

ASSEMBLÉIA DOS MINERAIS PESADOS NOS DEPÓSITOS ALUVIAIS DO RIO PARANÁ E SUA IMPLICAÇÃO PALEOHIDROLOGICA

Manoel Luiz dos Santos¹; Nelson Vicente Lovatto Gasparetto².

¹ *Dr. em Geociências, Área de Estratigrafia e Geomorfologia Fluvial do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Maringá – PR. E-mail: mldsantos@uem.br*

² *Dr. em Ciências, Área de Pedologia e Geologia Ambiental do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Maringá - PR. E-mail: nvlgasparetto@uem.br*

RESUMO

A análise de minerais pesados tem sido amplamente utilizada para estudos de proveniência dos sedimentos. Em estratigrafia seu uso tem sido mais restrito, porém, os minerais pesados podem ser importantes instrumentos de correlação de eventos, fácies e suas associações em bacias sedimentares. Neste estudo, a análise dos teores de ocorrência destes minerais acessórios e de sua textura objetiva estabelecer uma correlação entre os depósitos fluviais relacionados à calha atual e pretérita do rio Paraná, bem como aqueles depósitos ocorrentes em sua bacia hidrográfica. Para tal, foram coletadas 30 amostras, nos depósitos do rio Paraná e nas suas vertentes, desde Paranaíba (MS.) até Porto Rico (PR). A assembléia dos minerais pesados translúcidos é formada pelos zircão, turmalina, estaurolita, cianita, epidoto, rutilo, silimanita, andalusita, granada, piroxênio e anfibólio. A análise da maturidade mineralógica e textural dessa assembléia mostrou uma significativa diferenciação entre os depósitos do sistema aluvial do rio Paraná e, se mostrou como uma ferramenta útil para estudos paleohidrológicos.

ABSTRACT

The heavy minerals analysis has been widely used in order to study the origin of sediments. Although it is not very used in stratigraphical studies, heavy minerals may be very important to correlate events, facies and 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 past channel of the Paraná river, and those deposits occurring in its river basin. To do so, 30 samples were collected from the Paraná river deposits and its slopes, from Paranaíba (MS) to Porto Rico (PR). The assembly of translucent heavy minerals is formed by zircon, tourmaline, staurolite, cyanite, epidote, rutile, sillimanite, andalusite, garnet, pyroxene and amphibole. The Analysis of the mineralogical and textural maturity of this assembly showed a significant differentiation between the deposits of the Paraná river alluvial system and, it proved to be a useful tool for paleohydrological studies.

1. INTRODUÇÃO

O rio paraná apresenta em sua evoluo, a partir do Pleistoceno Superior até os dias atuais, uma associao de depósitos que expressam as alteraoes climáticas experimentadas neste periodo (Santos, 1997, 2001a; Stevaux e Santos ,1998; Stevaux,1993,1994). Este importante sistema fluvial, em seu curso superior, desenvolveu-se principalmente sobre as formaoes arenosas do Grupo Baurú. A base do sistema deposicional  formada por um pacote com associaoes de fácies de areia e cascalhos tpicas de sistemas entrelaçados, desenvolvidas em condioes de aridez. Para o topo desse sistema deposicional desenvolveram-se associaoes de fácies de areia estratificada, silte e argila, relativas a um sistema anastomosado que sucedeu o sistema “braided” basal, sob as melhores condioes climáticas apresentada a partir do Holoceno Médio (Stevaux & Santos 1998). Atualmente o rio Paraná no seu curso superior retrabalha seus depósitos, formando um sistema fluvial de multicanais, com carga de fundo predominantemente arenosa, que promove o desenvolvimento de inúmeras barras arenosas, com alta mobilidade (Santos et al , 1992; Santos, 1997, 2001b; Santos e Stevaux, 2000). Esses depósitos estão bem representados em afloramentos nas regioes de Tres Lagoas (MS) e Porto Rico (PR). Nessa última região esses depósitos foram amostrados tanto em testemunhos de sondagem, como em afloramentos.

