



---

## DESENVOLVIMENTO DE SOLEIRAS E DEPRESSÕES NUM TRECHO RETIFICADO DO RIO TOLEDO NA CIDADE DE TOLEDO (PR)

OSCAR VICENTE QUINONEZ FERNANDEZ

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste)/Campus de Marechal C. Rondon/Colegiado  
do Curso de Geografia - Rua Pernambuco, 1777 – Marechal Cândido Rondon- PR 85960-000 –  
(E-mail: [fernandez@unioeste.br](mailto:fernandez@unioeste.br)).

Palavras-chave: Retificação de canal fluvial; Soleira; Depressão; Rio Toledo.

Eixo Temático: Geomorfologia em áreas urbanas

### INTRODUÇÃO

A modificação de canais fluviais, em particular a retificação, causa um profundo impacto sobre os ecossistemas aquáticos. As obras de canalizações permitem mais eficiência na irrigação e na drenagem de áreas alagadas, aumenta a navegabilidade dos rios e ajuda no controle das enchentes, porém afeta a saúde e a diversidade dos ecossistemas. A canalização envolve o alargamento, retificação, proteção das margens ou a criação de novo canal. Estas alterações afetam as variáveis geométricas e hidráulicas dos canais tais como a declividade, a largura, profundidade e a rugosidade, perturbando o equilíbrio dinâmico dos rios. Este desequilíbrio permite a instabilidade do rio, tanto no trecho canalizado como também a jusante e a montante (Brookes, 1988). Diversos estudos haviam demonstrado que a população de peixes diminuiu consideravelmente nos rios canalizados em comparação com os trechos não canalizados (Jackson, 1989).

O objetivo do trabalho é descrever as características morfológicas, hidráulicas e sedimentológicas de soleiras e depressões desenvolvidas num tramo retificado do rio Toledo, município de Toledo, região oeste do Estado do Paraná. O rio Toledo desemboca no rio São Francisco, que por sua vez deságua no lago de Itaipu (Figura 1).

As ondulações do leito no plano vertical formam áreas rasas e profundas denominadas soleiras e depressões respectivamente (Figura 2). Estas feições se alternam em cursos fluviais caracterizados por gradiente do talvegue inferior a 0,05 m/m e sedimentos de fundo compostos por materiais grossos ( $D_{50} > 2$  mm, Folk [1968]). As soleiras são trechos do talvegue topograficamente elevados, com fluxo convergente,



materiais de fundo formados por sedimentos grossos e gradiente da linha d'água superior ao gradiente médio do trecho. Por sua vez, as depressões são trechos topograficamente rebaixados, com fluxo divergente, material do leito formado por sedimentos finos e gradiente da linha d'água inferior a média do trecho. Estas condições conferem às soleiras maior velocidade do fluxo do que nas depressões.

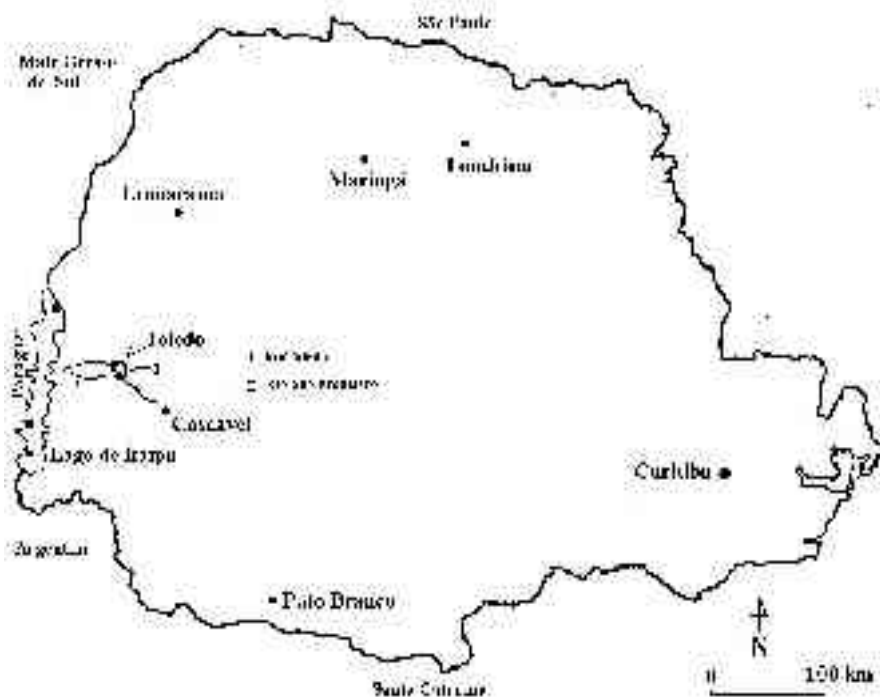


Figura 1: Localização do rio Toledo e da sede urbana do município de Toledo, PR.

