

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**PROVENIÊNCIA DAS AREIAS INCONSOLIDADAS DO RIO  
JACUÍ - RS**

**TAMARA FRANÇA MACHADO**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Marcus V. D. Remus

Volume I

Porto Alegre, fevereiro de 2011.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**PROVENIÊNCIA DAS AREIAS INCONSOLIDADAS DO RIO  
JACUÍ - RS**

**TAMARA FRANÇA MACHADO**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Marcus V. D. Remus

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Norberto Dani  
Prof. Dr. Elirio Ernestino Toldo Jr.  
Prof.<sup>a</sup> Dra. Karin Goldberg

Dissertação de Mestrado apresentada  
como requisito parcial para a obtenção  
do Título de Mestre em Geociências.

Porto Alegre, fevereiro de 2011.

*"É melhor tentar e falhar,  
que preocupar-se e ver a vida passar;  
é melhor tentar, ainda que em vão,  
que sentar-se fazendo nada até o final.  
Eu prefiro na chuva caminhar,  
que em dias tristes em casa me  
esconder.  
Prefiro ser feliz, embora louco,  
que em conformidade viver ."*

Martin Luther King

## Resumo

Esta dissertação trata do estudo da assembléia de minerais pesados para a determinação da proveniência dos depósitos de areia inconsolidados do Rio Jacuí e seus principais afluentes, congregando principalmente as bacias hidrográficas do Baixo Jacuí e do Vacacaí-Vacacaí Mirim. O Rio Jacuí é o maior rio do estado do Rio Grande do Sul e, apesar da sua importância para o mercado de mineração de areia, pouco se sabe a respeito das áreas-fonte que contribuem para estes depósitos e das principais rotas de distribuição das mesmas. A análise de minerais pesados é uma importante ferramenta utilizada na investigação de sedimentos, pois a diversidade e ocorrência de parâmetros diagnósticos de rochas-fonte particulares tornam esta técnica a mais sensível e precisa, aplicada aos estudos de proveniência sedimentar. A amostragem de sedimentos ativos foi realizada em 19 pontos da bacia de drenagem. Separou-se a fração de areia fina e muito fina para a obtenção dos concentrados de minerais pesados. Os principais minerais pesados translúcidos identificados são: granada, turmalina, hornblenda, zircão, apatita, epidoto e estauroлита, e minoritariamente rutilo, piroxênio, cianita, silimanita, andaluzita, titanita, actinolita e tremolita. O principal piroxênio identificado foi o hiperstênio. Os minerais opacos principais identificados foram: magnetita, ilmenita, hematita e, ocasionalmente piritita. Os resultados demonstram que as principais áreas-fonte que contribuem na composição dos sedimentos do Rio Jacuí são o Escudo Sul-Riograndense, cujos sedimentos são trazidos através de afluentes, localizados a sul, e as rochas sedimentares da Bacia do Paraná. As rochas das formações Serra Geral e Tupanciretã contribuem minoritariamente como fonte de sedimentos arenosos nos pontos estudados. A redução pequena, mas consistente do índice ATi, nas amostras coletadas no Rio Jacuí, em direção à jusante do rio, indica a atuação do intemperismo ácido sobre os grãos de apatita. Um padrão semelhante é identificado no índice GZi indicando dissolução parcial da granada devido ao intemperismo. O índice ZTR baixo ( $< 12$ ) mantém-se praticamente inalterado ao longo do curso principal do Jacuí, demonstrando uma forte contribuição de sedimentos trazidos pelos afluentes do rio. O índice de arredondamento da apatita, consistentemente baixo, também não possui grandes variações (6 – 12, exceto em uma amostra), corroborando esta hipótese. Desta forma, estes índices representam a assinatura de minerais pesados do Rio Jacuí e podem ser utilizados para avaliar a contribuição dos sedimentos do rio no preenchimento da porção mais jovem da bacia de Pelotas.

Palavras-chave: Proveniência Sedimentar, Minerais Pesados, Rio Jacuí.

## Abstract

This monography focus on heavy mineral analysis apply to provenance studies of unconsolidated sand deposits of Jacui River and his main afluentes, evolving the hydrographic basins of Baixo Jacui and Vacacai-Vacacai Mirim. The Jacui River is the major river of Rio Grande do Sul state and despite his importance for the aggregate mineral industry, very low attention has been concentrated in knowledge of source-areas and the main routes of sand distribution. The heavy mineral analysis is an important tool used in sedimentologic investigations, because the diversity and diagnostic paragenesis found in specific source rocks make the analysis of heavy minerals the most sensitive and robust technique for provenance studies. Sampling of load sediments was done in 19 spots along the drainage basin. Fine to very fine sand fraction was split-out in order to obtain the heavy mineral portion. The main heavy mineral assemblage identified are: garnet, tourmaline, hornblende, zircon, apatite, staurolite, and minor rutile, pyroxene, kyanite, sillimanite, andaluzite, titanite, actinolite and tremolite. The principal pyroxene is hypersthene. The identified opaque minerals are magnetite, ilmenite, hematite and pyrite. Results indicate that the main source-area for unconsolidated sands of Jacui River is the Rio Grande do Sul Shield through his afluentes coming from south Jacui river margin. Sedimentary rocks from Parana basin formations are also important source-area for unconsolidated river sands. Volcanic rocks from Serra Geral and sedimentary fluvial rocks from Tupanciretã formations source-areas show minor contribution. The low but consistent decreasing of ATi index, in samples from main course Jacui River, going to jusante direction, indicates acid weathering on apatite grains. Similar pattern is observed in the GZi index which indicates partial dissolution of garnet due to weathering action. The low ZTR index ( $< 12$ ) is virtually conserved along the main course of Jacui River showing a strong contribution of sediments coming from the river afluentes. The rounded apatite index, consistently low, also is almost constant (Ari = 6-12, except one sample) and agrees with that idea. Further, the heavy minerals signature of Jacui River would help to better understand the provenance and filling of young section of Pelotas marginal basin.

Key words: Sedimentary provenance, heavy minerals, Jacui River.

## **SUMÁRIO**

Resumo.....	4
Abstract.....	5
<b>CAPÍTULO 1</b>	
1. INTRODUÇÃO	
1.1 Objetivos.....	9
1.2 Geomorfologia do Rio Grande do Sul.....	10
1.3 Bacias Hidrográficas .....	10
1.3.1 Região Hidrográfica do Guaíba.....	10
1.4 Rio Jacuí.....	11
1.5 Proveniência x Minerais Pesados.....	11
1.6 Geologia do Rio Grande do Sul.....	17
1.6.1 Escudo Sul-Riograndense.....	18
1.6.2 Bacia do Paraná.....	21
1.6.3 Formação Serra Geral.....	22
1.6.4 Cobertura Sedimentar Cenozóica.....	23
<b>CAPÍTULO 2</b>	
2. METODOLOGIA.....	26
<b>CAPÍTULO 3</b>	
3. RESULTADOS.....	35
<b>CAPÍTULO 4 – CORPO PRINCIPAL DA DISSERTAÇÃO</b>	
Carta de Submissão do Artigo.....	43
Artigo.....	44
<b>CAPÍTULO 5</b>	
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
<b>ANEXO</b>	
Tabela de Quantificação (CD-ROM).....	73

### **Sobre a Estrutura desta Dissertação:**

Esta dissertação de mestrado está estruturada em forma de artigo científico. Conseqüentemente, sua organização compreende as seguintes partes principais:

- a) Introdução sobre o tema e descrição do objeto da pesquisa de mestrado, onde estão sumarizados os objetivos, o estado da arte sobre o tema de pesquisa, a metodologia e os resultados.
- b) Corpo principal, correspondente ao artigo submetido à Revista Pesquisa em Geociências, escrito pelo autor durante o desenvolvimento de seu mestrado.
- c) Considerações finais, contendo a interpretação e discussão dos dados obtidos, e referências bibliográficas.

Em anexo contém a tabela de quantificação dos minerais pesados, utilizada para este trabalho.

# CAPÍTULO 1



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho consiste na execução de análises petrológicas dos minerais pesados detríticos da bacia de drenagem do Jacuí para definir a proveniência das areias e suas rotas de distribuição. A partir da identificação da proveniência e do padrão de dispersão dos minerais pesados constituintes dos sedimentos, poderemos compreender os processos sedimentares operantes ao longo do rio e indicar os principais processos que controlaram a composição e textura dos depósitos de areia inconsolidados.

O Rio Jacuí corresponde ao maior rio do estado do Rio Grande do Sul (fig. 1) e, apesar de sua importância para produção e extração de areia no RS, nada se sabe sobre a importância e contribuição de cada área-fonte na geração destes depósitos. Para este trabalho foram analisadas amostras de sedimentos do Rio Jacuí e alguns afluentes, congregando áreas da Bacia Hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim e do Baixo Jacuí, além de uma amostra coletada na Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí.



Fig. 1: Mapa Ilustrativo das Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul. No retângulo menor está selecionada a área de estudo.

## **1.2 Geomorfologia do Rio Grande do Sul**

Ao norte do Rio Grande do Sul situa-se o Planalto Meridional, formado por rochas vulcânicas decorrentes de um intenso derrame de lavas, ocorrido na era Mesosóica. Sua extremidade a oeste, expressa o resultado do trabalho da erosão diferencial, sendo denominada de *Cuesta do Haedo*. Na região nordeste do estado encontram-se as terras mais altas do Planalto Meridional. Suas bordas correspondem à chamada Serra Geral.

Ao centro do estado está a Depressão Central que é formada de rochas sedimentares dando origem a um extenso corredor que liga o oeste ao leste, através de terrenos de baixa altitude.

Ao sul localiza-se o Escudo Sul-Riograndense, com rochas ígneas e metamórficas do período Pré-Cambriano e, por isto mesmo, muito desgastadas pela erosão.

A Planície Costeira teve sua formação no período Quaternário da era Cenozóica e corresponde a uma faixa arenosa de 622km, com grande ocorrência de lagunas e lagoas, entre as quais destacam-se a Laguna dos Patos e Mirim. O processo de formação desta região tem caráter evolutivo, estando em constante mutação, como decorrência da sedimentação marinha e fluvio-lacustre (SEMA, 2011).

## **1.3 Bacias Hidrográficas**

O território do Rio Grande do Sul é formado por três grandes regiões hidrográficas: do Uruguai, do Guaíba e Litorânea.

### **1.3.1 Região Hidrográfica do Guaíba**

A Região Hidrográfica do Guaíba tem 84.763,54 Km<sup>2</sup>, abrangendo mais de 250 municípios em 30% do território gaúcho. Situa-se na região nordeste do estado, entre os paralelos 28° S e 31°S e os meridianos 50°W e 54°W. As nove bacias que compõem a Região Hidrográfica do Guaíba são: Alto Jacuí, Taquari-Antas, Vacacaí-Vacacaí Mirim, Baixo Jacuí, Pardo, Caí, Sinos, Gravataí e Lago Guaíba.

#### **1.4 Rio Jacuí**

No Rio Grande do Sul distingue-se, basicamente, dois grupos de cursos d'água, os que correm para o Atlântico e os que correm para o Rio Uruguai (Vieira, 1984).

O Rio Jacuí está localizado na região Hidrográfica do Guaíba e possui uma área de 71.600km<sup>2</sup>. O Rio Jacuí nasce no Planalto (Serra Geral), cerca de 10 km a leste da cidade de Passo Fundo, numa altitude aproximada de 730m, e desemboca no Guaíba, sendo que seu comprimento total aproximado é de 800km (FEPAM, 2002). Toda a sua área de drenagem caracteriza-se pelo uso intensivo do solo para agricultura e pecuária. O seu trecho superior (Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí) caracteriza-se também pelo aproveitamento energético, possuindo elevado potencial hidroelétrico. Além disso, o Rio Jacuí concentra os maiores depósitos de areia utilizados na indústria de concreto do estado. O Rio Jacuí é navegável por 352km, desde a foz até o município de Dona Francisca (SEMA, 2011).

O Rio Jacuí corre inicialmente para a direção sudoeste até a Depressão Central, onde recebe as águas dos rios Vacacaí-Mirim e Vacacaí na margem direita. À partir deste ponto toma a direção leste-oeste, percorrendo cerca de 300km até sua foz, no Delta do Jacuí, onde desembocam os rios Gravataí, Sinos e Caí.

#### **1.5 Proveniência x Minerais Pesados**

Designam-se por minerais pesados os grãos minerálicos que ocorrem normalmente como acessórios em rochas ígneas e metamórficas, cuja densidade é superior a 2,85, isto é, superior a do quartzo (2,65) e a dos feldspatos (2,56 a 2,76).

Na natureza, a concentração de minerais pesados ocorre, sobretudo, em virtude da perda de energia da corrente produzida pelo agente de transporte (rio, mar, vento) o que ocasiona a deposição desses minerais densos nos sítios mais propícios. Os sítios mais favoráveis à concentração dos minerais pesados encontram-se nos meandros dos rios, nos pontos localizados logo após o encontro de rios com diferentes velocidades de correntes, nos poços de cachoeiras, nas zonas de remanso localizadas depois de corredeiras ou em marmitas encontradas nos leitos rochosos das drenagens (Pereira *et al.* 2005).

Os primeiros estudos utilizando minerais pesados foram efetuados no final do século XIX. Contudo, até o início do século XX, o estudo da composição mineralógica dos sedimentos era feito, essencialmente, do ponto de vista qualitativo.

Edelman, em 1933 (*apud* Dias, 2004), introduziu o conceito de "província sedimentar" para designar o conjunto de sedimentos que possuem a mesma idade de formação, a mesma origem e a mesma distribuição. Este autor realizou o primeiro estudo sedimentológico baseado no exame sistemático da distribuição dos minerais.

Nas décadas de 50 e 60 do século XX a escola francesa obteve grande êxito na utilização das diferentes espécies ou variedades de espécies como indicadores de origem e como traçadores do transporte sedimentar. Ainda no século XX, sobretudo após a Segunda Guerra Mundial, a escola americana desenvolveu uma linha de pesquisa com base na interpretação do comportamento hidrodinâmico dos diferentes grãos de minerais pesados presentes em diferentes ambientes sedimentares atuais. O primeiro trabalho realizado neste sentido foi o de Rubey (1933).

O termo "proveniência" é derivado de *provenir*, que significa "originado", "vindo de". Convencionalmente, este termo é utilizado para referir-se a uma área ou rocha da qual são derivados os grãos constituintes de um sedimento.

Atualmente, a análise da proveniência sedimentar é considerada uma importante ferramenta utilizada na análise de bacias. Estudos petrológicos e geoquímicos dos componentes detríticos constituem uma potencial ferramenta para a compreensão dos padrões de preenchimento das bacias e previsão da distribuição dos corpos-reservatórios. A composição original das areias controla diretamente os tipos e a intensidade dos processos diagenéticos de redução e geração de porosidade nos arenitos. Por isso, o estudo de proveniência é particularmente utilizado na exploração de reservatórios de hidrocarbonetos para a predição da qualidade de potenciais arenitos-reservatórios.

Além disso, o estudo da assembléia de minerais pesados tem sido utilizado para análise da alteração química em sedimentos fluviais em bacias de drenagens Sul-Americanas (Johnson & Meade, 1990; Morton & Johnsson, 1993).

Tanto os minerais detríticos leves como os pesados têm sua importância nos estudos de proveniência, porém os minerais pesados apresentam uma maior contribuição. Feições variadas como inclusões, cor e morfologia servem como guias para determinar o tipo de rocha-fonte. Os minerais pesados, de modo geral, tendem a concentrar-se no ciclo sedimentar, em razão de algumas espécies serem muito resistentes aos processos de intemperismo e diagênese. (Morton, 1984; Weltje & von Eynatten, 2004). Desde os estudos de Boswell (1933, *apud* Pettijohn, 1975),

minerais detríticos, particularmente os pesados, vêm sendo usados como elementos chave para a identificação da natureza da área-fonte. Sua deposição e distribuição na área de sedimentação podem ser utilizadas como indicativo das direções das correntes preferenciais do transporte sedimentar.

Em geral, climas úmidos alteram mais a composição original de um sedimento/rocha do que climas áridos, causando um enriquecimento em quartzo relativamente a feldspatos e fragmentos de rocha, que possuem menor estabilidade química. Este fato foi observado por Basu (1985 *apud* Fontanelli, 2007) em sedimentos oriundos tanto de rochas metamórficas quanto ígneas. No entanto, isto é válido para relevos suaves. Quando o relevo apresenta vertentes abruptas e o ângulo da vertente excede o ângulo de repouso, o tempo de residência do solo é baixo e as modificações na composição detrítica são poucas, mesmo sob clima quente e úmido. O relevo suave propicia que o tempo de residência do solo seja aumentado e quanto mais tempo exposto aos efeitos do intemperismo, maior a alteração na composição original dos sedimentos.

Johnsson *et al.* (1991) definiram regimes de erosão em termos de intemperismo e transporte limitado em seu trabalho com areias fluviais da bacia do rio Orinoco, na Venezuela e Colômbia, numa região de clima tropical. Na região orogênica da bacia de drenagem, caracterizada morfológicamente por relevo alto e encostas abruptas, os processos de transporte removem o material intemperizado assim que é liberado da rocha-fonte. A camada do solo é muito fina e o tempo de residência do solo e dos minerais é curto, resultando em areias que refletem exatamente a composição da área-fonte. Este regime é chamado de intemperismo limitado e está associado a regiões de rápido soerguimento tectônico.

Nas regiões da bacia de drenagem caracterizadas por relevo baixo, ou relevo elevado, porém aplainada por superfícies de erosão, a taxa de intemperismo excede a capacidade dos agentes de transporte de remover o material. Espessa camada de solo se desenvolve, o tempo de residência dos minerais no solo é longo, propiciando maior tempo de reação com águas superficiais e extensas modificações na composição detrítica. Este regime é chamado de transporte limitado (Fontanelli, 2007). A maioria dos grandes rios atuais possui todos os minerais encontrados nas rochas-fonte (Morton, 1985).

As ordens de grandeza dos rios são definidas pelo tamanho dos mesmos. As amostras de primeira ordem provêm de riachos e córregos que erodem somente um

tipo de litologia (e. g: granito). As de segunda ordem são sedimentos de rios maiores que drenam cadeias de montanhas. As de terceira ordem são sedimentos de grandes rios e seus deltas e praias, cuja composição reflete o ambiente tectônico porque drenam largas áreas continentais. O rio Jacuí possui uma grandeza de terceira ordem enquanto seus afluentes possuem grandezas de primeira e segunda ordem. As drenagens de segunda e terceira ordem vão misturando e concentrando os constituintes estáveis em relação aos instáveis e acabam por fornecer sedimentos mais evoluídos, enquanto que as amostras de primeira ordem refletem diretamente a composição da área fonte (Ingersoll *et al.*, 1993).

A composição das assembléias de minerais pesados presentes em sedimentos está relacionada a diversos fatores como, por exemplo: presença e abundância na área-fonte, tamanho de grão, tipo de intemperismo na área-fonte, razão entre velocidade de erosão e de intemperismo e o tempo de transporte, seleção hidráulica, condições químicas do meio, agente transportador, processos diagenéticos sofridos, entre outros fatores. Durante o ciclo geológico estes sedimentos podem ser modificados, de modo que sua composição pode ser alterada por perdas ou por enriquecimento seletivo. O estudo de proveniência envolve, então, a análise mineralógica acoplada com um conhecimento da estabilidade mineral, mecânica e química (Pettijohn, 1975) (Quadro 1).

### **Análise convencional de minerais pesados**

A análise convencional de minerais pesados detríticos consiste na determinação da composição de toda a assembléia de minerais pesados presentes nas areias ou arenitos (Morton & Hallsworth, 1994). A composição da assembléia de minerais pesados com suas diferentes proporções indica a proveniência dos sedimentos, tendo em vista as paragêneses restritas de suas ocorrências nas rochas-fonte (Milner, 1952; Hubert, 1971; Morton, 1985; Mange & Maurer, 1992).

