

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ESTRATIGRAFIA E TECTÔNICA DE PARTE DO  
SUBGRUPO LAJEADO, IPORANGA, SP.**

Frederico Meira Faleiros

Orientador: Prof. Dr. Ginaldo A. C. Campanha

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2000/11)

SÃO PAULO  
2000

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ESTRATIGRAFIA E TECTÔNICA DE PARTE DO SUBGRUPO  
LAJEADO, IPORANGA, SP**

FREDERICO MEIRA FALEIROS

DISCIPLINA 0440500 - TRABALHO DE FORMATURA

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Ginaldo Ademar da Cruz Campanha

Prof. Dr. Carlos José Archanjo

Prof. Dr. Benjamin Bley de Brito Neves

SÃO PAULO  
2000

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**Estratigrafia e tectônica de parte do Subgrupo  
Lajeado, Iporanga, SP.**

**Frederico Meira Faleiros**



**Orientador: Prof. Dr. Ginaldo Ademar da Cruz Campanha**

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2000/11)**

**DEDALUS - Acervo - IGC**



**30900006331**

TF  
F187  
FM.e

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Estatísticas e Geociências da base do Suplício  
Lajeado, Rio Grande, SP.

DOAÇÃO	Comerços
do Trabalho de Formatura	
Data:	23/03/05

Recebido Meira Freitas

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(M-50001)

## RESUMO

A pesquisa desenvolvida estudou as relações estratigráficas e estruturais entre as formações Betari, Bairro da Serra, Água Suja e Mina de Furnas, que constituem metassedimentos proterozóicos do Subgrupo Lajeado (Supergrupo Açuungui), com área de ocorrência no Vale do Ribeira. Foram integrados dados estruturais, metamórficos e sedimentares obtidos em levantamentos de campo em escala de detalhe (1:10.000), numa área chave de ocorrência do Subgrupo Lajeado (localizada na região do Bairro da Serra, município de Iporanga, SP), a partir do qual pôde-se reconstituir a estratigrafia original e elaborar um modelo de evolução tectônica para área estuda.

A similaridade de ambientes de sedimentação entre as seqüências carbonáticas representadas pelas formações Bairro da Serra e Mina de Furnas, e entre o topo da Formação Betari e a Formação Água Suja, associada a natureza tectônica dos contatos, sugere a repetição tectônica do par terrígeno/carbonático por uma rampa lateral.

A existência de falhas direcionais em todos os contatos entre as unidades litoestratigráficas associada a geração de dobras escalonadas, sugere uma evolução tectônica condicionada por esforços transpressivos.

## ABSTRACT

We studied the stratigraphic and structural relationships among the Betari, Bairro da Serra, Água Suja and Mina de Furnas formations, which belong to the proterozoic metasediments of the Lajeado Subgroup (Açungui Supergroup) in the Ribeira Valley. A detailed geologic survey (1:10.000 scale) was carried on a key area of the Lajeado Subgroup, in the Bairro da Serra District, Iporanga, SP. Sedimentary, structural and metamorphic data were integrated, in order to understand the original stratigraphy and the evolution of the area.

The similarity of the sedimentary environments of the carbonatic sequences of the Bairro da Serra and Mina de Furnas formations, as well their tectonic contacts, suggest the tectonic repetition of a terrigenous/carbonatic couple through lateral ramps.

Directional faults in all the contacts between the stratigraphic units, associated with on echelon folds, indicate a tectonic evolution controlled by a transpressive regime.

## AGRADECIMENTOS

O autor expressa seu profundo agradecimento a todas as pessoas que tiveram participação direta ou indireta na elaboração deste trabalho.

Em primeiro lugar deve agradecer ao Prof. Dr. Ginaldo Ademar da Cruz Campanha, pela orientação e apoio em todas as atividades deste trabalho.

Reconhecimento especial é dedicado aos meus tios Nelson Augusto Alves e Teodulina Meira Alves, e primos Almir Meira Alves e Helena Meira Alves, que me acolheram e apoiaram durante meus cinco anos de graduação.

Aos amigos e colegas do curso de geologia, Carlos Henrique Grohmann de Carvalho (Guâno) e Sergio Willians de Oliveira Rodrigues (Aracy), que participaram dos trabalhos de campo, muitas vezes sob condições penosas.

À Pousada Rancho da Serra (Lucia Yoko Nagaoka, Ercília dos Santos e Jurandir Aguiar dos Santos), pela infraestrutura e apoio oferecida para os trabalhos de campo. Agradece-se também aos outros moradores da região que ajudaram nestas atividades, como Agnaldo Aguiar dos Santos e o guia de campo Adilson. Em especial deve agradecimentos a Jurandir Aguiar dos Santos, que auxiliou este trabalho em diversos aspectos, desde a indicação de perfis viáveis de realização como a participação como guia em algumas etapas de campo.

Ao Prof. Dr. Ivo Karmann, pela discussão sobre alguns tópicos da geologia da área.

Ao Prof. Coriolano Marins e Dias Neto pelo fornecimento de material utilizado no esboço dos mapas e perfis geológicos preliminares.

À geóloga Dra. Rita Parise Conde, pela escanerização dos temas utilizados na digitalização dos mapas confeccionados neste trabalho.

Ao geólogo Pedro Carlos Poccetti, da Seção de Informática do IGc/USP, pela impressão dos mapas preliminares elaborados neste trabalho, e ao geólogo Alexandre Carnier Nunes da Silva pela impressão dos mapas finais.

Ao Conselho Técnico do Instituto Florestal (COTEC), que aprovou a realização desta pesquisa em áreas inseridas no Parque Estadual Turístico Alto Ribeira (PETAR), processo 41.394/2000.

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), pela concessão de auxílio financeiro, através de bolsa de Iniciação Científica, processo FAPESP 00/05322-6.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.2. Localização	2
1.2. Objetivos	2
<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>4</b>
2.1. Pesquisa Bibliográfica	4
2.2. Base cartográfica	4
2.3. Fotointerpretação	4
2.4. Levantamento e análise dos dados	5
2.5. Integração dos dados	5
<b>3. TRABALHOS ANTERIORES</b>	<b>6</b>
<b>4. ESTRATIGRAFIA</b>	<b>12</b>
4.1. Formação Betari	12
4.2. Formação Bairro da Serra	14
4.3. Formação Água Suja	18
4.4. Formação Mina de Furnas	18
4.5. Relações de contato entre as unidades litoestratigráficas	20
<b>5. ESTRUTURAS TECTÔNICAS</b>	<b>24</b>
5.1. Foliações	24
5.2. Lineações	25
5.3. Dobras	26
<b>6. ANÁLISE GEOMÉTRICA DAS ESTRUTURAS ATRAVÉS DA ORIENTAÇÃO</b>	<b>27</b>
6.1. Análises pontuais	27
6.2. Domínios estruturais	28
<b>7. METAMORFISMO</b>	<b>32</b>
<b>8. RECONSTITUIÇÃO DA MACROESTRUTURA E DA ESTRATIGRAFIA ORIGINAL</b>	<b>34</b>
8.1. Macroestrutura	34
8.2. Reconstituição da estratigrafia original	35
8.3. Implicações da macroestrutura nos modelos de circulação hidrológica	36
<b>9. CONCLUSÕES</b>	<b>36</b>
<b>10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>38</b>

## **ANEXOS**

**3 Pranchas de Fotografias**

**ANEXO 1 - Mapa de Localização de Afloramentos Descritos**

**ANEXO 2 - Mapa Geológico**

**ANEXO 2A - Seções Geológicas**

**ANEXO 3 - Mapa de Domínios Estruturais**

## 1. INTRODUÇÃO

O Subgrupo Lajeado (Campanha, 1985 e 1986), é uma subunidade do Grupo Açuengui constituída por metassedimentos de baixo grau e idade proterozóica. Sua área de ocorrência abrange a região localizada entre os altos vales dos rios Paranapanema e Ribeira, limítrofe entre os estados de São Paulo e Paraná. Encontra-se organizado em sete formações alternadamente de natureza clástica terrígena e carbonática, tendo sido interpretado como uma plataforma carbonática aberta para o oceano.

De maneira geral o arcabouço litoestratigráfico e estrutural do Subgrupo Lajeado encontra-se razoavelmente definido na região entre Apiaí e Iporanga. Porém, diversos pontos obscuros ainda permaneciam sem esclarecimentos razoáveis quanto às interpretações estratigráficas e estruturais. Um destes pontos é a possibilidade de não ocorrer um empilhamento estratigráfico original preservado com as sete formações, mas sim uma repetição tectônica de um par terrígeno/carbonático diversas vezes por falhas de empurrão. A similaridade em termos de fácies sedimentares entre as formações Bairro da Serra e Mina de Furnas e a existência de zonas de cisalhamento entre os grandes pacotes litológicos sugere esta última hipótese. Porém, estas feições de cisalhamento poderiam ser interpretadas como outros processos, tais como dobramento por deslizamento flexural.

Alguns autores mencionam a possibilidade de repetição tectônica entre algumas das unidades do Subgrupo Lajeado (Daitx, 1983; Pires, 1990; Campanha, 1991), no entanto, além de cada autor apresentar uma sugestão diferente de como ela ocorreria, nenhum deles aponta evidências convincentes que sustentasse suas sugestões, e portanto, não assumem estas interpretações.

Outro ponto em aberto é o caráter contínuo ou descontínuo dos filitos da Formação Água Suja. Estes filitos representam uma barreira impermeável dentro dos aquíferos cársticos das formações Mina de Furnas e Bairro da Serra, portanto, um mapeamento exato desta intercalação torna-se importante para a elaboração de modelos de circulação hidrológica subterrânea da região.

A partir deste trabalho realizado em escala de detalhe (1:10.000), obteve-se informações mais precisas sobre as relações de contatos entre as unidades, sucessões litológicas e processos de deformação de parte do Subgrupo Lajeado, fornecendo critérios mais seguros para a recomposição da estratigrafia e paleogeografia originais.

## 1.2. Localização

A área estudada localiza-se no município de Iporanga, porção a sul do estado de São Paulo (figura 1). Corresponde a uma folha 1:10.000, com aproximadamente 40km<sup>2</sup> de extensão.

## 1.2. Objetivos

O objetivo deste trabalho consistiu em caracterizar detalhadamente os dois pares de unidades terrígenas/carbonáticas (formações Betari / Bairro da Serra e Água Suja / Mina de Furnas) do Subgrupo Lajeado, quanto aos seus modos de ocorrência, associações de fácies e relações de contato, de maneira que se pudesse obter critérios seguros para avaliar a possibilidade de repetição tectônica do par terrígeno carbonático por falha de empurrão. Para tal foi escolhida uma área chave de exposição da referida unidade, onde foi determinada sua seção tipo em diversos trabalhos anteriores.

Como a área abordada apresenta rochas metassedimentares polideformadas de idade proterozóica, a caracterização do estilo e evolução estrutural e metamorfica torna-se imprescindível para recomposição da estratigrafia original.

As caracterizações sedimentar-estratigráfica e estrutural foram realizadas com base principalmente em levantamentos de campo em escala de detalhe (1:10.000).

A partir da integração dos dados estruturais e estratigráficos logrou-se formular modelos de evolução geológica do Subgrupo Lajeado, na região estudada.

## LEGENDA

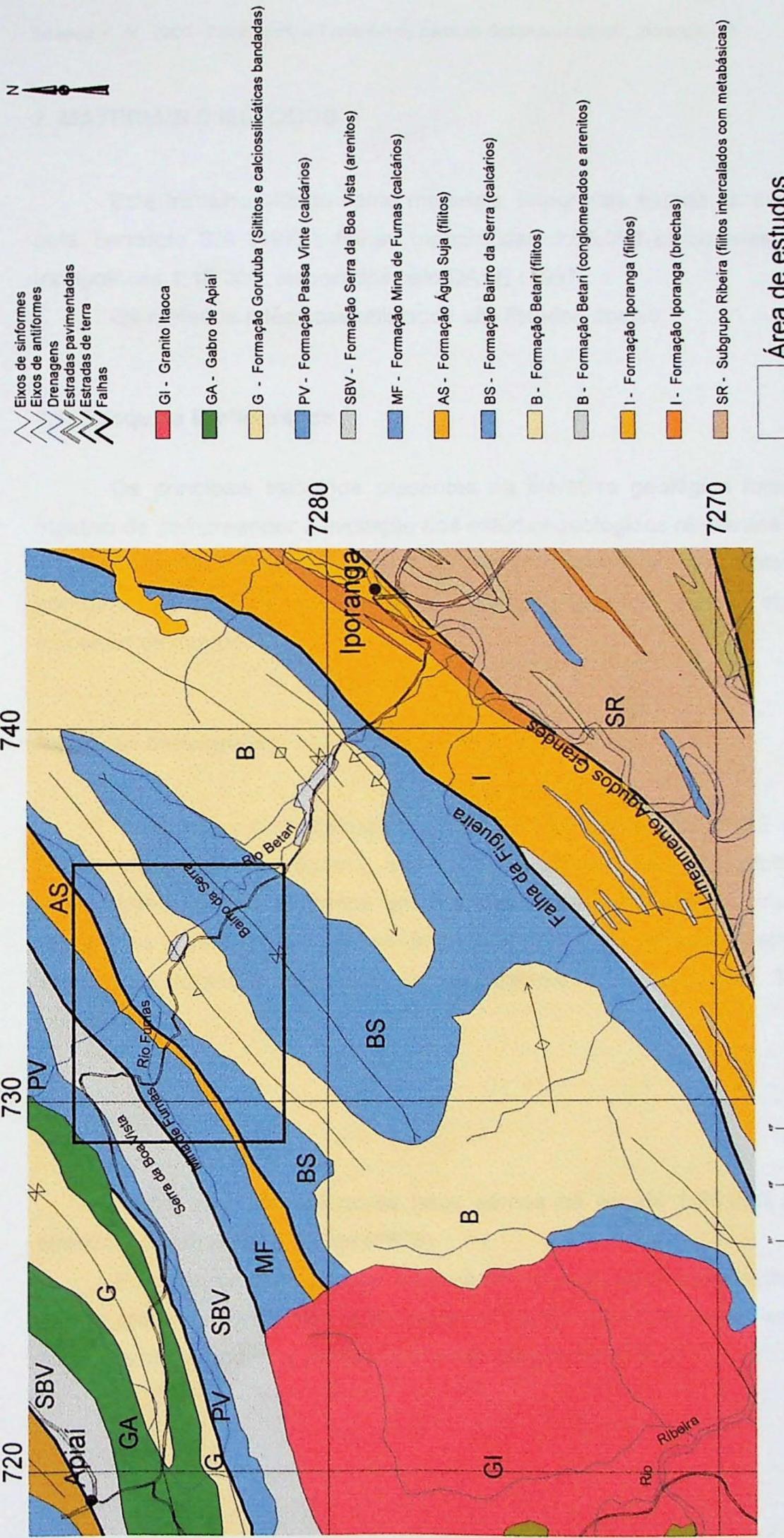


Figura 1. Localização da área de estudos

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

Este trabalho utilizou como materiais: fotografias aéreas na escala 1:25.000 obtidas pela Terrafoto S/A (1973); folhas topográficas 1:50.000 elaboradas pelo IBGE; e folhas topográficas 1:10.000, elaboradas pelo DAEE (1957).

Os métodos e técnicas utilizados são listados abaixo:

### **2.1. Pesquisa Bibliográfica**

Os principais trabalhos presentes na literatura geológica foram estudados com o objetivo de compreender a evolução dos estudos geológicos referentes ao Grupo Açungui.

Foi realizada a compilação de alguns mapas de semi-detalhe específicos, que abordaram a área de ocorrência do Subgrupo Lajeado, com o objetivo de auxiliar os trabalhos de campo.

### **2.2. Base cartográfica**

Adotou-se a base cartográfica 1:10.000 elaborada pelo DAEE (1957). Os diferentes temas (drenagens, estradas e curvas topográficas) foram copiados separadamente em papel vegetal e escanerizados em scanner formato A0 gerando imagens tif, que foram registradas e vetorizadas através do programa ArcInfo. Através deste programa os temas vetorizados foram reprojetados para o sistema UTM (Universal Transversa Mercator projection).

### **2.3. Fotointerpretação**

Nesta atividade utilizou-se fotos aéreas na escala 1:25.000 e adotou os critérios sintetizados em Soares & Fiori (1976).

Foi utilizada para escolha da área de estudos, para preparação do mapa auxiliar de campo (conjuntamente com a atividade de compilação dos mapas existentes), durante os trabalhos de campo e na preparação do mapa geológico final.

## 2.4. Levantamento e análise dos dados

Os dados foram obtidos a partir da realização de perfis de caminhamento a pé, contínuos e transversais as estruturas da área (na medida do possível), em escala de detalhe (1:10.000), onde foram coletados dados referentes a litologias, estruturas sedimentares e estruturas tectônicas.

