

# *Pesquisas em Geociências*

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

---

## **Minerais Pesados dos Depósitos Aluviais do Rio Paraná e sua Implicação Paleohidrológica**

*Manoel Luiz dos Santos, Nelson Vicente Lovatto Gasparetto*

*Pesquisas em Geociências, 35 (2): 71-81, jan./abr., 2009.*

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/17938>

---

Publicado por

## **Instituto de Geociências**

---



## **Portal de Periódicos UFRGS**

UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL

---

### **Informações Adicionais**

**Email:** [pesquisas@ufrgs.br](mailto:pesquisas@ufrgs.br)

**Políticas:** <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

**Submissão:** <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

**Diretrizes:** <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

---

Data de publicação - jan./abr., 2009.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

## Minerais Pesados dos Depósitos Aluviais do Rio Paraná e sua Implicação Paleohidrológica

MANOEL LUIZ DOS SANTOS & NELSON VICENTE LOVATTO GASPARETTO

Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Maringá, Paraná.  
e-mail: mldsantos@uem.br

(Recebido em 06/07. Aceito para publicação em 01/09)

**Abstract** - Heavy-mineral analyses have been widely used in order to study the origin of sediments. Although it is not often used in stratigraphic studies, heavy minerals may be very important to correlate events, and facies associations in sedimentary basins. In this study, the rate-of-occurrence analysis of these accessory minerals and their texture intends to correlate the related fluvial deposits with both the present and the past channel of the Paraná River, and those deposits occurring in its hydrographic basin. Thirty samples were collected from the Paraná River deposits and its slopes, from Paranaíba (MS) to Porto Rico (PR) areas. The assembly of transparent heavy minerals is formed by zircon, tourmaline, staurolite, kyanite, epidote, rutile, sillimanite, andalusite, garnet, pyroxene, and amphibole. The analysis of the mineralogical and textural maturity of this assembly have shown a significant differentiation between the deposits of the Paraná river alluvial system and, it proved to be a useful tool for paleohydrological studies.

**Keywords** - Heavy minerals, hydrographic basin, hydrologic regime, Paraná river

### INTRODUÇÃO

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. Devido a tais propriedades, esses minerais, quando utilizados em associação, podem ter aplicação em análises estratigráficas, bem como auxiliar na identificação de áreas-fontes de materiais sedimentares (Morton, 1984; Weltje & von Eynatten, 2004). Essa relação pode ser inferida em decorrência de determinadas espécies de minerais pesados serem características de grupos específicos de rochas-fontes, fazendo com que a sua deposição e distribuição na área de sedimentação possam ser utilizadas como indicativo das direções das correntes preferenciais do transporte sedimentar.

Segundo Morton & Hallsworth (1999), a assembléia de minerais pesados presentes no registro sedimentar não é somente o produto da composição mineralógica da rocha-fonte. Os processos atuantes durante o transporte e a deposição dos sedimentos, como a seleção física, a abrasão mecânica e a disso-

lução igualmente influenciam na preservação das espécies minerais e na sua concentração nos depósitos sedimentares.

O estudo da assembléia de minerais pesados também tem sido utilizado para análise da alteração química em sedimentos fluviais em bacias de drenagens sul-americanas (Morton & Johnson, 1993; Johnson & Meade, 1990). A análise da assembléia de minerais pesados das formações superficiais no curso superior do rio Paraná, no noroeste do estado do Paraná, foi efetuada por Gasparetto & Santos (2005); porém, para os depósitos aluviais desse importante sistema fluvial, tais estudos inexistem. O rio Paraná, um dos dez maiores sistemas fluviais da Terra, começa a ser mais intensamente estudado em seu curso superior a partir do fim da década de 1980. Santos (1997), Stevaux e Santos (1998) analisam a evolução do sistema siliciclástico do rio Paraná no que tange à geomorfogênese, à paleohidrologia e às interações paleoclimáticas quaternárias do sistema fluvial.

Os depósitos do sistema aluvial do rio Paraná se estendem como uma faixa alongada, paralela à margem direita do canal do rio, desenvol-

vendo um sistema deposicional de arquitetura assimétrica. O canal atual se instala na borda leste desse sistema, cortando os seus próprios depósitos (Fig. 1).

O presente estudo tem como objetivo analisar a distribuição das assembléias de minerais pesados nos depósitos desse sistema aluvial, buscando uma correlação com a história evolutiva dos mesmos, além de discutir os aspectos relativos à proveniência dessas assembléias. A área deste estudo localiza-se no setor do alto curso do rio Paraná, na confluência dos rios Paranaíba e Grande em Paranaíba (MS), até a região de Porto Rico (PR).

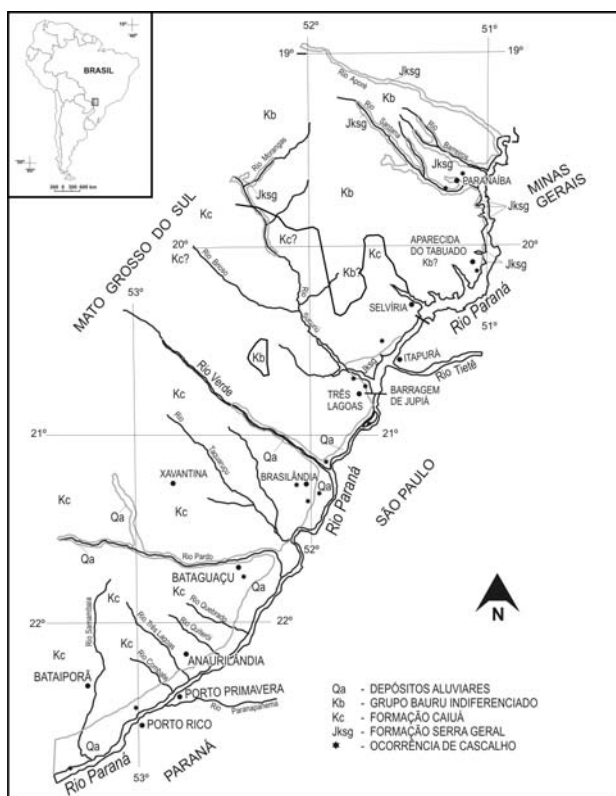


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo e dos pontos de coleta das amostras.