Quadro 1: Ordem de estabilidade dos minerais (Pettijohn *et al.* 1973)

<b>ESTABILIDADE</b>	<b>MINERAIS</b>
Muito instáveis	Olivina
Instáveis	Hornblenda Actinolita Augita Diopsídio Hiperstênio Andalusita
Moderadamente estáveis	Epidoto Cianita Granada (rica em ferro) Silimanita Titanita Zoisita
Estáveis	Apatita Granada (pobre em ferro) Estaurolita Monazita Anatásio
Ultra-estáveis	Zircão Turmalina Rutilo

A distribuição dos minerais pesados em depósitos sedimentares, assim como sua proveniência, não é controlada apenas pela geografia (ou paleogeografia) e petrologia da área-fonte. Diversos fatores que atuam durante o ciclo sedimentar, como o intemperismo, o fracionamento hidráulico, a abrasão mecânica, a hidrodinâmica na deposição e a diagênese, influenciam na composição dos sedimentos e dificultam as interpretações de proveniência (Hubert, 1971; Morton, 1985; Morton & Hallsworth, 1994). A distribuição espacial destes processos pode ser observada esquematicamente na figura 2. Entretanto, a composição da rocha-fonte é o principal fator que controla a composição dos sedimentos siliciclásticos. Em

determinadas situações (clima árido e relevo acidentado) a composição dos sedimentos corresponde diretamente a das áreas-fonte (Johnsson, 1993).

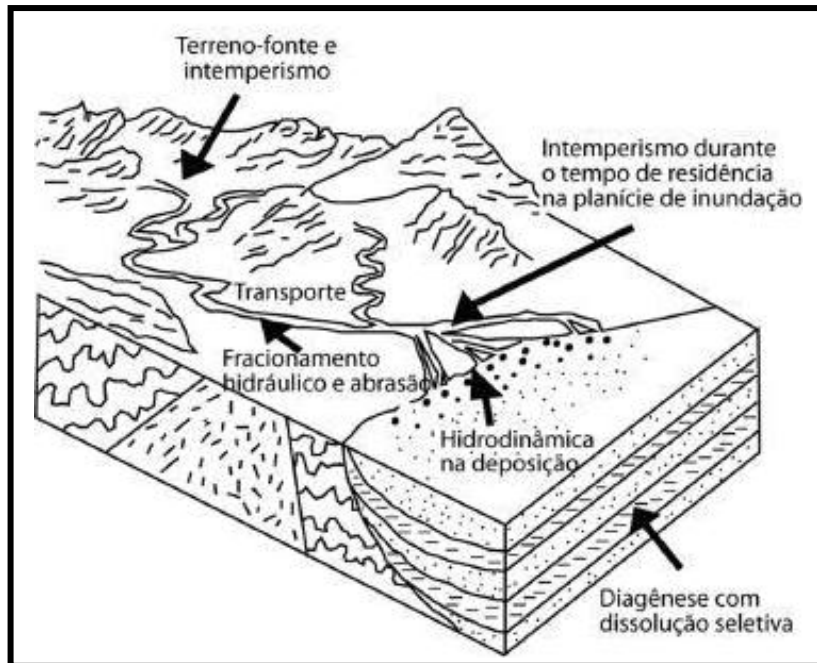


Fig. 2: Localização esquemática dos processos que influenciam na composição dos sedimentos (modificado de Morton & Hallsworth, 1994 *apud* Remus *et al.*, 2008).

Para minimizar os efeitos dos fatores que interferem no sinal de proveniência, Morton & Hallsworth (1994, 1999) propõem a utilização de minerais pesados que possuem densidades semelhantes e resistência à diagênese similares. Estes autores propõem diversos índices mineralógicos de abundância relativa para determinar a proveniência e suas modificações durante o ciclo sedimentar. Os índices utilizados neste trabalho foram:

- ATi (100 x apatita / apatita + turmalina) – este parâmetro é utilizado por causa da sensibilidade da apatita ao intemperismo ácido (Nickel, 1973; Grimm, 1973; Morton, 1984, 1986), sendo que a apatita tende a diminuir suas proporções no concentrado final em sistemas aluviais com condições de pH ácido (Savage *et al.*, 1988; Morton & Johnson, 1993);
- GZi (100 x granada / granada + zircão) – este índice auxilia na diferenciação de areias/arenitos e na discriminação da área-fonte (Morton & Hallsworth, 1994);

Além destes índices, Morton & Hallsworth (1994) propuseram ainda o MZi (100 x monazita / monazita + zircão), o RZi (100 x rutilo / rutilo + zircão) e o CZi (100 x Cr-espinélio / Cr-espinélio + zircão).



Neste trabalho utilizamos ainda o índice ZTR ( $100 \times \text{Zircão} + \text{Turmalina} + \text{Rutilo} / \text{Total de grãos translúcidos}$ ), proposto por Hubert em 1962, como indicador da maturidade mineralógica do sedimento, devido ao fato dos três minerais citados serem ultra-estáveis. Como regra, areias/arenitos com ZTR elevado possuem áreas-fonte envolvendo terrenos reciclados, enquanto que aqueles que possuem ZTR baixo são sedimentos de primeiro ciclo.

### **Análise varietal de minerais pesados**

A análise varietal de minerais pesados, também denominada análise de minerais pesados de alta resolução, é mais minuciosa, pois qualifica as diferentes variedades de espécies de minerais pesados individuais, baseado no conhecimento de que a maioria dos minerais acessórios forma-se numa diversidade de tamanhos e hábitos e são representados por diversas variedades químicas, estruturais, de coloração e ótica, controladas primariamente pelas condições físico-químicas durante a sua (re) cristalização (Mange & Wright, 2007 *apud* Remus *et al.* 2008).

As variáveis mais utilizadas na análise de minerais pesados de alta resolução consistem de: morfologia, cor e estrutura interna dos grãos. Zircões e apatitas euédricas com terminações pontiagudas são indicadores de uma origem vulcanogênica contemporânea enquanto que os mesmos minerais bem arredondados indicam proveniência de terrenos reciclados, retrabalhados por ondas ou envolvimento num sistema eólico. Trabalhos clássicos e modernos utilizam com frequência variações de morfologia e cor de turmalina e/ou zircão para estudos de proveniência (Krynine, 1946, Mange – Rajetzky, 1995, Caironi *et al.*, 1996, Lihou & Mange- Rajetzky, 1996, Corfu *et al.*, 2003 *apud* Remus *et al.*, 2008).

Para avaliar a história de transporte dos sedimentos e mudanças de proveniência, avaliamos o grau de arredondamento da apatita, através do índice ARi ( $100 \times \text{apatita arredondada} / \text{apatita total}$ ) (Allen & Mange- Rajetzky, 1992, Mange & Wright, 2007).

### **1.6 Geologia do Rio Grande do Sul**

Para este trabalho foi feita uma revisão bibliográfica da geologia do Rio Grande do Sul, abordando a Bacia do Paraná, a Formação Serra Geral e as principais rochas que constituem o Escudo Sul-Riograndense (Fig. 3). Além disso, as rochas da formação Tupanciretã, que correspondem a sedimentos Cenozóicos

depositados sobre as rochas da Serra Geral, também serão abordadas, de forma sucinta.

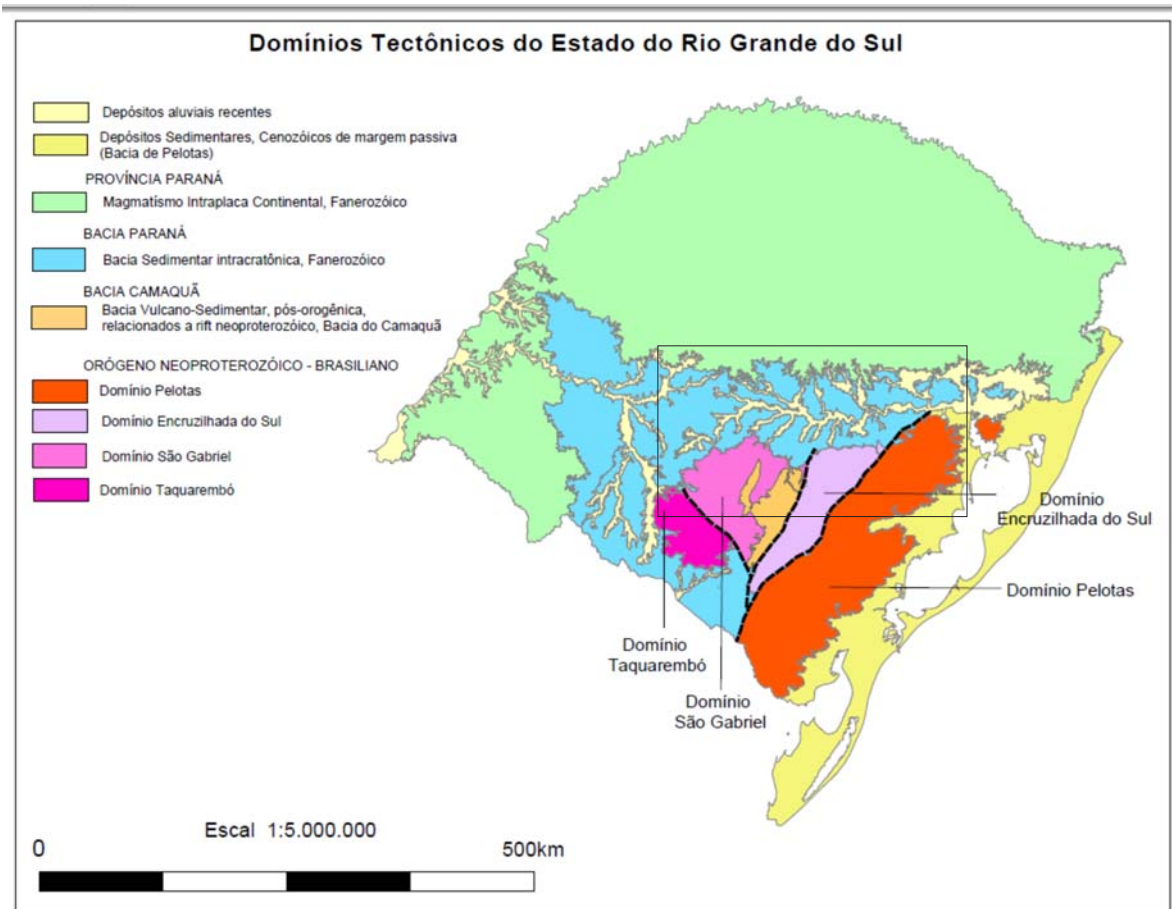


Fig. 3: Mapa geológico simplificado do Rio Grande do Sul (extraído de CPRM, 2008) e a delimitação da área de estudo (retângulo menor).

### 1.6.1 Escudo Sul-Riograndense

O terreno Pré-Cambriano do estado do Rio Grande do Sul é localizado na parte sul da província da Mantiqueira e possui quatro grandes segmentos. A leste encontra-se o Domínio Pelotas (Batólito de Pelotas). Na parte central, o Cinturão Porongos (também conhecido como Domínio Encruzilhada do Sul). A parte oeste do terreno contém, ao sul, o Domínio ou Bloco Taquarembó e, ao norte, o Domínio ou Bloco São Gabriel. Neste trabalho estão descritos, resumidamente, as principais rochas que compõem o Batólito de Pelotas, o Cinturão Porongos e o Bloco São Gabriel. O Bloco Taquarembó não oferece contribuição de sedimentos ao Rio Jacuí e, portanto, não será discutido neste trabalho.

### Batólito de Pelotas

O Batólito de Pelotas - BP compreende seis suítes granitóides (Neoproterozóico), além de exposições de rochas ígneas básicas e septos do embasamento.

A Suíte Intrusiva Pinheiro Machado (SIPM) representa as litologias graníticas mais precoces da região leste do Escudo. Os granitóides desta suíte possuem composição granodiorítica a monzogranítica, com termos tonalíticos, dioríticos e quartzo-dioríticos subordinados. Os principais minerais acessórios presentes são zircão, alanita, apatita, titanita e opacos. Sobre os cristais de feldspatos é comum a ocorrência de mica branca (granulação fina), epidoto e carbonatos (recristalização parcial nas bordas) (Philipp *et al.* 2000).

A Suíte Intrusiva Erval - SIE (Philipp, 1998) agrupa um conjunto de granitóides que, comparada à SIPM, possui litologias mais potássicas com termos predominantemente monzograníticos. Os granitóides que compõem a SIE possuem pouca variação composicional e possuem anfibólios e clinopiroxênios resultantes da assimilação de anfibolitos (Philipp *et al.* 2000).

Os granitóides da Suíte Intrusiva Viamão possuem composição predominantemente monzogranítica, com raros granodioritos e sienogranitos (Philipp *et al.* 2000).

A Suíte Intrusiva Encruzilhada do Sul – SIES (Vasquez, 1997) é composta por granitóides com uma ampla ocorrência de enclaves microgranulares máficos e zonas híbridas, compostas por rochas dioríticas e quartzo-dioríticas. As litologias ácidas da SIES possuem como acessórios principais: anfibólio, zircão, apatita e opacos (Philipp *et al.* 2000).

Os granitóides da Suíte Granítica Cordilheira (Picada, 1965 *apud* Philipp *et al.* 2000) variam de sienogranitos a granodioritos com muscovita, biotita, turmalina, granada, monazita, zircão e opacos.

As rochas da Suíte Granítica Dom Feliciano - SGDF são as mais jovens identificadas no BP. Suas unidades caracterizam-se pela grande homogeneidade composicional, estrutural e petrográfica, além da ausência de enclaves máficos e xenólitos de rochas encaixantes. A SGDF é predominantemente sienogranítica e seus principais minerais acessórios são: alanita, zircão, apatita, titanita e opacos. Em locais restritos foram identificados fluorita, molibdenita (Porto Alegre) e galena

(Camaquã). Em São Jerônimo ocorrem greisens e biotitos mineralizados a cassiterita (Philipp *et al.* 2000).

### Cinturão Porongos

O Cinturão Porongos - CP é formado por rochas metassedimentares e metavulcânicas, sendo composto por diversas unidades geológicas:

- Granitos sintectônicos deformados (ex. Gnaisse Campané);
- Rochas gnáissicas (Gnaisse Encantadas), sienogranitos e monzogranitos milonitizados (Saalman *et al.* 2005) que representam o Complexo Encantadas, correspondente ao embasamento pré-Brasiliano (Remus *et al.* 1990);
- Rochas metassedimentares e metavulcânicas recristalizadas no fácies xisto verde até anfibolito, intercaladas subordinadamente com mármore, grafita-xisto, metarcósio e metaconglomerado, bem como, lentes de rochas ultramáficas como serpentinitos, clorita-xisto e talco-xisto (Jost & Bitencourt, 1980; Remus *et al.* 1991 *apud* Saalman *et al.* 2005), correspondentes à fração supracrustal da unidade Porongos.

### Bloco São Gabriel

O Bloco São Gabriel (BSG) é constituído por diversos Cinturões metamórficos de origem diversificada.

O Cinturão Passo Feio (CPF) circunda o Granito Caçapava. A parte norte do CPF, designada Formação Passo Feio Norte, é constituída por rochas metassedimentares (almandina xistos, filitos, mármore, quartzitos, gnaisses e xistos calci-silicásticos), com volume menor de rochas ortoderivadas como anfibolitos, xistos magnesianos e tufos ácidos (Ribeiro *et al.* 1966, Bitencourt & Hartmann, 1984 *apud* Hartmann *et al.* 2000). Na parte sul temos a Formação Passo Feio Sul, constituída predominantemente de granitos e greenstone belt.

O Cinturão Bossoroca é constituído pela Formação Campestre (FC) e Cerro do Ouro (FCO). Esta última é formada por rochas máfico-ultramáficas com intercalações de *cherts* e formações ferríferas bandadas, sendo os tipos litológicos dominantes: xistos magnesianos (tremolita-talco xistos, clorita-tremolita xistos e clorita-hornblenda xistos), metabasaltos, serpentinitos, olivina ultramafitos e metassomatitos magnesianos (Remus, 1999 *apud* Hartmann *et al.* 2000). A FC compreende um conjunto de litologias vulcanoclásticas de composição intermediária

a ácida com ocorrência subordinada de basaltos (Koppe & Hartmann, 1988 *apud* Hartmann *et al.* 2000).

As seqüências Vila Nova (SVN), Passinho (SP) e Cerro Mantiqueiras (SCM) constituem o Complexo Cambaí. A SVN é representada por uma associação metaplutônica polifásica que corresponde a rochas granítico-gnáissicas com evolução envolvendo injeção de magmas dioríticos, tonalíticos-trondhjemíticos-granodioríticos e monzograníticos em uma seqüência supracrustal siliciclástica-carbonatada e máfico-ultramáfica. A SP é formada por metaplutonitos gabróicos, dioríticos, tonalíticos e trondhjemíticos, além de metassedimentos como metapelitos, quartzitos, mármore e grafita xistos. A SCM é predominantemente constituída por anfíbolitos (metabasaltos) e subordinadamente por harzburgitos, serpentinitos e xistos magnesianos (Hartmann *et al.* 2000).

O Cinturão Cambaizinho (CC) é composto por associações de rochas máfico-ultramáficas intercaladas com rochas metassedimentares e ortoderivadas. O metamorfismo de fácies anfíbolito gerou biotita gnaises, mica xistos, xistos quartzofeldspáticos e, subordinadamente, anfíbolitos e quartzitos. Os principais minerais pesados diagnósticos presentes no CC são: estaurolita, granada, grafita, hornblenda, titanita, clinopiroxênio, epidoto e opacos (Remus *et al.*, 1990).

### **1.6.2 Bacia do Paraná**

A Bacia do Paraná é uma ampla bacia sedimentar situada na porção centro-leste da América do Sul. No Brasil, a Bacia do Paraná recobre parte dos estados de Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Além do Brasil, ela também distribui-se no nordeste da Argentina, na porção leste do Paraguai e no norte do Uruguai. A Bacia do Paraná é constituída por rochas sedimentares e ígneas (Milani *et al.* 2007).

Segundo Milani & Zalán (1999), seis superseqüências compreendem seu preenchimento sedimentar-magmático: Grupo Rio Ivaí (Ordoviciano/Siluriano), Grupo Paraná (Devoniano), Gondwana I (grupos Tubarão e Passa Dois, Carbonífero/Permiano), Gondwana II (Triássico), Gondwana III (Grupo São Bento, Jurássico/Cretáceo) e Grupo Bauru (Cretáceo).

No Rio Grande do Sul, ocorrem depósitos permianos, triássicos e jurocretáceos, conforme sintetizado por Holz & Carlucci (2000), Menezes (2000) e Scherer *et al.* (2000) (*apud* Souza, *et al.*, 2007).

### 1.6.3 Formação Serra Geral

A designação da Formação Serra Geral refere-se à província magmática relacionada aos derrames que recobrem a Bacia do Paraná. As rochas da Formação Serra Geral foram geradas por intenso vulcanismo fissural durante a transição entre o Jurássico e o Cretáceo, relacionado à ruptura do Gondwana, com a separação do continente Sul-Americano da África e formação do Oceano Atlântico Sul (Zalán *et al.* 1990; Milani *et al.* 1998 *apud* Juchen *et al.*, 2007). As rochas vulcânicas da Formação Serra Geral recobriram um espesso pacote sedimentar, intercalando-se com arenitos eólicos das formações Pirambóia e Botucatu, os quais representam um episódio de desertificação da Bacia do Paraná que teve início antes do vulcanismo.

A Formação Serra Geral é composta por rochas vulcânicas básicas e ácidas, sendo predominantemente máficas, constituídas de basaltos e basaltos andesíticos de filiação toleítica (mais de 90% do volume). Rochas félsicas (riodacitos e riolitos) podem ocorrer intercaladas e no topo da sequência vulcânica (~ 4% do volume) e são mais expressivas no Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Roisenberg, 1989 *apud* Juchen, *et al.*, 2007). Até o fim da década de 70, apenas as rochas básicas haviam sido mapeadas, mesmo Schneider (1964 *apud* Menegotto *et al.*, 1968) tendo já apresentado evidências da presença de materiais ácidos. As rochas ácidas também já haviam sido encontradas na região central do Estado, no município de Santa Maria (Sartori *et al.*, 1975; Sartori & Gomes, 1980 *apud* Pedron, 2007).

De acordo com a série de Bowen (Fig 4), o basalto é uma rocha formada por um magma mais rico em minerais ferro-magnesianos e menos rico em sílica quando comparado ao magma que forma as rochas riodacito e riolito. Magmas que apresentam composição básica formam rochas com predomínio de minerais como a olivina, piroxênios, anfibólios e plagioclásios cálcicos, ao passo que magmas ácidos geram rochas com maior quantidade de feldspatos potássicos, micas (muscovita) e quartzo.