Esta atividade constou de vinte e quatro dias de trabalho, dividida em quatro etapas, respectivamente de oito, dois, nove e cinco dias. Foram descritos 236 afloramentos (anexo 1 – mapa de pontos descritos) e coletados 371 dados de acamamento, 35 dados de foliação S1, 91 dados de foliação S2, 9 dados de eixos B1, 26 dados de eixos B2 e 9dados de estrias intraestratais. A partir destes dados foram construídos 24 diagramas em redes de Schmidt-Lambert.

Os levantamentos e análises de estruturas envolveram os métodos e técnicas convencionais (Turner & Weiss, 1963; Hobbs *et al.*, 1976; Ramsay & Huber, 1983 e 1987), com identificação e tomada de atitudes de foliações, lineações, dobras e indicadores cinemáticos. Os dados coletados foram tratados em estereogramas, mapa e perfis.

Procurou-se reconhecer e correlacionar as fácies sedimentares existentes, através de observações e análise de estruturas sedimentares, litotipos e relações de contato (Pettitjohn & Potter, 1964; Walker, 1979; Collinson & Thompson, 1989; Medeiros *et al.*, 1971).

As estruturas identificadas em campo foram registradas em fotografias e desenhos, e os afloramentos descritos marcados em mapas 1:10.000, com indicações dos litotipos e estruturas observadas.

As relações entre as diversas estruturas tectônicas identificadas e hierarquizadas em campo foram detalhadas em estudos microestruturais a partir de seções delgadas. Paralelamente foi caracterizado o metamorfismo associado, fornecendo informações sobre o nível crustal de formação de cada estrutura tectônica.

## 2.5. Integração dos dados

Os dados obtidos foram integrados em mapa e seções geológicas e colunas estratigráficas. Foi efetuada a correlação entre as unidades litoestratigráficas com base em critérios sedimentares, associada a natureza dos contatos geológicos e tectônica imposta, a partir do qual pode-se realizar a reconstituição da estratigrafia original e formular modelos de evolução geológica.

### 3. TRABALHOS ANTERIORES

O Vale do Ribeira foi alvo de diversos trabalhos versando sobre a geologia da região desde o início do século XIX, tanto nos estados de São Paulo como do Paraná. Este interesse decorreu da grande importância econômica das rochas da região, e resultou em uma enormidade de denominações formais e informais que acabou tornando confuso o entendimento da estratigrafia do Grupo Açuengui. Da vasta gama de trabalhos presentes na literatura geológica, distinguem-se aqueles de caráter bastante gerais, os de cunho sedimentar e aqueles com enfoque tectônico.

Dentre os trabalhos pioneiros citam-se os de Derby (1878), que descreveu genericamente os metamorfitos do vale do Rio Açuengui, e os trabalhos de Oliveira (1916, 1925, 1927) que introduziu o termo Série Açuengui, separando os metassedimentos da região oeste e noroeste de Curitiba, de um embasamento tido como arqueano.

Moraes Rego (1933) denomina de Série São Roque os epimetamorfitos que reconheceu nas proximidades da cidade de São Paulo. Posteriormente esta série foi considerada contínua com a Série Açuengui, sendo utilizado um ou outro nome conforme o autor.

Barbosa (1941) propõe a primeira subdivisão estratigráfica para a chamada Série São Roque, na região entre Apiaí e Iporanga. Outra subdivisão estratigráfica para esta região é proposta por Geoffrey & Santos (1942).

Barbosa (1948) apresenta o primeiro perfil geológico completo levantado na estrada Apiaí-Iporanga. No mesmo trabalho prioriza, para a designação dos metamorfitos da bacia do Ribeira, a utilização do termo Série Açuengui, ao termo Série São Roque, argumentando serem ambas uma única e a mesma unidade geológica e a designação Série Açuengui ser mais antiga.

Petri & Suguiio (1969) realizam um trabalho com enfoque sedimentar na região sul do estado de São Paulo. Neste trabalho definem o ambiente de sedimentação para o Grupo Açuengui, como representando uma bacia marinha, com sedimentação não litorânea próxima à linha de costa, com aumento progressivo da profundidade das águas de noroeste para sudeste.

A MMAJ/JICA (1981, 1982, 1983) desenvolveu um reconhecimento regional no Vale do Ribeira seguido de mapeamentos de semi-detalhe (1:25.000) (Projeto Anta Gorda, fases I, II e III). Os resultados da terceira fase são apresentados por MMAJ/JICA (1983) e Daitx et al. (1983). Neste trabalho o Grupo Açuengui foi dividido informalmente nas formações Açuengui I, Açuengui II e Açuengui III. A área em questão está incluída na Formação Açuengui III, subdividida em quatro membros que por sua vez são formados por duas litofácies, uma carbonática basal e uma terrígena no topo ( $L_1$  e  $S_1$ ;  $L_2$  e  $S_2$ ;  $L_3$  e  $S_3$ ;  $L_4$  e  $S_4$ ).

Campos Neto (1983) distingue sete seqüências litoestratigráficas na região entre Barra do Turvo e Apiaí, denominando-as informalmente de seqüência Rio Pardo, seqüência Ribeirão das Pedras, seqüência Iporanga, seqüência Betari, seqüência Furnas-Lajeado, seqüência Serra da Boa Vista e seqüência do Gorutuba. Para o autor, o termo seqüência teria uma conotação equivalente a formação, porém informal.

Hasui *et al.* (1984) restringem o termo Grupo Açuengui para designar o conjunto de metassedimentos referentes a Formação Açuengui III (MMAJ/JICA, 1983; Daitx *et al.*, 1983) e as seqüências Betari, Furnas-Lajeado e Serra da Boa Vista de Campos Neto (*op cit.*). Propõem uma subdivisão formal para esta unidade, definindo as formações Betari, Bairro da Serra, Água Suja, Mina de Furnas e Serra da Boa Vista. Os mesmos autores atribuíram a seqüência do Gorutuba de Campos Neto (*op cit.*) e Membro 4 de MMAJ/JICA (1983) e Daitx *et al.* (1983) como constituinte de um conjunto pré-Açuengui.

Campanha *et al.* (1985, 1986) definem o Subgrupo Lajeado, adaptando as proposições de Barbosa (1941), Campos Neto (*op cit.*) e Hasui *et al.* (*op cit.*). Ainda segundo os autores o Grupo Açuengui além do Subgrupo Lajeado englobaria mais duas unidades, correspondendo as formações Iporanga e Perau. Na figura 2 é apresentada a coluna estratigráfica do Subgrupo Lajeado proposta pelos autores.

Pires (1988) apresenta uma concepção dos ambientes de sedimentação do Grupo Açuengui através da identificação e análise de seqüências deposicionais. Identifica na região entre Apiaí e Barra do Turvo, cinco seqüências deposicionais e um complexo turbidítico, refletindo episódios transgressivos e regressivos e diferentes ambientes de sedimentação. São elas: complexo turbidítico Rio das Pedras, seqüência de Iporanga, seqüência do Betari, seqüência Furnas-Lajeado, seqüência Serra da Boa Vista e seqüência do Gorutuba-Passa Vinte. Ressalta-se que apesar de apresentar essencialmente as mesmas designações de Campos Neto (*op cit.*), neste caso o termo seqüência apresenta uma conotação de estratigrafia genética.

Daitx *et al.* (1990) apresentam para o Gabro de Apiaí uma isócrona Rb/Sr de  $850 \pm 50$  Ma, sendo esta uma idade mínima para sedimentação do Subgrupo Lajeado.

Pires (1990) realizou um estudo detalhado referente às seqüências Betari e Furnas-Lajeado (Pires, 1988), caracterizando a primeira como retrogradacional relacionada a um episódio transgressivo e a segunda representante de uma seqüência progradacional com deposição condicionada por um episódio regressivo. Segundo o autor, a seqüência Betari estratigraficamente estaria na base, sendo recoberta pela seqüência Furnas-Lajeado, ambas constituintes de um ciclo transgressivo-regressivo completo com aproximadamente 2.000 metros de espessura de sedimentos. Observa ainda as similaridades em termos litológicos e de ambientes sedimentares entre as seqüências Betari e Serra da Boa Vista, e entre as seqüências Furnas-Lajeado e Gorutuba-Passa Vinte, correlacionando os dois pares e sugerindo uma possível repetição tectônica por cavagamento, através da Falha de

Arapongas. Sugere ainda a repetição entre os mármoreos do Bairro da Serra e Mina de Furnas por dobramento.

Campanha (1991) critica esta hipótese de repetição tectônica proposta por Pires (1990), julgando que seria mais simples a repetição do par unidade terrígena basal/unidade carbonática superior por três vezes (Betari/Bairro da Serra, Água Suja/Mina de Furnas e Serra da Boa Vista/Passa Vinte). Relata ainda ser esta hipótese sugerida pela disposição regional dessas unidades, mas deixa claro que ainda faltam critérios seguros de correlação para adotá-la.

Hackspacher *et al.* (1999, 2000) apresentam idades geocronológicas para rochas metabásicas presentes na região de Iporanga, Gábro de Apiaí e para o Granito Apiaí, a partir do método U/Pb em zircões. Os autores apresentam para as rochas metabásicas da Formação Iporanga, as quais interpretam como metavulcânicas intimamente associados aos metassedimentos, uma idade com intercepto superior de  $614 \pm 14$  Ma, refletindo a idade de cristalização destas rochas. Para o Gábro de Apiaí, intrusivo no topo do Subgrupo Lajeado e segundo os autores afetado por incipiente deformação tangencial Brasiliana, apresentam idade do intercepto superior de  $617 \pm 4$  Ma, interpretado como idade de cristalização da rochas. Para o Granito Apiaí (intrusivo no Grupo Açuungui e interpretado como magmatismo tardi-colisional) obtiveram idades do intercepto superior de  $605 \pm 3$  Ma. A partir destes dados os autores sugerem uma história de evolução muito curta entre a deposição dos sedimentos do Supergrupo Açuungui e o início do magmatismo (10 a 20 Ma), durante fases sin a tardi-colisionais da Orogênese Brasiliana.

Para este trabalho adotar-se-á como nomenclatura estratigráfica da área estudada as proposições de Campanha & Sadowski (1999) para o Supergrupo Açuungui (quadro 1).

S	U	G	Formação Gorutuba	S	U	B	Formação Iporanga	G
P	R	S		S	U	R		R
E	U	U	Formação Passa Vinte	U	B	U		U
R	P	B		B	G	R		G
G	O	G		G	R	U		R
R	V	R	Formação Serra da Boa Vista	R	U	P		U
U	P	U		U	P	O		P
P	O	O	Formação Mina de Furnas	O	O	O		O
O	T	L						
T	U							
U	A							
A	V	A	Formação Água Suja	A	I	B		I
C	E	J		E	R	E		E
U	R	E	Formação Bairro da Serra	R	B	I		B
N	A	A		I	E	I		E
G	V	D		I	R	R		R
U	A	O	Formação Betari	A	A	A		A
I								
COMPLEXO GNÁISSICO-MIGMATÍTICO								

Quadro 1 - Proposta para subdivisão do Subgrupo Lajeado de Campanha & Sadowski. (1999).

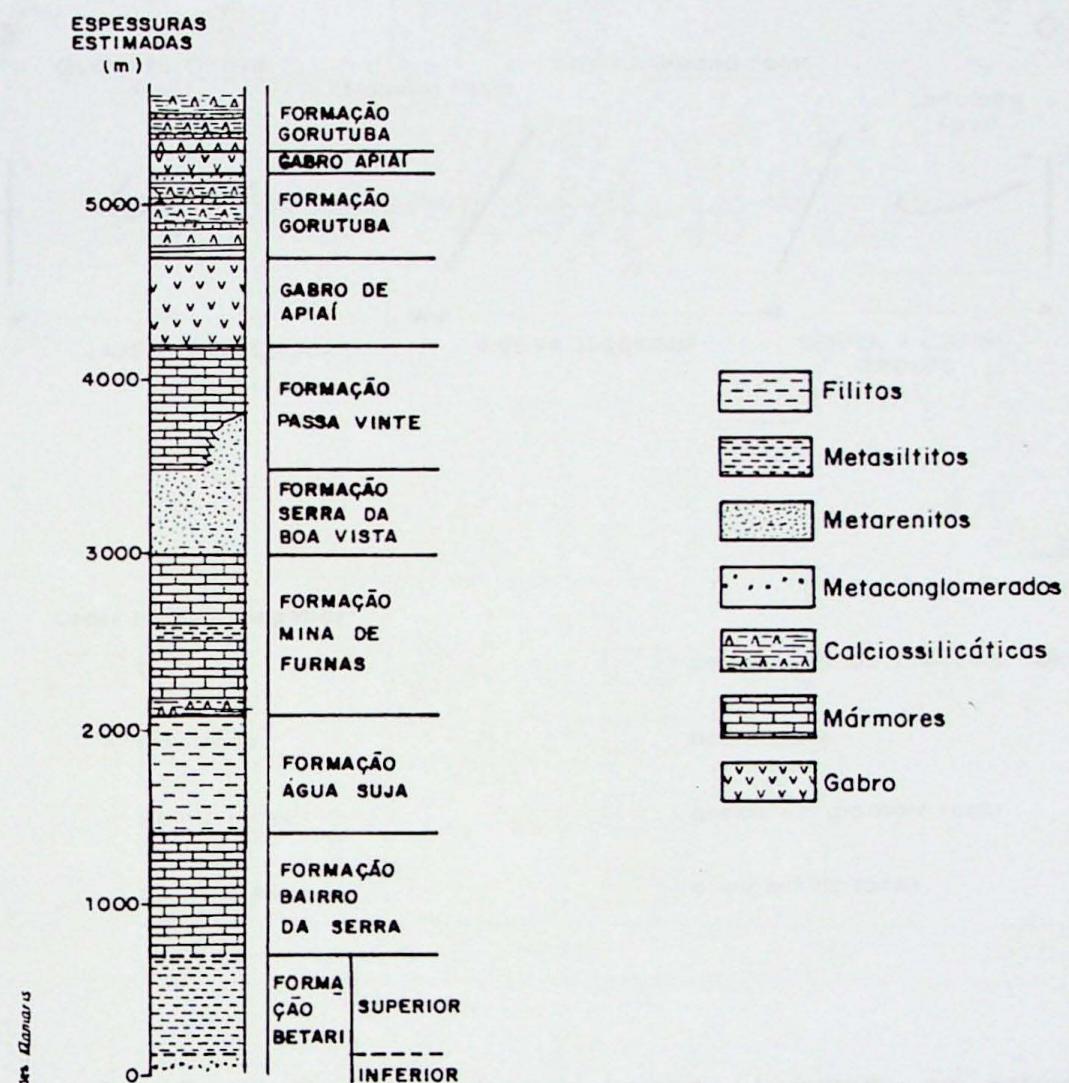


Figura 2 – coluna estratigráfica de Campanha et al (1985)

### Propostas de subdivisão para o Subgrupo Lajeado

Geoffrey e Souza Santos (1942)	Barbosa (1942)	MUNA/JICA (1983)	Daitx et al. (1983)	Campos Neto (1983)	Masui et al. (1984)	Chioldi Filho (1984)	Campanha et al. (1985, 1986)	Pires (1988)
Formação Gorutubito	Gorutubitos	Membro S <sub>4</sub>	Unidade Terrígena S <sub>4</sub>	Seqüência do	(Complexo Gorutuba)	Membro CT	Formação Gorutuba	Seqüência Gorutuba Passa-Vinte
(Calcários das Furnas)	Calcário Passa-Vinte	Membro L <sub>4</sub>	Unidade carbonática L <sub>4</sub>	Seqüência Gorutuba	Setuva)	Membro C <sub>3</sub>	Formação Passa-Vinte	Seqüência Gorutuba Passa-Vinte
Quartzitos da Serra da Boa Vista	Quartzitos Água Limpa	Membro S <sub>3</sub>	Unidade terrígena S <sub>3</sub>	Seqüência Serra da Boa Vista	Formação Serra da Boa Vista	Membro T <sub>2</sub>	Formação Serra da Boa Vista	Seqüência da Boa Vista
Calcários das Furnas	Calcário Furnas	Membro L <sub>3</sub>	Unidade carbonática L <sub>3</sub>	Orofacies Furnas	Formação Furnas	(Membro C <sub>2</sub> )	Formação Mina de Furnas	Seqüência Mina de Furnas
(Xistos da Serra do Tatu)	(Xistos da Serra do Tatu)	Membro S <sub>2</sub>	Unidade terrígena S <sub>2</sub>	Seqüência Água Suja	Formação Água Suja	(Membro T <sub>1</sub> )	Formação Água Suja	Seqüência Água Suja
Calcários Lajeado	Calcário Lajeado	Membro L <sub>2</sub>	Unidade carbonática L <sub>2</sub>	Facies Lajeado	Formação Bairro da Serra	C <sub>2</sub>	Formação Bairro da Serra	Seqüência Bairro da Serra
Xistos da Serra do Tatu	Xistos da Serra do Tatu	Membro S <sub>1</sub>	Unidade terrígena S <sub>1</sub>	Seqüência do Betari	Formação Betari	T <sub>1</sub>	Formação Betari	Seqüência Betari

## 4. ESTRATIGRAFIA

### 4.1. Formação Betari

A Formação Betari apresenta espessura estimada na área estudada de 600m, e constitui a unidade terrígena basal do Subgrupo Lajeado.