## MÉTODOS

A escolha dos pontos a serem amostrados ao longo do trecho estudado levou em consideração a sua localização espacial, sua representatividade dentre as associações faciológicas ocorrentes no canal e planície fluvial, sua representatividade para o estudo do sistema deposicional e, finalmente, sua posição estratigráfica. As amostras foram coletadas em afloramentos, em testemunhos de sondagem, em depósitos do canal atual, em depósitos mais antigos ocorrentes na planície aluvial e em depósitos rudáceos ocorrentes na média vertente, bem como na

cobertura do Arenito Caiuá (Grupo Bauru - Kr).

Após a etapa de análises granulométricas convencionais nas amostras, separou-se a fração areia muito fina (0,125 mm - 0,062 mm) para o estudo dos minerais pesados translúcidos em lâmina delgada.

Vários autores elegem diferentes classes granulométricas para o estudo dos minerais pesados. Tomazelli (1977) e Wu (1981) usaram a fração 0,250 mm - 0,125 mm, enquanto Luepke & Clifton (1983), escolheram a fração 0,125 mm - 0,062 mm. Melo (1990) analisou conjuntamente os dois intervalos anteriormente mencionados e Fernandes (1992) escolheu sempre o intervalo granulométrico imediatamente inferior à moda da amostra. Neste trabalho, optou-se pela fração areia muito fina (0,125 mm - 0,062 mm), devido à sua melhor representatividade em todas as amostras analisadas e por apresentar a maior concentração de minerais pesados em relação aos outros intervalos amostrados. Algumas das espécies de minerais pesados foram analisadas com microscopia eletrônica de varredura (MEV). O uso da MEV é importante, por permitir que se obtenham imagens tridimensionais, auxiliando na identificação e caracterização mais precisa da morfologia dos grãos e minerais pesados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rio Paraná apresenta sua evolução a partir do Pleistoceno Superior até os dias atuais, com o desenvolvimento de uma associação de depósitos que expressam as alterações climáticas ocorridas nesse período (Santos, 1997, 2001a; Stevaux & Santos, 1998; Stevaux, 1993, 1994). Esse importante sistema fluvial, em seu curso superior, desenvolveu-se principalmente sobre as formações arenosas do Grupo Bauru. A base do sistema deposicional é formada por um pacote com associações de fácies de areia e cascalhos típicos de um sistema fluvial tipo entrelaçado (Fig. 2), desenvolvidas em condições de aridez. Para o topo desse sistema deposicional, desenvolveram-se associações de fácies de areia estratificada, silte e argila, relativas a um sistema anastomosado que sucedeu o sistema braided basal, sob condições climáticas mais úmidas ocorridas a partir do Holoceno Médio (Stevaux & Santos, 1998). Atualmente, o rio Paraná, no seu curso superior, retrabalha seus depósitos formando um sistema fluvial de multicanaís, com carga de fundo predominantemente arenoso, que promove o desenvolvimento de inúmeras barras arenosas, com alta mobilidade (Santos *et al.* 1992; Santos, 1997, 2001b; Santos & Stevaux, 2000). Esses depósitos estão bem repre-

sentados em afloramentos nas regiões de Três Lagoas (MS) e Porto Rico (PR). Nesta última região, esses depósitos foram amostrados tanto em testemunhos de sondagem como em afloramentos.

Os depósitos mais antigos relacionados à calha do rio Paraná são representados pelas cascalheiras polimíticas e oligomíticas descritas por Santos & Stevaux (2001). Esses depósitos ocorrem como morrotes isolados, com alturas que variam de 5 m a 15 m, e estão distribuídos nas vertentes da

margem direita do rio Paraná entre Paranaíba-MS e Brasilândia-MS, distando em até 100km da calha do rio. Representam associações de fácies de seixos maciços clasto-suportados (Gm) ou com teores variáveis de matriz arenosa (Gms), e fácies de seixos estratificados (Gp) associados a fácies arenosas com estratificação cruzada (Sp). Esses depósitos rudáceos representam uma série de depósitos provavelmente terciários associados com a estruturação da bacia do rio Paraná.

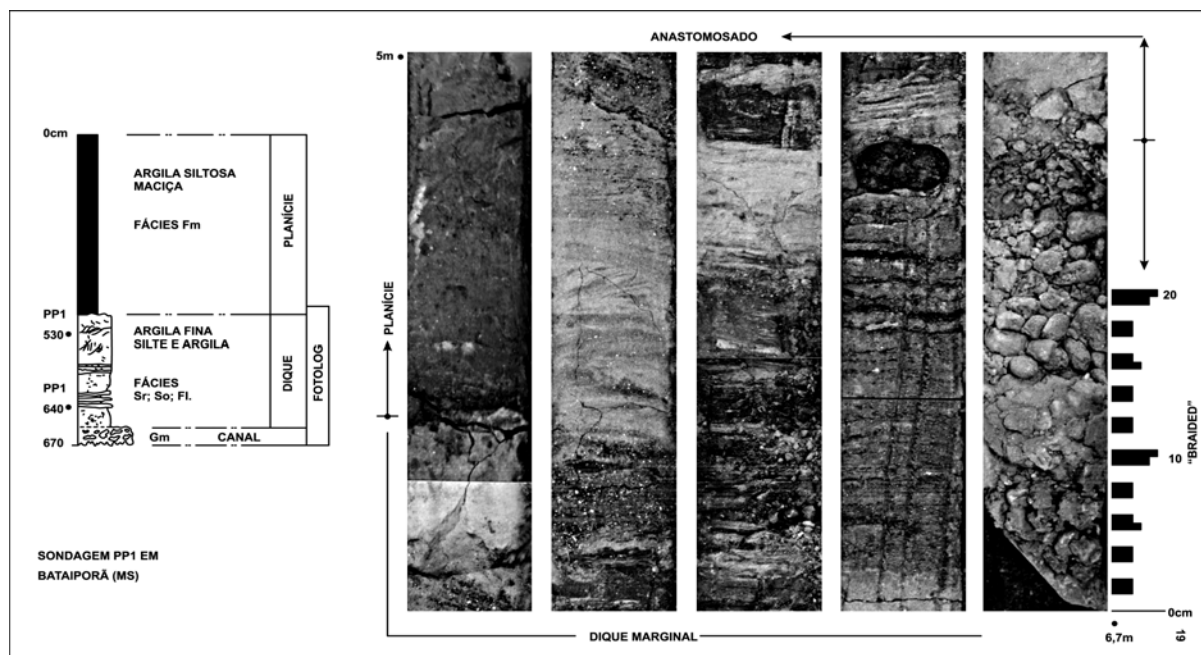


Figura 2 - Fotolog de testemunho de sondagem a vibração (vibrocore), obtido na planície aluvial do rio Paraná em Bataiporã (MS). São mostradas as associações faciológicas da base do sistema deposicional (sistema entrelaçado - braided) e o topo do sistema deposicional (sistema anastomosado). Fácies: Fm - pelitos maciços; Fl - pelitos laminados; Sr - areia com microestratificação cruzada; So - areia com matéria orgânica; Gm - seixos com matriz arenosa maciça.

