



## GRANULOMETRIA DOS SEDIMENTOS MARGINAIS DO RIO IVAÍ COM VISTAS À COMPREENSÃO DA DINÂMICA HIDRO-SEDIMENTAR MONTANTE-JUSANTE

**Maurício Meurer**

*Université Lumière Lyon 2, Universidade Estadual de Maringá / GEMA – Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente, Endereço para correspondência: Rua Cangussu, 498, Porto Alegre, RS, Brasil - CEP 90830-010 - e-mail: mauriciomeurer@yahoo.com.br*

**Jean-Paul Bravard**

*Université Lumière Lyon 2, Endereço para correspondência: 9, rue Georges Méliès, 69100, Villeurbanne, France - e-mail: Jean-Paul.Bravard@orange.fr*

**José Cândido Stevaux**

*Universidade Estadual de Maringá / GEMA – Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente, Endereço para correspondência, Av. Colombo, 5790, Bloco 024, Maringá, PR, Brasil - CEP 87020-900 - e-mail: jcstevaux@uem.br*

---

### Resumo

O estudo da granulometria dos sedimentos marginais depositados ao longo dos cursos d'água pode fornecer informações interessantes para a compreensão da dinâmica hidrológica e sedimentar, auxiliando ainda na identificação das feições morfológicas geneticamente ligadas aos sistemas fluviais. O uso da imagem CM como metodologia de interpretação de dados granulométricos tem se mostrado como uma excelente ferramenta de correlação entre os depósitos marginais e os seus mecanismos de deposição. Este trabalho tem por objetivo estudar, através da Imagem CM, os sedimentos marginais depositados ao longo do rio Ivaí, de forma a melhor compreender o funcionamento deste importante sistema fluvial paranaense. Para tanto, 63 amostras dos sedimentos marginais foram coletadas em 9 seções do rio Ivaí. Estas amostras foram preparadas em laboratório e tiveram a sua granulometria determinada através de um granulômetro laser de alta precisão. Os resultados destas análises granulométricas foram utilizados para a elaboração das imagens CM de cada uma das seções amostradas e do rio Ivaí em sua totalidade. A interpretação destas imagens CM permitiu observar que, no seu alto curso, o Ivaí se caracteriza por uma forte turbulência durante as cheias, sendo capaz de remobilizar os sedimentos mais grossos do fundo do leito. No seu curso médio, o Ivaí apresenta uma turbulência moderada, ainda transportando sedimentos grossos, mas com uma participação importante dos sedimentos finos sobretudo ao final das cheias. No seu curso inferior, o Ivaí possui uma reduzida competência, transportando principalmente sedimentos finos em suspensão gradual ou uniforme. Em quase todas as seções, observou-se um importante enriquecimento dos depósitos em materiais finos durante a descida das águas. A elaboração das imagens CM possibilitou uma melhor compreensão do funcionamento sedimentar da bacia do Ivaí sem que fossem necessárias, para isto, extensas séries de dados sedimentológicos.

**Palavras-chave:** Rio Ivaí, Granulometria, Imagem CM

### Abstract

The study of the granulometry of marginal sediments deposited along streams can provide some interesting information on the hydrological and sedimentary dynamics, helping in the identification of the morphological features genetically linked to the fluvial systems. The use of CM images in interpreting granulometric data has been proven to be an excellent tool for

demonstrating correlation between the marginal deposits and the mechanisms of deposition. This research aims to study, using CM images, the marginal sediments deposited along the River Ivai, in order to better understand how this important fluvial system of Parana State works. Thus, 63 marginal sediment samples were collected in nine sections of the River Ivai. These samples were prepared in the laboratory and their granulometry was determined using a high precision laser granulometer. The results of these granulometric analyses were used to elaborate CM images, one image for each section of the River Ivai and one for the entire River Ivai. These CM images have allowed us to observe that, in its upper course, the Ivai is characterised by high turbulence during floods, which mobilises the coarse sediments from the channel bottom. In its medium course, the Ivai presents moderate turbulence, and is transporting some coarse sediments, but with an important participation of fine sediments observed mainly at the end of the floods. In its lower course, the Ivai has a smaller competence, transporting mainly fine sediments in gradual suspension or uniform suspension. In almost all sections, an important enrichment in fine sediments of the deposits during the end of the floods was observed. The elaboration of the CM images has allowed us to improve our understanding of the sedimentary dynamics without using large records of sedimentological data.