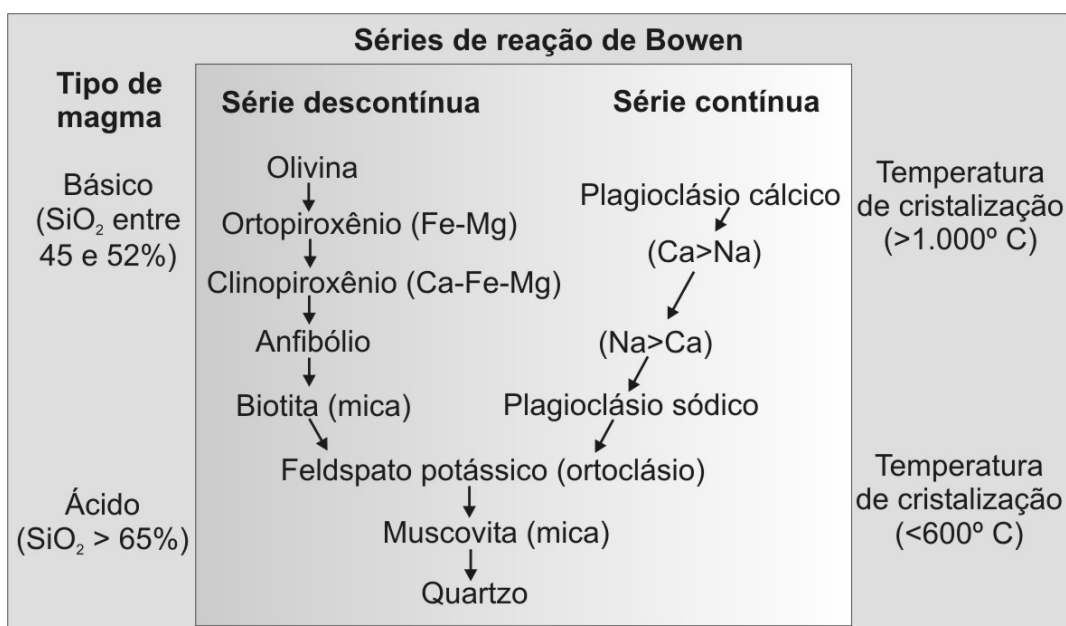


Fig. 4: Séries de reação de Bowen (adaptado de Teixeira *et al.*, 2001 *apud* Pedron, 2007).

No RS predominam basaltos com coloração escura devido à granulação fina e presença de minerais ferro-magnesianos, opacos e vidros nessa rocha. São predominantemente afaníticos e apresentam estrutura vesículo-amigdaloidal freqüente, com capas de alteração limonítica (IBGE, 1986). Os basaltos são constituídos principalmente por plagioclásios e piroxênios. Os piroxênios são representados pela augita e pigeonita e podem apresentar pequenas coroas de reações para anfibólios do tipo hornblenda, alterando-se para silicatos do tipo clorita. Os minerais acessórios são apatita, opacos (magnetita e ilmenita) e zircão (IBGE, 1986). O principal mineral opaco encontrado na Formação Serra Geral é a magnetita, que altera-se diretamente para óxidos de ferro (hematita e goethita) (Clemente, 1988). Nas rochas ácidas também ocorrem, em proporções menores, piroxênios do tipo augita e pigeonita.

#### 1.6.4 Cobertura Sedimentar Cenozóica

A Cobertura Sedimentar Cenozóica engloba diferentes tipos de depósitos sedimentares: Formação Tupanciretã e Santa Tecla, do Terciário; Formação Graxaim, do Terciário-Quaternário; Formação Chuí e Itapuã, do Pleistoceno; Depósitos Sedimentares, do Holoceno.

A Formação Tupanciretã é restrita ao Estado do Rio Grande do Sul, ela se estende, sem continuidade física, por grande parte do Planalto das Araucárias, nos municípios de Cruz Alta, Santa Bárbara do Sul, Carazinho e Passo Fundo, bem

como em Santiago. É composto por arenitos, arenitos conglomeráticos, conglomerados e finas camadas de argilas, sedimentos cuja origem tem sido bastante discutida, embora a mais aceita seja a fluvial (SEMA, 2011).



## CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foram coletadas 19 amostras de sedimentos do Rio Jacuí e de alguns de seus afluentes, de acordo com o quadro 2. A área de amostragem abrange as bacias hidrográficas do Baixo Jacuí e do Vacacaí - Vacacaí Mirim, sendo que apenas uma amostra foi coletada na Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí (Fig.5).

Quadro 2: Listagem geral das amostras coletadas com suas respectivas localizações geográficas.

<b>Amostra</b>	<b>Localização UTM</b>	<b>Rio</b>	<b>Forma de Coleta</b>
PJ 01	260479 / 6638221	Arroio Santa Bárbara	Com a pá, dentro do arroio
PJ 02	290498 / 6644684	Rio Irapuá II	Com o amostrador, sobre a ponte (Fig.6)
PJ 03	262499 / 6638739	Arroio das Pedras	Com a pá, dentro do arroio
PJ 04	278855 / 6712584	Rio Jacuí	Com o amostrador, sobre a Balsa (Fig.7)
PJ 05	271087 / 6700892	Rio Vacacaí Mirim	Com o amostrador, sobre a ponte
PJ 06	266851 / 6687158	Rio Vacacaí	Com o amostrador, sobre a ponte de ferro (Fig.8)
PJ 07	254050 / 6661096	Rio São Sepé	Com a pá, dentro do arroio
PJ 08	317043 / 6672463	Rio Jacuí	Coleta de barco, com amostrador (Fig.9)
PJ 09	322305 / 6682714	Rio Botucaraí	Com o amostrador, sobre a ponte
PJ 10B	368083 / 6680889	Rio Jacuí	Amostra obtida com os areiros*
PJ 11	342140 / 6655545	Rio Iruí	Com a pá, dentro do rio (Fig.10)
PJ 12	312990 / 6689197	Arroio Capané	Com a pá, dentro do rio
PJ 13	375560 / 6661970	Rio Capivari	Com a pá, dentro do rio
PJ 14	389324 / 6662623	Arroio Francisquinho	Com a pá, dentro do rio
PJ 15	431437 / 6669296	Arroio dos Ratos	Com a pá, dentro do rio
PJ 16	420722 / 6686303	Rio Jacuí	Coleta realizada em barco de draga pela SMARJA* (Sociedade dos Mineradores de Areia do Rio Jacuí Ltda.)
PJ 17	431570 / 6686907	Rio Jacuí	Coleta realizada em barco de draga pela SMARJA*
PJ 18	406469 / 6689147	Rio Jacuí	Coleta realizada em barco de draga pela SMARJA*
PJ 19	455372 / 6687326	Rio Jacuí	Coleta realizada em barco de draga pela SOMAR* (Sociedade Mineradora)

\*Amostra recém extraída de dentro do canal fornecida pelos areiros. em locais de difícil acesso.

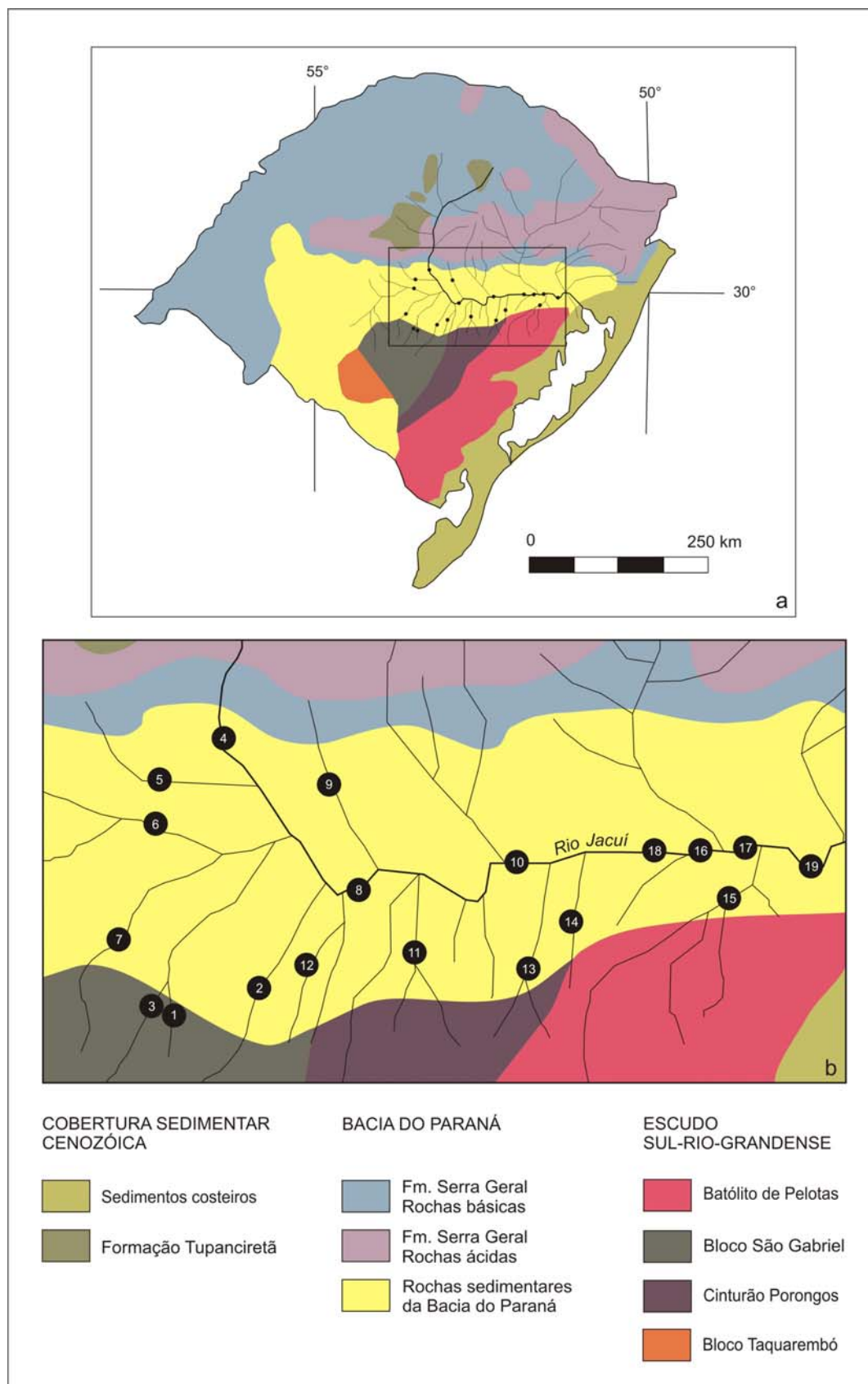


Fig. 5: (a) mapa geológico simplificado do Rio Grande do Sul, com a localização do Rio Jacuí.

(b) mapa ilustrativo da área de estudo com a localização dos pontos amostrados.

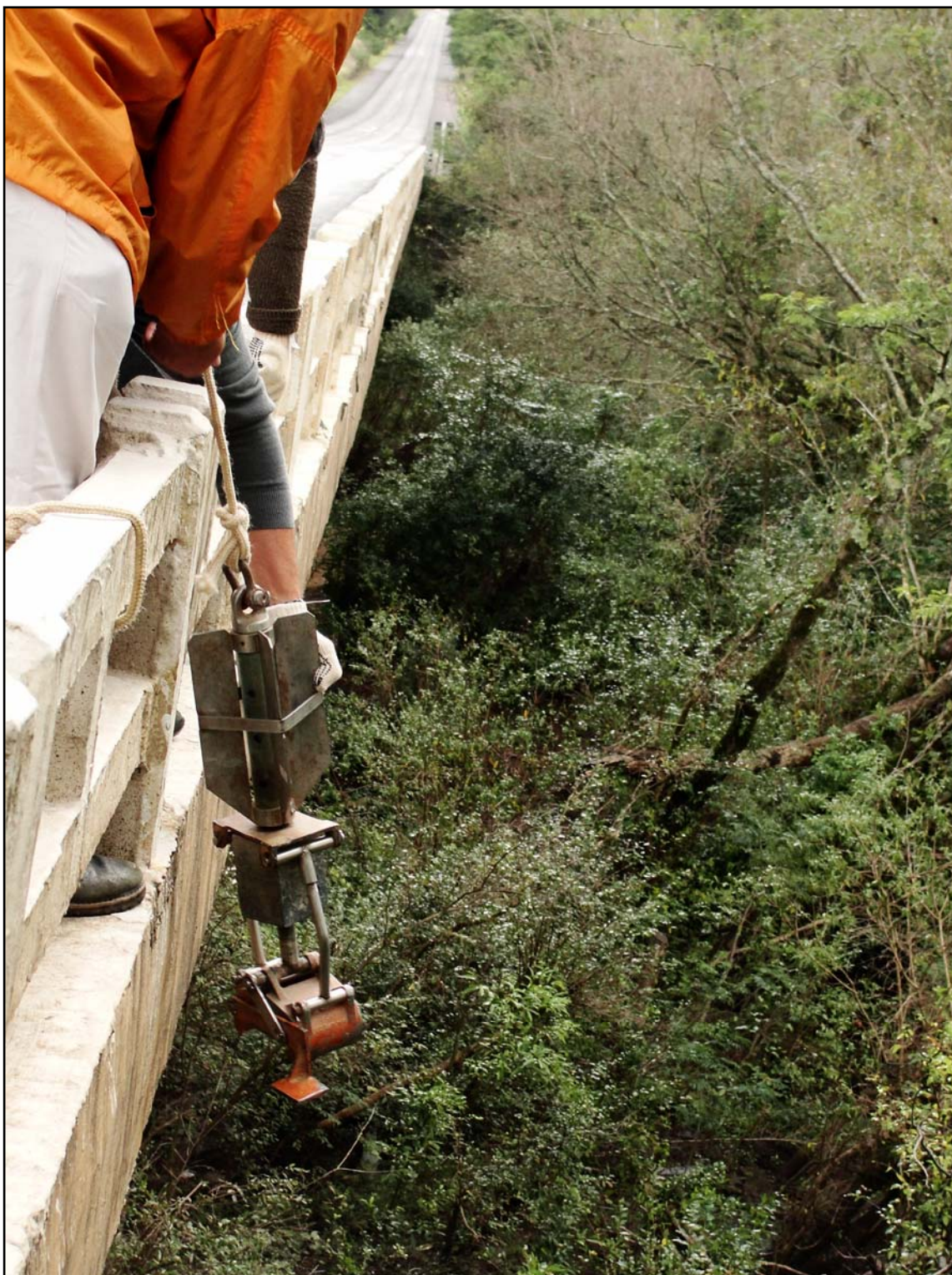


Fig. 6: Amostrador utilizado para coleta dos sedimentos (ponto 2).



Fig. 7: Coleta realizada na Balsa de Agudo (ponto 4).

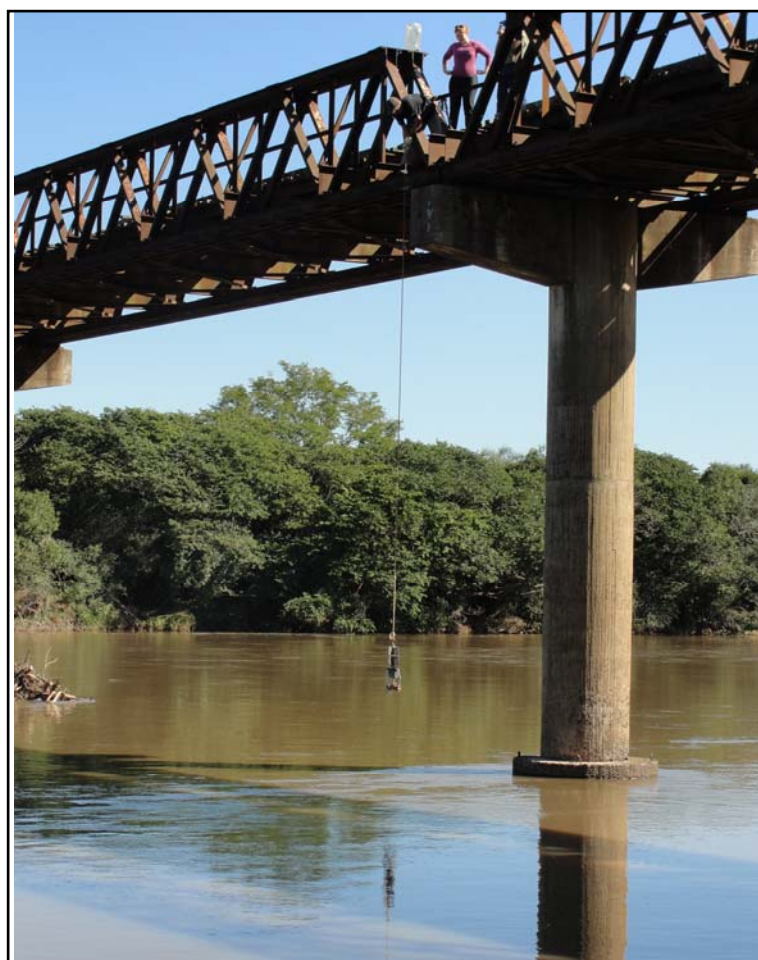


Fig. 8: Amostragem realizada no Rio Vacacaí (ponto 6).



Fig. 9: Coleta de barco, com o auxílio do amostrador, realizada no Rio Jacuí (ponto 8).



Fig. 10: Coleta realizada no canal do rio, com o auxílio de uma pá (ponto 11)

As amostras coletadas foram preparadas em laboratório para a quantificação dos minerais pesados. A preparação consistiu na secagem das amostras em estufa, quarteamento, pesagem e separação da fração fina e muito fina, utilizada para obtenção da concentração de pesados. A fração granulométrica restrita utilizada é recomendada por alguns autores, para minimizar os efeitos do fracionamento hidráulico durante o transporte e/ou deposição.

As amostras totais foram peneiradas para separação das frações de areias nos intervalos granulométricos de areia muito grossa (Tyler 16#), areia grossa (Tyler 32#), areia média (Tyler 60#), areia fina (Tyler 115#) e areia muito fina (Tyler 250#) (Quadro 3). Cada fração foi pesada em balanças de precisão para a confecção de gráficos de dispersão granulométrica.

Quadro 3: Escala de Wentworth

<b>Intervalo Granulométrico (mm)</b>	<b>Nome</b>
>256	Matacão
256 a 64	Bloco ou Cascalho
64 a 4,0	Seixo
4,0 a 2,0	Grânulo
<b>2,0 a 1,0</b>	<b>Areia muito grossa</b>
<b>1,0 a 0,50</b>	<b>Areia grossa</b>
<b>0,50 a 0,250</b>	<b>Areia média</b>
<b>0,250 a 0,125</b>	<b>Areia fina</b>
<b>0,125 a 0,062</b>	<b>Areia muito fina</b>
0,062 a 0,031	Silte grosso
0,031 a 0,016	Silte médio
0,016 a 0,008	Silte fino
0,008 a 0,004	Silte muito fino
<0,004	Argila

A separação dos minerais pesados foi realizada utilizando-se um líquido denso (bromofórmio,  $\rho=2,89\text{g/cm}^3$ ), seguindo-se a metodologia descrita na literatura especializada (Mange & Maurer, 1992) (Fig. 11).

As concentrações de minerais leves e pesados também foram pesadas em balanças de precisão para obtenção das proporções referentes a cada amostra.

