa (moda maior)	média a baixa	média a alta	baixa a média
Arredondamento	subarredondado a arredondado	subarredondada	subangular	subangular a subarredondado	angular a subangular	subangular a subarredondada	subanguloso
Empacotamento	fechado, com níveis mais abertos	aberto	fechado	fechado	aberto	aberto	fechado
Segregação granular	não	-	não	sim	sim	sim	não
Matriz	-	protomatriz	protomatriz (com textura e mineralogia homogêneas)	-	protomatriz (com textura e mineralogia homogêneas)	-	-
Cimento/ Textura	cimento de quartzo (crescimento secundário) e caulinita (habito sanfona)	cimento de quartzo (crescimento secundário)	cimento de quartzo (crescimento secundário)	cimento de quartzo (crescimento secundário)	cimento de quartzo (crescimento secundário)	cimento de quartzo (crescimento secundário), caulinita sacaroidal, cor bege, em alguns pontos de óxido de ferro	cimento de quartzo (crescimento secundário), caulinita bege, ocorre como massa microcristalina sacaroidal
Porosidade secundária	heterogeneidade de empacotamento	poros alongados	-	heterogeneidade de empacotamento	-	heterogeneidade de empacotamento	poros alongados
Compactação mecânica	placas de msc alongadas e amassadas	placas de msc alongadas e amassadas	-	placas de msc alongadas e amassadas	-	-	placas de msc alongadas e amassadas
Compactação química	contatos retos	contatos retos	contatos retos	contatos retos	contatos retos	-	contatos retos e côncavo-convexo, este último em menor proporção.
Maturidade mineralógica	supermatura	supermatura	supermatura	supermatura	supermatura	supermatura	supermatura
Maturidade textural	supermatura	imatura	imatura	submatura	imatura	matura	matura
Nome da rocha	quartzo-arenito	siltito	siltito	quartzo-arenito	siltito	quartzo-arenito	quartzo-arenito

(-) Não se aplica/ Não identificado
arc = Arcabouço
matr = Matriz
cim = Cimento
qtz = Quartzo
fdt = Feldspato
msc = Muscovita
turn = Turmalina
TR = Traço, <1%

Amostra	SU.06B	SU.06C	BP.02A	BP.02B	BP.02C	GU.05A	GU.05B
Local de coleta	reentrância da lapa	topo da lapa	borda de alvéolo	início de formação do alvéolo	sem alvéolos	próximo ao chão, sem alvéolos	acima de A, com alvéolos (silicificado)
Componentes	85% arc, 10% cim, 5% poros	68% arc, 30% cim, 2% poros	85% arc, 10% cim, 5% poros	85% arc, 5% cim, 10% poros	85% arc, 10% cim, 5% poros	93% arc, 2% cim, 5% poros	80% arc, 19% cim e 1% poros
Mineralogia	qtz (100%)	qtz (100%), turm (TR)	qtz (100%)	qtz (100%)	qtz (97%), msc (3%)	qtz (100%)	qtz (97%), msc (3%), zircão (tr)
Granulometria	1,5 a 2, mm (areia muito grossa)	dois níveis: 1,00 (areia grossa) ou 2,00 mm (areia muito grossa)	0,5 a 0,7 mm (areia grossa)	0,4 mm (areia média) a 3 mm (grânulos)	0,5 a 0,7 mm (areia grossa)	0,6 a 0,9 mm (areia grossa)	0,6 a 0,9 mm (areia grossa)
Desvio Padrão	0,5	0,5 (níveis); 1 (lâmina)	0,5	2	0,5	0,5	0,35
Seleção granulométrica	moderadamente selecionada	moderadamente selecionada	moderadamente selecionada	mal selecionada	moderadamente selecionada	moderadamente a bem selecionada	bem selecionada
Esfericidade	média a alta	média a baixa	alta	baixa	média a baixa	média	média a alta
Arredondamento	subanguloso a subarredondado	subanguloso a subarredondado	subangular a subarredondado	subarredondado	subarredondado	subarredondado	subarredondado a subangular
Empacotamento	fechado	fechado	fechado, com alguns níveis abertos	aberto, em algumas partes fechado	fechado	aberto	fechado
Segregação granular	não	sim, em dois níveis	sim, não muito nítido	-	sim, porém sutil	não	não
Matriz	-	-	-	-	-	placas de msc amassadas e deformadas	-
Cimento/ Textura	cimento de quartzo (crescimento secundário), massa de óxido de ferro sobre algumas placas euédricas de caulinita	cimento de quartzo (crescimento secundário), caulinita sanfonada, e nas porções mais periféricas, ocorre como massa sacaroidal bege. Preenchendo poros e substituindo grãos.	cimento de quartzo (crescimento secundário), caulinita sanfonada, sacaroidal	cimento de quartzo (crescimento secundário), caulinita sanfonada, óxido de ferro	cimento de quartzo (crescimento secundário) e caulinita sanfonada	cimento de quartzo (crescimento secundário), caulinita e óxido de ferro	cimento de quartzo (crescimento secundário), caulinita sanfonada, sacaroidal e de óxido de ferro
Porosidade secundária	poros alongados / heterogeneidade de empacotamento	poros alongados	heterogeneidade de empacotamento	heterogeneidade de empacotamento	heterogeneidade de empacotamento	heterogeneidade de empacotamento	molde
Compactação mecânica	-	-	-	grãos de qtz muito quebrados e placas de msc alongadas e amassadas	grãos de qtz muito quebrados e placas de msc alongadas e amassadas	-	placas de msc amassadas e deformadas
Compactação química	contatos retos e côncavo-convexo, este último em menor proporção.	contatos retos e côncavo-convexo, este último em menor proporção.	contato reto	contatos retos	contatos retos	contatos retos	contatos retos e suturados, com formas geométricas
Maturidade mineralógica	supermatura	supermatura	supermatura	supermatura	supermatura	supermatura	supermatura
Maturidade textural	matura	matura	matura	submatura	submatura	submatura	matura
Nome da rocha	quartzo-arenito	quartzo-arenito	quartzo-arenito	quartzo-arenito	quartzo-arenito	quartzo-arenito	quartzo-arenito

