

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ANÁLISE SEDIMENTOLÓGICA APLICADA NA  
MINERAÇÃO DE AREIA NO VALE DO  
RIBEIRA - REGIÃO DE REGISTRO, SP**

Yuri Jivago Pinto De Maman

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Fonseca Giannini  
Co-Orientador: Prof. Dr. Arlei Benedito Macedo

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2006/61)

SÃO PAULO  
2006

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**Análise sedimentológica aplicada na mineração de  
areia no Vale do Ribeira, região de Registro - SP**

**Yuri Jivago Pinto de Maman**

Monografia de Trabalho de Formatura



**Banca Examinadora**

Prof. Dr. Paulo César Fonseca Giannini

Profa. Dra. Ana Maria Góes

Prof. Dr. Marcelo Monteiro da Rocha

São Paulo

2006

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**DEDALUS - Acervo - IGC**



30900024350

**ANÁLISE SEDIMENTOLÓGICA APLICADA NA MINERAÇÃO DE  
AREIA NO VALE DO RIBEIRA – REGIÃO DE REGISTRO, SP**

**Yuri Jivago Pinto De Maman**



Orientador: Prof. Dr. Paulo César Fonseca Giannini

Co-Orientador: Prof. Dr. Arlei Benedito Macedo

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF/2006-61)**

**SÃO PAULO  
2006**



*"O geólogo e o historiador reconstruem os  
fatos passados a partir de dados presentes.  
Quando trabalham são como um policial  
que descobre um crime que não viu".*

Lev Semenovich Vygotsky

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	i
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	i
<b>ÍNDICE DE QUADROS .....</b>	ii
<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	iv
<b>RESUMO .....</b>	vi
<b>ABSTRACT .....</b>	vii
<b>1. Introdução.....</b>	1
<b>2. Justificativas.....</b>	3
<b>3. Metas e Objetivos .....</b>	4
3.1. Metas.....	4
3.2. Objetivos .....	4
<b>4. Fundamentação Bibliográfica .....</b>	5
4.1. Geologia Básica e Recursos Minerais .....	5
4.2. Mineração de Areia no Vale do Ribeira .....	7
4.3. Sistema Fluvial e Rio Ribeira de Iguape .....	9
<b>5. Atividades Realizadas: Meios e Métodos .....</b>	10
5.1. Levantamento Bibliográfico .....	10
5.2. Levantamento Cartográfico e Sensoriamento Remoto .....	11
5.3. Atividades de Campo.....	12
5.4. Atividades de Laboratório .....	13
5.4.1. Análise Granulométrica.....	13
5.4.2. Semiquantificação de Minerais à Lupa .....	14
5.4.3. Minerais Pesados .....	14
5.4.4. Tratamento Gráfico-Estatístico dos Dados .....	15

<b>6. Cronograma .....</b>	<b>15</b>
<b>7. Resultados Obtidos.....</b>	<b>17</b>
7.1. Geologia Regional .....	17
7.1.1. Unidades Pré-Cenozóicas .....	17
7.1.2. Unidades Cenozóicas .....	21
7.2. Arcabouço Estrutural .....	23
7.3. Rede de Drenagem .....	26
7.4. Análise de Geomorfologia Fluvial (Índices e Elementos Morfológicos).....	26
7.5. Análise Granulométrica .....	31
7.6. Semiquantificação de Minerais à Lupa .....	37
7.7. Minerais Pesados .....	39
7.7.1. Aspectos Qualitativos .....	40
7.7.2. Aspectos Quantitativos e Proveniência.....	42
7.7.3. Índices de Estabilidade Mineral .....	44
<b>8. Modelo para Evolução do Sistema Fluvial .....</b>	<b>46</b>
<b>9. Considerações para a Atividade Mineira.....</b>	<b>52</b>
<b>10. Conclusões .....</b>	<b>54</b>
<b>11. Referências Bibliográficas .....</b>	<b>56</b>

ANEXO I – TABELAS DE DADOS DA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA, DE SEMIQUANTIFICAÇÃO À LUPA E DE MINERAIS PESADOS.

ANEXO II – FOTOMICROGRAFIAS À LUPA BINOCULAR E AO MICROSCÓPIO ÓPTICO.

ANEXO III - MAPAS

## ÍNDICE DE FIGURAS

01 – Localização da área de estudo.	2
02 e 03 – Amostras de “areia branca” e “areia vermelha”, coletadas no Porto Seguro, baixo rio Ribeira de Iguape.	12
04 – Mapa esquemático de localização das amostras coletadas.	13
05 – Mapa geológico do médio e baixo Rio Ribeira de Iguape e adjacências.	18
06 – Localização, elementos morfológicos e configuração tectônica do Gráben de Sete Barras, modificado de Melo (1990).	25
07 – Divisão dos rios em trechos adotada neste trabalho para análise de morfometria fluvial.	28
08 - Relação de assimetria e diâmetro médio ( $\phi_i$ ), para “areia branca” e “areia vermelha”.	34
09 – Relação desvio padrão ( $\phi_i$ ) e diâmetro médio ( $\phi_i$ ), para “areia branca” e “areia vermelha”.	34
10 – Variação de diâmetro médio de montante para jusante para “areia branca” e “areia vermelha”.	35
11 – Variação de assimetria de montante para jusante para “areia branca” e “areia vermelha”.	36
12 – Variação de desvio padrão ( $\phi_i$ ) de montante para jusante para “areia branca” e “areia vermelha”.	36
13 – Mapa esquemático da região da confluência dos rios Ribeira de Iguape e Juquiá na fase de mar baixo.	49
14 – Mapa esquemático da região da confluência dos rios Ribeira de Iguape e Juquiá na fase de mar alto.	50
15 – Mapa esquemático da região da confluência dos rios Ribeira de Iguape e Juquiá na fase atual.	51
16 – Gráben de Sete Barras, área de maior potencialidade econômica para depósitos arenosos.	53

## ÍNDICE DE TABELAS

01 – Índices de sinuosidade e entrelaçamento obtidos em três trechos do rio Ribeira de Iguape (A, B e C, de montante para jusante) e no rio Juquiá, e classificação dos estilos fluviais correspondentes segundo Miall (1996).	29
02 – Resultados da análise granulométrica por peneiramento, em proporção de massa, para as amostras de “areia vermelha”, de montante para jusante.	32
03 – Parâmetros estatísticos calculados pela técnica analítica dos momentos de Pearson para amostras de “areia vermelha”, de montante para jusante.	32
04 – Resultados da análise granulométrica por peneiramento, em proporção de massa, para as amostras de “areia branca”, de montante para jusante.	33
05 – Parâmetros estatísticos calculados pela técnica analítica dos momentos de Pearson para amostras de “areia branca”, de montante para jusante.	33

<b>06 – Resultados médios da semiquantificação à lupa binocular para “areia branca” e “areia vermelha”. Valores em porcentagem em volume.</b>	<b>38</b>
<b>07 – Proporção média de grãos de quartzo, feldspato e de fragmentos líticos para “areia branca” e “areia vermelha”.</b>	<b>38</b>
<b>A1.1 – Resultados da análise granulométrica para amostra PO-b-1.</b>	<b>II</b>
<b>A1.2 – Resultados da análise granulométrica para amostra PS-b-1.</b>	<b>III</b>
<b>A1.3 – Resultados da análise granulométrica para amostra PS-b-2</b>	<b>IV</b>
<b>A1.4 – Resultados da análise granulométrica para amostra RM-b-1.</b>	<b>V</b>
<b>A1.5 – Resultados da análise granulométrica para amostra RP-b-1.</b>	<b>VI</b>
<b>A1.6 – Resultados da análise granulométrica para amostra SE-v-1.</b>	<b>VII</b>
<b>A1.7 – Resultados da análise granulométrica para amostra SE-v-2.</b>	<b>VIII</b>
<b>A1.8 – Resultados da análise granulométrica para amostra PS-v-1.</b>	<b>IX</b>
<b>A1.9 – Resultados da análise granulométrica para amostra PS-v-2.</b>	<b>X</b>
<b>A1.10 – Resultados da análise granulométrica para amostra RM-v-1.</b>	<b>XI</b>
<b>A1.11 – Resultados da análise granulométrica para amostra RM-v-2.</b>	<b>XII</b>
<b>A1.12 – Resultados médios da semiquantificação à lupa binocular para “areia branca”.</b>	<b>XIII</b>
<b>A1.13 – Resultados médios da semiquantificação à lupa binocular para “areia vermelha”.</b>	<b>XIII</b>
<b>A1.14 – Resultados de quantificação de minerais pesados (<math>d&gt;2,85 \text{ g/cm}^3</math>) ao microscópio petrográfico - “Areia Vermelha” - Fração Areia Fina (-0,250 +0,125 mm).</b>	<b>XIV</b>
<b>A1.15 – Resultados quantificação de minerais pesados (<math>d&gt;2,85 \text{ g/cm}^3</math>) ao microscópio petrográfico - “Areia Branca” - Fração Areia Fina (-0,250 +0,125 mm).</b>	<b>XIV</b>

## ÍNDICE DE QUADROS

<b>01 – Cronograma de atividades referentes ao Trabalho de Formatura, contendo período ideal e período de realização das atividades propostas.</b>	<b>16</b>
<b>02 – Classificação de canais em ambiente fluvial, modificado de Rust (1978).</b>	<b>27</b>
<b>A2.1 – <u>Fotomicrografias à lupa estereoscópica, luz transmitida</u> – Topo: à esquerda, grãos de quartzo “hialino” (RM-b-1); à direita, grãos de quartzo “leitoso” (PS-b-1). Centro: à esquerda, grãos de quartzo “impregnado” (PS-v-1); à direita, grãos de feldspato (PS-v-2). Base: à esquerda, fragmentos líticos “xistosos” (RM-b-1); à direita, fragmentos líticos “quartzíticos” (PS-b-1).</b>	<b>XVI</b>
<b>A2.2 – <u>Fotomicrografias à lupa estereoscópica, luz transmitida</u> – Topo: à esquerda, grãos de turmalina (RP-b-1); à direita, grão de epídoto (RP-b-1). <u>Fotomicrografias ao microscópio óptico polarizado</u> – Centro: hornblenda de cor verde típica, subédrica e angulosa (PO-b-1). Base: epídoto (<i>pistachita</i>) prismático e subédrico (PO-b-1). Nas figuras de centro e base: nicóis paralelos (N//) à esquerda e nicóis cruzados (NX) à direita.</b>	<b>XVII</b>

**A2.3 – Fotomicrografias ao microscópio óptico polarizado** – Topo: turmalina castanha comum (*schorlítica*), prismática e alongada. Notar a presença de inclusões no cristal (RM-v-2). Centro: sillimanita incolor, prismática e subédrica. Notar feições de partição basal (PO-b-1). Base: cristal de coloração amarelada, facetado e anguloso, de estaurolita, exibindo cores típicas de interferência (RM-v-2). Nicóis paralelos (N//) à esquerda e nicóis cruzados (NX) à direita.

XVIII

**A2.4 – Fotomicrografias ao microscópio óptico polarizado** – Topo: grãos prismáticos e subédricos de hiperstênio, exibindo matizes típicas de seu pleocroísmo (rosa e verde) (PS-v-2). Centro: à esquerda, granada rosada (almandina?) subédrica, rara nos sedimentos estudados (SE-v-1); à direita, granada rosada (almandina?), anédrica, com feições de picoteamento superficial (PO-b-1). Base: titanita prismática, de coloração amarelo-dourada e cor de interferência anômala “azul prateado” (RM-v-2). Topo e base: nicóis paralelos (N//) à esquerda e nicóis cruzados (NX) à direita.

XIX

## AGRADECIMENTOS

Nem sempre é fácil externar a gratidão na forma de palavras. Na esperança de lembrar de todos agradeço:

Aos meus pais, Ibanor e Marizilda, por seus ensinamentos sobre a vida, pelo apoio incondicional em todas as minhas escolhas, pela amizade e carinho (principalmente), pelo sacrifício diário, o qual fez com que não me faltasse nada e pela oportunidade de me tornar uma pessoa de bem (honesto e responsável).

À minha irmã Yngrid Polyana, mesmo estando longe, ainda mantendo “aquela” relação de cuidado (preocupação) típico de irmão mais velho.

À Fernanda M. Canile companheira leal e carinhosa, que com seu afeto incondicional tornou muito mais suportável a intensa rotina nos cinco anos de graduação, sorrindo nos momentos bons e me confortando nos momentos ruins. Sempre ao meu lado.

Ao meu grande amigo Rafael B. Borges (Bulgari), companhia para as horas de diversão e também de “trabalho”. Sempre de bom humor, nunca se importando com o que deve ser feito e sim com a oportunidade de estarmos juntos, apenas pela companhia.

Ao Professor Paulo César Fonseca Giannini, muito mais do que orientador e professor, um amigo, que aceitou incondicionalmente minha orientação e o tema de trabalho por mim proposto. Sempre disposto a me ajudar, não deixou de me apoiar, indo além de suas obrigações como orientador, quando de forma inesperada foi preciso adiantar esta monografia.

Ao Professor e também amigo Arlei Benedito Macedo, orientador de Iniciação Científica e Co-orientador deste trabalho, pela valorosa amizade e respeito dentro e fora do ambiente acadêmico e pela oportunidade de conhecer o Vale do Ribeira.

Aos amigos de trabalho do SPLAV (Sala 105) Fabrício Dalmas, Yuri Miranda, Sidney Goveia, Jorge Watanabe e Marcelo da Silva pela amizade, pelas discussões e pelo apoio em todas as horas.

Ao Professor Marcelo M. da Rocha, muito mais do que docente, um amigo, sempre disposto a discutir questões que vão além do universo acadêmico, ou mesmo “jogar conversa fora” durante as pausas para o café e pela revisão cuidadosa do *abstract*.

Ao amigo Antônio T. Kikuda, Analista de Sistemas e administrador do Laboratório de Informática Geológica – LIG pela amizade e disposição para discutir os mais variados assuntos.

Aos amigos de turma Onicélia Rosa, Rafaela Lançone, Alexandre Bittencourt e Silas Gubitoso por todas as vezes que trabalhamos juntos e pela amizade de grande valia.

Aos técnicos do Laboratório de Sedimentologia (LABSED) e Laboratório de Petrografia Sedimentar (LABPETRO) Rodolfo Marinho, Vítor Aguiar, Adriano Souza e Elaine Sinfrônio pela constante ajuda nas etapas de laboratório e pela companhia insubstituível.

Ao Engenheiro de Minas Marcílio Massami Nagaoka pela paciência e disponibilidade em percorrer os portos de areia, e por ceder as amostras utilizadas neste estudo, além do empenho nas discussões.

Ao Geólogo Hércio Akimoto, sempre interessado e disposto a ajudar com as questões referentes ao Vale do Ribeira e pela oportunidade de estágio.

Ao Técnico de Laboratório Cleiton Ramos, que interessado nesta pesquisa, executou pessoalmente a coleta das amostras.

Ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, docentes e funcionários e a todos que de alguma forma contribuíram para minha formação pessoal e profissional e não foram citados de forma pontual.

**À DEUS por sua bondade diante de nosso “típico” egoísmo!**

## RESUMO

Atividades de lavra de areia para construção civil no rio Ribeira de Iguape, a montante da cidade de Registro, permitem observar a ocorrência de dois tipos de minério sedimentar, designados pelos mineradores de “areia branca” e “areia vermelha”. Este estudo possui como foco central a análise com viés sedimentológico destes diferentes tipos de minério, voltada a sua contextualização quanto a proveniência e evolução sedimentar holocênica.

Os sedimentos estudados possuem diâmetro médio na fração areia grossa, seleção moderada, e mostram tendências de afinamento e melhora da seleção granulométrica de montante para jusante. São compostos essencialmente por quartzo (dividido informalmente neste estudo em três qualidades: “hialino”, “leitoso” e “impregnado”), e subordinadamente feldspato, fragmentos líticos e minerais pesados. A assembléia de minerais pesados é constituída principalmente de hornblenda e epídoto, denota imaturidade mineralógica, refletindo como área fonte rochas metamórficas do entorno (gnaisses e metassedimentos, principalmente).

Maior proporção de quartzo “hialino” e “leitoso” e de hiperstênio na “areia branca” apontam fornecimento ligado ao rio Juquiá, enquanto que maior proporção de quartzo “impregnado” na “areia vermelha” aponta fornecimento ligado ao rio Ribeira de Iguape. Esta diferença de aporte sedimentar está relacionada ao encaixe, principalmente do rio Juquiá, na Zona de Cisalhamento de Cubatão.

No modelo preliminar proposto de evolução para as drenagens em estudo, a variação do nível relativo do mar teria controlado o aporte sedimentar, depositando principalmente “areia branca” na fase de mar baixo e “areia vermelha” a partir da fase de máxima inundação até a fase atual.

## **ABSTRACT**

Mining activities of civil construction sand on the Ribeira de Iguape river, upstream of Registro city, allow observing the occurrence of two types of sedimentary ore, named by the miners "white sand" and "red sand". The aim of this study is the sedimentological analysis of those different types of ore, focusing their contextualization such as provenience and Holocene sedimentary evolution.

The studied sediments have coarse sand mean size and moderate sorting, and they show trends of fining and increasing sorting from upstream to downstream. They are essentially composed of quartz (separated informally in three kinds: "hyaline", "milky" and "impregnate"), and subordinately by feldspar, lithic fragments and heavy minerals. The heavy minerals assemblage is mainly composed by hornblende and epidote, and it denotes mineralogical immaturity, reflecting as provenience area the adjacent metamorphic rocks (mainly gneiss and metasediments).

Higher proportion of "hyaline" and "milky" quartz and hypersthene on the "white sand" evidences Juquiá river supply, while the higher proportion of "impregnate" quartz on the "red sand" indicates supply linked to Ribeira de Iguape river. This differential sedimentary supply is related to the fitting of the Juquiá river on the Cubatão Shear Zone.

In the preliminary evolution model proposed for the studied drainages the relative sea level variations would have controlled the sedimentary supply, depositing the "white sand" on lowstand sea level phases and "red sand" since the beginning of the maximum flooding phase until the present.

## 1. Introdução

O Vale do Ribeira, região onde se insere a Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape, possui uma área de 28.306 km<sup>2</sup>, com 11.191 km<sup>2</sup> no Estado do Paraná e 17.115 km<sup>2</sup> no Estado de São Paulo (SOS MATA ATLÂNTICA, 2006).

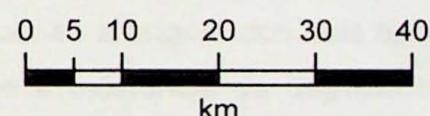
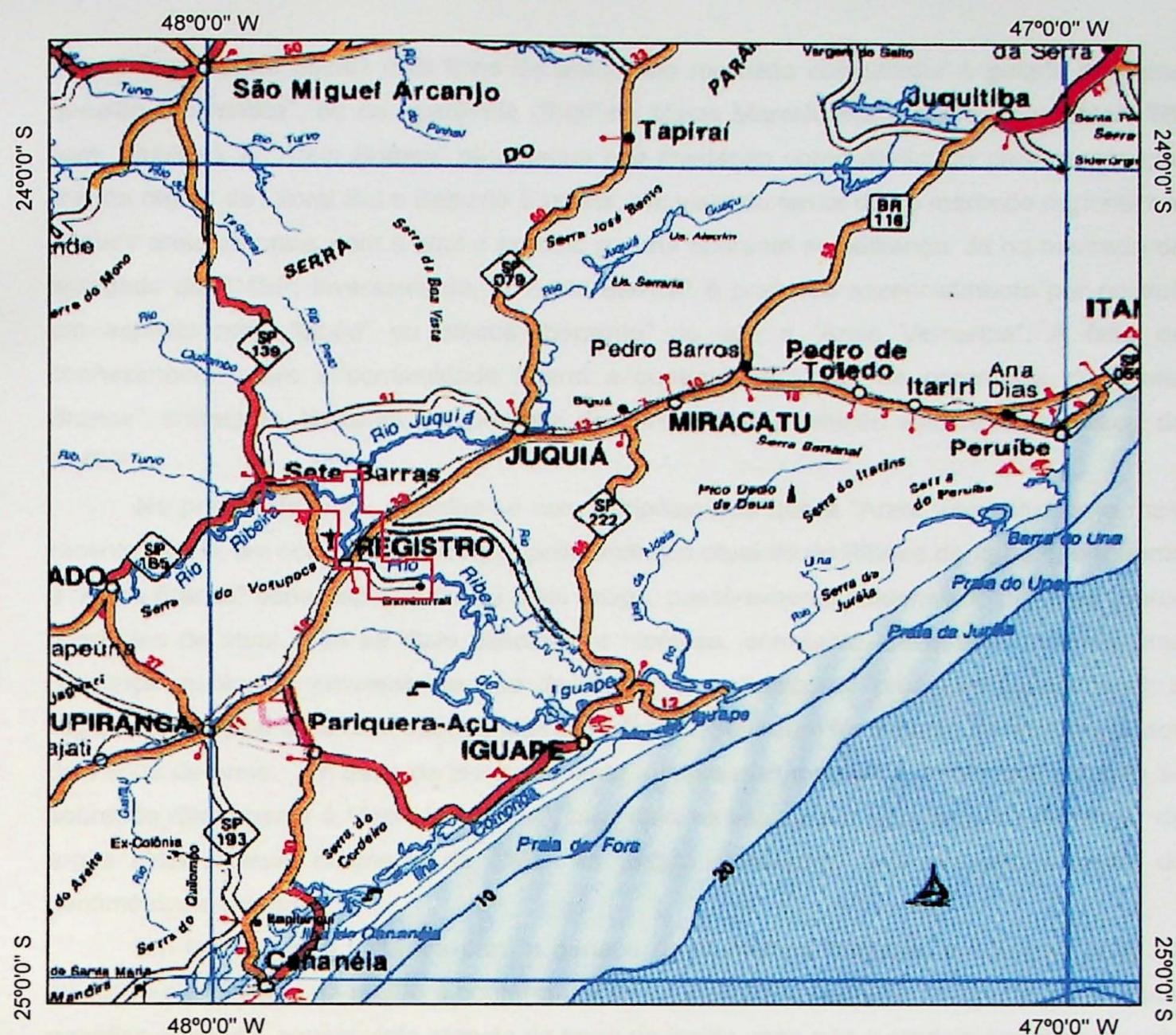
A mineração, vocação econômica histórica do Vale do Ribeira, foi responsável pelo povoamento da região em pelo menos duas ocasiões: no século XVI, quando se deu a ocupação pioneira através da exploração de ouro e prata, e a partir do começo do século XX, quando se iniciou a extração de minérios metálicos não-ferrosos (chumbo, cobre, zinco) e calcário. A mineração de metálicos encontra-se hoje quase totalmente paralisada, restando porém suas consequências quanto a impactos ambientais, isto é, áreas degradadas e cursos de água poluídos.

A produção de areia para construção civil era, originalmente, até meados da década de 90, voltada apenas a consumo local (Vale do Ribeira) e pequeno fornecimento para a Baixada Santista. Com o aumento da produção e a melhoria das condições tecnológicas e ambientais das lavras, tornou-se possível a ampliação do mercado no litoral, bem como o atendimento de demandas da parte ocidental da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Segundo o cadastro da Associação dos Produtores de Areia do Vale do Ribeira (Amavri), a extração de areia da região faz-se através de um total de 20 minas ativas e legalizadas, em acordo com as normas e diretrizes que regulam a atividade. Deste total, 19 minerações usam o método de extração por dragas flutuantes em sedimentos de canais ativos do rio Ribeira de Iguape e afluentes, destinados a agregados para construção civil, enquanto apenas uma mineração trabalha pelo método de cava submersa em sedimentos costeiros (Formação Cananéia), voltada ao fornecimento de areia para uso industrial (fusão e vidro). A produção declarada é de aproximadamente 110.000 m<sup>3</sup>/mês.

Durante o período de novembro de 2003 a novembro de 2005, o aluno do presente Trabalho de Formatura desenvolveu projeto de Iniciação Científica FAPESP intitulado “Geologia, Tecnologia e Sustentabilidade da Mineração de Areia no Vale do Ribeira” (processo 03/11777-4), sob orientação do Professor Dr. Arlei Benedito Macedo (GSA-IGc-USP). Este projeto permitiu-lhe o conhecimento geral das questões geológicas, tecnológicas, legais e ambientais da atividade mineira no vale, com ênfase na região de Registro – SP (Figura 01). Possibilitou também a identificação de questões mais específicas de lavra, que permanecem ainda em aberto e que demandam, para sua adequada solução, estudos mais detalhados de sedimentologia.

Dentre estas questões, a que merece foco central neste Trabalho de Formatura relaciona-se à existência de dois tipos de areia, denominadas no jargão dos mineradores de “Areia Branca” e “Areia Vermelha”.



Área de Estudo

Figura 1 - Localização da Área de Estudo

A demanda destes dois tipos de areia pelo mercado consumidor é guiada por uma questão “cosmética”, ou de aparência (Engº de Minas Marcílio Masami Nagaoka, AMAVRI, com. pessoal). A “Areia Branca” não possui boa aceitação como agregado para construção civil na região do Litoral Sul e Baixada Santista, em vista do temor deste mercado regional em adquirir areia de praia, com a qual o produto guarda aparente semelhança. Já no mercado de agregado da RMSP, inversamente, a “Areia Branca” é preferida essencialmente por possuir um aspecto mais “limpo” ou menos “barrento” do que a “Areia Vermelha”. A falta de conhecimento sobre a continuidade lateral e controle geológico de ocorrência da “Areia Branca”, entretanto, limita as perspectivas de aumento da produção voltada ao mercado da RMSP.

Na prática de lavra, trabalha-se com a hipótese de que a “Areia Vermelha” seja mais recente, isto é, em constante reposição pela dinâmica atual do rio Ribeira de Iguape, enquanto a “Areia Branca” seria depósito fluvial mais antigo, possivelmente influenciado por área fontes diferentes da atual. Não se deve descartar a hipótese, entretanto, de que se trate de uma diferença menos de proveniência que de fácies, e, portanto, de processo deposicional: o registro na vertical de uma mudança lateral de fácies. Seja qual for a razão da existência dos dois tipos de areia, um dado de lavra relevante e interessante é que a “Areia Branca” não se sobrepõe diretamente à “Areia Vermelha”, mas dela se separa por uma camada lenticular de argila cinza coesa, chamada de “laje” no jargão minerador, cuja espessura varia de centimétrica a métrica.

Em termos mais voltados para a gênese de depósitos minerais, a situação atual da atividade exploratória na região é conformada de tal modo que somente se conhece o modelo genético empírico, aquele visto através da lavra da jazida, mas não o modelo genético teórico, que permite melhor compreender os processos sedimentares envolvidos na formação dos tipos de minério e ajude, assim, na definição de diretrizes futuras para a atividade mineradora.

A importância de conhecer-se a origem dos dois tipos de areia, sob o ponto de vista da AMAVRI, reside no fato de que a existência de depósitos consideráveis de “Areia Branca”, caso provada, viabilizaria a abertura de um ou mais portos de areia voltados especificamente para o abastecimento do mercado consumidor da RMSP.

## 2. Justificativas

O Vale do Ribeira apresenta características bastante singulares dentro do contexto sócio-econômico do Estado de São Paulo. Indicadores sócio-econômicos de desenvolvimento, tais como mortalidade infantil, abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos, condições de habitação e níveis de renda e de escolaridade, configuram um panorama muito desfavorecido em relação ao restante do estado. Além disso, o Vale é uma das áreas menos

urbanizadas do território paulista, com grande parcela da população desenvolvendo atividades agrícolas de subsistência e extrativista. A economia baseia-se na agricultura (banana e chá), no extrativismo vegetal (palmito) e na mineração, em que a lavra de areia é atualmente o grande destaque. Como contraparte, a região é considerada hoje um dos mais importantes conjuntos de paisagens pouco alteradas pela ação humana no sul e sudeste do Brasil, motivo pelo qual contém grande número de áreas de conservação e preservação ambiental. A intensa mineração de areia em canais ativos do rio Ribeira de Iguape e afluentes constitui uma das principais fontes de renda e emprego para a região. Ao mesmo tempo, é fator de interferência no equilíbrio dinâmico de sedimentação. Desse modo, estudos acadêmicos voltados à otimização da lavra podem e devem atender tanto a aspectos estritamente econômicos e exploratórios quanto ambientais.

O presente Trabalho de Formatura encaixa-se nesse contexto como oportunidade de desenvolver conhecimentos que possam ser úteis à mineração e ao mesmo tempo, à preservação do rio. Visa ao trabalho conjunto entre Universidade e associação regional de empresas de mineração, envolvendo a aplicação de métodos acadêmicos na resolução de questões práticas.

Outro aspecto que fundamenta a execução deste trabalho é a relativa escassez de trabalhos científicos que tratem da dinâmica sedimentar de rios meandrantes no Brasil, sendo talvez mais escassos ainda estudos específicos sobre a sedimentação no rio Ribeira de Iguape.

### **3. Metas e Objetivos**

#### *3.1. Metas*

O objetivo maior ou meta deste Trabalho de Formatura foi o entendimento da dinâmica fluvial do rio Ribeira de Iguape através da análise de fácies, buscando situar os processos formadores dos depósitos sedimentares holocênicos atuais e antigos, com destaque para os fatores controladores dos diferentes tipos de minério de areia.

Tendo em vista distinguir os tipos de minério quanto ao contexto paleogeográfico e de dinâmica fluvial, propôs-se também reconhecer suas possíveis áreas fontes, através de estudos sedimentológicos de proveniência. Outra meta foi indicar, com base nos resultados de fácies e proveniência, áreas de ocorrência de areia fora do canal ativo do rio, que constituam alternativas de menor impacto ambiental para a mineração.

#### *3.2. Objetivos*

De forma a alcançar as metas estabelecidas no subitem anterior, foram relacionados os seguintes objetivos específicos, na ordem de consecução:

1 – Caracterizar textural e mineralogicamente os principais tipos de areia reconhecidos na prática de lavra, com destaque para a comparação entre “Areia Branca” e “Areia Vermelha”.

2 – Mapear as feições morfológicas fluviais (“fácies morfológicas”) por sensoriamento remoto, de modo a inferir a dinâmica recente do rio e suas possíveis implicações quanto a mudanças de área fonte e rocha fonte imediata.

3 – Realizar um estudo de proveniência dos sedimentos de cada tipo de minério e fácies deposicional, baseado em comparação de atributos texturais e mineralógicos, com destaque para minerais pesados.

#### **4. Fundamentação Bibliográfica**

A planície do rio Ribeira de Iguape vem sendo alvo constante de estudos técnicos e científicos, voltados ao seu potencial mineral e à proteção da biodiversidade da cobertura vegetal ainda remanescente. Ao mesmo tempo, estudos sobre mineração de areia no Estado de São Paulo têm aumentado nas últimas décadas, em vista da crescente demanda e importância dos minérios não metálicos para construção civil. Apesar disso, os aspectos acadêmicos envolvidos na extração de areia fluvial permanecem subexplorados e com escassa discussão metodológica. Sem pretender um levantamento bibliográfico exaustivo, destacam-se a seguir as informações prévias, acerca destes temas, consideradas mais relevantes para os objetivos do Trabalho de Formatura.

##### *4.1. Geologia Básica e Recursos Minerais*

Morgental *et al.* (1975), em estudo abrangente sobre a região sudeste do Estado de São Paulo, definem dois contextos litológicos diferenciados na área de estudo: rochas do embasamento cristalino e rochas e depósitos da cobertura sedimentar. As rochas pertencentes ao Complexo Gnáisico-Migmatítico, a unidade de Rochas Cataclásticas e o grupo das Rochas Graníticas Intrusivas incluem-se no primeiro grupo. No segundo grupo, configuram-se como principais unidades geológicas os “sedimentos fluviais” da Formação Pariquera-Açu e os “sedimentos holocênicos de origem continental” (coluviões e aluviões fluviais), “marinha” (Formação Cananéia e sedimentos praiais recentes) ou “mista” (sedimentos de mangue ou indiferenciados, ou seja, aqueles formados pela interação de processos marinhos, fluviais e, possivelmente, estuarino-lagunares).

Em Batolla *et al.* (1981), JICA-MMAJ/DNPM-CPRM (1984) e Hama & Algarte (1986), apresenta-se compilação e síntese de dados geológicos, em alguns casos com mapeamento

original, além de levantamentos geoquímicos e geofísicos e estudo de mineralizações, principalmente visando à mineração de chumbo.

Campanha (1991) aborda a geologia do Alto e Médio Vale do Ribeira enfatizando os aspectos tectono-estruturais. Em Campanha (1995), encontra-se uma síntese da geologia e metalogenia da Folha Itararé à escala 1:250.000.

Em CETEC (2000), definiram-se quatro unidades geológicas principais com potencial para a formação de depósitos arenosos passíveis de serem explorados economicamente, todas cenozóicas. Estas unidades, tanto continentais quanto marinhas, tiveram sua formação balizada por uma combinação complexa de fatores, entre os quais se incluiriam as atividades tectônicas ligadas ao Rift da Serra do Mar, as oscilações do nível do mar e as variações climáticas que supostamente marcaram o Cenozóico na região. A primeira unidade potencial seria a Formação Pariquera-Açu (siltitos areno-argilosos e areias de origem fluvial com intercalações de cascalho), a segunda a Formação Cananéia (areias marinhas finas não consolidadas, homogêneas, muito bem selecionadas e freqüentemente "limonitzadas"), e a terceira compreenderia sedimentos marinhos mistos (sedimentos arenosos e areno-argilosos, atuais e subatuais, dispostos em baixos terraços) e aluvionares (presentes nas várzeas dos rios, de idade holocênica, e compostos predominantemente por camadas argilosas, siltosas e arenosas, com intercalações lenticulares de cascalho).