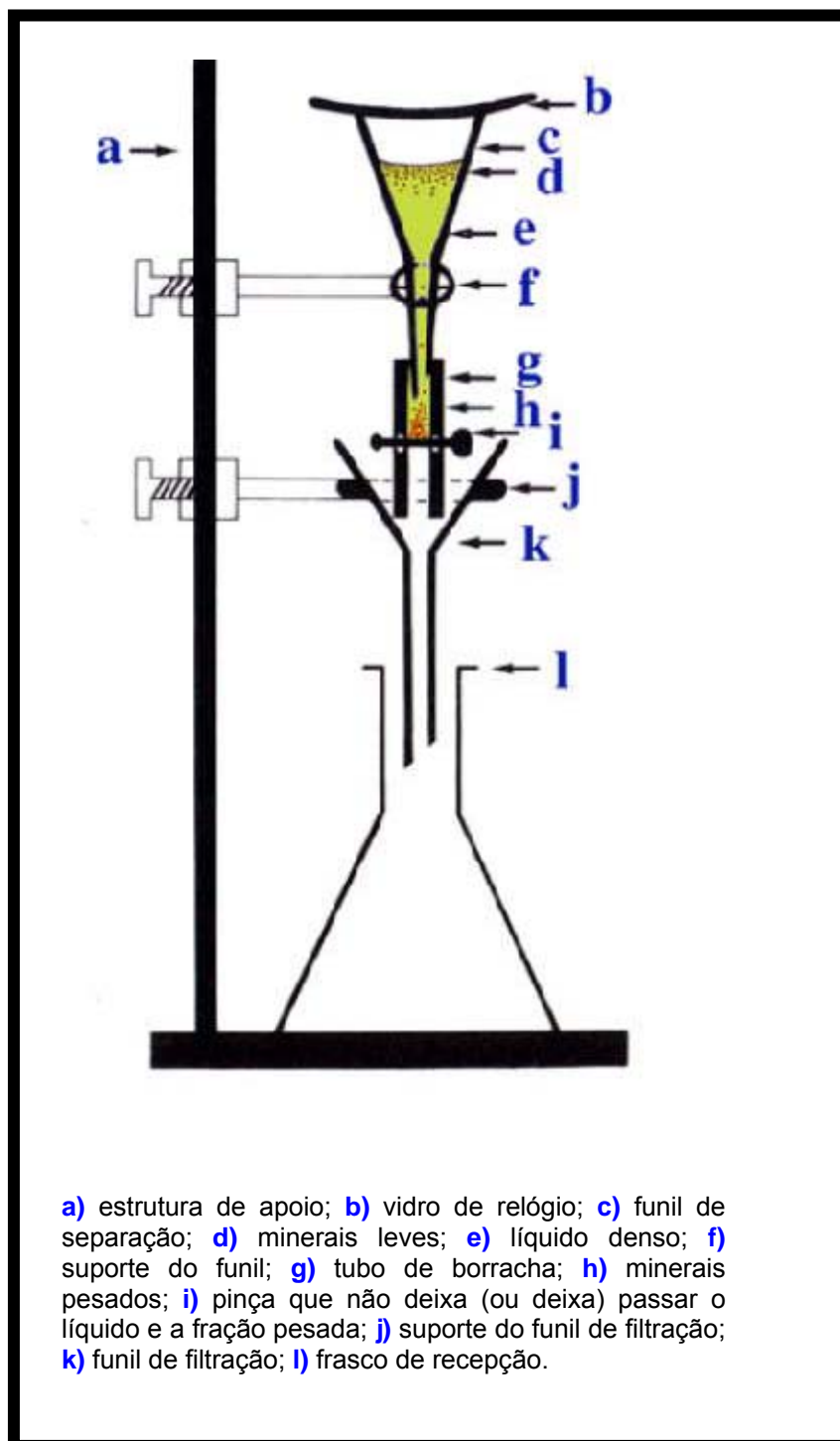


Fig. 11: Estrutura para separação de minerais pesados por sedimentação gravimétrica (adaptado de Mange e Maurer, 1992).



Para a observação petrográfica foram confeccionadas lâminas de grãos de minerais pesados utilizando o líquido alpha-monobromo naftaleno, cujo índice de refração corresponde a 1,658.

A quantificação dos grãos é um processo realizado para estimar as proporções dos diferentes minerais, bem como as formas, grau de arredondamento e inclusões dos principais minerais. A quantificação é realizada em microscópio petrográfico binocular, seguindo linhas transversais, onde os minerais pesados translúcidos não-micáceos são identificados e contados. Este procedimento é chamado de "ribbon counting" e foi descrito por Galehouse (1971) e Mange & Maurer (1992). Os minerais opacos foram identificados em lupa binocular.

Para a identificação de cada espécie translúcida é necessário proceder à observação com luz transmitida, não polarizada e polarizada, estimar a birrefringência, ter atenção ao pleocroísmo, analisar as figuras de interferência, o sinal de alongação, o relevo e o valor do índice de refração, entre outras propriedades do mineral a ser identificado. O número total de grãos contados é totalizado em 300 grãos transparentes. Para auxiliar a quantificação, foi gerada uma tabela de fórmulas no aplicativo Excel (Anexo I), onde todos os minerais pesados identificados são listados e as principais variedades são distinguidas de acordo com suas cores, formas e/ou padrões de inclusões. As fórmulas geradas em Excel auxiliam na confecção dos gráficos que demonstram o comportamento dos minerais em relação aos índices de proveniência propostos por Morton & Hallsworth (1994, 1999), além do índice ZTR, proposto por Hubert em 1962 e do ARi, descritos anteriormente.

## CAPÍTULO 3

### **3. RESULTADOS**

Todas as amostras coletadas foram peneiradas e pesadas em balanças com precisão de 0,0001g para análise granulométrica. Os resultados das proporções percentuais das frações de areia estão ilustrados no gráfico da figura 12.

Os resultados mostram que as amostras 4, 5, 6 e 18 possuem grande quantidade de sedimentos médios e/ou finos (menos de 20% de areia grossa e muito grossa). Os pontos com maior concentração de areia grossa e/ou muito grossa são os 7, 11 e 15 (mais de 80%).

Depois da separação dos minerais pesados contidos nas frações finas e muito finas, os minerais foram pesados para obtenção da proporção de leves e pesados de cada amostra. Os resultados indicam uma menor concentração de minerais pesados presentes nas amostras 5 e 18 (~ 0,1%), enquanto que a maior concentração de pesados é encontrada na amostra 1 (~ 3,8%). A concentração média dos minerais pesados nas amostras estudadas é de aproximadamente 1%.

Os minerais pesados identificados nas amostras estudadas foram: granada, turmalina, hornblenda, zircão, apatita, epidoto e estauroлита, piroxênios, representados principalmente pelo hiperstênio, tremolita-actinolita, rutilo, cianita, silimanita, andaluzita, titanita (Fig. 13 e 14). Além do hiperstênio, piroxênios do tipo enstatita e diopsídio foram identificados no ponto 4. Os principais minerais opacos identificados foram ilmenita, hematita, magnetita e ocasionalmente pirita.

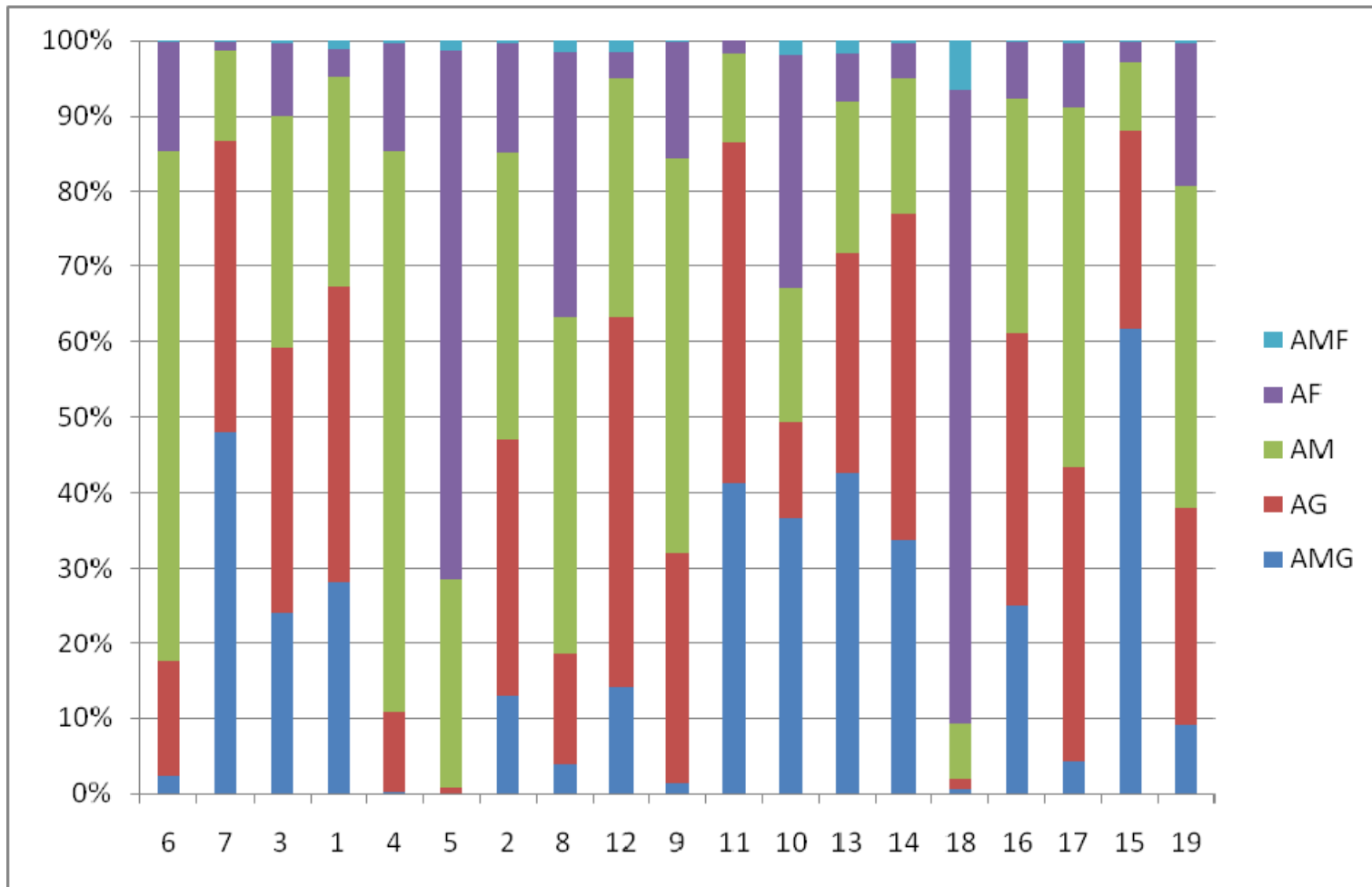


Fig 12: Gráfico da dispersão granulométrica das amostras estudadas, abrangendo as frações: AMG=areia muito grossa; AG=areia grossa; AM=areia média; AF=areia fina; AMF=areia muito fina.

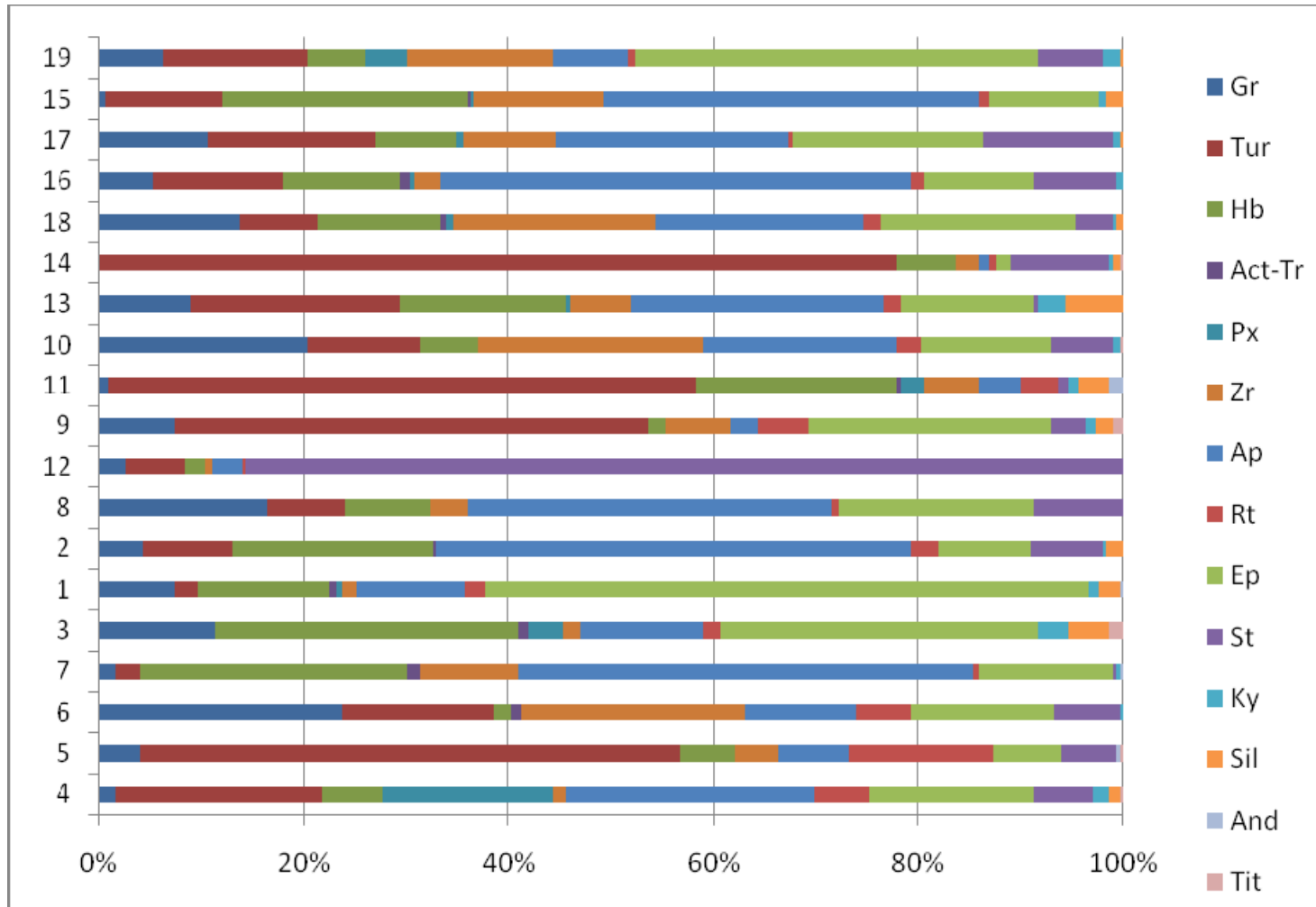


Fig. 13: Proporção da assembléia mineralógica presente nos sedimentos estudados. Gr = granada; Tur = turmalina; Hb = hornblenda; Act-Tr = série actinolita-tremolita; Px = piroxênio; Zr = zircão; Ap = apatita; Rt = rutilo; Ep = epidoto; St = estauroлита; Ky = cianita; Sil = silimanita; And = andaluzita; Tit = titanita.

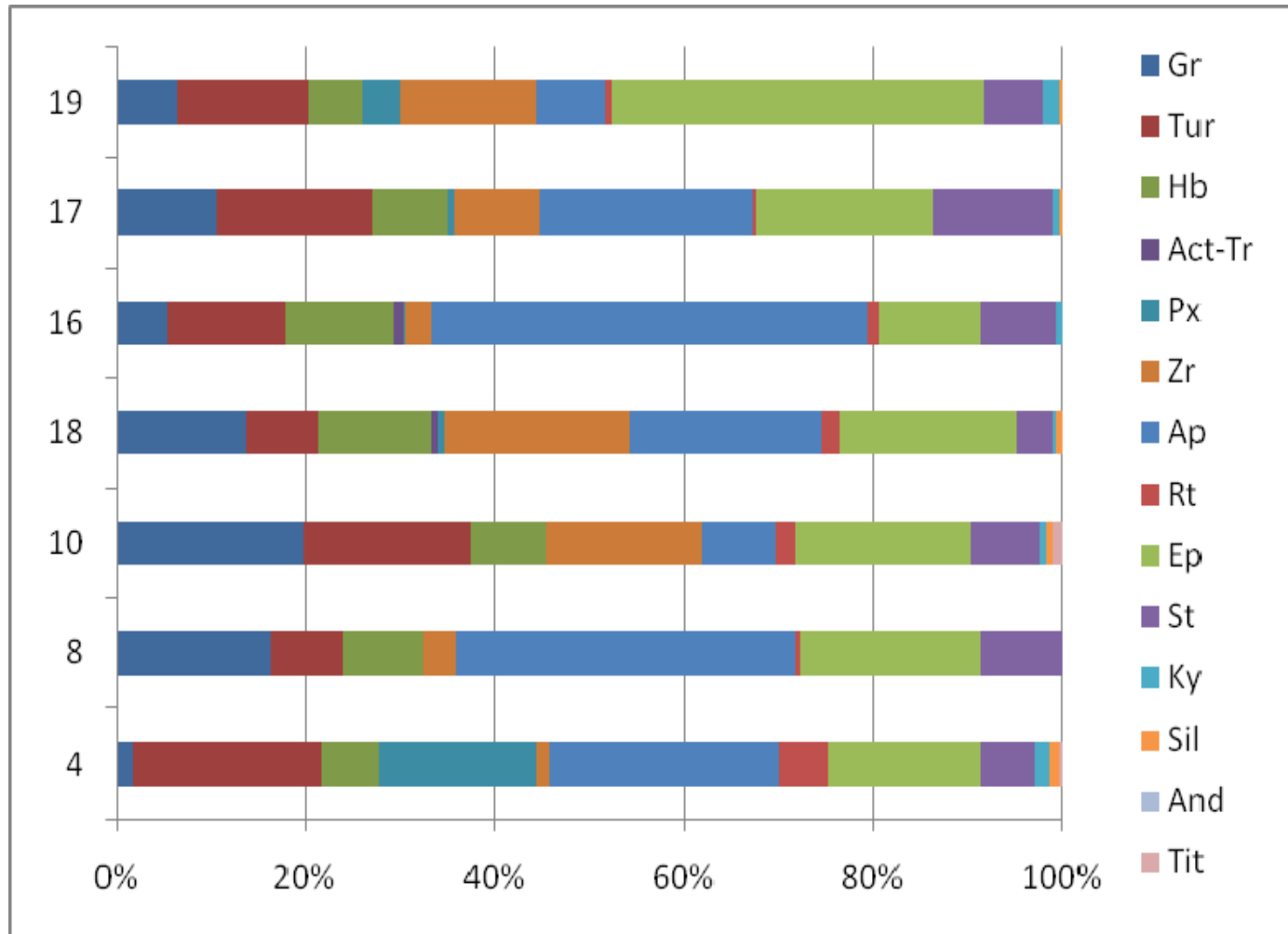


Fig. 14: Proporção da assembléia mineralógica das amostras coletadas no curso principal do Rio Jacuí. Gr = granada; Tur = turmalina; Hb = hornblenda; Act-Tr = série actinolita-tremolita; Px = piroxênio; Zr = zircão; Ap = apatita; Rt = rutilo; Ep = epidoto; St = estauroлита; Ky = cianita; Sil = silimanita; And = andaluzita; Tit = titanita.

Os principais minerais pesados identificados nas amostras são:

**Granada:** este mineral está presente em quase todas as amostras estudadas, com exceção da amostra 14. Os grãos de granada apresentam-se geralmente sub-angulares a sub-arredondados, com inclusões granulares não orientadas. Sua coloração é, em geral, incolor a rosa claro, porém foram identificados alguns grãos de tonalidades mais avermelhadas. Nos pontos 10, 16, 17, 18 e 19, foram identificadas granadas com textura mostrando bordas facetadas e formas arredondadas (Fig. 15a).

**Turmalina:** este mineral encontra-se predominantemente marrom, com intenso pleocroísmo e formas arredondadas e sub-arredondadas (Fig. 15b). A turmalina está ausente na amostra 3 e é encontrada em abundância nas amostras 5, 9, 11 e 13. Em alguns pontos foram identificadas turmalinas azuis em pequena quantidade (0,3-4%). As turmalinas angulares predominam nos pontos 4, 11, 14, 15 e 16.

**Hornblenda:** mineral freqüente em todas as amostras estudadas. Foram identificadas duas variedades distintas: (a) hornblenda verde, identificada em todos os pontos. (b) hornblenda marrom. As hornblendas encontram-se angulares a sub-angulares em sua maioria e, no ponto 5, apresenta bordas serrilhadas (Fig. 15c).

**Zircão:** foram identificados grãos de zircões angulares, sub-angulares, sub-arredondados e arredondados. Os minerais encontram-se em geral, em forma de prismas curtos, sendo poucos grãos alongados. Nas amostras 10, 11, 13, 15 e 19 foram encontrados zircões euédricos (Fig. 15d). Este mineral foi identificado em todas as amostras, com exceção da amostra 2.

**Epidoto:** o grupo do epidoto é representado pela zoisita, clinozoisita e epidoto. Os grãos apresentam-se predominantemente angulares. Nenhum mineral do grupo do epidoto foi identificado na amostra 11. Alguns grãos possuem bordas serrilhadas.

**Estaurolita:** este mineral encontra-se na maioria das amostras estudadas e possui forma predominantemente angular, sendo o principal mineral translúcido identificado na amostra 12 e ausente somente na amostra 3. Em algumas amostras a estaurolita apresenta bordas de dissolução.