(-) Não se aplica/ Não

identificado

arc = Arcabouço

matr = Matriz

cim = Cimento

qtz = Quartzo

fdt = Feldspato

msc = Muscovita

turm = Turmalina

TR = Traço, <1%

Amostra	GU.05C	GU.05D	GU.05E	GU.05F	GU.05G	GU.05H	GU.05I
Local de coleta	acima de A, sem alvéolos (silicificado)	acima de B e C, sem alvéolos	acima de D, com alvéolos	acima de GU.05E, com poucos alvéolos	acima de GU.05F, com poucos alvéolos	outra parede no mesmo afloramento, sem alvéolos	mesmo nível de H, porém com alvéolos
Componentes	96%arc, 4%cim	85% arc, 10% cim e 5% poros	80% arc, 5% cim e 15% poros	75% arc, 10% cim e 15% poros	82% arc, 3% cim e 15% poros	88% arc, 10% cim e 2% poros	83% arc, 5% cim e 15% poros
Mineralogia	qtz (97%), msc (3%)	qtz (100%)	qtz (95%), msc (2%)	qtz (98%), msc (2%)	qtz (100%), rutilo (tr)	qtz (98%), msc (2%)	qtz (100%)
Granulometria	0,5 a 0,7mm (areia grossa)	dois níveis: 0,5 e 0,8 mm (areia grossa)	0,5mm (areia grossa) a 2 mm (areia muito grossa)	0,3 mm (areia média) até 4 mm (granulos)	0,4mm (areia média) a 0,6 mm (areia grossa)	0,7 mm (areia grossa) a 1,4 mm (areia muito grossa)	0,4 mm (areia média) até 7 mm (seixos)
Desvio Padrão	0,5	0,5	1	2	0,5	0,5 (níveis) e 2 (lâmina)	2
Seleção granulométrica	bem selecionada	moderadamente a bem selecionada	mal selecionado	mal selecionado	moderadamente selecionada	moderadamente selecionada (lâmina)	mal selecionada
Esfericidade	baixa	baixa	média	média	média	média	média
Arredondamento	subanguloso a subarredondado	subanguloso a subarredondado	subarredondado	subarredondado	subarredondado	subanguloso	subanguloso a subarredondado
Empacotamento	fechado	aberto	aberto	aberto	aberto	fechado	aberto
Segregação granular	não	sim	não	não	não	sim (níveis)	sim, porém pouco visível
Matriz	-	-	-	-	-	-	-
Cimento/ Textura	cimento de quartzo (crescimento secundário), caulinita sanfonada, caulinita sacaroidal	cimento de quartzo (crescimento secundário), óxido de ferro e caulinita	cimento de quartzo (crescimento secundário), caulinita sanfonada e como massa sacaroidal. Pontualmente ocorre cimento de illita nas bordas de grãos	cimento de quartzo (crescimento secundário), caulinita (parece uma pseudomatiz)	cimento de quartzo (crescimento secundário), caulinita sacaroidal, de cor bege, disposta nas bordas dos grãos	cimento de quartzo (crescimento secundário), caulinita ferruginosa	cimento de quartzo (crescimento secundário), caulinita sacaroidal bege
Porosidade secundária	-	heterogeneidade de empacotamento	grãos de quartzo com perfurações, semelhantes a alvéolos	heterogeneidade de empacotamento e grãos de quartzo com perfurações, semelhantes a alvéolos	heterogeneidade de empacotamento	grãos de quartzo "sudurados" com perfurações, semelhantes a alvéolos	heterogeneidade de empacotamento
Compactação mecânica	placas de msc amassadas e deformadas	-	placas de msc amassadas e deformadas	-	-	placas de msc amassadas e deformadas	-
Compactação química	contatos retos e formas geométricas	contatos retos	contatos retos	contatos retos	contatos retos	contatos retos	contatos retos
Maturidade mineralógica	supermatura	supermatura	supermatura	supermatura	supermatura	supermatura	supermatura
Maturidade textural	submatura	matura	submatura	submatura	submatura	submatura	submatura
Nome da rocha	quartzo-arenito	quartzo-arenito	quartzo-arenito	quartzo-arenito	quartzo-arenito	quartzo-arenito	quartzo-arenito