A Formação Cananéia foi proposta formalmente e descrita pela primeira vez por Suguio & Petri (1973) e Petri & Suguio (1973). Os autores analisaram os sedimentos coletados em dois furos de sondagem realizados pelo antigo Instituto Geográfico e Geológico – IGG (Furos IGG-1 e IGG-2), e reconheceram quatro "seqüências litológicas", da base para o topo: (I) camadas arenosas e conglomeráticas, com argilas subordinadas (até 118 m de espessura), (II) sedimentos siltico-argilosos (até 14 m de espessura), (III) areias siltosas (até 12 m de espessura) e (IV) areias muito finas bem selecionadas (até 30 m de espessura). Baseados em microfósseis, Petri & Suguio (1973) atribuíram à "seqüência II" um "ambiente de água salobra" e para a "seqüência III" um "ambiente marinho". Com os dados obtidos, os autores interpretaram o conjunto formado "pelos seqüências I, II e III" como sendo transgressivo e a "seqüência IV" como regressiva. Para as areias da "seqüência IV", admitiram o *status* de formação, para a qual foi proposta a denominação de Formação Cananéia. Já a "seqüência I" foi correlacionada aos sedimentos da Formação Pariquera-Açu, de origem continental. Mais tarde, Suguio & Martin (1978) ampliaram a abrangência do termo Formação Cananéia, passando a nele incluir também as "seqüências II, III e IV" descritas em Suguio & Petri (1973).

A Formação Pariquera-Açu e os depósitos relacionados foram o alvo de estudo da Dissertação de Mestrado de Melo (1990). Nesse trabalho, apresenta-se uma revisão crítica sobre a unidade e propõem-se uma nova divisão, baseada em estudos de sedimentação, tectônica e geomorfogênese. Assim sendo, a Fm. Pariquera-Açu foi dividida em três subunidades de caráter faciológico. A primeira é denominada "fácies fanglomerática de leques

aluviais”, composta, principalmente, de conglomerados com clastos angulosos e areia com estratificação cruzada. A segunda subunidade, denominada “fácies de sistema fluvial meandrante”, configura-se pela presença de bancos com granodecrescência ascendente, variando desde o par “ortoconglomerados-areias” até argilas laminadas. Por último, a terceira subunidade, denominada “fácies lacustre”, compõe-se de argilas laminadas. Cabe ressaltar, que o autor realizou estudo de minerais pesados em todas as unidades e subunidades por ele definidas, o que criou a oportunidade de uso dessas informações, em comparação com os resultados obtidos neste projeto, para identificação de área fonte das areias do rio Ribeira de Iguape.

#### *4.2. Mineração de Areia no Vale do Ribeira*

Chiodi *et al.* (1982) apresentam uma avaliação da atividade de mineração no Vale do Ribeira e Litoral do Estado de São Paulo, para fins de planejamento, destacando as principais causas da degradação ambiental. Esta preocupação com o meio ambiente, rara nos projetos apresentados na época, encontra-se também no trabalho de Macedo & Chieregati (1982).

Bauermeister *et al.* (1996) apresentaram levantamento de dados relativos à extração de areia com vista ao abastecimento da construção civil da RMSP. Nesse trabalho, foram analisados praticamente todos os portos de areia num raio de 250 km da cidade de São Paulo. A área estudada neste Trabalho de Formatura, ali definida como “distrito arenífero do Vale do Ribeira”, é caracterizada pelos autores como produtora de areia para construção civil principalmente em leito de rio (sedimentação ativa), com produção dividida entre o abastecimento da Baixada Santista (60%) e o abastecimento da RMSP (40%), e também de areia para uso industrial nas planícies litorâneas, em áreas atribuídas a domínio da Formação Cananéia. Na mesma publicação, avaliam-se ainda, quanto à potencialidade, as unidades “Cananéia, Parque-Açu, de Dunas, de Leito de Rio, e Várzeas”, prevendo-se o aumento da importância do distrito arenífero como abastecedor daquelas duas regiões metropolitanas.

O “Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro do Estado de São Paulo” vem sendo desenvolvido pela Coordenadoria de Planejamento Ambiental da Secretaria de Meio Ambiente (CPLAE-SMA), tendo sido iniciado com a elaboração de mapas temáticos e proposta de zoneamento ecológico-econômico (Engecorps, 1996; SMA, 1997) que está atualmente em discussão para especificação do decreto que regulamentará a Lei do Gerenciamento Costeiro (Lei Estadual N.º 10.019 de 03/07/98). Neste zoneamento, as atividades de mineração são permitidas a partir da zona 2, local que permite o uso para pesquisa científica, educação ambiental, manejo auto-sustentado, ecoturismo, pesca artesanal, ocupação humana, aquicultura e atividades de mineração baseadas no Plano Diretor Regional de Mineração. Isto representa menores restrições à atividade mineradora em comparação com o disposto no Código Florestal (Lei Federal) e no Decreto Federal 750/93, de proteção à Mata Atlântica.

Nogueira (2003) realizou estudo da atividade de mineração no Vale do Ribeira, cujo objetivo foi fornecer os produtos necessários à elaboração de uma proposta de Plano Diretor de Mineração para a região, para o estabelecimento de diretrizes e bases técnicas para o gerenciamento ambiental da atividade minerária, visando maior agilidade nos processos de licenciamento, assim como a definição de áreas aptas à mineração. O projeto, realizado por demanda da Secretaria do Meio Ambiente, envolve a participação de técnicos da CPLAESMA. No levantamento de campo, foram cadastrados 91 empreendimentos minerários, 68 ativos e 23 inativos, sendo, dos ativos, 40 de areia, dez de argila, cinco de calcário, e, os restantes, divididos entre caulim, rocha fosfática, brita e rocha ornamental.

Outros levantamentos de dados foram feitos visando à administração de recursos hídricos, para o Comitê da Bacia Hidrográfica do Ribeira e Litoral Sul, estando resumidos no relatório "Situação dos Recursos Hídricos do Ribeira de Iguape e Litoral Sul" (CETEC, 2000). Esse relatório inclui medidas para a proteção das águas na região, discussão da potencialidade mineral do distrito arenífero do Vale do Ribeira e análise dos impactos causados pela atividade de extração de areia em relação à qualidade da água.

Whitaker (2001), abordando o beneficiamento de areias utilizadas como agregado miúdo na construção civil, apresenta aplicações tanto das técnicas usuais e tradicionais, quanto de processos mais recentes e aprimorados. Discutem-se nesse trabalho três estudos de caso de preparação de areia: pedra britada, "alteração de rocha" e "leito de rio", este último referente a trechos do rio Ribeira de Iguape nas proximidades das cidades de Registro e Sete Barras (SP). O autor afirma que até pouco tempo atrás a atividade de extração de areia na região vinha sendo realizada de forma pouco organizada e sem levar em conta importantes critérios, principalmente com respeito aos controles técnicos, ambientais e econômicos dos empreendimentos. Buscaram-se, assim, com a criação em 1997 da Associação de Mineradores de Areia do Vale do Ribeira (Amavri), dois objetivos principais: coordenação e delimitação das áreas de extração de areias das empresas legalmente instaladas na região; e adoção de um sistema inédito de auto-fiscalização, buscando o cumprimento do que preceitua a legislação mineral e ambiental. Fruto do trabalho desenvolvido após 1997, o autor destaca a aquisição de embarcações móveis de dragagem (dragas auto-transportadas), para extração de areia no leito fluvial, e obras e melhorias significativas nas instalações de beneficiamento e depósito dos "portos" (unidades de produção de areia às margens dos rios). Observaram-se também melhorias de cunho sócio-econômico-ambiental, voltadas para o desenvolvimento harmônico com o meio ambiente e a comunidade.

Whitaker (2001) define que a areia explotada do leito do rio Ribeira de Iguape destina-se principalmente a agregado miúdo para concreto e em menor proporção para argamassa e pavimentação. O autor afirma, também, que a areia do Vale do Ribeira está se tornando competitiva no mercado de agregado, uma vez que o principal polo produtor, a região do Vale do Rio Paraíba do Sul, tem encontrado dificuldades crescentes de exploração de areia face à

pressão dos órgãos de controle ambiental e fiscalização legal.

Na questão de logística, Whitaker (2001) afirma que o custo de transporte torna-se fator comprometedor para que a areia do Vale do Ribeira atinja os mercados da Região Metropolitana de São Paulo, seja pela distância a ser percorrida, seja pelo fato de o transporte ser ascendente. A exploração de outras formas de transporte, incluindo a reativação da malha ferroviária que atende à região, permanece como alternativa para aumentar a competitividade do produto e reduzir seu valor agregado e, consequentemente, seu valor final ao consumidor.

#### *4.3. Sistema Fluvial e Rio Ribeira de Iguape*

Os canais dos rios são talvez as feições mais marcantes da paisagem fluvial. O canal em linha reta é a forma mais simples para o fluxo de um rio, porém instável, transformando-se em meandros ou em canais anastomosados ou entrelaçados devido aos fenômenos de corte e preenchimento, deposição residual de sedimentos acima da competência e/ou capacidade do rio e colonização ou armadilhamento de sedimentos por vegetação. As quatro morfologias fluviais, retilínea, meandrante, anastomosada e entrelaçada, podem ocorrer associadas na mesma bacia de drenagem, dependendo a sua formação das relações entre o declive do canal e a vazão (Medeiros, 1971), bem como do calibre e volume de aporte, fatores controlados em última análise pelo contexto tectônico e climático.

A seguir, estão relacionados os aspectos morfológicos presentes em um sistema fluvial meandrante.

Meandros são canais sinuosos, possuindo como principal característica a sua constante movimentação lateral devida à ação combinada de erosão e deposição. Cada curva do meandro forma uma pequena escarpa, por erosão da margem externa côncava, tomando como referencial a parte externa do rio. A barra em pontal forma-se por acréscimo de sedimentos na curva interior à margem convexa. As mudanças dos meandros são devidas à tendência constante de erosão no banco côncavo e deposição do material na próxima barra em pontal, a jusante. O fenômeno de avulsão dá origem aos meandros abandonados. As variações laterais sofridas pelos meandros originam atalhos (*cut-offs*), cuja morfologia pode ser em corredeira (*chute cut-off*) ou em colo (*neck cut-off*) (Medeiros, 1971).

A planície de inundação (*flood plain*) é a área relativamente plana, coberta por lâmina de água em épocas de enchente. Possui geralmente forma em planta alongada e densa cobertura por vegetação. Quando há presença de partes mais baixas, constantemente alagadas, na planície de inundação, aplica-se o termo bacias de inundação (*flood basins*).

Diques marginais (*natural levees*) são corpos elevados, alongados em faixas sinuosas junto às bordas do canal, formados em períodos de inundação. Com enchentes de grande porte, a energia do fluxo do rio pode romper o dique marginal, formando canais efêmeros e pouco definidos, que se espalham sobre a planície de inundação, geralmente na forma de

leques de poucos decâmetros de extensão. Trata-se dos depósitos de crevassa ou rompimento de dique marginal (*crevasse splay*) (Riccomini *et al.* 2000).

Na área de estudo, uma análise preliminar permitiu a classificação do rio Ribeira de Iguape como um rio meandrante, com meandros bem formados a jusante da região de Sete Barras e da foz do rio Juquiá, e com meandros parcialmente encaixados, de expressão mais limitada, a montante.

O rio Ribeira de Iguape apresenta vazão de aproximadamente 375 m<sup>3</sup>/s. Este valor é alto se comparado a outros rios paulistas de mesmo porte, como o Paraíba do Sul, cuja vazão na região de Cruzeiro a Cachoeira Paulista é da ordem de 175 m<sup>3</sup>/s (DAEE, 2006). O transporte sólido natural também é relativamente elevado, devido às características do solo que o seu leito atravessa e às fortes declividades que se apresentam nos seus trechos superior e médio (DAEE, 1998). Nas últimas décadas, dois fatos vêm marcando de forma significativa a interação da comunidade com o rio. O primeiro diz respeito ao desenvolvimento da atividade de extração de areia, concentrada no início do seu trecho inferior e de baixa declividade, incluindo a região de Registro. Esta atividade vem crescendo de forma expressiva, sem, no entanto, exercer-se qualquer tipo de controle ou avaliação das consequências da extração sobre o equilíbrio morfodinâmico fluvial. O segundo fato é o processo de erosão de margens do rio, que tem motivado inúmeras reclamações por parte de agricultores cujas terras aí se encontram (DAEE, 1998).

## 5. Atividades Realizadas: Meios e Métodos

No intuito da obtenção de dados para os objetivos deste Trabalho de Formatura, uma gama de atividades foi realizada no período de duração da disciplina (fevereiro a outubro de 2006). Estas atividades envolveram levantamento bibliográfico e cartográfico, estudo e aplicação de métodos de classificação de drenagens, coleta de amostras e análises sedimentológicas em laboratório.

### 5.1. Levantamento Bibliográfico

A fim de obter uma visão abrangente sobre a configuração geológica da área de estudo, realizou-se pesquisa bibliográfica não somente sobre a geologia atravessada pelo trecho do rio em atividade mineradora, mas também das unidades que configuram potenciais rochas fontes atuais ou pretéritas para os sedimentos fluviais. Esta estratégia justifica-se por um dos principais objetivos do presente Trabalho de Formatura, que é a análise de proveniência dos diferentes tipos de areias exploradas economicamente na bacia do Ribeira de Iguape, sendo para isso necessários conhecimentos sobre as litologias por ela drenadas. Características inerentes à morfologia e distribuição espacial da drenagem em estudo também

foram abordadas, tendo-se em vista principalmente inferir o seu condicionamento tectono-estrutural e litológico.

Realizou-se ainda exaustiva pesquisa bibliográfica sobre classificação de drenagens, com ênfase a índices e medidas usuais na caracterização de morfometria fluvial. A pesquisa sobre este tema permitiu o reconhecimento dos principais “elementos morfológicos” (*sensu* Miall 1996, isto é, feições morfológicas, como leques de crevassa e meandros abandonados, correspondentes à expressão em superfície de associações de fácies ou elementos arquitetônicos) passíveis de serem encontrados em sistemas deposicionais fluviais ativos, como o do Ribeira de Iguape.

## 5.2. Levantamento Cartográfico e Sensoriamento Remoto

Na observação, estudo e entendimento de sistemas deposicionais ativos, é de vital importância a visualização e representação gráfica através do uso de ferramentas de sensoriamento remoto que permitam não só analisar feições geomorfológicas, mas também integrar o sistema ao contexto regional. Neste estudo, optou-se pela utilização de base de dados diversificada, proveniente de diferentes sensores: imagens de satélite, mapas topográficos e aerofotografias.

A análise de imagem de satélite permitiu planejar e representar em escala regional os pontos de coleta de sedimentos, bem como analisar a variação morfométrica e o condicionamento tectônico-estrutural das drenagens em estudo. Utilizou-se a cena 035-784, proveniente do sensor *LANDSAT* 7, com duas composições de bandas: 3-2-1, em cor real, e 7-5-2, para realçar as drenagens.

As folhas topográficas utilizadas, todas do levantamento em escala 1:50.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), foram quatro: Pariquera-Açu (SG-23-V-A-IV-1), Iguape (SG-23-V-A-IV-2), Juquiá (SG-23-V-A-I-3) e Registro (SG-23-V-A-I-4). As bases topográficas foram copiadas com scanner digital e georreferenciadas com o auxílio do software para geoprocessamento *ArcGis™*, incluso no pacote *Arclnfo™*. Com as cartas em formato digital, foi possível a montagem de um mosaico que abrangesse toda a área de estudo, o que permitiu a análise e integração das feições topográficas pertencentes às diferentes áreas no entorno dos rios estudados, bem como a medição de elementos morfométricos associados às drenagens (por exemplo, largura do canal e área da planície aluvial).

Quanto às aerofotos, optou-se por utilizar aquelas pertencentes ao vôo realizado no ano de 1962 pela empresa Cruzeiro do Sul, de escala aproximada 1:25.000. Apesar de antigas, estas fotografias apresentam as drenagens e planícies de inundação ainda sob pouco efeito da ação antrópica, condição favorável à análise de elementos morfológicos.

A interpretação fotogeológica voltada à identificação de elementos morfológicos foi realizada em três etapas. A primeira consistiu na fotointerpretação, com o auxílio de

estereoscópio de mesa e papel transparente (“overlay”). Na segunda etapa, as aerofotos foram copiadas com *scanner* de mesa, ortoretificadas para corrigir a distorção de bordas e georreferenciadas com o auxílio do software *ERMapper™*. A terceira etapa, já com as bases aerofotográficas em formato digital georreferenciado, consistiu na construção do mapa fotointerpretativo, com o auxílio do software *ArcGis™*. Este mapa contém a representação das principais feições e elementos arquitetônicos dos rios Ribeira de Iguape e Juquiá. Nele foram realizadas as medidas de parâmetros e índices necessários à caracterização morfométrica do sistema fluvial em questão.

### 5.3. Atividades de Campo

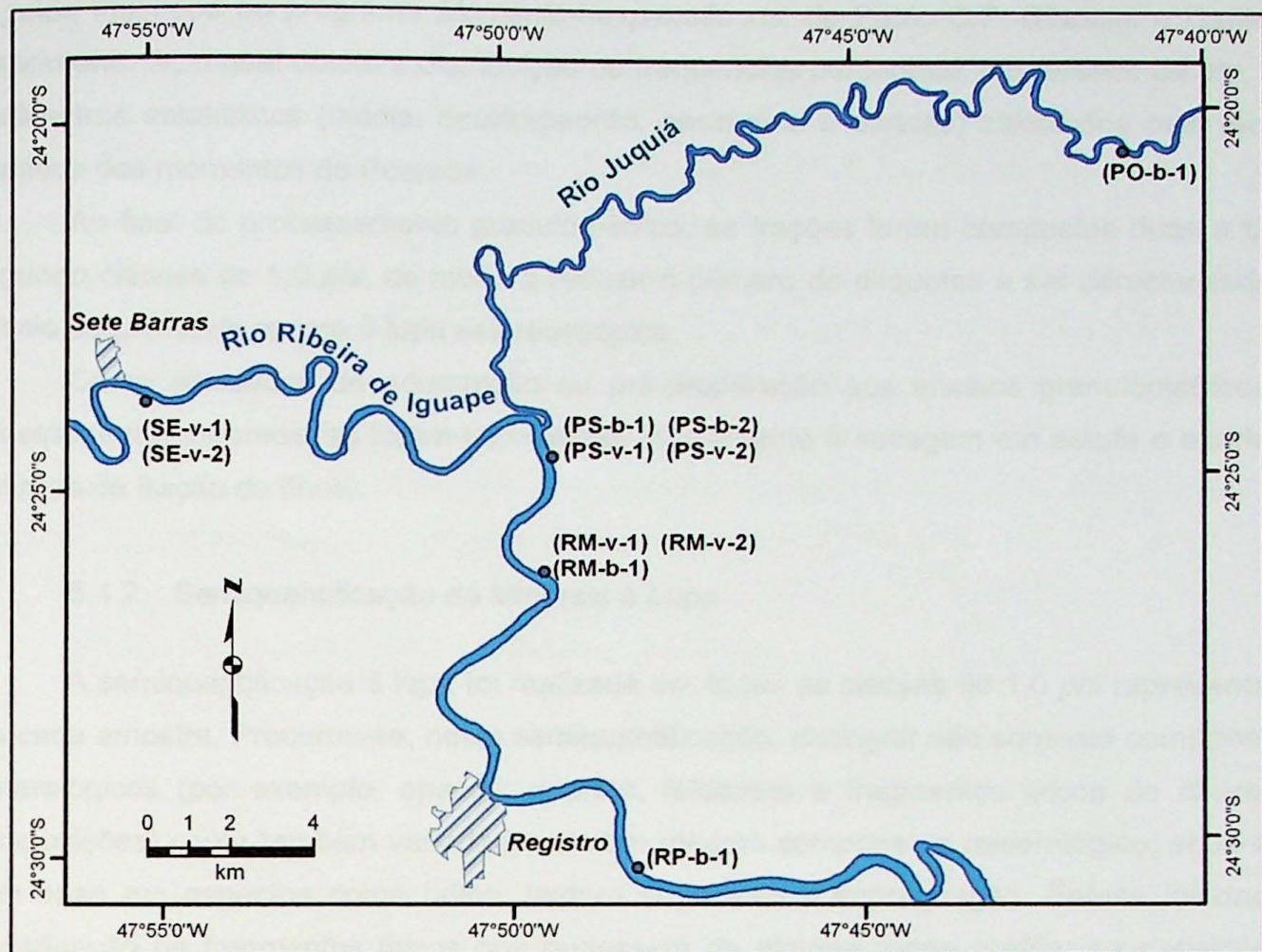
Por intermédio da Associação dos Mineradores de Areia do Vale do Ribeira (Amavri), coletou-se um total de 11 amostras de sedimentos de canal fluvial ativo, sendo cinco de “areia branca” e seis de “areia vermelha” (Figuras 02 e 03).



Figura 02 (esquerda) e 03 (direita) – Amostras de “areia branca” e “areia vermelha”, respectivamente, coletadas no Porto Seguro, baixo rio Ribeira de Iguape.

As amostras coletadas são provenientes das proximidades, no canal, de três portos de areia distintos, localizados no município de Registro (Porto Seguro, Porto Romanha e Porto Rio do Peixe), um localizado no município de Juquiá (Porto Onças) e outro localizado no município de Sete Barras (Porto Santa Elisa). (Figura A3.1 – Anexo III).

A amostragem, condicionada pela disponibilidade de minério em diferentes épocas, teve a seguinte distribuição por porto de areia. Porto Santa Elisa: duas amostras de areia vermelha (SE-v-1 e SE-v-2); Porto Seguro: quatro amostras, sendo duas de areia branca (PS-b-1 e PS-b-2) e duas de areia vermelha (PS-v-1 e PS-v-2); Porto Romanha: três amostras, uma de areia branca (RM-b-1) e duas de areia vermelha (RM-v-1 e RM-v-2); e portos Rio do Peixe e Onças: uma amostra de areia branca cada um (RP-b-1 e PO-b-1, respectivamente). (Figura 04)



**Figura 04 – Mapa esquemático de localização das amostras coletadas. As siglas adotadas apresentam-se entre parêntesis.**

#### 5.4. Atividades de Laboratório

Com as amostras em mãos, foi possível dar início aos ensaios laboratoriais previstos, os quais incluíram análise granulométrica de amostra integral, semiquantificação de minerais à lupa, separação de minerais pesados ao líquido denso e quantificação de minerais pesados ao microscópio petrográfico.

##### 5.4.1. Análise Granulométrica

A análise granulométrica visou à quantificação da distribuição em massa dos sedimentos coletados. Utilizou-se um conjunto de 12 peneiras correspondentes a classes de 0,5 *phi* na escala de Wentworth-Krumbein, com malhas de abertura 2,53 mm, 2,00 mm, 1,41 mm, 1,00 mm, 0,710 mm, 0,500 mm, 0,350 mm, 0,250 mm, 0,180 mm, 0,125 mm, 0,090 mm e 0,063 mm. O peneiramento foi realizado em agitador com vibração padronizada segundo normas técnicas. Ao fim de cada peneiramento, as frações retidas foram cuidadosamente retiradas e pesadas em balança de precisão. Os dados de distribuição em massa foram em

seguida inseridos no programa *Momento4-expansão.xls*, de Paulo C.F. Giannini e Daniel R. Nascimento Jr, o qual obtém a distribuição de freqüências percentual, em classes de *phi*, e os parâmetros estatísticos (média, desvio-padrão, assimetria e curtose) calculados pela técnica analítica dos momentos de Pearson.

Ao final do processamento granulométrico, as frações foram compostas duas a duas, segundo classes de 1,0 *phi*, de modo a reduzir o número de alíquotas a ser caracterizado no ensaio seguinte, de exame à lupa estereoscópica.

Como atividades de adequação ou pré-preparação aos ensaios granulométricos de peneiramento, as amostras foram submetidas previamente à secagem em estufa e elutriação (retirada da fração de finos).

#### 5.4.2. Semiquantificação de Minerais à Lupa

A semiquantificação à lupa foi realizada em todas as classes de 1,0 *phi* representadas em cada amostra. Procurou-se, nesta semiquantificação, distinguir não somente componentes mineralógicos (por exemplo, opacos, quartzo, feldspato e fragmentos líticos de diferentes composições) como também variedades de um mesmo componente mineralógico, separadas com base em aspectos como brilho, textura superficial e impregnação. Ênfase foi dada à identificação de fragmentos líticos que pudessem de alguma forma auxiliar na definição da área fonte dos sedimentos em estudo.

#### 5.4.3. Minerais Pesados

Os produtos de peneiramento correspondentes a areia fina (-0,250+0,125 mm) foram separados por afundamento em bromofórmio ( $\text{CHBr}_3$ ,  $d \approx 2.83 \text{ g/cm}^3$ ), utilizando álcool como solvente. As frações flutuada e afundada foram pesadas separadamente em balança de precisão.

Em seguida, a fração de pesados foi submetida à separação de minerais magnéticos e não-magnéticos, com auxílio de ímã portátil.

As lâminas de grãos foram confeccionadas com a fração de minerais pesados não magnéticos. De modo a permitir o arquivo junto à coleção de lâminas de pesquisa do Laboratório de Petrografia Sedimentar do IGc-USP, optou-se pelo método da montagem permanente, utilizando-se bálsamo do Canadá natural como meio de imersão.

As lâminas de minerais pesados, assim confeccionadas, foram estudadas e quantificadas ao microscópio óptico petrográfico. O estudo óptico de minerais pesados consistiu na identificação e descrição sucinta dos componentes transparentes não micáceos, realizando-se contagem de espécimes minerais pelo “método da faixa” (Giannini, 1993), até a totalização de no mínimo cem grãos. Grãos de minerais opacos não magnéticos e micáceos foram contados simultaneamente, porém em cômputo separado.

Índices somatórios de minerais de mesma categoria de estabilidade química e física foram obtidos, por amostras individuais e agrupadas, tendo em vista a avaliação da maturidade mineralógica dos sedimentos estudados, conforme a conceituação de Folk (1951). Os três índices utilizados referem-se à assembléia de minerais pesados transparentes não micáceos. O primeiro índice somatório, ou índice ZTR (iZTR), é dado pela soma dos minerais considerados ultraestáveis (zircão, turmalina e rutilo). O segundo e o terceiro índice (iMET e iINS, respectivamente) foram calculados de forma análoga ao primeiro para minerais considerados metaestáveis (apatita, granada, estaurolita, monazita, biotita, ilmenita, magnetita, epídoto, cianita, sillimanita e zoisita), e instáveis (hornblenda, actinolita, augita, diopsídio, hiperstênio e andaluzita) pela classificação de Pettijohn *et al.* (1972).

#### 5.4.4. Tratamento Gráfico-Estatístico dos Dados

Balanços de massa em valores percentuais de distribuição foram realizados para cada amostra, ao final das análises granulométrica, densimétrica e mineralógica.

Resultados brutos de distribuição de freqüências granulométricas foram convertidos em valores de parâmetros estatísticos (diâmetro médio, desvio-padrão, assimetria e curtoza) pelo método analítico dos momentos, através do programa *Momento4-expansão.xls*, de Paulo C.F. Giannini e Daniel R. Nascimento Jr.

Os parâmetros estatísticos obtidos foram convertidos em gráficos binários de dispersão com o uso do software *Excel™*, cruzando-se os parâmetros estatísticos de cada amostra entre si e com suas respectivas distâncias a um ponto referencial comum a todas as amostras, situado a jusante da área de estudo.

O objetivo do uso de gráficos binários foi verificar se as variáveis, neste caso, os parâmetros estatísticos, possuem ou não correlação entre si ou se apresentam tendências em relação à sua distribuição espacial.

No mesmo software, foram obtidas as retas de regressão e seus respectivos coeficientes de correlação linear ( $r$ ) correspondentes aos diagramas de dispersão. Além disso, foram estimados valores máximo do nível de significância ou erro I ( $\alpha$ ) por interpolação comparando o quociente  $t$  do teste de regressão unicaudal de distribuição ( $t$  de Student). O erro I traduz a probabilidade de aceitar-se uma correlação inexistente.

### 6. Cronograma

O Quadro 01 contém o cronograma geral proposto para a execução do Trabalho de Formatura com a inclusão das atividades realizadas.

As atividades envolvidas na confecção deste Trabalho de Formatura incluíram coleta de amostras, estudo de mapas e fotointerpretação, e levantamentos regionais litoestratigráfico,

tectono-estruturais e de elementos morfológicos do sistema fluvial. A ênfase a aspectos regionais e geomorfológicos deveu-se à percepção, logo no início do levantamento cartográfico, da singularidade do rio Ribeira de Iguape e afluentes no que se refere ao forte controle estrutural e litológico, variável trecho a trecho nas drenagens.

**Quadro 01.** Cronograma de atividades referentes ao Trabalho de Formatura, contendo período ideal e período de realização das atividades propostas.

Atividades	Meses								
	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	
Revisão bibliográfica	X	X	X			X	X		
Estudo de mapas e fotointerpretação		X	X	X					
Atividades de campo			X	X					
Atividades em laboratório I (análise granulométrica e densimétrica)				X	X	X	X		
Atividades em laboratório II (análises ao microscópio petrográfico e à lupa binocular)			X	X		X	X		
Tratamento dos resultados						X	X	X	
Discussão dos resultados e elaboração do texto final							X	X	



Cronograma Original



Atividades Realizadas

Diante de tal singularidade, optou-se por iniciar os estudos no período de Março a Julho, em uma escala macro, regional, a fim de identificar os possíveis fatores que de forma direta, e até mesmo indireta, contribuíram e/ou contribuem na deposição dos sedimentos em estudo. Este método de abordagem levou à construção do mosaico topográfico e de aerofotos, e à subdivisão e caracterização das drenagens, por critérios morfológicos objetivos, em diferentes trechos.

Os estudos da etapa que se iniciou em Agosto e terminou em Outubro basearam-se na análise de minerais e fragmentos líticos à lupa (semiquantificação) e, principalmente, na quantificação de minerais pesados ao microscópio petrográfico.

Os resultados dos estudos laboratoriais de granulometria e mineralogia à lupa e ao microscópio petrográfico, aliados com o conhecimento sobre as características tectono-estruturais da área de estudo, permitiram conhecer as diferenças entre os tipos de minério estudados, identificar as rochas fontes mais prováveis dos diferentes tipos de minério sedimentar e traçar um modelo evolutivo das drenagens em estudo e seu entorno, na época da deposição da “areia branca” e da “areia vermelha”.

## 7. Resultados Obtidos

### 7.1. Geologia Regional

A geologia do Vale do Ribeira contempla grande variedade de rochas e litotipos, que variam desde núcleos arqueanos, passando por terrenos do Paleoproterozóico, Mesoproterozóico e Neoproterozóico, até depósitos recentes marinhos e continentais.

Ela envolve uma história complexa de movimentações tectônicas, parte delas com expressão neotectônica (isto é, reflexos na geomorfologia atual), o que tem dado margem a numerosos esquemas de classificação litoestratigráfica, especialmente quanto ao embasamento pré-cambriano (Campanha, 1991).