**Keywords:** River Ivai, Granulometry, CM Image

## Introdução

A morfologia do canal fluvial é diretamente controlada pela vazão e pela carga sedimentar (LEOPOLD et al., 1995). Compreender o funcionamento sedimentar de um curso d'água pode ser útil para elucidar alguns aspectos morfológicos e entender melhor a dinâmica dos sistemas fluviais. Em geral, a maior parte dos estudos sobre dinâmica sedimentar refere-se aos sedimentos transportados e depositados no interior do canal, pois é este o setor onde se concentra o maior volume de toda a carga disponível em um sistema fluvial. O restante da carga, depositada sobre as margens e nas planícies de inundação, acaba por não merecer a devida atenção, mesmo sendo esta parte da carga tão importante quanto àquela que encontra-se no interior do canal.

Do ponto de vista geomorfológico, a textura e a coesividade dos sedimentos marginais influencia na geometria da seção transversal, na erodibilidade desta seção, e até mesmo na evolução do padrão de canal (LEOPOLD & WOLMAN, 1957). Do ponto de vista ecológico, a textura destes depósitos influencia na absorção seletiva de certos elementos fertilizantes e consequentemente na distribuição de algumas espécies vegetais. A textura dos sedimentos influencia ainda nas condições biológicas de vida, tornando certos habitats favoráveis ou desfavoráveis para o desenvolvimento de alguns organismos invertebrados. Do ponto de vista econômico, a sedimentação marginal influencia o desenvolvimento das atividades agrícolas; a remobilização desses sedimentos para o interior do canal é uma preocupação constante para os gestores das barragens de geração de energia e abastecimento (BRAVARD, 1983).

O estudo dos sedimentos marginais pode ser importante

também para compreender o funcionamento hidro-sedimentar de um curso d'água quando não se dispõe de dados sistemáticos de carga sedimentar no interior do canal. Bravard (1983) estudou a distribuição espacial dos sedimentos marginais finos no alto vale do rio *Rhône* (Ródano), na França, utilizando para isso a Imagem CM, um procedimento metodológico desenvolvido por Passega (1957, 1963, 1964, 1969) para o estudo da textura dos sedimentos marinhos e fluviais. Extrapolando esta metodologia para os sedimentos marginais, Bravard (1983) demonstrou as relações existentes entre a granulometria dos sedimentos e o seu ambiente deposicional. Com isso, o autor chamou a atenção para a aplicabilidade deste método para fins geomorfológicos, ecológicos e georrológicos.

O rio Ivai, objeto de estudo deste trabalho, não dispõe de dados sistemáticos de carga sedimentar. Assim sendo, a utilização da Imagem CM pode ser interessante para ajudar a compreender como se desenvolvem os processos hidro-sedimentares de montante para jusante. O presente trabalho tem por objetivo estudar através da Imagem CM os sedimentos marginais depositados ao longo do rio Ivai, de forma a melhor compreender o funcionamento deste importante sistema fluvial paranaense.

## A Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Ivai (Figura 1) está situada na porção sul do território brasileiro, no estado do Paraná. Segunda bacia mais importante do estado, depois da bacia do rio Iguaçu, ela ocupa uma área de 36.553 km<sup>2</sup>, o que corresponde a aproximadamente 18 % da superfície do Paraná.

