

Modelagem hidrodinâmica do canal do rio Paraná, trecho Porto São José - Porto 18. Parte I: Caracterização física do canal

Astrid Meira Martoni* e Roberto Cruz Lessa

Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá-Paraná, Brazil.
*Author for correspondence.

RESUMO. Os estudos ambientais na Planície de Inundação do rio Paraná, na região de Porto Rico, necessitam dos dados fluviométricos do rio Paraná, no trecho Porto São José - Porto 18, os quais devem ser fornecidos por meio de um modelo matemático hidrodinâmico, que represente o comportamento deste trecho do rio. O modelo deve ser calibrado por meio dos principais parâmetros geométricos e hidráulicos do canal. Na forma de dois artigos, apresentam-se os trabalhos realizados para a aquisição dos dados básicos; para a estimativa do principal parâmetro de ajuste do modelo (coeficiente de resistência do canal); e a modelagem resultante do trecho de canal do rio Paraná, na região proposta para estudo. Neste primeiro artigo é apresentada a primeira etapa de obtenção dos dados básicos, para a caracterização física do canal.

Palavras-chave: características físicas de canais; parâmetros geométricos de canais naturais; aquisição de dados básicos em canais.

ABSTRACT. Paraná river channel hydrodynamic modelling: Porto São José - Porto 18 stretch. Part I: Physical characterization of the channel. Environmental studies for the flooding plain of the Paraná River at Porto Rico region, need fluviometric data about Porto São José - Porto 18 stretch, which have to be provided through a hydrodynamic model that simulates the behavior of this part of the river. The model should be calibrated using the main geometric and hydraulic parameters for the channel. Basic data gathering, main model parameters estimate (channel strength coefficient) and the resulting modelling of the channel stretch will be discussed in two different papers, the first of which will comprise the basic data gathering for the physical characterization of the channel.

Key words: channel physical characterization, channel geometric parameters, data gathering.

Os estudos ambientais realizados na Planície de Inundação do rio Paraná, na região de Porto Rico, envolvem vários segmentos de pesquisa nos domínios físico, biológico e socioeconômico. Estes são desenvolvidos através de projetos dentro do Programa de Pós-Graduação "Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais", da Universidade Estadual de Maringá.

O principal objetivo destes projetos é a integração de dados das diversas áreas, a fim de obter-se conhecimento dos mecanismos pelos quais as cheias regulam todo o sistema biogeofísico na região da planície.

Dentro do domínio físico, a área de hidrologia deve fornecer dados referentes às características fluviométricas do rio Paraná, entre Porto São José e Porto 18, no município de Querência do Norte, permitindo com que os segmentos de pesquisa venham relacionar suas variáveis com os valores de

nível e vazão do rio. Para isso, é necessário que parâmetros do canal, principalmente o de rugosidade, sejam ajustados a um modelo matemático hidrodinâmico que, através de simulações, dará informações destas variáveis em qualquer trecho do canal. Entretanto, para a modelagem, há necessidade que as características físicas do canal sejam determinadas.

Este trabalho, apresentado na forma de dois artigos, foi realizado em duas etapas: a primeira foi para a obtenção dos parâmetros geométricos do rio, que serão utilizados pelo modelo e mudam apenas em função do nível do rio; e a segunda refere-se ao ajuste e verificação do parâmetro de rugosidade do canal pelo modelo matemático e a divisão do escoamento no sistema de canais.

O objetivo desta primeira parte é apresentar a metodologia utilizada para a aquisição dos dados

básicos em canais naturais e os resultados dos levantamentos realizados no rio Paraná, para serem aplicados posteriormente em modelos matemáticos ou análises geomorfológicas. De acordo com Tucci (1980), a disponibilidade dos dados básicos tem sido o fator mais limitante no uso dos modelos completos, já que dificilmente dispõe-se de seções transversais dos cursos d'água, nivelamento, contribuição lateral e estimativa de rugosidade, além de dados de nível e vazão.

Para representar as características topográficas e hidráulicas do sistema, foram selecionadas seções transversais ao longo dos dois canais formados pelas confluências das principais ilhas. Em cada seção foram instalados um marco referencial e as réguas limnimétricas, realizado o nivelamento e o levantamento batimétrico. Com os resultados dos levantamentos, foram determinados os parâmetros físicos das seções transversais, compondo os dados básicos para a modelagem do trecho de canal.

Também foram realizados alguns levantamentos nos rios e canais da planície, ligados ao rio Paraná pela sua margem direita, obtendo-se informações de suas influências sobre o rio Paraná, ou deste sobre os canais da planície.

Área de estudo. O rio Paraná, formado pelas confluências dos rios Parnaíba e Grande, em território brasileiro ocupa uma área de mais de 802.150 km² a montante de Guaíra (Souza Filho e Stevaux, 1997). Tem uma descarga que varia entre 8.500 m³/s (julho-agosto) e 20.000 m³/s (novembro-fevereiro) (Unesco, 1985).

A planície, na parte média do alto Paraná, ocupa toda a calha do rio no segmento entre Três Lagoas, no Mato Grosso do Sul e Guaíra, no Paraná. Embora seja relativamente plana, a planície fluvial apresenta diversos níveis topográficos, diferentes entre si, em termos altimétricos e morfológicos (Souza Filho e Stevaux, 1997).

Dentro desta área, situada entre as latitudes 22°40'-23°00'S e longitudes 53°10'-53°40'W, está localizada a região de Porto Rico, entre Porto São José (aproximadamente 10 km a jusante do Pontal do Paranapanema) e Porto 18 (aproximadamente 5 km a montante da foz do rio Ivinheima) no município de Querência do Norte. Imediatamente a montante está a barragem de Porto Primavera, e 200 km a jusante o remanso do reservatório de Itaipú.

Esta região está representada por três ilhas grandes, no sentido de montante para jusante: Mutum, Japonesa e Floresta, e aproximadamente 49

ilhas de médio e pequeno porte (Figura 1). Para jusante, inúmeras ilhas dividem o fluxo, formando canais secundários, permitindo uma configuração completa do padrão multicanal. Quando o escoamento ocorre dentro da calha, no pequeno trecho entre a ilha Mutum e ilha Japonesa e em Porto 18, torna a apresentar trechos de canal único. De acordo com Souza Filho e Stevaux (1997), as barras fluviais, originadas da deposição da areia durante as cheias e em locais de baixa velocidade de fluxo, apresentam estabilidade e áreas maiores e são mais freqüentes para jusante.