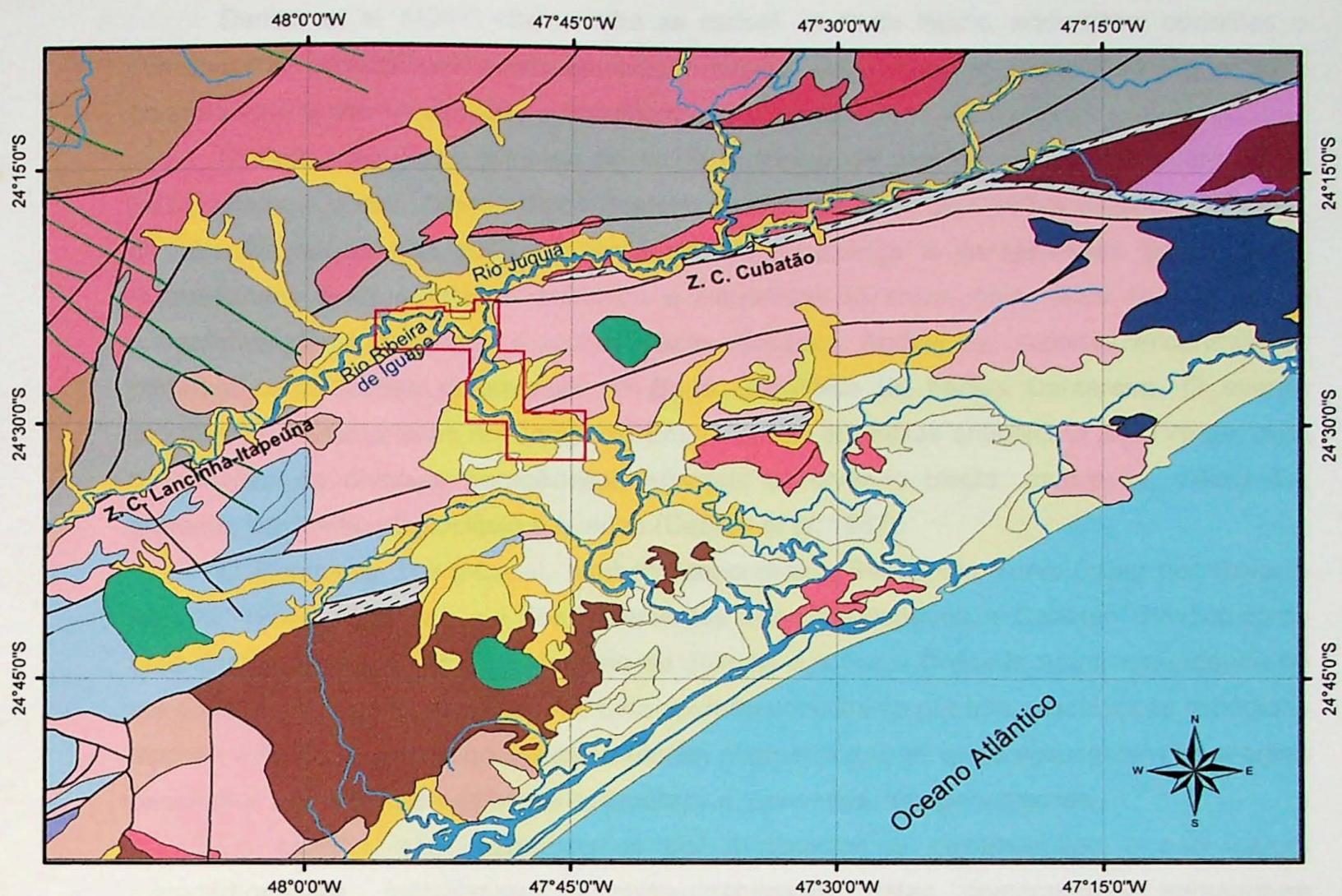
Com o intuito de se distanciar das controvérsias existentes sobre as unidades deste embasamento, optou-se aqui por utilizar como base cartográfica o mapa geológico apresentado em CPRM (2004), à luz das considerações apresentadas por Campanha (1991). Este mapa (Figura 05) é a fonte cartográfica oficial mais recente sobre a região, mas não possui, até o momento, um texto explicativo.

No tocante à área de interesse para este trabalho, dividiram-se as unidades em dois grandes grupos, pré-cenozóicas e cenozóicas.

#### 7.1.1. Unidades Pré-Cenozóicas

As unidades litoestratigráficas maiores reconhecidas na área de embasamento pré-cambriano drenada pelo rio Ribeira de Iguape e afluentes são o Complexo Serra Negra e Itatins, o Complexo Costeiro, o Complexo Embu, o Complexo Turvo-Cajati e o Complexo Atuba. A estas unidades, podem associar-se rochas miloníticas e corpos granitóides sin, tardí e pós-orogênicos.

Segundo Campanha (1991), o Complexo Costeiro, também denominado de Complexo Gnáissico-Migmatítico, corresponde ao embasamento da faixa metassedimentar. É ainda polêmica a questão de seus limites exatos, uma vez que em vários locais se descrevem passagens transicionais de micaxistas para gnaisses e migmatitos. O litotipo predominante é representado por migmatitos de estrutura bandada (estromatítica) e, localmente, estruturas dobradas, flebíticas e *schlieren*. Incluem-se nesta unidade pequenas porções não individualizadas e localizadas de trama homogênea e isótropa. O paleossoma possui natureza variada, predominando biotita e/ou hornblenda gnaisses e, secundariamente, anfibolitos, quartzitos, micaxistas, mármore, e, raramente, rochas cálcio-silicáticas. O neossoma é de natureza granitóide, e raramente pegmatóide. O paleossoma gnáissico tem natureza eminentemente anfibolítica, constituindo rochas bandadas de coloração cinza claro e cinza esverdeado. Associado ao complexo costeiro, o autor cita também a ocorrência de dois núcleos charnockíticos maiores, de idade arqueana: os maciços de Itatins e Serra Negra.



Modificado de CPRM, 2004

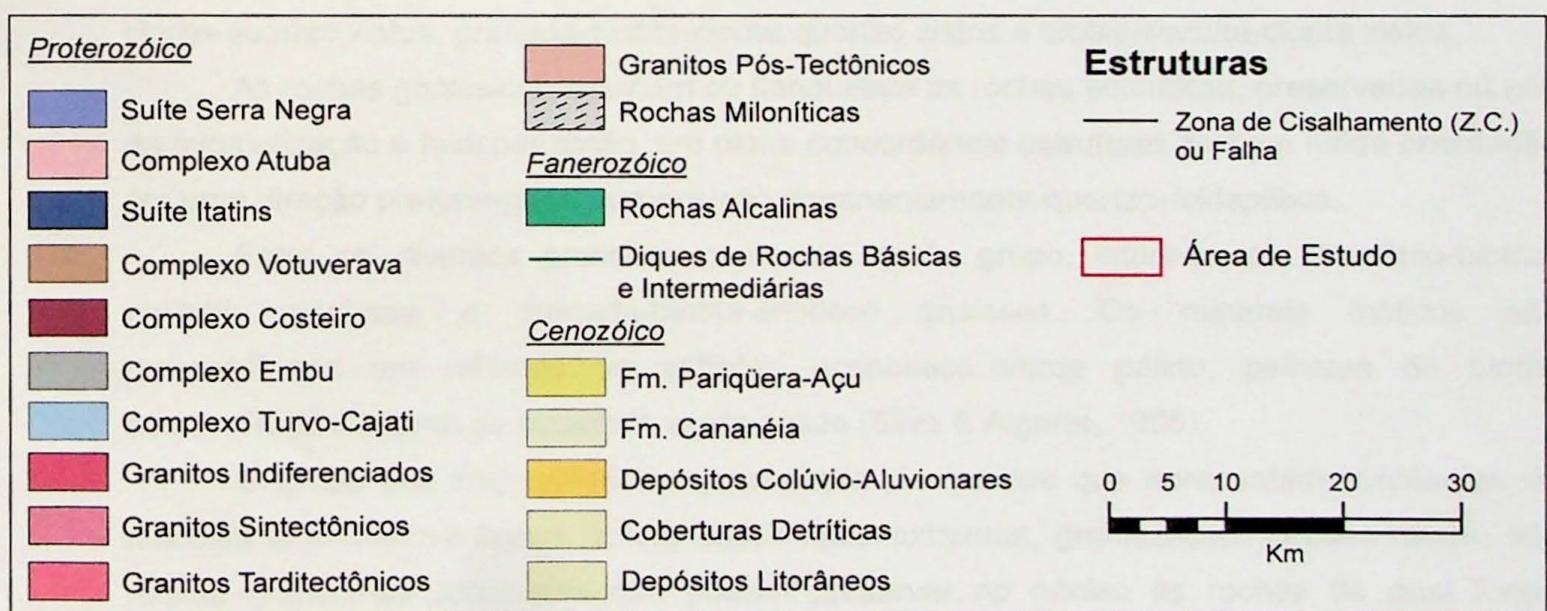


Figura 05 - Mapa geológico do médio e baixo Rio Ribeira de Iguape e adjacências.

Dantas *et al.* (1987) citam, entre as rochas da Suíte Itatins, enderbitos, opdalitos e charnockitos, caracterizados pela associação mineral plagioclásio +/- microclínio + quartzo + hiperstênio + biotita +/- diopsídio + hornblenda.

O Complexo Embu situa-se no bloco tectônico de mesmo nome, individualizado e justaposto com o denominado Bloco Costeiro através da Zona de Cisalhamento de Cubatão, de direção aproximada ENE. É composto de micaxistas e paragnasses parcialmente migmatizados e de quartzitos. Incluindo a Seqüência Miracatu, com xistos finos, filitos e subordinadamente quartzitos, e rochas cálcio-silicáticas. Ambas as unidades encontram-se cortadas pelas rochas deformadas da Suíte Granítóide de Fácies Cantareira. O evento principal de metamorfismo no Complexo Embu deu-se em fácies anfibolito a xisto verde, com a formação de diversas paragêneses minerais envolvendo biotita, muscovita, sillimanita, granada, cordierita, plagioclásio e quartzo (Dantas *et al.* 1987).

O Complexo Turvo-Cajati, também denominado Seqüência Turvo-Cajati por Silva & Algarte (1985), situa-se a sul dos lineamentos Lacinha-Itapeúna e Cubatão. Possui como seus limites naturais o Maciço Mediano de Joinville e a Faixa Dobrada Apiaí, estendendo-se até o litoral em seu extremo sudeste. Esta unidade constitui-se por três associações litológicas (rochas ectiníticas, rochas gnáissicas e rochas migmatíticas), as quais apresentam freqüentes passagens transicionais verticais e horizontais, e, por vezes, inter penetrações.

Os ectinitos são representados por metapelitos e metapsamitos e por rochas metacarbonáticas, metabásicas e meta-ultrabásicas. Estes componentes apresentam passagens verticais e horizontais entre si, quase sempre evidenciando migmatização e feldspatização locais. Entre os principais litotipos ectiníticos, destacam-se quartzitos, quartzo xistos, muscovita quartzitos, raros turmalina xistos, muscovita-quartzo xistos, biotita-sericita-clorita-quartzo xistos, granada-biotita-clorita-quartzo xistos e biotita-sericita-clorita xistos.

As rochas gnáissicas alternam ou flanqueiam as rochas ectiníticas, preservadas ou não da migmatização e feldspatização, em plena concordância estrutural. Exibem nítida orientação em uma direção preferencial e composição predominantemente quartzo-feldspática.

Entre os diversos gnaisses presentes neste grupo, citam-se os piroxênio-biotita-anfibólio gnaisses e granada-biotita-anfibólio gnaisses. Os minerais maficos são representados por prismas de anfibólio actinolítico verde pálido, palhetas de biotita avermelhada e prisma de piroxênio verde pálido (Silva & Algarte, 1985).

O grupo dos migmatitos é representado por rochas que apresentam evidências de anatexia e metassomatismo, e, em casos mais extremos, granitização. Grosso modo, são rochas granítóides grosseiras que podem preservar no núcleo as rochas da qual foram geradas, neste caso os metassedimentos descritos anteriormente.

O Complexo Atuba é aqui referido conforme a proposição original de Siga Júnior *et al.* (1995), também denominado Complexo Gnássico-Migmatítico Atuba, estendido para a área de estudo por CPRM (2004). Assim sendo, inclui-se esta unidade no Domínio Curitiba, um

compartimento geotectônico limitado em seu setor NW com as seqüências metassedimentares dos Grupos Açuengui e Setuba, e a SE com os gnaisses granulíticos do Domínio Luís Alves. O Domínio Curitiba é representado por gnaisses bandados migmatíticos, com freqüentes intercalações de corpos anfibolíticos e de xistos magnesianos. Os gnaisses bandados são normalmente leucocráticos, com termos mesocráticos de granulação média e texturas granonematoblásticas, granolepidoblásticas, e por vezes granoblásticas. As intercalações, em lentes centimétricas, de corpos anfibolíticos, por vezes granatíferos, bem como de xistos magnesianos, podem constituir-se na litologia predominante. Destaca-se, no âmbito dos gnaisses bandados, a presença de plagioclásio, quartzo, hornblenda, biotita, K-feldspato e clorita. Já nos termos mais mesocráticos podem ocorrer adicionalmente hiperstênio e/ou diopsídio e granada. Ocorrem ainda minerais acessórios como allanita, titanita, zircão, apatita e epídoto.

Segundo Dantas *et al.* (1987), a Zona de Cisalhamento de Cubatão, de caráter predominantemente transcorrente, afeta tanto os metassedimentos de baixo grau e granitóides do Complexo Embu, quanto as rochas de alto grau do Bloco Costeiro, desenvolvendo uma faixa principal de protomilonitos, milonitos, blastomilonitos e filonitos, com largura variável de 300 a 1500 m. Na área de Miracatu, a NE da área de estudo do presente trabalho, Gimenez Filho *et al.* (1987) identificaram como principais litotipos associados à Zona de Cisalhamento de Cubatão os blastomilonitos, milonito-gnaisses, milonitos, protomilonitos e filonitos, com graduação entre esses termos e espessura variável de 300 a 1500 m. Esta faixa de rochas cataclásticas, por sua natureza, constitui relevo destacado ou marca zonas de fraqueza estrutural, influenciando acentuadamente a distribuição dos sítios de deposição cenozóica na área (Melo, 1990).

Os corpos granitóides na região encontram-se estudados apenas de forma pontual (G.A.C. Campanha, IGc-USP; comunicação verbal). Em CPRM (2004), os corpos graníticos apresentam-se classificados, quanto à idade relativa de colocação, em três tipos: sintectônicos, tardí-tectônicos e pós-tectônicos. Quanto à composição, dividem-se em tipo A, tipo S e tipo I.

Segundo Gimenez Filho *et al.* (1987) os granitos que ocorrem na região da cidade de Miracatu são relacionados à Suíte Granítóide de Fácies Migmatítica e a Suíte Granítóide Porfiróide de Fácies Cantareira.

A Suíte Granítóide de Fácies Migmatítica compõem-se por dois tipos de granitóides, definidos com base em suas feições texturais: granitóides porfiróides mesocráticos e granitóides inequigranulares leucocráticos.

Os granitóides porfiróides mesocráticos apresentam como mineralogia básica quartzo, feldspato potássico (microclínio), plagioclásio (andesina-oligoclásio), tendo biotita como mineral máfico principal e acessoriamente epídoto, apatita, titanita, carbonatos, zircão, allanita e clorita, e possuem uma ocorrência generalizada de enclaves variados, de formatos

irregulares, de dimensões centimétricas a métricas, incluindo-se também núcleos anfibolíticos com a predominância de hornblenda e biotita.

Os granitóides inequigranulares leucocráticos, por sua vez, apresentam relativa escassez de enclaves e apresentam, como mineralogia essencial, quartzo, microclínio, plagioclásio, hornblenda e biotita, e acessoriamente, zircão, allanita, titanita, epídoto, muscovita apatita e clorita (Gimenez Filho *et al.* 1987).

Segundo Melo (1990), na área de estudo ocorrem diques de diabásio como corpos tabulares a irregulares, normalmente subverticais, com espessura submétrica a métrica, raramente ultrapassando uma dezena de metros. Ainda segundo este autor, além de diabásio, ocorrem excepcionalmente outras litologias, como augita-biotita lamprófiro. Os diques de direção WNW-ESE são amplamente dominantes na área, mas encontram-se também diques e sills de direção ENE-WSW, subparalelos à direção metamórfica das rochas do embasamento, comuns principalmente na área da Zona de Cisalhamento de Cubatão, e na sua interseção com o Alinhamento de Guapiara. Esses diques possuem idade aproximada entre 130 e 120 Ma, correlatos ao Magmatismo Serra Geral, que afetou a Placa Sul-Americana durante o Mesozóico.

Três maciços alcalinos mesozóicos, com diques associados, todos incluídos na Província Alcalina do Arco de Ponta Grossa ocorrem na área: Jacupiranga (também conhecido como Cajati), Serrote e Pariquera-Açu. O maior deles, o Maciço de Jacupiranga, possui idade em torno de 130 Ma e é constituído de sienitos, fenitos, carbonatitos (explorados economicamente), piroxenitos, peridotitos, ijolitos, essexitos e jacupiranguitos. O maciço de Serrote abrange carbonatitos (também explorados), piroxenitos, ijolitos, sienitos, fenitos e monzonitos, e apresenta idade em torno de 127 Ma. Já o Maciço de Pariquera-Açu é constituído de shonkinitos e malignitos, subordinadamente nefelina-sienitos, com idade em torno de 200 Ma (Melo, 1990).

#### 7.1.2. Unidades Cenozóicas

De acordo com Melo (1990), ocorrem na cobertura cenozólica da região tipos variados de depósitos sedimentares, os quais podem ser agrupados em cinco unidades principais: Formação Sete Barras, Formação Pariquera-Açu, depósitos de cascalho em nível topográfico superior e intermediário de terraços, depósitos colúvio-aluviais plio-pleistocênicos e coberturas sedimentares quaternárias (aluvões em várzeas e baixos terraços; depósitos de tálus; sedimentos indiferenciados de deposição mista na planície costeira; sedimentos de cordões litorâneos pré-atuais de fases regressivas associadas às transgressões Cananéia e Santos; depósitos de mangue; e sedimentos atuais de deposição praial).

A Formação Sete Barras é representada por lamitos basais, passando acima a paraconglomerados e ortoconglomerados, com ocorrência ainda de sedimentos arenosos inconsolidados. Nesta unidade, os clastos rudáceos são polimíticos e as estruturas

sedimentares caracterizam-se pela presença de bancos com espessura entre 0,5 e 1 m, contendo discreta estratificação plano-paralela e granodecrescência ascendente. Mineralogicamente, os sedimentos da fração areia apresentam abundância de feldspato, parcial ou totalmente caulinitizado.

A Formação Pariquera-Açu corresponde a coberturas sedimentares relativamente delgadas (até pouco mais de 30m) depositadas em sistema continental complexo envolvendo leques aluviais fanglomeráticos, planície meandrante e lagos. A associação de fácies de leques aluviais formou-se junto às escarpas de reativação de falha, tendo como litologia mais representativa conglomerados com clastos angulosos e arenitos inconsolidados com estratificação cruzada. Os depósitos atribuídos a sistema fluvial meandrante, incluindo fácies de barras de pontal, rompimento de diques marginais e inunditos, ocorrem como bancos com granodecrescência ascendente, variando desde ortoconglomerado até depósitos arenosos inconsolidados, com a ocorrência de depósitos areno-argilosos estratificados e também maciços. A fácie lacustre da Formação Pariquera-Açu ocorre como bancos com gradação normal, predominantemente argilosos, destacando-se a presença de argilas de cor cinza-esverdeado, sem estratificação aparente.

Os depósitos de cascalho em nível superior de terraços ocorrem ao longo dos vales dos rios Ribeira de Iguape (desde Registro, a jusante, até Iporanga, a montante) e Jacupiranga, na forma de superfície descontínua com cascalhos, relativamente elevada em relação ao leito dos rios. Estes depósitos são representados essencialmente por cascalhos oligomíticos de matriz arenosa e clastos constituídos de quartzo e quartzito, arredondados. As areias são freqüentemente feldspáticas. Já os depósitos de cascalho em nível intermediário de terraços ocorrem embutidos em níveis topográficos abaixo do nível superior de terraços, e acima dos baixos terraços. Litologicamente, os depósitos da unidade de terraços inferior são representados por cascalhos oligomíticos com matriz arenosa e clastos constituídos de quartzo e quartzito, arredondados, assemelhando-se aos observados na unidade de terraço superior. É também comum que os cascalhos do nível intermediário de terraços exibam matriz/cimento argiloso, de composição caulinítica.

Os depósitos colúvio-aluvionares atingem espessura máxima de até 5 m, e são litologicamente representados por intercalações métricas de lamitos arenosos e paraconglomerados a blocos até métricos exclusivamente de quartzito, em matriz lamítica. Estes depósitos constituem antigas rampas de tálus desenvolvidas a partir do relevo sustentado por extensas lentes de quartzito, situadas a sul. O aspecto mais comum dos depósitos colúvio-aluvionares é o de lamitos mais ou menos arenosos, com coloração cinzenta a cinzenta clara, alterada em amarelo e vermelho, com aspecto variegado.

As coberturas sedimentares quaternárias correspondem a depósitos mais novos que os cascalhos do nível intermediário de terraços e que os depósitos colúvio-aluviais. Em sua maior parte, trata-se de unidades do Pleistoceno Superior e do Holoceno, apresentando-se

hoje com pouco ou nenhum entalhamento erosivo posterior à sedimentação. Incluem depósitos de aluviões em várzeas e baixos terraços, depósitos de tálus em encostas íngremes, sedimentos indiferenciados de deposição mista na planície costeira, sedimentos de cordões litorâneos pleistocênicos, depósitos de mangue e sedimentos de deposição praial.

Os aluviões em várzeas e baixos terraços ocorrem generalizadamente ao longo do leito dos principais rios da área e seus afluentes. Dispõem-se em várzeas alagáveis, e em terraços elevados, usualmente até cerca de 10 m acima do leito atual dos rios. Os depósitos apresentam constituição granulométrica muito variada, incluindo cascalhos, areias e argilas. Deve-se destacar que o material coletado para estudo neste trabalho situa-se nesta unidade geológica.

Os depósitos de tálus aparecem nas áreas de relevo pronunciado, com encostas íngremes. Apresentam-se na forma de rampas com inclinação relativamente acentuada, junto ao sopé das encostas, ou nas cabeceiras de drenagens das áreas montanhosas. Nesta situação, estes depósitos transitam a jusante para sedimentos aluviais. Litologicamente, os depósitos de tálus constituem-se de material rudáceo de cor variegada, texturalmente imaturo, apresentando fragmentos de rocha de tamanhos variados em matriz constituída pelo próprio material do manto de regolito.

Os sedimentos indiferenciados de deposição mista na planície costeira compreendem os materiais formadores de cordões litorâneos antigos, parcialmente remobilizados pela ação fluvial, com ocorrência restrita de lagunas. Os sedimentos da unidade são representados por areias, siltes e argilas. Já os sedimentos litorâneos antigos são caracterizados pela constituição essencialmente arenosa, e por apresentarem morfologia típica, exibindo cordões elevados até cerca de 10 m acima do nível do mar, geralmente paralelos às praias atuais. Estes sedimentos arenosos incluem os depósitos associados a duas transgressões quaternárias, a Transgressão Cananéia, do Pleistoceno Superior (Suguio & Petri, 1973 e Petri & Suguio, 1973) e a Transgressão Santos, do Holoceno (Suguio & Martin, 1978).

Os depósitos de mangue (holocênicos) são constituídos predominantemente de argilas, às vezes arenosas. Já os sedimentos arenosos de deposição atual correspondem aos últimos cordões litorâneos de construção praial (praias e dunas frontais ativas), ainda não vegetados ou com vegetação psamófita característica de sedimentação eólica em andamento (*Iresine portulacoides*, *Hydrocotila umbellata*, *Spartina ciliata*, *Ipomea pescaprea*, *Ipomea litorallis*, etc).

## 7.2. Arcabouço Estrutural

Campanha (1991) descreve que, na área de interesse do presente trabalho e suas adjacências, o padrão estrutural regional, numa primeira visão, é caracterizado por grande número de intrusões granítóides múltiplas, de idades e características diversas, afetando tanto as seqüências supracrustais como o embasamento gnáissico-migmatítico, sendo por sua vez,

afetadas por denso sistema anastomosado de zonas de cisalhamento transcorrentes, com caráter predominantemente dúctil e dúctil-rúptil. A ação desse sistema acabou por produzir uma lenticularização tectônica regional, definindo muitas vezes blocos tectônicos em formas sigmoidais. No mesmo trabalho, o autor afirma também haver a existência de zonas de cisalhamento sub-horizontais, com as zonas verticalizadas atuando como rampas laterais, e movimentação na direção NE-SW.

As zonas de cisalhamento podem apresentar rejeitos de até dezenas de km, onde podem estar justapostos blocos com diferentes características geológicas quanto à estratigrafia, metamorfismo, magmatismo, estruturas, idade e metalogênese. De maior importância regional, tanto em extensão e continuidade, quanto na delimitação dos blocos tectônicos, destaca-se o Lineamento Lencinha-Itapeúna, que se junta ao Lineamento Ribeira para formar o Lineamento de Cubatão (Figura 05) (Campanha, 1991).

Segundo Dantas *et al.* (1987), a Zona de Cisalhamento de Cubatão e sua continuação a sul (Lencinha-Itapeúna) são interpretadas como antigas zonas de fraqueza reativadas sucessivamente ao longo do tempo, com a ocorrência conjunta de rochas extensivamente cristalizadas, cataclasitos e brechas que denotam um caráter dúctil-rúptil, mas com a ocorrência local de milonitos de baixo ângulo. Há indícios de pelo menos uma etapa de deslocamento inverso para as estruturas em questão.

Essas zonas de cisalhamento atuaram até o Cambriano-Ordoviciano, gerando diversos tipos de rochas miloníticas (milonitos, blastomilonitos, ultramilonitos, protomilonitos, brechas, protocataclasitos e cataclasitos) (Melo, 1990).

Deve-se atentar para o fato de que as zonas definidas como lineamentos ou zonas de cisalhamento possuem grande importância na estratigrafia da área, uma vez que podem configurar o contato entre duas unidades distintas, como, por exemplo, a interface entre as rochas do Complexo Embu e do Complexo Atuba, dado pela Zona de Cisalhamento de Cubatão e sua continuidade a sul através da Zona de Cisalhamento Lencinha-Itapeúna. Além disso, possuem papel importante no encaixe de bacias terciárias e no controle da drenagem atual.

De acordo com Melo (1990), estruturas de idade mesozóico-cenozóica encontram-se também evidenciadas nos depósitos sedimentares da região. Segundo este autor, dentre as principais estruturas associadas à reativação mesozóico-cenozóica da Plataforma Sul Americana, as de mais fácil identificação são falhas de movimentação normal, principalmente aquelas localizadas nos depósitos da Formação Pariquera-Açu e nos depósitos de cascalho em nível topográfico superior e intermediário de terraços, ocorrendo ainda, em menor proporção, falhas inversas e de rejeito direcional com movimentação horizontal dominante.

Grandes estruturas preexistentes, representadas na área de estudo pela Zona de Cisalhamento de Cubatão e zonas correlatas e pelo Alinhamento de Guapiara, influenciaram fortemente a localização e geometria dos falhamentos cenozóicos (neotectônicos), bem como

o surgimento de depressões tectônicas e seu concomitante ou posterior preenchimento sedimentar (Melo, 1990).

O Gráben de Sete Barras (Figura 06) é o melhor exemplo do condicionamento da tectônica cenozóica pelas estruturas preexistentes.

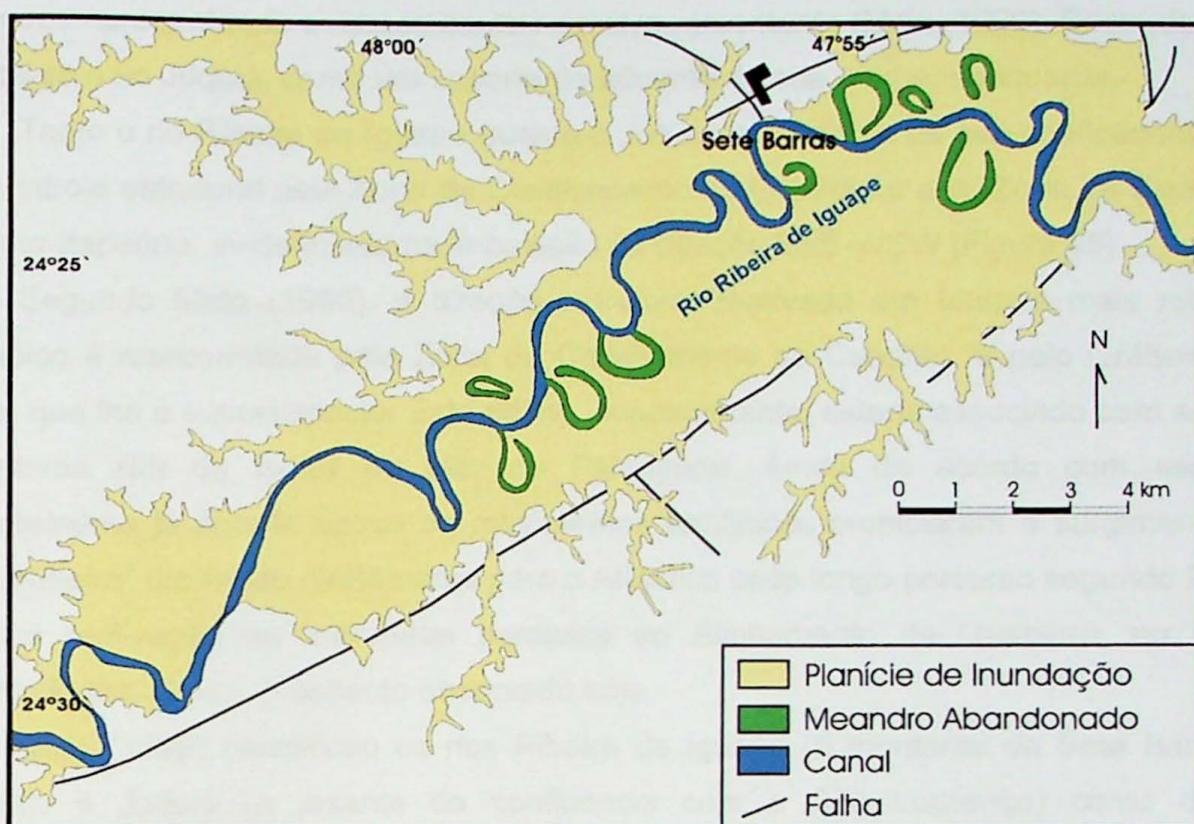


Figura 06 – Localização, elementos morfológicos e configuração tectônica do Gráben de Sete Barras, modificado de Melo (1990).

Com alongamento ENE-WSW, paralelo a Zona de Cisalhamento de Cubatão, o gráben situa-se exatamente na interseção desta zona de cisalhamento com o Alinhamento de Guapiara, próximo à cidade de Sete Barras, a montante (NW) da cidade de Registro. Aparentemente, coincide com o Alinhamento de Guapiara uma extensa área de reativação tectônica cenozóica, com pequenas falhas normais de direção WNW-ESE, melhor desenvolvidas no seu flanco sudoeste. Estas falhas teriam soerguido o bloco sudoeste relativamente ao nordeste, ambos ligeiramente elevados para SW (Melo, 1990). O limite entre os blocos não é claro, mas na leitura de mapas topográficos observa-se que o leito do rio Ribeira de Iguape, na região de Registro, poderia, de alguma forma, guardar íntima relação com a estrutura de deslocamento relativo entre estes dois blocos.

Acredita-se, assim, que principalmente as Formações Sete Barras e Pariquera-Açu possuam forte determinante neotectônico, com feições desta reativação também presentes nos depósitos de terraços. Esta afirmação remete à idéia de que não só esforços antigos são de suma importância na geologia da região, mas também a neotectônica, por vezes determinante da geomorfologia, e, por vezes, da geologia das unidades cenozóicas.

### 7.3. Rede de Drenagem

O rio Ribeira de Iguape apresenta-se não somente como principal drenagem na área de estudo, mas também como maior rio da vertente atlântica da serra do Mar. O forte gradiente topográfico no seu curso superior confere-lhe poder de entalhe, com suas cabeceiras apresentando evidente caráter erosivo remontante (Melo, 1990). Secundariamente, destaca-se o rio Juquiá, como um importante afluente de sua margem esquerda.

Tanto o rio Ribeira de Iguape quanto o Juquiá a montante de sua confluência denotam forte controle estrutural pela Zona de Cisalhamento de Cubatão e pela Zona de Cisalhamento Lacinha-Itapeúna, evidenciada na imposição da direção ENE-WSW (Figura 05).

Segundo Melo (1990), a direção estrutural reativada em tempos mais remotos no Cenozóico é representada pela Zona de Cisalhamento de Cubatão, e pelo Gráben de Sete Barras, que lhe é superimposto. Este último, supostamente, estaria associado com a evolução do sistema Rift da Serra do Mar no Paleógeno. Ainda de acordo com esse autor, aparentemente já àquela época os movimentos tectônicos propiciaram o surgimento de um "paleo-Ribeira" drenando diretamente para o Atlântico após longo percurso segundo ENE, com posterior reativação de estruturas paralelas ao Alinhamento de Guapiara, no Neógeno, imprimindo-lhe, assim, o aspecto observado hoje.

Melo (1990) classificou os rios Ribeira de Iguape (a montante de Sete Barras), São Lourenço e Juquiá (a jusante da confluência com o São Lourenço) como drenagens subseqüentes, com seus cursos controlados pelo Lineamento Ribeira e Zona de Cisalhamento de Cubatão. Esta tendência para direcionamento preferencial segundo ENE-WSW, observada na rede de drenagem da área em estudo, representa também a direção preferencial das estruturas metamórficas regionais.

Interessante notar que a jusante da confluência do rio Juquiá, o rio Ribeira de Iguape apresenta mudança brusca de direção da ordem de quase 90°, adquirindo direção aproximada SE-NW. Segundo Melo (1990), esta marcante inflexão do curso fluvial a jusante da cidade de Sete Barras, assumindo caráter consequente em relação à topografia, tem estreita relação com o Alinhamento de Guapiara. O autor confere a este trecho a denominação de "passagem epigênica", uma vez que esta área é sustentada por rochas do embasamento cristalino.

O condicionamento do rio Ribeira de Iguape segundo a direção ESE-WSW estende-se até a jusante da cidade de Registro, a partir de onde a direção muda e o controle estrutural desaparece.

### 7.4. Análise de Geomorfologia Fluvial (Índices e Elementos Morfológicos)

Dos vários índices morfométricos aplicados no estudo de canais fluviais, dois são mais amplamente utilizados, a sinuosidade e o parâmetro de entrelaçamento.