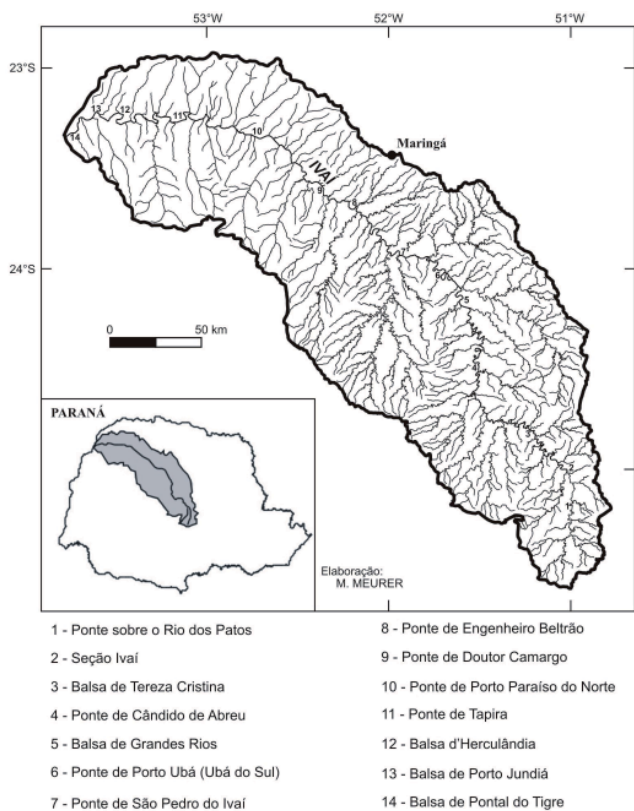


Figura 1 - A bacia hidrográfica do rio Ivaí e as 14 seções visitadas.

O rio Ivaí é um importante afluente da margem esquerda do rio Paraná. Ele se inicia à partir da confluência dos rios Dos Patos e São João, próximo ao município de Ivaí. À partir deste ponto, ele corre por um leito sinuoso de aproximadamente 680km (DESTEFANI, 2005), com direção preferencial noroeste, até atingir o rio Paraná. A vazão média medida na estação Novo Porto Taquara, situada a aproximadamente 77 km antes da confluência com o rio Paraná, é de 686 m<sup>3</sup>/s. A vazão máxima medida nesta mesma estação é de 3.990 m<sup>3</sup>/s, no dia 04/10/1993. Por outro lado, a maior vazão já medida no rio Ivaí foi registrada na estação fluviométrica de Porto Bananeiras: 6.027 m<sup>3</sup>/s, no dia 19/09/1983 (ANA, 2006).

### A imagem CM: Princípios metodológicos

O transporte da carga sedimentar no sistema fluvial ocorre através de três mecanismos distintos: por rolamento ou tração, por suspensão gradual e por suspensão uniforme. A parte mais grossa da carga sedimentar é transportada unicamente sobre o fundo do canal, seja por rolamento (se os grãos forem arredondados), seja por tração (se os grãos forem mais achatados), e ela não é colocada em suspensão, salvo em situações de turbulência excepcionalmente fortes.

O atrito da água sobre o fundo cria uma turbulência, o que permite a suspensão de uma parte da carga sedimentar. Os grãos mais grossos ficam suspensos próximos ao fundo, enquanto que os grãos mais finos são elevados para as porções superiores da coluna d'água. Assim, um gradiente granulométrico se forma na parte inferior da massa d'água; por esta razão, este modo de transporte se chama suspensão gradual. Acima da camada de suspensão gradual, a parte mais fina da carga sedimentar é transportada pelo mecanismo da suspensão uniforme, onde a concentração dos sedimentos e o tamanho máximo de grãos são independentes da altura na coluna d'água. Esta camada também sofre menos influência da turbulência de fundo, de forma que o fluxo tende a ser mais laminar (PASSEGA, 1963).

Observando a estreita ligação existente entre a textura dos sedimentos e os mecanismos de transporte e deposição, Passega (1957, 1963, 1964, 1969) propôs o diagrama CM, uma ferramenta de análise da textura dos sedimentos que tem por objetivo estabelecer as relações entre as características granulométricas dos sedimentos e os processos de deposição (PASSEGA, 1957).