O sistema apresenta a seguinte configuração: de canal principal, quando os trechos abrangem as duas margens, do Mato Grosso do Sul e do Paraná; canal direito superior, entre o Mato Grosso do Sul e a ilha Mutum; canal direito inferior, entre o Mato Grosso do Sul e as ilhas Japonesa e Floresta; canal esquerdo superior, entre o Paraná e a ilha Mutum; e canal esquerdo inferior, entre o Paraná e as ilhas Japonesa e Floresta.

Esta área, abrangendo todos os pontos de interesse das pesquisas, foi dividida em duas. No canal do rio Paraná, entre Porto São José e Porto 18; e nos rios e canais da planície entre a foz do rio Baía e a 1500 metros a montante da confluência com o canal Curutuba; no canal Curutuba; no rio Ivinheima, 800 metros a jusante da confluência com o canal Curutuba e 1300 metros a jusante da confluência com o canal Ipuitã; e o canal Ipuitã, que liga o rio Ivinheima ao rio Paraná.

Materiais e métodos

Para representar o canal do rio Paraná foram escolhidas 35 seções transversais através da carta topográfica da região de Porto Rico, na Escala 1:100.000 e através de observações de campo. Estas seções deverão representar as características físicas e hidráulicas do canal para serem utilizadas na modelagem hidrodinâmica.

O número de seções nos rios e canais da planície foram onze. Para a região da planície, apenas alguns aspectos são apresentados, pela inviabilidade de se realizar um maior número de levantamentos nesta área.

Rastreamento GPS e nivelamento das seções transversais. Das 46 seções transversais selecionadas, escolheram-se 26 seções no rio Paraná, 1 seção no rio Baía e 3 seções no rio Ivinheima para serem materializadas com marcos referenciais e serem posicionadas tridimensionalmente através do Sistema GPS.

o horário era ajustado simultaneamente nos dois computadores para utilizar o tempo como referência. Os dados de posição e profundidade, associados ao momento da medida, eram automaticamente coletados e armazenados. Ao final de cada levantamento obtinha-se dois arquivos, um relativo às profundidades, e outro relativo ao posicionamento dinâmico.

Posteriormente, esses arquivos foram tratados por um software que interpolava as coordenadas obtidas pelo posicionamento dinâmico, tendo como referência o tempo de medida de cada profundidade. O trabalho era executado por duas equipes, uma fixa, que permanecia em terra com a estação total, e outra móvel, que percorria lentamente a seção transversal em um barco grande e estável. A bordo do barco, um conjunto de nove prismas acoplado ao ecobatímetro, permitia à equipe de terra acompanhar a travessia da embarcação, visando continuamente aos prismas e orientando para que a mesma fosse feita transversalmente, através da comunicação por rádios. O tempo para o levantamento, nos dois métodos, dependia sobretudo da largura da seção, da presença de trechos de praias, condições das margens e das condições atmosféricas.

Ao final de cada levantamento, o perfil das margens e dos trechos de praia eram levantados ponto a ponto, utilizando a estação total. As medidas de profundidade foram corrigidas em função da variação do nível d'água durante o levantamento e da profundidade do sensor.

Verificados e processados os dados de campo, foi possível obter os perfis das seções, determinar o talvegue, o perfil do leito do rio, o gradiente hidráulico e calcular as características físicas de cada seção: área, raio hidráulico, perímetro molhado, largura, profundidade média, cota mínima, cota máxima e cota máxima de inundação.

Posicionamento do talvegue. Dos perfis das seções determinou-se, através da cota mínima, a posição do talvegue nos canais direito e esquerdo do rio Paraná. Locando as seções no mapa em escala 1:100.000, determinaram-se as distâncias entre as seções, por meio de um curvímetro. Nos canais da planície pôde-se obter apenas uma estimativa.

Estimativa da declividade de fundo. A representação da declividade de fundo deve ser feita através dos pontos de cota mínima nas seções, seguindo a linha do talvegue. As profundidades das cotas mínimas são muito variáveis ao longo do canal, resultando declividades positivas e negativas. A substituição da cota mínima por uma profundidade média

aritmética ou pela profundidade média ponderada da seção, permite representar melhor a declividade do leito do rio.

Gradiente hidráulico. A leitura simultânea de duas réguas instaladas em duas seções consecutivas, tendo o nível do mar como referência, permite determinar a declividade da linha d'água. Com a diferença de nível dividida pela distância entre as duas seções, estima-se a declividade média da linha d'água no referido trecho.

Foram realizadas cinco campanhas de leituras de níveis no rio Paraná, durante meses alternados no ano de 1994, uma em fevereiro de 1995 e a última em março de 1997. O tempo de percurso para a corrida das réguas nos canais direito e esquerdo era de aproximadamente 4 a 6 horas, dependendo das condições atmosféricas.

Determinação dos parâmetros do rio. Com os dados obtidos da batimetria foram determinados os parâmetros do rio, representados pela área, largura, perímetro molhado e raio hidráulico em função do nível da água. Essas variáveis foram determinadas para profundidades, variando desde zero até a cota máxima do talude, com intervalos de 3 centímetros, interpolando-se os dados medidos.

Resultados e discussões

Rastreamento GPS e nivelamento das seções. Os resultados obtidos por Couto (1995), são mostrados na Tabela 1, na qual estão relacionadas as seções com os marcos referenciais, as coordenadas dos marcos e o zero da régua. A cota zero da régua teve que ser corrigida, posteriormente, em 1994 e 1997, devido a deslizamentos nas margens ou estragos por terceiros.

A utilização do sistema GPS no posicionamento de marcos referenciais mostrou-se eficiente, reduzindo o tempo, custo e pessoal necessário para essa tarefa. O nivelamento das réguas possibilitou a produção de registros necessários aos estudos e análises da hidrodinâmica do rio. Também pôde ser estabelecida a relação hidráulica com os rios Baía e Ivinheima, através das coordenadas e nivelamento de cada seção.

Levantamento batimétrico. Os resultados do levantamento batimétrico realizado nas trinta e cinco seções do rio Paraná e nas onze seções dos rios da planície estão resumidos nas Tabelas 2, 3 e 4, referentes ao nível da água na época do levantamento, bem como a cota máxima para inundação da planície em relação ao canal direito.