**Apatita:** A apatita foi identificada em todas as amostras e a variação de seu grau de arredondamento ( $AR_i$  = Apatite Rounded Index) está representada nos gráficos da figura 16.

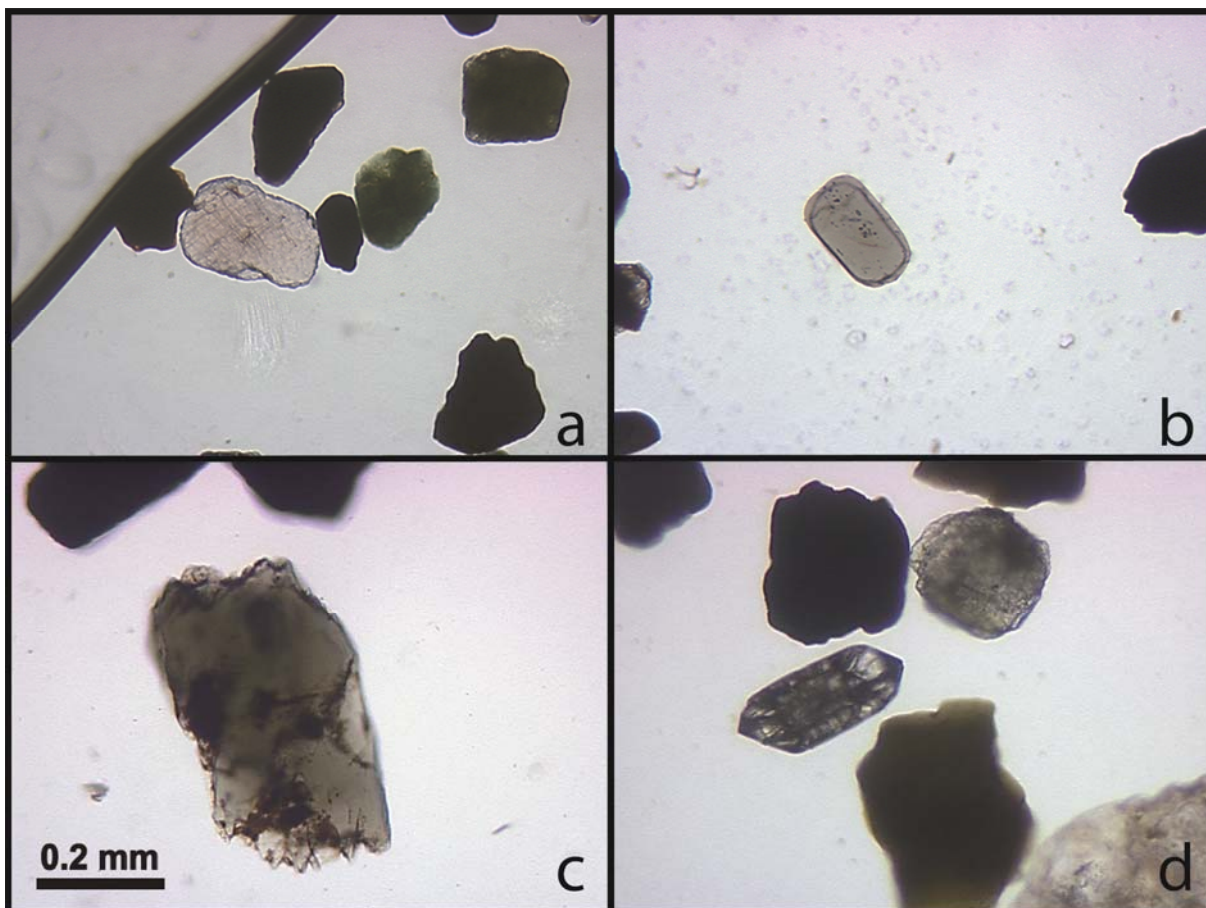


Fig. 15: (a) granada facetadas e arredondadas (ponto 16); (b) turmalina arredondada identificada no ponto 18; (c) hornblenda com bordas serrilhadas (ponto 5); (d) zircão euédrico com núcleo herdado e forma bipiramidada (ponto 13).

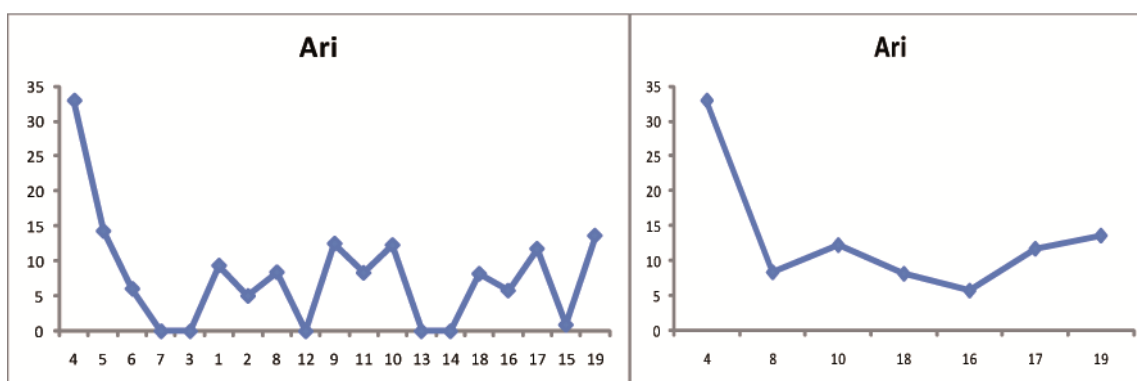


Fig. 16: Índice de arredondamento da apatita (ARi): à esquerda, todas as amostras estudadas; à direita, amostras coletadas no curso principal do Rio Jacuí, ordenadas de montante (esq.) para jusante (dir.).

A análise, identificação e quantificação dos grãos detríticos permitiu adicionalmente a confecção dos gráficos GZi (Figura 17), ATi (Figura 18) e ZTR (Figura 19).



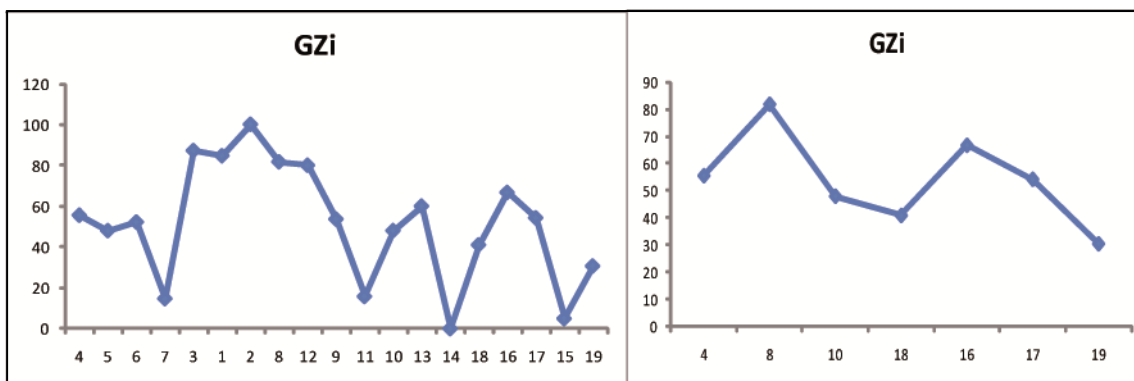


Fig. 17: À esquerda, a representação do índice GZi de todas as amostras estudadas. À direita, apenas as amostras coletadas no Rio Jacuí, de montante (esquerda) para jusante (direita).

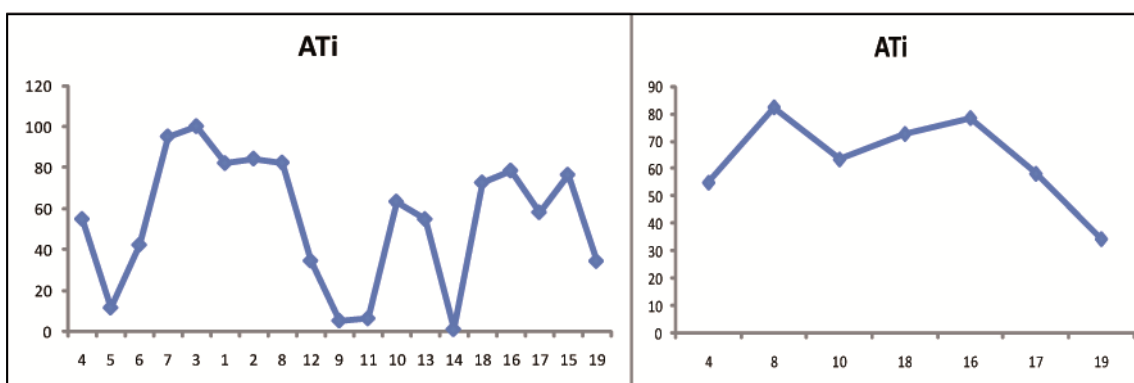


Fig. 18: Variação do índice ATi nas amostras estudadas (esquerda) e sua distribuição somente nas amostras coletadas no Rio Jacuí (direita).

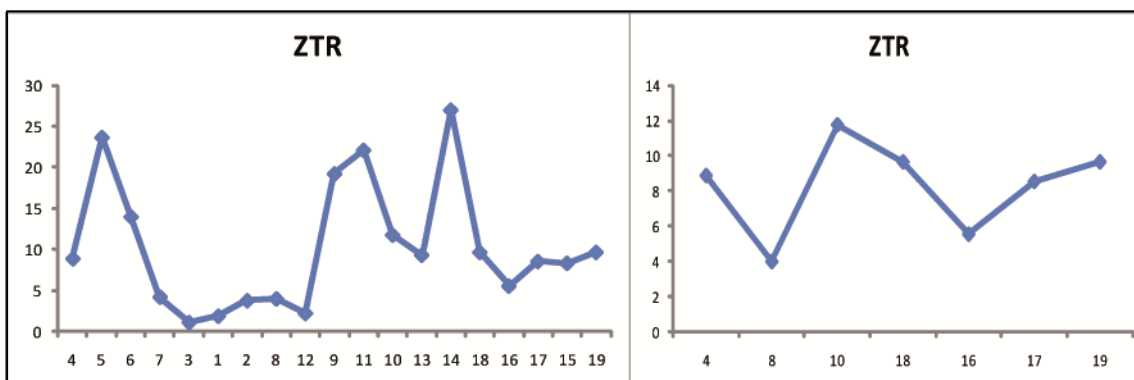


Fig. 19: Distribuição do índice ZTR nas amostras estudadas. À esquerda, estão representadas todas as amostras; à direita, apenas as amostras coletadas no Jacuí, ordenadas de montante para jusante.

## CAPÍTULO 4



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
*Pesquisas em Geociências*

---

Porto Alegre, 18 de fevereiro de 2011.

À Tamara França Machado

Venho comunicar o recebimento do manuscrito abaixo listado, submetido para publicação em *Pesquisas em Geociências*, órgão de divulgação científica editado pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Agradeço a seleção de *Pesquisas em Geociências* para a publicação de sua contribuição. O manuscrito será analisado quanto ao conteúdo e enquadramento nas normas de preparação, para que seja iniciado o processo de análise por pares.

Título: *Proveniência dos depósitos de areia do Rio Jacuí-RS, utilizando a análise de minerais pesados.*

Autor(es): *Tamara França Machado & Marcus Vinicius Dorneles Remus.*

Atenciosamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Paulo Alves de Souza', is written over a horizontal line.

Prof. Dr. Paulo Alves de Souza  
Editor Chefe

---

***Pesquisas em Geociências***

Instituto de Geociências – Departamento de Paleontologia e Estratigrafia  
Av. Bento Gonçalves, nº 9500 - Bloco 1 - Prédio 43127, Sala 209  
CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil.  
Tel.: +55.51.3308.7386  
Email: paulo.alves.souza@ufrgs.br

## **Proveniência dos depósitos de areia do Rio Jacuí-RS, utilizando a análise de minerais pesados**

## **Provenance of sand deposits of Jacui River, RS using heavy mineral signatures**

**Tamara França MACHADO 1 & Marcus Vinicius Dorneles REMUS 2**

**1 PPGGEO - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rua Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS – Brasil**

**2 DEMIPE - - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rua Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS – Brasil**

### Resumo

Este artigo discute a origem dos depósitos de areia inconsolidada do Rio Jacuí, no sul do Brasil. O Jacuí constitui-se do principal rio do estado do Rio Grande do Sul e contém os principais depósitos de areia utilizados na indústria de concreto do estado. O Rio Jacuí e seus afluentes drenam as mais diversas áreas-fonte, com diferentes idades e associações litológicas, incluindo o Escudo Sul-Riograndense (Pré-Cambriano) e rochas da Bacia do Paraná, incluindo a Formação Serra Geral (Fanerozóico). As amostras foram coletadas de sedimentos ativos para a análise de minerais pesados, ao longo do curso principal do rio e de seus principais afluentes. Os resultados demonstram um grande diversidade de minerais pesados, incluindo: granada, turmalina, hornblenda, zircão, apatita, estauroлита, opacos (magnetita, ilmenita, hematita e pirita) e, minoritariamente, rutilo, piroxênio (hiperstênio principalmente), cianita, silimanita, andaluzita, titanita, actinolita e tremolita. Esta assembléia de minerais pesados indica que a área-fonte principal dos sedimentos é o Escudo Sul-Riograndense, proveniente dos afluentes da margem direita do Rio Jacuí. As rochas sedimentares da Bacia do Paraná também constituem uma importante área-fonte de para os sedimentos. As rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e rochas sedimentares fluviais da Formação Tupanciretã fornecem uma menor contribuição. Uma redução pequena, mas consistente, dos índices ATi e GZi ao longo do curso principal do rio, de montante para jusante, indicam que os sedimentos sofreram decrescimento destes minerais ao longo da planície aluvial devido ao intemperismo. Os valores do índice ZTR e ARi são relativamente constantes ao longo do curso principal do rio. Além disso, o ARi é relativamente baixo. Os valores consistentes destes índices indicam uma forte contribuição dos

afluentes do Rio Jacuí. A assinatura de minerais pesados do Rio Jacuí, determinada neste estudo, poderá ser utilizada para avaliar a contribuição dos sedimentos do rio no preenchimento da porção mais jovem da bacia de Pelotas.

Palavras-chave: Minerais Pesados, Proveniência Sedimentar, Rio Jacuí

#### Abstract

This paper discuss the provenance of unconsolidated sand deposits of Jacui River, southern Brazil. Remarkable it is the major river of Rio Grande do Sul and contains the main unconsolidated sand deposits used in the concrete industry of state. The river basin drains distinct geologic terrains with different ages and lithologic associations including Rio Grande do Sul Shield (Precambrian), Parana basin and Serra Geral (Phanerozoic). Heavy mineral analysis on selected samples collected along spots from the main course river and his afluentes have shown a diverse and large heavy mineral assemblage including: garnet, tourmaline, hornblende, zircon, apatite, staurolite, opaques (magnetite, ilmenite, hematite and pyrite) and minor rutile, pyroxene (mainly hypersthene), kyanite, sillimanite, andaluzite, titanite, actinolite and tremolite. These heavy mineral assemblage indicates that the main source-area for unconsolidated sands is the Rio Grande do Sul Shield through his afluentes from south Jacui River margin. Sedimentary rocks from several Parana basin formations are also important source-area for unconsolidated river sand. Volcanic rocks from Serra Geral and sedimentary fluvial rocks from Tupanciretã formations source-areas show minor contribution. ATi (Apatite/Tourmaline index) and GZi (Garnet/Zircon index) have shown a consistent value decreasing along the main river course, from montante to jusante. Both index patterns indicate that alluvial sands have suffered weathering along the alluvial plain during the parking period. The ZTR (Zircon + Tourmaline + Rutile index) values are low, relatively constant and consistent along the main course river. Also the ARi (Apatite Rounded index) is relatively low and consistent along virtually all river course. Both ZTR and ARi indicate an important contribution from afluentes in order to mantain these consistent index values along river. Further, the heavy minerals signature of Jacui River, established in this work, would help to better understand the provenance and filling of young section of Pelotas basin

Keywords: Heavy Minerals, Sedimentary Provenance, Jacui River

## INTRODUÇÃO

Este trabalho discute a proveniência dos depósitos de areia inconsolidada que ocorrem ao longo do Rio Jacuí, cujo curso d'água principal corta o estado do RS em sua porção central, na direção leste-oeste. O Jacuí corresponde ao maior rio do interior do estado do Rio Grande do Sul e, apesar de constituir-se na drenagem mais importante para produção e extração de areia para a indústria de concreto no RS, nada se sabe sobre a importância e contribuição de cada área-fonte na geração destes depósitos.

As principais unidades litoestratigráficas que compõe tanto o Escudo Sul-Riograndense como a Bacia do Paraná, além das unidades da Serra Geral são drenadas pelo sistema do Rio Jacuí (Figs. 1a, b). Tal diversidade de áreas-fonte representa uma oportunidade para avaliar o peso da contribuição de cada um destes segmentos geológicos na produção dos depósitos de areia que ocorrem ao longo de seu leito. Por outro lado, a mistura destes sedimentos ao longo do curso principal do rio torna difícil a tarefa de discriminar a contribuição das diferentes áreas-fonte, constituindo-se num desafio científico de grande magnitude. Desta forma, este trabalho é pioneiro na tentativa de discriminar e avaliar estes parâmetros e representa um esforço inicial para o avanço do conhecimento destas variáveis. As perguntas que são levantadas neste trabalho consistem de:

- (a) Quais são as áreas-fonte e respectivas litologias ou associações litológicas que mais contribuem para a formação dos depósitos de areia do rio?
- (b) Quais as relações entre os diferentes intervalos de classe granulométrica dos depósitos de areia e as áreas-fonte?
- (c) Por que o Rio Jacuí é o sistema que produz o tipo de areia mais apropriada para utilização na indústria de concreto no RS?

Utiliza-se neste trabalho a análise convencional de minerais pesados, juntamente com estudos de granulometria do Rio Jacuí e principais afluentes, para a definição de sua proveniência com identificação das áreas-fonte dos sedimentos e suas rotas de distribuição. A análise de minerais

pesados é uma das técnicas mais precisas aplicadas atualmente na determinação da proveniência da areia de depósitos inconsolidados e de arenitos. Eles podem servir como indicadores da natureza das rochas e de depósitos ou ocorrências minerais localizadas à montante do ponto de coleta de um sedimento de drenagem produzindo informações diretas sobre a proveniência através das associações mineralógicas contidas nos mais diversos tipos de rochas (Hubert, 1971; Morton, 1985; Pereira *et al.*, 2005).

A área de estudo deste trabalho está compreendida, aproximadamente, entre os paralelos 29° e 31° e os meridianos 54° e 51° (Fig. 1a).

## ANÁLISE DE MINERAIS PESADOS

São considerados minerais pesados aqueles que possuem densidade igual ou superior a  $2,85\text{g/cm}^3$ , ou seja, maior que o quartzo e o feldspato. Os minerais pesados estão comumente presentes nas rochas como constituintes menores ou como minerais acessórios (Bates & Jackson, 1980; Mange & Maurer, 1992; Addad, 2001).

A importância atribuída a estes minerais se deve à aplicabilidade de seu estudo nas áreas da sedimentologia, estratigrafia e geologia econômica. Na sedimentologia, estes minerais são utilizados em estudos de proveniência e dispersão de sedimentos, devido às paragêneses restritas destes minerais em determinados tipos de rochas.

A quantidade dos minerais pesados em um determinado local depende principalmente de sua abundância na área-fonte, porém a intensidade dos processos que atuam durante o transporte sedimentar também pode influenciar na composição da assembléia de minerais pesados, como, por exemplo: tipo de intemperismo na área-fonte, abrasão mecânica e fracionamento hidráulico. Durante o ciclo geológico os sedimentos podem ser modificados, de forma que sua composição pode ser alterada por perdas ou por enriquecimento seletivo (Pettijohn, 1975; Morton, 1985; Morton

& Hallsworth, 1999). Para o estudo da proveniência precisamos agregar a análise mineralógica ao conhecimento da estabilidade mineral, mecânica e química.