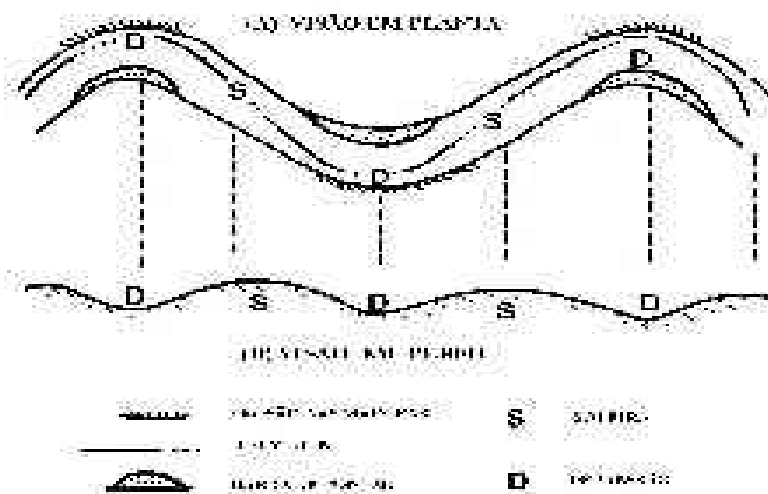




Figura 2: Diagrama idealizado mostrando o meandramento do canal fluvial numa perspectiva planimétrica (A) e ao longo do perfil longitudinal (B) (Modificada de Keller & Melhorn, 1978).

A partir da metade do século XX, inúmeras pesquisas tiveram como alvo o estudo da seqüência de soleiras e depressões. Sear (1996) analisou mais de 100 artigos sobre o assunto e agrupou em seis tópicos: 1) formação, 2) manutenção, 3) definição e caracterização, 4) características hidráulicas, 5) sedimentologia e, 6) processo de transporte de sedimentos nas seqüências de soleiras e depressões.

### RETIFICAÇÃO DO RIO TOLEDO NA VILA PIONEIRA

O rio Toledo apresenta-se encaixado em toda sua extensão. Entretanto, em alguns trechos, a planície aluvial se alarga e o rio adota um percurso sinuoso na faixa de meandro. O trecho do rio Toledo em estudo localiza-se na vila Pioneira, setor sudeste da sede urbana do município de Toledo, onde se encontra um dos trechos meândricos. A largura da planície (120 m) permite que a sinuosidade do rio Toledo atinja o valor de 4,6 (Figura 3). Num projeto de aproveitamento de fundo de vale, a Prefeitura Municipal desapropriou a área da planície em 1994. O canal do rio foi retificado em 19985 e na planície foi implantado o Parque Ecológico dos Pioneiros (Figura 3). Com a retificação, a sinuosidade do rio diminuiu para 1,08.