Os depósitos mais antigos relacionados a calha do rio Paraná, cascalheiras polimticas e oligomticas de Santos e Stevaux (2001), foram amostrada em afloramentos ocorrentes nas vertentes do rio Paraná entre Paranaíba e Brasilândia (MS). Esses depósitos rudáceos representam uma série de depósitos provavelmente Tercerios associados a estruturao de sua bacia da bacia do rio Paraná

2. METODOLOGIA

Vários autores elegem diferentes classes granulométricas para o estudo dos minerais pesados, como pode ser visto nos trabalhos de Tomazelli (1977), Wu (1981) e Luepke & Clifton (1983) que escolheram as fraoes 0.250-0.125mm e 0.125-0.062 mm, respectivamente; em Melo (1990) que analisou conjuntamente os dois intervalos anteriormente descritos; ou em Fernandes (1992) que escolheu sempre o intervalo granulométrico imediatamente inferior  moda da amostra. Neste trabalho, optou-se pela frao areia muito fina devido sua melhor representatividade em todas amostras analisadas e por possuir a maior concentrao de minerais pesados em relao aos outros intervalos amostrados.

Na escolha das amostras a serem analisadas, ao longo do trecho estudado, levou-se em considerao a sua localizao espacial, sua representatividade para a associao faciológica específica (canal, planície, crevasses, etc.), sua representatividade para o estudo do sistema deposicional e finalmente, sua posio

estratigráfica. Após análises granulométricas convencionais, separou-se a fração areia muito fina-0,125 - 0.062mm para o estudo dos minerais pesados em lâmina delgada

3. ASSEMBLÉIA DOS MINERAIS PESADOS TRANSLÚCIDOS E SUAS CARACTERÍSTICAS

A assembléia dos minerais pesados ocorrente nos sedimentos quaternários do rio Paraná mostra uma baixa diversidade mineralógica. O zircão, turmalina, estauroлита, cianita e epidoto têm ocorrência dominante e o rutilo, silimanita, andalusita, granada, piroxênio e anfibólio apresentam ocorrência secundária. 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, freqüentemente avermelhado devido à impregnação de fina película de óxido de ferro, principalmente nas amostras coletadas a montante do rio Paraná em Paranaíba, Bataguassú e Três Lagoas, todas no estado de Mato Grosso do Sul. Tal coloração deve-se à intensa limonitização que apresentam algumas das 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 apresentam alta esfericidade e arredondamento. O mesmo não se verifica para as amostras obtidas nos sedimentos atuais do rio Paraná (barras de canal), onde estes minerais ocorrem freqüentemente fragmentados, prismáticos e com baixo arredondamento.

As turmalinas ocorrem esverdeadas, amarronadas, raramente azuladas (idiocolita), e exibem formas com alta esfericidade, mais raramente prismáticas. A alta maturidade textural destes minerais é característica comum em todas as lâminas analisadas. Apesar do alto grau de arredondamento destes minerais nos sedimentos atuais do rio Paraná, observa-se um significativo percentual de turmalinas angulares a subarredondadas, freqüentemente ocorrendo como partículas fragmentadas. Podem significar uma contribuição de rochas fontes ígneas e metamórficas do escudo mineiro/goiano 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 destes 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 uma 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 estauroлита perfaz de 10 a 30% da ocorrência dos minerais translúcidos. Apresentam-se principalmente irregulares com média esfericidade embora grãos com alta esfericidade também ocorram. Minerais com alto arredondamento são característicos nas amostras oriundas

do sistema anastomosado pré-atual do rio Paraná. Isto também é verificado em amostras dos arenitos do Grupo Baurú e da sua cobertura superficial descritas por Gasparetto (1999). O arredondamento das estauroлитas 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 baixas 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 pré-atual e praticamente ausentes nas amostras da cobertura superficial sobrejacentes ao Grupo Baurú.