Três grupos de fácies foram reconhecidas nesta unidade: arenó-conglomeráticas, arenosas e siltosas.

O grupo de fácies arenó-conglomeráticas forma a base da coluna estratigráfica da Formação Betari (figura 4), e compreende alternâncias entre camadas de metaconglomerados oligomíticos na base que transicionam para microconglomerados e metarenitos grossos no topo, interestratificadas por camadas métricas de metarenitos finos a médios.

Os metaconglomerados são clastos suportados, apresentando uma relação entre clastos e matriz de 55 para 45%. Os clastos apresentam dimensões em média da ordem de 1cm, podendo alcançar no máximo 2cm de dimensão maior. São constituídos por quartzo e quartzito leitoso e apresentam-se moderadamente arredondados. A matriz é constituída por areia grossa micácea, quartzosa e subordinadamente arcadiana, mal selecionada.

Possuem camadas com espessura variando de 2 a 3 metros e apresentam nítida graduação ascendente dentro mesma camada (*graded beding*), chegando no topo a constituir-se de metarenitos grossos moderadamente selecionados. Apresentam pequena extensão lateral (50 metros).

Encontram-se interestratificadas com camadas submétricas de metarenitos médios a finos, micáceos, muitas vezes arcoseanos, com laminação de ondas truncadas por ondas e estratificação planoparalela. Os contatos geralmente são planares e bruscos.

As evidências indicam que constituem-se por depósitos formados por alta concentração de correntes turbidíticas e fluxos associados. As intercalações de metarenitos com laminações cruzadas de pequeno porte sugerem um ambiente afetado por ondas normais, portanto, relativamente raso.

O grupo de fácies arenosas inclui camadas com espessuras variando de métricas a subdecimétricas da base para o topo da seqüência, constituída por metarenitos finos a médios, com graduação interna (*graded beding*), laminações planoparalela e localmente *climbing*s. A forma das camadas pode ser tabular ou lenticular. Incluem interestratificações de camadas centimétricas de metassiltitos, internamente gradadas. Os contatos são em geral planos, podendo ocorrer estruturas de sobrecarga tipo *flame*. Eventualmente ocorrem intercalações métricas de metarenitos grossos maciços.

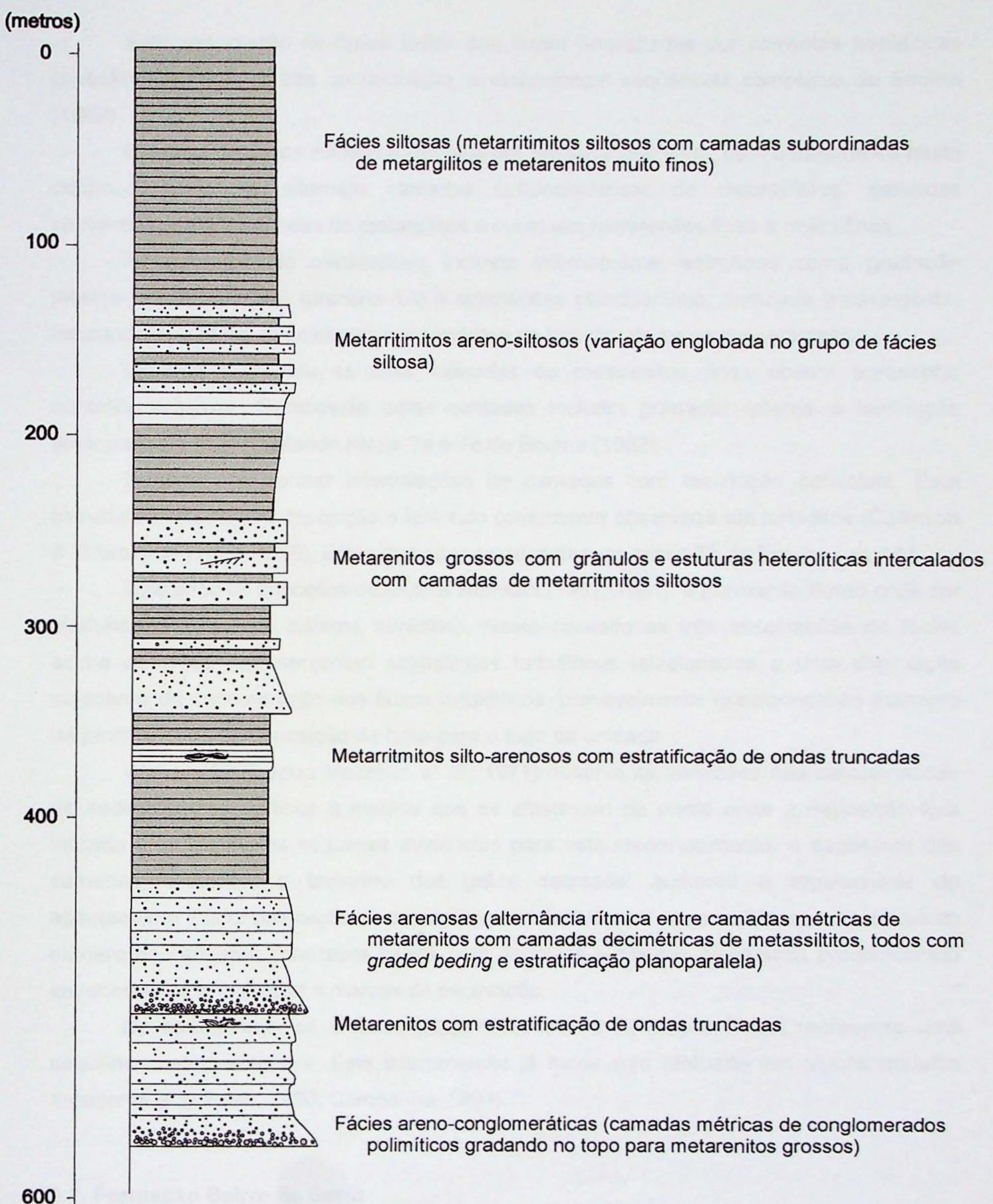


Figura 4 - Coluna estratigráfica da Formação Betari, levantada no flanco noroeste do sinclinal da Serra da Biquinha

Esta associação de fácies indica que foram depositadas por correntes turbidíticas (*turbidity currents*) de alta concentração, e representam seqüências completas de Bouma (1962).

O grupo de fácies siltosas é formada por metarritmitos finos, com bandamento muito contínuo, onde se alternam camadas subdecimétricas de metassiltitos, camadas centimétricas subordinadas de metargilitos e eventuais metarenitos finos a muito finos.

As camadas de metassiltitos incluem internamente, estruturas como gradação interna (*graded bedding*) (prancha 1A) e laminationes planoparalela, ondulada e cavalgante, indicando que foram depositadas por correntes de turbidez de baixa concentração.

Quando presentes as finas camadas de metarenitos finos podem apresentar contatos erosivos. Geralmente estas camadas incluem gradação interna e laminatione planoparalela, representando níveis Ta e Tb de Bouma (1962).

É comum encontrar intercalações de camadas com laminatione convoluta. Esta estrutura indica rápida deposição e tem sido comumente observada em turbiditos (Collinson & Thompson (1982, 1989). Estas camadas representam os níveis Tc de Bouma (*op. cit.*).

Utilizando os conceitos de Mutti & Normark (1987, 1991), a Formação Betari pode ser classificada como um sistema turbidítico. Neste conceito as três associações de fácies acima descritas representariam subestágios turbidíticos relacionados a uma diminuição crescente da concentração dos fluxos turbidíticos, provavelmente relacionada ao aumento da profundidade de deposição da base para o topo da unidade.

Walker (1967 apud Medeiros *et al.*, 1971) observa as variações nas características de sedimentos turbidíticos à medida que se afastavam do ponto onde a deposição fora iniciada e apresenta as seguintes evidências para este reconhecimento: a espessura das camadas decresce; o tamanho dos grãos decresce; aumenta a regularidade do acamamento; maior proporção de camadas gradacionais bem desenvolvidas; decréscimo do número de camadas com topes bases bem definidos e marcas mecânicas predominando em ocorrência em relação a marcas de escavação.

De acordo com os critérios supra discutidos a Formação Betari representa uma seqüência retrogradacional. Esta interpretação já havia sido efetuada em alguns trabalho anteriores (e.g. Pires, 1990; Campanha; 1991).

#### 4.2. Formação Bairro da Serra

Esta unidade apresenta diversas associações entre fácies, refletindo diferentes condições de sedimentação. Foram diferenciados sete grupos de fácies distintos denominados pelas letras de A a G.

O grupo A comprehende alternâncias decimétricas a submétricas entre camadas de calcilutitos e calcarenitos, internamente gradadas. As camadas calcarenitos apresentam coloração cinza escuro e os calcilutitos amarelados, conferindo um aspecto rítmico para rocha (prancha 1B). Os contatos entre estas camadas apresentam morfologias irregulares, representados por estruturas de sobrecarga tipo *flame* e localmente formando pseudonódulos (prancha 1C). Associam-se a estas estruturas pequenas falhas distencionais lístricas e dobras convolutas (*slumps*) confinados em certos estratos (prancha 2A e 2B). O modo de ocorrência destas estruturas indicam suas naturezas sedimentares. Como as falhas deste tipo são distencionais e as dobras tectônicas são estruturas compressivas, esta associação não poderia ter sido gerada tectonicamente no mesmo evento. Esta variedade de estruturas sedimentares indicam deposição associada com atividade tectônica periódica e/ou rápida acumulação de sedimentos, provavelmente com correntes de turbidez associadas.

O grupo B é composto por calcarenitos finos com coloração cinza escuro e camadas de espessuras decimétricas apresentando, notavelmente, abundante estratificação planoparalela interna. Apresentam normalmente gradação para níveis centimétricos localizados com ondulações por migração de ondas (*climbing ripples*). Localmente é representado por camadas com espessuras submétricas de calcários finos pobres em estruturas sedimentares, com intergradação para níveis decimétricos localizados com estratificação planoparalela que transiciona para *climbing ripples* e volta a ficar plano paralela.

O grupo C comprehende uma associação de seis fácies carbonáticas distintas, incluindo na base calcirruditos com camadas apresentando espessuras de aproximadamente 50 centímetros, com gradação interna (*graded beds*), assentadas por contatos discordantes (estruturas de sobrecarga) sobre camadas de calcilutitos maciços. Os calcirruditos encontram-se sobrepostos concordantemente com camadas apresentando espessuras ao redor de 20 centímetros de calcarenitos grossos, maciços ou com estratificação planoparalela incipiente que transicionam para calcarenitos finos com estratificação ondulada, passando a *climbing ripples* e terminando no topo com calcarenitos muito finos com estratificação planoparalela (todos sets apresentam espessuras ao redor de 20 centímetros). Constituem seqüências Ta-e completas de Bouma (1962) depositadas por correntes turbidíticas de alta concentração assentadas sobre camadas de calcilutitos maciços que constituem a sedimentação hemipelágica da bacia. Podem representar uma variação do grupo de fácies B (onde a seqüência é bem desenvolvida).

O grupo D inclui calcilutitos cinza escuros maciços com camadas de espessuras em geral submétricas. Ocasionalmente podem gradar internamente para níveis mais grossos com estratificação planoparalela, sendo mais comum a intercalação de camadas centimétricas de calcarenitos finos apresentando estas estruturas. Apresentam intercalações subordinadas de calciofilitos finamente laminados. Pires (1990) interpreta estas fácies como

turbiditos distais (Te predominante). No entanto, diversos autores na literatura relatam que os depósitos de fluxos turbidíticos de baixa concentração podem ser virtualmente indistinguíveis do *background* da sedimentação hemipelágica, especialmente em exemplos de afloramentos e calcilutitos (Stow, Wezel *et al.*, 1984; Bromley & Ekdale, 1987; Coniglio & James, 1990; *Apud* Reading, 1996). De qualquer modo as associações observadas são indícios de deposição em ambiente de baixa energia, com predomínio de suspensão sobre tração, e pode estar refletindo uma profundidade relativamente alta.

O grupo E é formado por metacalcarenitos em camadas variando espessuras centimétricas a submétricas com estratificações planoparalelas, cruzadas acanaladas, de ondas truncadas por ondas (prancha 2C) e *climbing*, todas de dimensões centimétricas. Estas associações de estruturas indicam deposição em ambientes afetados pela ação de ondas normais, portanto mais rasos.

O grupo F é constituído por camadas de metarrítmitos intercaladas nos metacalcários. A espessura destas intercalações pode variar de um a dezenas de metros. São formadas por camadas centimétricas a subdecimétricas de metassiltitos que incluem internamente estruturas como gradação normal, laminações planoparalela, ondulada, convoluta e *climbing ripples*. Pode-se observar localmente camadas de folhelhos. Estas características sugerem que representam turbiditos de baixa densidade, formados pelos níveis Tc, Td e Te de Bouma (1962) bem desenvolvidos.

O grupo G compreende camadas decimétricas a métricas de calcarenitos com estratificação de ondas truncadas com comprimento de onda submétricos (*hummockies*). São interpretados como depósitos gerados por ação de tempestades.

Analisando estas associações de fácies com suas posições na coluna estratigráfica (figura 5), observa-se que predominam os depósitos de ambiente marinho de baixa energia representados pela sedimentação pelágica/hemipelágica, com intercalações subordinadas de depósitos relacionados a correntes de turbidez de baixa concentração na base e de alta concentração no topo da seqüência. As ocorrências de calcários classificados como grupo A, representam depósitos gerados por correntes turbidíticas de alta concentração relacionadas a episódios de tectônica ativa. Os calcarenitos representantes do grupo de fácies G estariam relacionados a episódios de tempestades. No topo da seqüência ocorrem os calcários representados pelo grupo E, depositados em ambiente afetados pela ação de ondas normais. Neste contexto tudo indica que a Formação Bairro da Serra representa uma seqüência progradacional, como já havia sido interpretada por Pires (1990).

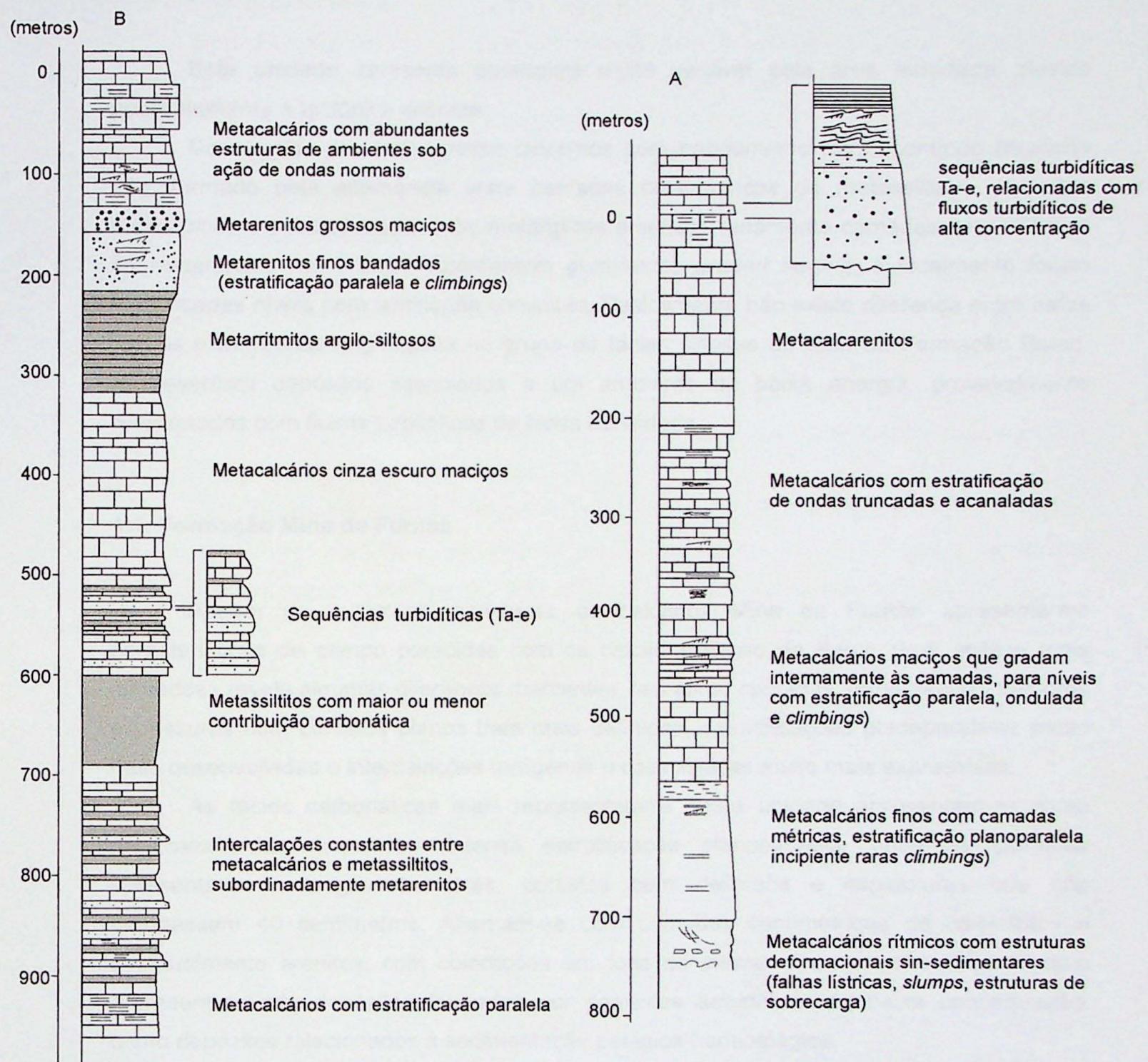


Figura 5 - Colunas estratigráficas das formações carbonáticas Bairro da Serra (A), e Mina de Furnas (B)

#### 4.3. Formação Água Suja

Esta unidade apresenta espessura muito variável pela área estudada, devido aparentemente à tectônica imposta.