---

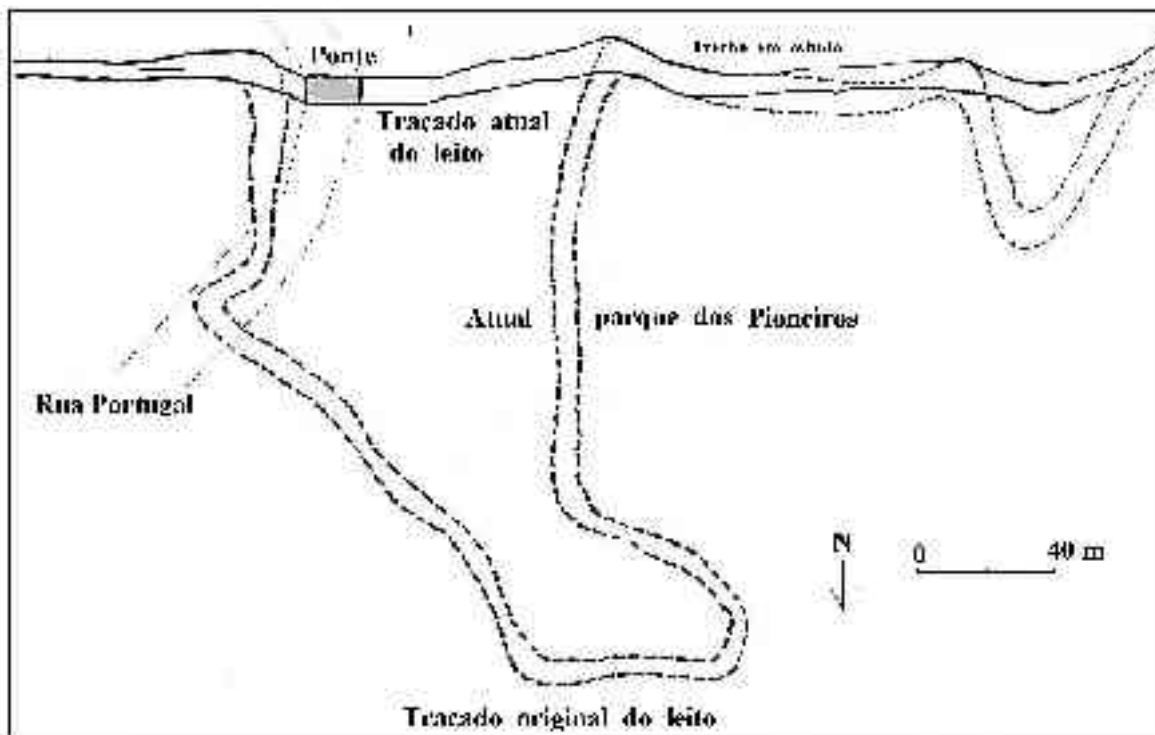


Figura 3: Traçado original e atual (retificado) do rio Toledo em estudo, vila Operária, setor sudeste da cidade.

Logo após a retificação, foi aberta a rua Portugal e construída uma ponte de concreto no extremo superior do tramo retificado. A partir de então, os alicerces da ponte funcionam como nível de base do rio, restringindo a passagem de sedimentos grossos. Esta situação influencia substancialmente a evolução morfológica do canal retificado.

## METODOLOGIA

Inicialmente foi delimitado o trecho retificado do rio, com auxílio de plantas topográficas fornecidas pela Prefeitura. Posteriormente foram identificados no trecho retificado, caminhando ao longo do talvegue, os pontos mais profundos e rasos. Utilizando a técnica de nivelamento geométrico, foi mapeado cada ponto e também o traçado das margens do canal. Paralelamente, foram medidas as cotas da borda da margem, da lâmina d'água e do talvegue em cada ponto. Com estas últimas informações foram confeccionados os perfis longitudinais da borda da margem, do talvegue e do nível d'água. A classificação dos pontos como soleira ou depressão, é realizada posteriormente em gabinete aplicando a técnica de regressão linear (Richards, 1976) no perfil longitudinal do talvegue.

Também foram levantados em cada ponto a largura superficial e a profundidade média do fluxo na seção transversal. A largura superficial ( $W$ ) foi medida com trena. A



profundidade média do fluxo (D) foi obtida calculando a média aritmética dos valores da profundidade obtidos ao longo da seção transversal em intervalos de 0,2 a 1 m.

A vazão foi estimada indiretamente aplicando a equação de *Manning*, numa das seções transversais, onde a seção transversal é simétrica e as linhas de fluxos paralelas.

$$Q = \frac{A.Rh^{2/3}S^{1/2}}{n} \quad (1)$$

Onde A é a área da seção molhada, S é a declividade da lâmina d'água (m/m), Rh é o raio hidráulico (m) e n o coeficiente de *Manning*. A área da seção molhada foi calculada pelo método da quadricula a partir do perfil transversal. A declividade da linha d'água S foi obtida com nível de bolha. O perímetro molhado (P) foi medido no perfil transversal da área molhada confeccionado com auxílio do aplicativo Window Excel a partir dos valores de profundidade mensurados na seção. O raio hidráulico (Rh) é o quociente de A pelo P.

Em cada ponto classificado como soleira ou depressão pela técnica de regressão linear foram estimadas duas variáveis: velocidade do fluxo e número de Froude.