O epidoto é um mineral de ocorrência comum nas lâminas analisadas, muito embora seja mais abundante nos sedimentos dos sistemas anastomosado e atual do rio Paraná do que no sistema entrelaçado basal. O grau de arredondamento deste mineral é normalmente baixo, variando desde angular até subarredondado, sendo o último de maior ocorrência percentual. Nos sistemas entrelaçado e atual do rio Paraná o epidoto tende a se mostrar com baixa esfericidade e arredondamento. Já no sistema anastomosado estes minerais tendem a ocorrer altamente arredondados.

A granada exibe, via de regra, baixa maturidade textural, mostrando principalmente formas angulosas a subangulosas. A percentagem de ocorrência de granadas apresenta forte diminuição da base em direção ao topo do pacote sedimentar. Na base do sistema entrelaçado, a ocorrência da granada chega a 43.3% do total de grãos sendo no topo deste sistema em torno de 10% do total dos minerais pesados presentes nas lâminas. As amostras coletadas no sistema anastomosado apresentam forte decréscimo na ocorrência de granadas, com uma ocorrência de apenas 1% destes minerais, porém para o topo deste sistema a quantidade de granadas volta a crescer, assumindo uma ocorrência média de 11%

Os anfibólios ocorrem com formas prismáticas ou como fragmentos, freqüentemente com bordas denteadas. A horblenda é o principal representante desta família mineral, nas lâminas analisadas. Estão presentes, com diversos graus de alteração, em quase todo o pacote sedimentar. Nos depósitos mais antigos, relacionados a calha do rio Paraná (Jupiá- SP) e nas cascalheiras, não foram encontrados anfibólios. Os piroxênios são minerais pouco abundantes e normalmente ausentes nas lâminas analisadas. Não estão representados no sistema entrelaçado, ocorrendo somente na porção superior do sistema anastomosado e nos depósitos do sistema atual do rio Paraná, com percentagens em torno de 2%.

4. MATURIDADE DOS DEPÓSITOS

Os depósitos do rio Paraná no seu curso superior são imaturos, cujos índices de maturidade (ZTR) variam de 30 a 69%. Os testemunhos de sondagem obtidos na planície aluvial do rio Paraná mostram um aumento deste índice da base (sistema entrelaçado, em torno de 35%) para o topo (sistema anastomosado, com cerca de 60%).

As amostras coletadas no topo do sistema anastomosado, e as amostras coletadas nos depósitos atuais do rio apresentam um decréscimo na maturidade mineralógica do sistema deposicional do rio Paraná, a partir do sistema anastomosado em direção ao sistema atual. Nestas amostras, o índice ZTR varia de 13 a 41%, tendo-se então uma maior contribuição de minerais instáveis como hornblenda e piroxênio e metaestáveis, como estauroлита, granada e epidoto.

Altos índices de maturidade, (ZTR média de 80%), são verificados para as amostras oriundas dos sedimentos rudáceos associados à calha do rio Paraná. Para as amostras oriundas dos colúvios sobrejacentes as litologias do Grupo Bauru e para amostras do Arenito Caiuá, os índices ZTR encontrados classificam estes sedimentos como maduros a supermaturos.

Os 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, estauroлита e epidoto mostram uma maior esfericidade e arredondamento no sistema anastomosado do que no sistema entrelaçado.

Parece haver uma correlação direta entre a maturidade mineralógica e a maturidade textural. Considerando-se todo o sistema deposicional do rio Paraná, no setor jusante da área de estudo, tem-se da base para o topo do sistema: 1) baixas maturidades mineralógica e textural para o sistema entrelaçado; 2) média maturidade mineralógica (índice ZTR em torno de 60%) e médio a alto arredondamento para o sistema anastomosado; 3) baixa maturidade mineralógica e baixo arredondamento para o sistema recente do rio Paraná. Nas amostras oriundas do Arenito Caiuá, coletadas em Umuarama (PR) e para as amostras de colúvios e regolitos sobrejacentes às litologias do Grupo Bauru, coletadas nos Estados do Mato Grosso e São Paulo, os índices ZTR variam de 72 a 92%, denotando uma alta maturidade mineralógica, que por sua vez também é acompanhada por um alto grau de arredondamento das partículas.