## MINERAIS PESADOS TRANSLÚCIDOS

A assembléia dos minerais pesados identificada nos sedimentos quaternários do rio Paraná exibe uma baixa diversidade mineralógica (Fig. 3). Zircão, turmalina, estauroлита, cianita e epidoto têm ocorrência dominante, e rutilo, silimanita, andalusita, granada, piroxênio e anfibólio apresentam ocorrência secundária (Quadro 1). Os minerais pesados opacos perfazem cerca de 70% da ocorrência total dos minerais pesados analisados, sendo constituídos principalmente por magnetita, hematita e ilmenita.

O zircão apresenta-se incolor a levemente amarelado, às vezes avermelhado devido à impregnação de fina película de óxido de ferro, principalmente nas amostras coletadas a montante do rio

Paraná em Paranaíba, Bataguassu e Três Lagoas, todas no estado de Mato Grosso do Sul. Tal coloração deve-se à intensa limonitização que apresentam algumas fácies mais antigas. O zircão pode ainda se apresentar límpido ou com inclusões e com texturas variáveis. Nas amostras obtidas nas sondagens realizadas na planície aluvial do rio Paraná, em Porto Primavera (SP), todos os grãos de zircão têm alta esfericidade e arredondamento (Fig. 4). O mesmo não se verifica com as amostras obtidas nos sedimentos atuais do rio Paraná (barras de canal), onde esses minerais ocorrem geralmente fragmentados, prismáticos e com baixo grau de arredondamento. Nas amostras analisadas ocorre o decréscimo dos grãos de zircão da base para o topo do sistema aluvial.

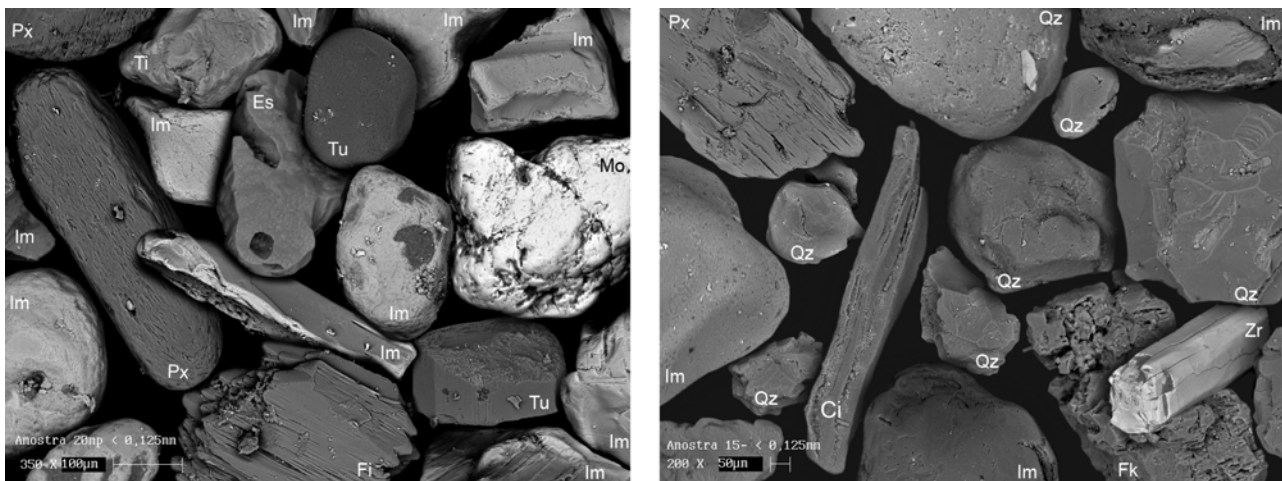


Figura 3 - Fotomicrografias (MEV) exibindo as características morfológicas das diferentes espécies de minerais pesados, de quartzo e de feldspato, descritas nos depósitos aluviais do rio Paraná (Px - piroxênios; Ti - titanita; Tu - turmalina; Fi - filossilicato; Im - ilmenita; Qz - quartzo; Ci - cianita; Zr - zircão; Fk - feldspato potássico; e Mo - monazita).

As turmalinas apresentam cores esverdeadas, amarronzadas, raramente azuladas (indigolita), e exibem formas com alto grau de esfericidade, mais raramente prismáticas. Sua alta maturidade textural é característica comum em todas as lâminas analisadas. A despeito do alto grau de arredondamento dos grãos nos sedimentos atuais do rio Paraná, verifica-se um significativo percentual de turmalinas angulares a subarredondadas (Fig. 4), freqüentemente ocorrendo como partículas fragmentadas. Podem significar uma contribuição de rochas-fontes ígneas e metamórficas do escudo mineiro/goiano situado nas cabeceiras do rio Paraná.

Os grãos de rutilo são irregulares a prismáticos, principalmente angulosos a subarredondados e secundariamente arredondados a bem arredondados. O arredondamento desses grãos é maior para as amostras oriundas do sistema anastomosado pré-atual do rio Paraná. As amostras provenientes da base do sistema fluvial (sistema entrelaçado) apresentam maior percentagem de grãos angulares a subarredondados, 20,2% do total de grãos. No sistema fluvial atual, os rutilos analisados mostram-se com baixa esfericidade e principalmente subarredondados (60%) a angulosos.

A estaurolita perfaz de 6% a 28% da ocorrência dos minerais translúcidos. Ocorre principalmente como grãos irregulares com médio grau de esfericidade, embora grãos com alta esfericidade também estejam presentes. Minerais com alto grau de arredondamento são característicos nas amostras oriundas do sistema anastomosado pré-atual do rio Paraná. Isso também é verificado em amostras provenientes dos arenitos do Grupo Bauru e da sua cobertura superficial descritas por Gasparetto (1999), Gasparetto *et al.*, (2001) e Gasparetto & Santos (2005). O arredondamento das

estaurolitas cresce do sistema entrelaçado (base) para o sistema anastomosado, novamente diminuindo na direção do sistema fluvial atual do rio Paraná.

A cianita, a silimanita e a andalusita exibem baixos graus de esfericidade e arredondamento, ocorrendo com maior freqüência nos sedimentos do sistema entrelaçado e na sedimentação atual do rio Paraná. São pouco freqüentes no sistema anastomosado e ausentes nas amostras da cobertura superficial sobrejacente ao Grupo Bauru.