A velocidade do fluxo (V) em cada ponto foi calculada efetuando:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

O Número de Froude (Fr) é uma variável adimensional muito usada para caracterizar o regime de escoamento e foi calculada com se seguinte equação:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g.Dh}} \quad (3)$$

Onde Dh é a profundidade hidráulica. Dh é o quociente da seção molhada pela largura superficial, expressa em metros. O Número de Froude representa a razão entre as forças inerciais e gravitacionais que atuam no escoamento. Quando predominam as forças gravitacionais, o denominador é maior do que o numerador (Fr<1). Neste caso tem-se o regime subcrítico ou fluvial. Quando Fr>1, as forças inerciais são predominantes, constituindo o regime supercrítico ou torrencial. Quando Fr=1 ambas as forças estão em equilíbrio e o regime é denominado crítico.

A análise sedimentológica do material de fundo coletado nas soleiras e depressões foi realizada por dois métodos: peneiramento convencional para as amostras arenosas encontradas nas depressões e análise manual *in situ* para amostras rudáceas coletadas nas soleiras. O último método segue a seguinte seqüência: amostragem aleatória de, pelo



menos, 100 partículas na superfície do depósito (Wolman, 1954) e medição do diâmetro intermediário de cada partícula usando um gabarito metálico denominado cascalhometro (Hey & Thorne, 1983; Yuzyk, 1986). O cascalhometro empregado neste trabalho foi usado anteriormente por Rohenkohl & Fernandez (2003) e consta de uma placa metálica (0,15 cm de espessura) que possui 13 aberturas quadradas: 2; 2,8; 8; 11,3; 16; 22,6; 32; 45,3; 64; 90; 128 e 181 mm de lado (Figura 4). O intervalo em escala phi de uma abertura para outra é de 0,5 phi, iniciando-se em -1 phi (2 mm- limite areia grossa-grânulo) e concluindo em -7,5 phi (181 mm – bloco (calhau)). Com base no número de partículas retido nas aberturas, é realizado o agrupamento dos grãos nas respectivas classes texturais

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

O levantamento de campo foi realizado em 2 de julho de 2003, durante um período de estiagem. O traçado das linhas das margens e a localização dos pontos de medição da cota no leito e da profundidade d'água são mostrados na Figura 5A. Na Figura 5B exibem-se os perfis longitudinais do talvegue e da lâmina d'água.

A classificação dos trechos do leito como soleiras ou depressões foi realizada aplicando a técnica de regressão linear proposta por Richards (1976). A técnica consiste na determinação de uma função linear que relaciona as cotas do leito ao longo de um perfil longitudinal e a distribuição espacial das feições. A técnica foi aplicada no perfil longitudinal do leito mostrado na figura 3B. A reta é representada pela equação:

$$Y = 97,146 - 0,0039.X \quad (4)$$

Onde, Y representa a cota do leito no talvegue (m) e X a distancia (m) a partir do ponto inicial de levantamento (montante). Os trechos de leito localizados abaixo da reta de ajuste são considerados depressões e as porções do leito acima da reta, soleiras.

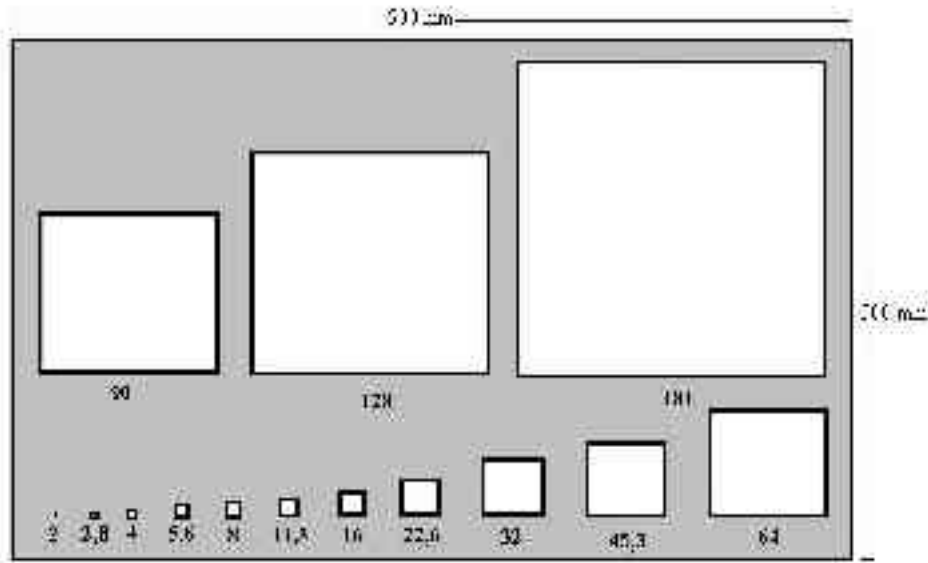


Figura 4: Desenho do cascalhometro usado no trabalho de Rohenkohl & Fernandez (2003)