5. SIGNIFICADO GEOLÓGICO DAS ANÁLISES TEXTURAL E MINERALÓGICAS

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

Teruggi & Andreis (1971) e Pettijohn (1980) entre outros, demonstram que existe uma contínua diferenciação na composição mineralógica dos sedimentos rumo à maturidade. Portanto os minerais mais estáveis quimicamente, como quartzo, turmalina, zircão e rutilo, tendem a enriquecer-se relativamente nos sedimentos, enquanto os menos estáveis vão desaparecendo. Parece ser amplamente aceito no meio

geológico o uso da razão quartzo/ feldspato e o índice ZTR, para indicar a maturidade dos arenitos, como usado por Fernandes (1992).

A maturidade textural pode ser um excelente indicador acerca das características do paleorelevo 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 e Suguio, 1980).

No depósitos rudáceos associados a calha do rio Paraná, setor montante do sistema fluvial do rio Paraná, (de Brasilândia, MS, até Paranaíba, MS), os minerais semi-estáveis ou instáveis, como granada, cianita, silimanita, andalusita, epidoto, anfibólio e piroxênio estão freqüentemente ausentes. A assembléia mineralógica, nestes depósitos mais antigos é formada basicamente por zircão, turmalina e rutilo (bem arredondados) e subordinadamente por estauroлита, revelando uma alta maturidade mineralógica. Estas características mineralógicas destes depósitos rudáceos, corroboram com suas relações de campo, verificadas por Santos e Stevaux (2001), atestando uma geração anterior à formação do rio Paraná, sendo posteriormente retrabalhados em sua bacia.

No setor jusante da área analisada (de 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.

5.1 Assembléia Mineral e Prováveis Rochas Fontes.

São aqui consideradas para o estudo das prováveis fontes dos depósitos analisados, tanto as assembléias dos minerais pesadas 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 dos rios Paranaíba e Rio Grande. Possivelmente a associação de rochas metamórficas de alto grau com rochas ígneas ácidas e pegmatitos foram a fonte primária de parte da sedimentação fluvial estudada. A ocorrência conjunta de grãos com alta esfericidade e arredondamento com grãos angulosos e subarredondados, 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, mostram uma policiclagem no sistema sedimentar.

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. Devem ter, segundo este autor, uma origem a partir do retrabalhamento das Formações Botucatu e Pirambóia. Estes dados são corroborados por Gasparetto (1999), que verificou, através 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.

Wu (1981), realizou estudos sobre 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 colúvios sobrejacentes às outras litologias do Grupo Bauru, também mostraram um alto arredondamento para os minerais ultra-estáveis e para a estauroлита, sugerindo que estes grãos são reciclados de depósitos sedimentares mais antigos da Bacia sedimentar do Paraná.

Nos sedimentos do sistema deposicional do rio Paraná, a ocorrência de minerais ultra-estáveis e meta-estáveis com alto grau de arredondamento e esfericidade parece indicar uma origem secundária destes minerais a partir do retrabalhamento das formações do Grupo Bauru e dos seus colúvios associados, na bacia hidrográfica deste rio. Como mostram os trabalhos acima discutidos, os zircões, turmalinas, rutilos e estauroлитas já são policíclicos nestas formações. Segundo Suguio (1980), a associação entre anfíbios angulosos com turmalinas arredondadas ou a associação de turmalinas mal arredondadas com turmalinas bem arredondadas, em uma mesma amostra, parece indicar duas fontes sedimentares; uma primária e a outra secundária. Nas amostras analisadas comumente se encontram estas associações acima descritas, reforçando as hipóteses apresentadas para a origem dos sedimentos do sistema fluvial do rio Paraná.