O epidoto é um mineral de ocorrência comum nas amostras analisadas, muito embora seja mais abundante nos sedimentos dos sistemas anastomosado e atual do rio Paraná do que no sistema entrelaçado basal. O epidoto normalmente tem baixo grau de arredondamento, variando desde angular até subarredondado, sendo o último de maior ocorrência percentual (Fig. 4). Nos sistemas entrelaçado e atual do rio Paraná, o epidoto tende a se mostrar com baixa esfericidade e arredondamento. Já no sistema anastomosado, esses minerais tendem a ocorrer com formas bem arredondadas.

A granada exibe, em regra, baixa maturidade textural, mostrando principalmente formas angulosas a subangulosas. O teor de granadas diminui da base em direção ao topo do pacote sedimentar. Na base do sistema entrelaçado, a granada chega a 43,3% do total de minerais pesados translúcidos, enquanto no topo desse sistema alcança valores em torno de 10%. As amostras da base do sistema anastomosado apresentam baixo teor de granadas (apenas 1%), porém para o topo do sistema aluvial a quantidade de granadas volta a crescer, atingindo teores médios de 11% no sistema atual.

O anfibólio ocorre com formas prismáticas ou como grãos irregulares, freqüentemente com bordas denteadas e/ou serrilhadas. A hornblenda é o

principal representante dessa família de minerais. Está presente, com diversos graus de alteração, em quase todo o pacote sedimentar. Nos depósitos mais antigos, relacionados à calha do rio Paraná (Jupiá - SP), e nas cascalheiras, não foram encontrados

anfíbólios. Os piroxênios não ocorrem no sistema entrelaçado, ocorrendo apenas na porção superior do sistema anastomosado e nos depósitos do sistema atual do rio Paraná, com percentagens variando de 0,7 a 12%.

Quadro 1 - Minerais pesados ocorrentes na bacia hidrográfica do rio Paraná, descritos segundo seu percentual de ocorrência em: Op. (Opacos); Cn. (Cianita), Si. (Silimanita), An. (Andalusita), Ep. (Epidoto), Es. (Estaurolita), Gr. (Granada), Zr. (Zircão), Tr. (Turmalina), Px. (Piroxênio), Af. (Anfíbólio) e ZTR (Índice ZTR). As amostras (Am.) 1 e 2 provêm das barras atuais de canal do rio, em Porto Rico (PR). De 3 a 7 são oriundas da planície aluvial do rio Paraná, em Porto Rico (PR), de 8 a 13 foram coletadas na planície aluvial do rio Paraná, em Porto Primavera (SP) e a amostra 14, em Três Lagoas (MS). As amostras 15, 16, 17 são oriundas dos colúvios de Três Lagoas (MS), Bataguçu (MS) e Itapura (SP) respectivamente. As amostras de 18 a 20 são de cascalheiras ocorrentes em Paranaíba-MS e a 21 de Brasilândia-MS. A amostra 22 provêm do Arenito Caiuá (Grupo Bauru-PR).

Estratigrafia	Am.	Op.	Cn.	Si.	An.	Ep.	Es.	Gr.	Zr.	Rt.	Tu.	Px.	Af.	ZTR
Sistema atual	1	65,6	19,0	6,9	0,7	13,5	12,8	11,3	2,1	1,4	9,1	0,7	21,9	12,7
	2	60	19,4	7,5	3,5	9,4	13,6	10,9	1,7	0,7	13,6	2,2	17,9	16
Sistema anastomosado (Holoceno Médio)	3	60	5,5	3,7		15,6	15,6	4,6	1,8		16,5	12	24,8	18
	4	67	1,6	3,3		18,3	21,6	1,6	6,6	3,3	3,3	1,6	38,3	13,2
	5	78		1	1	23,3	19,4	6,7	24,2	1,9	7,7	1	13,6	33,8
	6	66	1	10,8	1	14,7	25,5	7,8	16,6	3,9	3,9	7,8	6,9	24,4
	7	67	2	2		19	11	21	36	3	2		13	41
	8	68,8	1,9	2,9		19,4	14,6	1	35	10,2	12		2,9	57,2
	9	66		3		5	16	1	41	10	18		6	69
	10	64	1		1	16,9	20,7	1	25,5	10,4	21,7		2,8	57,6
Sistema entrelaçado (Pleistoceno Superior)	11	73	4,5	9,1		7,3	23	8,2	9,1	7,3	20,1		10	36,5
	12	66	4,9	1,9	1	15,6	15,6	13,7	16,6	7,8	13,7		11,7	38,1
	13	74	0,9			13,2	16,6	43,3	28,4	0,9	5,8		0,9	35,1
	14	70,8	11,4	5,7			28,4		36,4	9	9			54,4
Depósito de cobertura (Pleistoceno)	15	70,8					6		56	17	19			92
	16	75					28		21	3	48			72
	17	73					10		34	15	41			90
Depósitos rudáceos (Terciário?)	18	99					10		65	20,6	4			89,6
	19	90				19,4			43,1	12,5	25			80,6
	20	75	1,8	1,8			21,6		57,7	13,5	3,6			74,8
	21	76					19		51	5	25			81
Arenito Caiuá (Cretáceo)	22	70					19		51	5	25			81