Constitui-se por metarrítmitos cinzentos com bandamento muito contínuo (prancha 3A), formado pela alternância entre camadas centimétricas de metassiltitos, camadas milimétricas a subcentimétricas de metargilitos e subordinadamente camadas centimétricas de metarenitos muito finos. Apresentam geralmente *graded beding*, e localmente foram identificadas níveis com laminação convoluta. Basicamente não existe diferença entre estas rochas e as rochas englobadas no grupo de fácies siltosas do topo da Formação Betari. Representam depósitos associados a um ambiente de baixa energia, provavelmente relacionados com fluxos turbidíticos de baixa densidade.

#### 4.4. Formação Mina de Furnas

Apesar de numa primeira vista os calcários Mina de Furnas apresentarem características de campo parecidas com os calcários Bairro da Serra, uma análise mais cuidadosa revela algumas diferenças marcantes, tais como camadas apresentando menores espessuras com contatos planos bem mais definidos, estratificações planoparalelas muito mais desenvolvidas e intercalações terrígenas e calciofilíticas muito mais expressivas.

As fácies carbonáticas mais representativas desta unidade apresentam-se como metacalcarenitos finos com intensa estratificação planoparalela, onde as camadas apresentam morfologias tabulares, contatos bem definidos e espessuras que não ultrapassam 40 centímetros. Alternam-se com camadas centimétricas de calciofilitos e eventualmente arenitos, com colorações em tons de creme, e estrutura maciça. Podem representar tanto depósitos formados por correntes turbidíticas de baixa concentração, como depósitos relacionados à sedimentação pelágica-hemipelágica.

Outro conjunto de fácies incluem alternâncias entre camadas submétricas de arenitos grossos a finos com *graded beding*, camadas decimétricas de calcarenitos finos e camadas centimétricas de metassiltitos. Todas litologias apresentam estratificação planoparalela. Representam turbiditos formados por correntes de alta densidade, evidenciada pela predominância dos níveis Ta-b, sobre os demais.

Localmente observam-se pequenos níveis com climberings e ondulações de ondas truncadas. Estas estruturas indicam um ambiente de deposição no alcance de ondas normais. Pode-se correlacionar estas fácies com as do grupo E da Formação Bairro da Serra.

Dois níveis de contribuições terrígenas intercalados as seqüências carbonáticas foram representados no mapa geológico (anexo 2).

Destes níveis, aquele que segue a estrada para Arapongas pode ser separado em três fácies: (da base para o topo) metarritmitos silticos, metarenitos finos bandados e metarenitos grossos maciços (ver coluna estratigráfica – figura 5).

Os metarritmitos siltosos apresentam alternâncias entre camadas de siltitos com espessuras variando de 5 a 20 centímetros e camadas de metargilitos com espessuras de 1 a 10 milímetros. Os contatos entre as camadas são planos e estruturas sedimentares internas são representadas por laminação planoparalela. A passagem para as seqüências carbonáticas sotopostas ocorre de maneira gradacional, com ocorrência de interdigitações terrígenas-carbonáticas. Em alguns casos, rochas terrígenas muito alteradas presentes nestas interdigitações apresentavam-se extremamente leves, sugerindo que originalmente continham uma importante contribuição carbonática em sua constituição, reforçando a característica transicional destas intercalações.

Os metarenitos finos bandados apresentam camadas de espessura centimétrica, intercaladas com camadas milimétricas de metassiltitos. Incluem intensa laminação planoparalela interna. Localmente foram observadas laminações cavalgante (*climbing*) e cruzada tabular em sets centimétricos. Na passagem para o nível arenítico superior, ocorrem intercalações entre camadas centimétricas de metarenitos grossos e médios.

Os metarenitos grossos maciços apresentam camadas de espessuras métricas. A má qualidade de suas exposições não permitiu uma caracterização mais minuciosa destes litotipos.

Estas intercalações terrígenas de maneira geral, apresentam indícios de deposição em ambiente afetado pela ação de ondas.

O outro nível mapeado é representado por metassiltitos bandados de coloração creme, com variadas proporções de contribuição carbonática em sua constituição, alternados por camadas centimétricas subordinadas de metarenitos médios. Esta intercalação apresenta forma lenticular em meio aos calcários cinza escuro. A passagem entre estas litologias ocorre de forma gradacional com contatos planos no topo. Na passagem inferior, os folhelhos assentam-se sobre uma superfície irregular dos calcários, com importante discordância na orientação do acamamento (mergulhos de 65° para o azimute 348° nos siltitos e de 65° para 286° nos calcários) indicando um contato pelo menos localizado de natureza erosiva.

Um grupo de fácies importante identificado pontualmente nesta unidade é constituído por metacalcários bandados com falhas lístricas e dobras convolutas. Este nível pode ser correlacionado com o grupo de fácies A da Formação Bairro da Serra quanto a ambientes deposicionais. Nas duas unidades estes níveis ocorrem próximos à base das colunas

estratigráficas, possibilitando usá-los como camadas guia. Discussões mais detalhadas quanto a este aspecto serão abordados adiante.

Analizando a disposição das litofácies na coluna estratigráfica (figura 5), nota-se na base calcarenitos relacionados à deposição pelágica-hemipelágica, com importante contribuição de material terrígeno, e talvez com depósitos relacionados a fluxos turbidíticos de baixa concentração. Uma porção intermediária na coluna, porém com a mesma interpretação paleoambiental da base é formada por calcarenitos sem a presença de contribuições terrígenas. No topo da coluna ocorrem importantes intercalações terrígenas com feições de ambiente sujeito a ação de ondas normais, portanto, mais raso, seguido de calcários depositados sob as mesmas condições. Conclui-se que a Formação Mina de Furnas analogamente à Formação Bairro da Serra representa uma seqüência progradacional.

#### **4.5. Relações de contato entre as unidades litoestratigráficas**

A maioria dos contatos entre as unidades litoestratigráficas observadas no campo apresentam características ambíguas quanto às suas naturezas. Normalmente existem evidências de contatos transicionais sedimentares, superpostos por processos de deformação relacionados a movimentações tectônicas, como será discutido posteriormente.

##### ***Contato sudeste entre as formações Bairro da Serra e Betari***

Observado nas exposições quase contínuas da estrada que liga Iporanga a Apiaí, este contato apresenta características de natureza tanto sedimentares como tectônicas.

Nas proximidades da passagem entre as duas unidades os metacalcários Bairro da Serra apresentam expressivas intercalações de pacotes de metarritmitos siltosos em sua base, com espessuras variando de métricas a decamétricas. Estas evidências sugerem interdigitações sedimentares que caracterizariam o contato como transicional. Bem no contato os metacalcários não apresentam evidências de milonitização, a não ser pequenas camadas ou lâminas ricas em porfiroclastos de pirita disseminados, moderadamente estirados. Fora esta evidência as estruturas sedimentares são bem preservadas.

Contradicitoriamente às informações mencionadas, os metarrititos da Formação Betari apresentam uma brusca inversão no mergulho das camadas, além de uma intensa xistosidade paralela ao acamamento, indicando uma provável natureza tectônica do contato (ver perfil geológico – anexo 2A).

Analizando estas informações pode ser interpretado que a passagem entre as duas unidades era originalmente transicional. Como a diferença de competência entre os litotipos é muito contrastante e o contatos geológicos com estas características constituem planos de fraquezas preferenciais para concentração de deformação, é provável que tenha ocorrido um deslizamento (de rejeito não estimado) por entre os dois blocos. Neste contexto a inversão do mergulho das camadas de metarritmitos no contato é interpretado como uma dobra de arrasto. Se considerarmos que as piritas foram estiradas de acordo com este provável deslizamento entre blocos, teríamos uma movimentação direcional, pois a lineação observada é subhorizontal.

Outro ponto a ser considerado, é que confirmada esta interpretação, a movimentação indica transporte com vergência para noroeste. Esta vergência é contrária à encontrada pela estruturação regional do Subgrupo Lajeado e pode indicar processos de deslizamento flexural (anexo 2A).

#### ***Contato noroeste entre as formações Bairro da Serra e Betari***

Observado em vários perfis, este contato apresenta fortes indícios de natureza tectônica.

No domínio estrutural 5 (anexo 3), os metacalcários da Formação Bairro da Serra apresentam diversas feições de milonitização, como camadas estiradas e boudinadas, dobras isoclinais assimétricas (prancha 3B), camadas e dobras rompidas e falhadas (dobras/falhas).

As exposições da estrada Iporanga-Apiaí (pontos 85 a 92) e do Rio Furnas (pontos 144 a 151) apresentam nos metacalcários Bairro da Serra um conjunto de sinformes e antiformes truncados pelos contatos entre as unidades terrígenas sobreposta (Água Suja) e sotoposta (Betari). Estas estruturas aparentemente representam dobras escalonadas e podem estar associados a transporte direcional e não de empurrão como era esperado.

Estrias de atrito são raras e quando identificadas requerem ressalvas quanto ao seu significado, visto que suas orientações não diferem muito das orientações das lineações L<sub>1</sub> e L<sub>2</sub>. De qualquer modo apresentam cimentos entre 10 e 20° para sudoeste. Estes cimentos indicam uma componente vertical associada ao movimento transcorrente.

Nestas exposições ocorrem também intercalações entre metarritmitos e metacalcários, sugerindo uma natureza transicional pretérita.

### **Contato entre as formações Bairro da Serra e Água Suja**

Este contato apresenta um padrão diverso quando comparado em vários perfis.

Exposições na estrada Apiaí-Iporanga indicam natureza transicional entre estas duas unidades. Ocorrem intercalações de calcários entre os metarrítitos, e aparentemente de metarrítitos nos calcários, porém interpretamos esta última como efeito do corte da estrada (ver mapa geológico). Feições de deformações intensas não são conclusivas, porém, chama a atenção o truncamento entre as estruturas da Formação Água Suja com a Formação Bairro da Serra, interpretado como reflexo da superposição do segundo dobramento sobre o primeiro que pode estar associado à movimentação entre os contatos (ver item 6.2.).

Nos perfis do Córrego Furnas e Rio Betari o contato entre as referidas unidades apresenta-se claramente como tectônico. As atitudes dos acamamentos apresentam-se verticalizadas, as vezes com pequenas inversões no mergulho. No Córrego Furnas (ponto 152) os calcários apresentam foliação lenticularizada paralela ao acamamento reliquiar parcialmente obliterado. Os filitos apresentam intensa xistosidade paralela ao acamamento. Estrias de atrito identificadas mostram cimentos de aproximadamente 30° para sudoeste – oeste-sudoeste, e indicam movimentos direcionais com rejeito oblíquo.

### **Contato entre as formações Água Suja e Mina de Furnas**

Da mesma forma que o contato basal da Formação Água Suja, o contato superior apresenta evidências de características sedimentares transicionais, e de características tectônicas, dependendo do perfil analisado.

Tanto nas exposições da estrada Apiaí-Iporanga como do Rio Betari, nas proximidades do seu contato superior, os metarrítitos Água Suja apresentam um padrão estrutural muito complexo. Ocorrem nestas regiões pelo menos três grupos de dobras superpostas, compatíveis com D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> e D<sub>3</sub>, que parecem estar associadas à concentração da deformação nos contatos. Particularmente no Rio Betari (pontos 107 e 120), além das dobras superpostas, a foliação predominante da rocha é caracterizada por um bandamento diferenciado milimétrico onde alternam-se níveis quartzosos e níveis micáceos. Este bandamento de origem metamórfica encontra-se afetado por microdobras assimétricas e comumente apresenta leitos estirados e boudinados, sugerindo que foi afetado por deformação milonítica.

Estas evidências sugerem que estas estruturas não foram geradas em fases distintas com pulsos separados no tempo geológico, mas sim em uma fase contínua onde cada padrão impresso representa um nível crustal diferente. Como os metarrítitos são menos

competentes que os metacalcários, as deformações são mais facilmente impressas nestes litotipos.

Um padrão estrutural fortemente contrastante ocorre entre os dois perfis supracitados. No Córrego Furnas o contato entre as formações Água Suja e Mina de Furnas é caracterizado por intercalações centimétricas a decimétricas entre filitos e calcários. Nesta área nem discordância quanto a atitude do acamamento ocorre indicando uma passagem transicional.

#### ***Contato entre as formações Mina de Furnas e Serra da Boa Vista***

Da mesma forma que outros autores já haviam caracterizado este contato como de natureza tectônica (Pires, 1990; Campanha, 1991), evidências desta interpretação foram identificadas neste trabalho. Pires (1990) caracteriza esta estrutura como uma falha de empurrão a qual denominou Falha de Arapongas. O mesmo autor relata que esta falha poderia representar uma rampa por onde o par de seqüências Betari/Furnas-Lajeado e Serra da Boa Vista/Gorutuba-Passa Vinte seriam a mesma seqüência repetida tectonicamente.

Evidências de milonitização ao longo da Falha de Arapongas incluem intensa brechação e venulação nos calcários, dobras intrafoliaias, dobras em bainha e camadas estiradas/boudinadas. Nos metarenitos da Formação Serra da Boa Vista as únicas evidências de milonitização são raras camadas boudinadas, observadas localmente.

Outra importante característica deste contato a ser levada em conta, é a orientação discordante do acamamento dos metarenitos Serra da Boa Vista, truncados pelos calcários Mina de Furnas, com orientações gerais oeste-noroeste e nordeste respectivamente. Como será discutido posteriormente no item 6.2., interpretamos esta estrutura como uma dobra de arrasto ou escalonada associada à movimentação da Falha de Arapongas. Esta evidência pode indicar uma movimentação direcional talvez com rejeito oblíquo, e não um simples empurrão como caracterizado anteriormente (Pires, 1990; Campanha, 1991).

## 5. ESTRUTURAS TECTÔNICAS

### 5.1. Foliações

Na área estudada duas foliações tectônicas ocorrem em todas unidades. A primeira é caracterizada por uma clivagem ardosiana nos metacalcários e litotipos terrígenos mais competentes, e por uma xistosidade nos metapelitos. A segunda foliação é constituída por uma clivagem de crenulação, que transpõe a clivagem ardosiana. É encontrada também em todos os domínios, não sendo porém, penetrativa sobre toda região, ficando restrita aos estratos mais incompetentes, como metapelitos e calciofilitos. Em alguns domínios esta crenulação constitui a foliação predominante.

Pode ser observada localmente uma terceira foliação, também uma clivagem de crenulação. Esta foliação ocorre nos domínios onde a  $S_2$  é predominante e não foi bem caracterizada quanto a sua orientação, devido a ocorrência pontual.

A classificação relativa das foliações foi efetuada utilizando-se critérios de superposição.

#### *Foliação $S_1$*

É constituída por uma clivagem muito fina e contínua formada pela isorientação de minerais micáceos (tipicamente sericita), nos litotipos terrígenos. Nos metacalcários é formada por dissolução por pressão.

Apresenta orientação muito constante na área estuda, e é admitida como plano-axial de dobras com comprimento de onda decimétricos a quilométricos, principais responsáveis pela estruturação regional do Subgrupo Lajeado. Possui mergulhos altos, geralmente fazendo altos ângulos com o acamamento.

Em exame microscópico a foliação  $S_1$  é caracterizada por uma clivagem ardosiana contínua formada pelo paralelismo de sericitas subidiomórficas, quartzo estirado e subordinadamente clorita. Comumente pode-se observar porfiroclastos ovalados de clorita, estirados segundo esta foliação, formando texturas pisciformes, indicando ser de natureza clástica.