A sinuosidade (*sinuosity*) foi introduzida por Leopold & Wolman (1957) como sendo a

razão entre o comprimento do talvegue pelo comprimento do vale do canal ou seu eixo principal. Já o parâmetro de entrelaçamento (*braiding parameter*) foi definido por Rust (1978) como a razão entre o número de barras longitudinais ou transversais (*braides*) e o comprimento de onda do meandro principal.

Rust (1978) também propõe a classificação do padrão de canal fluvial através da aplicação combinada da sinuosidade e do parâmetro de entrelaçamento numa matriz 2 x 2 simples (Quadro 02).

**Quadro 02.** Classificação de canais em sistema deposicional fluvial, modificado de Rust (1978).

	Canal Simples (Parâmetro de Entrelaçamento < 1)	Canal Composto (Parâmetro de Entrelaçamento > 1)
Baixa Sinuosidade (< 1,5)	Retilíneo	Entrelaçado
Alta Sinuosidade <td>Meandrante</td> <td>Anastomosado</td>	Meandrante	Anastomosado

De acordo com essa classificação, canais que apresentam sinuosidade menor que 1,5 são considerados retilíneos, se o parâmetro de entrelaçamento for menor que 1, e entrelaçados, se o mesmo parâmetro for superior a 1. Já canais que apresentam sinuosidade maior que 1,5 são considerados meandrantes se o parâmetro de entrelaçamento for menor que 1 e anastomosados, se for maior que 1. Rust (1978) afirma que, dessa classificação, os tipos de canal mais comuns são o meandrante (*meandering*) e o entrelaçado (*braided*).

Miall (1996) propõe alterações significativas no tocante aos valores limítrofes dos índices propostos por Rust (1978). Na questão do parâmetro de entrelaçamento, sugere que sejam designados de *wandering* (serpenteantes) os canais que apresentarem índices de entrelaçamento entre 1,0 e 3,0. Tal sugestão de mudança decorre de duas observações: 1. em trechos do rio Bella Coola, definidos como *wandering* e estudado por Church (1983 *apud* Miall, 1996), o parâmetro de entrelaçamento é igual a 2,5; 2. rios utilizados como exemplos típicos de sistema entrelaçado (*braided*) por Rust (1978) apresentam o parâmetro de entrelaçamento muito mais elevado (superior a 8).

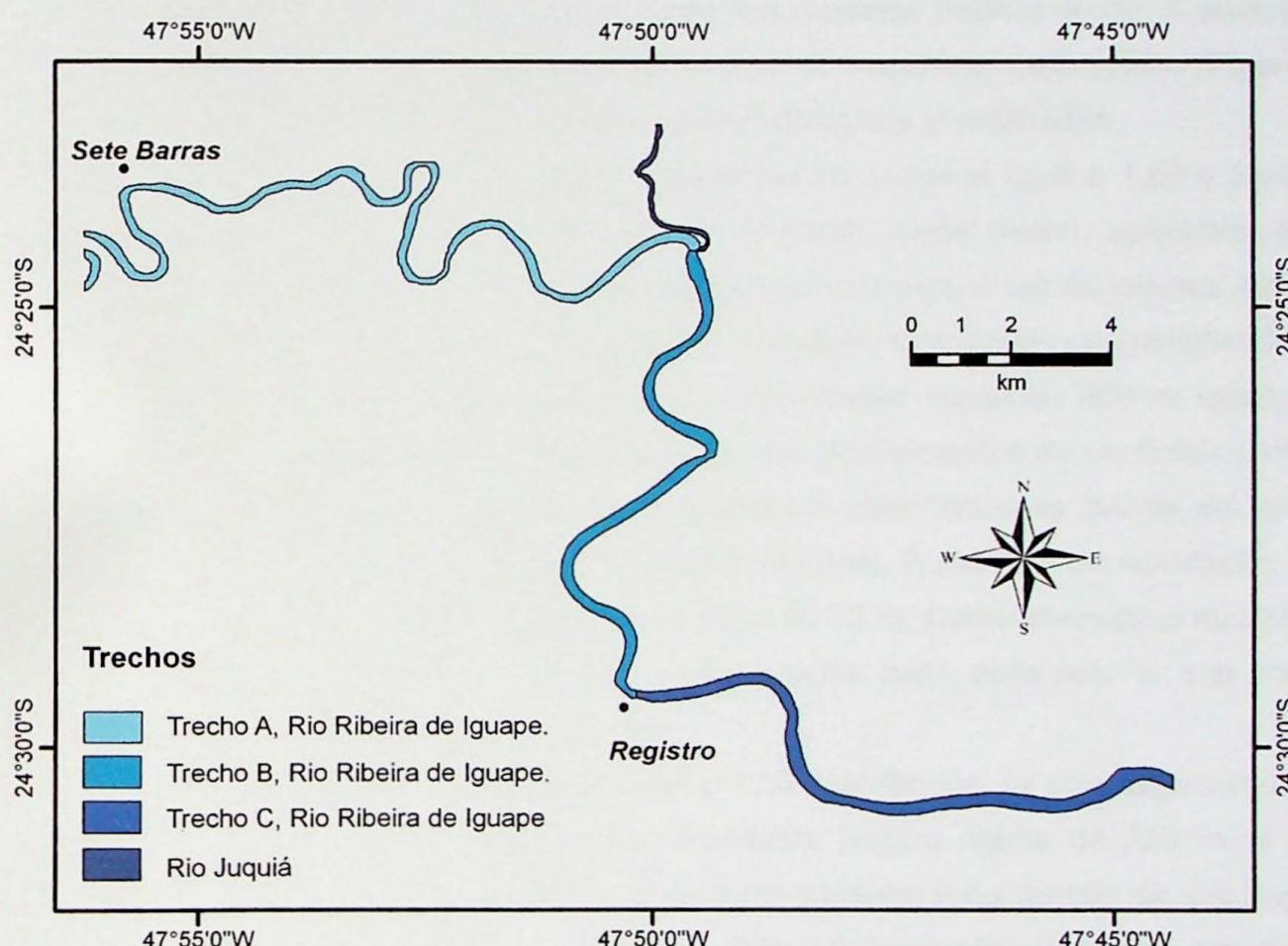
Já em relação à sinuosidade, Miall (1996) sugere que sejam designados de canais intermediários aqueles que apresentarem o índice entre 1,2 e 1,5.

As bases de dados georreferenciadas produzidas, representadas por mosaico aerofotográfico e mosaico de folhas topográficas, visaram principalmente à obtenção de tais índices e também um trabalho de interpretação fotogeológica dos principais elementos morfológicos do sistema fluvial em estudo.

Deve-se ressaltar que há mudanças consideráveis de direção ao longo do rio Ribeira de Iguape na área investigada, situação muito particular frente aos trabalhos clássicos ora consultados.

Para contornar esta questão e viabilizar a adequada obtenção e interpretação dos índices de classificação morfométrica, optou-se pela divisão do rio Ribeira de Iguape segundo três trechos distintos, designados Trecho A, Trecho B e Trecho C (Figura 07).

O Trecho A é representado pela porção do rio Ribeira de Iguape a montante da confluência do rio Juquiá. Neste trecho, marcante condicionamento tectônico da drenagem encontra-se evidenciado no seu encaixe dentro do Gráben de Sete Barras. O Trecho B, de direção aproximada N-S, constitui a “passagem epigênica” de Melo (1990), representada por soleira de rochas do embasamento cristalino pré-cambriano que se estende até a cidade de Registro. No Trecho C, a jusante desta cidade, a drenagem passa a correr por sobre sedimentos da planície costeira. Segundo Melo (1990), a “passagem epigênica” separa as áreas sedimentares do Gráben de Sete Barras, a montante, e da planície costeira a jusante, encontrando-se hoje entalhada e arrasada pelo rio Ribeira de Iguape.



**Figura 07 – Divisão dos rios em trechos, adotada neste trabalho para análise de morfometria fluvial.**

Os índices de sinuosidade e entrelaçamento, calculados nos trechos A, B e C e no rio Juquiá de acordo com medidas realizadas no software de geoprocessamento ArcGis™ (Tabela 01), permitiram classificar os respectivos “estilos fluviais” conforme a proposta de Miall (1996).

**Tabela 01.** Índices de sinuosidade e entrelaçamento obtidos em três trechos do rio Ribeira de Iguape (A, B e C, de montante para jusante) e no rio Juquiá e classificação dos estilos fluviais correspondentes segundo Miall (1996).

Trecho	Sinuosidade		Parâmetro de Entrelaçamento	Classificação de estilo fluvial (Miall, 1996)	
	Comp. do Talvegue (m)	Comp. do Vale (m)		Índice	
A	22381	11833	1,89	< 1,0	Meandrante Arenoso
B	12068	9438	1,28	< 1,0	Meandrante Areo-Cascalhoso
C	18737	13496	1,39	< 1,0	Meandrante Areo-Cascalhoso
Rio Juquiá	5894	3942	1,50	< 1,0	Meandrante Arenoso

Utilizando-se do mosaico aerofotográfico produzido (Figura A3.2 – Anexo III), buscou-se identificar os elementos morfológicos ao longo dos mesmos trechos de rio. A atividade de fotointerpretação forneceu subsídios para a construção do mapa fotointerpretativo (Figura A3.3 – Anexo III), no qual estão os principais elementos morfológicos identificados.

O trecho A do rio Ribeira de Iguape apresentou sinuosidade igual a 1,89 e parâmetro de entrelaçamento menor do que uma unidade. O canal, neste trecho, apresenta largura média de 180 m e, associado a ele, observam-se barras em pontal e barras laterais. As barras em pontal apresentam comprimento médio de 450 m e estão localizadas nas porções internas dos meandros, enquanto as barras laterais, com comprimento médio de 360 m, localizam-se preferencialmente nas porções mais retilíneas do trecho. Alinhamentos de cordões curvilíneos, possivelmente arenosos, são observados principalmente associados às barras em pontal e laterais, evidenciando a movimentação e migração do canal. A planície de inundação possui largura média de 4380 m e cota topográfica em torno de 19 m. Como elementos morfológicos a ela associados, observam-se meandros abandonados bem definidos, o que indica a existência de atalhos em corredeira ou em colo.

O trecho B apresentou sinuosidade igual a 1,28 e parâmetro de entrelaçamento menor do que uma unidade. O canal neste trecho apresenta largura média de 220 m, e menor sinuosidade se comparado com o trecho A. É evidente também a contenção de sua migração lateral pelas rochas do embasamento cristalino. Não há formação de barras em pontal e laterais comparável a do trecho anterior, observando-se apenas uma única barra lateral, possivelmente arenosa, próximo à cidade de Registro. Neste trecho, a planície de inundação possui uma largura média de 1600 m e cota topográfica em torno 18 m.

O trecho C, em sua porção de montante (primeiros 6500 m de canal), apresenta comportamento muito semelhante ao trecho B. Vencida a contenção imposta pelas rochas do embasamento, passa a apresentar os mesmos elementos morfológicos observados no trecho A: meandro abandonado, barra em pontal e cordões, mais a presença de um novo elemento, a ilha vegetada. Pode-se, assim, considerar que no trecho C há uma transição de estilos fluviais.

O canal, no trecho C, apresentou sinuosidade igual a 1,39, parâmetro de entrelaçamento menor do que 1 e largura média de 270 m. A cota topográfica da planície de inundação, neste trecho, se aproxima de um valor médio de 10 m.

O rio Juquiá, no trecho estudado, apresentou sinuosidade igual a 1,50 e parâmetro de entrelaçamento menor do que 1, largura média de canal igual a 110 m, planície de inundação com largura média de 3600 m e cota topográfica em torno de 13 m. Neste trecho, não se observam barras ou cordões e a planície de inundação apresenta-se mais vegetada e 5 m, em média, mais deprimida topograficamente, em relação aos trechos A e B do rio Ribeira de Iguape.

Imediatamente a jusante da confluência do rio Juquiá, observa-se um alargamento do canal do rio Ribeira de Iguape. A proximidade de rochas do embasamento ao canal e o aumento da sinuosidade das drenagens a montante sugerem que neste local se dá efeito de represamento provocado por uma barreira natural, aqui designada de soleira.

O quadro de classificação de estilo fluvial proposto por Miall (1996), por ser voltado à caracterização da estratigrafia de depósitos fluviais, é acompanhado de uma listagem dos elementos arquitetônicos mais típicos de cada estilo. Cabe ressaltar que o termo elemento arquitetônico refere-se nesse contexto ao conjunto de fácies deposicionais e sua geometria em afloramento, devidamente relacionados a formas superficiais ou formas de leito (elementos morfológicos) e, portanto a processos específicos do sistema deposicional em questão.

Partindo-se dos parâmetros morfométricos e elementos morfológicos encontrados e seguindo a classificação de Miall (1996), o estilo fluvial do rio Ribeira de Iguape no trecho A e do rio Juquiá é o meandrante arenoso (*sandy meandering*), designado pelo autor como "modelo meandrante clássico". Este estilo possui até sete elementos arquitetônicos: depósitos de acresção lateral (*lateral-accretion deposits*), leitos arenosos (*sandy bedforms*), depósitos de finos da planície de inundação (*floodplain fines*), depósitos de dique marginal (*levee deposits*), depósitos de rompimento de dique marginal (*crevasse-splay deposits*), depósitos de canal de rompimento de dique marginal (*crevasse-channel deposits*) e preenchimento de canais abandonados (*abandoned channel fills*). Já os trechos B e C correspondem ao estilo designado como meandrante areno-cascalhoso (*gravel-sand meandering*), com quatro elementos arquitetônicos ideais: depósitos de acresção lateral (*lateral-accretion deposits*), leitos arenosos (*sandy bedforms*), depósitos de finos da planície de inundação (*floodplain fines*) e, diferentemente do estilo meandrante arenoso, barras e leitos cascalhosos (*gravel bars and bedforms*).

Os depósitos de acresção lateral, leitos arenosos e barras e leitos cascalhosos são elementos arquitetônicos ligados diretamente ao canal. Já os depósitos de finos da planície de inundação, dique marginal, rompimento de dique marginal, canal de rompimento de dique marginal e preenchimento de canais abandonados são elementos arquitetônicos associados

ao desenvolvimento da planície de inundação (Miall, 1996).

Segundo Suguio (2003), os depósitos de acresção lateral são formados através da acresção horizontal, onde ocorrem processos de redistribuição em área dos sedimentos disponíveis, processos estes muito ativos, principalmente em barras de meandros (barras em pontal). Já os depósitos de acresção vertical ou depósitos da planície de inundação são formados principalmente por sedimentos empilhados verticalmente, depositados principalmente por suspensão.

## 7.5. Análise Granulométrica

As 11 amostras foram submetidas à análise granulométrica através de peneiramento em intervalos definidos de 0,5 *phi*. Os dados foram inicialmente obtidos na forma de peso em gramas, e posteriormente transformados em proporção de massa (Anexo I).

Cabe aqui ressaltar que a pipetagem não foi necessária, uma vez que os sedimentos em estudo, apresentam teores de finos (silte e argila) da ordem de 0,5% em massa, de acordo com análises de mina (Engº Marcílio Masami Nagaoka, Amavri, com. pessoal).

Visando confrontar as características dos dois tipos de minério, separaram-se os dados obtidos em duas bases distintas, uma para “areia vermelha” e outra para “areia branca”. Em seguida foram calculados os parâmetros estatísticos para as bases de dados assim definidas.

Os parâmetros estatísticos calculados foram o diâmetro médio, desvio padrão, assimetria e curtose.

Segundo Guedes (2003) e Nascimento Júnior (2006), o diâmetro médio demonstra a ordem de grandeza das classes de tamanho das partículas, representando numa distribuição unimodal a energia cinética média do agente e/ou processo deposicional, dependente também do intervalo granulométrico inicialmente disponível para transporte e deposição.

O desvio padrão, por sua vez, mede a dispersão em torno da média granulométrica, e equivale ao inverso do grau de seleção granulométrica dos sedimentos. Em populações unimodais relaciona-se diretamente freqüência e amplitude das variações de energia e aporte do agente e/ou processo deposicional, em torno das condições cinéticas médias.

A assimetria pode ser entendida como um parâmetro que descreve o comportamento da curva de freqüências, se simétrica ou não, e se assimétrica, negativa ou positiva.

A Tabela 02 apresenta os dados de distribuição granulométrica obtidos para “areia vermelha” e a Tabela 03 os parâmetros estatísticos para o mesmo grupo de amostras.

**Tabela 02.** Resultados da análise granulométrica por peneiramento, em proporção de massa, para as amostras de "areia vermelha", de montante para jusante.

CÓDIGO DA AMOSTRA	FAIXA GRANULOMÉTRICA (%)							
	CASCALHO		AREIA					PELÍTICOS
	SEIXOS	GRÂNULOS	MUITO GROSSA	GROSSA	MÉDIA	FINA	MUITO FINA	SILTE E ARGILA
SE-v-1	0,00	3,03	20,50	39,70	31,66	4,97	0,14	0,00
SE-v-2	0,00	8,09	37,45	39,45	13,68	1,32	0,03	0,00
PS-v-1	0,00	10,52	26,54	29,83	27,50	5,52	0,09	0,00
PS-v-2	0,00	2,67	11,54	19,89	35,88	28,09	1,93	0,00
RM-v-1	0,00	34,56	40,92	18,49	5,28	0,73	0,01	0,00
RM-v-2	0,00	6,44	20,26	34,51	32,09	6,35	0,35	0,00
<b>MÉDIA</b>	<b>0,00</b>	<b>10,88</b>	<b>26,20</b>	<b>30,31</b>	<b>24,35</b>	<b>7,83</b>	<b>0,42</b>	<b>0,00</b>

**Tabela 03.** Parâmetros estatísticos calculados pela técnica analítica dos momentos de Pearson para amostras de "areia vermelha", de montante para jusante.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA ( $\Phi$ )				
CÓDIGO DA AMOSTRA	DIÂMETRO MÉDIO	DESVIO PADRÃO	ASSIMETRIA	CURTOSSE
SE-v-1	-0,47	0,80	1,03	3,58
SE-v-2	0,63	0,97	-0,10	2,53
PS-v-1	0,71	0,85	-0,26	2,83
PS-v-2	0,14	0,80	0,28	2,76
RM-v-1	0,43	1,03	0,06	2,12
RM-v-2	1,32	1,08	-0,48	2,50
<b>MÉDIA</b>	<b>0,46</b>	<b>0,92</b>	<b>0,09</b>	<b>2,72</b>

A granulometria para o conjunto de "areias vermelhas" caracteriza-se por distribuição de classes (amplitude total) desde areia muito fina até grânulo, com predomínio de moda em areia muito grossa a areia média, e diâmetro médio em areia grossa (1,00 – 0,71 mm). Neste conjunto de amostras, o desvio padrão médio de 0,92  $\phi$  remete a uma seleção granulométrica moderada segundo a classificação de Folk & Ward (1957). Das amostras deste grupo, duas apresentam comportamento discrepante: a coletada no Porto Santa Elisa (SE-v-1), com moda em grânulo a areia muito grossa, e diâmetro médio em areia muito grossa (1,41 – 1,00 mm); e a de Porto Romanha (RM-v-2), com moda em areia média a areia fina, e diâmetro médio em areia média (0,50 – 0,35 mm).

A Tabela 04 apresenta os dados de distribuição granulométrica das amostras de "areia branca" e a Tabela 05 os parâmetros estatísticos obtidos para o mesmo grupo de amostras.

**Tabela 04.** Resultados da análise granulométrica por peneiramento, em proporção de massa, para as amostras de "areia branca", de montante para jusante.

CÓDIGO DA AMOSTRA	FAIXA GRANULOMÉTRICA (%)							
	CASCALHO		AREIA				PELÍTICOS	
	SEIXOS	GRÂNULOS	MUITO GROSSA	GROSSA	MÉDIA	FINA	MUITO FINA	SILTE E ARGILA
PO-b-1	0,00	18,98	33,46	21,29	17,30	8,14	0,82	0,00
PS-b-1	0,00	5,79	13,90	36,31	26,42	15,44	2,14	0,00
PS-b-2	0,00	5,48	25,71	35,76	26,75	6,25	0,05	0,00
RM-b-1	0,00	6,42	32,74	36,10	19,29	5,20	0,25	0,00
RP-b-1	0,00	1,22	9,61	27,02	45,69	15,81	0,64	0,00
<b>MÉDIA</b>	<b>0,00</b>	<b>7,58</b>	<b>23,08</b>	<b>31,30</b>	<b>27,09</b>	<b>10,17</b>	<b>0,78</b>	<b>0,00</b>

**Tabela 05.** Parâmetros estatísticos calculados pela técnica analítica dos momentos de Pearson para amostras de "areia branca", de montante para jusante.

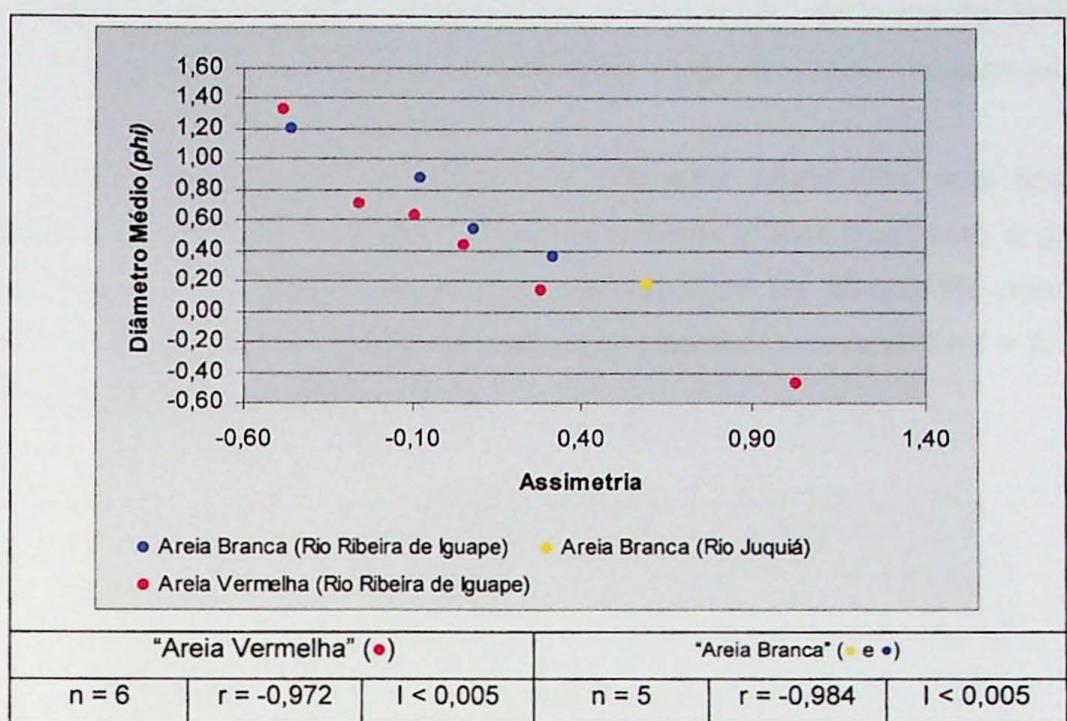
PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA ( $\Phi_i$ )				
CÓDIGO DA AMOSTRA	DIÂMETRO MÉDIO	DESVIO PADRÃO	ASSIMETRIA	CURTOSE
PO-b-1	0,18	1,18	0,59	2,38
PS-b-1	0,87	1,12	-0,08	2,60
PS-b-2	0,53	0,94	0,08	2,40
RM-b-1	0,35	0,95	0,32	2,85
RP-b-1	1,20	0,85	-0,46	3,18
<b>MÉDIA</b>	<b>0,63</b>	<b>1,01</b>	<b>0,09</b>	<b>2,68</b>

O grupo de amostras de "areia branca" caracteriza-se, em termos de valores médios, por amplitude de distribuição granulométrica entre areia muito fina e grânulo, com moda em areia muito grossa a areia média, e diâmetro médio em areia grossa (0,71 – 0,50 mm), 0,5  $\phi_i$  mais fino do que o grupo de "areia vermelha". O desvio padrão médio (1,01  $\phi_i$ ) caracteriza a seleção granulométrica como moderada, segundo a classificação nominal de Folk & Ward (1957). A amostra coletada no Porto Onças, no rio Juquiá (PO-b-1) apresentou distribuição granulométrica discrepante em relação ao conjunto de amostras estudadas, no que se refere à moda e diâmetro médio mais grossos. Em contrapartida, a amostra coletada no Porto Rio do Peixe, no rio Ribeira de Iguape (RP-b-1) distingue-se por ser mais fina, com moda entre areia grossa e areia média e diâmetro médio em areia média (0,50 – 0,35 mm).

Foram confeccionados seis gráficos binários relacionando duas a duas as variáveis diâmetro médio, desvio padrão, assimetria e curtose. Destes gráficos, apenas dois mostraram haver correlação aparente entre as variáveis em estudo: assimetria x diâmetro médio e desvio padrão x diâmetro médio.

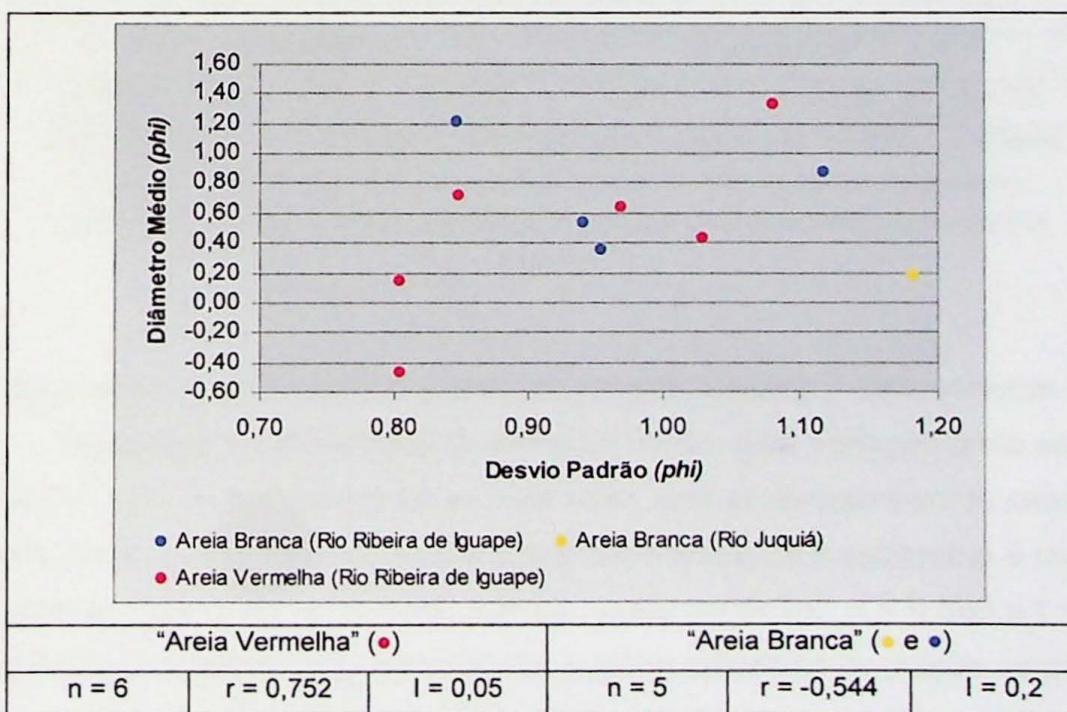
Para facilitar a observação do comportamento da amostra de "areia branca" coletada no rio Juquiá, o ponto correspondente foi destacado graficamente com cor diferente das outras amostras do mesmo grupo.

Observa-se, para os dois tipos de sedimento/minério, correlação inversa entre assimetria e diâmetro médio (expresso em  $\phi$ ) (Figura 08). A amostra do rio Juquiá destaca-se nesse gráfico como a "areia branca" de assimetria mais positiva (0,59) e diâmetro médio mais grosso (0,18  $\phi$ ).



**Figura 08** - Relação de assimetria e diâmetro médio ( $\phi$ ), para "areia branca" e "areia vermelha". Os símbolos n, r e I correspondem, respectivamente, ao número de amostras, coeficiente de correlação linear e nível de significância (por teste de regressão unicaudal t de Student).

No gráfico que relaciona desvio padrão com diâmetro médio (Figura 09), as amostras de "areia vermelha" apresentam comportamento disperso, mas com tendência de aumento do desvio padrão (piora de seleção) nas granulometrias mais finas.



**Figura 09** – Relação desvio padrão ( $\phi$ ) e diâmetro médio ( $\phi$ ), para "areia branca" e "areia vermelha". Os símbolos n, r e I correspondem, respectivamente, ao número de amostras, coeficiente de correlação linear e nível de significância (por teste de regressão unicaudal t de Student).

Conclui-se assim que o afinamento da granulometria, nestes sedimentos, não elimina a presença representativa das faixas granulométricas mais grossas.

Neste mesmo gráfico, as amostras de "areia branca" apresentam comportamento inverso ao da "areia vermelha", com tendência, grosso modo, de aumento de seleção com o afinamento. Dentre as amostras de "areia branca", a do rio Juquiá destaca-se como a mais grossa ( $0,18 \text{ phi}$ ) e menos selecionada.

A Figura 10 representa a relação do diâmetro médio dos dois tipos de minério estudados de montante para jusante. Observa-se neste gráfico que tanto o grupo de "areia vermelha", quanto o de "areia branca" apresenta tendência de afinamento para jusante. Esta tendência é mais acentuada nas amostras de "areia branca" ( $r = -0,766$  e  $I = 0,1$ ), do que nas de "areia vermelha" ( $r = -0,546$  e  $I = 0,2$ ).

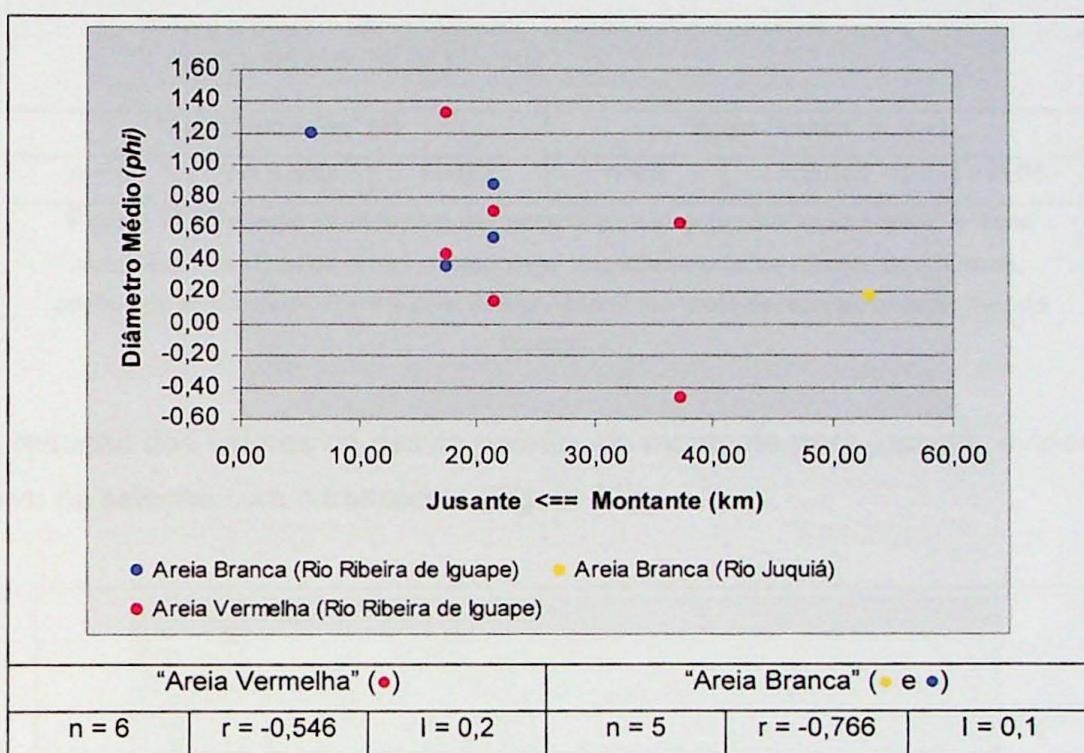
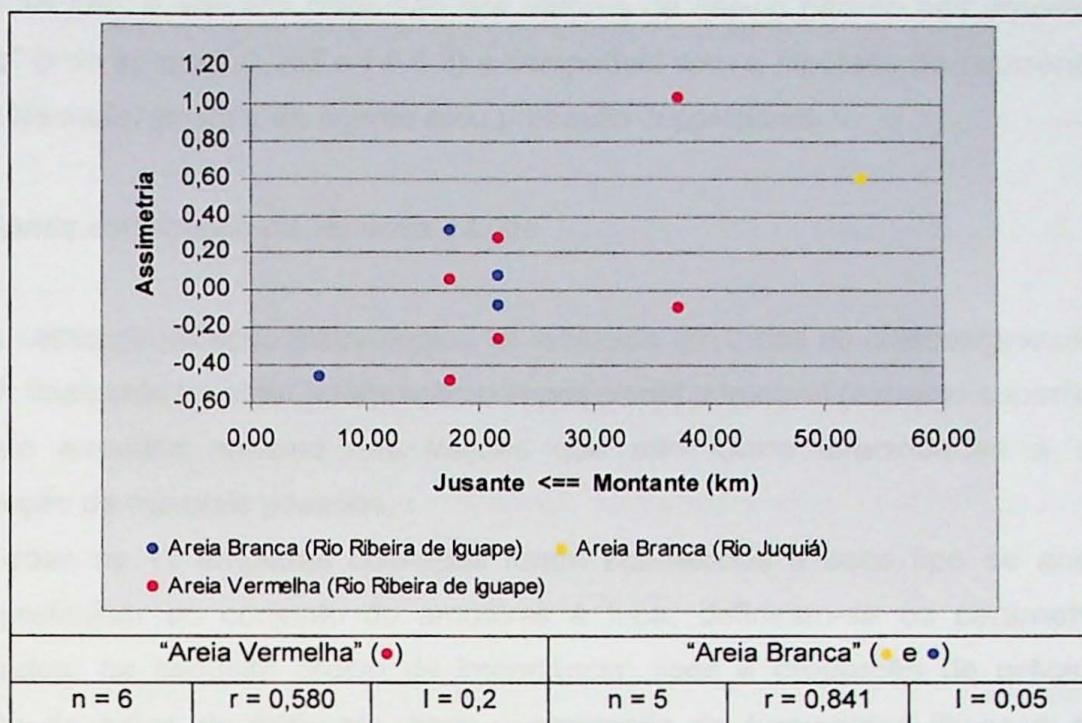


Figura 10 – Variação de diâmetro médio de montante para jusante para "areia branca" e "areia vermelha". Os símbolos  $n$ ,  $r$  e  $I$  correspondem, respectivamente, ao número de amostras, coeficiente de correlação linear e nível de significância (por teste de regressão unicaudal t de Student).