O diagrama CM é um gráfico de dispersão em escala logarítmica onde são postos em relação os valores de C e M extraídos da curva acumulada de distribuição dos tamanhos de grão (acumulada da fração mais grossa em direção à fração mais fina). O valor M corresponde ao diâmetro mediano dos grãos de uma amostra (também chamado de  $d_{50}$ ), ou ainda o diâmetro para o qual 50% da amostra é mais fina e 50% mais grossa. O valor de C corresponde ao primeiro percentil da amostra ou o diâmetro de grão que só é ultrapassado por 1% da amostra (PASSEGA, 1957, 1963); este valor dá uma ideia da competência dos agentes de transporte. Para cada amostra, o cruzamento dos parâmetros C e M resulta em um ponto no diagrama logarítmico. No lado direito do diagrama, uma reta liga os pontos onde C=M; esta reta é denominada reta da seleção perfeita.

A partir do estudo de diversos depósitos de canais fluviais, Passega (1963) propôs um diagrama-chave, de onde pode-se deduzir os mecanismos de transporte em função da posição de cada amostra sobre o diagrama (Figura 2).

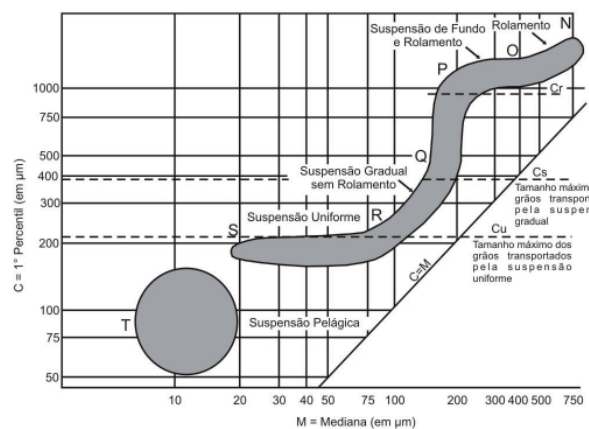


Figura 2 - Diagrama-chave da Imagem CM, à partir do qual pode-se inferir os mecanismos de transporte atuantes.

Para a compreensão da dinâmica sedimentar do Ivaí, foi realizada uma campanha de campo para coleta de sedimentos em janeiro de 2007. Nesta ocasião, foram visitadas 14 seções ao longo do eixo principal de drenagem (Figura 1) tendo sido 9 seções escolhidas para a amostragem de sedimentos e elaboração de perfis morfo-topográficos. A escolha das seções a serem visitadas se deu em função da acessibilidade ao eixo principal de drenagem e das variações de declividade do perfil longitudinal desta axe de drenagem. Nas seções selecionadas foram coletadas 63 amostras. As amostras coletadas foram preparadas no LRGE - *Laboratoire Rhodanien de Géographie de l'Environnement (Université Lumière Lyon 2, em Lyon, França)*. A granulometria destas amostras foi determinada no *Laboratoire des Sciences de l'Environnement (École Nationale de Travaux Publics de l'État de Vaulx-en-Velin, em Vaulx-en-Velin, França)* através de um granulômetro laser de alta precisão.

**Resultados**

A partir dos resultados das análises granulométricas os valores de M e de C foram calculados para cada uma das amostras coletadas. De posse destes valores foram elaborados diagramas com as imagens CM dos depósitos: para cada seção de coleta foi feito um diagrama (Figura 3), e com os dados de todas as amostras foi elaborado um diagrama de síntese (Figura 4). A interpretação dos resultados levou em consideração a posição da amostra na imagem CM e a sua localização no terreno, representada no perfil morfo-topográfico (MEURER, 2008).