Em muitos casos ocorrem sericitas e quartzo em orientação paralela ao acamamento, levando diversos autores a assumirem a existência de uma foliação metamórfica anterior à aqui denominada de  $S_1$  (Campos Neto, 1983; Daitx, 1983; Pires, 1990). No entanto, esta orientação de minerais parece mais estar associada aos processos

sedimentares. Nas rochas que apresentam esta estrutura bem pronunciada, a foliação  $S_1$  adquire um aspecto de crenulação.

### **Foliação $S_2$**

É constituída por uma clivagem de crenulação espaçada, caracterizada por apresentar normalmente um bandamento submilimétrico diferenciado.

Possui orientação subparalela à foliação  $S_0$  (predominantemente) e pode ser encontrada em todos domínios da área estudada, porém é mais expressiva nos litotipos metapelíticos, onde por vezes chega a ser a foliação dominante na rocha. Nos em litotipos mais competentes, como metarritmitos metareníticos e calcarenitos, esta foliação fica restrita a alguns estratos constituídos por material mais fino, podendo por vezes ser confundida com uma estratificação cruzada sedimentar.

Em dobras mesoscópicas que contém a  $S_2$  como plano-axial atravessando camadas com diferentes competências, esta foliação é refratada (esquema do ponto 107).

Ao microscópio a  $S_2$  pode ser caracterizada como uma clivagem de crenulação discreta, formada por filmes de sericita isorientada nos flancos de microdobras desenhadas pela deflexão e rompimento da  $S_1$ . Esta foliação apresenta forma anastomosada e pode normalmente apresentar-se como um bandamento diferenciado submilimétrico.

Porfiroblastos de clorítóide ocorrem ora rotacionados segundo esta foliação, ora truncando esta, indicando formação nos momentos finais e posteriores à deformação que gerou a  $S_2$ .

### **Foliação $S_3$**

Pode ser encontrada localmente em domínios onde a crenulação  $S_2$  constitui a foliação principal da rocha, constituindo-se por microdobramentos nos leitos sericíticos do bandamento diferenciado formador da  $S_2$ . Em geral não gera minerais isorientados.

## **5.2. Lineações**

Foram observadas lineações de intersecção entre as foliações já mencionadas e raramente estrias de atrito nos planos de acamadamento  $S_0$ . A proximidade da orientação das lineações  $L_{S0xS1}$ ,  $L_{S0xS2}$  e as estrias de atrito  $L_x$  dificultam a identificação desta última nos contatos de natureza tectônica.

### 5.3. Dobras

Como a área estudada apresenta rochas polideformadas, na análise das dobras realizada utilizou-se de critérios como estilo, foliações, relações da trama com minerais metamórficos e relações de superposição de estruturas. Foi baseada na identificação de **grupos de estilos** de estruturas, conforme proposto por Hobbs *et al.* (1976).

Foram reconhecidos três grupos de dobras com estilos estruturais diferentes.

O primeiro grupo, denominado aqui de D<sub>1</sub>, é representado por dobras abertas a suaves, com comprimento de onda métrico a quilométrico. Estas dobras apresentam regionalmente eixos subhorizontais e plano-axial subvertical (representado pela clivagem S<sub>1</sub>), podendo ser classificadas como dobras normais. Na escala mesoscópica são observadas dobras parasitas relacionadas a este grupo, que apresentam eixos com mergulhos moderados (dobras normais com cimento).

Quanto a classificação com base no padrão de isógonas (Ramsay, 1967), as dobras pertencentes ao grupo D<sub>1</sub> identificadas em escala de afloramento, ora apresentam isógonas convergentes e camadas com espessuras constantes (classe 1B), ora isógonas divergentes (classe 3).

Relacionadas ao grupo D<sub>1</sub> podem ser observadas em alguns contatos entre as unidades litoestratigráficas dobras de arrasto e dobras escalonadas.

As dobras que constituem grupo D<sub>2</sub> são representadas por dobras abertas a fechadas, com comprimento de onda decimétricos a métricos (prancha 3C). Apresentam eixos e plano-axiais com cimentos e mergulhos moderados e para o mesmo sentido, podendo ser classificadas como dobras reclinadas.

Admitem a crenulação S<sub>2</sub> como plano-axial. Esta foliação sofre refração quando atravessa camadas de diferentes competências, apresentando um padrão com encurtamento inicial mediano paralelo às camadas.

As dobras do grupo D<sub>2</sub> são observadas predominantemente em metapelitos, e em quase todos os casos representam dobras da classe 3 de Ramsay (1967), apesar de localmente ocorrerem dobras paralelas relacionadas a este grupo.

A superposição de dobras do grupo D<sub>2</sub> sobre dobras do grupo D<sub>1</sub> produz padrões de interferência do tipo 2, subclasse H de Ramsay (1967).

As dobras do grupo D<sub>3</sub> constituem microdobramentos (crenulação) que afetam bandas micáceas referentes à foliação S<sub>2</sub>, em metapelitos. Ocorrem muito localmente não tendo sido observadas dobras em escala mesoscópica e macroscópica pertencente a esse grupo.

## 6. ANÁLISE GEOMÉTRICA DAS ESTRUTURAS ATRAVÉS DA ORIENTAÇÃO

A delimitação de domínios estruturais homogêneos seguiu as sugestões de Turner & Weiss (1963), Ramsay (1967) e Ramsay & Huber (1987).

Os grupos de estruturas  $D_1$ ,  $D_2$  e  $D_3$  foram identificados em campo através da relação entre dobras, respectivas foliações plano-axiais e relações de superposição de estruturas, em escala de afloramento, possibilitando a determinação das orientações preferenciais de cada grupo pontualmente. O tratamento dos dados em diagramas em rede de Schmidt-Lambert possibilitou a correlação das estruturas mesoscópicas com as estruturas regionais responsáveis pela estruturação do Subgrupo Lajeado.

### 6.1. Análises pontuais

As dobras  $D_1$  raramente são observadas em escala de afloramento, visto que possuem comprimentos de onda em geral quilométricos. Quando ocorrem, mostram um padrão intermediário entre dobras cilíndricas e cônicas, ora predominando um, ora outro padrão.

As dobras  $D_2$  comumente são encontradas em afloramentos, principalmente nos litotipos menos competentes, como filitos. Análises pontuais em dobras do grupo  $D_2$  identificadas em várias unidades mostraram um padrão muito constante de orientação. São dobras cilíndricas com plano-axiais mergulhando a grosso modo para o mesmo sentido do cimento dos eixos (dobras reclinadas). Os eixos apresentam cimentos entre 20 e 30° numa direção azimutal aproximada de 030 – 210°, ora predominando um, ora outro sentido.

No perfil do Rio Betari dobras  $D_2$  identificadas na Formação Água Suja apresentam eixos médios com cimentos de 8° para o azimute 202°, 25° para 31° e 30° para 35° (Anexo 3). Os eixos estimados apresentam razoável concordância com os eixos medidos para cada dobra.

Na Formação Betari ocorrem dobras  $D_2$  mesoscópicas nos perfis do Rio Betari, na trilha para Caverna Tobias e na estrada Apiaí-Iporanga. Estas ocorrências forneceram eixos médios com cimentos de 28° na direção 16°, 18° para 26° e 15° para 34° respectivamente (Anexo 3).

Nos metacalcários as dobras  $D_2$  são muito raras. Foram identificadas em afloramentos da Formação Bairro da Serra, nas imediações da Caverna Laje Branca. Nesta região, que fica muito próxima do contato com a Formação Betari, os metacalcários encontram-se muito deformados, incluindo feições de cisalhamento interestratais. As dobras  $D_2$  aí observadas apresentam eixos estimados com cimentos de 40° para 28° e 30° para

direção 1° (anexo 3). Apresentam-se nitidamente associadas à feições de cisalhamento por empurrão entre as camadas como pode ser observado na prancha 3.

As dobras D<sub>3</sub> apesar de identificadas somente em amostras de mão e seções delgadas, puderam ser caracterizadas em projeções estereográficas utilizando-se como superfície de referência a clivagem S<sub>2</sub>. As plotagens apresentaram distintas guirlandas de círculos máximos, representativas de dobras cilíndricas coaxiais às dobras D<sub>1</sub>. Nas serras da Onça Parda e da Biquinha foram obtidos eixos médios com cimentos de 17° para o azimute 47° e de 21° para 56° respectivamente (anexo 3). A plotagem dos dados coletados na Formação Bairro da Serra apresentou uma dobra com eixo estimado caindo 25° para direção 57° (anexo 3).

## 6.2. Domínios estruturais

Utilizando-se o método para análise de regiões afetadas por dobramentos superpostos descrito por Ramsay & Huber (1987), foram delimitados sete domínios estruturais com a combinação das análises entre mapa geológico-estrutural e projeções estereográficas.

Através das atitudes de acamamento S<sub>0</sub> lançadas no mapa geológico foram construídos os traços gerais das estruturas, identificando-se os traços axiais das dobras D<sub>1</sub> e D<sub>2</sub>.

Após este exercício identificou-se áreas de predominância entre estruturas D<sub>1</sub> e D<sub>2</sub>.

A área estudada é de maneira geral condicionada por estruturas sinformais e antiformais com orientação geral nordeste, relacionadas ao dobramento D<sub>1</sub>. No sudeste da área os metacalcários Bairro da Serra estão organizados em um sinclinal denominado Sinclinal Bairro da Serra. Este sinclinal dá lugar à noroeste, para o Anticlinal da Serra da Biquinha, onde encontram-se alojados os metarrítmitos da Formação Betari. No sentido noroeste segue-se um extenso homoclinal com mergulho para sul, onde encontram-se encaixados parte da Formação Bairro da Serra, além das formações Água Suja, Mina de Furnas e Serra da Boa Vista.

Os metarenitos rítmicos que formam a Serra da Boa Vista, localizada no noroeste da região, encontram-se estruturados numa direção oeste-noroeste, sendo truncadas no contato com a Formação Mina de Furnas, com estruturas orientadas na direção geral nordeste. A estrutura resultante pode ser interpretada como dobras escalonadas relacionadas à natureza tectônica deste contato, materializado pela Falha de Arapongas, definida por Pires (1990).

A região da Mina de Furnas, onde ocorrem os metacalcários homônimos, apresenta-se estruturada numa direção nordeste, embora exista ligeiras ondulações observadas no mapa, sugerindo interferências do segundo dobramento.

Os metarrítmitos da Formação Água Suja sustentam a Serra da Onça Parda, e apresentam estruturação muito mais complexa se comparada ao restante da área. Nesta região observa-se importante interferência do segundo dobramento, produzindo em mapa traços axiais com orientação noroeste.

Os metacalcários representantes da Formação Bairro da Serra, encaixados entre a Serra da Onça Parda e a Serra da Biquinha, apresentam um conjunto de sinclinais e anticlinais menores, compatíveis com as dobras do grupo D<sub>1</sub>, mas que são truncadas pelos contatos entre as unidades. Estas dobras podem ser interpretadas como dobras escalonadas relacionadas a movimentos direcionais entre os contatos geológicos. Apresentam ainda ondulações que sugerem interferências de dobras D<sub>2</sub> e produzem traços axiais noroeste.

A Serra do Sem Fim apresenta-se condicionada por uma estrutura antiforme regional com direção geral nordeste. Nota-se também nesta região que o traço do acamamento S0 apresenta ondulações relacionadas ao redobramento D<sub>2</sub>.

Por fim, no extremo sudeste da área estudada, os metacalcários Bairro da Serra formam o sinclinal homônimo, orientado numa direção geral nordeste. Neste domínio pode ser observado dois principais padrões estruturais quanto à orientação das estruturas. Na região Macaquinhas - Sítio Novo, as atitudes do acamamento primário sugerem dobras subcilíndricas e no Vale do Betari, as atitudes sugerem fechamento de dobra cônica.

A partir destas deduções preliminares a área foi dividida em sete domínios indicados por 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 (anexo 3). A combinação das análises utilizando o mapa estrutural e diagramas em rede de Schmidt-Lambert forneceu informações mais precisas quanto a importância das sobreposições do segundo dobramento sobre as dobras do grupo D<sub>1</sub>.

Os dados analisados em quatorze estereogramas apresentaram distintas guirlandas de círculo máximo, pertencentes a dobras cilíndricas (subdomínios 1A a 7A – anexo 3). Apenas no subdomínio 7B os dados forneceram uma guirlanda de dobra aproximadamente cônica.

Os dados analisados para área de Domínio 1 apresentaram dobras cilíndricas do grupo D<sub>1</sub>, com orientações axiais oeste-noroeste. Os subdomínios 1A e 1B apresentam eixos com cimento de 18° para o azimute 281° e 30° para o azimute 280°, respectivamente (anexo 3). No subdomínio 1B pode ser observado que os dados de acamamento além de se concentrarem na guirlanda D<sub>1</sub>, são dispersados sugerindo uma guirlanda D<sub>2</sub> com eixo caindo 10° para 12°.

O subdomínio 1C apresenta um padrão de dobras cilíndricas diferenciado do restante do domínio, apresentando eixo caindo  $1^\circ$  para  $237^\circ$ . Esta característica pode indicar o reflexo da superposição das dobras D<sub>2</sub> sobre D<sub>1</sub>.

O domínio 2 engloba a porção nordeste da Formação Água Suja, e apresentou pela análise de projeção estereográfica guirlandas de dobras D<sub>1</sub>. Os subdomínios 2A e 2B apresentam dobras com eixos caindo  $27^\circ$  para  $270^\circ$  e  $25^\circ$  para  $260^\circ$  respectivamente.

Localizado na porção central da Formação Água Suja o domínio 3 caracteriza-se por apresentar estruturação condicionada por uma macrodobra reclinada do grupo D<sub>2</sub>. Observa-se uma guirlanda de dobra cilíndrica com eixo caindo  $6^\circ$  para o azimute  $196^\circ$ .

A área de domínio 4 é formada por dobras escalonadas com geometria e orientações axiais concordantes com dobras do grupo D<sub>1</sub>. Os subdomínios 4A e 4B apresentam dobras com eixos médios caindo  $4^\circ$  para  $65^\circ$  e  $10^\circ$  para  $61^\circ$  respectivamente. Dispersões dos dados concentrados na guirlanda D<sub>1</sub>, sugerem uma guirlanda D<sub>2</sub>, e comprovam a importância do segundo dobramento nesta região próxima ao domínio 3.

O domínio cinco apresenta orientação das estruturas muito semelhante às do domínio 2. Neste caso, os dados de acamamento apresentaram disposição formando uma guirlanda de dobra D<sub>1</sub>, com eixo caindo  $35^\circ$  para o azimute  $271^\circ$ .

A região do anticlinal da Serra da Biquinha, inserida no domínio 6, apresenta para o domínio 6A uma dobra cilíndrica com eixo caindo  $3^\circ$  para  $35^\circ$ . Como era esperado pelos padrões de distribuição das atitudes de acamamento, com leves ondulações visíveis em mapa, esta orientação axial é intermediária entre os padrões das dobras D<sub>1</sub> e D<sub>2</sub>. Porém, os padrões de dispersão permitem delinejar duas guirlandas de dobras com eixos médios caindo  $1^\circ$  para o azimute  $55^\circ$  e  $20^\circ$  para  $23^\circ$ , representando respectivamente os grupos D<sub>1</sub> e D<sub>2</sub>.

O domínio 6B apresenta uma dobra cilíndrica com eixo caindo  $15^\circ$  para  $24^\circ$ , nitidamente associada ao segundo dobramento.

A área de domínio 7, correspondente ao sinclinal do Bairro da Serra, apresenta dois subdomínios estruturais diferenciados. O subdomínio 7A mostra uma dobra cilíndrica com eixo caindo  $1^\circ$  para  $61^\circ$  e o subdomínio 7B apresenta uma dobra aproximadamente côncava.

De posse das deduções especificadas acima, é possível traçar linhas gerais sobre as estruturas menores da área de estudos da seguinte forma:

- 1) a porção noroeste apresenta orientações axiais noroeste;
- 2) a porção central possui uma zona com importante influência de dobras D<sub>2</sub>, com orientações axiais norte-nordeste;
- 3) fora desta zona de influência das dobras D<sub>2</sub>, a estruturação segue um padrão de dobras D<sub>1</sub> cilíndricas com orientações axiais para oeste;
- 4) a porção sudeste apresenta dobras D<sub>1</sub> com orientação axial nordeste a norte-nordeste;

- 5) no contato entre as formações Betari e Bairro da Serra, no flanco norte da Serra da Biquinha, predomina um padrão de dobras D<sub>2</sub>, que pode estar refletindo o tectonismo imposto sobre os contatos entre as unidades.

Pode-se supor que as orientações das dobras D<sub>1</sub> de oeste-noroeste para leste-sudeste ou apresentam uma tendência de rotação no sentido anti-horário causada por rampas laterais, ou estão refletindo uma posição angular discordante das unidades litoestratigráficas anterior ao dobramento, já que a mudança na orientação é brusca e materializada pelo contato entre as formações Água Suja e Bairro da Serra. Esta interpretação poderia ser utilizada também como critério para anular a possibilidade de repetição tectônica entre as dois pares de alternâncias terrígenas carbonáticas representadas pelas unidades aqui estudadas.