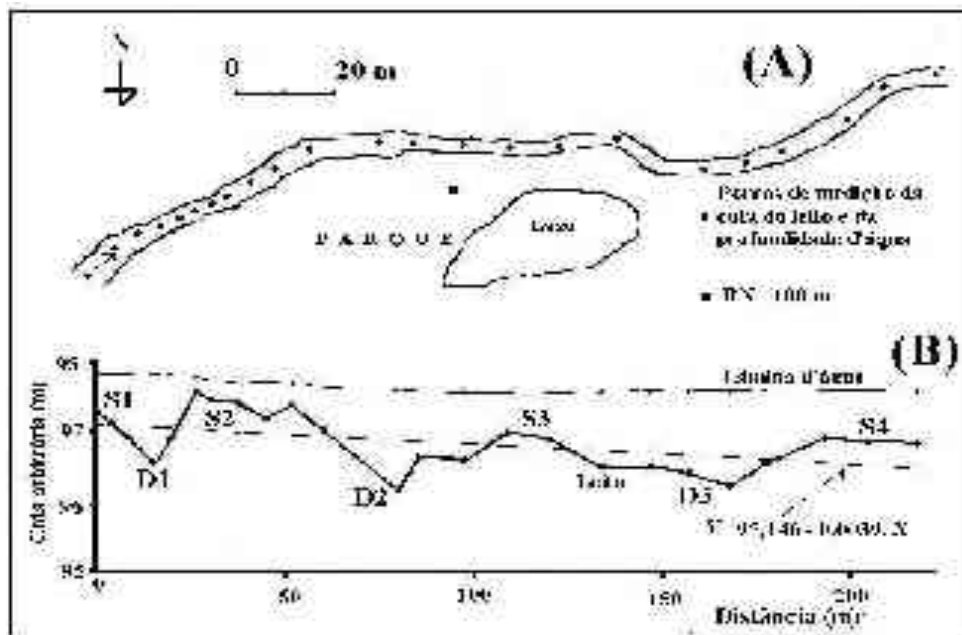


Figura 5: Traçado do rio Toledo no trecho retificado (A) e, perfil longitudinal da lâmina d'água e do leito no mesmo trecho (B). As siglas S e D representam as soleiras e depressões discriminadas pelo método de regressão simples.

A reta de regressão discriminou quatro soleiras e três depressões ao longo de um trecho com 220 m (Figura 5B). Fernandez & Soares (2002) e Fernandez *et al* (2002) adotaram esta técnica para identificar seqüências de soleiras e depressões no córrego Guavirá, localizado no município vizinho de Marechal Cândido Rondon.



=====

A vazão no dia do levantamento, estimada pela equação de *Manning*, foi de 1,38 m<sup>3</sup>/s, para A=2,242 m<sup>2</sup>, Rh = 0,3435 m, S=0,0073 m/m e n=0,068. A vazão foi medida na seção S2, uma soleira localizada num trecho reto e que apresenta pouca variação da profundidade ao longo da seção transversal. Estas características pressupõem uma distribuição uniforme da velocidade do fluxo na seção, condição que garante maior precisão na estimativa da vazão pelo método de *Manning*.

#### Distribuição Espacial e Dimensões Físicas de Soleiras e Depressões no Trecho Retificado.

Os valores das variáveis geométricas, hidráulicas e sedimentológicas medidos nas soleiras e depressões classificadas pela reta de regressão são apresentados na Tabela 1. Os valores médios calculados para cada variável denotam diferenças notórias em termos morfológicos e hidráulicos entre os *habitats*.