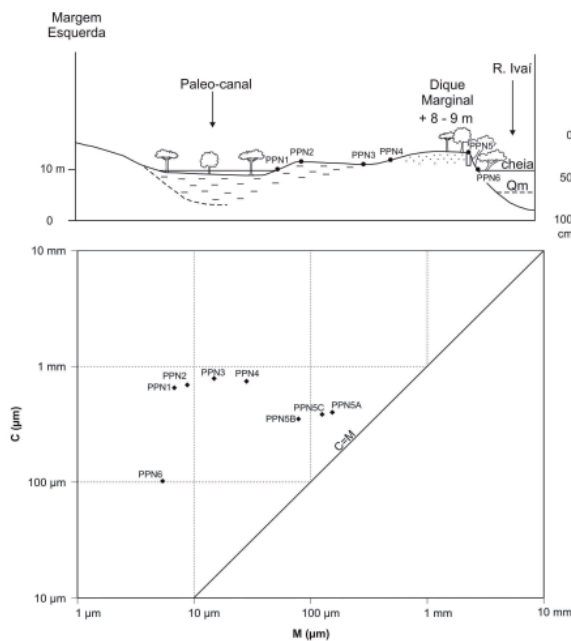


Figura 3 - Exemplo de perfil morfo-topográfico e de imagem CM de uma das seções de amostragem (seção Porto Paraiso do Norte).

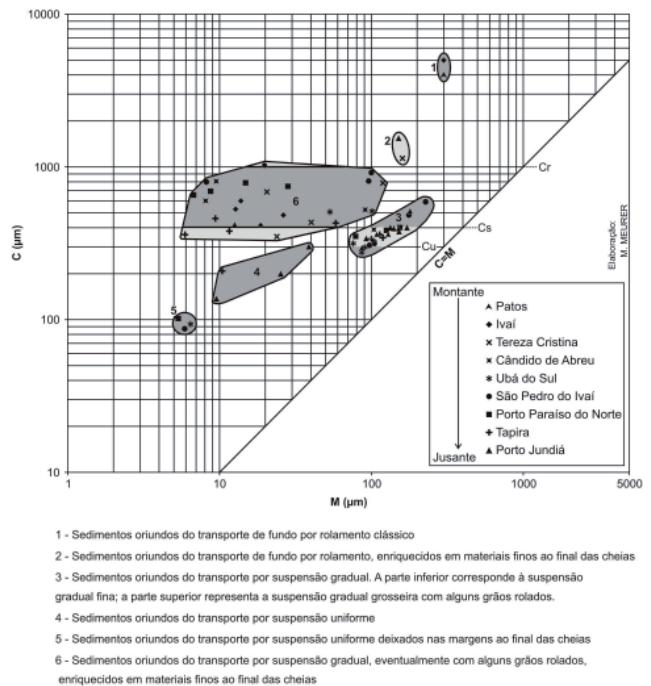


Figura 4 - Imagem CM de síntese das amostras coletadas ao longo da bacia do Ivaí.

A partir da imagem CM de síntese, observa-se que a suspensão gradual aparece de forma bem marcada no diagrama, e este mecanismo de transporte ocorre ao longo de todo o Ivaí. O conjunto de pontos da suspensão gradual não está perfeitamente paralelo à reta C=M como proposto no diagrama original de Passega (1963), mas está um pouco deslocada em direção à esquerda. Em função das análises feitas, pode-se concluir que a causa deste deslocamento é a má seleção dos depósitos, que geralmente são enriquecidos em materiais finos durante a fase de descida das águas após uma cheia.

Segundo Passega (1963), dois valores de C são importantes: o valor Cs, que é o diâmetro máximo dos grãos transportados em suspensão gradual, e o valor Cu, que é o diâmetro máximo dos grãos transportados em suspensão uniforme. O valor de Cs fornece um indicio da intensidade da turbulência sobre o fundo do canal (e fornece também um indicio do grau de energia de um depósito), enquanto que o valor Cu fornece um indicio da turbulência máxima da água acima da zona de influência direta do fundo. Um outro valor denominado Cr marca o limite inferior do transporte por rolamento. No que se refere o Ivaí, a imagem CM e as interpretações feitas para cada seção mostraram que o limite superior da suspensão gradual sem rolamento (Cs) se encontra em torno dos 400 µm (areia média), e o limite superior da suspensão gradual com grãos rolados (Cr) se encontra em torno de 1000 µm (areia muito grossa).