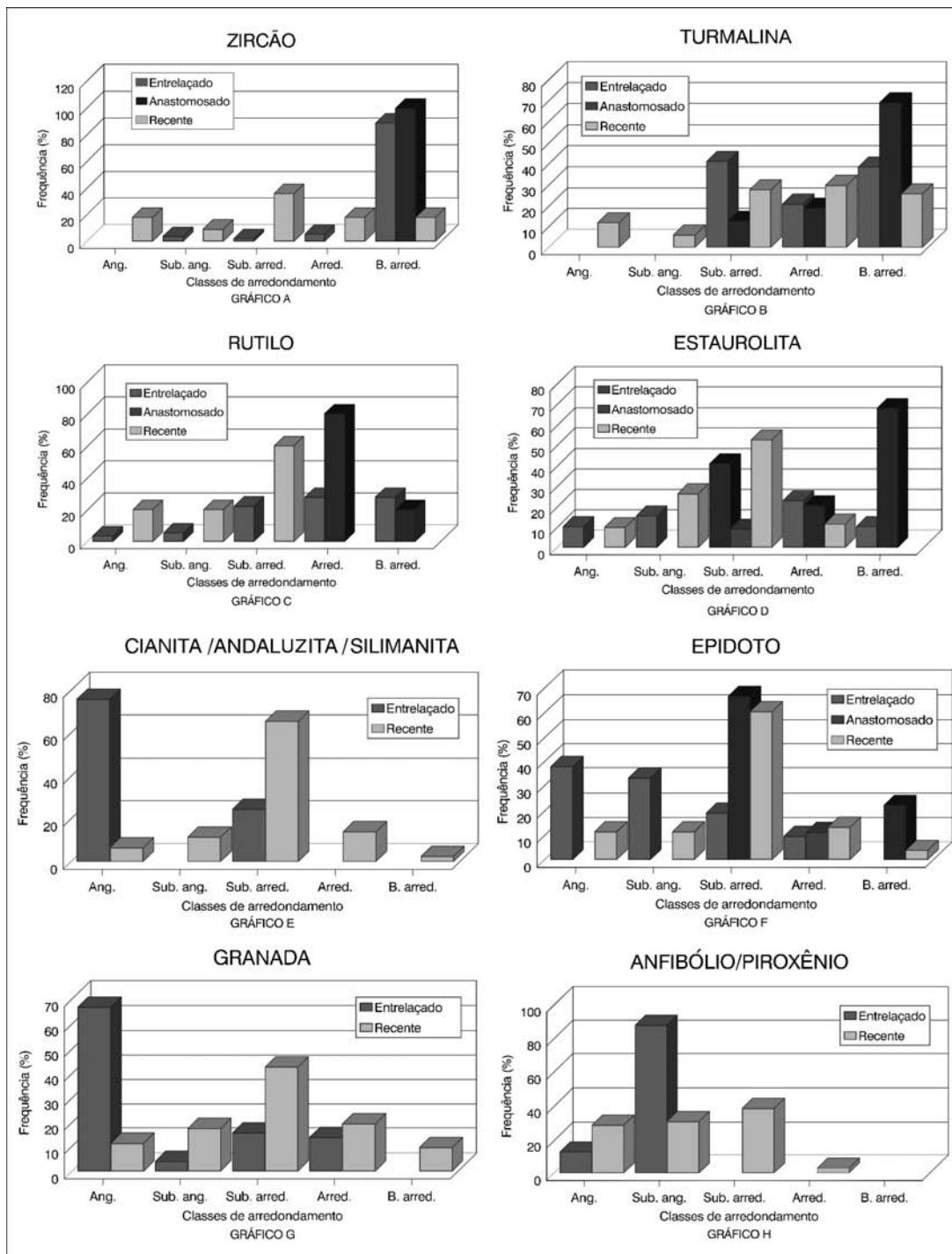


Figura 4 - Frequência e grau de arredondamento das diferentes espécies de minerais pesados descritas para os depósitos aluviais e vertentes adjacentes ao rio Paraná.

## MATURIDADE MINERALÓGICA DOS DEPÓSITOS

Os depósitos atuais do rio Paraná, no seu curso superior, são mineralogicamente imaturos e seus índices de maturidade (ZTR) variam entre 12,6% a 16%. Os testemunhos de sondagem obtidos na planície aluvial do rio Paraná mostram um

aumento desse índice da base, sistema entrelaçado (35,1% a 54,4%), para a base do sistema anastomosado em torno de 57,2 % a 69% (Fig. 5).

As amostras coletadas no topo do sistema anastomosado e as amostras coletadas nos depósitos atuais do rio apresentam decréscimo na maturidade mineralógica do sistema deposicional do rio Paraná. Nessas amostras, o índice ZTR varia de 12,6% a

41%, tendo-se então maior contribuição de minerais instáveis, como hornblenda, piroxênio, e metaestáveis, como estaurólita, granada e epidoto (Quadro 1).

Altos índices de maturidade (ZTR, média de 80%) são encontrados nas amostras oriundas dos sedimentos rudáceos associados à calha do rio Paraná. Os graus de arredondamento e esfericidade dos minerais analisados aumentam do sistema entrelaçado para o sistema anastomosado (base para o topo dos depósitos), voltando a diminuir nas amostras coletadas no sistema atual do rio. Nos sedimentos recentes, o percentual de ocorrência das classes angulares a subangulares está em torno de 81%. Os grãos de rutilo, turmalina, estaurólita e epidoto mostram maior arredondamento e esfericidade no sistema anastomosado se comparado ao sistema entrelaçado.

Levando-se em consideração todo o sistema deposicional do rio Paraná, no setor jusante da área de estudo, tem-se da base para o topo do sistema: a) baixa maturidade mineralógica e textural para o sistema entrelaçado; b) média maturidade mineralógica, (índice ZTR em torno de 60%) e médio a alto arredondamento, para o sistema anastomosado; c) baixa maturidade mineralógica e baixo grau de arredondamento para o sistema recente do rio Paraná. Esse fato sugere uma correlação direta entre a maturidade mineralógica e a maturidade textural nas amostras analisadas. Nas amostras oriundas dos materiais que recobrem as litologias do Grupo Bauru, coletadas nos estados do Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo, os índices ZTR variam entre 72% e 92%, denotando alta maturidade mineralógica, que por sua vez também é acompanhada por alto grau de arredondamento das partículas.