Tabela 1. Coordenadas ajustadas dos marcos da rede GPS. Fonte (das colunas 2 a 5): Couto (1995)

Seção do marco Posto	Altitude do marco (m)	Latitude (° ' ")	Longitude (° ' ")	Cota do zero da régua (m)	Cota do zero da régua corrigida (dados 1994) (m)	Cota do zero da régua corrigida (dados 1997) (m)
Canal principal						
M28 - P. S. José	234,564	22 42 38.47644	53 11 06.67372	226,757		226,757
M24 - Porto São Pedro	240,632	22 44 08.49837	53 11 57.26573	-		+
M20 - Xirica	231,830	22 46 43.96094	53 22 13.69824	228,203		229,773
M05E - Porto 18	234,296	22 57 59.92572	53 36 09.33522	226,622		228,541
Canal esquerdo						
M16 - Pousada	243,316	22 45 23.04030	53 14 07.57054	228,990		228,990
M29 - Base Nupelia	237,951	22 45 55.82227	53 15 25.59638	228,927		228,927
M25 - Mela	237,269	22 46 26.43418	53 16 47.09157	228,877		+
M26- Faz. Porto Rico	-	-	-	-		+
M27 - Cortado	231,216	22 48 27.20200	53 23 28.12196	226,836	227,400	228,269
M15 - Canal entupido	231,582	22 49 09.51578	53 25 11.96836	227,993		+
M02 - Faz. Belo	234,839	22 51 50.77652	53 28 47.03597	227,403		229,356
M01 - Três Morrinhos	233,342	22 53 26.67637	53 31 41.78258	227,407	227,212	227,407
M03 - Ilha Laranjeira	231,017	22 54 58.28310	53 33 21.21816	226,671		226,671
M04 - Ilha da Onça	230,573	22 56 21.16999	53 34 26.33773	226,446	226,602	226,446
Canal direito						
M23 - Buracão	232,825	22 45 00.84560	53 17 54.19226	228,243		229,762
M21J - jusante. do Baía	232,508	22 45 37.73559	53 19 45.65181	228,275		230,035
M20 - Xirica	231,830	22 46 43.96094	53 22 13.69824	228,203		229,773
M19 - Faz. Paraná	231,132	22 47 42.39250	53 25 07.32270	227,852		229,511
M18 - Faz. Entre Rios	232,762	22 48 40.17349	53 26 51.73828	227,432	227,852	229,005
M12 - Dió	232,758	22 49 06.84399	53 28 23.49829	227,952		229,003
M07 - Boca do Ipitã	230,921	22 51 46.48235	53 33 57.11326	226,828		227,649
M17 - Ilha dos Porcos	231,870	22 52 38.46743	53 35 08.27718	227,094	226,864	226,895
M06 - Ilha Barbado	230,833	22 55 31.69622	53 36 34.65763	226,525	226,737	226,759
Canal do Gaúcho						
M15C - entrada C.G.	231,582	22 49 09.51578	53 25 11.96836	227,993		+
M14 - Rancho Alegre	231,463	22 49 36.76580	53 27 09.64646	227,618		227,618
M13 - saída C.G.	230,837	22 50 31.09509	53 29 34.61386	227,046		226,757
Rio Baía						
M22	231,948	22 44 11.20786	53 20 24.12325	228,382		
Rio Ivinheima						
M08	231,429	22 50 27.11587	53 34 44.30810	226,364		
M09	231,091	22 49 50.68967	53 34 01.53286	226,865		
M10	230,115	22 47 29.86791	53 31 29.91586	226,133		

(+) - Seções que perderam o marco devido a enchente de janeiro / fevereiro de 1997

Conforme as Tabelas 2 e 3, o rio apresenta-se mais largo na confluência dos canais direito e esquerdo (trecho de canal principal da seção M20T) e com a maior relação largura/profundidade. No trecho superior, o canal esquerdo é mais largo e profundo que o direito. No trecho inferior, ambos têm aproximadamente a mesma largura e profundidade média. A cota máxima dos taludes do canal direito, que margeiam a planície de inundação, varia, aproximadamente, de 230 a 232 metros.

Nos canais da planície (Tabela 4), as larguras variam entre 27,297 a 195,946 metros, e a relação largura/profundidade de 11:1 a 50:1, com uma média de 30:1.

As Figuras 2, 3 e 4 apresentam, como exemplo, três perfis das seções obtidos dos levantamentos batimétricos. A Figura 2 mostra a batimetria da seção M26T, considerada como única, composta pelas seções M26 e M26C, as quais são separadas por ilha.

A técnica do posicionamento dinâmico da embarcação com registro automático dos dados,

usado na M26T, permitiu melhor traçado do perfil do que o não-informatizado, usado nas seções de montante (M28) e de jusante (M05E) (Figuras 3 e 4).

Maiores detalhes do trabalho de batimetria, como a descrição detalhada da metodologia, análise do desempenho, número de pontos coletados, velocidade do barco, tempo de levantamento, estão descritos em Lessa e Martoni (1996), Lessa *et al.* (1997) e Martoni e Lessa (em andamento).

Talvegue. O canal do rio Paraná apresenta, na maioria das seções, mais de um talvegue. Por definição, considera-se aqui o de cota mínima. A Tabela 2 apresenta a posição do talvegue em cada seção e a Tabela 3 dá o posicionamento médio em cada trecho de canal. No trecho entre a seção M28, Porto São José, e a ilha Mutum, com profundidade e largura médias de 8,409 e 1130,794 metros, respectivamente, o talvegue está situado a 176 metros da margem esquerda (Tabela 3), do lado do Estado do Paraná.

Tabela 2. Resultados do levantamento batimétrico das seções no rio Paraná (entre Porto São José e Porto 18), relativos ao nível da água no levantamento