(*) Não se aplica/ Não

Identificado
arc = Arcabouço
matr = Matriz
cim = Cimento
qtz = Quartzo
fdt = Feldspato
msc = Muscovita
turm = Turmalina
TR = Triaxo, <1%

Amostra	GU.06A	GU.06B	GU.06C	GU.08A	GU.08B	GU.08C	GU.08D
Local de coleta	Base do "pescoço"	"pescoço" do afloramento, com alvéolos	topo do "pescoço"	base do afloramento	camada reentrante com alvéolos	no canto direito do afloramento, a camada é reentrante	camada reentrante do afloramento
Componentes	75% arc, 5% cim, 20% poros	80% arc, 20% poros	80% arc, 2% cim, 18% poros	85% arc, 10% cim, 5% poros	94% arc, 5% cim, 1% poros	90% arc, 1% cim, 9% poros	80% arc, matr (1%), 12% cim, 7% poros
Mineralogia	qtz (100%)	qtz (100%)	qtz (100%)	qtz (100%), rutílio (TR), turmalina (TR)	qtz (100%), msc (TR)	qtz (100%)	qtz (97%), msc (3%)
Granulometria	1,5 mm (areia muito grossa)	0,9 a 1,5 mm (areia grossa a muito grossa)	0,5 a 3,00 mm (areia grossa a grânulos)	dois níveis: 4,00 mm (grânulos) e 1,5 (areia muito grossa)	0,25 a 3,00 mm (areia fina a grânulos)	0,25 a 1,00 mm (areia fina a grossa)	0,25 a 2,2 mm (areia grossa a grânulos)
Desvio Padrão	0,5	2	2	0,5 (níveis), 2 (lâmina)	2	2	2
Seleção granulométrica	moderadamente bem selecionada	mal selecionado	mal selecionado	mal selecionado	mal selecionado	multo mal selecionado	multo mal selecionado
Estericidade	média a alta	média a baixa	média	média	baixa	média	média a baixa
Arredondamento	subarredondado	subangular	subarredondado	subangular	subarredondado	subangulara subarredondado	subangular
Empacotamento	aberto	aberto	aberto	fechado	fechado	aberto	aberto
Segregação granular	sim	não	não	sim, dois níveis	não	não	não
Matriz	-	-	-	-	-	-	pseudomatiz
Cimento/ Textura	cimento de quartzo (crescimento secundário), caulinita sanfonada, e nas porções mais periféricas, nota-se que está oxidada (bege)	localizado (<1%), caulinita preenchendo poros e sobre crescimento de quartzo	cimento de quartzo (crescimento secundário), caulinita sanfonada, intersticial	cimento de quartzo (crescimento secundário), caulinita sanfonada preenchendo poros; óxido/hidróxido de ferro nas bordas dos grãos	cimento de quartzo (crescimento secundário), caulinita sanfonada, com porções oxidadas (bege), preenchendo poros	localizado (~1%), caulinita preenchendo poros	cimento de quartzo (crescimento secundário), caulinita sanfonada, preenchendo grãos; caulinita sacaroidal (bege), nas bordas de grãos e preenchendo poros
Porosidade secundária	poros alongados	poros alongados	poros alongados	-	-	poros alongados	poros alongados
Compactação mecânica	-	-	-	-	placas de msc amassadas e deformadas	-	placas de msc amassadas e deformadas
Compactação química	contatos retos e côncavo-convexo, este último em menor proporção.	contatos retos e côncavo-convexo, este último em menor proporção.	contatos retos e côncavo-convexo	contatos retos e côncavo-convexo	contatos retos, suturados e côncavo-convexos	contatos retos, suturados e côncavo-convexos	contatos retos e suturados
Maturidade mineralógica	supermatura	supermatura	supermatura	supermatura	supermatura	supermatura	supermatura
Maturidade textural	matura	submatura	submatura	submatura	submatura	submatura	submatura
Nome da rocha	quartzo-arenito	quartzo-arenito	quartzo-arenito	quartzo-arenito	quartzo-arenito	quartzo-arenito	quartzo-arenito