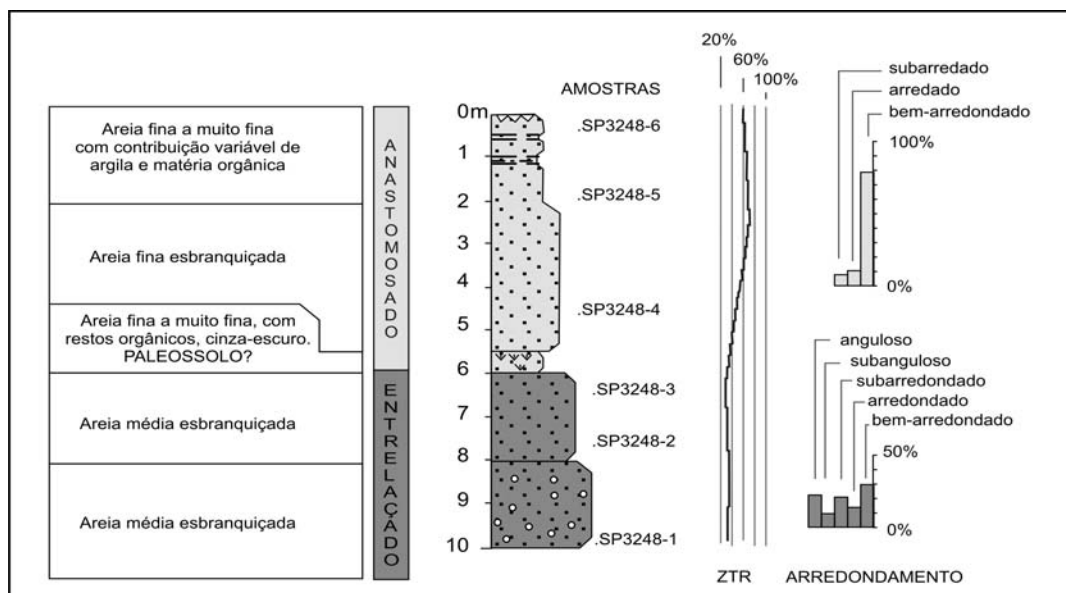


Figura 5 - Diferentes índices de maturidade mineralógica e textural encontrados nos depósitos da base (sistema entrelaçado) e do topo (sistema anastomosado) do rio Paraná.

## SIGNIFICADO GEOLÓGICO DAS ANÁLISES

Muitos fatores se combinam para produzir uma diferenciação na textura e composição mineralógica dos sedimentos, desde sua fonte até a deposição final, como, por exemplo: energia de relevo, características do agente de transporte, grau de intemperização e tipo de rocha-fonte, resistência física, química, tamanho dos detritos, clima e tempo de atuação desses fatores.

Teruggi e Andreis (1971) e Pettijohn (1980), entre outros, demonstram que existe uma contínua diferenciação na composição mineralógica dos sedi-

mentos rumo à maturidade. Portanto, os minerais mais estáveis quimicamente, como quartzo, turmalina, zircão e rutilo, tendem a enriquecerem-se relativamente nos sedimentos, enquanto os menos estáveis vão desaparecendo. Parece ser amplamente aceito no meio geológico o uso da razão quartzo/feldspato e do índice ZTR, para indicar a maturidade dos arenitos, como usados por Fernandes (1992).

A maturidade textural pode ser excelente indicador acerca das características do paleorrelevo e da intensidade dos processos erosivos atuantes na época da deposição. Relevos com alta declividade e altas taxas de erosão tendem a produzir detritos com baixa maturidade textural (Pettijohn, 1980; Suguio,



1980).

Nos depósitos rudáceos associados à calha do rio Paraná, setor montante do sistema fluvial do rio Paraná, (Brasilândia, MS até Paranaíba, MS), os minerais semi-estáveis ou instáveis, como granada, cianita, silimanita, andalusita, epidoto, anfibólio e piroxênio estão frequentemente ausentes. A assembléia mineralógica, nesses depósitos mais antigos, é formada basicamente por zircão, turmalina e rutilo (bem arredondados) e subordinadamente por estauroлита, revelando alta maturidade mineralógica. As características mineralógicas desses depósitos rudáceos corroboram suas relações de campo, verificadas por Santos e Stevaux (2001), atestando uma geração anterior à formação do rio Paraná e sendo posteriormente retrabalhados em sua bacia.

No setor jusante da área analisada (Porto Primavera, SP, até a foz do rio Ivinheima, MS), a assembléia mineralógica formada por zircão, turmalina, rutilo, estauroлита, epidoto, cianita, andalusita, silimanita, anfibólio e piroxênio está presente desde o sistema entrelaçado (basal) até o topo do pacote sedimentar, muito embora ocorram variações entre diferentes sistemas. A constância dessa associação mineralógica permite concluir que a mudança de padrão do sistema fluvial, que se verifica nos depósitos do rio Paraná (entrelaçado, para anastomosado, para o atual), não se deve a alterações de área-fonte, mas sim a mudanças nas características físicas (declividade e clima), na bacia deposicional.

### ASSEMBLÉIA MINERAL E ROCHAS-FONTES

São aqui considerados para o estudo das prováveis fontes dos depósitos analisados tanto as

assembléias dos minerais pesados translúcidos quanto o seu grau de arredondamento e de esfericidade. A assembléia formada por estauroлита, epidoto, cianita e anfibólio sugere uma origem primária a partir das rochas cristalinas do maciço central brasileiro, região de Goiás e Minas Gerais, cabeceiras do rio Paranaíba e do rio Grande. Possivelmente as associações definidas pelas rochas metamórficas de grau médio com rochas ígneas ácidas e pegmatitos foram a fonte primária de parte da sedimentação fluvial estudada. A ocorrência conjunta de grãos com alto grau de arredondamento e esfericidade com grãos subarredondados e angulosos, como zircões, turmalinas, estauroлитas e rutilos, atesta também uma origem a partir do retrabalhamento de rochas sedimentares preexistentes. Os grãos de zircão e turmalina com alta esfericidade e arredondamento, encontrados principalmente no sistema anastomosado, sugerem uma história policíclica.

As análises efetuadas por Fernandes (1992) em amostras do Grupo Bauru (Formações Adamantina, Caiuá e Santo Anastácio) mostram uma assembléia mineral constituída principalmente por zircão, turmalina, estauroлита e, subordinadamente, rutilo, cianita, granada e monazita, todos com alta esfericidade e arredondamento. Segundo esse autor, essa assembléia indica uma origem a partir do retrabalhamento das Formações Botucatu e Pirambóia. Esses dados são corroborados por Gasparetto (1999) e Gasparetto & Santos (2005), que verificaram, a partir do estudo de cerca de 60 lâminas delgadas de minerais pesados provenientes da Formação Caiuá e de seus regolitos no estado do Paraná, a ocorrência de zircões, turmalinas, estauroлитas e rutilos, todos altamente arredondados (Fig. 6).

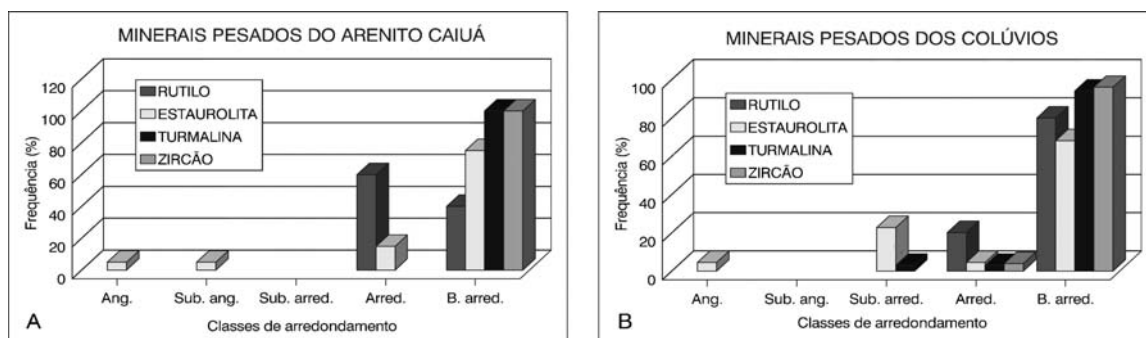


Figura 6 - Concentrações e grau de arredondamento das diferentes espécies de minerais pesados encontrados no Arenito Caiuá (A) e nos colúvios das áreas adjacentes a calha do rio Paraná (B).