Seção	Prof. Méd. (m)	Prof. Máx. (m)	Cota Mín. (m)	Cota Máx. (m)	Largura entre as margens (m)	Relação largura/ profundidade (m/m)	Cota máxima do talude no lado do Mato Grosso do Sul (m)	Posição do talvegue (+) (m)
Canal principal								
M28 - MT/PR	8,972	13,715	215,857	229,572	1143,145	127	232,533 d	165
M24 - MT/PR #	7,846	10,515	219,051	229,566	1118,443	142	229,820 d	187
M20 - MT/PR *	4,057	8,534	220,079	228,613	2350,483	579	231,795 d	650 *
M20C - PR # *	4,567	7,515	221,577	229,092	416,074	91	231,926 e	193 *
M20T	4,495				2766,577			
M05E - MT/PR	4,672	7,214	219,808	227,022	1879,543	402	229,819 d	1051
Canal direito superior								
M23 - MT #	2,924	7,215	221,855	229,070	804,951	275	231,755 d	354
M21M - MT #	3,438	6,015	222,906	228,921	846,190	246	228,921 d	329
M21J - MT #	2,920	4,215	224,729	228,944	874,867	299	232,469 d	291
M20M - MT #	3,187	4,315	224,559	228,874	817,161	256	232,615 d	207
Canal direito inferior								
M20J - MT	4,282	7,850	220,890	228,740	1211,777	283	231,196 d	712
M19 - MT	4,666	10,750	217,644	228,394	933,130	200	231,844 d	203
M18 - MT	3,888	6,350	221,280	227,630	934,625	240	232,402 d	214
M12 - MT *	4,962	7,034	221,029	228,063	765,453	154	232,285 d	152 *
M12C - MT *	2,478	3,034	225,179	228,213	303,652	123	232,285 d	1052 *
M12T					1069,105			
M12J - MT	4,163	10,134	218,134	228,268	1106,929	266	231,574 d	756
M07M - MT *	4,196	7,314	220,399	227,713	569,151	136	229,862 d	500 *
M07C - MT *	3,804	6,934	220,699	227,633	748,015	197	229,275 d	670 *
M07T					1317,66			
M17 - MT *	4,566	5,214	222,579	227,793	143,985	31	231,480 d	67 *
M17C - MT *	3,687	7,200	220,574	227,774	1319,373	358	231,480 d	400 *
M17T					1463,358			
M06 - MT *	4,657	7,314	219,751	227,065	990,733	213	228,918d	322 *
M06C - MT *	3,901	8,234	218,881	227,115	340,133	87	228,918 d	1052 *
M06T					1330,866			
Canal esq. superior								
M16 - PR #	7,139	10,415	219,127	229,542	980,332	134		56
M29 - PR *	6,731	10,114	219,138	229,252	936,933	139		547 *
M29C - PR *	3,740	4,515	225,155	229,670	253,355	67		1170 *
M29T					1189,687			
M25 - PR	5,998	10,414	218,315	228,729	1315,211	219		150
M26C - PR # *	4,495	8,115	221,212	229,327	584,736	130		80 *
M26 - PR # *	5,686	8,315	220,567	228,882	808,786	142		1300 *
M26T					1393,522			
Canal esquerdo inferior								
M27 - PR	4,721	9,014	218,664	227,678	1160,088	246		522
M15 - PR	4,636	8,414	219,322	227,736	811,512	175		659
M02 - PR	4,387	7,414	220,189	227,603	1132,781	258		524
M01 - PR	5,159	7,514	220,114	227,628	1289,375	250		227
M03 - PR	4,693	7,714	219,899	227,613	1305,626	278		670
M04 - PR	5,294	9,314	217,625	226,939	1327,945	251		141
Canal do Gaúcho								
M15C - CG	3,176	5,134	223,108	228,242	132,528	42		99
M14 - CG	2,850	3,934	224,158	228,092	149,002	52		116
M13 - CG	1,843	3,034	225,026	228,060	154,052	84		15

(#) - Seções medidas com o processo informatizado; MT - canal direito (Estado do Mato Grosso do Sul); PR - canal esquerdo (Estado do Paraná); (e) - refere-se à margem esquerda do canal / (d) - refere-se à margem direita do canal; (+) - Distância aproximada da cota mínima: em relação à margem do lado do Mato Grosso, no canal direito; e em relação à margem do lado do Paraná, no canal principal, canal esquerdo e canal do Gaúcho; (*) - Seções adjacentes, separadas por ilha

Tabela 3. Valores médios nos trechos dos canais principal, direito e esquerdo do rio Paraná (relativo ao nível da água no levantamento)

Trechos de canal	Prof. Méd. (m)	Prof. Máx. (m)	Cota Mín. (m)	Cota Máx. (m)	Largura (m)	Relação largura/ profundidade (m/m)	Cota máxima do talude no lado do Mato Grosso do Sul (m)	Posição do talvegue (+) (m)
Canal principal	8.409	12.115	217.454	229.569	1130.794	135	231.177	176
Canal direito superior	3.117	5.440	223.512	228.952	835.792	269	231.440	295
Canal esquerdo superior	5.866	9.815	219.287	229.317	1163.137	214		56 a 547
Canal principal	4.495	8.534	220.079	229.092	2766.577	615	231.861	650
Canal direito inferior	5.191	8.108	219.854	227.983	1170.931	242	231.158	152 a 756
Canal esquerdo inferior	4.815	8.231	219.302	227.533	1171.221	243		141 a 670
Canal principal	4.672	7.214	219.808	227.022	1879.543	402	229.819	1051
Canal do Gaúcho	2.623	4.034	224.097	228.131	145.194	59		15 a 116

(+) - Distância aproximada da cota mínima: em relação à margem do lado do Mato Grosso, no canal direito; e em relação à margem do lado do Paraná, no canal principal, canal esquerdo e canal do Gaúcho

Tabela 4. Resultados do levantamento batimétrico das seções - rio Ivinheima, rio Baía, canal Ipuitã e canal Curutuba (relativo ao nível da água no levantamento)

Seção	Prof. Méd. (m)	Prof. Máx. (m)	Cota Mín. (m)	Cota Máx. (m)	Largura (m)	Relação largura / profundidade (m/m)	Cota máxima do talude (m)	Posição do talvegue em relação à margem esquerda (m)
BJCC -Ba	1,574	2,150	226,582	228,732	38,896	25	231,324 d	10,35
BMCC -Ba	1,852	2,552	226,180	228,732	71,273	38	230,534 e	26,52
M22 -Ba	1,476	2,013	226,686	228,699	47,682	32	231,507 d	13,00
M21B -Ba	1,549	3,095	225,851	228,946	31,952	21	229,960 e	23,23
ECC -Co	1,666	2,622	226,111	228,733	27,817	17	231,545 d	15,21
M10C -Co	3,276	4,765	223,108	227,873	35,280	11	228,369 d	29,60
M10 -Iv	4,499	5,160	222,709	227,869	147,133	33	227,640 e	124,00
M10M -Iv	3,628	4,460	223,493	227,953	181,863	50	229,131 e	109,00
M09 -Iv	4,142	5,360	222,227	227,587	195,946	47	227,692 e	170,00
M08 -Iv	4,108	5,160	222,465	227,625	162,431	40	228,482 e	131,00
M07 -Ip	2,373	4,570	223,105	227,675	28,811	12	229,897 e	17,30

Co - Canal Curutuba(Mato Grosso do Sul); Iv - rio Ivinheima (Mato Grosso do Sul); Ba - rio Baía (Mato Grosso do Sul); Ip - canal Ipuitã (Mato Grosso do Sul)

No canal direito, com profundidade média de 3,117 m e largura 835,792 m no trecho superior e 5,191 e 1170,931 metros no inferior, o talvegue situa-se mais próximo da margem direita na maioria dos trechos, a uma distância que varia de 152 a 756 metros. No canal esquerdo, do lado do Estado do Paraná, mais largo e mais profundo, com largura e profundidade médias de 1163,137 e 5,886 metros no trecho superior e 1171,221 e 4,815 metros no inferior, respectivamente, o talvegue varia de 56 m a 670 metros em relação à margem esquerda.