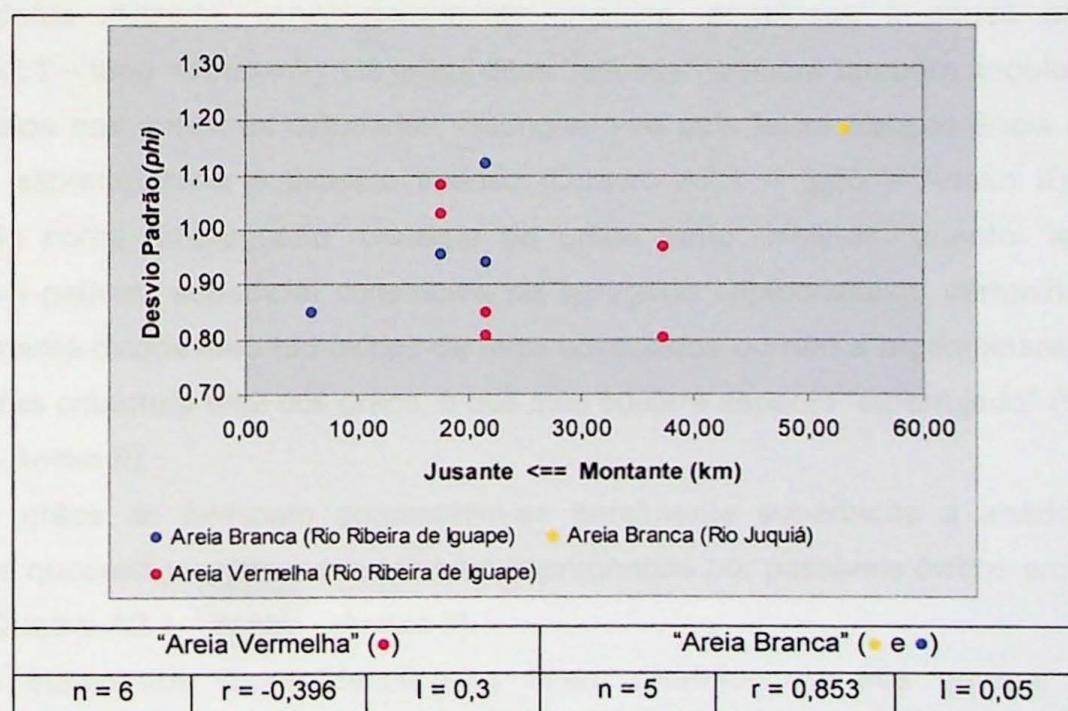
Observa-se também, de montante para jusante, tendência de assimetria mais negativa (Figura 11). Associada ao afinamento de diâmetro médio, esta variação pode ser interpretada como deslocamento da moda para faixas mais finas, com prolongamento da cauda de grossos na curva de distribuição. Esta correlação direta entre distância e assimetria é mais acentuada na "areia branca" ( $r = 0,841$  e  $I = 0,05$ ) que na "areia vermelha" ( $r = 0,580$  e  $I = 0,2$ ), onde a maior dispersão dos dados pode ser atribuída a maior influência de pulsos ou ciclos de maior energia do agente e/ou processo deposicional capazes de carrear e depositar sedimentos de granulação mais grossa que a dominante. Nota-se que, dentre as amostras de "areia branca",

a coletada no rio Juquiá é a que apresenta maior assimetria (0,59).



**Figura 11** - Variação de assimetria de montante para jusante para "areia branca" e "areia vermelha". Os símbolos n, r e I correspondem, respectivamente, ao número de amostras, coeficiente de correlação linear e nível de significância (por teste de regressão unicaudal t de Student).

A redução dos valores de desvio padrão, de montante para jusante, evidencia melhora progressiva de seleção com o transporte (Figura 12).



**Figura 12** - Variação de desvio padrão ( $\phi$ ) de montante para jusante para "areia branca" e "areia vermelha". Os símbolos n, r e I correspondem, respectivamente, ao número de amostras, coeficiente de correlação linear e nível de significância (por teste de regressão unicaudal t de Student).

Esta tendência é mais acentuada entre as amostras de "areia branca" ( $r = 0,853$  e  $I = 0,05$ ), dentre as quais a do rio Juquiá se apresenta como a menos selecionada (desvio padrão igual a  $1,18 \text{ phi}$ ). A elevada dispersão dos valores de desvio padrão nas amostras de "areia vermelha" ( $r$  de apenas  $-0,396$  e  $I = 0,3$ ) é compatível com a hipótese de ocorrência de pulsos ou ciclos de maior energia do agente e/ou processo deposicional.

## 7.6. Semiquantificação de Minerais à Lupa

A semiquantificação mineralógica foi realizada em todas as classes granulométricas de  $1,0 \text{ phi}$ . A finalidade foi obter informação composicional e textural (aspecto superficial e forma), ainda que expedita, mesmo nas frações que não foram direcionadas à separação e quantificação de minerais pesados.

Todas as 11 amostras coletadas foram submetidas a esse tipo de ensaio. Após a análise preliminar do conjunto de amostras à lupa, definiram-se os parâmetros a serem quantificados, na seguinte ordem de importância: tipos e proporção de grãos de quartzo, proporção de grãos de feldspato, tipos e proporção de fragmentos líticos e proporção de minerais acessórios.

Os grãos de quartzo identificados foram separados em três tipos, informalmente designados: "leitoso", "hialino" e "impregnado". Cabe ressaltar que o sentido pretendido quando se utilizam os termos "leitoso" e "hialino" refere-se apenas ao aspecto à lupa, não possuindo qualquer implicação composicional ou genética *a priori*. Os grãos de quartzo "hialinos" são aqueles que se apresentam totalmente transparentes à luz da lupa estereoscópica utilizada, sendo geralmente límpidos, angulosos e pouco arredondados (Quadro A2.1 – topo – Anexo II). Os grãos ditos "leitosos", embora também angulosos e pouco arredondados nas amostras estudadas, distinguem-se pela baixa transparência à lupa, com coloração esbranquiçada e aspecto sedoso (Quadro A2.1 – topo – Anexo II). O quartzo classificado como "impregnado" consiste de grãos tanto "hialinos" quanto "leitosos" que apresentam película superficial constituída de agregado criptocristalino vermelho-alaranjado (provavelmente óxidos e/ou hidróxidos de ferro associados ou não a argilominerais), havendo muitas vezes cobertura total dos grãos, o que lhes confere aspecto "enferrujado" (Quadro A2.1 – centro – Anexo II).

Os grãos de feldspato apresentam-se geralmente subédricos a anédricos, porém alterados e quebradiços, por vezes também impregnados por possíveis óxidos e/ou hidróxidos de ferro (Quadro A2.1 – centro – Anexo II).

Os fragmentos líticos identificados foram divididos em três grupos: "graníticos", "xistosos" e "quartzíticos". Os graníticos apresentam-se geralmente como grãos de composição mista, formados principalmente por quartzo, feldspato e, subordinadamente, biotita. Os fragmentos líticos xistosos são aqueles que apresentam nítida foliação

metamórfica característica desse tipo de rocha (Quadro A2.1 – base – Anexo II). Exibem coloração predominante cinza, por vezes marrom. Já os fragmentos designados quartzíticos apresentam foliação metamórfica discreta e coloração branca (Quadro A2.1 – base – Anexo II).

Os minerais acessórios reconhecidos à lupa ocorrem geralmente nas frações menores do que 0,5 mm e são representados, principalmente, por turmalina (Quadro A2.2 – topo – Anexo II), e subordinadamente por epídoto (Quadro A2.2 – topo – Anexo II), hornblenda, muscovita, e por vezes, ilmenita e biotita.

A Tabela 06 apresenta os valores médios obtidos na semiquantificação à lupa binocular para os dois tipos de minério, “areia branca” e “areia vermelha”, e a Tabela 07 apresenta os valores médios de proporção de grãos de quartzo, feldspatos e fragmentos líticos para cada grupo de amostras. Os dados referentes à semiquantificação à lupa binocular encontram-se no Anexo I.

**Tabela 06.** Resultados médios da semiquantificação à lupa binocular para “areia branca” e “areia vermelha”. Valores em porcentagem em volume.

Tipo de Areia	Mineralogia					Fragmentos Líticos		
	Quartzo			Feldspato	Minerais Acessórios	Xistoso	Granítico	Quartzítico
	Hialino	Impregnado	Leitoso					
“Areia Branca”	31 %	5 %	35 %	3 %	3 %	4 %	4 %	14 %
“Areia Vermelha”	18 %	23 %	25 %	8 %	1 %	4 %	3 %	18 %

**Tabela 07.** Proporções médias de grãos de quartzo, feldspato e de fragmentos líticos para “areia branca” e “areia vermelha”.

Tipo de Areia	Quartzo	Feldspato	Fragmentos Líticos
“Areia Branca”	71 %	3 %	22 %
“Areia Vermelha”	66 %	8 %	25 %

Observa-se que a concentração de grãos de quartzo é superior na “areia branca”, em relação à “areia vermelha”. Destes grãos, a maior proporção dos termos leitoso e hialino também se encontra na “areia branca”, enquanto a maior concentração de grãos impregnados ocorre na “areia vermelha”. É importante ressaltar que a película superficial constituída de agregado criptocristalino vermelho-alaranjado, característica dos grãos impregnados, concentra-se nas frações mais grossas que 0,50 mm. Para as frações mais finas, observa-se um decréscimo na intensidade da película superficial e também na proporção de grãos de quartzo “impregnado”, em relação aos termos “hialino” e “leitoso”. Mesma tendência de

diminuição da proporção a partir das frações mais finas do que 0,50 mm também é observada para os grãos de feldspato.

A proporção de grãos de feldspato é maior na “areia vermelha” (8% em média, contra 3% na areia branca). Já a proporção de minerais acessórios (muscovita, biotita, turmalina, epídoto e ilmenita) é maior nas amostras de “areia branca” (3%) do que nas de “areia vermelha” (1%), em média.

Fragmentos líticos apresentam proporções semelhantes nos dois tipos de minério, com tendência de ligeiro aumento para “areia branca”. Na “areia branca”, encontram-se, em ordem decrescente de quantidade, fragmentos líticos quartzíticos, graníticos e xistosos. Já para a “areia vermelha”, a predominância de fragmentos líticos quartzíticos se mantém, mas os xistosos tornam-se mais bem representados que os graníticos.

Importante destacar que na análise da amostra de “areia branca” proveniente do rio Juquiá observou-se um fragmento lítico apresentando nítido bandamento gnássico, com separação de níveis máficos e félsicos. Esta ocorrência pode ser considerada uma indicação de que os fragmentos aqui designados graníticos podem, em parte, ser provenientes de níveis félsicos de rochas gnássicas, e até mesmo de leucossomas de rochas migmatíticas.

### 7.7. Minerais Pesados

Das 11 amostras coletadas foi selecionada a fração passante em 0,250 mm e retida em 0,125 mm, correspondente a areia fina na escala de Wentworth-Krumbein, para separação de minerais pesados ( $d > 2,85 \text{ g/cm}^3$ ). Os dados de freqüência de contagem para cada amostra se encontram no Anexo I.

A “areia vermelha” apresenta, em média, uma maior proporção em massa de minerais pesados se comparada com “areia branca”, 8,0% e 4,8%, respectivamente. Esta mesma tendência é observada para a distribuição de minerais magnéticos, na fração de minerais pesados, 11,8% para “areia vermelha” e 9,5% para “areia branca”.

Uma abundante assembléia mineralógica foi reconhecida nos dois tipos de sedimento/minério estudados. Nas amostras analisadas, os minerais pesados transparentes não-micáceos (PTNM), em ordem decrescente de abundância, são: hornblenda, epídoto, turmalina, sillimanita, estaurolita e hiperstênio (apresentando variação de proporção nos dois tipos de sedimento), granada, andaluzita, zircão, zoisita, cianita e titanita. Em menor quantidade (menos de 1% do total da fração PTNM, em freqüência de contagem) são observados augita, tremolita e rutilo.

De forma a apresentar as características dos minerais pesados identificados com freqüência maior que 1%, optou-se por realizar duas descrições distintas. A primeira enfatiza os aspectos qualitativos de cada mineral, apresentando suas principais características e também peculiaridades, quando houver. A segunda enfatiza os aspectos quantitativos de distribuição de cada mineral nos dois grupos de amostras, “areia vermelha” e “areia branca”, indicando também as interpretações referentes à proveniência de cada mineral.

Neste trabalho foi utilizado para descrição de grãos não identificáveis, devido à obliteração de suas características ópticas, o termo alterita. Em uma proposição semelhante à de van Andel (1958) são considerados alteritas todos os grãos de minerais cuja distinção petrográfica encontra-se dificultada por alteração intempérica parcial a total. Na análise mineralógica a presença de alterita foi considerada e quantificada, porém não utilizada para os cálculos de índice de maturidade.

#### 7.7.1. Aspectos Qualitativos

A análise de aspectos qualitativos visou ao reconhecimento das diferentes espécies minerais presentes com mais de 1% em freqüência de contagem no grupo dos pesados transparentes não micáceos (PTNM).

Além desta observação, buscou-se identificar diferentes características texturais de um mesmo mineral, tais como angulosidade, presença de geminação ou de inclusões, hábito dos grãos e outras características que de alguma maneira auxiliassem na interpretação de proveniência.

A seguir é apresentada a descrição das características de cada mineral observado:

- Hornblenda: em geral grãos angulosos, subédricos a anédricos, não raramente com hábito prismático subédrico e ocasionalmente euédrico. Observa-se predomínio de formas alongadas, com bordas por vezes arredondadas e/ou serrilhadas e com aspecto de denteamento terminal. Predominam grãos com pleocroísmo variando de matizes entre verde-oliva e verde-pardo. Observam-se, às vezes, grãos impregnados com aspecto “sujo”. (Quadro A2.2 – centro – Anexo II)
- Epídoto: cristais de coloração verde-amarelado ou verde-pistache (*epídoto sensu strictu* ou “pistachita”), e, em menor proporção, incolores. São em geral angulosos, anédricos, com ocorrência em menor quantidade de grãos prismáticos subédricos e raramente euédricos. Exibem típicas cores vivas de interferência, em padrão variegado ou “manto de arlequim” (Quadro A2.2 – base – Anexo II).
- Turmalina: em geral cristais prismáticos subédricos e, não raro, cristais prismáticos euédricos e angulosos anédricos. Predomina a variedade de coloração marrom escuro (schorlítica) e em menor proporção a de cor azul (elbaítica). Nos cristais de hábito prismático, é nítida a presença de inclusões (Quadro A2.3 – topo – Anexo II).
- Sillimanita: grãos prismáticos, subédricos, por vezes euédricos, ou na forma de cristais angulosos anédricos. Em geral, apresenta-se incolor. “Fibrolita”, variedade fibrosa, é, por vezes, observada. Nos cristais prismáticos, é notável a presença de partição basal (Quadro A2.3 – centro – Anexo II).

- Estaurolita: grãos anédricos angulosos facetados, raramente cristais prismáticos subédricos, com pleocroísmo variando de amarelo quase incolor a amarelo intenso, por vezes alaranjado. Raríssimos espécimes de hábito prismático apresentam geminação (Quadro A2.3 – base – Anexo II).
- Hiperstênio: em geral, grãos angulosos anédricos, por vezes prismáticos subédricos e raramente euédricos. Observa-se pleocroísmo típico variando de rosa a verde. Os cristais prismáticos, em maioria, apresentam-se alongados e com bordas pouco arredondadas (Quadro A2.4 – topo – Anexo II).
- Granada: na maioria dos casos, grãos anédricos angulosos, com formatos irregulares que lembram lascas. Raramente ocorrem cristais subédricos, muito próximos do hábito dodecaédrico, também apresentando geminação. Quando anédricos e angulosos, os grãos apresentam nítida feição de picoteamento superficial. Alguns cristais apresentam alteração de hábito fibroso (Quadro A2.4 – centro – Anexo II).
- Andaluzita: grãos incolores, com aspecto “sujo”, anédricos e angulosos. Característica comum é a presença de inclusões carbonosas.
- Zircão: sempre incolor, por vezes arredondado, mas predominando grãos de hábito prismático euédrico e subédrico. Variedades zonadas e com a presença de turvação ligada a processo de metamictização são raras.
- Zoisita/Clinozoisita: grãos angulosos, em geral subédricos e anédricos, variando de incolor a amarelo claro. Apresentam cor de interferência anômala “azul jeans”.
- Cianita: geralmente grãos incolores, angulosos e anédricos, por vezes alongados. Raros cristais prismáticos, geralmente subédricos, onde é possível observar duas direções de clivagem.
- Titanita: grãos angulosos, de hábito prismático, subédricos, apresentando como principal característica a cor de interferência anômala e cambiante, variando do amarelo-metálico ao azul-prateado (Quadro A2.4 – base – Anexo II).
- Alterita: grãos angulosos, sem nenhuma característica óptica, geralmente escuros e com aspecto “sujo”; pelo hábito e baixo relevo, lembram cristais de hornblenda, mas também podem representar grãos de epidoto e hiperstênio, alterados pela ação intempérica.

### 7.7.2. Aspectos Quantitativos e Proveniência

A descrição de aspectos quantitativos visou aferir a proporção de minerais pesados transparentes não-micáceos em cada grupo de amostras. Envolveu portanto atividades de identificação, contagem e estatística dos minerais observados.

Uma vez que as duas drenagens principais alimentadoras do baixo rio Ribeira de Iguape (médio Ribeira de Iguape, vindo de SW, e Juquiá, vindo de NE) atravessam litologias ligeiramente diferentes, deu-se ênfase, na análise da mineralogia voltada à proveniência, à comparação entre as composições a montante e a jusante da confluência dessas duas drenagens. Essa estratégia de análise partiu também da observação de que os sedimentos dessas duas drenagens apresentam, de fato, proporções diferenciadas de alguns minerais.

Considerando também que o médio Ribeira de Iguape e o Juquiá apresentam apenas “areia vermelha” e “areia branca”, respectivamente, consideraram-se as amostras destes trechos a montante da confluência como as mais primitivas e mais representativas da assembléia de minerais pesados dos dois tipos de minério.

Observa-se em seção delgada a presença de minerais opacos não-magnéticos, incluindo supostamente ilmenita e/ou hematita. As amostras de “areia vermelha” apresentam em média 23% em freqüência de contagem de minerais opacos, enquanto nas amostras de “areia branca” essa proporção média é um pouco menor, 17%.

Apresenta-se, a seguir, a descrição dos aspectos quantitativos e de proveniência dos minerais pesados transparentes não-micáceos, com ênfase nas amostras a montante da confluência dos rios Ribeira de Iguape e Juquiá.

- Hornblenda: é o mineral mais abundante nas amostras estudadas; sua proveniência pode estar ligada aos paleossomas descritos no Complexo Costeiro, onde predominam hornblenda gnaisses, e aos gnaisses bandados com intercalações de corpos anfibolíticos observados no Complexo Atuba. Observa-se, em média, freqüência de contagem semelhante para “areia vermelha” e “areia branca”, 42,9% e 47,2%, respectivamente. Destaca-se, porém, a concentração mais elevada deste mineral na “areia vermelha” (53,8% em média) advinda do rio Ribeira de Iguape, a montante da confluência, em comparação com a “areia branca” do rio Juquiá (42,3%). Esta diferença no teor de hornblenda entre os dois tipos de areia não se mantém a jusante da confluência.
- Epídoto: possui sua origem principalmente ligada às rochas gnáissicas do Complexo Atuba, com possível influência dos corpos graníticos presentes na área de estudo e, mais remotamente, de rochas intrusivas alcalinas. Apresenta-se em freqüências média de contagem semelhantes na “areia vermelha” e na “areia branca”, 15,2% e 14,9%, respectivamente. Comparados os dois tipos de areia por estação de coleta, o epídoto

mostra tendência de maior concentração na “areia branca”, em especial no Porto Seguro e no Porto Rio do Peixe.

- Turmalina: mineral comum nos sedimentos estudados, pode ter origem em rochas ígneas ou metamórficas. A presença de inclusões indica proveniência principalmente de litologias metamórficas, no caso representadas por rochas do Complexo Embu. Possui baixa freqüência de contagem na “areia vermelha” (2,2%) do rio Ribeira de Iguape a montante da confluência, e alta na “areia branca” do rio Juquiá (15,3%). A jusante da confluência, ambas os tipos de areia passam a apresentar freqüências intermediárias aos valores anteriores. A relativa abundância deste mineral na amostra advinda do rio Juquiá reforça a idéia apresentada por Melo (1990), segundo a qual o enriquecimento de turmalina na assembléia de minerais pesados transparentes não-micáceos em depósitos cenozóicos de terraços fluviais desta região teria como principal fonte os turmalinitos que ocorrem associados às rochas cataclásticas na Zona de Cisalhamento de Cubatão.
- Sillimanita: apresenta, em média, freqüências de contagem semelhantes nos dois tipos de minério, com tendências a menor concentração na “areia vermelha” a montante da confluência (4,5%, em média) e enriquecimento no rio Juquiá (10,2%). Mineral metamórfico de fácies anfibolito e granulito, remete sua proveniência principalmente às rochas de alto grau (kizingitos) da Suíte Itatins, principalmente na amostra do rio Juquiá, e subordinadamente às rochas metassedimentares do Complexo Embu.
- Estaurolita: ocorre com maior freqüência de contagem nas “areias vermelhas” do rio Ribeira de Iguape a montante da confluência (6,6%) de que na “areia branca” do rio Juquiá, onde é ausente. A estaurolita é mineral metamórfico de fácies anfibolito possuindo sua fonte ligada, principalmente, às rochas metamórficas aluminosas do Complexo Embu.
- Hiperstênio: possui mais alta freqüência de contagem na “areia branca” do rio Juquiá (~10%) do que na “areia vermelha” do rio Ribeira de Iguape a montante da confluência, onde sua concentração é inferior a 1%. A jusante da confluência, observa-se incremento do mineral na “areia vermelha”, mas mantém-se a tendência para maior concentração na “areia branca”. Quando mineral acessório, o hiperstênio pode ter sua proveniência relacionada aos termos mais máficos e mesocráticos dos gnaisses do Complexo Atuba. Já quando este mineral se apresenta com relativa abundância, como é o caso da amostra coletada no rio Juquiá, possui sua proveniência, principalmente, ligada aos enderbitos, opdalitos e charnockitos do Maciço de Itatins.

- Granada: mineral comum na associação de rochas da área de estudo, pode ser proveniente dos gnaisses e migmatitos do Complexo Atuba e também dos metassedimentos do Complexo Embu. Apresenta semelhança na freqüência de contagem para todas as amostras (~3,2%, em média), com leve tendência de enriquecimento nos sedimentos a jusante da confluência das duas drenagens principais.
- Andaluzita: pode ter sua proveniência ligada às rochas metassedimentares do Complexo Embu, e localmente às rochas de metamorfismo de contato, *hornfels*, localizados no contato entre intrusões ígneas e a rocha encaixante. Mineral acessório, nas amostras estudadas, apresenta tendência para se concentrar na “areia vermelha”.
- Zircão: mineral comum a diferentes tipos de rochas fontes, sendo provavelmente proveniente na região dos gnaisses dos Complexos Atuba e Costeiro, e dos metassedimentos do Complexo Embu. Não se descarta influência ainda de corpos graníticos, principalmente para os sedimentos do rio Juquiá. Mineral acessório nas amostras estudadas apresenta tendência de concentração na “areia branca”.
- Zoisita/Clinozoisita: mineral acessório em ambos os tipos de minério. Zoisita/Clinozoisita possui sua proveniência ligada principalmente a rochas de metamorfismo regional fácies xisto verde e anfibolito, granitos calciosilicáticos e rochas ígneas básicas metamorfitadas (Mange *et al.* 1992). Desse modo, as rochas do Complexo Embu podem ser as principais fontes deste mineral na região.
- Cianita: mineral acessório nas amostras estudadas. Assim como estaurolita, a cianita possui sua origem principalmente ligada às rochas metassedimentares aluminosas do Complexo Embu.
- Titanita: mineral acessório em ambos os tipos de sedimentos, com maior freqüência de ocorrência na “areia branca”. A titanita é mineral acessório de rochas insaturadas e intermediárias plutônicas, podendo formar-se em pegmatitos, xistos, gnaisses de composição granítica, anfibolitos e rochas cálcio-silicáticas (Mange *et al.* 1992). A titanita é descrita como mineral acessório dos gnaisses bandados do Complexo Atuba (Siga Júnior *et al.* 1995) e da Suíte Granitóide de Fácies Migmatítica (Gimenez Filho *et al.* 1987).

#### 7.7.3. Índices de Estabilidade Mineral

Em estudos de sedimentos ou rochas sedimentares utilizam-se os índices iZTR, e subordinadamente iMET e iINS, como parâmetros para classificar a maturidade mineralógica,

com implicações diretas de distância de transporte e condições de umidade e/ou clima, entre outros.

Deve-se ressaltar, porém, que a variação desses índices pode refletir não apenas desgaste e dissolução durante o transporte e, portanto, aquisição de maturidade sedimentar, mas também diferenças de fonte e/ou de seleção hidráulica (através da qual, os minerais mais densos e equidimensionais, como zircão e rutilo, apresentam tendências a concentrar-se a montante).

As amostras de "areia branca" e "areia vermelha" são semelhantes entre si quanto aos valores médios dos índices iZTR, iMET e iINS.

O índice iINS se apresenta como o mais elevado, com valores de 60%, para "areia branca", e 57%, para "areia vermelha", em média. Este índice deve-se, principalmente, à presença, em todas as amostras estudadas, de hornblenda (mineral mais abundante em freqüência de contagem na amostras) e, subordinadamente, hiperstênio.

O iMET apresenta valores da ordem de 31% para "areia branca" e para "areia vermelha". Este índice está principalmente ligado à presença de epídoto (segundo mineral mais abundante em freqüência de contagem nas amostras).

O índice iZTR, indicador direto clássico de maturidade mineralógica, apresenta-se como o de valor mais baixo, 9% para "areia branca" e 12% para "areia vermelha". A turmalina configura-se como o principal mineral deste grupo, já que zircão e rutilo são observados apenas como acessórios e/ou traço.

Nas amostras individualizadas, observa-se que aquela coletada no rio Juquiá apresenta-se como a mais matura dentre todas as estudadas, com iZTR igual a 18%. Já aquelas coletadas a montante da confluência no rio Ribeira de Iguape apresentam o índice iZTR, em média, igual a 3,5%.

O padrão de variação de iZTR de montante para jusante não parece compatível com o aumento de maturidade com o transporte. A variação de ZTR considerada em associação com a variação individual dos três componentes deste grupo tampouco parece indicar seleção progressiva por equivalente hidráulico.

Se o transporte fosse fator decisivo na maturidade dos sedimentos, era de se esperar que nos dois grupos de amostras, de montante para jusante, a maturidade, e consequentemente o índice iZTR aumentassem. De fato, observa-se tal tendência, mas de maneira inconclusiva, no grupo de "areia vermelha", e tendência inversa (aumento deste índice para montante) dentre as amostras de "areia branca".

Se a seleção hidráulica (dada pelo equivalente hidráulico EH de cada mineral) fosse fator determinante, seria esperado que minerais mais densos e de maior EH se concentrassem a montante e os de menor EH e maior facilidade de transporte se concentrassem a jusante. Tal efeito não é observado em nenhum dos dois grupos de sedimento/minério estudados, uma vez que minerais com semelhantes equivalentes

hidráulicos, tais como sillimanita, hornblenda e turmalina, apresentam tendências de concentração aleatórias e aparentemente independentes entre si.

Rejeitada a hipótese de grande influência de fatores como transporte e equivalente hidráulico, conclui-se, por exclusão, que os contrastes de índice iZTR entre distintas amostras deve representar, principalmente, diferenças de rocha fonte.

## 8. Modelo para Evolução do Sistema Fluvial

O modelo de evolução que se apresenta a seguir para as drenagens em estudo visa explicar a existência e distribuição espacial dos dois tipos reconhecidos de sedimento ou minério. Este modelo baseia-se em resultados tanto de análise dos mapas topográficos e geológicos da região, quanto dos ensaios sedimentológicos realizados.

No contexto atual, o rio Ribeira de Iguape é a principal drenagem na área de estudo. Sua planície de inundação apresenta cotas topográficas em torno de 18 m, aparentemente com preenchimento areno-siltoso, e o canal, em média com 200 m de largura, possui meandros bem formados, com 930 m de largura, em média. O índice de sinuosidade, na área do Gráben de Sete Barras, é relativamente elevado, alcançando o valor de 1,89. Nesta drenagem, a presença de atalhos e meandros abandonados evidencia que a dinâmica de meandramento foi ou tem sido intensa.

No rio Juquiá, em contraste, a planície de inundação apresenta cotas topográficas em torno de 12 m, chegando ao mínimo de 9 m, valor semelhante ao encontrado no topo dos terraços marinhos pleistocênicos do interior da planície costeira. Trata-se de extensa área pantanosa, com preenchimento siltico-argiloso. Seu canal, com largura média de 100 m, apresenta meandros menores (350 m de largura, em média) e mais fechados do que aqueles observados no rio Ribeira de Iguape e índice de sinuosidade atingindo no máximo o valor de 1,50. Esta configuração topograficamente mais deprimida e a sedimentação mais pelítica da planície de inundação do rio Juquiá são evidências de que o aporte sedimentar trativo proveniente desta drenagem é hoje menos expressivo do que o apresentado pelo rio Ribeira de Iguape. Portanto, é possível afirmar que o afluxo sedimentar atual de carga de fundo ao baixo rio Ribeira de Iguape dá-se muito mais de NW, pelo médio rio Ribeira de Iguape, que de NE, via rio Juquiá.

O trecho B do rio Ribeira de Iguape, aqui definido, é aquele que apresenta a questão central que motivou este trabalho: neste local, a atividade de lavra de areia identificou a existência de dois tipos de sedimento, os quais ocorrem separados por uma camada decimétrica a métrica de argila cinza. O empilhamento estratigráfico encontrado, "areia vermelha" sobre "argila cinza" sobre "areia branca", reflete mudança lateral de fácies que, por sua vez, pode resultar de dinâmica autocíclica do canal e da planície de inundação ou de variação no tempo de aporte sedimentar (proveniência), favorecida por fatores alocíclicos

(tectônica e/ou nível do mar).

Os dados obtidos referentes a análise granulométrica, de minerais pesados e de semiquantificação à lupa apontam para origens diferentes para a "areia branca" e para a "areia vermelha": embora as rochas fontes para estes tipos de minério possam ser as mesmas, as contribuições relativas de cada tipo de rocha fonte certamente não são iguais nas duas variedades de areia. Esta conclusão favorece a segunda hipótese, de variação de proveniência no tempo. As amostras coletadas a montante da confluência dos rios Ribeira de Iguape e Juquiá fornecem argumento para isso, ao indicar que a origem principal dos depósitos de "areia branca" se encontra, principalmente, nos sedimentos oriundos do rio Juquiá, enquanto que a da "areia vermelha" é dada pelos sedimentos do rio Ribeira de Iguape. As maiores concentrações de sillimanita, e principalmente, de hiperstênio na "areia branca" corroboram essa informação, indicando maior influência de rocha fontes de elevado grau metamórfico (kizingitos e charnoquitos) que, na região, possuem ocorrência restrita ao Complexo Itatins, drenado pelos afluentes do rio Juquiá.

Deduzida a origem diferenciada dos dois tipos de minério, bem como o franco domínio atual do aporte trativo pelo rio Ribeira de Iguape, buscaram-se identificar quais os principais fatores que determinariam esta mudança de aporte, e consequentemente de constituição sedimentar, ao longo do tempo.