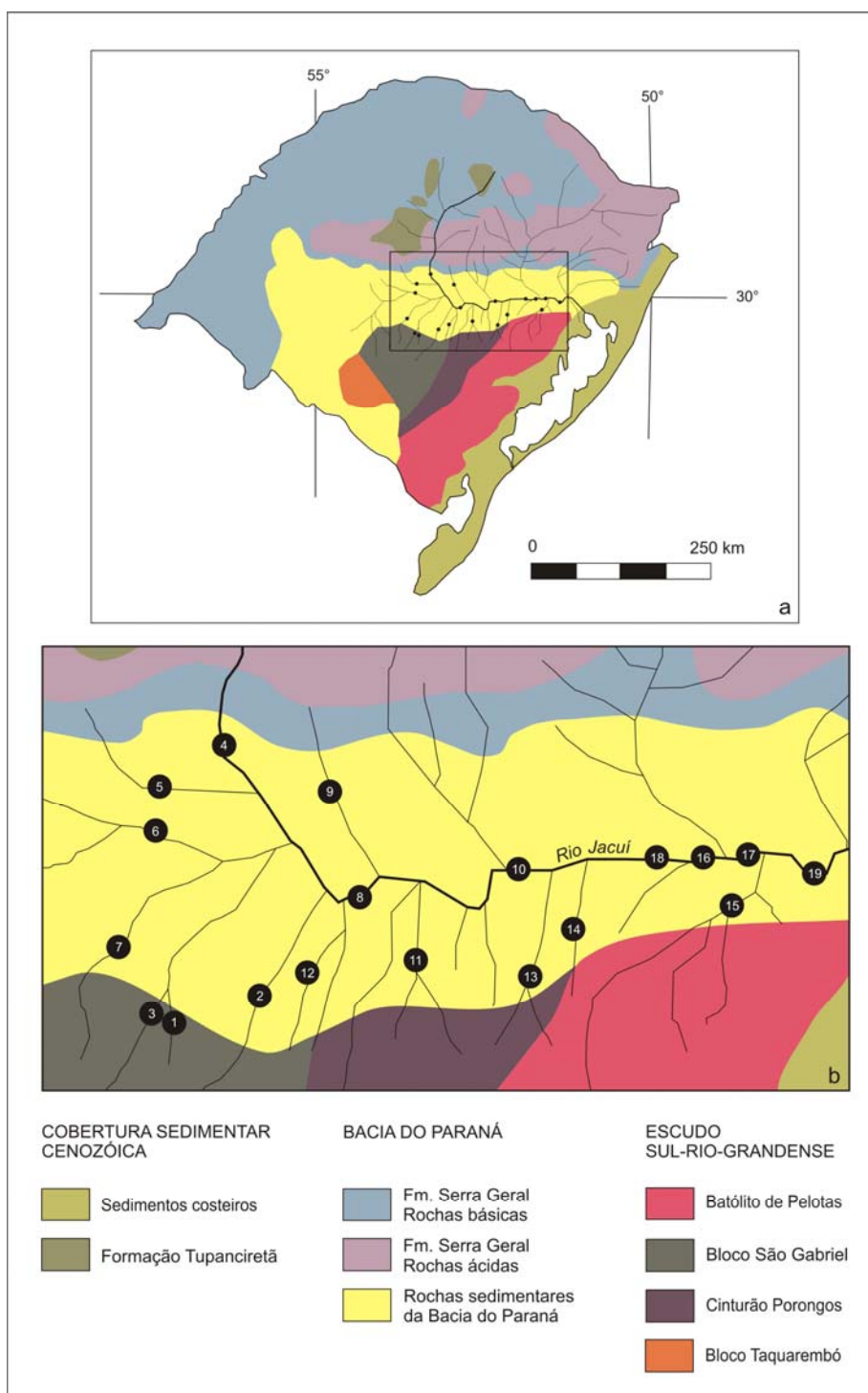


Fig. 1: (a) mapa geológico simplificado do Rio Grande do Sul, com a localização do Rio Jacuí. (b) mapa ilustrativo da área de estudo com a localização dos pontos amostrados.



Para minimizar os efeitos dos processos que interferem no sinal de proveniência, Morton & Hallsworth (1994, 1999) descreveram diversos índices mineralógicos para determinar a proveniência e suas modificações durante o ciclo sedimentar. Para este trabalho utilizamos os índices ATi (100 x apatita / apatita + turmalina) e o GZi (100 x granada / granada + zircão).

Além destes índices, utilizamos o ZTR (100 x zircão+turmalina+rutilo / total de grãos translúcidos), proposto por Hubert em 1962. O índice ZTR indica a maturidade mineralógica do sedimento, tendo em vista que estes três minerais utilizados são considerados ultra-estáveis. A avaliação da maturidade mineralógica deve considerar também o aspecto textural pois áreas-fonte com abundância num destes minerais (turmalina por ex.) podem resultar num índice elevado e não necessariamente representarem sedimentos maduros.

Para avaliar a história de transporte dos sedimentos e mudanças de proveniência, avaliamos o grau de arredondamento da apatita, através do índice ARi (100 x apatita arredondada / apatita total) (Allen & Mange-Rajetzky, 1992).

As varias técnicas disponíveis e utilizadas para análise de proveniência, focalizando minerais pesados, foram sintetizadas por Remus et al, (2008).

## CONTEXTO GEOLÓGICO

Para este trabalho foi feita uma revisão bibliográfica sintética da geologia do Rio Grande do Sul, abordando a Bacia do Paraná, a Formação Serra Geral e as principais rochas que constituem o Escudo Sul-Rio-Grandense. Além disso, as rochas da formação Tupanciretã, que correspondem a sedimentos Cenozóicos depositados sobre as rochas da Serra Geral, também são abordadas, de forma sucinta.

A Bacia do Paraná corresponde a uma ampla bacia sedimentar situada na porção centro-leste da América do Sul e é constituída por rochas sedimentares e ígneas (Milani *et al.*, 2007). Segundo Milani & Zalán (1999), seis supersequências compreendem seu preenchimento sedimentar-

magmático. Esta bacia desenvolveu-se durante parte das eras Paleozóica e Mesozóica e seu registro sedimentar compreende rochas depositadas do Período Ordoviciano ao Cretáceo.

A Formação Serra Geral corresponde ao evento ígneo efusivo que resultou na formação de espessa sucessão vulcânica, que recobriu as rochas sedimentares da Bacia do Paraná. Esta formação é composta por rochas vulcânicas básicas e ácidas, sendo predominantemente máficas (Roisenberg, 1989). No Rio Grande do Sul predominam basaltos de coloração escura devido à granulação fina e presença de minerais ferro-magnesianos, opacos e vidros.

A cobertura sedimentar Cenozóica engloba diferentes tipos de depósitos sedimentares. A Formação Tupanciretã (Menegotto *et al.*, 1968) é restrita ao estado do Rio Grande do Sul, e é composta por arenitos, arenitos conglomeráticos, conglomerados e finas camadas de argilas - sedimentos cuja origem tem sido bastante discutida, embora a mais aceita seja relacionada a um ambiente fluvial (Menegotto, 1971).

O Escudo Sul-Riograndense, de idade predominantemente Pré-Cambriana, possui quatro grandes segmentos: Na porção leste está localizado o Batólito de Pelotas, composto principalmente por granitóides e, secundariamente, por rochas ígneas básicas e septos do embasamento cristalino. A oeste do Batólito estão as rochas metassedimentares e metavulcânicas que compõem o Cinturão Porongos. Na porção noroeste do terreno ocorre o Bloco São Gabriel, composto por diversos cinturões meta-vulcanossedimentares de origem diversificada, além de rochas plutônicas, vulcânicas e uma bacia molássica (Bacia do Camaquã). Ao sul do Bloco São Gabriel encontra-se o Bloco Taquarembó que é composto, principalmente, pelo Complexo Granulítico Santa Maria Chico, que constitui a unidade mais antiga da região.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foram coletadas 19 amostras de sedimentos ativos do rio Jacuí e de alguns de seus afluentes (Fig. 1b), congregando áreas da Bacia Hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim e do Baixo Jacuí, além de uma amostra coletada na Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí.

As amostras coletadas foram secas, quarteadas e peneiradas para a retirada da fração inferior a 62  $\mu\text{m}$  (silte e argila). Posteriormente, as amostras totais foram peneiradas para a separação das frações de areia muito grossa (Tyler 16#), areia grossa (Tyler 32#), areia média (Tyler 60#), areia fina (Tyler 115#) e areia muito fina (Tyler 250#). Cada fração foi pesada em balanças de precisão para a confecção do gráfico de dispersão granulométrica.

Para a análise de minerais pesados foi usada a fração de 63-250  $\mu\text{m}$ , ou seja, areia fina e muito fina. Este intervalo granulométrico é utilizado pela escola italiana (Zuffa, Garzanti e colaboradores), pois apresenta a maior concentração de minerais pesados. É recomendado o uso de uma fração granulométrica restrita para minimizar os efeitos do fracionamento hidráulico durante o transporte e/ou deposição. A fração concentrada foi utilizada para a separação dos minerais pesados com a utilização de um líquido denso (bromofórmio,  $\rho=2,85\text{g/cm}^3$ ), conforme metodologia descrita por Mange & Maurer (1992).

A observação petrográfica foi realizada em lâminas de vidro com montagem de grãos de minerais pesados em meio líquido (alpha-monobromo naftaleno), cujo índice de refração corresponde a 1,658. A quantificação dos grãos é um processo realizado para estimar as proporções dos diferentes minerais, bem como, as formas e inclusões dos principais minerais. Em cada lâmina foram quantificados 300 grãos de minerais pesados translúcidos não-micáceos em microscópio binocular. Este processo é conhecido como “ribbon counting” e foi descrito por Galehouse (1971) e Mange & Maurer (1992). A identificação dos minerais pesados detríticos exige treino especializado em mineralogia ótica.

Foi utilizado um ímã de mão para a separação da magnetita e os demais minerais opacos foram identificados em lupa binocular.

## GRANULOMETRIA E MINERAIS PESADOS

Todas as amostras coletadas foram peneiradas e pesadas em balanças com precisão de 0,0001g para análise granulométrica. O resultado das proporções percentuais das frações de areia está ilustrado no gráfico da figura 2.

Os resultados mostram que as amostras 4, 5, 6 (localizados no oeste junto à Bacia do Paraná) e 18 (curso principal do rio) possuem grande quantidade de sedimentos médios e/ou finos (menos de 20% de areia grossa e muito grossa). Os pontos com maior concentração de areia grossa e/ou muito grossa são os 7, 11 e 15 (mais de 80%) coletados ao sul do rio e possuem nascentes no escudo .

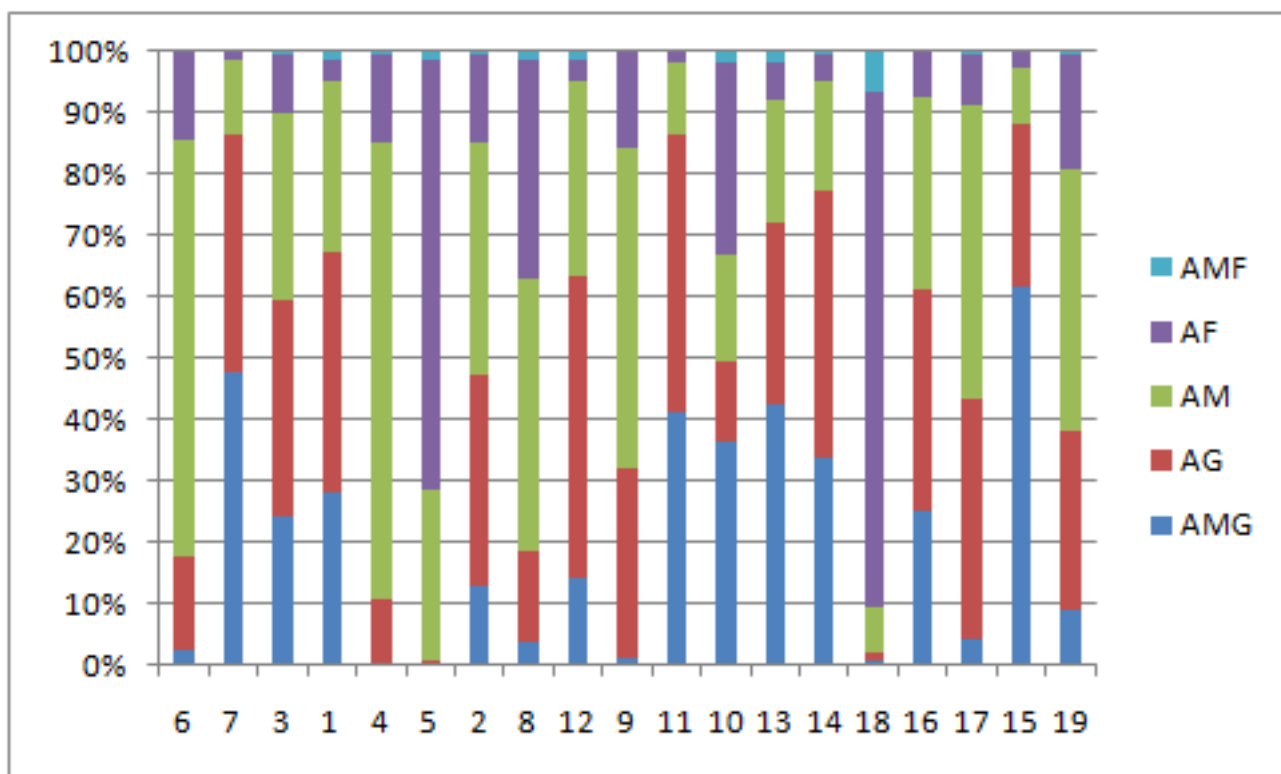
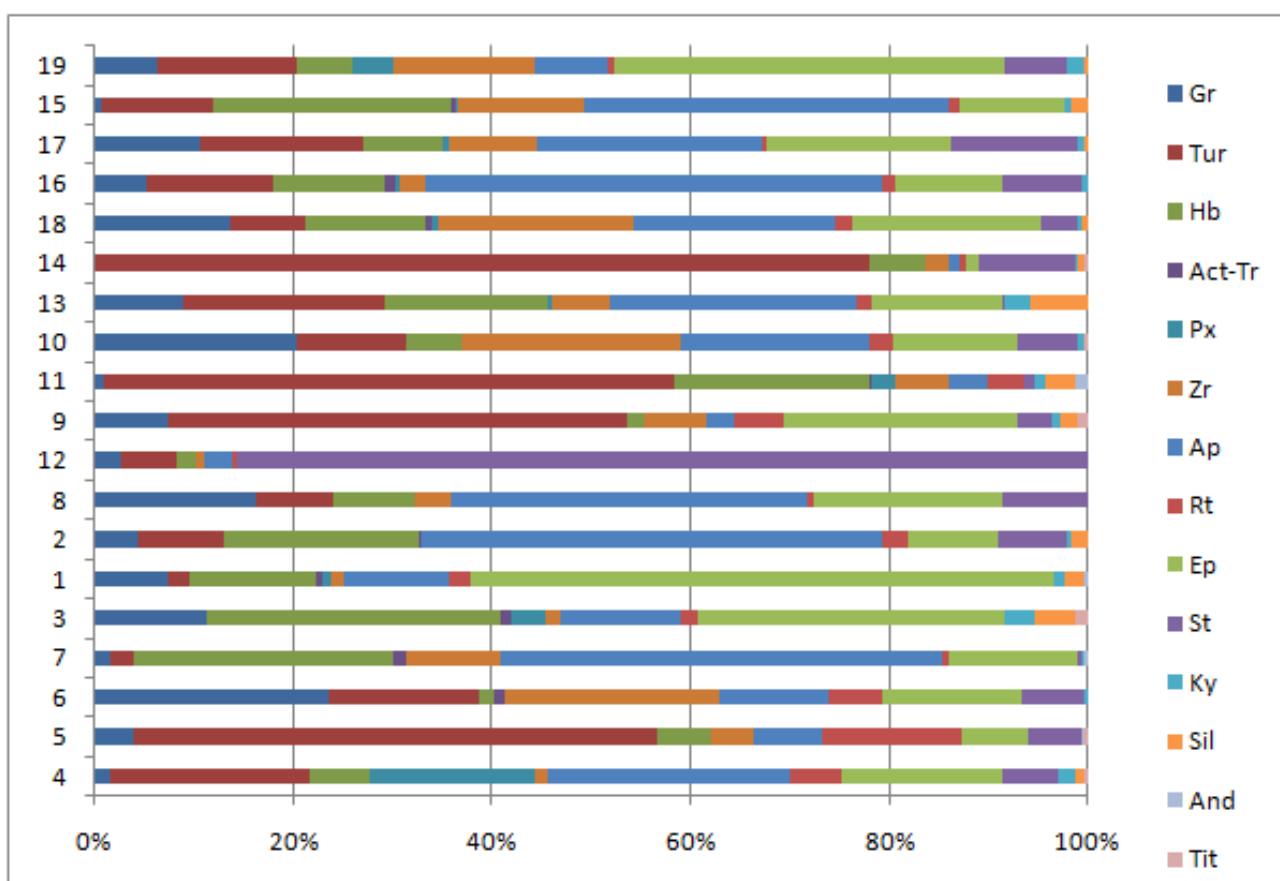


Fig. 2: Gráfico da dispersão granulométrica das amostras estudadas, abrangendo as frações: AMG=areia muito grossa; AG=areia grossa; AM=areia média; AF=areia fina; AMF=areia muito fina.

Depois da separação dos minerais pesados contidos nas frações finas e muito finas, os minerais foram pesados para obtenção da proporção de leves e pesados de cada amostra. A concentração média dos minerais pesados nas amostras estudadas é de aproximadamente 1%.

Os principais minerais pesados identificados neste trabalho consistem de: granada, turmalina, hornblenda, zircão, apatita, epidoto e estauroлита. Além destes minerais, foram identificados: rutilo, piroxênio, cianita, silimanita, andaluzita, titanita, actinolita e tremolita (Fig. 3). O principal piroxênio identificado foi o hiperstênio, porém alguns grãos de enstatita e diopsídio foram identificados no ponto 4. Os minerais opacos identificados na lupa (não quantificados) são: ilmenita, hematita, magnetita e, ocasionalmente, pirita.



**Granada:** este mineral está presente em quase todas as amostras estudadas, com exceção da amostra 14. Os grãos apresentam-se geralmente sub-angulares a sub-arredondados, com inclusões granulares não orientadas. Sua coloração é, em geral, incolor a rosa claro, porém foram identificados alguns grãos de tonalidades mais avermelhadas. Nos pontos 10, 16, 17, 18 e 19, foram identificadas granadas com bordas facetadas (Fig. 4a).

**Turmalina:** este mineral encontra-se predominantemente marrom, com intenso pleocroísmo e formas arredondadas e sub-arredondadas (Fig. 4b). A turmalina está ausente na amostra 3 e é encontrada em abundância nas amostras 5, 9, 11 e 13. Em alguns pontos foram identificadas turmalinas azuis em pequena quantidade (0,3-4%). As turmalinas angulares predominam nos pontos 4, 11, 14, 15 e 16.

**Hornblenda:** mineral freqüente em todas as amostras estudadas. Foram identificadas duas variedades distintas: (a) hornblenda verde, identificada em todos os pontos. (b) hornblenda marrom. Os grãos encontram-se angulares a sub-angulares em sua maioria e possuem bordas serrilhadas em alguns pontos (Fig. 4c).

**Zircão:** foram identificados grãos de zircão angulares, sub-angulares, sub-arredondados e arredondados. Os minerais encontram-se em geral, em formas de prismas curtos, sendo poucos grãos alongados. Nas amostras 10, 11, 13, 15 e 19 foram encontrados zircões euédricos (Fig. 4d). Este mineral foi identificado em todas as amostras, com exceção da amostra 2.

**Epidoto:** o grupo do epidoto é representado pela zoisita, clinozoisita e a variedade epidoto (pistacita). Os grãos apresentam-se predominantemente angulares. Nenhum mineral do grupo do epidoto foi identificado na amostra 11.

**Estauroлита:** este mineral encontra-se dominantemente angular, sendo o principal mineral translúcido identificado na amostra 12 e ausente somente na amostra 3.

**Apatita:** A apatita foi identificada em todas as amostras estudadas e a variação de seu grau de arredondamento está representada na figura 5.