Normalmente no Brasil, os projetos de retificação de rios e córregos não prevêem a construção de ondulações na topografia do leito. Estas ondulações têm por finalidade criar ambientes de soleiras e depressões no canal retificado. O projeto de retificação do rio Toledo, executado em 1994, não fugiu a esta realidade e nenhuma ondulação foi construída durante a execução da obra. Entretanto, no levantamento morfológico efetuado em julho de 2003 no tramo retificado do rio Toledo foram mapeadas soleiras e depressões bem desenvolvidas (Figura 5). Esta constatação demonstra que o fluxo teve condições de criar, em pelo menos nove anos, *habitats* de soleiras e depressões bem desenvolvidas. Em ambientes fluviais não alterados a distância entre as feições varia entre 5 e 7 vezes a largura do canal medida em nível de margens plenas (Leopold *et al.*, 1964). No tramo estudado do rio Toledo, as distâncias entre os *habitats* variam entre 7 a 15 vezes. Os *habitats* são bem desenvolvidos, porém a densidade espacial dos mesmos é menor do que nos canais naturais.

Cabe salientar que a metade superior do trecho retificado foi aberta diretamente na planície aluvial e hoje contém as soleiras S1 e S2 e a depressão D1 (Figura 3). À jusante da depressão D2 foi aproveitado parcialmente o trecho original do córrego. A depressão D2 encontra-se atualmente bem desenvolvida porque ocupa parte do leito original, uma curva de meandro onde já existia uma depressão.





Feição	Largura superficial – L (m)	Profundidade hidráulica - P (m)	Relação L/P	Área – A (m <sup>2</sup> )	Velocidade – V (m/s)	Número de Froude – Fr	D <sub>50</sub> (mm)
S1	8,36	0,423	22,59	3,540	0,389	0,190	36,43
D1	5,70	0,867	6,00	4,940	0,279	0,096	2,14
S2	5,52	0,40	13,80	2,242	0,615	0,308	15,93
D2	5,60	0,790	5,83	4,427	0,312	0,112	0,33
S3	3,60	0,619	6,79	2,228	0,619	0,155	3,88
D3	4,00	0,731	4,82	2,926	0,472	0,176	8,00
S4	4,00	0,615	7,27	2,463	0,560	0,228	<b>SA</b>
Valores Médios	S: 5,37 m D: 5,10 m	S: 0,46 m D: 0,92 m	S: 12,61 D: 5,55	S: 2,62 D: 4,10	S: 0,55 D: 0,25	S: 0,22 D: 0,13	S: 18,74 D: 3,49

Tabela 1: Características morfológicas, sedimentológicas e hidráulicas do rio Toledo, no tramo do parque dos Pioneiros, Vila Operária, Toledo, PR. Ob: **SA**=sem amostra.

A figura 6 mostra a variação do número de Froude (Fr) num gráfico que relaciona a velocidade de fluxo e a profundidade hidráulica nas soleiras e depressões no rio Toledo. Nas soleiras são encontrados valores de Fr próximo ou superior a 0,2, enquanto que nas depressões os valores de Fr são inferiores a 0,18 (Tabela 1). A figura 6 também ilustra que as depressões D1 e D2 possuem condições hidráulicas similares, contrariamente a depressão D3, menos evoluída e com características próximas as soleiras.

As diferenças nos valores na mediana (D<sub>50</sub>) nos sedimentos de fundos provenientes das soleiras e depressões também são significativas (Tabela 1). Na soleira S4 não foi possível coletar amostras de sedimentos devido a presença de blocos e matacoes depositados provavelmente durante as obras de retificação objetivando a estabilidade do leito.

## CONCLUSÕES

Os levantamentos morfológicos, hidráulicos e sedimentológicos no rio Toledo vêm mostrar que o fluxo pode criar *habitats* físicos (soleiras, depressões) bem desenvolvidos em canais retificados, após alguns anos de execução da obra. No caso do rio Toledo o tempo transcorrido entre o término da obra e o primeiro monitoramento foi de oito anos. Lamentavelmente não existe nenhum estudo de campo anterior a 2003 que possa ajudar a detalhar as mudanças sofridas pelo canal até atingir o atual estágio evolutivo.