## 7. METAMORFISMO

As paragêneses metamórficas identificadas através da análise de oito lâminas de seções delgadas indicam que as rochas do Subgrupo Lajeado sofreram um metamorfismo de baixo grau, na zona da clorita. Nos litotipos terrígenos as foliações metamórficas são formadas pela recristalização de sericita, quartzo e raramente clorita. Cloritas clásticas são comuns em alguns metapelitos, apresentando-se como porfiroclastos com morfologias arredondadas, comumente formando texturas pisciformes dentro da foliação S<sub>1</sub>.

Porfiroblastos de clorítoides com dimensões de até 1 centímetro e em geral estão presentes em todos metapelitos. Nas rochas arenosas muitas vezes são encontrados em certos níveis centimétricos a milimétricos, marcando camadas de granulação mais fina. Nas unidades carbonáticas são encontrados em níveis impuros, sendo usados no campo como um critério de identificação destes níveis. Os clorítoides apresentam morfologias idiomórficas e arredondadas, relacionadas a duas gerações distintas. Os clorítoides arredondados apresentam-se estirados e rotacionados pela foliação S<sub>2</sub>, mostando ainda inclusões de mirerais orientados segundo sua orientação. Os porfiroblastos idiomórficos truncam a foliação S<sub>2</sub>, indicando geração posterior. Estas evidências indicam que os clorítoides são tardíos a pós cinemáticos em relação à foliação S<sub>2</sub>, e mostram ainda que esta também foi gerada na fácie xisto verde, zona da clorita.

Na tabela 2 é apresentada a relação de temporaneidade relativa entre os minerais e as foliações.

Estágios → ↓ Minerais	clástico	S <sub>1</sub>	Pós-S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	Pós-S <sub>2</sub>
quartzo	-----				
sericita	-----	-	-----		
clorita	-----	----			
clorítode				---	

Tabela 2 – Relações de geração entre os minerais e as foliações

Nos calcários observa-se geralmente a recristalização de carbonatos na foliação S<sub>1</sub>. Em alguns casos cristais euédricos de pirita apresentam-se rotacionados segundo a S<sub>1</sub>, e com sombras de pressão de carbonatos, quartzo e em menor quantidade clorita. Estas sombras de pressão podem ser classificadas como franjas do tipo deslocamento controlada, e indicam que foram desenvolvidas por uma deformação coaxial progressiva (Passchier & Trouw, 1996). Ocorrem de forma peculiar, onde fibras de carbonatos formam-se em contato

com as paredes da pirita, a seguir formam-se eventuais cloritas e no exterior da franja aparece o quartzo.

## 8. RECONSTITUIÇÃO DA MACROESTRUTURA E DA ESTRATIGRAFIA ORIGINAL

### 8.1. Macroestrutura

Muitos fatores intrínsecos da região estudada permitiram a reconstituição da macroestrutura com razoável grau de segurança. As exposições quase contínuas da estrada Apiaí-Iporanga permitem uma visualização em campo da estrutura predominante. As alternâncias entre pacotes litológicos muito distintos (filitos e carbonáticos) resultam em um padrão fotogeológico muito contrastante, tornando os contatos entre as unidades extremamente nítidos na observação a partir de fotos aéreas. A existência de abundantes estruturas sedimentares preservadas fornecem indicações sobre a posição original dos pacotes.

Como auxílio no traçado dos contatos geológicos em mapa, foram realizados exercícios de reconstrução utilizando o método dos três pontos.

A exposição das estruturas em perfis contínuos de cotas topográficas muito distintas (desnível de até 300 metros de um perfil para outro), propicia uma visualização tridimensional das estruturas e permitem a caracterização destas estruturas a partir das seções geológico-estruturais elaboradas.

O Subgrupo Lajeado é dominado por dobras subcilíndricas abertas com comprimento de onda quilométrico e amplitude de centenas de metros, relacionadas ao dobramento D<sub>1</sub>. São representadas pelo sinclinal do Bairro da Serra e pelo anticlinal da Serra da Biquinha (anexo 2). Como pode ser observado nos perfis geológicos, o anticlinal da Serra da Biquinha apresenta charneiras mais suaves nas camadas internas e um pouco mais fechadas nas camadas externas, configurando um padrão da classe 3 de Ramsay (1967). No Sinclinal do Bairro da Serra ocorre o oposto, onde as camadas internas (topo da serra) configurando dobras mais fechadas do que na base, representando um padrão da subclasse 1A (Ramsay, *op. cit.*). No perfil do Rio Betari (anexo 2) os metacalcários Bairro da Serra apresentam dobras menores interpretadas como dobras parasitas.

Estas macrodobras do grupo D<sub>1</sub> apresentam plano axiais subverticais e eixos nordeste subhorizontais, configurando em mapa uma estruturação de faixas de litologias distintas com orientação geral nordeste (anexo 2).

Todos os contatos geológicos são pelo menos em parte tectônicos. Aqueles que apresentam alguma evidência de caráter gradacional original são os contatos entre as formações Betari-Bairro da Serra (no flanco noroeste do sinclinal do Bairro da Serra) e Mina de Furnas-Água Suja. O restante dos contatos entre as unidades litoestratigráficas são prováveis falhas direcionais com rejeito oblíquo. Também ocorrem falhas direcionais entre os pacotes, conforme descrito nos pontos 134 e 135).

A inflexão mostrada em mapa pelas estruturas na região que abrange aproximadamente os domínios estruturais 3 e 4, é em parte, resultado do entalhamento dos vales do Rio Betari e do Córrego Furnas (regra dos "Vs"). Porém há também influência de dobra D<sub>2</sub> reclinada para a disposição em mapa da Formação Água Suja. Nota-se um claro deslocamento entre as porções nordeste e sudoeste desta unidade, em torno da área em questão. Por outro lado, apesar de internamente ao pacote os metarrítmitos da Formação Água Suja apresentarem-se intensamente dobrados e redobrados, o contato de maneira geral segue as estruturas regionais do homoclinal do flanco noroeste do sinclinal da Serra da Biquinha, com direção nordeste e mergulhos moderados para noroeste.

## 8.2. Reconstituição da estratigrafia original

As características da Formação Água Suja são muito semelhantes ao topo da Formação Betari, sugerindo sua correlação. Portanto o contato basal da Formação Água Suja seria tectônico. Por outro lado, o contato superior da Formação Água Suja com os calcários da Formação Mina de Furnas parece ser transicional. Assim teríamos uma repetição do par terrígeno/carbonático.

As colunas estratigráficas das seqüências carbonáticas apesar de apresentarem diferenças quanto a importância das intercalações terrígenas, de maneira geral apresentam uma concordância quanto aos seus ambientes de sedimentação. As duas refletem episódios progradacionais.

Se considerássemos como hipótese que o empilhamento original estivesse preservado, teríamos na base da coluna dos calcários uma seqüência de ambiente relativamente profundo que vai ficando cada vez mais raso, e na porção intermediária torna-se relativamente profundo bruscamente (Água Suja), o que não seria muito razoável.

Assim a hipótese de repetição tectônica entre o par terrígeno/carbonático (Betari/Bairro da Serra e Água Suja/Mina de Furnas) é mais provável. Neste contexto, a diferença quanto à importância das intercalações terrígenas nos calcários Mina de Furnas pode ser interpretada como variações laterais de fácies.

## 8.3. Implicações da macroestrutura nos modelos de circulação hidrológica

O caráter geológico-estrutural como condicionante do sistema de circulação de águas subterrâneas na região foi estudada por diversos autores (Hasui *et al.* 1992; Karmann 1994; Ayub, 1998).

Hasui *et al.* (1992) realizaram uma caracterização geológica-estrutural na região da Mina de Furnas e concluem que devido ao padrão apresentado, seria improvável uma

contaminação da Caverna Santana pelos resíduos provenientes da mina, em função da impermeabilização dos aquíferos, resultantes da intercalação dos filitos Água Suja.

Karmann (1994) reconhece que o gradiente hidráulico subterrâneo de sentido leste-sudeste, por ser oblíquo à direção geral dos pacotes sedimentares, tende a concentrar as linhas de fluxo subterrâneo no contato entre os pacotes carbonáticos e terrígenos. Como resultado ocorre a formação de um importante sistema de cavernas seguindo o contato dos calcários da Formação Bairro da Serra com os filitos do topo da Formação Betari, representado pelo sistema Pérolas-Santana. Como o grau de cavernamento observado na Formação Mina de Furnas (sistema Grilo) é bem inferior, o autor adotou o mapa geológico de Pires (1990), na qual os filitos Água Suja não seriam contínuos, possibilitando assim, que grande parte da água coletada ao longo da faixa noroeste (Formação Mina de Furnas), teria condição livre para percolar pelos metacalcários, seguindo o gradiente hidráulico leste-sudeste, concentrando-se na linha do sistema Pérolas-Santana.

Ayub (1998) comprova a existência da conexão entre os sistemas cársticos Grilo e Pérolas-Santana, através da aplicação do método fluorimétrico. Porém, a autora não localizou a esta conexão e relata que ela poderia ocorrer através de infiltrações do escoamento superficial do Córrego Furnas, quando este cruza por cima a caverna de Santana. Portanto, não é conclusiva a interrupção da Formação Água Suja nesta região.

No presente trabalho comprovou-se através de trabalhos de campo, continuidade dos filitos da referida unidade, pelo menos superficialmente. No entanto o padrão complexo apresentado por esta unidade poderia incluir em subsuperfície estruturas anticlinais e sinclinais, possibilitando uma continuidade dos calcários por baixo dos filitos e uma interconectividade hidráulica entre elas.

## 9. CONCLUSÕES

A partir das considerações discutidas acima, interpretamos que as quatro unidades litoestratigráficas representam na verdade um par terrígeno/carbonático repetido tectonicamente. Dessa forma teríamos na base da coluna estratigráfica uma sequência retrogradacional representada pela Formação Betari. A Formação Água Suja seria uma repetição da porção superior da Formação Betari (*fácies siltosas*). Essa sequência basal terrígena retrogradacional transiciona por interdigitações para a sequência carbonática progradacional sobreposta, representadas pelas formações Bairro da Serra e Mina de Furnas.

A integração dos dados obtidos sugere uma evolução tectônica condicionada por esforços predominantemente transpressivos associados a movimentação transcorrente destral entre os pacotes litológicos maiores, representados pelas unidades litoestratigráficas, que seriam responsáveis pelo desenvolvimento primeiramente das dobras  $D_1$ .

As dobras  $D_2$  e  $D_3$  afetam mais significativamente os litotipos menos competentes principalmente em contatos de natureza tectônica. Associado ao fato destes grupos de dobras apresentarem orientações aproximadamente coaxiais e padrões de estruturais mais dúcteis, interpreta-se que foram gerados a partir da evolução contínua do mesmo regime tectônico.

Dois pontos importantes que podem fornecer informações adicionais para a reconstituição da estratigrafia original necessitam melhores esclarecimentos. O primeiro diz respeito ao adelgaçamento na espessura das camadas dos metarritimitos no flanco sudeste do anticlinal da Serra da Biquinha, se comparados com o flanco noroeste (ver perfil geológico – anexo 2). O segundo ponto refere-se ao adelgaçamento dos calcários inseridos na Formação Bairro da Serra presentes no flanco noroeste do anticlinal da Serra da Biquinha.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, O. 1941. *Geologia e petrologia na região de Apiaí, Estado de São Paulo.* São Paulo, 76 p. (Tese para concurso da cadeira de "Geologia, Petrografia e Mineralogia". Escola Politécnica - USP) (inédito).
- BARBOSA, O. 1948. A chamada Série Ribeira. Min. Metal., São Paulo, 13 (79): 187-189.
- CAMPANHA, G.A. da C. et al. 1985. *Geologia das folhas Iporanga (SG.22-X-B-V-2) e Gruta do Diabo (SG.22-X-B-VI-1), Estado de São Paulo.* São Paulo, Contrato IPT/Pró-Minério (IPT. Relatório, 22 352) (inédito).
- CAMPANHA, G.A. da C.; GIMENEZ FILHO, A.; CAETANO, S.L.V.; PIRES, F.A.; DANTAS, A.S.L.; TEIXEIRA, A.L.; DEHIRA, L.K. 1986. *Geologia e estratigrafia da região das folhas Iporanga e Gruta do Diabo, Vale do Ribeira, São Paulo.* In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 34, Goiânia, 1986. Anais... Goiânia, SBG. v. 2, p. 1058-1073.
- CAMPANHA, G.A.da C. 1991. *Tectônica proterozóica no Alto e Médio Vale do Ribeira, Estados de São Paulo e Paraná.* São Paulo, 296 p., anexos (Tese de doutoramento. Inst. Geoc. Univ. S. Paulo).
- CAMPANHA, G.A.C. & SADOWSKI, G.R. 1999. *Tectonics of the southern portion of the Ribeira Belt (Apiaí Domain).* Precambrian Reserch, 98, 31-51 pp.
- CAMPOS NETO, M. da C. 1983. *Contribuição à litoestratigrafia do Grupo Açuengui no sudeste do Estado de São Paulo.* In: SIMPÓSIO REGIONAL de GEOLOGIA, 4, São Paulo, 1983. Atas... São Paulo, SBG. p.103-112.
- COLLINSON, J.D. & THOMPSON, D.B. 1989. *Sedimentary Structures.* 2.<sup>o</sup> ed., Unwin Hyman, London, 207 p.
- DAITX, E.C. et al. 1983. *Projeto Anta Gorda, mapeamento geológico da área norte, fase III.* São Paulo, convênio DNPM/CPRM (inédito).
- DAITX, E.C., TEIXEIRA, W., ZANARDO, A. 1990. *Geologia e geocronologia do metagabro de Apiaí, Vale do Ribeira, SP.* In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 36, Natal. Boletim de Resumos. p. 341.

- DERBY, O.A. 1878. *Geologia da região diamantífera da Província do Paraná no Brasil.* Arq.Mus.Nac., Rio de Janeiro, 3: 89-96.
- GEOFREY, D.R. & SANTOS, T.D. de S. 1942. *Nota sobre a geologia de Apiaí.* Min.Met., São Paulo, 6(33):109-110.
- HACKSPACHER, P.C.; DANTAS, E.L.; SPOLADORE, A. & FETTER, A.H. 1999. *Evolução da Faixa Ribeira, na região de Apiaí, Sudeste do Brasil: Geocronologia U/Pb em zircão de rochas metabásicas e granito.* In: VI Simpósio de Geologia do Sudeste, São Pedro, 1999. Boletim de Resumos... SBG. p.12.
- HACKSPACHER, P.C.; DANTAS, E.L.; SPOLADORE, A.; FETTER, A.H. & OLIVEIRA, M.A. 2000. *Evidence of neoproterozoic backarc basin development in the central Ribeira Belt, southeastern Brazil: New geological and geochemical constraints from the São Roque – Açungui Groups.* In: Revista Brasileira de Geociências 30(1): p.110-114.
- HASUI, Y.; CREMONINI, O.A.; BORN, H. 1984. *Considerações sobre o Grupo Açungui em São Paulo e porção adjacente do Paraná.* In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, SBG. v.7, p.3297-3306.
- HASUI, Y; COPPEDÊ Jr., A.; CAETANO, A.C. & SANCHES, L.H. 1992. *Aspectos geológicos estruturais da mina de Furnas (município de Iporanga, SP) e o problema dos eluentes.* In: Hasui & Mioto (coordenadores), 1992: Geologia Estrutural Aplicada. São Paulo, ABGE/Votorantim, 1992. 459 pp.
- HOBBS, B.E.; MEANS, W.D.; WILLIANS, P.F. 1976. An outline of structural geology. New York, John Wiley.
- KARMANN, I. 1994. *Evolução dinâmica atual do sistema cárstico do Alto Vale do Rio Ribeira de Iguape, sudeste do estado de São Paulo.* São Paulo, 228 p., anexos. (Tese de Doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo).
- LEONARDOS, O.H. 1934. *Nota sobre a geologia do distrito de Iporanga, SP.* Rio de Janeiro (DNPM. Relatório, 564).

MEDEIROS, R.A.; SCHALLER, H. & FRIEDMAN, G.M. 1971. *Fácies Sedimentares: Analise e critérios para o reconhecimento de ambientes deposicionais.* Ciência – Técnica – Petróleo. Seção exploração de petróleo, publicação n.º 5. p.124.

METAL MINING AGENCY of JAPAN. Japan International Cooperation Agency. 1981. *Report on geological survey of Anta Gorda, phase 1.* Convênio DNPM/MMAJ/JICA.

METAL MINING AGENCY of JAPAN. Japan International Cooperation Agency. 1982. *Report on geological survey of Anta Gorda, phase 2.* Convênio DNPM/MMAJ/JICA.