A hipótese de mecanismos de soerguimento e rebaixamento de blocos não possui evidências diretas. Ainda que a configuração atual da drenagem, controlada por zonas de cisalhamento reativadas no início do Cenozóico, seja uma manifestação clara de herança tectônica, não há como assegurar que a dinâmica neotectônica tenha atuado diretamente sobre a sedimentação fluvial recente (em grande parte holocênica) envolvida neste estudo de caso. Resta, portanto, como principal alternativa para explicar a mudança recente de aporte sedimentar e de área fonte, avaliar a influência das variações eustáticas do Quaternário tardio sobre o canal e a planície de inundação das drenagens em estudo.

Uma maneira de avaliar o efeito das variações de nível do mar recentes sobre os rios estudados e seu entorno é utilizando a influência das oscilações de maré atuais como modelo análogo. A amplitude de maré média na região é de 0,8 m, chegando a 1,2 m na sizígia (M. Tessler, IO-USP; comunicação verbal). Medidas de salinidade no rio Ribeira de Iguape indicam influência permanente de cunha salina à meia distância entre as cidades de Registro e Iguape. Desse modo, a influência hidrodinâmica da maré enchente, por exemplo, através do represamento fluvial durante a sizígia, deve atuar sobre regiões ainda mais a montante, muito próximas de Registro. Se o nível de base e, consequentemente, o aporte sedimentar nas drenagens da região é hoje controlado por oscilações de maré, efeito semelhante, porém mais intenso, deve ter existido para as variações muito maiores de nível do mar ocorridas durante o Holoceno, e em períodos mais antigos, como no final do Pleistoceno.

Dados sobre a amplitude e a freqüência de variações do nível relativo do mar (NRM)

no final do Pleistoceno e no Holoceno advêm principalmente dos estudos realizados por Suguio & Martin (1978) e Angulo *et al.* (2006). Segundo Suguio & Martin (1978), por volta de 17.000 anos antes do presente (AP), idade equivalente ao último máximo glacial, o NRM situava-se 110 m abaixo do atual. A esta fase de nível do mar baixo, correspondeu significativo abaixamento do nível de base de erosão, com incisão profunda de drenagens novas ou preexistentes.

Angulo *et al.* (2006), em uma revisão crítica dos dados sobre variação do nível do mar no Holoceno, conclui que para o período entre 7.000 e 5.000 anos AP, o NRM na costa sudeste do país teria atingido seu máximo, em torno de 2,0 a 3,5 m acima do atual. Após esse período, segundo mesmos autores, a queda do NRM teria sido vagarosa e gradual, até atingir a posição atual. O período de máximo nível do mar foi supostamente um momento de afogamento de vales incisos, e a regressão subsequente constituiu presumivelmente fase de emersão e assoreamento parcial desses vales.

Admitindo-se prováveis mudanças do nível de base regional, devido à variação do NRM, e aliado com os conhecimentos obtidos a respeito da configuração atual das drenagens e seu entorno, principalmente quanto às diferenças de cotas topográficas entre os rios Juquiá e Ribeira de Iguape, é que se define a proposta principal do modelo evolutivo sugerido: a de que o empilhamento estratigráfico dos sedimentos em estudo seja produto direto da dinâmica sedimentar fluvial, por sua vez controlada pelas variações eustáticas recentes, mais precisamente do final do Pleistoceno até a metade do Holoceno.

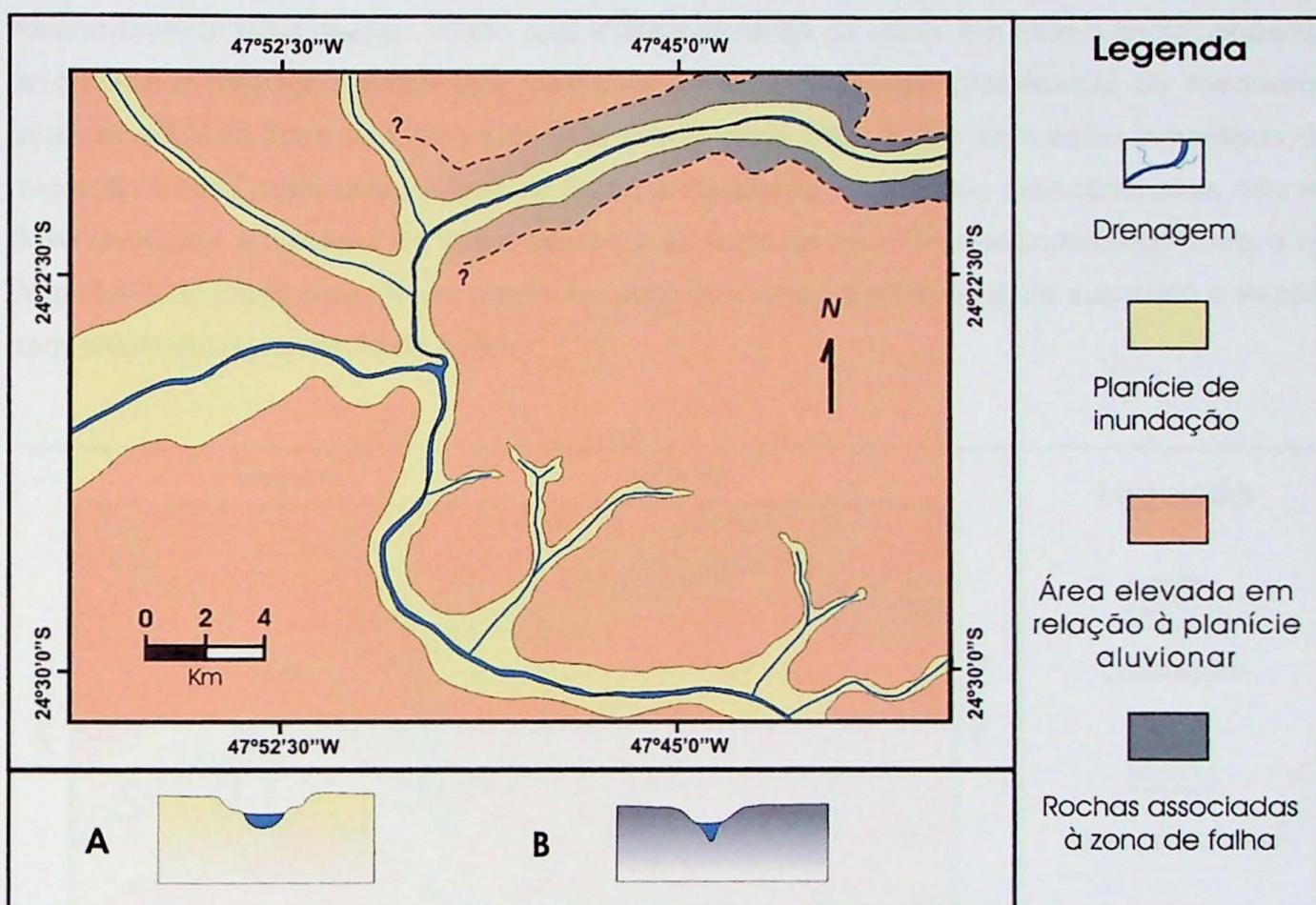
De modo simplificado, o modelo evolutivo para deposição de “areia branca” e “areia vermelha” pode ser dividido em três fases: de nível do mar baixo; de máximo NRM (2 – 3,5 m acima do atual) e de declínio suave de NRM.

Na fase de mar baixo, em torno de 17.000 anos AP, com o NRM cerca de 110 m abaixo do atual, o baixo nível de base das drenagens no continente teria propiciado intenso processo de erosão, com aprofundamento de vales preexistentes ou mesmo entalhe de novos cursos fluviais (Figura 13). Este processo de incisão vertical de vales fluviais deve ter apresentado mais de um comportamento, dentro da área estudada, na dependência das variações locais constatadas de litologia e, principalmente, de condicionamento estrutural. Assim, o trecho onde se insere o rio Ribeira de Iguape, principalmente na região do Gráben de Sete Barras e mesmo na planície costeira, pode ter apresentado canais mais retilíneos que o atual, escavados nos terraços fluviais preexistentes. A passagem epigênica, por ser local onde o canal e a planície de inundação se apresentam confinados em rochas do embasamento, deve ter sofrido maior erosão, em comparação com a área do gráben, onde o preenchimento por sedimentos mais antigos pode ter propiciado um processo de retrabalhamento de depósitos.

Já a área onde hoje se insere o rio Juquiá, por estar diretamente sobre as rochas cataclásticas associadas à Zona de Cisalhamento de Cubatão, pode ter sofrido escavação

mais profunda, vindo a tornar-se a principal fonte de sedimentos para o sistema. Esta erosão diferencial seria uma das razões para esta área hoje apresentar topografia deprimida em relação aos vales em seu entorno. Poderia, assim, esta dinâmica geológica ser a responsável pela deposição expressiva, no passado, de “areia branca”.

A expressiva diferença na proporção de grãos “impregnados”, reduzida na “areia branca” em relação à “areia vermelha”, pode ser resultado indireto de processos atuantes na zona de cisalhamento. A faixa cataclástica poderia caracterizar área de percolação preferencial de águas vadiosas e de aprofundamento do lençol freático, favorecendo maior “lavagem” dos sedimentos, com eliminação de parte da película que impregna os grãos.



**Figura 13 –** Mapa esquemático da região da confluência dos rios Ribeira de Iguape e Juquiá na fase de mar baixo. A, B – Representação esquemática em corte transversal, das calhas dos rios Ribeira de Iguape e Juquiá, respectivamente.

Na fase de máximo NRM holocênico, o nível de base regional se elevou provocando o represamento e a desaceleração do fluxo das drenagens, com diminuição do aporte sedimentar trativo (Figura 14). Nesta época, os rios já se caracterizavam como hoje são observados, pela planície de inundação do rio Juquiá deprimida topograficamente em relação àquela do rio Ribeira de Iguape, devido principalmente à intensa escavação prévia dessa zona preferencial, ocorrida durante a fase de mar baixo.

Acredita-se, assim, que o represamento de baixos cursos fluviais induzido pela máxima inundação tenha tido efeitos mais intensos sobre o rio Juquiá, devido a suas características singulares relacionadas com a presença de depressão ao longo de zona de cisalhamento.

Nessa região, as consequências do máximo NRM incluíram o extravasamento do canal e o alagamento da planície de inundação fluvial, transformando-a em zona possivelmente pantanosa, a qual tem resquícios até hoje. É oportuno deixar claro a idéia que o vale do Juquiá foi e continua sendo mais sensível às variações de nível de base, devido ao caráter deprimido e, em última análise, ao forte controle estrutural e à natureza cataclástica das rochas do embasamento pré-cenozóico dessa região.

O rio Ribeira de Iguape, por sua vez, apresentou diminuição da vazão, o que pode ter provocado redução da profundidade de seu canal principal, principalmente a montante da cidade de Registro. O efeito do represamento para esta drenagem pode ter provocado formação de meandros maiores e mais freqüentes que na configuração atual. O meandrimento mais intenso, aliado com a desaceleração da vazão em todo o curso, pode ter favorecido a migração lateral dos meandros (*shift*). A presença preferencial de meandros abandonados na zona do Gráben de Sete Barras pode estar ligada com estes processos de migração lateral associados à fase de máxima inundação marinha do Holoceno, mas não se deve descartar a hipótese de que a diferença de porte de meandros abandonados entre o rio Juquiá e o rio Ribeira de Iguape possa ser dada apenas pela diferenças de substrato e vazão, sem influência da variação do NRM.

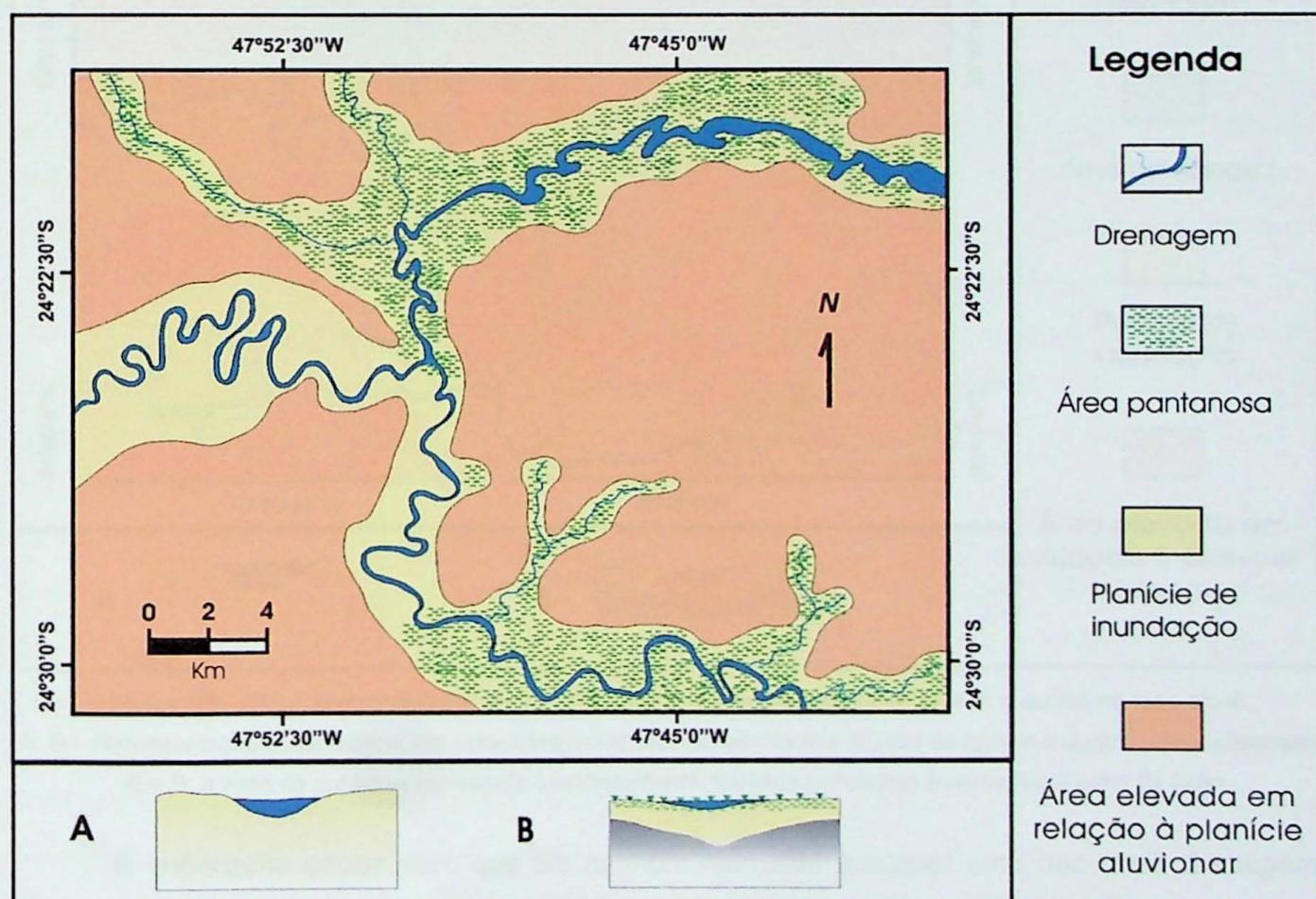


Figura 14 – Mapa esquemático da região da confluência dos rios Ribeira de Iguape e Juquiá na fase de mar alto.

A, B – Representação esquemática em corte transversal, das calhas dos rios Ribeira de Iguape e Juquiá, respectivamente.

Em B, a zona de cor cinza representa o embasamento, formado por rochas associadas à zona de falha.

O trecho B, por se configurar como uma passagem estreita, de planície de inundação e canal restritos, e pelo maior confinamento pelas rochas do embasamento, é aquele que pode evidenciar de forma mais clara as consequências dessa fase. Neste local de estrangulamento de fluxo, o intenso represamento tanto de montante como de jusante pode ter propiciado alargamento da planície de inundação e deposição de finos pelíticos (argila cinza), onde outrora se depositaram os sedimentos aqui referidos como “areia branca”.

Após a fase de máxima inundação, tem início a última fase do modelo evolutivo, a de declínio do NRM até o nível atual, caracterizada por regressão lenta e progressiva. Esta queda de NRM e, conseqüentemente, o rebaixamento do nível de base podem ter propiciado um aumento de aporte sedimentar arenoso na região, principalmente no rio Ribeira de Iguape (Figura 15).

Na fase atual, o rio Juquiá, em posição deprimida topograficamente, configura-se como drenagem secundária em termos de aporte sedimentar trativo, enquanto que o rio Ribeira de Iguape apresenta-se como drenagem principal, possuindo como carga trativa a “areia vermelha”.

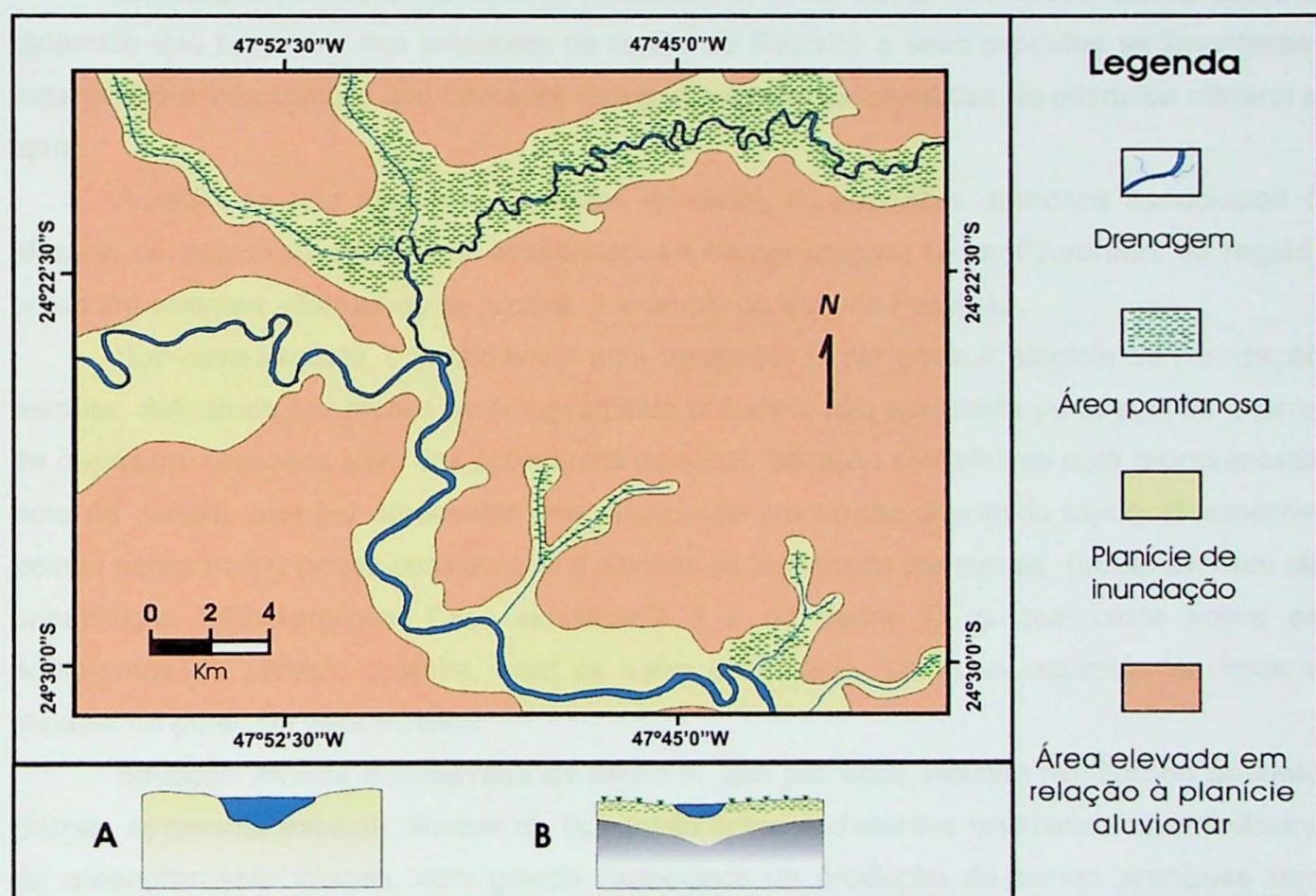


Figura 15 – Mapa esquemático da região da confluência dos rios Ribeira de Iguape e Juquiá na fase atual.

A, B – Representação esquemática, em corte transversal, das calhas dos rios Ribeira de Iguape e Juquiá, respectivamente.

Em B, a zona de cor cinza representa o embasamento, formado por rochas associadas à zona de falha.

É importante deixar claro que em nenhum momento qualquer uma das duas drenagens parou de fornecer sedimentos, mas diferenças de substrato, aliado com a dinâmica do NRM e, portanto do nível de base, podem ter propiciado variações na proporção de aporte de um tipo de sedimento em relação ao outro, no decorrer do tempo geológico.

## **9. Considerações para a Atividade Mineira**

A mineração de areia em Registro e nos municípios em seu entorno configura-se como das mais importantes atividades econômicas regionais. Uma das principais questões sobre esta atividade está focada na sustentabilidade das drenagens e entorno, frente ao aumento de demanda por parte do mercado consumidor (Geólogo Hércio Akimoto, Amavri, com. pessoal).

Na região do Vale do Ribeira, por características inerentes à atividade de extração de areia para agregado de construção civil, tais como baixo custo, alta disponibilidade de minério e proximidade com grandes cidades e/ou centros consumidores, as empresas acabam por concentrar suas atividades de lavra próximo à cidade de Registro, explorando intensamente o canal do rio Ribeira de Iguape, e mais subordinadamente os leitos do rio Juquiá e São Lourenço.

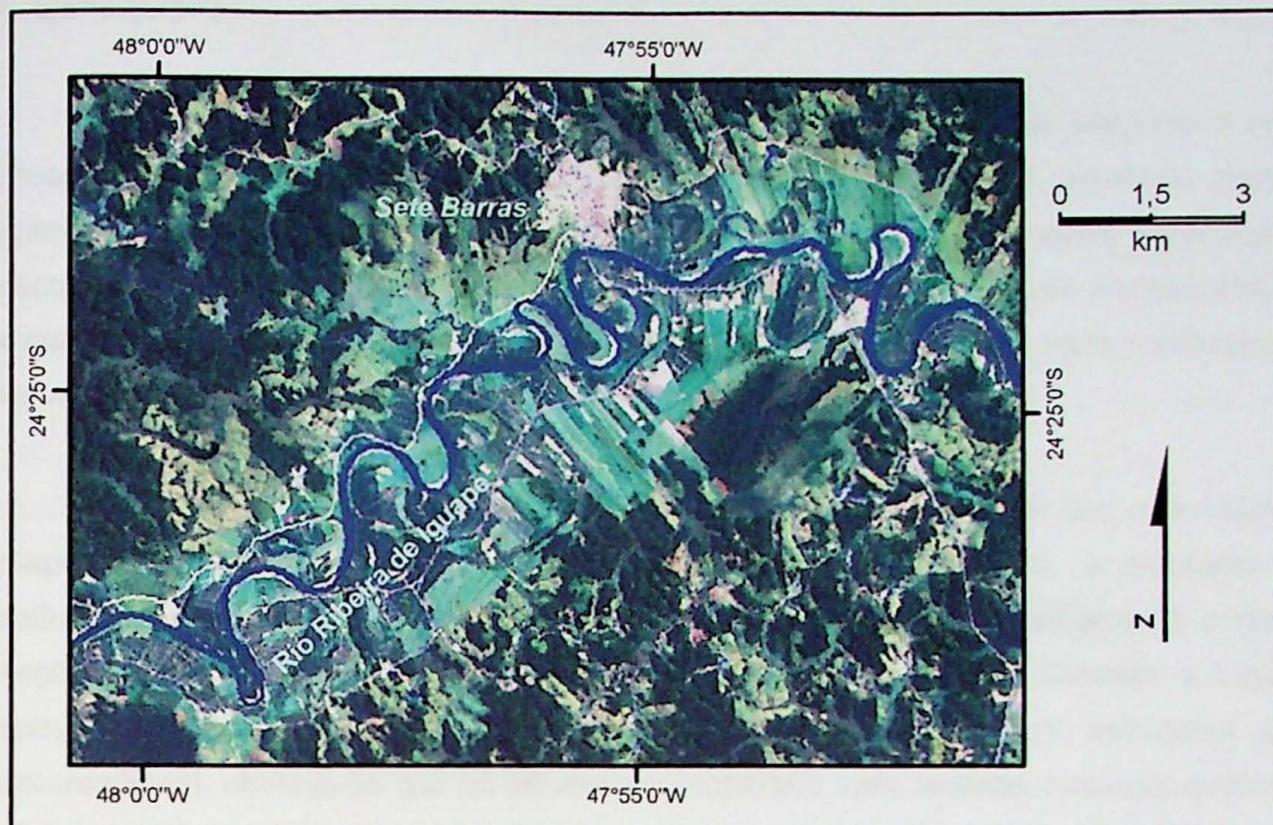
Em vista disso, este Trabalho de Formatura visa não somente fornecer dados sobre a dinâmica dos principais rios presentes na região de Registro e seus produtos sedimentares, mas também informações que orientem, de alguma forma, as atividades de pesquisa mineral e lavra.

Acredita-se que além dos depósitos de canal, os depósitos arenosos associados à planície de inundação (meandros abandonados e barras antigas) se configurariam, na região, como importantes alternativas de jazidas, a exemplo do Vale do Paraíba.

Sob esse aspecto, o trecho fluvial aqui designado B, por possuir planície de inundação estreita, delimitada por rochas do embasamento cristalino, não apresenta perspectivas futuras de depósitos arenosos além dos sedimentos de canal. Situação semelhante está representada pelo rio Juquiá, que por apresentar uma planície de inundação deprimida topograficamente, possui carga trativa pouco considerável e planície de inundação pantanosa, provavelmente de constituição siltico-argilosa. Caso semelhante é o do trecho C, o qual corre sobre os sedimentos da planície costeira, local de baixa declividade, de maior acúmulo de finos e inviável do ponto de vista mineiro.

Situação inversa é observada no trecho A, que por estar inserido no Gráben de Sete Barras, apresenta extensa planície de inundação sobre sedimentos arenosos, com dinâmica de meandramento intensa, com grande capacidade de produção de barras arenosas (em pontal e lateral) e alinhamentos de cordões.

A presença de barras e alinhamento de cordões indica que este é um local de predominância e retenção de aporte sedimentar trativo (Figura 16). Assim, dentre os trechos estudados em todas as drenagens, esta área é aqui considerada a mais promissora e de maior potencialidade para a delimitação de novas jazidas em planície de inundação.



**Figura 16 – Gráben de Sete Barras, área de maior potencialidade econômica para depósitos arenosos.**

Apesar deste Trabalho de Formatura não possuir como escopo principal a disponibilidade e potencialidade de áreas para exploração de depósitos arenosos, os estudos realizados permitem sugerir que o trecho do rio Ribeira de Iguape situado no Gráben de Sete Barras deva merecer prioridade em trabalhos orientativos de pesquisa mineral, com vistas à futuras jazidas de areia.

## 10. Conclusões

- O embasamento pré-cenozóico do Vale do Ribeira na região de Registro e entorno apresenta grande diversidade litológica, representada por gnaisses, migmatitos, xistos, na maioria metapelíticos, e, subordinadamente, corpos graníticos. Este conjunto de rochas está associado a importantes áreas tectonicamente ativas no Proterozóico, hoje representadas por extensas e evidentes zonas de cisalhamento, reativadas pelo menos em parte no Mesozóico e Cenozóico.
- Como consequência do contexto geológico-estrutural, observa-se que o rio Ribeira de Iguape, até a confluência com o rio Juquiá, e o próprio rio Juquiá, a montante desta confluência, encontram-se encaixados e controlados por zonas de cisalhamento antigas de direção ENE-WSW, com destaque para a Zona de Cisalhamento de Cubatão e Lanchinha-Itapeúna. Além do condicionamento tectônico imposto à drenagem por estruturas antigas (proterozóicas), observa-se que há influência de tectônica mais recente, terciária, evidenciada pela presença do Gráben de Sete Barras.
- Os índices morfométricos e os elementos morfológicos evidenciam que a mudança de direção das drenagens de ENE-WSW no trecho A do rio Ribeira de Iguape, para N-S no trecho B (mesma orientação, a montante, do rio Juquiá) e para E-W no trecho C está ligada, principalmente, às características tectono-estruturais e litológicas das áreas em que se inserem, o que confere a cada trecho sua singularidade geomorfológica e sedimentológica.
- No médio rio Ribeira de Iguape, o trecho A, que corre sobre terreno equivalente ao preenchimento sedimentar do Gráben de Sete Barras, foi classificado como meandrante arenoso, ou meandrante clássico. Imediatamente a jusante, o trecho B, definido como “passagem epigênica” por encontrar-se diretamente sobre rochas do embasamento cristalino, é o menos sinuoso de todos, tendo sido classificado como meandrante areno-cascalhoso. O trecho C, por sua vez, foi considerado como de transição de estilo fluvial, passando de estilo similar ao B, a montante, para similar ao A, a jusante. O trecho final do rio Juquiá encontra-se em uma planície de inundação deprimida topograficamente em relação àquela observada nos trechos A e B do rio Ribeira de Iguape.
- Análise granulométrica identificou tanto para “areia branca” como para “areia vermelha” diâmetro médio em areia grossa, na escala de Wentworth-Krumbein e seleção granulométrica em geral moderada. Observam-se tendências de afinamento e melhora de seleção granulométrica de montante para jusante para os dois tipos de sedimento/minério, e relação direta de fornecimento entre as amostras de “areia branca” coletadas no rio Ribeira de Iguape

e aquela coletada no rio Juquiá.

- A análise à lupa binocular permitiu reconhecer nos sedimentos três tipos principais de grão de quartzo anguloso, informalmente designados de “hialino”, “leitoso” e “impregnado”. A “areia branca” apresentou as maiores proporções dos termos “hialino” e “leitoso”, enquanto que a “areia vermelha” apresentou a maior concentração do termo “impregnado”. É justamente esta impregnação por película possivelmente constituída por óxidos e/ou hidróxidos de ferro que confere a “areia vermelha” sua cor típica. Além de quartzo, estão presentes feldspato (em maior concentração em “areia vermelha”), fragmentos líticos (quartzíticos, xistosos e graníticos) e minerais acessórios, representados principalmente por turmalina, e subordinadamente, por epídoto e ilmenita.
- A assembléia de minerais pesados transparentes não-micáceos é extremamente imatura, em ambos os grupos de sedimentos (ZTR de 9 a 12%, em média). É representada principalmente por hornblenda, epídoto e turmalina, e subordinadamente por granada, estaurolita, hiperstênio, sillimanita, cianita, andaluzita e titanita. Esta assembléia de minerais pesados indica proveniência dos sedimentos a partir dos gnaisses e migmatitos do Complexo Atuba e dos metassedimentos do Complexo Embu. Minerais de ocorrência restrita tidos como traçadores, principalmente hiperstênio, evidenciam a influência direta do rio Juquiá no fornecimento de “areia branca”, enquanto que o aporte de “areia vermelha”, por sua vez, seria devido principalmente ao rio Ribeira de Iguape.
- Com o nível de base das drenagens influenciado pelas variações de NRM, é possível que no passado próximo, fim do Pleistoceno até a metade do Holoceno, variações eustáticas consideráveis atuaram como principal fator controlador de importantes mudanças ocorridas nas drenagens e em seu entorno, representadas por erosão diferencial e esculpimento de vales fluviais num primeiro momento (fase de mar baixo associada ao último máximo glacial) e represamento de vales fluviais num momento posterior (transgressão e mar alto do Holoceno). Estas mudanças de nível de base, e em consequência do aporte sedimentar, seriam determinantes da existência dos dois tipos de sedimentos/minério, no rio Ribeira de Iguape a jusante da confluência com o Juquiá.
- A área do Gráben de Sete Barras apresenta planície de inundação mais ampla e arenosa e configura-se, devido a seus aspectos geológicos/sedimentológicos, como área potencial para novos depósitos economicamente viáveis de areia para construção civil.