Wu (1981) realizou estudos de minerais pesados nas formações Itararé, Aquidauana, Pirambóia, Botucatu e Grupo Bauru, na região centro-leste do estado de São Paulo, verificando que os minerais ultra-estáveis mostram alto índice de

arredondamento nas Formações Pirambóia e Botucatu, bem como no Grupo Bauru. As análises realizadas nas lâminas do Arenito Caiuá e nos materiais sobrejacentes às outras litologias do Grupo Bauru também mostram alto grau de arredondamento para

os minerais ultra-estáveis e para a estaurolita, sugerindo que esses grãos são reciclados de depósitos sedimentares mais antigos da bacia sedimentar do Paraná.

A ocorrência de minerais ultra-estáveis e metaestáveis com alto grau de arredondamento e esfericidade, nos sedimentos do sistema deposicional do rio Paraná parece indicar uma origem secundária desses minerais, a partir do retrabalhamento das formações do Grupo Bauru e dos materiais da cobertura associada. Como mostram os trabalhos acima citados, os zircões, turmalinas, rutilos e estaurolitas já são policíclicos nessas formações. Segundo Suguio (1980), a associação entre anfíbios angulosos e turmalinas arredondadas ou a associação de turmalinas mal arredondadas com turmalinas bem arredondadas, em uma mesma amostra, indicam duas fontes: uma, primária, oriunda do embasamento cristalino e a outra, secundária, proveniente de materiais policíclicos. Nas amostras analisadas, comumente se encontram essas associações acima descritas, reforçando as hipóteses apresentadas para a origem dos sedimentos do sistema fluvial do rio Paraná.

### **MINERAIS PESADOS E PALEOHIDROLOGIA**

O estudo dos minerais pesados nos sedimentos do rio Paraná sugere uma evolução paleohidráulica singular para esse sistema. O alto teor relativo de granadas na base do pacote sedimentar (Porto Primavera - SP) e a franca diminuição do seu percentual para o topo do sistema sedimentar indicam que no momento da instalação do sistema entrelaçado existia uma alta energia de relevo, associada com altas taxas de erosão e de produção de clastos em clima possivelmente seco. A combinação desses fatores promoveria a disponibilidade de sedimentos imaturos, pouco intemperizados, oriundos das cabeceiras do rio Paraná, para sua bacia de drenagem. Essa hipótese corrobora os mecanismos de acumulação de granadas nos sedimentos descritos por Pettijohn (1980) e Splendor e Remos (2004). A alta taxa de aporte sedimentar promovia a formação de uma drenagem desorganizada, que ao mesmo tempo erodia e retrabalhava os sedimentos recém-depositados como barras de canal, característica comum do sistema entrelaçado. Os estudos de Johnsson *et al.* (1991) mostram que, se os processos erosivos são intensos, a rápida remoção dos sedimentos dificulta as transformações geoquímicas e mantém o sinal original da proveniência.

Com a crescente denudação e conseqüente

queda na declividade regional, influenciada por alterações do nível de base local, a drenagem cresceu em organização, com a instalação de canais tributários que começaram a acessar com mais intensidade as litologias do Grupo Bauru. A combinação de declividades regionais mais suaves com o clima úmido, desenvolvido a partir do Holoceno Médio, promoveu um incremento na organização da rede de tributários, formando um padrão fluvial mais estável, com formação de diques marginais e planícies aluviais bem desenvolvidas, características do sistema anastomosado. Conseqüentemente, ocorreu um aumento no índice ZTR e na maturidade textural devido ao aumento na contribuição de sedimentos de origem secundária policíclicos, acessados mais intensamente pela rede de drenagem, que passou a avançar sobre as litologias do Grupo Bauru.

Finalmente, no sistema atual aumenta novamente a contribuição de fontes primárias, pois diminui a maturidade textural e mineralógica dos sedimentos. A assembléia mineralógica rica em cristais de hornblenda e piroxênio pouco alterados, encontrada nos sedimentos atuais no rio Paraná por Santos *et al.* (1992), mostra uma contribuição significativa de fontes primárias. Essa nova fase erosiva, possivelmente associada à neotectônica e às alterações climáticas do Holoceno Superior, promoveu nova alteração no padrão fluvial. A essa época, a migração e a diminuição no número de canais, a concentração do fluxo em um canal principal e a erosão de depósitos preexistentes fez com que o rio Paraná assumisse sua atual configuração.

### **CONCLUSÕES**

O estudo das assembléias de minerais pesados permitiu identificar a maturidade textural e mineralógica dos depósitos fluviais relacionados à calha atual e pretérita do rio Paraná, bem como identificar possíveis áreas-fontes para esses depósitos.

Os depósitos mais antigos, constituídos de sedimentos rudáceos associados à implantação do sistema fluvial do rio Paraná, apresentam uma assembléia de minerais pesados com ausência de minerais instáveis, pequena ocorrência de metaestáveis e os mais altos índices de ZTR das amostras analisadas. Essa suíte mineralógica, aliada às características de campo desses depósitos, auxilia no seu posicionamento estratigráfico.

A presença de minerais pesados metaestáveis, especialmente de estaurolita, de epidoto e da granada, aliado à redução do índice ZTR, na base do

sistema entrelaçado é um indicativo de que durante a instalação desse sistema existia alta energia de relevo, associada com altas taxas de erosão e a produção de sedimentos grosseiros. A rápida remoção dos sedimentos permitiu a manutenção da assinatura original de sua proveniência.

A permanência dessa mesma assembléia de minerais pesados identificados na passagem do sistema entrelaçado para o sistema anastomosado é prova consistente da existência da mesma área-fonte. Entretanto, a partir do sistema anastomosado, a sedimentação se desenvolve em ambiente de pouca energia do relevo e condições climáticas mais úmidas. A organização e o aumento da rede de drenagem propiciada por essa mudança climática favorecem a oferta de sedimentos a partir das rochas do Grupo Bauru, fornecendo para o sistema aluvial, minerais ultra-estáveis já anteriormente policlicados, como atestam o aumento do índice ZTR e o maior arredondamento dos grãos.