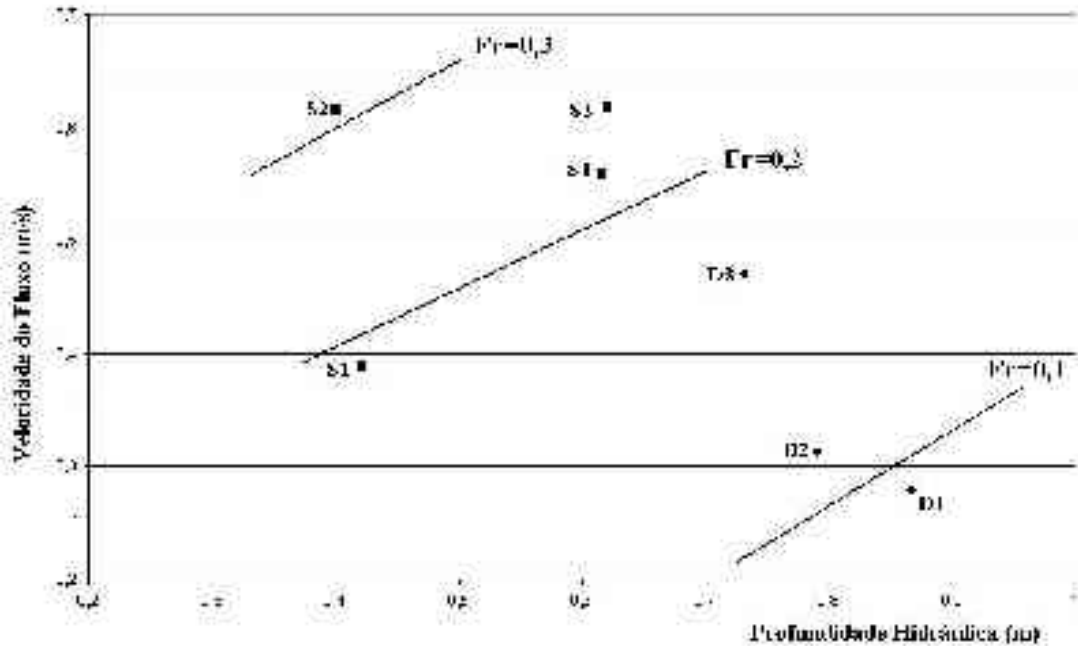


Figura 6: Relação da velocidade do fluxo e a profundidade hidráulica em soleiras e depressões no rio Toledo.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BROOKES, A. (1988) Channelization, River Engineering and Geomorphology. In: *Geomorphology in Environmental Planning* (J.M. Hooke, Ed.) John Wiley & Sons, New York, 274 p.
- FERNANDEZ, O.V.Q & SOARES, R. (2002) Características geométricas, hidráulicas e sedimentológicas de soleiras e depressões no córrego Guavirá, Marechal Cândido Rondon (PR). In: Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 5, 2002, São Paulo. *Anais...* São Paulo, p. 159-167.
- FERNANDEZ, O.V.Q.; SANDER, C. & REBELATTO, G. (2002) Sequência de soleiras e depressões no córrego Guavirá, Marechal Cândido Rondon, região oeste do Paraná. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 3 (1): 49-57.
- FOLK, R.L. (1968) *Petrology of sedimentary rocks*. University of Texas, Hemphills, Austin, Texas, 170 p.
- HEY, R.D. & THORNE, C.R. (1983) Accuracy of surface samples from gravel material. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109 (6): 842-851.
- JACKSON, D. (1989) A glimmer of hope for stream fisheries in Mississippi. *Fisheries*, 14 (3): 4-9.



KELLER, E.A. & MELHORN, W.N. (1978) Rhythmic spacing and origin of pools and riffles. *Geological Society of America Bulletin*, 89: 723-730.

LEOPOLD, L.B.; WOLMAN, M.G. & MILLER, J.P. (1964) *Fluvial processes in Geomorphology*. San Francisco, Ed. Freeman, 522 p.

ROHENKOHL, V. & FERNANDEZ, O.V.Q. (2003) Cascalhometro: uma ferramenta alternativa na determinação do diâmetro de sedimentos rudáceos. Semana de Geografia, 7, Universidade Estadual de Maringá, Maringá (PR). *Anais...cd-rom*.

SEAR, D.A. (1996) Sediment transport processes in pool-riffle sequences. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21: 241-262.

WOLMAN, M.G. (1954) A method of sampling in gravel-bed streams. *Transactions of the American Geophysical Union*, 35: 951-956.

YUZYK, T.R. (1986) Bed material sampling in gravel-bed streams. Environment Canada, Water Resources Branch, Sediment Survey Section.

---