## 11. Referências Bibliográficas

- ANGULO, R.J., LESSA, G.C. SOUZA, M.C. 2006. A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*. Elsevier. (25):486-506.
- BATOLLA, F. (coord.). 1981. Projeto *Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira - Relatório Final*. DNPM/CPRM, 15 v.
- BAUERMEISTER, K.H. 1996. *Distribuição e disponibilidade das áreas de extração de areia para construção civil, visando o abastecimento da região metropolitana de São Paulo*. São Paulo. IGc – USP, 115 p. + anexos. (Dissertação de Mestrado).
- CAMPANHA, G.A.C. 1991. *Tectônica Proterozóica no Alto e Médio Vale do Ribeira – Estado de São Paulo e Paraná (1:50.000)*. São Paulo, IGc-USP, 296 p. (Dissertação de Doutorado).
- CAMPANHA, G.A.C. 1995. Geologia da Folha Itararé em 1:250.000. In: SBG, IV Simpósio do Sudeste. Boletim de Resumos. Águas de São Pedro, UNESP, p. 111.
- CETEC, 2000. *Situação dos recursos hídricos do Ribeira de Iguape e Litoral Sul – UGRHI 11*. CETEC, 324 p.
- CHIODI, D.K., (coord.) 1982. *Projeto de Planejamento Minerário na Ocupação do Solo em Área de Atuação da Sudelpa*. São Paulo, SUDELPA/CPRM, 2 V.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2004. *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Sistema de Informações Geográficas – SIG e Mapas na Escala 1:2.500.000*. Brasília: CPRM. 4 CD-Rom.
- DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, 1998. *Bacia Hidrográfica do Ribeira do Iguape – Plano de Ação para o Controle das Inundações e Diretrizes para o desenvolvimento do Vale*. São Paulo. DAEE – 68 p.
- DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo. 2006. *Banco de Dados Fluviométricos do Estado de São Paulo*. Website: [www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhn.exe/flu](http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhn.exe/flu). Último acesso em: 25/09/2006.
- DANTAS, A.S.L., GIMENEZ FILHO, A., NAGATA, N., FERNANDES, L.A., TEIXEIRA, A.L., FRASCÁ, M.H.B.O. 1987. Evolução Geológica e Estrutural da Faixa Costeira nas Regiões de Juquiá e Miracatu, Sul do Estado de São Paulo. In: SBG/SP, 6º Simpósio Regional de Geologia, Atas, p. 173-189
- ENGECORPS, 1996. *Macrozoneamento do Vale do Ribeira – Relatório Final*. São Paulo, SMA/ENGECORPS, 86 p.
- FOLK, R. L. 1951. Stages of textural maturity in sedimentary rocks. *Journal of Sedimentary Petrology*, 21(3):127-130.
- FOLK, R.L. & WARD, W.C. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, (27):2-26.
- GIANNINI, P.C.F. 1993. *Sistemas deposicionais no Quaternário costeiro entre Jaguaruna e Imbituba, SC*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências-USP. São Paulo. 2 v., 2 mapas, 439 p.
- GIMENEZ FILHO, A., DANTAS, A.S.L., NAGATA, N., ALBUQUERQUE FILHO, J.L., FERNANDES, L.A., TEIXEIRA, A.L. 1987. Geologia da Folha Miracatu, Sul-Sudeste do Estado de São Paulo. In: Atas do 6º Simpósio Regional de Geologia, SBG/SP – Rio Claro. Vol. 1 p. 225-241.

- GUEDES, C.C.F. 2003. *Os cordões litorâneos e as dunas eólicas da Ilha Comprida, Estado de São Paulo*. Monografia de Trabalho de Formatura. Instituto de Geociências – USP. São Paulo. 54p.
- HAMA, M. & ALGARTE, J.P. 1986. *Projeto Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais (1:250.000) – Folha Itararé – SG.22-X-B*. São Paulo, CPRM, 2 v.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) 1973. *Folha Iguape (SG-23-V-A-IV-2)*. Ministério do Planejamento e Coordenação Geral. IBGE, Superintendência de Cartografia, Departamento de Cartografia. Escala 1:50.000.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) 1973. *Folha Juquiá (SG-23-V-A-I-3)*. Ministério do Planejamento e Coordenação Geral. IBGE, Superintendência de Cartografia, Departamento de Cartografia. Escala 1:50.000.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) 1973. *Folha Pariquera-Açu (SG-23-V-A-IV-1)*. Ministério do Planejamento e Coordenação Geral. IBGE, Superintendência de Cartografia, Departamento de Cartografia. Escala 1:50.000.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) 1973. *Folha Registro (SG-23-V-A-I-4)*. Ministério do Planejamento e Coordenação Geral. IBGE, Superintendência de Cartografia, Departamento de Cartografia. Escala 1:50.000.
- JICA-MMAJ-DNPM/CPRM 1984. *Report on Geological Survey of Anta Gorda, Brazil*. Tokio, JICA/MMAJ, 73 p.
- LEOPOLD, L. B. & WOLMAN M. G. 1957. River Channel Patterns: Braided, Meandering and Straight. *Geological Survey Professional Paper (282-B)*: 39-73
- MACEDO, A.B. & CHIEREGATI, L. A. 1982. *Projeto Rochas Ornamentais*. São Paulo, SUDELPA/CPRM, 302 p.
- MANGE, M.A & MAURER, H.F.W. 1992. *Heavy minerals in colour*. Chapman & Hall, London, 147 p.
- MEDEIROS, R.A. 1971. *Fácies sedimentares; análise e critérios para o reconhecimento dos ambientes deposicionais*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, CENPES. 124 p
- MELO, M. S. 1990. *A Formação Pariquera-Açu e Depósitos Relacionados: Sedimentação, Tectônica e Geomorfogênese*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências-USP. São Paulo. 210 p + Anexos.
- MIALL, A. D. 1996. *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, 582 pp.
- MORGENTAL, A.; BATOLLA, F.; GARRIDO, G.; PAIVA,I.P.; DRUMOND,J.B.V. 1975. *Projeto SUDELPA – Relatório Final – Geologia – Volume I*. Governo do Estado de São Paulo – Secretaria de Economia e Planejamento – Superintendência do Desenvolvimento do Litoral Paulista – Convênio SUDELPA/CPRM – CPRM.
- NASCIMENTO JUNIOR, D.R. 2006. *Morfologia e Sedimentologia ao Longo do Sistema Praia – Duna Fornal de Ilha Comprida, SP*. Dissertação de Metrado (inédita). Instituto de Geociências – USP. São Paulo. 97p. + Anexos.
- NOGUEIRA, S. A. A.; TEIXEIRA, A.L.; SHIMADA, H.; NEGRI, F.A.; MONTANHEIRO, T.J. 2003. Bases de estudo para o Planejamento da Mineração no Vale do Ribeira e litoral Sul do Estado de São Paulo. In: VIII Simpósio de Geologia do Sudeste, São Pedro, SP. Boletim de Resumos, SBG-NSP, 2003, p.211.
- PETRI, S. & SUGUIO, K. 1973. *Stratigraphy of the Iguape-Cananéia Lagoonal Region Sedimentary Deposits, São Paulo State, Brazil. Part II: Heavy minerals studies, microorganisms inventories and stratigraphical interpretations*. Boletim I.G., instituto de geociências, USP. USP, v.4 p.71-85.

- PETTIJOHN, F.J., POTTER, P.E., SIEVER, R. 1972. *Sand and Sandstone*. Springer-Verlag. New York Berlin Heidelberg. 554 p.
- RICOMINI, C; GIANNINI, P.C.F.; MANCINI, F. 2000. Rios e Processos Aluviais. In: W. Teixeira, M.C.M. Toledo, T.R. Fairchild e F. Taioli *Decifrando a Terra*. Oficina de Textos, pp.: 191 – 214.
- RUST, B. R. 1978. A Classification of Alluvial Channel Systems. In: A. D. Miall (eds.) *Fluvial Sedimentology*. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 5, C.S.P.G, pp.: 187-209.
- SMA – SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO., 1997. *Macrozoneamento do Vale do Ribeira, Proposta Preliminar para Discussão Pública*. São Paulo. 55 p.
- SIGA JUNIOR, O., BASEI, M.A.S., REIS NETO, J.M., MACHIAVELLI, A., HARARA, O.M. 1995. *O Complexo Atuba: Um Cinturão Paleoproterozóico Intensamente Retrabalhado no Neoproterozóico*. Boletim IG-USP, Série Científica, (26):69-98.
- SILVA, A.T.S.F. & ALGARTE, J.P. 1981. Contribuição à Geologia da Seqüência Turvo-Cajati entre o Rio Pardo e Pariquera-Açu, Estado de São Paulo. I – Litologia e Petrografia. In: SBG, 3º Simpósio Regional de Geologia, p.109-120.
- SOS MATA ATLÂNTICA 2006. Fundação SOS Mata Atlântica – Base Iguape 2006. Iguape, SP. Website: [www.sosribeira.org.br](http://www.sosribeira.org.br). Acesso em: 02/04/2006.
- SUGUIO, K. 2003. *Geologia Sedimentar*. Edgard Blücher. São Paulo. 400 p.
- SUGUIO, K. & MARTIN, L. 1978. Formações Quaternárias Marinhas do Litoral Paulista e Sul Fluminense. In: International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary. Special Publication Nº 1. São Paulo, IGCB/IGUSP/SBG, 55p.
- SUGUIO, K. & PETRI, S. 1973. *Stratigraphy of the Iguape-Cananéia Lagoonal Region Sedimentary Deposits, São Paulo State, Brazil. Part I: Field observations and grain size analysis*. Boletim I.G., Instituto de Geociências, USP. USP, v.4, p. 1-20.
- van ANDEL, T.H. 1958. Discussion: a defense of term alterite. *Journal of Sedimentary Petrology*, (28):234-235.
- WHITAKER, W., 2001. *Técnicas de Preparação de Areia Para Uso na Construção Civil*. Dissertação de Mestrado. São Paulo, Escola Politécnica-USP. 202 p + Anexos.

**ANEXO I – TABELAS DE DADOS DA ANÁLISE  
GRANULOMÉTRICA, DE SEMIQUANTIFICAÇÃO À LUPA E DE  
MINERAIS PESADOS.**

Tabela A1.1 – Resultados da análise granulométrica para amostra PO-b-1.

## IGcUSP - GSA - LABSED

<b>Responsável:</b> Yuri J. P. De Maman								
<b>Projeto:</b> Análise Sedimentológica Aplicada na Mineração de Areia no Vale do Ribeira.								
<b>Data:</b> 15/06/06								
<b>Amostra:</b> PO-b-1	<b>Massa dispersante (g):</b>							
<b>*Antes da separação granulométrica*</b>	<b>*Após a separação granulométrica*</b>							
Massa total inicial - Mi (g)	65,55	Partículas 4,000 - 0,062 (g)	65,5155					
Massa dos seixos (g)	0	Partículas menores 0,062 (g)	0,0000					
Eliminação ataque químico (g)	0	Massa total final - Mf (g)	65,5155					
Volume da proveta - Vp (ml)	1000	Fator de correção Mi/Mf	1,0005					

## PIPETAGEM

Granulometria	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M.aliquota (g)	M.suspens alíq (g)	M susp.total (g)
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,031 - 0,016	01:56	03:52	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,016 - 0,008	07:44	15:28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,008 - 0,004	31:00	62:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<0,004	123:00	246:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

## PENEIRAMENTO

## CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M.corrig (g)	Prp.mass (%)	Prp. acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	grânulo	
2,830 - 2,000	12,4326	12,4391	18,9766	18,9766	grânulo	

2,000 - 1,410	10,9511	10,9569	16,7153	35,6919	areia mt.grossa	
1,410 - 1,000	10,9711	10,9769	16,7458	52,4377	areia mt.grossa	
1,000 - 0,707	7,6125	7,6165	11,6194	64,0571	areia grossa	
0,707 - 0,500	6,3373	6,3406	9,6730	73,7300	areia grossa	
0,500 - 0,354	6,4821	6,4855	9,8940	83,6240	areia média	
0,354 - 0,250	4,8553	4,8579	7,4109	91,0349	areia média	
0,250 - 0,177	3,2088	3,2105	4,8978	95,9327	areia fina	
0,177 - 0,125	2,1272	2,1283	3,2469	99,1796	areia fina	
0,125 - 0,088	0,4646	0,4648	0,7091	99,8887	areia mt.fina	
0,088 - 0,062	0,0729	0,0729	0,1113	100,0000	areia mt.fina	
<0,062* (fundo)	0,0000	0,0000			silte/argila	

0,062 - 0,031	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte grosso	
0,031 - 0,016	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte médio	
0,016 - 0,008	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte fino	
0,008 - 0,004	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte mt. fino	
<0,004	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	argila	
Total	65,5155	65,5500	100,0000			

Tabela A1.2 – Resultados da análise granulométrica para amostra PS-b-1.

## IGcUSP - GSA - LABSED

<b>Responsável:</b>	Yuri J. P. De Maman		
<b>Projeto:</b>	Análise Sedimentológica Aplicada na Mineração de Areia no Vale do Ribeira.		
<b>Data:</b>	19/04/06		
<b>Amostra:</b>	PS-b-1		
<b>*Antes da separação granulométrica*</b>		<b>Massa dispersante (g):</b>	
		<b>*Após a separação granulométrica*</b>	
Massa total inicial - Mi (g)	66,85	Partículas 4,000 - 0,062 (g)	64,4293
Massa dos seixos (g)	0	Partículas menores 0,062 (g)	0,0000
Eliminação ataque químico (g)	0	Massa total final - Mf (g)	64,4293
Volume da proveta - Vp (ml)	1000	Fator de correção Mi/Mf	1,0376

## PIPETAGEM

Granulometria	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M.alíquota (g)	M.suspens alíq (g)	M susp.total (g)
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,031 - 0,016	01:56	03:52	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,016 - 0,008	07:44	15:28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,008 - 0,004	31:00	62:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<0,004	123:00	246:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

## PENEIRAMENTO

## CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M.corrig (g)	Prp.massa (%)	Prp. acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830	0,9405	0,9758	1,4597	1,4597	grânulo	
2,830 - 2,000	2,7889	2,8937	4,3286	5,7884	grânulo	
2,000 - 1,410	4,7161	4,8933	7,3198	13,1082	areia mt.grossa	
1,410 - 1,000	4,2406	4,3999	6,5818	19,6900	areia mt.grossa	
1,000 - 0,707	10,5046	10,8993	16,3041	35,9940	areia grossa	
0,707 - 0,500	12,8916	13,3760	20,0089	56,0029	areia grossa	
0,500 - 0,354	9,4590	9,8144	14,6812	70,6841	areia média	
0,354 - 0,250	7,5640	7,8482	11,7400	82,4241	areia média	
0,250 - 0,177	6,8007	7,0562	10,5553	92,9794	areia fina	
0,177 - 0,125	3,1462	3,2644	4,8832	97,8626	areia fina	
0,125 - 0,088	1,1565	1,2000	1,7950	99,6576	areia mt.fina	
0,088 - 0,062	0,2206	0,2289	0,3424	100,0000	areia mt.fina	
<0,062* (fundo)	0,0000	0,0000			silte/argila	
0,062 - 0,031	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte grosso	
0,031 - 0,016	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte médio	
0,016 - 0,008	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte fino	
0,008 - 0,004	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte mt. fino	
<0,004	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	argila	
Total	64,4293	66,8500	100,0000			

Tabela A1.3 – Resultados da análise granulométrica para amostra PS-b-2

## IGcUSP - GSA - LABSED

Responsável: Yuri J. P. De Maman

Projeto: Análise Sedimentológica Aplicada na Mineração de Areia no Vale do Ribeira.

Data: 15/06/06

Amostra:	PS-b-2	Massa dispersante (g):	
*Antes da separação granulométrica*		*Após a separação granulométrica*	
Massa total inicial - Mi (g)	59,514	Partículas 4,000 - 0,062 (g)	59,4343
Massa dos seixos (g)	0	Partículas menores 0,062 (g)	0,0000
Eliminação ataque químico (g)	0	Massa total final - Mf (g)	59,4343
Volume da proveta - Vp (ml)	1000	Fator de correção Mi/Mf	1,0013

## PIPETAGEM

Granulometria	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M.alíquota (g)	M.suspens alíq (g)	M susp.total (g)
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,031 - 0,016	01:56	03:52	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,016 - 0,008	07:44	15:28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,008 - 0,004	31:00	62:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<0,004	123:00	246:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

## PENEIRAMENTO

## CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M.corrig (g)	Prp.massa (%)	Prp .acumulada (%)	Wenthwort	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	grânulo	
2,830 - 2,000	3,2549	3,2593	5,4765	5,4765	grânulo	

2,000 - 1,410	4,9970	5,0037	8,4076	13,8841	areia mt.grossa	
1,410 - 1,000	10,2835	10,2973	17,3023	31,1864	areia mt.grossa	
1,000 - 0,707	10,8114	10,8259	18,1905	49,3769	areia grossa	
0,707 - 0,500	10,4420	10,4560	17,5690	66,9459	areia grossa	
0,500 - 0,354	10,2375	10,2512	17,2249	84,1708	areia média	
0,354 - 0,250	5,6601	5,6677	9,5233	93,6940	areia média	
0,250 - 0,177	2,8877	2,8916	4,8586	98,5527	areia fina	
0,177 - 0,125	0,8294	0,8305	1,3955	99,9482	areia fina	
0,125 - 0,088	0,0308	0,0308	0,0518	100,0000	areia mt.fina	
0,088 - 0,062	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	areia mt.fina	
<0,062* (fundo)	0,0000	0,0000			silte/argila	

0,062 - 0,031	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte grosso	
0,031 - 0,016	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte médio	
0,016 - 0,008	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte fino	
0,008 - 0,004	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte mt. fino	
<0,004	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	argila	
Total	59,4343	59,5140	100,0000			

Tabela A1.4 – Resultados da análise granulométrica para amostra RM-b-1.

IGcUSP – GSA – LABSED							
<b>Responsável:</b> Yuri J. P. De Maman							
<b>Projeto:</b> Análise Sedimentológica Aplicada na Mineração de Areia no Vale do Ribeira.							
<b>Data:</b>	19/04/06						
<b>Amostra:</b>	RM-b-1		<b>Massa dispersante (g):</b>				
<b>*Antes da separação granulométrica*</b>			<b>*Após a separação granulométrica*</b>				
Massa total inicial – Mi (g)	64,6		Partículas 4,000 – 0,062 (g)				64,5429
Massa dos seixos (g)	0		Partículas menores 0,062 (g)				0,0000
Eliminação ataque químico (g)	0		Massa total final – Mf (g)				64,5429
Volume da proveta – Vp (ml)	1000		Fator de correção Mi/Mf				1,0009
<b>PIPETAGEM</b>							
<b>Granulometria</b>	<b>Tempo (min:s)</b>	<b>M. total (g)</b>	<b>M. frasco (g)</b>	<b>M.alíquota (g)</b>	<b>M.suspens alíq (g)</b>	<b>M susp.total (g)</b>	
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 – 0,031	00:29	00:58	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,031 – 0,016	01:56	03:52	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,016 – 0,008	07:44	15:28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,008 – 0,004	31:00	62:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<0,004	123:00	246:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>PENEIRAMENTO</b>		<b>CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA</b>					
<b>Granulometria (mm)</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>M.corrig (g)</b>	<b>Prp.massá (%)</b>	<b>Prp.acumulada (%)</b>	<b>Wenthwort</b>	<b>Krumbein (phi)</b>	
4,000 – 2,830	1,0282	1,0291	1,5930	1,5930	grânulo		
2,830 – 2,000	3,1150	3,1178	4,8262	6,4193	grânulo		
2,000 – 1,410	7,0005	7,0067	10,8463	17,2656	areia mt.grossa		
1,410 – 1,000	14,1288	14,1413	21,8906	39,1561	areia mt.grossa		
1,000 – 0,707	13,0002	13,0117	20,1420	59,2981	areia grossa		
0,707 – 0,500	10,3027	10,3118	15,9626	75,2606	areia grossa		
0,500 – 0,354	8,1165	8,1237	12,5754	87,8360	areia média		
0,354 – 0,250	4,3337	4,3375	6,7144	94,5504	areia média		
0,250 – 0,177	2,2688	2,2708	3,5152	98,0656	areia fina		
0,177 – 0,125	1,0844	1,0854	1,6801	99,7458	areia fina		
0,125 – 0,088	0,1511	0,1512	0,2341	99,9799	areia mt.fina		
0,088 – 0,062	0,0130	0,0130	0,0201	100,0000	areia mt.fina		
<0,062* (fundo)	0,0000	0,0000			silte/argila		
0,062 – 0,031	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte grosso		
0,031 – 0,016	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte médio		
0,016 – 0,008	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte fino		
0,008 – 0,004	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte mt. Fino		
<0,004	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	argila		
Total	64,5429	64,6000	100,0000				

Tabela A1.5 – Resultados da análise granulométrica para amostra RP-b-1.

IGcUSP – GSA – LABSED							
<b>Responsável:</b> Yuri J. P. De Maman							
<b>Projeto:</b> Análise Sedimentológica Aplicada na Mineração de Areia no Vale do Ribeira.							
<b>Data:</b>	15/06/06						
<b>Amostra:</b>	RP-b-1		<b>Massa dispersante (g): 0,00</b>				
<b>*Antes da separação granulométrica*</b>			<b>*Após a separação granulométrica*</b>				
Massa total inicial – Mi (g)	64,47		Partículas 4,000 – 0,062 (g)	64,4548			
Massa dos seixos (g)	0		Partículas menores 0,062 (g)	0,0000			
Eliminação ataque químico (g)	0		Massa total final – Mf (g)	64,4548			
Volume da proveta – Vp (ml)	1000		Fator de correção Mi/Mf	1,0002			
<b>PIPETAGEM</b>							
<b>Granulometria</b>	<b>Tempo (min:s)</b>		<b>M. total (g)</b>	<b>M. frasco (g)</b>	<b>M.alíquota (g)</b>	<b>M.suspens alíq (g)</b>	<b>M susp.total (g)</b>
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 – 0,031	00:29	00:58	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,031 – 0,016	01:56	03:52	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,016 – 0,008	07:44	15:28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,008 – 0,004	31:00	62:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<0,004	123:00	246:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>PENEIRAMENTO</b>			<b>CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA</b>				
<b>Granulometria (mm)</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>M.corrig (g)</b>	<b>Prp.massa (%)</b>	<b>Prp. Acumulada (%)</b>	<b>Wenthwort</b>	<b>Krumbein (phi)</b>	
4,000 – 2,830	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	grânulo		
2,830 – 2,000	0,7876	0,7878	1,2219	1,2219	grânulo		
2,000 – 1,410	1,5018	1,5022	2,3300	3,5519	areia mt.grossa		
1,410 – 1,000	4,6936	4,6947	7,2820	10,8339	areia mt.grossa		
1,000 – 0,707	3,1384	3,1391	4,8691	15,7031	areia grossa		
0,707 – 0,500	14,2776	14,2810	22,1513	37,8544	areia grossa		
0,500 – 0,354	15,1354	15,1390	23,4822	61,3366	areia média		
0,354 – 0,250	14,3148	14,3182	22,2091	83,5457	areia média		
0,250 – 0,177	7,9873	7,9892	12,3921	95,9378	areia fina		
0,177 – 0,125	2,2061	2,2066	3,4227	99,3605	areia fina		
0,125 – 0,088	0,3948	0,3949	0,6125	99,9730	areia mt.fina		
0,088 – 0,062	0,0174	0,0174	0,0270	100,0000	areia mt.fina		
<0,062* (fundo)	0,0000	0,0000			silte/argila		
0,062 – 0,031	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte grosso		
0,031 – 0,016	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte médio		
0,016 – 0,008	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte fino		
0,008 – 0,004	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte mt. Fino		
<0,004	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	argila		
Total	64,4548	64,4700	100,0000				

Tabela A1.6 – Resultados da análise granulométrica para amostra SE-v-1.

IGcUSP - GSA - LABSED							
<b>Responsável:</b> Yuri J. P. De Maman							
<b>Projeto:</b> Análise Sedimentológica Aplicada na Mineração de Areia no Vale do Ribeira.							
<b>Data:</b> 10/07/06							
<b>Amostra:</b> SE-v-1	<b>Massa dispersante (g):</b>						
<b>*Antes da separação granulométrica*</b>		<b>*Após a separação granulométrica*</b>					
Massa total inicial - Mi (g)	73,33	Partículas 4,000 - 0,062 (g)					73,2723
Massa dos seixos (g)	0	Partículas menores 0,062 (g)					0,0000
Eliminação ataque químico (g)	0	Massa total final - Mf (g)					73,2723
Volume da proveta - Vp (ml)	1000	Fator de correção Mi/Mf					1,0008
<b>PIPETAGEM</b>							
<b>Granulometria</b>	<b>Tempo (min:s)</b>	<b>M. total (g)</b>	<b>M. frasco (g)</b>	<b>M.alíquota (g)</b>	<b>M.suspens alíq (g)</b>	<b>M susp.total (g)</b>	
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,031 - 0,016	01:56	03:52	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,016 - 0,008	07:44	15:28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,008 - 0,004	31:00	62:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<0,004	123:00	246:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>PENEIRAMENTO</b>		<b>CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA</b>					
<b>Granulometria (mm)</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>M.corrig (g)</b>	<b>Prp.massa (%)</b>	<b>Prp .acumulada (%)</b>	<b>Wenthwort</b>	<b>Krumbein (phi)</b>	
4,000 - 2,830	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	grânulo		
2,830 - 2,000	25,3259	25,3458	34,5641	34,5641	grânulo		
2,000 - 1,410	16,5329	16,5459	22,5636	57,1277	areia mt.grossa		
1,410 - 1,000	13,4504	13,4610	18,3567	75,4845	areia mt.grossa		
1,000 - 0,707	8,3257	8,3323	11,3627	86,8471	areia grossa		
0,707 - 0,500	5,2236	5,2277	7,1290	93,9762	areia grossa		
0,500 - 0,354	2,7616	2,7638	3,7690	97,7451	areia média		
0,354 - 0,250	1,1104	1,1113	1,5154	99,2606	areia média		
0,250 - 0,177	0,4618	0,4622	0,6303	99,8908	areia fina		
0,177 - 0,125	0,0716	0,0717	0,0977	99,9885	areia fina		
0,125 - 0,088	0,0084	0,0084	0,0115	100,0000	areia mt.fina		
0,088 - 0,062	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	areia mt.fina		
<0,062* (fundo)	0,0000	0,0000			silte/argila		
Total	73,2723	73,3300	100,0000				

Tabela A1.7 – Resultados da análise granulométrica para amostra SE-v-2.

## IGcUSP - GSA - LABSED

Responsável: Yuri J. P. De Maman

Projeto: Análise Sedimentológica Aplicada na Mineração de Areia no Vale do Ribeira.

Data: 10/07/06

Amostra: SE-v-2

Massa dispersante (g):

*Antes da separação granulométrica*		*Após a separação granulométrica*	
Massa total inicial - Mi (g)	67,2104	Partículas 4,000 - 0,062 (g)	67,1006
Massa dos seixos (g)	0	Partículas menores 0,062 (g)	0,0000
Eliminação ataque químico (g)	0	Massa total final - Mf (g)	67,1006
Volume da proveta - Vp (ml)	1000	Fator de correção Mi/Mf	1,0016

## PIPETAGEM

Granulometria	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M.alíquota (g)	M.suspens alíq (g)	M susp.total (g)
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,031 - 0,016	01:56	03:52	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,016 - 0,008	07:44	15:28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,008 - 0,004	31:00	62:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<0,004	123:00	246:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

## PENEIRAMENTO

## CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M.corrig (g)	Prp.massá (%)	Prp. acumulada (%)	Wenthwort	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	grânulo	
2,830 - 2,000	4,3216	4,3287	6,4405	6,4405	grânulo	

2,000 - 1,410	4,8784	4,8864	7,2703	13,7108	areia mt.grossa	
1,410 - 1,000	8,7173	8,7316	12,9914	26,7021	areia mt.grossa	
1,000 - 0,707	10,3748	10,3918	15,4616	42,1637	areia grossa	
0,707 - 0,500	12,7827	12,8036	19,0501	61,2138	areia grossa	
0,500 - 0,354	13,9882	14,0111	20,8466	82,0604	areia média	
0,354 - 0,250	7,5446	7,5569	11,2437	93,3041	areia média	
0,250 - 0,177	3,0600	3,0650	4,5603	97,8644	areia fina	
0,177 - 0,125	1,1981	1,2001	1,7855	99,6499	areia fina	
0,125 - 0,088	0,1982	0,1985	0,2954	99,9453	areia mt.fina	
0,088 - 0,062	0,0367	0,0368	0,0547	100,0000	areia mt.fina	
<0,062* (fundo)	0,0000	0,0000			silte/argila	

0,062 - 0,031	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte grosso	
0,031 - 0,016	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte médio	
0,016 - 0,008	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte fino	
0,008 - 0,004	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte mt. fino	
<0,004	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	argila	
Total	67,1006	67,2104	100,0000			

Tabela A1.8 – Resultados da análise granulométrica para amostra PS-v-1.

IGcUSP - GSA - LABSED								
Responsável:	Yuri J. P. De Maman							
Projeto:	Análise Sedimentológica Aplicada na Mineração de Areia no Vale do Ribeira.							
Data:	19/04/06							
Amostra:	PS-v-1		Massa dispersante (g):					
*Antes da separação granulométrica*			*Após a separação granulométrica*					
Massa total inicial - Mi (g)	63,11	Partículas 4,000 - 0,062 (g)						63,1232
Massa dos seixos (g)	0	Partículas menores 0,062 (g)						0,0000
Eliminação ataque químico (g)	0	Massa total final - Mf (g)						63,1232
Volume da proveta - Vp (ml)	1000	Fator de correção Mi/Mf						0,9998
PIPETAGEM								
Granulometria	Tempo (min:s)	M. total (g)	M. frasco (g)	M.alíquota (g)	M.suspens alíq (g)	M susp.total (g)		
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20	
0,062 - 0,031	00:29	00:58	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
0,031 - 0,016	01:56	03:52	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
0,016 - 0,008	07:44	15:28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
0,008 - 0,004	31:00	62:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
<0,004	123:00	246:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
PENEIRAMENTO		CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA						
Granulometria (mm)	Massa (g)	M.corrig (g)	Prp.massa (%)	Prp. acumulada (%)	Wenthwort	Krumbein (phi)		
4,000 - 2,830	0,1497	0,1497	0,2372	0,2372	grânulo			
2,830 - 2,000	1,7651	1,7647	2,7963	3,0334	grânulo			
2,000 - 1,410	3,5188	3,5181	5,5745	8,6079	areia mt.grossa			
1,410 - 1,000	9,4201	9,4181	14,9234	23,5313	areia mt.grossa			
1,000 - 0,707	5,3648	5,3637	8,4989	32,0302	areia grossa			
0,707 - 0,500	19,6976	19,6935	31,2050	63,2352	areia grossa			
0,500 - 0,354	12,8323	12,8296	20,3290	83,5642	areia média			
0,354 - 0,250	7,1505	7,1490	11,3278	94,8921	areia média			
0,250 - 0,177	2,6565	2,6559	4,2084	99,1005	areia fina			
0,177 - 0,125	0,4802	0,4801	0,7607	99,8612	areia fina			
0,125 - 0,088	0,0776	0,0776	0,1229	99,9842	areia mt.fina			
0,088 - 0,062	0,0100	0,0100	0,0158	100,0000	areia mt.fina			
<0,062* (fundo)	0,0000	0,0000			silte/argila			
0,062 - 0,031	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte grosso			
0,031 - 0,016	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte médio			
0,016 - 0,008	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte fino			
0,008 - 0,004	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte mt. fino			
<0,004	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	argila			
Total	63,1232	63,1100	100,0000					

Tabela A1.9 – Resultados da análise granulométrica para amostra PS-v-2.

IGcUSP - GSA - LABSED							
<b>Responsável:</b> Yuri J. P. De Maman							
<b>Projeto:</b> Análise Sedimentológica Aplicada na Mineração de Areia no Vale do Ribeira.							
<b>Data:</b>	18/05/06						
<b>Amostra:</b>	PS-v-2		<b>Massa dispersante (g):</b>				
<b>*Antes da separação granulométrica*</b>			<b>*Após a separação granulométrica*</b>				
Massa total inicial - Mi (g)	66,005		Partículas 4,000 - 0,062 (g)	65,9232			
Massa dos seixos (g)	0		Partículas menores 0,062 (g)	0,0000			
Eliminação ataque químico (g)	0		Massa total final - Mf (g)	65,9232			
Volume da proveta - Vp (ml)	1000		Fator de correção Mi/Mf	1,0012			
<b>PIPETAGEM</b>							
<b>Granulometria</b>	<b>Tempo (min:s)</b>		<b>M. total (g)</b>	<b>M. frasco (g)</b>	<b>M.alíquota (g)</b>	<b>M.suspens alíq (g)</b>	<b>M susp.total (g)</b>
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,031 - 0,016	01:56	03:52	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,016 - 0,008	07:44	15:28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,008 - 0,004	31:00	62:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<0,004	123:00	246:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>PENEIRAMENTO</b>			<b>CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA</b>				
<b>Granulometria (mm)</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>M.corrig (g)</b>	<b>Prp.massa (%)</b>	<b>Prp. acumulada (%)</b>	<b>Wentworth</b>	<b>Krumbein (phi)</b>	
4,000 - 2,830	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	grânulo		
2,830 - 2,000	5,3302	5,3368	8,0855	8,0855	grânulo		
2,000 - 1,410	9,0153	9,0265	13,6755	21,7609	areia mt.grossa		
1,410 - 1,000	15,6705	15,6899	23,7708	45,5318	areia mt.grossa		
1,000 - 0,707	14,8846	14,9031	22,5787	68,1105	areia grossa		
0,707 - 0,500	11,1194	11,1332	16,8672	84,9777	areia grossa		
0,500 - 0,354	6,8483	6,8568	10,3883	95,3660	areia média		
0,354 - 0,250	2,1703	2,1730	3,2922	98,6581	areia média		
0,250 - 0,177	0,6829	0,6837	1,0359	99,6940	areia fina		
0,177 - 0,125	0,1842	0,1844	0,2794	99,9735	areia fina		
0,125 - 0,088	0,0175	0,0175	0,0265	100,0000	areia mt.fina		
0,088 - 0,062	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	areia mt.fina		
<0,062* (fundo)	0,0000	0,0000			silte/argila		
0,062 - 0,031	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte grosso		
0,031 - 0,016	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte médio		
0,016 - 0,008	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte fino		
0,008 - 0,004	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte mt. fino		
<0,004	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	argila		
Total	65,9232	66,0050	100,0000				

Tabela A1.10 – Resultados da análise granulométrica para amostra RM-v-1.