Ressalte-se a interessante contribuição do estudo dos minerais pesados para a análise evolutiva de sistemas fluviais. A análise dos minerais pesados, que tradicionalmente é utilizada para investigações da maturidade mineralógica dos sedimentos, serve aqui como ferramenta auxiliar para atestar a evolução da maturidade de uma importante bacia hidrográfica.

**Agradecimentos** - À Fundação Araucária, pelo apoio financeiro a esta pesquisa, e ao professor Dr. Jorge Alberto Villwock, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pelo inestimável auxílio na identificação dos minerais pesados.

## REFERÊNCIAS

- Fernandes, L. A. 1992. **A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP.): os Grupos Bauru e Caiuá**. São Paulo. 129p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.
- Gasparetto, N.V. L. 1999. **As formações superficiais do noroeste do Paraná e sua relação com o Arenito Caiuá**. São Paulo. 185p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.
- Gasparetto, N.V.L.; Nóbrega, M.T. e Carvalho, A. 2001. A reorganização da cobertura pedológica no noroeste do Paraná e as suas relações com o Arenito Caiuá. In: ENCUESTRO DE GEOGRAFOS DE AMERICA LATINA, 8., 2001, CD-Rom, Santiago, EGAL. p. 164 -169.
- Gasparetto, N.V.L. e Santos, M.L. 2005. O emprego de minerais pesados como indicador da proveniência da cobertura pedológica do Arenito Caiuá na região Noroeste do Paraná. **Pesquisas**, 32(1):63-67.
- Johnsson, M.J. & Meade, R.H. 1990. Chemical weathering of fluvial sediments during alluvial storage: the Macuapanim island point bar, Solimões river, Brazil. **Journal of Sedimentary Petrology**, 60:827-842.
- Johnsson, M.J.; Stallard, R.F. & Lundberg, N. 1991. Controls on the composition of fluvial sands from tropical weathering environment: Sands of the Orinoco drainage basin, Venezuela and Colombia. **Bulletin Geological Society of America**, 103:1622-1647.
- Luepke, G. & Clifton E. 1983. Heavy-mineral distribution in modern and ancient bay deposits, Willapa Bay, Washington, U.S.A. **Sedimentary Geology**, 35: 233-247.
- Melo, M.S. 1990. **A Formação Parquera-Açu e Depósitos Correlacionados: Tectônica e Geomorfogênese**. São Paulo. 211p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.
- Morton, A.C. 1984. Stability of detrital heavy minerals in Tertiary sandstones from de North Sea Basin. **Clay Minerals**, 19: 287-308.
- Morton, A.C. e 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,. **Geological Society of America**, 184: 171-185. **Spec. Paper**.
- Pettijohn, F. J. 1980. **Rocas Sedimentarias**. EUDEBA, Buenos Aires, 4o ed, 731p.
- Santos, M. L. 1997. **Estratigrafia e evolução do sistema siliciclástico do rio Paraná no seu curso superior: ênfase à arquitetura dos depósitos, variação longitudinal das fácies e processos sedimentares**. Porto Alegre, 2v., 246p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Santos, M. L. 2001a. Respostas geomórficas dos depósitos sedimentares do rio Paraná frente às mudanças climáticas do Holoceno Superior. In: ENCUESTRO DE GEOGRAFOS DE AMERICA LATINA, 8., 2001, Santiago. CD-Rom., Santiago, Chile, EGAL. p. 122 -128.
- Santos, M.L. 2001b. Sistema fluvial do rio Paraná (Brasil) em seu curso superior: um exemplo de planície aluvial em desequilíbrio. In: CONGRESSO DO QUATERNÁRIO DE PAÍSES DE LÍNGUA IBÉRICA, 1., 2001, Lisboa, **Actas...** Lisboa, CQPLI. P. 145-148.
- Santos M. L. & Stevaux, J. C. 2000. Facies and Architectural analysis of channel sandy macroforms in the upper Paraná river. **Quaternary International**, 72 (1): 87-94.
- Santos M. L. & Stevaux, J. C. 2001. Fácies e associações dos depósitos rudáceos na bacia do rio Paraná em seu curso superior: uma tentativa de classificação. **Pesquisas**, 28(2): 171-182.
- Santos, M.L., Fernandez, O.V.Q. & Stevaux, J.C. 1992. Aspectos morfogênicos das barras de canal do rio Paraná. **Boletim de Geografia**, 10: 11-24, UEM.
- Splendor, F. e Remos, M.F.V. 2004. Composição química das granadas no estudo de proveniência dos sedimentos quaternários da porção sul da bacia de Pelotas, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PETRÓLEO E GÁS, 3., 2004, Salvador, **Anais...** Salvador, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, p.16-21.
- Stevaux, J.C. 1993. **O rio Paraná: Geomorfogênese, sedimentação e evolução quaternária do seu curso superior (região de Porto Rico, PR)**. São Paulo. 242p. Tese de Doutorado em Geociências Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Stevaux, J. C. 1994. The upper Paraná river (Brazil): Geomorphology, Sedimentology and Paleoclimatology. **Quaternary International**, 21: 143-161.
- Stevaux, J.C. & Santos. M.L. 1998. Palaeohydrological changes

- in the upper Parana river, Brazil, during the late Quaternary: A fácies approach. In: Benito, G., Baker, V.R. and Gregory, K.J. (eds.). **Palaeohydrology and Environmental Changes**, London, John Wiley and Sons Ltd., p. 273-285.
- Suguio, K. 1980. **Rochas sedimentares: propriedade, gênese e importância Econômica**. Ed. Edgard Blusher LTDA, São Paulo, 500 p.
- Teruggi, M. E. e Andreis, R. R. 1971. Composición estabilidad mineral y acción en sedimentos argentinos. **Revista del Museo de La Plata**, Universidad Nacional de La Plata, La Plata. 7: 75-206.
- Tomazelli, L. J. 1977. **Minerais pesados da plataforma continental do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. 81p.
- Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Weltje, G.J. e von Eynatten, H. 2004. Quantitative provenance analysis of sediments: review and outlook. **Sedimentary Geology**, **171**: 1-11.
- Wu, F. T. 1981. **Minerais pesados das seqüências arenosas paleozóicas e mesozóicas do centro-leste do estado de São Paulo**. São Paulo. 129 p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

Editor responsável pelo artigo: **Ana Maria Mizusaki**