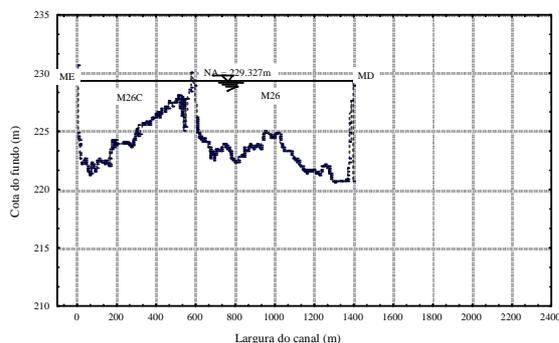


Figura 2. Perfil da seção transversal da M26T, composta pelas seções M26 e M26C, separadas por ilha, no canal esquerdo. Emprego do método informatizado

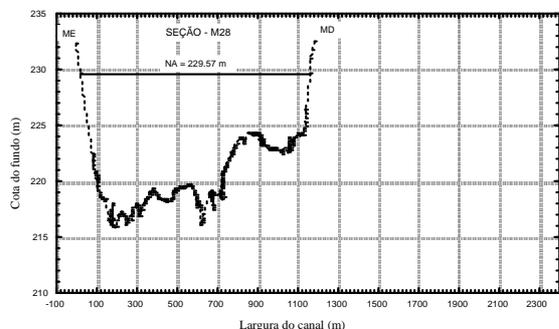


Figura 3. Perfil da seção transversal da M28, Porto São José, entrada no sistema. Trecho de canal de seção única. Aplicação do método não-informatizado

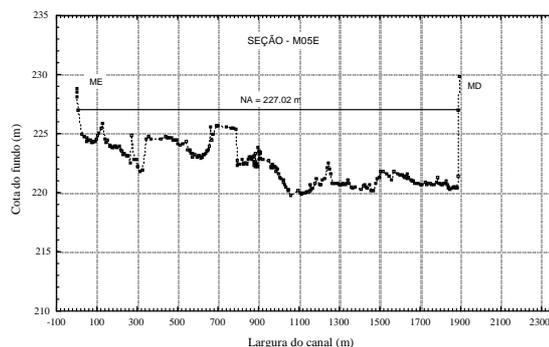


Figura 4. Perfil da seção transversal da M05E, Porto 18, saída do sistema. Trecho de canal de seção única. Aplicação do método não-informatizado na maior parte da seção

Para os rios da planície, a Tabela 4 apresenta apenas uma estimativa do posicionamento para o talvegue, devido às poucas seções. No rio Ivinheima, em relação às seções medidas, o talvegue está mais próximo de sua margem direita, desviando para a margem esquerda a jusante da confluência com o canal Ipuitã.

Declividade de fundo. Pelos perfis longitudinais do leito do rio, Figuras 5 e 6, mostra-se a variação da declividade de fundo utilizando a cota mínima, a profundidade média aritmética, e a profundidade média ponderada da seção, simultaneamente com a declividade da linha d’água. Em relação à cota mínima, 53% dos trechos do canal direito apresentam declividades negativas e 47% positivas (Tabela 5). A maior parte dos trechos do canal esquerdo, 62%, tem declividade negativa e 38% positiva.

O perfil longitudinal representado pela profundidade média aritmética também não se mostrou representativo, enquanto que o da profundidade média ponderada resultou num valor mais ponderado. Isto pode ser verificado pela eliminação da tendência que em alguns trechos das declividades positivas tornaram-se negativas ou vice-

versa. Considerando a diferença de profundidade entre as seções de montante (entrada no sistema) e jusante (saída do sistema), a declividade total é negativa para qualquer método.

Considerando os resultados pelas profundidades média ponderada, 40% dos trechos do canal direito apresentam declividades negativas e 60% positivas, cuja declividade média em toda a extensão é de 3,1 cm/km. No canal esquerdo, 54% dos trechos têm declividade negativa e 46% positivas, resultando numa declividade média de -3,8 cm/km. No canal do Gaúcho, a declividade é negativa em todo o canal, com um valor médio de -11,100 cm/km.

Estudando os sedimentos submersos com ecogramas em trechos não especificados do rio Paraná na região de Porto Rico, Stevaux (1993, citado por Souza Filho e Stevaux, 1997) identificou quatro tipos de depósitos: nas áreas mais rasas, as ondulações com até 30 centímetros de altura, e as megaondulações com até 1,50 m; nas partes mais profundas, as dunas com até 7,5 m e as ondas de areia com até 13 m. Assim, por não se conhecer a geomorfologia do rio com detalhes, os resultados obtidos são apenas uma estimativa, uma vez que os pontos das cotas mínimas podem estar localizados em depressões e/ou elevações devido aos depósitos, que se formam no fundo do rio.

Esta configuração longitudinal resulta numa resistência adicional, além da rugosidade natural, em que o escoamento passa a depender mais da carga hidráulica disponível na seção de montante do sistema do que da declividade de fundo.

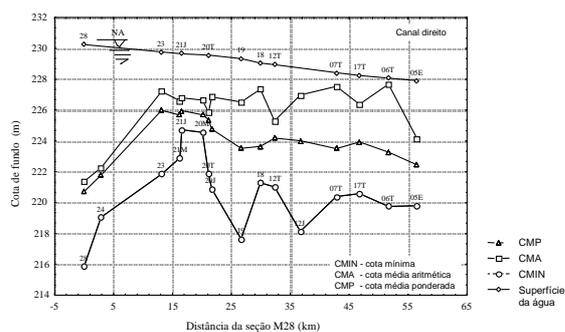


Figura 5. Declividade do fundo e declividade da linha d'água, no canal direito do rio Paraná

Gradiente hidráulico. A Tabela 6 apresenta os resultados da declividade média da linha d'água nos trechos, obtidos das leituras de nível nas seis campanhas realizadas em 1994 e 1995. As Figuras 7 e 8 mostram que o gradiente é bastante variável ao longo do canal, provavelmente devido à influência da forma do leito do canal.