IGcUSP - GSA - LABSED							
<b>Responsável:</b> Yuri J. P. De Maman							
<b>Projeto:</b> Análise Sedimentológica Aplicada na Mineração de Areia no Vale do Ribeira.							
<b>Data:</b>	15/08/06						
<b>Amostra:</b>	RM-v-1		<b>Massa dispersante (g):</b>				
<b>*Antes da separação granulométrica*</b>				<b>*Após a separação granulométrica*</b>			
Massa total inicial - Mi (g)	66,135		Partículas 4,000 - 0,062 (g)		66,0779		
Massa dos seixos (g)	0		Partículas menores 0,062 (g)		0,0000		
Eliminação ataque químico (g)	0		Massa total final - Mf (g)		66,0779		
Volume da proveta - Vp (ml)	1000		Fator de correção Mi/Mf		1,0009		
<b>PIPETAGEM</b>							
<b>Granulometria</b>	<b>Tempo (min:s)</b>		<b>M. total (g)</b>	<b>M. frasco (g)</b>	<b>M.alíquota (g)</b>	<b>M.suspens alíq (g)</b>	<b>M susp.total (g)</b>
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,031 - 0,016	01:56	03:52	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,016 - 0,008	07:44	15:28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,008 - 0,004	31:00	62:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<0,004	123:00	246:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>PENEIRAMENTO</b>			<b>CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA</b>				
<b>Granulometria (mm)</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>M.corrig (g)</b>	<b>Prp.massa (%)</b>	<b>Prp. acumulada (%)</b>	<b>Wenthwort</b>	<b>Krumbein (phi)</b>	
4,000 - 2,830	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	grânulo		
2,830 - 2,000	6,9486	6,9546	10,5158	10,5158	grânulo		
2,000 - 1,410	6,8499	6,8558	10,3664	20,8822	areia mt.grossa		
1,410 - 1,000	10,6885	10,6977	16,1756	37,0578	areia mt.grossa		
1,000 - 0,707	10,1251	10,1338	15,3230	52,3808	areia grossa		
0,707 - 0,500	9,5881	9,5964	14,5103	66,8910	areia grossa		
0,500 - 0,354	10,5465	10,5556	15,9607	82,8518	areia média		
0,354 - 0,250	7,6258	7,6324	11,5406	94,3924	areia média		
0,250 - 0,177	2,8621	2,8646	4,3314	98,7238	areia fina		
0,177 - 0,125	0,7856	0,7863	1,1889	99,9127	areia fina		
0,125 - 0,088	0,0577	0,0577	0,0873	100,0000	areia mt.fina		
0,088 - 0,062	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	areia mt.fina		
<0,062* (fundo)	0,0000	0,0000			silte/argila		
0,062 - 0,031	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte grosso		
0,031 - 0,016	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte médio		
0,016 - 0,008	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte fino		
0,008 - 0,004	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte mt. fino		
<0,004	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	argila		
Total	66,0779	66,1350	100,0000				

Tabela A1.11 – Resultados da análise granulométrica para amostra RM-v-2.

IGcUSP - GSA - LABSED							
<b>Responsável:</b> Yuri J. P. De Maman							
<b>Projeto:</b> Análise Sedimentológica Aplicada na Mineração de Areia no Vale do Ribeira.							
<b>Data:</b>	15/08/06						
<b>Amostra:</b>	RM-v-2		<b>Massa dispersante (g):</b>				
<b>*Antes da separação granulométrica*</b>			<b>*Após a separação granulométrica*</b>				
Massa total inicial - Mi (g)	63,5421	Partículas 4,000 - 0,062 (g)					63,3467
Massa dos seixos (g)	0	Partículas menores 0,062 (g)					0,0000
Eliminação ataque químico (g)	0	Massa total final - Mf (g)					63,3467
Volume da proveta - Vp (ml)	1000	Fator de correção Mi/Mf					1,0031
<b>PIPETAGEM</b>							
<b>Granulometria</b>	<b>Tempo (min:s)</b>	<b>M. total (g)</b>	<b>M. frasco (g)</b>	<b>M.alíquota (g)</b>	<b>M.suspens alíq (g)</b>	<b>M susp.total (g)</b>	
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,031 - 0,016	01:56	03:52	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,016 - 0,008	07:44	15:28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,008 - 0,004	31:00	62:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<0,004	123:00	246:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>PENEIRAMENTO</b>		<b>CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA</b>					
<b>Granulometria (mm)</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>M.corrig (g)</b>	<b>Prp.mass (%)</b>	<b>Prp.acumulada (%)</b>	<b>Wenthwort</b>	<b>Krumbein (phi)</b>	
4,000 - 2,830	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	grânulo		
2,830 - 2,000	1,6888	1,6940	2,6660	2,6660	grânulo		
2,000 - 1,410	2,5248	2,5326	3,9857	6,6516	areia mt.grossa		
1,410 - 1,000	4,7856	4,8004	7,5546	14,2063	areia mt.grossa		
1,000 - 0,707	5,8843	5,9025	9,2890	23,4953	areia grossa		
0,707 - 0,500	6,7139	6,7346	10,5987	34,0940	areia grossa		
0,500 - 0,354	9,9074	9,9380	15,6400	49,7339	areia média		
0,354 - 0,250	12,8233	12,8629	20,2430	69,9770	areia média		
0,250 - 0,177	10,3830	10,4150	16,3908	86,3677	areia fina		
0,177 - 0,125	7,4139	7,4368	11,7037	98,0714	areia fina		
0,125 - 0,088	1,1258	1,1293	1,7772	99,8486	areia mt.fina		
0,088 - 0,062	0,0959	0,0962	0,1514	100,0000	areia mt.fina		
<0,062* (fundo)	0,0000	0,0000			silte/argila		
0,062 - 0,031	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte grosso		
0,031 - 0,016	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte médio		
0,016 - 0,008	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte fino		
0,008 - 0,004	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	silte mt. fino		
<0,004	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	argila		
Total	63,3467	63,5421	100,0000				

Tabela A1.12 – Resultados médios da semi-quantificação à lupa binocular para “areia branca”.

Fração Granulométrica (mm)	Quartzo						Mineralogia						Fragmentos Líticos			
	Hialino	Impregnado	Leitoso	Feldspato	Biotita	Turmalina	Epídoto	Ilmenita	Muscovita	Xistoso	Granítico	Quartzítico				
+ 2,00 mm	1%	Traço	3%	Traço	0%	0%	0%	0%	Traço	Traço	1%	1%				
- 2,00 e + 1,00 mm	6%	1%	9%	1%	0%	0%	0%	0%	Traço	Traço	1%	1%	4%			
- 1,00 e + 0,50 mm	11%	2%	10%	1%	0%	1%	0%	1%	Traço	Traço	1%	1%	5%			
- 0,50 e + 0,250 mm	9%	1%	9%	1%	Traço	Traço	0%	Traço	Traço	Traço	1%	1%	3%			
- 0,250 e + 0,125 mm	4%	1%	3%	Traço	Traço	Traço	Traço	Traço	Traço	Traço	1%	0%	1%			
- 0,125 e + 0,064 mm	Traço	Traço	Traço	0%	0%	Traço	Traço	Traço	0%	0%	0%	0%	Traço			
<i>Total</i>	31%	5%	35%	3%	Traço	1%	Traço	Traço	2%	4%	4%	4%	14%			

\* São consideradas traço proporções inferiores a 1%, em média.

Tabela A1.13 – Resultados médios da semi-quantificação à lupa binocular para “areia vermelha”.

Fração Granulométrica (mm)	Quartzo						Mineralogia						Fragmentos Líticos			
	Hialino	Impregnado	Leitoso	Feldspato	Biotita	Turmalina	Epídoto	Ilmenita	Muscovita	Xistoso	Granítico	Quartzítico				
+ 2,00 mm	1%	3%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	Traço	Traço	1%	1%	3%			
- 2,00 e + 1,00 mm	3%	7%	5%	2%	0%	0%	0%	0%	Traço	Traço	1%	1%	5%			
- 1,00 e + 0,50 mm	6%	8%	7%	3%	0%	0%	0%	0%	Traço	Traço	1%	2%	5%			
- 0,50 e + 0,250 mm	6%	4%	7%	2%	0%	0%	0%	0%	Traço	Traço	1%	Traço	4%			
- 0,250 e + 0,125 mm	2%	1%	3%	Traço	0%	0%	0%	0%	Traço	Traço	0%	Traço	1%			
- 0,125 e + 0,064 mm	Traço	Traço	Traço	1%	0%	Traço	Traço	Traço	0%	Traço	0%	0%	0%			
<i>Total</i>	18%	23%	25%	9%	0%	Traço	Traço	Traço	1%	4%	3%	18%				

\* São consideradas traço proporções inferiores a 1%, em média.

Tabela A1.14 - Resultados de quantificação de minerais pesados ( $d>2,85 \text{ g/cm}^3$ ) ao microscópio petrográfico - "Areia Vermelha" - Fração Areia Fina (-0,250 +0,125 mm)

CÓDIGO DA AMOSTRA	OPAC	ZIRC	TURM	RUTI	ESTA	EPÍD	APAT	TITA	SILL	CIAN	ZOIS	GRAN	HORN	AND	HIPE	ALTE	TOTAL	iZTR	iMET	ÍNDICES DE MATURIDADE QUÍMICA	
																				iINS	
Eq.hidráulico	1,00	0,90	0,10	0,60	0,50	0,50	0,50	0,50	0,25	0,30	0,60	0,20	0,40	0,40	0,10						
SE-v-1	21,00	0,94	1,89	0,00	5,66	14,15	0,00	0,94	4,72	0,94	0,00	1,89	54,72	3,77	0,94	9,43	100,00	2,83%	28,30%	68,87%	
SE-v-2	36,00	0,84	2,52	0,84	7,56	11,76	0,00	2,52	4,20	0,00	2,52	3,36	52,94	2,52	0,00	8,40	100,00	4,20%	31,93%	63,87%	
PS-v-1	13,00	0,97	14,56	0,00	0,00	17,48	0,00	0,00	10,68	0,97	0,00	3,88	38,83	0,97	1,94	9,71	100,00	15,53%	33,01%	51,46%	
PS-v-2	20,00	0,97	6,80	0,00	0,00	13,59	0,00	0,00	3,88	0,00	1,94	7,77	51,46	0,00	5,83	7,77	100,00	7,77%	27,18%	65,05%	
RM-v-1	21,00	0,90	11,71	0,00	3,60	17,12	0,00	1,80	9,01	0,00	0,90	36,04	1,80	4,50	11,71	100,00	12,61%	33,33%	54,05%		
RM-v-2	27,00	0,96	6,73	0,96	6,73	15,38	0,00	0,96	7,69	0,00	0,00	0,96	49,04	2,88	1,92	5,77	100,00	8,65%	31,73%	59,62%	
<b>MÁXIMO</b>	36,0	1,0	14,6	1,0	7,6	17,5	0,0	2,5	10,7	1,0	2,5	7,8	54,7	3,8	5,8	11,7	100,0	15,53%	33,33%	68,87%	
<b>MÍNIMO</b>	13,0	0,8	1,9	0,0	0,0	11,8	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0	0,9	36,0	0,0	0,0	5,8	100,0	2,83%	27,18%	51,46%	
<b>MÉDIA</b>	23,0	0,9	7,4	0,3	3,9	14,9	0,0	1,0	6,7	0,3	0,9	3,1	47,2	2,0	2,5	8,8	100,0	8,60%	30,92%	60,48%	
<b>D.PADRÃO</b>	7,1	0,0	4,6	0,4	3,0	2,0	0,0	0,9	2,6	0,5	1,0	2,4	7,1	1,2	2,0	1,8	0,0	4,43%	2,33%	6,14%	

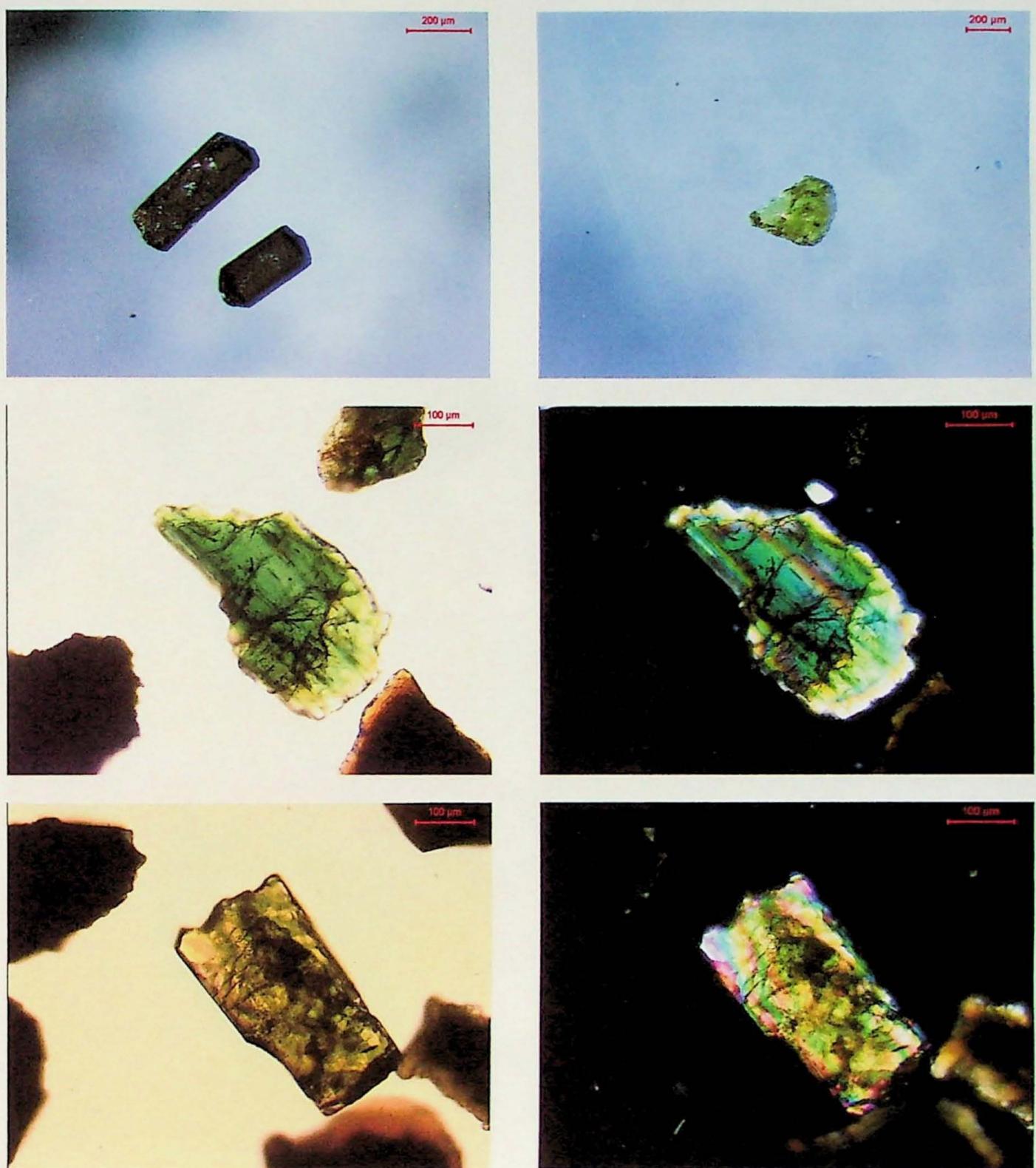
Tabela A1.15 - Resultados de quantificação de minerais pesados ( $d>2,85 \text{ g/cm}^3$ ) ao microscópio petrográfico - "Areia Branca" - Fração Areia Fina (-0,250 +0,125 mm)

CÓDIGO DA AMOSTRA	OPAC	ZIRC	TURM	RUTI	ESTA	EPÍD	APAT	TITA	SILL	CIAN	ZOIS	GRAN	HORN	AND	HIPE	ALTE	TOTAL	iZTR	iMET	ÍNDICES DE MATURIDADE QUÍMICA	
																				iINS	
Eq.hidráulico	1,00	0,90	0,10	0,60	0,50	0,50	0,50	0,50	0,25	0,30	0,60	0,20	0,40	0,40	0,10						
PO-b-1	7,00	2,54	15,25	0,00	0,00	10,17	0,00	0,00	10,17	0,00	0,85	5,93	42,37	0,00	9,32	3,39	100,00	17,80%	27,12%	55,08%	
PS-b-1	19,00	1,92	6,73	0,00	1,92	12,50	1,92	0,96	9,62	0,96	0,96	47,12	3,85	3,85	6,73	100,00	8,65%	29,81%	61,54%		
PS-b-2	24,00	1,79	8,93	0,00	3,57	23,21	0,89	0,00	9,82	0,89	0,00	4,46	32,14	0,00	7,14	7,14	100,00	10,71%	42,86%	46,43%	
RM-b-1	16,00	0,00	5,22	0,00	8,70	0,00	0,00	4,35	1,74	0,00	4,35	55,65	0,00	0,87	13,91	100,00	5,22%	24,35%	70,43%		
RP-b-1	17,00	0,93	14,95	0,00	0,93	21,50	0,00	0,00	6,54	0,93	1,87	37,38	0,00	6,54	7,48	100,00	15,89%	32,71%	51,40%		
<b>MÁXIMO</b>	24,0	2,5	15,3	0,0	5,2	23,2	1,9	1,0	10,2	1,7	1,0	5,9	55,7	3,8	9,3	13,9	100,0	17,80%	42,86%	70,43%	
<b>MÍNIMO</b>	7,0	0,0	5,2	0,0	0,0	8,7	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0	1,0	32,1	0,0	0,9	3,4	100,0	5,22%	24,35%	46,43%	
<b>MÉDIA</b>	16,6	1,4	10,2	0,0	2,3	15,2	0,6	0,2	8,1	0,9	0,5	3,5	42,9	0,8	5,5	7,7	100,0	11,65%	31,37%	56,98%	
<b>D.PADRÃO</b>	5,5	0,9	4,2	0,0	1,9	6,0	0,8	0,4	2,3	0,6	0,4	1,8	8,1	1,5	2,9	3,4	0,0	4,63%	6,38%	8,34%	

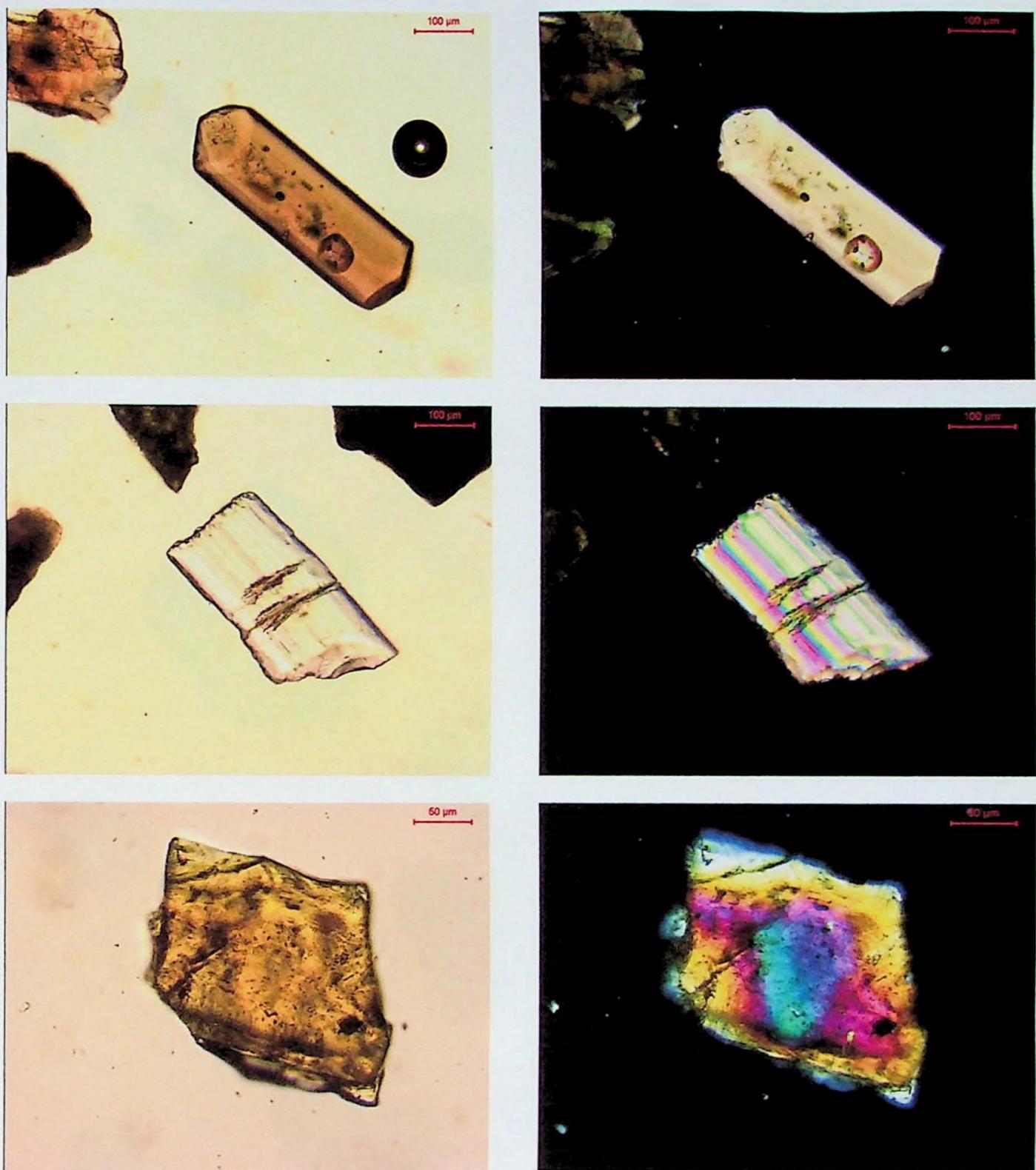
**ANEXO II – FOTOMICROGRAFIAS À LUPA BINOCULAR  
E AO MICROSCÓPIO ÓPTICO.**



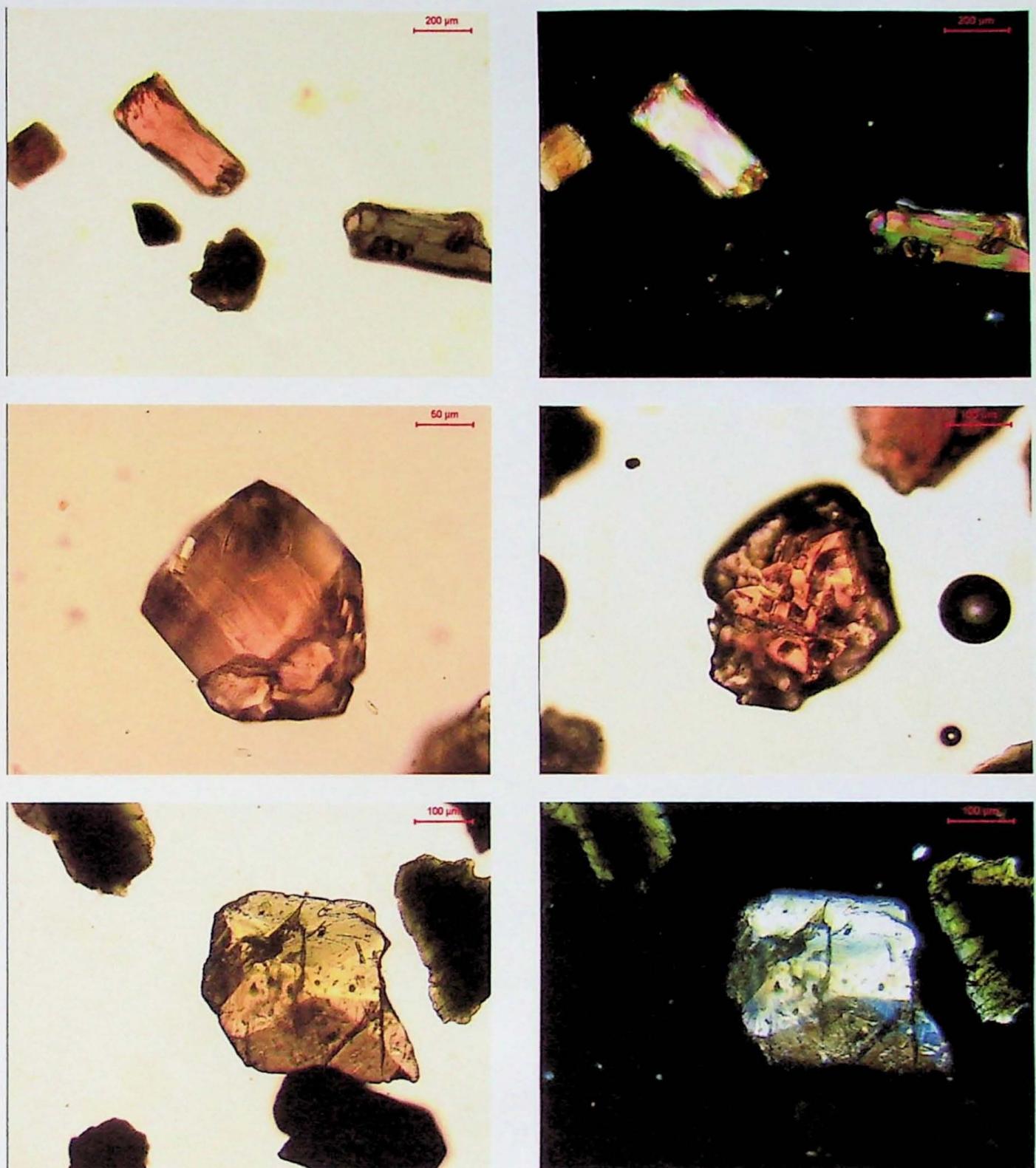
**Quadro A2.1 – Fotomicrografias à lupa estereoscópica, luz transmitida** – Topo: à esquerda, grãos de quartzo “hialino” (RM-b-1); à direita, grãos de quartzo “leitoso” (PS-b-1). Centro: à esquerda, grãos de quartzo “impregnado” (PS-v-1); à direita, grãos de feldspato (PS-v-2). Base: à esquerda, fragmentos líticos “xistosos” (RM-b-1); à direita, fragmentos líticos “quartzíticos” (PS-b-1).



**Quadro A2.2 – Fotomicrografias à lupa estereoscópica, luz transmitida –** Topo: à esquerda, grãos de turmalina (RP-b-1); à direita, grão de epíodo (RP-b-1). **Fotomicrografias ao microscópio óptico polarizado –** Centro: hornblenda de cor verde típica, subédrica e angulosa (PO-b-1). Base: epíodo (*pistachita*) prismático e subédrico (PO-b-1). Nas figuras de centro e base: nicóis paralelos (N//) à esquerda e nicóis cruzados (NX) à direita.



**Quadro A2.3 – Fotomicrografias ao microscópio óptico polarizado** – Topo: turmalina castanha comum (*schorlítica*), prismática e alongada. Notar a presença de inclusões no cristal (RM-v-2). Centro: sillimanita incolor, prismática e subédrica. Notar feições de partição basal (PO-b-1). Base: cristal de coloração amarelada, facetado e angulosso, de estaurolita, exibindo cores típicas de interferência (RM-v-2). Nicóis paralelos (N//) à esquerda e nicóis cruzados (NX) à direita.



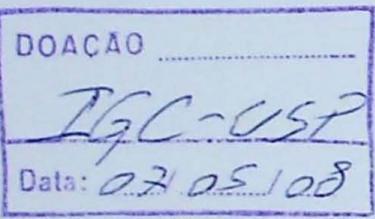
**Quadro A2.4 – Fotomicrografias ao microscópio óptico polarizado** – Topo: grãos prismáticos e subédricos de hiperstênio, exibindo matizes típicas de seu pleocroísmo (rosa e verde) (PS-v-2). Centro: à esquerda, granada rosada (almandina?) subédrica, rara nos sedimentos estudados (SE-v-1); à direita, granada rosada (almandina?), anédrica, com feições de picoteamento superficial (PO-b-1). Base: titanita prismática, de coloração amarelo-dourada e cor de interferência anômala “azul prateado” (RM-v-2). Topo e base: nicóis paralelos ( $N//$ ) à esquerda e nicóis cruzados ( $NX$ ) à direita.

De acordo:

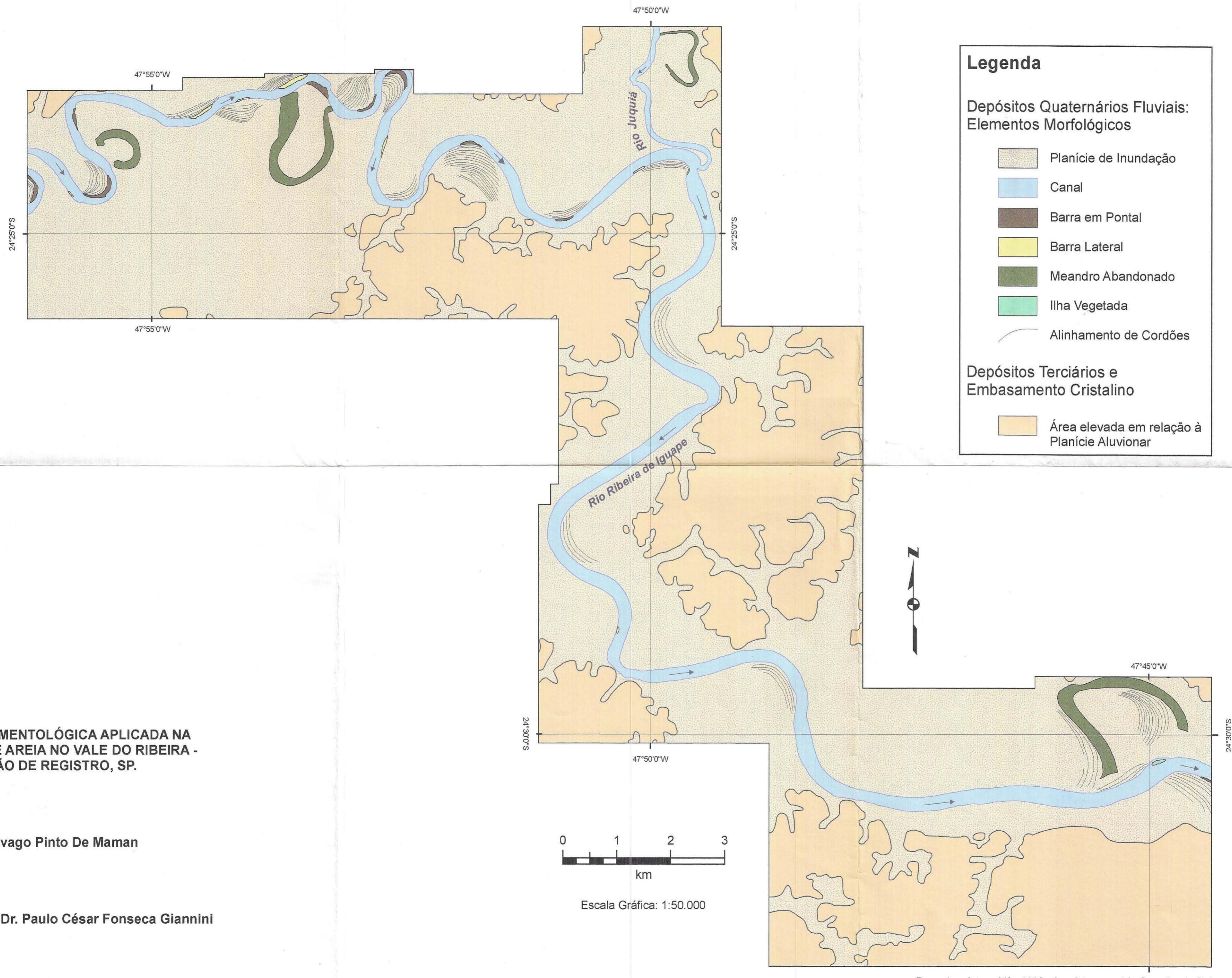
Yuri Jivago Pinto De Maman  
Yuri Jivago Pinto De Maman

Pontes

Prof. Dr. Paulo César Fonseca Giannini



# Mapa Fotointerpretativo



# Mosaico Aerofotográfico





## Mapa de Localização das Amostras



Base: Cena 035-784 - Sensor Landsat 7 - Composição de Bandas 7-5-2



Escala Gráfica: 1:100.000

ANÁLISE SEDIMENTOLÓGICA APLICADA NA  
MINERAÇÃO DE AREIA NO VALE DO RIBEIRA -  
REGIÃO DE REGISTRO, SP.

Yuri Jivago Pinto De Maman

Orientador: Prof.<sup>º</sup> Dr. Paulo César Fonseca Giannini

Figura A3.1