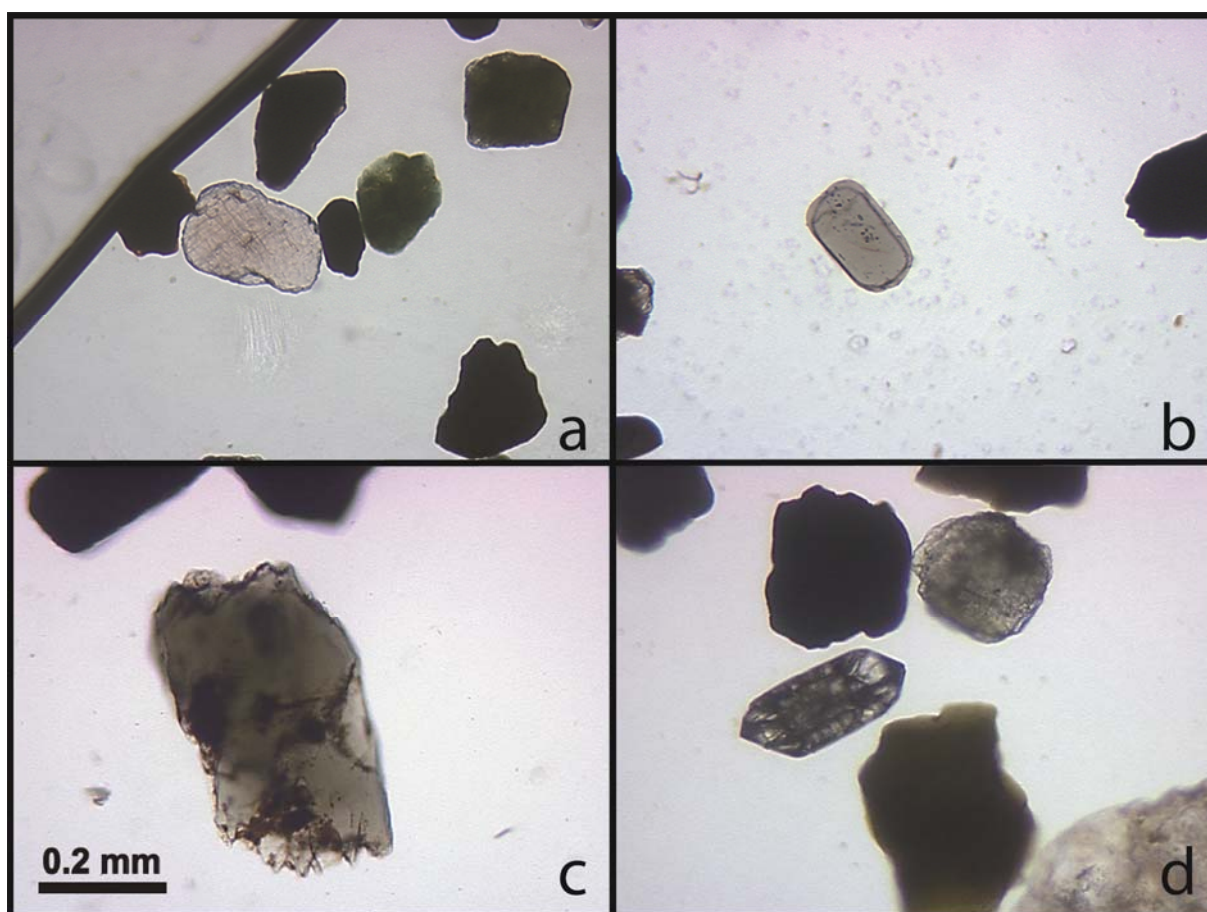


Fig. 4: (a) granada facetadas e arredondadas; (b) turmalina arredondada; (c) hornblenda com bordas serrilhadas; (d) zircão euédrico com núcleo herdado e forma bipiramidada.

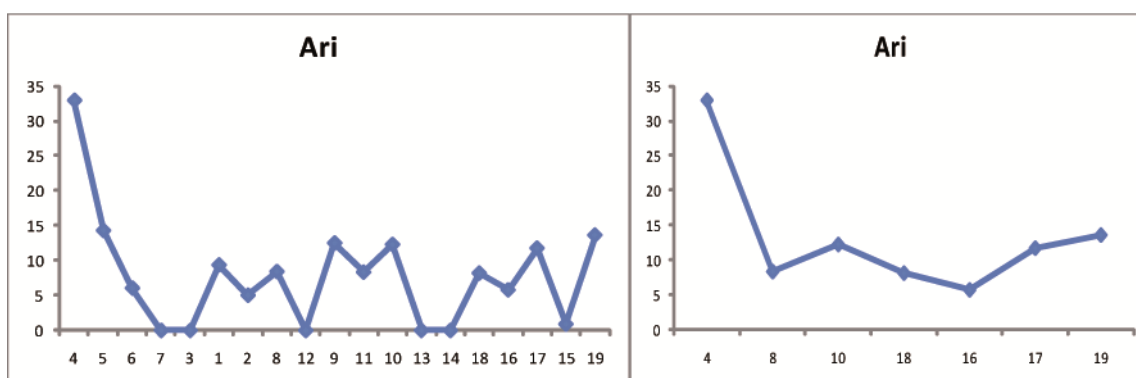


Fig. 5: Índice de arredondamento da apatita: à esquerda, todas as amostras estudadas; à direita, amostras coletadas no Rio Jacuí, ordenadas de montante (esq.) para jusante (dir.).

A análise, identificação e quantificação dos grãos detríticos permitiu a confecção dos gráficos GZi, ATi e ZTR. Estes índices, descritos anteriormente, apresentam os padrões demonstrados nas figuras 6, 7 e 8.

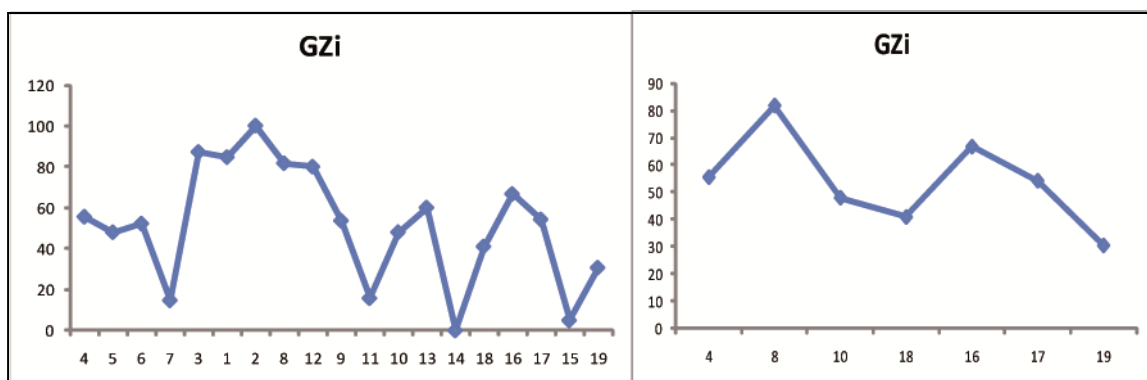


Fig. 6: À esquerda, a representação do índice GZi de todas as amostras estudadas. À direita, apenas as amostras coletadas no Rio Jacuí, de montante (esquerda) para jusante (direita).

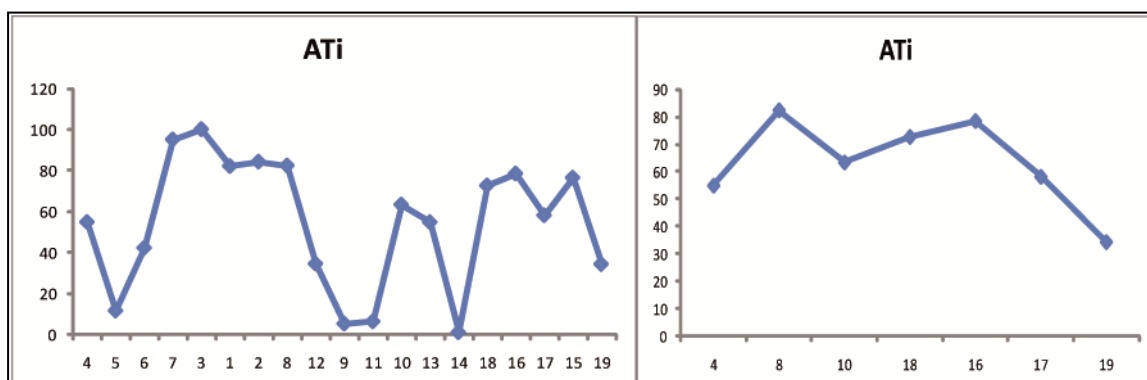


Fig. 7: Variação do índice ATi nas amostras estudadas (esquerda) e sua distribuição somente nas amostras coletadas no Rio Jacuí (direita).

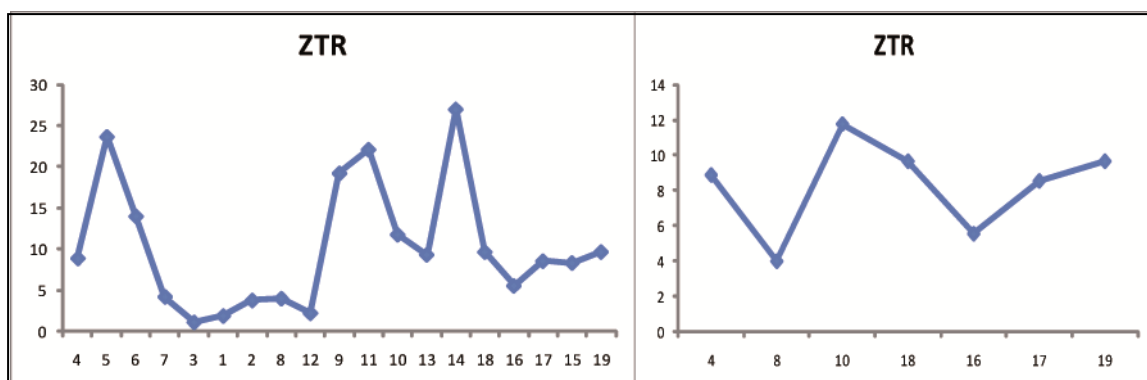


Fig. 8: Distribuição do índice ZTR nas amostras estudadas. À esquerda, estão representadas todas as amostras; à direita, apenas as amostras coletadas no Jacuí, ordenadas de montante para jusante.



## DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Os sedimentos do Rio Jacuí possuem uma grande diversidade mineralógica devido à diversidade de áreas-fonte drenadas pelo seus afluentes.

Observa-se que os afluentes localizados a sul, fornecem uma importante contribuição de sedimentos oriundos de rochas do Escudo Sul-Rio-Grandense. As rochas da Bacia do Paraná também constituem uma importante fonte de proveniência de areias para o Rio Jacuí (Norte e Oeste).

O ARi mostra valores relativamente baixos e constantes ao longo do curso principal do Rio Jacuí. Isto ocorre devido à influência dos inúmeros afluentes do rio, que realimentam os sedimentos do canal principal.

O índice GZi mostra, em direção a foz, o decréscimo de granada em relação ao zircão ao longo do canal principal do Jacuí. Isto se deve aos processos de intemperismo, no qual a granada é relativamente instável e o zircão, ultra-estável. O índice ATi indica um empobrecimento de apatita comparado à turmalina, demonstrando que estes minerais foram submetidos a intemperismo durante o período de exposição dos sedimentos nos aluviões, em ambiente de pH ácido, no qual a apatita é muito instável.

De modo geral, os processos intempéricos não causaram redução significativa na diversidade mineralógica, apenas um pequeno decréscimo na razão de alguns minerais, como a granada e a apatita, por exemplo.

Os resultados da análise granulométrica demonstram uma granulometria mais grossa (predominantemente maior que 0,5mm) nas amostras coletadas nos afluentes que drenam rochas do escudo. As amostras que possuem forte contribuição de sedimentos da Bacia do Paraná e da Formação Serra Geral possuem uma granulometria predominantemente menor que 0,5mm.

As areias do Rio Jacuí possuem contribuição de áreas fontes-distintas envolvendo terrenos de idades e natureza completamente diferentes de modo a produzir areias com uma ampla

distribuição granulométrica nos diferentes intervalos. Desta forma, a areia produzida pela mistura dos diversos afluentes resulta num excelente produto para uso na indústria do concreto. Isto é demonstrado pela presença das diversas classes granulométricas que constituem os sedimentos estudados. Tais classes granulométricas presentes podem ser explicadas pela natureza distinta das áreas-fonte (mais grossa para o escudo e mais fina para a Bacia do Paraná).

Os sedimentos que provém da Bacia do Paraná possuem um ZTR mais alto (amostras 5, 6, 9, 11 e 14) e granadas com bordas facetadas e arredondadas, indicativas de terem sofrido dissolução na diagênese e posteriormente abrasão durante o retrabalhamento sedimentar (amostras 10, 16, 17, 18 e 19).

A amostra 5 foi coletada em um afluente que drena apenas rochas sedimentares da Bacia do Paraná, permitindo indicar uma assinatura mineralógica e textural típica para este ponto da bacia: turmalina (53%), rutilo (14%), apatita (7%), epidoto (7%), estaurolita (5%), hornblenda (5%), zircão (4%) e granada (4%). Os minerais mais instáveis, tais como estaurolita, epidoto e hornblenda, possuem texturas indicativas de dissolução (bordas serrilhadas). Os grãos deste ponto encontram-se predominantemente angulares ou sub-angulares, indicando uma proveniência de arenitos fluviais e não eólicos (Grupo Rosário do Sul, por exemplo).

Observam-se algumas ambigüidades na amostra 4, coletada no ponto mais à montante do Jacuí: o grau de arredondamento da apatita é alto, enquanto que os demais minerais encontram-se predominantemente angulares. Neste ponto também foi identificado uma grande percentagem de hiperstênio (17%) com bordas de dissolução. Este mineral é muito instável e dificilmente sobrevive ao soterramento em bacias sedimentares. Uma hipótese é que estes sedimentos podem ser derivados das rochas da Formação Tupanciretã (Cenozóico), que recobre as rochas da Formação Serra Geral e são drenadas por diversos afluentes do Jacuí; e de rochas da Formação Botucatu (Bacia do Paraná), possuindo uma contribuição preferencial destas duas áreas-fonte. Trabalhos a respeito da Formação Tupanciretã são escassos e pouco se sabe a respeito da mineralogia que constitui estas rochas, sendo

que o único trabalho de minerais pesados realizado nesta formação foi feito por Menegotto, em 1971.

Os afluentes da margem direita do Jacuí, que drenam rochas do Escudo Sul-Rio-Grandense, demonstram uma grande contribuição de sedimentos oriundos do escudo. As principais características que marcam estes sedimentos são: grande proporção de apatita, com formas predominantemente angulares, gerando um ARi baixo (chegando a zero). Os pontos 1 e 3 foram coletados de afluentes que drenam rochas do Bloco São Gabriel, contribuindo principalmente com epidoto e hornblenda. O ponto 12 possui uma grande percentagem de estauroлита (86%), proveniente provavelmente do

Cinturão Porongos. As amostras coletadas nos afluentes da margem direita do Jacuí, possuem um ZTR mais baixo, com exceção do ponto 11 que possui contribuição de sedimentos da Bacia do Paraná, e do ponto 14, que possui a maior concentração de turmalina (78%), provenientes de granitos, pegmatitos e turmalinitos da região de Encruzilhada do Sul.

Não foram identificadas contribuições significativas das rochas da Formação Serra Geral na composição dos minerais pesados estudados. Os principais minerais pesados que compõem as rochas básicas e ácidas são os piroxênios (augita e pigeonita), que se alteram facilmente para argilominerais, além de óxidos do tipo magnetita e minoritariamente hematita.

Os índices mineralógicos determinados neste trabalho representam a assinatura de minerais pesados do Rio Jacuí e podem ser utilizados futuramente para avaliar a contribuição dos sedimentos do rio no preenchimento da porção mais jovem da Bacia de Pelotas.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq - Processo 475634/2009-8 (Universal) pelo auxílio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa e pelas Bolsas PQ e CAPES - Mestrado. Agradecemos à SMARJA e SOMAR pelo auxílio no fornecimento de parte das amostras deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Addad J.E., 2001. *Minerais Pesados: uma ferramenta para prospecção, proveniência, paleogeografia e análise ambiental*. São Paulo: Imprensa Universitária. Centro Gráfico da UFMG, 80p.
- Allen P.A. & Mange-Rajetzky M.A. 1992. Sedimentary Evolution of the Devonian Carboniferous Clair Field, Offshore Northwestern UK: Impact of Changing Provenance. *Marine and Petroleum Geology*, 9:29-52.
- Bates, R.L. & Jackson, J.A., 1980. *Glossary of Geology*. Falls Church, VA. American Geological Institute. 751p.
- Galehouse, J. S., 1971. Sedimentation Analysis, In: Carver R.E. (Ed.). *Procedures in sedimentary petrology*. New York, John Wiley & Sons. p. 69-94.
- Hubert J.F., 1962. A Zircon-Tourmaline-Rutile Maturity Index and the Interdependence of the Composition of Heavy Mineral Assemblages with the Gross Composition and Texture of Sandstones. *Journal Sedimentary Petrology*, 32:40-450.
- Hubert J.F., 1971. Analysis of Heavy-Mineral Assemblage. In: Carver R.E. (ed.) *Procedures in Sedimentary Petrology*. Athens, Geórgia, Wiley Interscience, p. 453-478.
- Mange M.A. & Maurer H.F.W., 1992. *Heavy Mineral in Colour*. London Chapman & Hall. 147p.
- Menegotto, E., Sartori, P.L., Maciel Filho, C.L., 1968. Nova sequência sedimentar sobre a Serra Geral no Rio Grande do Sul. *Publicação Especial da Secção de Geologia do Instituto de Solos e Culturas da UFSM*, Santa Maria, 1:1-19.
- Menegotto, E., 1971. *Sedimentologia da Formação Tupanciretã*. Dissertação de Mestrado em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 58p.
- Milani, E.J., & Zalán, P.V., 1999. Outline of the Geology and Petroleum Systems of the Paleozoic Interior Basins of South America. *Episodes*, 22: 99-205.
- Milani, E.J.; França, A.B. e Medeiros, R.A., 2007. Roteiros Geológicos, Rochas geradoras e rochas-reservatório da Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobras* 15 (1): 135–162.
- Morton, A.C., 1985. Heavy Minerals in Provenance Studies. In: G.G. Zuffa (Ed.). *Provenance of Arenites*. Reidel, Dordrecht, p.249-227.
- Morton, A.C. & Hallsworth, C., 1994. Identifying Provenance-Specific Features of Detrital Heavy Mineral Assemblages in Sandstones. *Sedimentary Geology*, 90:241-256.
- Morton, A.C. & Hallsworth, C., 1999. Processes Controlling the Composition of Heavy Mineral Assemblages in Sandstones. *Sedimentary Geology*, 124:3-29.
- Pereira, R.M., Ávila C.A., Lima, P.R.A.S., 2005. *Minerais em grãos: técnicas de coleta, preparação e identificação*. Oficina de Textos. p.14-18.

Pettijohn, F., 1975. *Sedimentary Rocks*. Harper Row Publishers. New York, USA. 628p.

Roisenberg, A., 1989. *Petrologia e geoquímica do vulcanismo ácido mesozóico da Província Meridional da Bacia do Paraná*. Tese de doutorado em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 285p.

Remus M.V.D.; Souza R.S.; Cupertino J.A. S; De Ros L.F., Dani, N. Vignol, M.L., 2008. Proveniência sedimentar: métodos e técnicas analíticas aplicadas. *Revista Brasileira de Geociências*, 38(2 - suplemento): 166-185.

## CAPÍTULO 5

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os sedimentos do Rio Jacuí possuem uma grande diversidade mineralógica devido à diversidade de áreas-fonte drenadas pelo seus afluentes.

Observa-se que os afluentes localizados a sul, fornecem uma importante contribuição de sedimentos oriundos de rochas do Escudo Sul-Rio-Grandense. As rochas da Bacia do Paraná também constituem uma importante fonte de proveniência de areias para o Rio Jacuí (Norte e Oeste).

O ARi mostra valores relativamente baixos e constantes ao longo do curso principal do Rio Jacuí. Isto ocorre devido à influência dos inúmeros afluentes do rio, que realimentam os sedimentos do canal principal.

O índice GZi mostra, em direção a foz, o decréscimo de granada em relação ao zircão ao longo do canal principal do Jacuí. Isto se deve aos processos de intemperismo, no qual a granada é relativamente instável e o zircão, ultra-estável. O índice ATi indica um empobrecimento de apatita comparado à turmalina, demonstrando que estes minerais foram submetidos a intemperismo durante o período de exposição dos sedimentos nos aluviões, em ambiente de pH ácido, no qual a apatita é muito instável.