A declividade da linha d'água no canal do Gaúcho apresenta-se com um gradiente positivo, do canal esquerdo para o direito, indicando o desvio de parte do fluxo de um canal para outro, apesar da declividade de fundo negativa.

Verifica-se pelos resultados, que as declividades do canal esquerdo e do direito apresentam valores médios bem diferentes, considerando o período analisado. Para o período de nível mais baixo, em dezembro de 1994 (leitura das réguas - L5), a declividade média nos dois canais tendem a se aproximar.

Comparando as declividades da linha d'água entre os dois canais, através das Figuras 9 a 12, para algumas medidas feitas em 1994 e em março de 1997, verifica-se que no trecho superior, o nível do canal direito esteve sempre acima do nível do canal esquerdo; e, no trecho inferior, ocorre o contrário. Com exceção do dia 09/03/97 (Figura 11), o nível do canal esquerdo inferior esteve acima do nível do canal direito, a partir da seção M03. Uma entrada lateral de vazão, alterando o hidrograma dessa seção, constata esta afirmação.

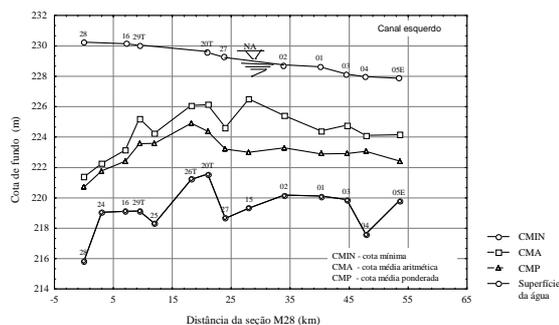


Figura 6. Declividade do fundo e declividade da linha d'água, no canal esquerdo do rio Paraná

Tabela 5. Declividade média total de fundo (pelos três métodos): no canal direito, canal esquerdo e canal do Gaúcho - Rio Paraná

Canal	Declividade pela profundidade cota mínima (cm/km)	Declividade pela profundidade média aritmética (cm/km)	Declividade pela profundidade média ponderada (cm/km)	Declividades médias positivas e negativas - profundidade média ponderada (cm/km)
Canal direito	-15,400	-9,200	3,100	positivas - 60% (+26,600) negativas - 40% (-32,200)
Canal esquerdo	-2,000	-6,100	-3,800	positivas - 46% (+16,600) negativas - 54% (-16,600)
Canal do Gaúcho	-25,600	-36,900	-11,100	
Declividade total	-7,000	-4,900	-3,100	

Tabela 6. Gradiente hidráulico: canal direito, canal esquerdo e canal do Gaúcho - Rio Paraná (Campanhas de leitura de nível -1994/95)

Número total de leituras	Canal direito Trecho	Canal direito Declividade média no trecho (cm/km)	Canal esquerdo Trecho	Canal esquerdo Declividade média no trecho (cm/km)
6	M28/M23	3,77	M28/M16	2,02
6	M23/M21	4,52	M16/M29	5,38
6	M21/M20	1,71	M29/M25	7,25
6	M20/M19	5,04	M25/M20	3,51
6	M19/M18	8,49	M20/M27	13,40
6	M18/M7	4,99	M27/M15	2,04
6	M7/M17	2,63	M15/M 2	5,79
6	M17/M 6	4,63	M2/ M1	6,08
6	M6/ M5	3,44	M1/ M3	7,58
6			M3/ M4	1,76
6			M4/M5	3,42
Declividade média total da linha d'água:		4,36 cm/km	5,29 cm/km	
Declividade média total para o nível mais baixo do rio - L5:		4,25 cm/km	4,74 cm/km	
Canal do Gaúcho				
Número total de leituras	Trecho	Declividade média no trecho (cm/km)		
6	15/14	6,0		
6	14/13	6,3		
6	13/ 7	3,5		
Declividade média total da linha d'água:		5,3 cm/km		
Declividade média total para o nível mais baixo do rio - L5:		4,7 cm/km		

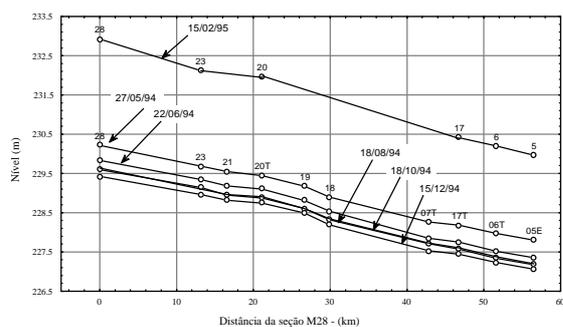


Figura 7. Declividades da linha d'água no canal direito para períodos de cheias e de estiagem - Rio Paraná (zero da régua corrigido pelo nivelamento de 94 - conforme Tabela 1)

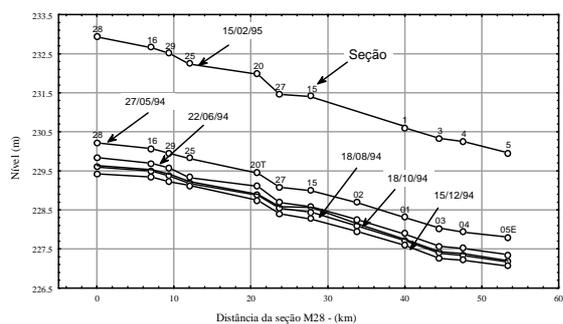


Figura 8. Declividades da linha d'água no canal esquerdo para períodos de cheias e de estiagem - Rio Paraná (zero da régua corrigido pelo nivelamento de 94 - conforme Tabela 1)

Analisando seções adjacentes, como as seções M23 e M25, no trecho superior, o desnível geométrico médio entre os dois canais foi de 10 centímetros, variando entre zero e 17 centímetros.

Nas seções M17T e M03, no trecho inferior, a diferença média foi de 17 centímetros, com variação de 14 a 18 centímetros. Verificou-se também que na altura da confluência de montante do canal do Gaúcho, os níveis dos dois canais quase se igualam, para depois ir aumentando novamente com a distância para jusante.