Segundo os resultados das análises granulométricas, os sedimentos com diâmetro superior a 1000  $\mu\text{m}$  são transportados por rolamento no fundo do canal do Rio dos Patos e do Ivaí. Na porção superior da bacia do Ivaí, durante as grandes cheias, o diâmetro máximo transportado por rolamento pode atingir os 5000  $\mu\text{m}$  (seixo). A turbulência nesta parte da bacia é muito forte em função das altas declividades e das grandes vazões por ocasião dos períodos chuvosos. Na porção inferior da bacia, as cheias aumentam a competência do Ivaí, que transporta grãos com diâmetro máximo de 1500  $\mu\text{m}$  (areia muito grossa).

Na imagem CM das amostras do Ivaí, observa-se que uma parte das amostras cujo valor de C está compreendido entre 300  $\mu\text{m}$  e 1000  $\mu\text{m}$  está colocada mais à esquerda, formando uma nuvem de pontos. Esta posição reflete uma redução da granulometria, demonstrada pela redução da mediana, causada por uma retenção do material mais grosso pela vegetação ou por um enriquecimento posterior em materiais finos. A análise das seções visitadas mostrou que a vegetação marginal é responsável pela retenção dos materiais mais grossos, de forma que a quantidade de materiais finos tende a aumentar à medida em que a distância em relação ao canal fluvial também aumenta. Em alguns casos, o enriquecimento em materiais finos também acontece durante a fase de descida das águas ao final de uma cheia.

No que se refere à suspensão uniforme, a análise dos sedimentos mostrou que o diâmetro de 300  $\mu\text{m}$  (areia média) marca o diâmetro máximo para este tipo de transporte (Cu). Na análise individual das seções verificou-se que valor de Cu se reduz para aproximadamente 200  $\mu\text{m}$  (areia fina) na porção inferior do Ivaí, após a seção de Tereza Cristina (Figuras 1 e 4). Esta redução possivelmente está associada a uma diminuição da turbulência da água em função da baixa declividade deste trecho do canal. Há de se considerar ainda que na seção de Porto Jundiá o Ivaí é influenciado pelas cheias do rio Paraná, que bloqueiam a saída das águas do rio Ivaí, reduzindo assim a competência de transporte.

Na porção inferior da imagem CM de síntese, três amostras agrupadas chamam a atenção pela granulometria muito reduzida. Estas amostras correspondem aos depósitos de cheias lamosos coletados às margens do Ivaí no exato momento da descida das águas. Observa-se que estes depósitos de final de cheia apresentam um valor de C próximo de 100  $\mu\text{m}$  (areia muito fina) e uma mediana de 6  $\mu\text{m}$  (silte muito fino). Este material muito fino, oriundo da suspensão uniforme, se deposita sobre as margens, enriquecendo com materiais finos os depósitos mais grossos. Ao longo do Ivaí, estes depósitos de final de cheia foram encontrados a partir da seção de Ubá do Sul. É provável que este tipo de depósito não tenha sido encontrado a montante desta seção em função das altas declividades, que produzem uma maior turbulência no Ivaí, e que o impedem de decantar a sua carga em suspensão.

A ocorrência deste processo de deposição na borda do canal é uma característica muito singular da parte baixa do Ivaí, pois este tipo de depósito é mais comumente encontrado no interior de meandros abandonados.

## Conclusões

A elaboração das imagens CM possibilitou uma melhor compreensão do funcionamento sedimentar da bacia do Ivaí sem que fossem necessárias, para isto, extensas séries de dados sedimentológicos. Segundo Bravard (1983) “O diagrama de Passega permite uma confrontação visual das observações de campo (tendo sido as amostras coletadas seguindo uma repartição do espaço geomorfológico realizada à priori) e dos mecanismos responsáveis pela deposição” (BRAVARD, 1983). Foi exatamente isto que foi feito ao longo do Ivaí: a coleta de amostras em um espaço geomorfológico pré-segmentado (segmentação em função do perfil longitudinal e segmentação visual ao longo dos perfis morfo-topográficos), e a posterior identificação dos mecanismos de transporte e deposição atuantes.