5.2 Minerais Pesados e Paleohidrologia.

O estudo dos minerais pesados nos sedimentos do rio Paraná sugere uma evolução paleohidráulica singular para este sistema. A grande presença de granadas na base do pacote sedimentar (em 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 a altas taxas de erosão e de produção de clastos em clima possivelmente seco. A combinação destes fatores promoveria a disponibilidade de sedimentos imaturos, pouco intemperizados, oriundos das cabeceiras do rio Paraná, para sua bacia de drenagem. Esta hipótese corrobora com os mecanismos de acumulação de granadas nos sedimentos descritos por Pettijohn (1980). 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.

Com a crescente denudação e conseqüente queda na declividade regional, influenciada por movimentações 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, promoveram um incremento na organização da rede de tributários, formando um padrão fluvial mais estável, com diques marginais e planície aluvial bem desenvolvidos, característicos 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 diminuem as maturidades textural e mineralógica dos sedimentos, conforme discutido anteriormente neste capítulo. A assembléia mineralógica rica em hornblendas e piroxênios pouco alterados, encontrada nos sedimentos atuais o rio Paraná por Santos & Fernandez (1992), mostram uma contribuição significativa de fontes primárias. Esta nova fase erosiva, possivelmente associada à neo-tectônica e às alterações climáticas do Holoceno Superior que promoveram uma 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.

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

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Fernandes, L. A. (1992). A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP.): os Grupos Baurú e Caiuá. *Dissertação de Mestrado*, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Inédito. São Paulo, 129 p.
- Gasparetto, N.V. L. (1999). As formações superficiais do noroeste do Paraná e sua relação com o arenito Caiuá. *Dissertação de Mestrado*, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Inédito. São Paulo, 185p.
- Luepke, G. & Clifton E. (1983). Heave-mineral distribution in modern and ancient bay deposits, Willapa Bay, Washington, U.S.A. *Sedimentary Geology*, 35: 233-247.
- Pettijohn, F. J. (1980). *Rocas Sedimentarias*. EUDEBA, Buenos Aires, 4^o ed, 731p.

- Santos, M. L. (1997). Estratifrafia 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, Univ. Federal do Rio Grande do Sul.
- Santos, M. L. (2001a). Respostas geomórficas dos depósitos sedimentares do rio Paraná frente as mudanças climáticas do Holoceno Superior. In *8º Encontro de Geógrafos da América Latina*, Santiago, Chile. Cdrom do...., Santiago, 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: I Congresso do Quaternário de Países de Línguas Ibérica, Lisboa, Portugal. Actas do..., Lisboa, 145-148.
- Santos M. L.; Stevaux, J. C. (2000). Facies and Architectural analysis of channel sandy macroforms in the upper Paraná river. *Quaternary International*, Inglaterra, V. 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 em Geociências*, Porto Alegre, V.28:2, 171-182.
- Santos, M.L., Fernandez, O.V.Q & Stevaux, J.C. (1992). Aspectos morfogenéticos das barras de canal do rio Paraná. *Boletim de Geografia*, Universidade Estadual de Maringá, Depto. de Geografia, ano 10, 1: 11-24.
- Stevaux, J.C. (1993). O Rio Paraná: Geomorfogênese, sedimentação e evolução quaternária do seu curso superior (região de Porto Rico, PR). São Paulo. *Tese de Doutorado em Geociências* Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 242p..
- 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 facies 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. & Andreis, R. R. (1971). Composición. estabilidad mineral y accion en sedimentos argentinos. *Revista del Museo de La Plata*, Univ. Nac. de La Plata, La Plata. 7: 175-206.
- TOMAZELLI, L. J. (1977). Minerais Pesados da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul. *Dissertação de Mestrado*, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 81 p.
- WU, F. T. (1981). Minerais pesados das sequências arenosas Paleozóicas e Mesozóicas do centro-leste do estado de São Paulo. *Dissertação de Mestrado*, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo, Inédito, 129 p.