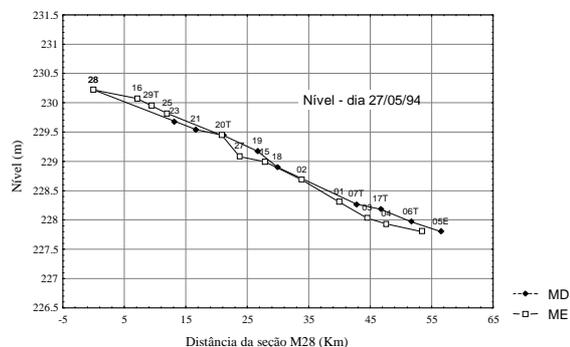


Figura 9. Declividade da água e desnível geométrico entre os dois canais: ME - Margem Esquerda; MD - Margem Direita

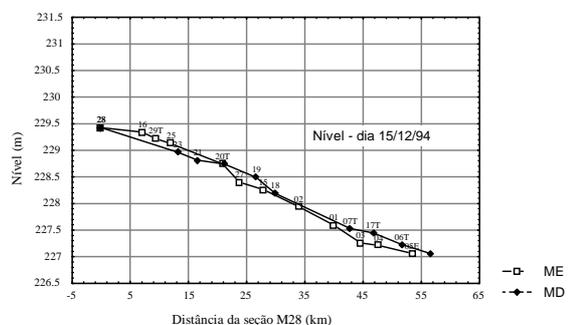


Figura 10. Declividade da água e desnível geométrico entre os dois canais: ME - Margem Esquerda; MD - Margem Direita

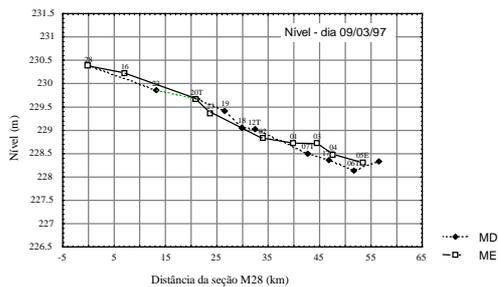


Figura 11. Declividade da água e desnível geométrico entre os dois canais: ME - Margem Esquerda; MD - Margem Direita

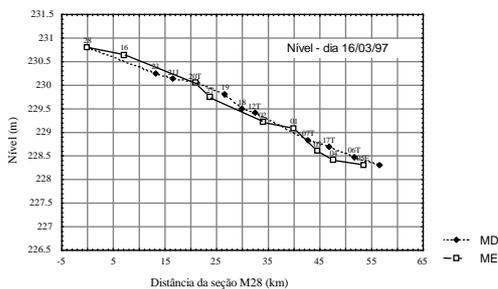


Figura 12. Declividade da água e desnível geométrico entre os dois canais: ME - Margem Esquerda; MD - Margem Direita

A maior dificuldade para a realização destes trabalhos é o de manter as réguas niveladas, devido à população ribeirinha ou pescadores amadores utilizarem-nas para amarrar barcos, ou causar algum tipo de dano. Algumas réguas apresentaram erros de nivelamento e sistemático. Por duas vezes teve-se que corrigir o zero das réguas no rio Paraná, em dezembro de 1994 e durante a campanha de medidas de níveis de 03 a 16 de março de 1997, quando ocorreu uma enchente que inundou a planície, como apresentado na Tabela 1. A maioria delas teve que ser niveladas ou então instaladas novamente.

Para os rios da planície, o desnível entre a seção M22 (rio Baía) e a M10 (rio Ivinheima), que liga os dois rios através do canal Curutuba, apresentou-se com um valor médio de 1,43 m, correspondendo à declividade média de 6,44 cm/km, durante os meses analisados de 1994. Com esse gradiente significativo, constata-se que o escoamento no canal Curutuba é sempre do rio Baía para o Ivinheima, para cheias normais, como foi para o ano de 1994.

No rio Baía, o desnível entre as seções M22 e M21 (foz no rio Paraná), distantes 4500 m, apresentou-se com valor médio de -4,3 centímetros, e quase que constante durante o período estudado de 1994. A declividade média de -0,95 cm/km demonstra uma condição de remanso do rio Paraná para o rio Baía.

O mesmo acontece no canal Ipuitã, no qual o escoamento ocorre do rio Paraná para o Ivinheima. O desnível médio nesse período foi bastante alto, -38,5 centímetros, numa distância de 5500 m entre a foz do canal (no rio Paraná) e o rio Ivinheima, resultando, assim, uma declividade média de -7 cm/km.

No rio Ivinheima, a declividade da superfície da água no trecho livre entre as seções M10 e M09 variou de 1,66 cm/km (período de nível mais baixo) a 3,82 cm/km (nível mais alto), com desnível médio de 18,8 centímetros em 6500 m. Quando chega na confluência com o canal Ipuitã, entre as seções M09 e M08, distantes 1500 m, a declividade permanece praticamente a mesma, sendo pouco influenciada pela entrada das vazões do canal Ipuitã para o Ivinheima.

Parâmetros geométricos do rio. Os parâmetros do rio representados pela área, largura e raio hidráulico em função da profundidade, foram determinados nas seções do canal do rio Paraná em que realizou-se a batimetria.

Esses parâmetros foram calculados por interpolação dos dados obtidos em cada seção e para variação de profundidade de 3 centímetros, como requisitado pelo modelo. A Tabela 7 apresenta os resultados para o nível em que se fez o levantamento, como também para as seções dos rios da planície.

Com os resultados obtidos, algumas conclusões podem ser feitas acerca deste trecho do rio.

O rio Paraná apresenta-se mais largo na confluência dos canais direito e esquerdo (seção M20T) e com a maior relação largura/profundidade. No trecho superior, o canal esquerdo é mais largo e profundo que o direito. No trecho inferior, ambos têm quase a mesma largura e profundidade média.

O canal do rio Paraná apresenta, na maioria das seções, mais de um talvegue. No trecho entre Porto São José e a ilha Mutum, o talvegue está situado mais próximo da margem esquerda. No canal direito, o talvegue situa-se mais próximo da margem direita, na maioria dos trechos, e no canal esquerdo está mais próximo da margem esquerda.

A declividade de fundo médio do canal direito é de 3,1 cm/km, no canal esquerdo é de -3,8 cm/km e no canal do Gaúcho -11,1 cm/km.