Neste trabalho, ficou evidente que:

– O Rio dos Patos e o alto Ivaí, até a seção de Tereza Cristina, são caracterizados por uma forte turbulência, o que fornece a estes cursos d'água a competência necessária para o transporte das frações superiores a 1000  $\mu\text{m}$ . Durante as cheias mais fortes, a turbulência é bastante forte a ponto de remobilizar grãos com diâmetro de até 5000  $\mu\text{m}$ . Ao final das cheias, estes depósitos são enriquecidos pelos materiais finos provenientes da suspensão uniforme, principalmente no interior dos paleo-canais localizados atrás do dique marginal, onde a turbulência é reduzida.

– A partir de Tereza Cristina, os grânulos não são mais encontrados nos depósitos marginais, mas encontram-se ainda sedimentos grossos com até 1000  $\mu\text{m}$ , que são suspensos pela turbulência das cheias.

– A partir da seção Ubá do Sul, a turbulência na porção superior da coluna d'água junto às margens não é tão forte, de forma que o Ivaí deposita sobre suas margens depósitos de cheia muito finos, lamosos, que enriquecem os depósitos de cheia em materiais finos.

– A partir da seção de Tapira, o Ivaí atravessa uma região com baixa declividade. É provável que a partir desta seção a competência do rio se reduza de forma que o diâmetro máximo transportado pela suspensão uniforme se reduza a aproximadamente 200  $\mu\text{m}$ . Por outro lado, as grandes cheias conseguem depositar sobre as margens sedimentos com diâmetro de até 1500  $\mu\text{m}$ .

Por fim, a metodologia da imagem CM mostrou ser uma ferramenta interessante para a identificação e interpretação dos depósitos fluviais. Resta agora testar um pouco mais a sua aplicação em outros sistemas fluviais tropicais, a fim

de avaliar os resultados alcançados e quem sabe até propôr um novo diagrama-chave aplicável especificamente à zona tropical.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao GEMA – Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente, da Universidade Estadual de Maringá, ao LRGE – *Laboratoire Rhodanien de Géographie et Environnement*, da *Université Lumière Lyon 2* e ao *Laboratoire des Sciences de l'Environnement*, da ENTP - *École Nationale de Travaux Publics de l'État de Vaulx-en-Velin* por toda a infra-estrutura disponibilizada.

### Referências Bibliográficas

- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE AGUAS, Hidroweb [base de dados on line]. Brasília : ANA. [s. d.] [referência de 2006]. Disponível em: <URL : <http://www.hidroweb.ana.gov.br>>
- BRAVARD, J.-P. Les sédiments fins des plaines d'inondation dans la vallée du Haut-Rhône, In.: **Revue de Géographie Alpine**, v. 71, n° 4, 1983, pp. 363 – 379
- DESTEFANI, E. V. Regime hidrológico do rio Ivaí – PR, Diss. mestrado (Mestrado em Geografia, Análise Ambiental e Regional) Maringá: UEM. 2005, 90 p.
- LEOPOLD, L. B. e WOLMAN, M. G. River Channel Patterns: Braided, Meandering and Straight. U. S. Geological Survey Papers, 282-B, Washington: U.S. Government Printing Office, 1957, 85 p.
- LEOPOLD, L. B., WOLMAN, M. G., MILLER, J. P. Fluvial Processes in Geomorphology, San Francisco: Freeman, 1995. 535 p.
- MEURER, M. **De l'hydro-écorégion au tronçon fluvial: recherche méthodologique. Le cas du bassin versant de l'Ivaí, État du Paraná, Brésil.** Tese de Doutorado (Doctorat en Géographie, Aménagement et Urbanisme), Lyon : Université Lumière Lyon 2, 2008, 307 p.
- PASSEGA, R. Texture as Characteristic of Clastic Deposition, **Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists**, v. 41, n° 9, 1957, p. 1952 – 1984.
- PASSEGA, R. Analyses granulométriques, outil géologique pratique, **Revue de l'Institut Français du Pétrole**, v. XVIII, n° 11, 1963, p. 1489 – 1499.
- PASSEGA, R. Grain size representation by CM Patterns as a geological tool, **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 34, n° 4, 1964, p. 830 – 847.
- PASSEGA, R. e BYRAMJEE, R. Grain-size image of clastic deposits, *Sedimentology*, n° 13, 1969, p. 233 – 252.