METAL MINING AGENCY of JAPAN. Japan International Cooperation Agency. 1983. *Report on geological survey of Anta Gorda, phase 3.* Convênio DNPM/MMAJ/JICA.

MORAES REGO, L.F. de 1933. *Contribuição ao estudo das formações Pré-devonianas de São Paulo.* São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico de São Paulo, 60 p.

OLIVEIRA, E.P. 1916. *Geologia do Estado do Paraná.* Bol.Min. Agric.Ind.Com., Rio de Janeiro, 5 (1): 77-143.

OLIVEIRA, E.P. 1925. *Mapa geológico do Estado do Paraná,* escala 1:1 000 000. Rio de Janeiro, DNPM. Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil.

OLIVEIRA, E.P. 1927. *Geologia e recursos minerais do Estado do Paraná.* Rio de Janeiro, DNPM. Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, 172 p. (Monografia, 6).

PASSCHIER, C.W. & TROUW, R.A.J. 1996. *Microtectonics.* Berlim Heidelberg, Springer-Verlag, 289p.

PETRI, S. & SUGUIO, K. 1969. *Sobre os metassedimentos do extremo sul do Estado de São Paulo.* São Paulo, convênio USP/DAEE (Publicação especial).

PETTIJOHN, F.J. & POTTER, P.E. 1964. *Atlas and glossary of primary sedimentary structures.* Berlim, Springer-Verlag, 370 p.

PIRES, F.A. 1988. *Uma nova concepção para os ambientes do Grupo Açuengui, na região de Iporanga e Apiaí, sul de São Paulo.* In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 35. Belém, 1988. Anais... Belém, SBG. v.2, p.606-616.

PIRES, F.A. 1990. *Análise paleoambiental e estratigráfica de seqüências metassedimentares (Grupo Açungui), na região de Iporanga e Apiaí-SP.* São Paulo. (Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências - USP) (inédito).

PIRES, F.A.; ALARSA, M.; AMARAL, G.; PETRI, S. 1990. *Estruturação das seqüências Betari e Furnas-Lajeado (Grupo Açungui), na região de Iporanga - São Paulo.* In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 36. Natal, 1990. *Boletim de Resumos.* Natal, SBG. p. 274.

RAMSAY, J.R. & HUBER, M.I., 1983. *The techniques of modern structural geology.* Volume 1: Strain Analysis. New York, Academic Press 307 p.

RAMSAY, J.R. & HUBER, M.I., 1987. *The techniques of modern structural geology.* Volume 2: Folds and Fractures. New York, Academic Press 700 p.

SOARES, P.C. & FIORI, A.P., 1976. *Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia.* Notícia Geomorfológica, 16 (32), p. 71-104.

TURNER, F.J. & WEISS, L.E. 1963. *Structural analysis of metamorphic tectonites.* New York, McGraw Hill. 545 p.

WALKER, R.G. 1979. *Fácies models.* Geoscience Canada. Reprint Series 1. Ontário, Canada.



B



A

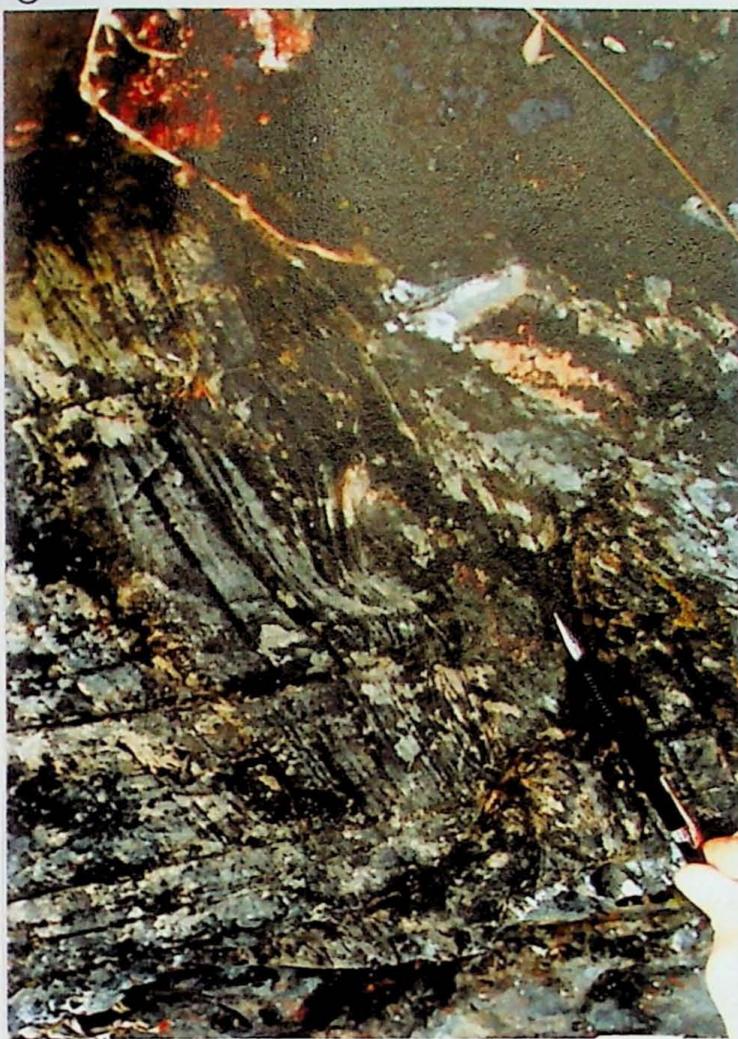


C

Prancha 1

- (A) *Graded bedding* e laminação planoparalela em metarrítitos siltosos (turbiditos) do topo da Formação Betari.
- (B) Alternância ritmica entre camadas de calcarenitos (cinza escuro) e calcilutitos (amarelado), presentes na Formação Bairro da Serra. Ponto 181.
- (C) Pseudonódulos em alternâncias entre calcarenitos e calcilutitos, da Formação Bairro da Serra. Ponto 181.

C



A

## Prancha 2

- (A) Falhas líticas sin-sedimentares em calcarenitos da Formação Bairro da Serra (ponto 181).
- (B) Dobras convolutas atectônicas confinadas em um nível sedimentar.
- (C) Estratificação de ondas truncadas por ondas, presentes na porção superior da Formação Mina de Furnas, ponto 58.



B

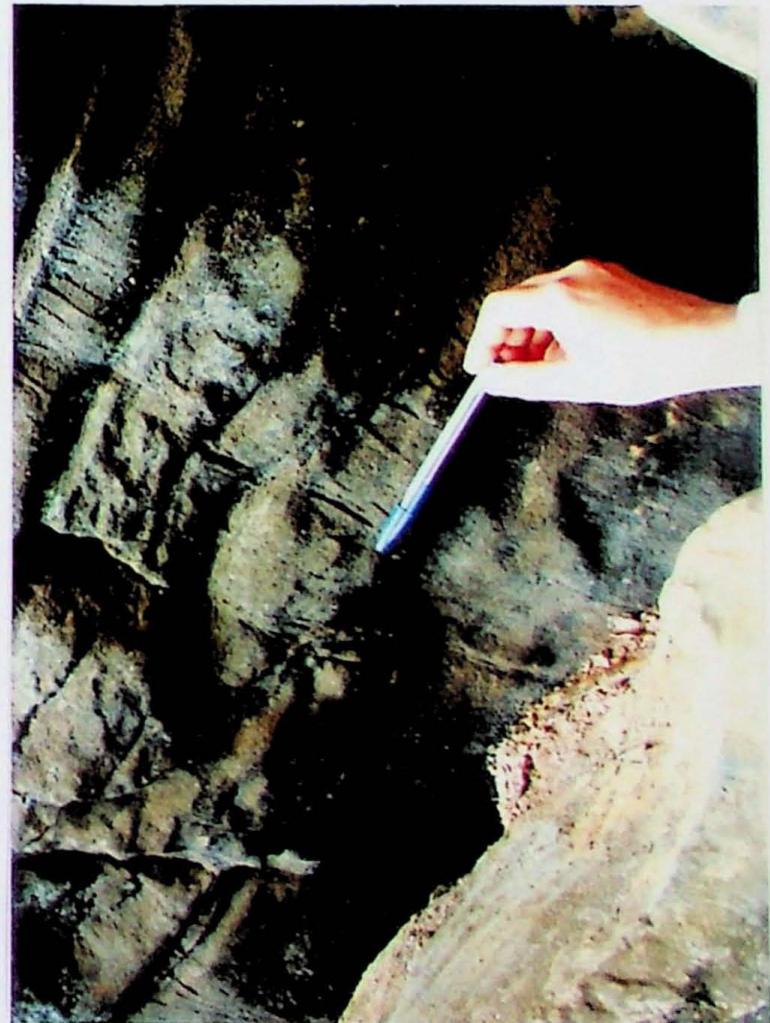
C



A



B



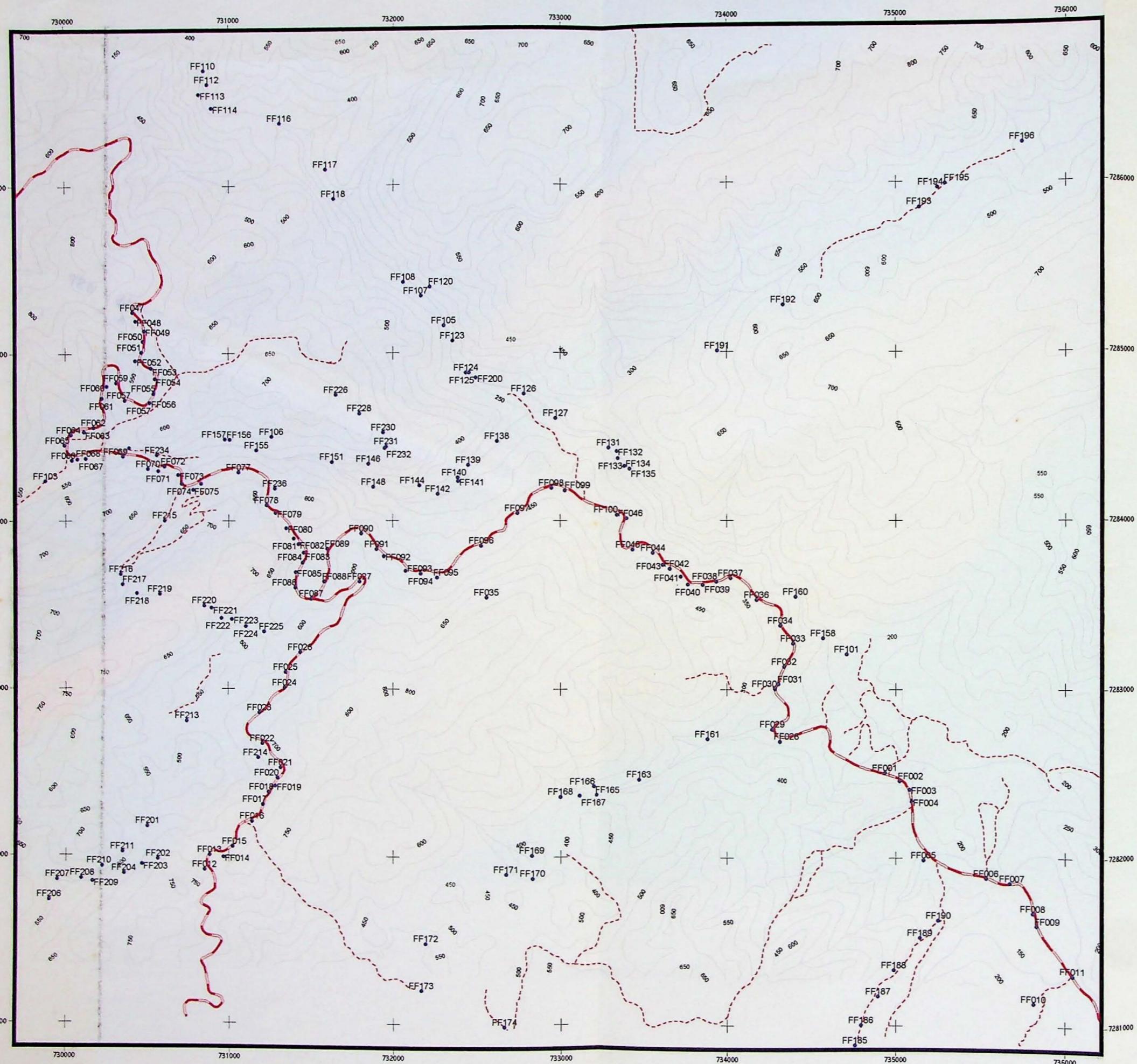
### Prancha 3

(A) Padrão de ritmidade característico dos metassedimentos da Formação Água Suja. Perfil do Rio Betari.

(B) dobras isoclinais assimétricas relacionadas a movimentação tectônica entre os pacotes de mármore da Formação Bairro da Serra. Entrada para Caverna Laje Branca, ponto 214.

(C) Plano de perfil de dobras reclinadas do grupo D<sub>2</sub>. Notar a interferência sobre dobras D<sub>1</sub>, preservada nos leitos esbranquiçados. Perfil do Rio Betari, ponto 123.

MAPA DE PONTOS DE DESCRIÇÃO  
DE AFLORAMENTOS



Drenagem  
• Pontos descritos  
Vias  
W trilhas  
estruada  
Curvas de nível

Base topográfica produzida a partir de cartas 1:10.000 do DAEE (1957), convertidas para a Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)

Datum horizontal: South American 1969  
Origem da quilometragem UTM:  
□ equador acrescido de 10.000 km  
□ meridiano 51W acrescido de 500 km

0.25 0 0.25 0.5 0.75 Kilometers

escala 1:25.000

ESTRATIGRAFIA E TECTÔNICA DE PARTE DO SUBGRUPO LAJEADO,  
IPORANGA, SP.

Frederico Meira Faleiros

Instituto de Geociências

Universidade de São Paulo

- 2000 -

ANEXO 1

## MAPA GEOLÓGICO

## LEGENDA

## Unidades

## Mesozoico

Dique de diabásio

## Neoproterozóico

Formação Serra da Boa Vista

Formação Mina de Furnas - calcário

Formação Mina de Furnas - filitos

Formação Água Suja

Formação Bairro da Serra

Formação Betari

## Estruturas

falha direcional

falha transcorrente

dobra anticlinal

dobra reclinada

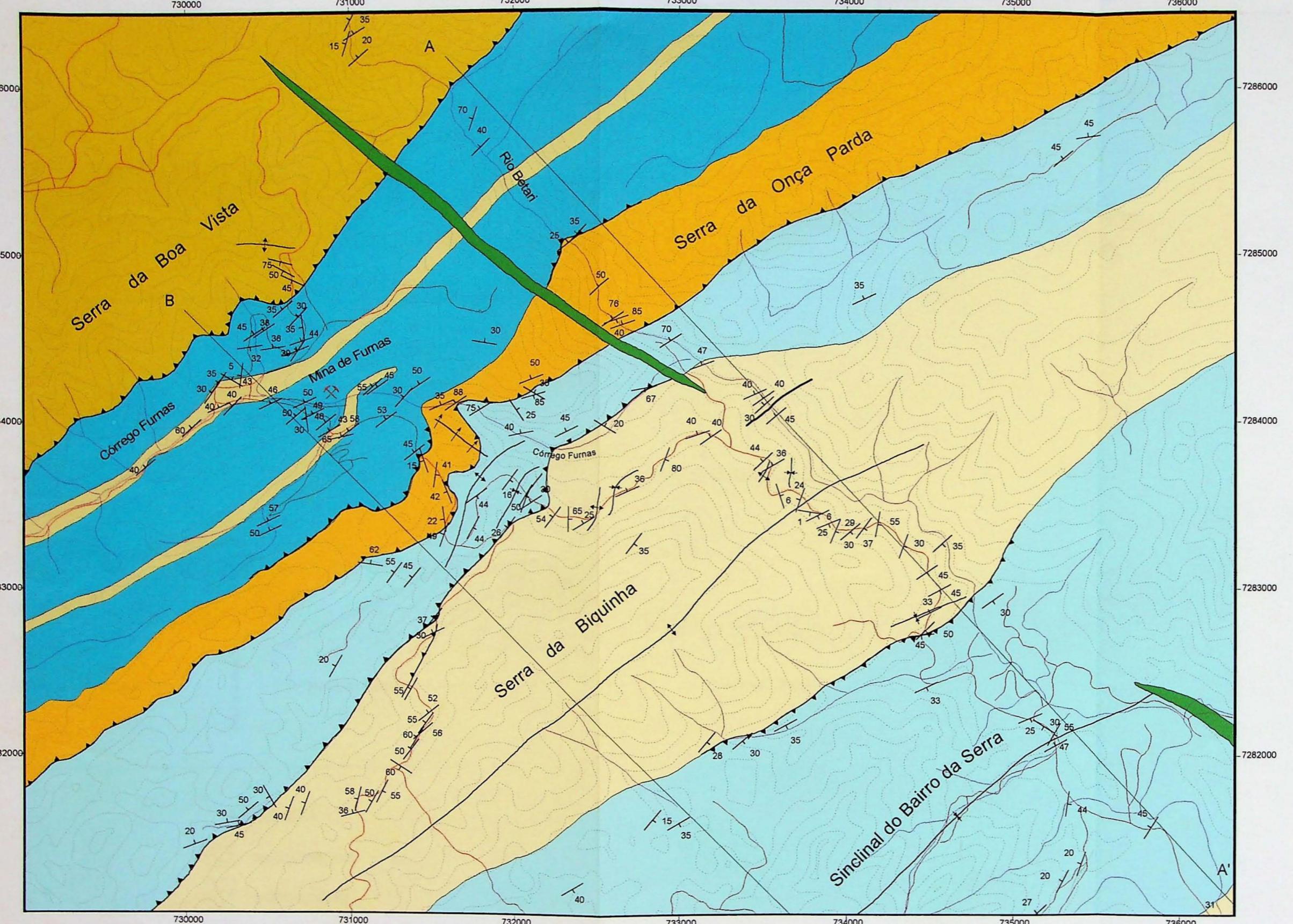
dobra sinclinal

acamamento S0

Vias

Drenagem

Curvas de nível



Base topográfica produzida a partir de  
cartas 1:10.000 do DAEE (1957),  
convertidas para a Projeção Universal  
Transversa de Mercator (UTM)

Datum horizontal: South American 1969  
Origem da quilometragem UTM:  
Equador acrescido de 10.000 km  
Meridiano 51W acrescido de 500 km

TF  
F187  
FM, e

0.4 0 0.4 0.8 1.2 1.6 Kilometers

escala 1:25.000

ESTRATIGRAFIA E TECTÔNICA DE PARTE DO SUBGRUPO LAJEADO, IPORANGA, SP.