(-) Não se aplica/ Não

identificado
arc = Arcabouço
matr = Matriz
cim = Cimento
qtz = Quartzo
fdt = Feldspato
msc = Muscovita
turn = Turmalina
TR = Traço, <1%

Amostra	GU.08E	GU.09A	GU.09B	GU.09C	GU.09D	GU.09E	GU.09F
Local de coleta	topo do afloramento, localmente com presença de alvéolos	base do afloramento	alvéolos dispersos pela camada	alvéolos concordantes a estratificação e abundantes	camada, em parte reentrante, e em parte sobresaliente. Coletado na reentrante	arenito com heterofíticas	teto da lapa
Componentes	90% arc, 10% cim	85% arc, 5% cim, 10% poros	85% arc, 10% cim, 5% poros	90% arc, 5% cim, 5% poros	73%arc, 25%cim, 2% poros	83%arc, 15%cim, 2%poros	84%arc, 15%cim, 1%poros
Mineralogia	qtz (100%), msc (TR)	qtz (100%), turm (TR)	qtz (100%)	qtz (100%)	qtz (100%), msc (TR)	qtz (100%), msc (TR)	qtz (100%), msc (TR)
Granulometria	0,25 a 3,5 mm (areia fina a grânulos)	0,5 a 1,0 mm (areia grossa)	0,5 a 1,0 mm (areia grossa)	2,5 a 3,0 mm (grânulos)	0,2 a 1,1 mm (areia fina a muito grossa)	0,25 a 0,5 (areia média)	0,5 a 0,7 mm (areia grossa)
Desvio Padrão	2	0,35	0,5	0,5	1	0,5	0,5
Seleção granulométrica	mal selecionado	bem selecionado	moderadamente selecionado	moderadamente selecionado	mal selecionado	moderadamente selecionado	moderadamente selecionado
Esfericidade	média	média a alta	média a alta	baixa	baixa	baixa	baixa
Arredondamento	subangular a subarredondado	subarredondado a subanguloso	subangular	subarredondado	subarredondado	subanguloso	subarredondado
Empacotamento	fechado	aberto	fechado	fechado, com porções mais abertas	aberto	aberto	aberto
Segregação granular	-	não	não	não	não	não	não
Matriz	-	-	-	-	-	-	-
Cimento/ Textura	cimento de quartzo (crescimento secundário), óxido de ferro, em algumas porções, é possível observar placas euédricas de caulinita, porém completamente envoltas no cimento ferruginoso	cimento de quartzo (crescimento secundário), caulinita sanfonada preenchendo poros	cimento de quartzo (crescimento secundário), caulinita sanfonada preenchendo poros	cimento de quartzo (crescimento secundário), caulinita sanfonada preenchendo poros, e óxido de ferro nas bordas de grãos	cimento de quartzo (crescimento secundário), caulinita sacaroidal (bege) nas bordas de grãos e preenchendo poros	cimento de quartzo (crescimento secundário), caulinita sanfonada e sacaroidal, preenchendo poros. Algumas grandes lamelas de caulinita, semelhantes a placas de filossilicatos	cimento de quartzo (crescimento secundário), caulinita sanfonada e sacaroidal (bege) preenchendo poros
Porosidade secundária	-	empacotamento heterogêneo e poros alongados	empacotamento heterogêneo e poros alongados	empacotamento heterogêneo e poros ampliados e grãos flutuantes	-	-	-
Compactação mecânica	placas de msc amassadas e deformadas	-	-	-	placas de msc amassadas e deformadas	placas de msc amassadas e deformadas	placas de msc amassadas e deformadas
Compactação química	contatos retos e côncavo-convexo.	contatos retos e côncavo-convexo.	contatos retos, suturados e côncavo-convexos	contatos retos e suturados	contatos retos	contatos retos e suturados	contatos retos e suturados
Maturidade mineralógica	supermatura	supermatura	supermatura	supermatura	supermatura	supermatura	supermatura
Maturidade textural	submatura	matura	matura	submatura	submatura	submatura	submatura
Nome da rocha	quartzo-arenito	quartzo-arenito	quartzo-arenito	quartzo-arenito	quartzo-arenito	quartzo-arenito	quartzo-arenito

(*) Não se aplica/ Não

identificado
arc = Arcabouço
matr = Matriz
cim = Cimento
qtz = Quartzo
fdt = Feldspato
msc = Muscovita
turm = Turmalina
TR = Traço, <1%