O gradiente hidráulico é bastante variável ao longo do canal, e no canal do Gaúcho indica o desvio de parte do fluxo do canal esquerdo para o direito. Os gradientes do canal esquerdo e do direito apresentam declividades médias bem diferentes, porém, para o período de nível mais baixo, a declividade média nos dois canais tendem a aproximar-se.

Tabela 7. Características físicas das seções para o NA do levantamento batimétrico no rio Paraná entre Porto S. José e Porto 18; rio Ivinheima; rio Baia; canal Curutuba e canal Ipitã

Seção	Profundidade média (m)	Área (m ²)	Perímetro molhado (m)	Raio hidráulico (m)	Largura (m)
Canal principal					
M28	8,972	10136,330	1191,466	8,507	1143,145
M24	7,846	8706,271	1125,137	7,738	1118,443
M20T	4,495	10682,220	2821,133	3,786	2788,132
M05	6,670	14641,470	2273,520	6,440	2264,383
M05E	4,672	8611,992	1888,986	4,559	1879,543
Canal direito					
M21M	3,438	2742,607	878,968	3,120	846,190
M21J	2,920	2612,647	886,464	2,947	874,867
M20M	3,187	2594,380	818,986	3,168	817,161
M20J	4,282	4824,049	1222,805	3,945	1211,777
M19	4,666	4538,593	940,605	4,825	933,130
M18	3,888	3733,139	936,786	3,985	934,625
M12T	4,423	4367,085	1090,277	4,005	1082,424
M13T	3,591	5015,274	1280,501	3,917	1269,301
M07T	4,001	5176,583	1326,150	3,903	1320,880
M17T	3,803	5659,962	1478,221	3,829	1467,269
M06C	4,331	5236,969	1370,420	3,821	1341,764
Canal esquerdo					
M16	7,139	6987,402	990,775	7,052	980,332
M29	6,731	6315,308	945,950	6,676	936,933
M23	2,924	2491,643	824,326	3,023	804,951
M25	5,998	6770,731	1326,906	5,103	1315,211
M26T	5,479	7693,439	1445,991	5,321	1401,865
M27	4,721	5178,679	1163,670	4,450	1160,088
M15	4,636	3849,846	814,083	4,729	811,512
M02	4,387	4894,759	1142,510	4,284	1132,784
M01	5,159	6100,723	1299,636	4,694	1289,370
M03	4,693	6141,236	1335,319	4,599	1305,626
M04	5,294	5146,577	1333,713	3,859	1327,945
Canal do Gaúcho					
M15C	3,176	427,319	135,003	3,165	132,528
M14	2,850	438,329	151,153	2,900	149,002
Rio Ivinheima					
M10M	3,628	646,392	183,303	3,526	181,863
M10	4,499	648,377	150,274	4,315	147,133
M09	4,142	802,538	197,662	4,060	195,946
M09J	4,340	769,855	173,588	4,435	168,025
M08	4,108	707,885	165,865	4,268	162,431
Rio Baia					
M22	1,476	78,434	48,271	1,625	47,682
BMCC	1,852	135,239	71,930	1,880	71,273
BJCC	1,574	65,260	39,450	1,654	38,896
M21B	1,549	53,652	34,645	1,549	31,952
Canal Curutuba					
ECC	1,666	51,187	28,702	1,783	27,817
M10C	3,276	114,009	37,995	3,001	35,280
Canal Ipitã					
M09P	1,965	60,749	29,159	2,083	27,297
M07	2,373	79,601	30,883	2,578	28,811

No trecho superior, há um desnível geométrico médio de 10 cm entre os dois canais, enquanto no trecho inferior, a diferença média é de 17 cm. Na altura da confluência de montante do canal do Gaúcho, os níveis dos dois canais quase se igualam e depois aumentam novamente com a distância para jusante.

Para os rios da planície, a relação largura/profundidade é, em média, 30:1. No rio Ivinheima, o talvegue está mais próximo de sua margem direita, desviando para a margem esquerda a jusante da confluência com o canal Ipitã.

Constata-se que o escoamento no canal Curutuba é sempre do rio Baia para o Ivinheima, para cheias normais. No rio Baia, o gradiente hidráulico médio de -0,95 cm/km, demonstra uma condição de remanso do rio Paraná para o rio Baia. O mesmo acontece no canal Ipitã, no qual o escoamento ocorre do rio Paraná para o Ivinheima, com uma declividade média de -7 cm/km. A declividade da linha d'água no Ivinheima é pouco influenciada pela entrada das vazões do canal Ipitã.

Reconhecimento

Este trabalho foi desenvolvido com o apoio do PADCT/CIAMB, e do Curso de Pós-graduação "Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais" - PEA; do Departamento de Geociências da Universidade Federal do Paraná, com o empréstimo dos receptores GPS e pessoal técnico.

Referências bibliográficas

- Couto, N.B. *A utilização do GPS na aquisição de dados hidrológicos*. Maringá, 1995. (Master's Thesis in Environmental Sciences) - Universidade Estadual de Maringá.
- Lessa, R.C.; Martoni, A.M. Levantamento batimétrico no rio Paraná com apoio de distanciômetros eletrônicos. In: CONGRESO NACIONAL DEL AGUA, 16, San Martin de Los Andes. *Anales...* Neuquén, Neuquén, 1996. 8p.
- Lessa, R.C.; Miotto, A.M.; Galerani, C.A.; Merenda, E.A. Posicionamento dinâmico através de distanciômetros eletrônicos. *Rev. Brasil. Rec. Híd.*, 2(1):123-134, 1997.
- Martoni, A.M.; Lessa, R.C. Desempenho dos trabalhos de batimetria utilizando distanciamentos eletrônicos (em andamento).
- Souza Filho, E.E. de; Stevaux, J.C. Geologia e geomorfologia do complexo rio Baia, Curutuba, Ivinheima. In: Vazzoler, A.E.A. de M.; Agostinho, A.A.; Hahn, N.S. (eds). *A Planície de inundação do alto rio Paraná*. Maringá: EDUEM, 1997. p.3-46.
- Tucci, C.E.M. *Hidrodinâmica de rios e canais*. São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica, USP. Escola Politécnica. 202p. 1980. (Comunicação técnica; n.9).
- Unesco. *Discharge of selected rivers of the world, in studies and reports in hydrology*. Paris: Unesco, 1985. v.3, pt. 4.

Received on September 22, 1999.

Accepted on November 18, 1999.