Frederico Meira Faleiros

Instituto de Geociências

Universidade de São Paulo

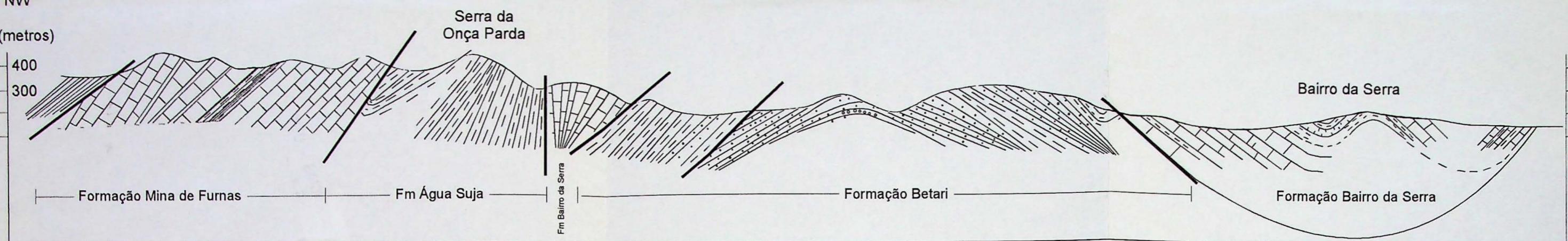
- 2000 -

ANEXO 2

A

NW

(metros)



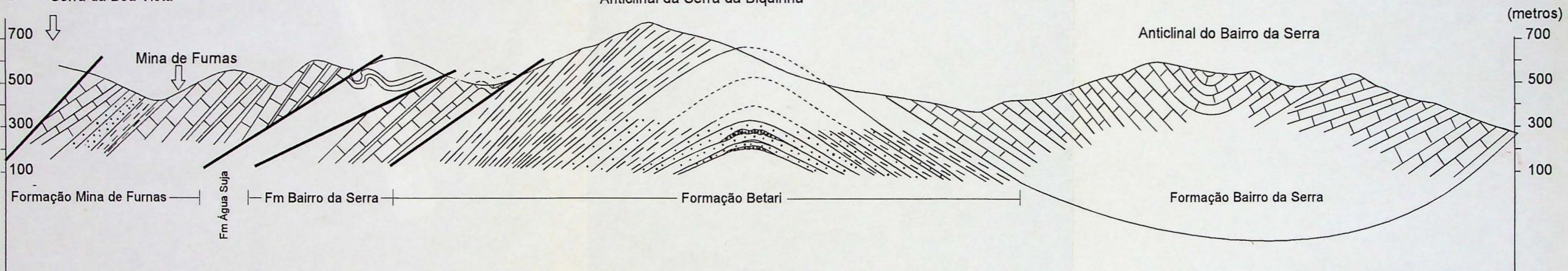
A'

SE

400

200

B Serra da Boa Vista



B'

(metros)

700

500

300

100

#### LEGENDA

- metassiltitos
- metarenitos
- metaconglomerados
- metacalcários

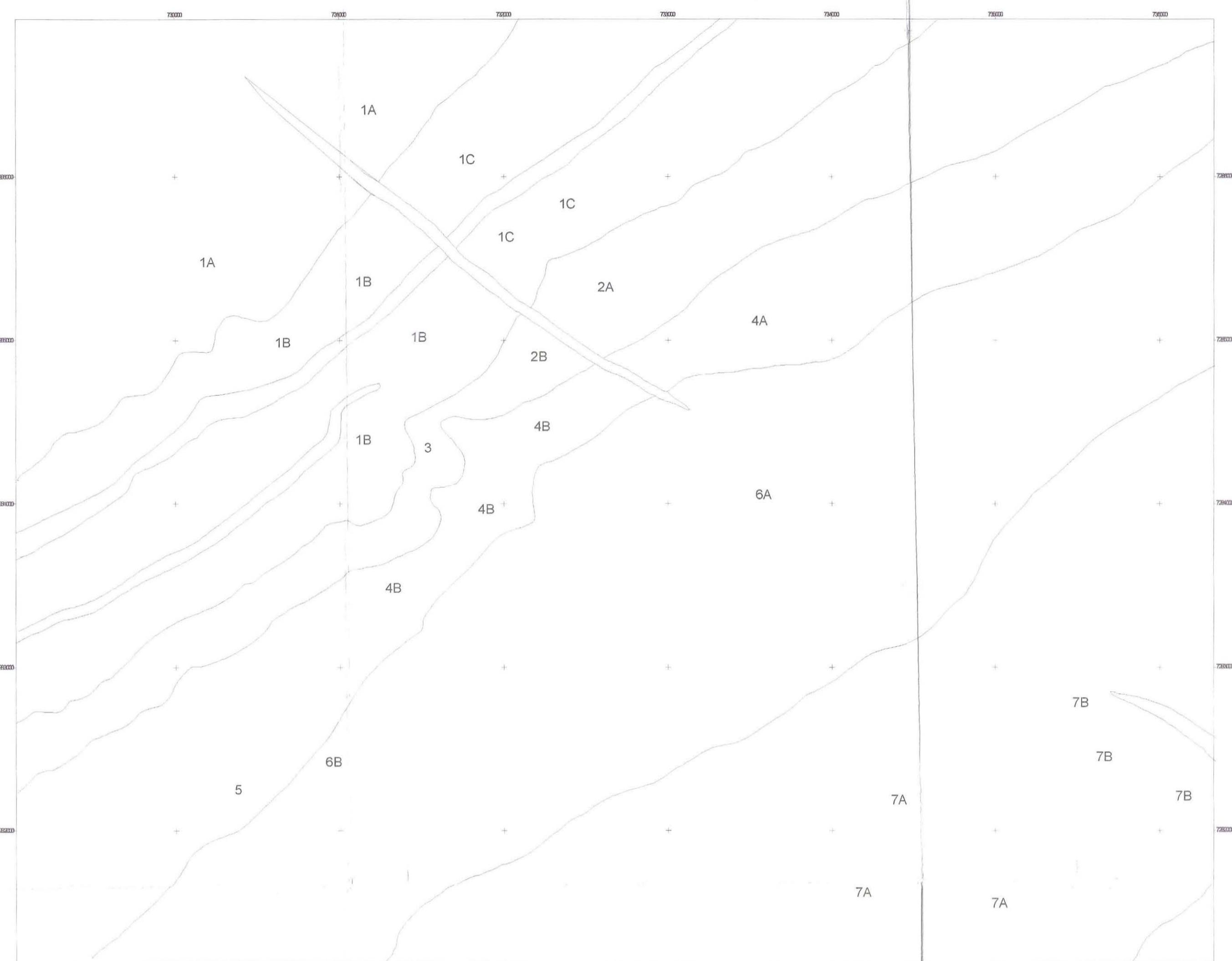
Estratigrafia e Tectônica de parte do Subgrupo Lajeado, Iporanga, SP

FREDERICO MEIRA FALEIROS  
- 2000 -

PERFIS GEOLÓGICOS

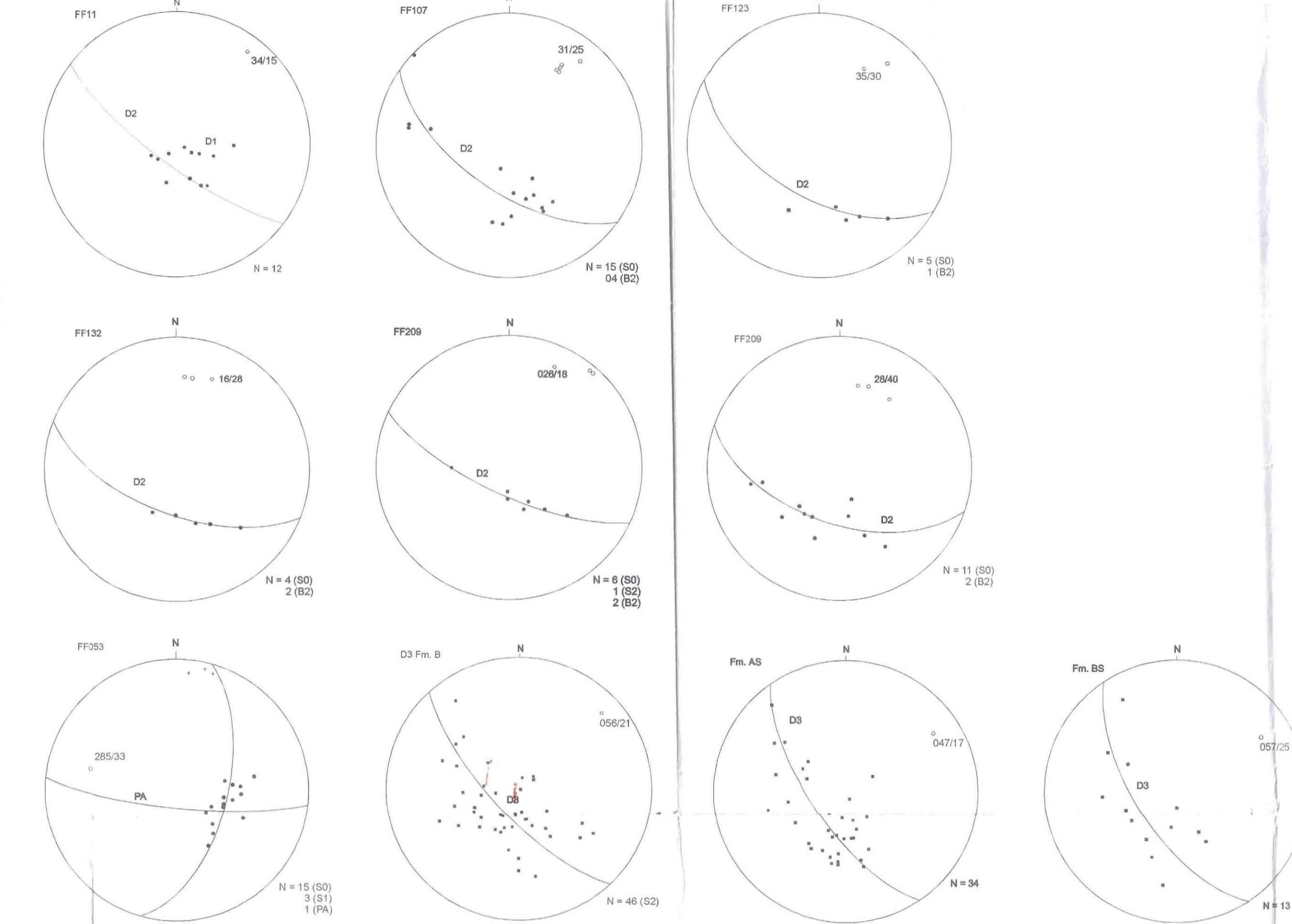
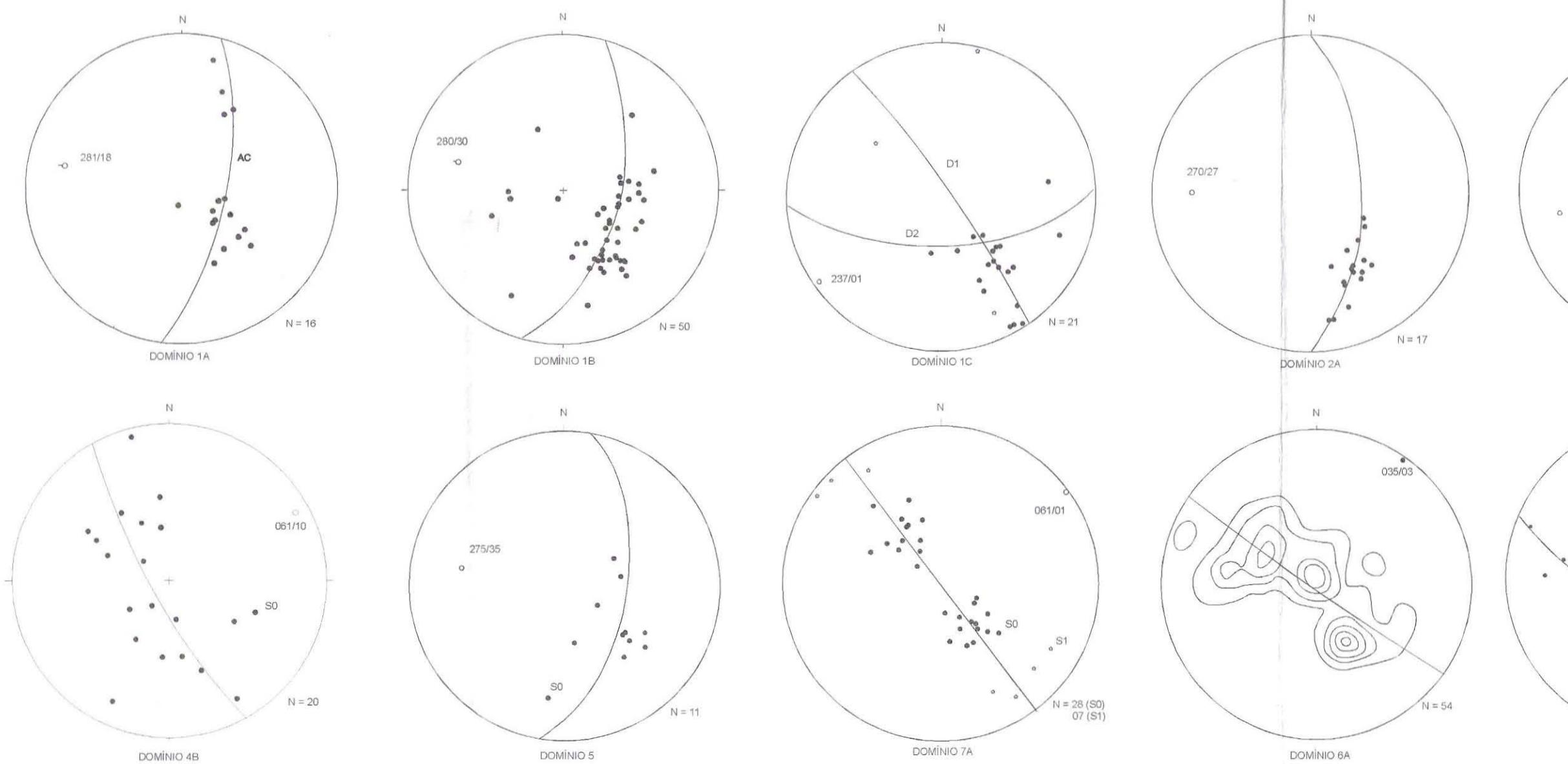
ANEXO 2A

## ANÁLISES PONTUAIS



0.5 0 0.5 1 1.5 2 2.5 Kilometers

## DOMÍNIOS ESTRUTURAIS



ESTRATIGRAFIA E TECTÔNICA DE PARTE DO SUBGRUPO LAGEADO, IPORANGA, SP

FREDERICO MEIRA FALEIROS

- 200 -

MAPA DE DOMÍNIO ESTRUTURAIS

ANEXO 3