De modo geral, os processos intempéricos não causaram redução significativa na diversidade mineralógica, apenas um pequeno decréscimo na razão de alguns minerais, como a granada e a apatita, por exemplo.

Os resultados da análise granulométrica demonstram uma granulometria mais grossa (predominantemente maior que 0,5mm) nas amostras coletadas nos afluentes que drenam rochas do escudo. As amostras que possuem forte contribuição de sedimentos da Bacia do Paraná e da Formação Serra Geral possuem uma granulometria predominantemente menor que 0,5mm.

As areias do Rio Jacuí possuem contribuição de áreas fontes-distintas envolvendo terrenos de idades e natureza completamente diferentes de modo a produzir areais com uma ampla distribuição granulométrica nos diferentes intervalos. Desta forma, a areia produzida pela mistura dos diversos afluentes resulta num excelente produto para uso na indústria do concreto. Isto é demonstrado pela presença das diversas classes granulométricas que constituem os sedimentos estudados. Tais classes granulométricas presentes podem ser explicadas pela natureza distinta das áreas-fonte (mais grossa para o escudo e mais fina para a Bacia do Paraná).

Os sedimentos que provém da Bacia do Paraná possuem um ZTR mais alto (amostras 5, 6, 9, 11 e 14) e granadas com bordas facetadas e arredondadas, indicativas de terem sofrido dissolução na diagênese e posteriormente abrasão durante o retrabalhamento sedimentar (amostras 10, 16, 17, 18 e 19).

A amostra 5 foi coletada em um afluente que drena apenas rochas sedimentares da Bacia do Paraná, permitindo indicar uma assinatura mineralógica e textural típica para este ponto da bacia: turmalina (53%), rutilo (14%), apatita (7%), epidoto (7%), estauroлита (5%), hornblenda (5%), zircão (4%) e granada (4%). Os minerais mais instáveis, tais como estauroлита, epidoto e hornblenda, possuem texturas indicativas de dissolução (bordas serrilhadas). Os grãos deste ponto encontram-se predominantemente angulares ou sub-angulares, indicando uma proveniência de arenitos fluviais e não eólicos (Grupo Rosário do Sul, por exemplo).

Observam-se algumas ambigüidades na amostra 4, coletada no ponto mais à montante do Jacuí: o grau de arredondamento da apatita é alto, enquanto que os demais minerais encontram-se predominantemente angulares. Neste ponto também foi identificado uma grande percentagem de hiperstênio (17%) com bordas de dissolução. Este mineral é muito instável e dificilmente sobrevive ao soterramento em bacias sedimentares. Uma hipótese é de que estes sedimentos podem ter sido derivados das rochas da Formação Tupanciretã (Cenozóico), que recobre as rochas da Formação Serra Geral e são drenadas por diversos afluentes do Jacuí; e de rochas da Formação Botucatu (Bacia do Paraná), possuindo uma contribuição preferencial destas duas áreas-fonte. Trabalhos a respeito da Formação Tupanciretã são escassos e pouco se sabe a respeito da mineralogia que constitui estas rochas, sendo que o único trabalho de minerais pesados realizado nesta formação foi produzido por Menegotto (1971).

Os afluentes da margem direita do Jacuí, que drenam rochas do Escudo Sul-Riograndense, demonstram uma grande contribuição de sedimentos oriundos do escudo. As principais características que marcam estes sedimentos são: grande proporção de apatita, com formas predominantemente angulares, gerando um ARi baixo (chegando a zero). Os pontos 1 e 3 foram coletados de afluentes que drenam rochas do Bloco São Gabriel, contribuindo principalmente com epidoto e hornblenda, derivados de metabasitos. O ponto 12 possui uma grande percentagem de estauroлита (86%), proveniente provavelmente de metapelitos do Cinturão Porongos. As amostras coletadas nos afluentes da margem direita do Jacuí, possuem um ZTR mais baixo, com exceção do



ponto 11, que possui contribuição de sedimentos da Bacia do Paraná, e do ponto 14, que possui a maior concentração de turmalina (78%), provenientes de granitos, pegmatitos e turmalinitos da região de Encruzilhada do Sul.

Não foram identificadas contribuições significativas das rochas da Formação Serra Geral na composição dos minerais pesados estudados. Os principais minerais pesados que compõem as rochas básicas e ácidas são os piroxênios (augita e pigeonita), que se alteram facilmente para argilominerais, além de óxidos do tipo magnetita e minoritariamente hematita.

Os índices mineralógicos determinados neste trabalho representam a assinatura de minerais pesados do Rio Jacuí e podem ser utilizados futuramente na análise de correlação dos dados de minerais pesados de sequências mais jovens da Bacia de Pelotas. Estudos de correlação deste tipo estão em progresso, focalizando amostras de furos de sondagem na Laguna dos Patos, obtidas por Weschenfelder *et al.* (2008). Nestes trabalhos futuros, serão avaliadas as possibilidades de ocorrência de paleocanais do Rio Jacuí na Laguna dos Patos.

## 5. REFERÊNCIAS

Allen P.A. & Mange-Rajetzky M.A. 1992. Sedimentary Evolution of the Devonian Carboniferous Clair Field, Offshore Northwestern UK: Impact of Changing Provenance. *Marine and Petroleum Geology*, 9:29-52.

Basu, A., 1985. Influence of Climate and Relief on Compositions of Sands Released at source areas. In: Zuffa, G.G., (ed.) *Provenance of Arenites*. Dordrecht, Germany, D.Reidel Publishing Company. p.1-18. (NATO-ASI series c: Mathematical and Physical Sciences).

Bitencourt, M.F. & Hartmann, L.A., 1984. Reconhecimento Geoquímico dos Xistos Magnesianos da Região do Passo Feio, Caçapava do Sul, RS. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33, 1990, Rio de Janeiro, RJ. Anais... Rio de Janeiro, SBG, v.6, p.2607-2614.

Boswell, P.G.H., 1933. *Mineralogy of Sedimentary Rocks*, Murby and Co., London (1933). 393pp.

Caironi V., Garzanti E., Sciunnach, D., 1996. Typology of Detrital Zircon as a Key to Unraveling Provenance in Rift Siliciclastic Sequences (permo-Carboniferous of Spiti, N India). *Geod. Acta*, 9: 101-113.

Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM), 2008. Programa Geologia do Brasil. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Sul. Serviço Geológico. CD-ROM.

Clemente C.A., 1988. Alterações e Solos Desenvolvidos sobre Rochas Vulcânicas Ácidas da Formação Serra Geral nos Planaltos de Guarapuava e Palmas, Região Centro Sul. Piracicaba: ESALQ-USP.

Corfu F., Hanchar J.M., Hoski P.W.O. (Eds.). *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, 53, Min. Soc. Of Am., p. 469-500.

Dias, J.M.A., 2004. *A Análise Sedimentar e o Conhecimento dos Sistemas Marinhos (Uma Introdução à Oceanografia Geológica)*. E-book.

Edelman, C.H., 1993. *Petrologische Provincies in Het Nederlandsche Kwatair*. (Petrologic Provinces in the Netherland Quarternary). Ph.D. Thesis, University of Amsterdam. 104pp.

Fontanelli, P.R., 2007. Proveniência dos arenito-reservatórios de água profunda do Campo de Jubarte, Bacia de Campos, Margem Continental Brasileira. Dissertação de Mestrado em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 108p.

Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM), 2002. Disponível em: <[http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade\\_jacui/jacui.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_jacui/jacui.asp)>. Acesso em janeiro de 2011.

Galehouse, J. S., 1971. Sedimentation Analysis, In: Carver R.E. (ed.). Procedures in sedimentary petrology. New York, John Wiley & Sons. p. 69-94.

Grimm, W.D., 1973. Stepwise Heavy Mineral Weathering in the Residual Quartz Gravel, Bavarian Molasse (Germany). *Contrib. Sediment.* 1, p. 103-125.

Hartmann, L.A., Porcher, C.C., Remus M.V.D., 2000. Evolução das Rochas Metamórficas do Rio Grande do Sul. In: Holz, M.; De Ros, L.F. (Eds.). *Geologia e Estratigrafia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CIGO/UFRGS, PP. 78-118.

Holz, M. & Carlucci, R., 2000. Litoestratigrafia, Estratigrafia de Sequências e Evolução Paleofisiográfica da zona de borda da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul durante o Eo-Permiano. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Ed.). *Paleontologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CIGO/UFRGS. p. 303-322.

Hubert J.F., 1962. A Zircon-Tourmaline-Rutile Maturity Index and the Interdependence of the Composition of Heavy Mineral Assemblages with the Gross Composition and Texture of Sandstones. *J. Sed. Petrol.* 32. 40-450.

Hubert J.F., 1971. Analysis of Heavy-Mineral Assemblages. In: Robert E.C. (Ed.) *Procedures in Sedimentary Petrology*. Cap. 19; p. 453-478.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Levantamento de recursos naturais do projeto RadamBrasil: folha SH. 22-Porto Alegre, SH.21- Uruguaiana e SI. 21-Lagoa Mirim. Rio de Janeiro, IBGE, 1986. 796p.

Johnsson, M.J., 1993. The System Controlling the Composition of Clastic Sediments. In: Johnsson, M.J. & Basu, A. (Eds.). *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*. *Geol. Soc. Am., Spec. Pap.*, 284:1-19.

Johnsson, M.J. & Meade, R.H., 1990. Chemical Weathering of Fluvial Sediments During Alluvial Storage: The Macupanim Island Point Bar, Solimões River, Brazil, *J. Sediment. Petrol.* 60 (1990), p. 827-842.

Johnsson, M.J., Stallared, R.F., Lundberg, N., 1991. Controls on the composition of fluvial sands from a tropical weathering. *Sedimentary Geology*, 124 (3-29).

Jost, H. & Bitencourt, M.F., 1980. Estratigrafia e Tectônica de uma fração da Faixa de Desdobramentos de Tijucas no RS. *Acta Geologica Leopoldensia*. 4, 27-60.

Juchem, P.L., Strieder, A.J., Hartmann, L.A., Brum, T.M.M., Pulz, M., Duarte, L.C. 2007. *Geologia e Mineralogia das Gemas do Rio Grande do Sul*. 50 Anos de Geologia, Instituto de Geociências. p.177-197.

Koppe, J.C. & Hartmann, L.A., 1988. Geochemistry of the Bossoroca Greenstone Belt, Southernmost Brazil. *Geochimica Brasiliensis*, 2(2): 167-174.

Krynine, P.D., 1946. The Tourmaline Group in Sediments. *J. Geol.* 54, 65-87.

Ingersoll, R.V., Kretchmer, A.G., Valles, P.K., 1993. The effects of sampling scale on actualistic sandstone and petrofacies. *Sedimentology*, 40 (937-953).

Lihou, J.C., Mange-Rajetzky, M.A., 1996. Provenance of the Sardona Flysch, Eastern Swiss Alps: Example on Right Resolution, Heavy Mineral Analysis Applied to an Ultrastable Assemblage. *Sediment. Geol.* 105, 141-157.

Mange M.A. & Maurer H.F.W., 1992. *Heavy Mineral in Colour*. London Chapman & Hall. 147p.

Mange-Rajetzky, M.A., 1995. Subdivision and Correlation of Monotonous Sandstone Sequences Using High-Resolution Heavy Mineral Analysis, a case study: The Triassic of the Central Graben. In: Dunay, R.E. & Hailwood, E.A. (Eds.), *Non-biostratigraphical Methods of dating and Correlation*. *Geol. Soc., Spec. Publ.*, 89:23-30.

Mange M.A. & Wright, D.T., 2007. High-Resolution Heavy Mineral Analysis (HRMA): a brief summary. In: Mange, M.A. & Wright, D.T. (Eds.), *Developments in Sedimentology*, 58: 433-436.

Menegotto, E., Sartori, P.L.P., Maciel Filho, C.L. 1968. Nova Seqüência Sedimentar sobre a Serra Geral no Rio Grande do Sul. Santa Maria: UFSM. (Publicação especial nº 1).

Menegotto, E., 1971. *Sedimentologia da Formação Tupanciretã*. Dissertação de Mestrado em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 58p.

Menezes, J.R.C., 2000. Estratigrafia do Neopermiano da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Ed.). *Paleontologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CIGO/UFRGS. p. 323-334.

Milani, E.J., Faccini, U.F., Scherer, C.M., 1998. Sequences and Stratigraphic Hierarchy of the Paraná Basin (Ordovician to Cretaceous), Southern Brazil. *Boletim IG-USP: Série Científica*, v. 29, 1998.

Milani, E.J., & Zalán, P.V., 1999. Outline of the Geology and Petroleum Systems of the Paleozoic Interior Basins of South America. *Episodes*, 22: 99-205.

Milani, E.J.; França, A.B. e Medeiros, R.A., 2007. Roteiros Geológicos, Rochas geradoras e rochas-reservatório da Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobras* 15 (1): 135–162. Milner H.B. 1952. *Sedimentary Petrography*. London, Thomas Murby & Co, 666 p.

Morton, A.C., 1984. Stability of Detrital Heavy Minerals in Tertiary Sandstones of the North Sea Basin. *Clay Miner.*, 19, 287-308.

Morton, A.C., 1985. Heavy Minerals in Provenance Studies. In: G.G. Zuffa (Ed.). *Provenance of Arenites*. Reidel, Dordrecht, p. 249-227.

Morton, A.C., 1986. Dissolution of Apatite in North Sea Jurassic Sandstones: Implications for Generation of Secondary Porosity. *Clay Miner.* 21: 711-733.

Morton, A.C. & Hallsworth, C., 1994. Identifying Provenance-Specific Features of Detrital Heavy Mineral Assemblages in Sandstones. *Sedimentary Geology*, 90: 241-256.

Morton, A.C. & Hallsworth, C., 1999. Processes Controlling the Composition of Heavy Mineral Assemblages in Sandstones. *Sedimentary Geology*, 124: 3-29.

Morton, A.C. & Johnsson, M.J., 1993. Factors Influencing the Composition of Detrital Heavy Mineral Suites in Holocene Sands of the Apure River Drainage Basin, Venezuela. In: Johnsson, M.J., Basu, A. (Eds.), *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*. Geol. Soc. Am., Spec. Pap. 284, p.171-185.

Nickel, E., 1973. Experimental dissolution of light and heavy minerals in comparison with weathering and intrastratal solution. *Contrib. Sediment.* 1, 1-68.

Pedron, F.A., 2007. Mineralogia, morfologia e classificação de saprolitos e Neossolos derivados de rochas vulcânicas no Rio Grande do Sul. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 160p. (Tese de Doutorado)

Pereira, R.M., Ávila C.A., Lima, P.R.A.S., 2005. Minerais em grãos: técnicas de coleta, preparação e identificação. *Oficina de Textos*. p.14-18.

Pettijohn, F., 1975. *Sedimentary Rocks*. Harper Row Publishers. New York, USA. 628p.

Philipp, R. P., 1998. A Evolução Geológica e Tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. São Paulo, 255 p. (Tese de Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Philipp, R.P., Nardi, L.V., Bitencourt, M.F., 2000. O Batólito de Pelotas no Rio Grande do Sul. In (Eds.): Holz M., De Ros, L.F. *Geologia e Estratigrafia do Rio Grande do Sul*.

Picada, R.S., 1965. Ocorrências de migmatitos, granitos e gnaiss controlados por fraturas regionais, Encruzilhada do Sul, RS. *Boletim da Escola de Geologia da UFRGS*, 14:7-59.

Remus, M.V.D., 1999. Metalogênese dos depósitos hidrotermais de metais-base e Au do Ciclo Brasileiro do Bloco São Gabriel, RS. Porto Alegre. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, UFRGS.

Remus, M.V.D., Hartmann, L.A., Ribeiro, M., 1991. Nota sobre a geologia dos metamorfitos de pressão intermediária e granitóides associados da região de Pinheiro Machado/RS. *Acta Geologica Leopoldensia*, 34., 175-190.

Remus, M.V.D., Philipp, R.P., Faccini, U.F., Junges, S.L., 1990. Contribuição ao Estudo Geológico e Estrutural dos Gnaisses Encantadas e as Relações com as Supracrustais Porongos na região de Santana da Boa Vista/RS. In: *Congresso Brasileiro de Geologia 36.*, Natal (Ed. Sociedade Brasileira de Geologia, Rio de Janeiro), Anais..., SBG. pp.2356-2370.

Remus, M.V.D., Souza, R.S., Cupertino, J.A., De Ros, L.F., Dani, N., Vignol-Lelarge, M.L., 2008. Proveniência Sedimentar: Métodos e Técnicas Analíticas Aplicadas. *Revista Brasileira de Geociências*, 38(2 - suplemento): 166-185.

Ribeiro, M.J., Bocchi, P.A., Figueiredo Filho, P.M., Tessari, R.I., 1966. Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, RS, RS. *Boletim da Divisão de Fomento e Produção Mineral, DNPM*, 127:1-232.

Roisenberg, A., 1989. Petrologia e geoquímica do vulcanismo ácido mesozóico da Província Meridional da Bacia do Paraná. Tese de doutorado em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 285p.

Rubey, W.W., 1933. The size-distribution of heavy minerals within a water-laid sandstone. *J. Sediment. Petrol.*, 3: 3-29.

Saalmann, K., Remus, M.V.D., Hartmann, L.A., 2005. Structural Evolution and Tectonic Setting of the Porongos Belt, Southern Brazil. *Geol. Mag.*, Cambridge University Press. 1-30.

Sartori, P. L.; Maciel Filho, C.; Menegotto, E, 1975. Contribuição ao estudo das rochas vulcânicas da Bacia do Paraná na região de Santa Maria, RS. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 5, p. 141-159.

Sartori, P. L.; Gomes, C. B, 1980. Composição química-mineralógica das últimas manifestações vulcânicas na região de Santa Maria, RS. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 52, n. 1, p. 125-133.

Savage, K.M., De Cesero, P., Potter, P.E., 1988. Mineralogic Maturity of Modern Sand a High-Energy Tropical Coast, Baixada de Jacarepaguá, Rio de Janeiro, Brazil. *J. S. Am. E. Sc.*, 1:317-328.

Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul, SEMA, 2002. Recursos hídricos.

Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul, SEMA, 2011. Inventário Florestal Contínuo. Disponível em : < <http://coralx.ufsm.br/ifcrs/> Acesso em: janeiro de 2011.

Scherer, C.M.S., Faccini, U.F., Lavina, E.L., 2000. Arcabouço Estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Ed.). *Paleontologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CIGO/UFRGS. p. 335-354.

Silva, D.R.A. Mizusaki, A.M.P., Anjos, S.M.C., Koester, E., Borba, A.W., 2006. Provenance of fine-grained sedimentary rocks derived from Rb-Sr and Sm-Nd analyses: the example of the Santa Maria Formation (Triassic, Parana Basin, Southern Brazil). *Lat. Am. J. Sedimentol. Basin Anal.*, v.13, n.2, La.

Souza, P.A., Ianuzzi, R., Holz, M., 2007. Palinologia e a Evolução Geológica da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul durante o Permiano. *50 Anos de Geologia*, Instituto de Geociências. p.221-235.

Teixeira, W., Taioli, F., Fairchild, T., 2001. Decifrando a terra. São Paulo: Oficina de Textos. 568 p.

Vasquez, M.L., 1997. Evolução petrogenética dos granitos da Suite Intrusiva Encruzilhada do Sul-RS. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 195p.

Vlieira, E.F. Rio Grande do Sul: Geografia física e vegetação. Porto Alegre: Sagra, 1984. 304 p.

Weltje, G.J. & von Eynatten, H., 2004. Quantitative provenance analysis of sediments: review and Outlook. *Sedimentary Geology*, v.171, Issues 1-4.

Weschenfelder, J., Corrêa, I.C.S., Toldo Jr., E.E., Baitelli, R., 2008. Paleocanais como indicativo de eventos regressivos Quaternários do nível do mar no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 26(3): 367-375.

Zalán, P.V., Wolff, S., Conceição, J.C., Marques, A., Astolfi, M.A.M, Vieira, I.S., Appi, V.T., 1990. Bacia do Paraná. In: *Origem e evolução de Bacias Sedimentares*. Petrobrás, Rio de Janeiro, p. 135-164.

ANEXO



