

Magnitude e Frequência das Descargas Dominantes em Rios das Regiões Oeste e Sudoeste do Paraná..

Oscar V.Q. Fernandez
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste)
Campus de Marechal Cândido Rondon – Curso de Geografia
Grupo Multidisciplinar de Estudos Ambientais (Gea)
E-mail: fernandez@unioeste.br

Leandro Neri Bortoluzzi
Acadêmico do curso Geografia - Marechal C. Rondon – E-mail: bortulozzi@hotmail.com

Resumo

O objetivo do trabalho é estimar e comparar as vazões dominantes em nove estações fluviométricas operadas pela Suderhsa (Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) nas regiões oeste e sudoeste do Estado do Paraná. A área da bacia a montante das estações variou de 969 a 12.124 km². Nas estações foram calculadas as cheias com 1,58 anos de retorno. A vazão de margens plenas (Qmp) foi estimada em campo, adotando como referência os depósitos arenosos proeminentes. O tempo de retorno de Qmp variou de 0,60 a 2,59 anos. A comparação entre Qmp e Q_{1,58} mostrou que as diferenças podem variar de 10 a 48 %. As menores diferenças foram encontradas em estações com pouco entalhamento, sugerindo que o valor de Qmp obtido nestes canais teria maior correlação com a vazão Q_{1,58} estimada a partir de métodos estatísticos.

Palavras-chave: descarga dominante; descarga de margens plenas, frequência de cheias.

Abstract

The objective of the work is to calculate and to compare the dominant discharge in nine gauging stations localized in the western and southwest regions of Parana State, Brazil. The area of the basin upstream to stations varied from 969 to 12,124 km². For each station were calculated the flood frequency with 1.58 years of return periods (Q_{1.58}). The bankfull level was measuring in field, adopting as reference the prominent sandy deposits. The return period of bankfull discharge (Qbf) varied from 0.60 to 2.59 years. The comparison between Qbf and Q_{1.58} showed that the differences can vary from 10 to 48 %. The smallest differences were found in stations with low banks, suggesting that the value of Qbf for these channels would have larger correlation with Q_{1.58} obtained from statistical methods.

Key words: dominant discharge, bankfull discharge, flood frequency.

1- Introdução

A geometria dos canais fluviais é resultado do confronto entre as forças oriundas do fluxo das descargas líquida e sólida fornecidas pela bacia hidrográfica e as geradas pela resistência à erosão dos materiais que constituem o leito e as margens. A atuação destas forças opostas gera

complexos processos de formação de canais. Apesar da complexidade dos processos, padrões fluviais podem ser identificados e classificados através de variáveis morfológicas e hidráulicas (LEOPOLD, 1994). A descarga líquida pode ser considerada um dos principais fatores no dimensionamento do canal fluvial. Observações sugerem que as dimensões físicas dos canais são produtos de uma categoria de vazão que é muito efetiva no transporte de sedimentos. Esta vazão teórica é denominada de descarga dominante (“dominant discharge”). Esta descarga se mantida constante ao longo de um período de tempo, produziria as mesmas características morfológicas que são geradas por uma ampla variedade de descargas que ocorre continuamente nos cursos de água. O conceito de descarga dominante, profundamente enraizado na geomorfologia fluvial e na engenharia hidráulica (PICKUP e WARNER, 1976), foi discutido por Benson e Thomas (1966), Inglis (1968), Ackers e Charlton (1970), Pickup e Rieger (1979), Andrews (1980), Carling (1988) entre outros.

Os pesquisadores adotaram vários critérios para representar na prática o conceito da descarga dominante. De acordo com Pickup e Warner (1976), a descarga dominante pode ser materializada por três categorias de descargas: descarga efetiva, descarga com determinado intervalo de recorrência e descarga de margens plenas.

A descarga efetiva é representada pelo fluxo que transporta o maior volume de sedimentos (MARLETTE e WALKER, 1968; PRINS e DE VRIES, 1971; ANDREWS, 1980; NASH, 1994; EMMETT e WOLMAN, 2001; CASTRO e JACKSON, 2001). Pickup e Warner (1976) descrevem a técnica para determinar a descarga efetiva (“the most effective discharge”). As descargas líquidas medidas nos postos fluviométricos devem ser divididas em classes, cuja frequência de ocorrência para um determinado período de tempo deverá ser conhecida. O produto entre a descarga sólida correspondente para cada classe de descarga líquida e a respectiva frequência de ocorrência define o regime de transporte de carga de fundo. A descarga efetiva é definida pelo ponto médio da classe de descarga líquida com maior regime de transporte de sedimento de fundo.

Por outro lado, a descarga dominante ou descargas modeladoras de canal também pode ser estimada a partir da definição de uma vazão com determinada frequência de recorrência. USDA-FISRWG (1998) apresenta um excelente resumo sobre a evolução da definição da descarga dominante. Leopold e Maddock (1953) sugeriram pela primeira vez a adoção da

descarga média anual como equivalente da descarga dominante. Wolman e Leopold (1957) estimaram que a descarga dominante tem recorrência de 1 a 2 anos. Dury et al. (1963), Hickin (1968), Dury (1973, 1976) e Riley (1976) adotaram a vazão de 1,58 anos de recorrência como descarga dominante. Pickup e Warner (1976) descobriram que o período de recorrência da descarga dominante no rio Cumberland (Austrália) pode variar de 4 a 10 anos. Williams (1978) determinou que 75% dos 51 cursos d'água analisados apresentaram vazões dominantes entre 1,03 e 5,0 anos de recorrência. Comparando os resultados de inúmeros trabalhos, Leopold (1994) concluiu que para a maioria dos cientistas, o período de retorno da descarga dominante é de 1,0 a 2,5 anos.

A descarga de margens plenas é definida como a descarga líquida que preenche o canal ao nível da planície de inundação ativa (WOLMAN e LEOPOLD, 1957). Esta planície é definida como uma superfície plana adjacente ao canal fluvial, modelada pela ação erosiva ou deposicional do fluxo das cheias e inundada pelo menos uma vez a cada dois anos. Williams (1978) por sua vez define a descarga de margens plenas como a vazão que preenche o canal até atingir o topo da margem. O nível de margens plenas demarca o limite entre os processos fluviais que modelam o canal e os que constroem a planície de inundação.

Para definir o nível de margens plenas numa seção transversal, é necessária a identificação da atual superfície deposicional. Na maioria dos casos, esta superfície é de difícil detecção. Por esse motivo, foram propostos numerosos critérios para encontrar uma superfície equivalente. Os critérios foram agrupados em três categorias por Williams (1978): critérios baseados na identificação de superfícies deposicionais, em características botânicas ou sedimentológicas e nas características morfológicas do canal. Fernandez (2003) comenta e ilustra os critérios definidos por Williams (1978).

O objetivo do trabalho é estimar e comparar as vazões dominantes em estações fluviométricas operadas pela Suderhsa nas regiões oeste e sudoeste do Estado do Paraná.

2 - Área de estudo

Duas categorias de descarga dominante (cheias com determinado intervalo de recorrência e descarga de margens plenas.) foram estimadas em estações fluviométricas implantadas nas bacias hidrográficas dos rios Piquiri e Iguazu, localizadas nas regiões oeste e sudoeste do Paraná

respectivamente (Figura 1). As estações selecionadas possuem mais de 15 anos de informações contínuas (Tabela 1) e são operadas pela Suderhsa (Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Os dados diários referentes à cota do nível d'água, vazão líquida e levantamento da seção transversal, encontram-se disponíveis no site da Agencia Nacional de Águas (ANA) (<http://hidroweb.ana.gov.br>).

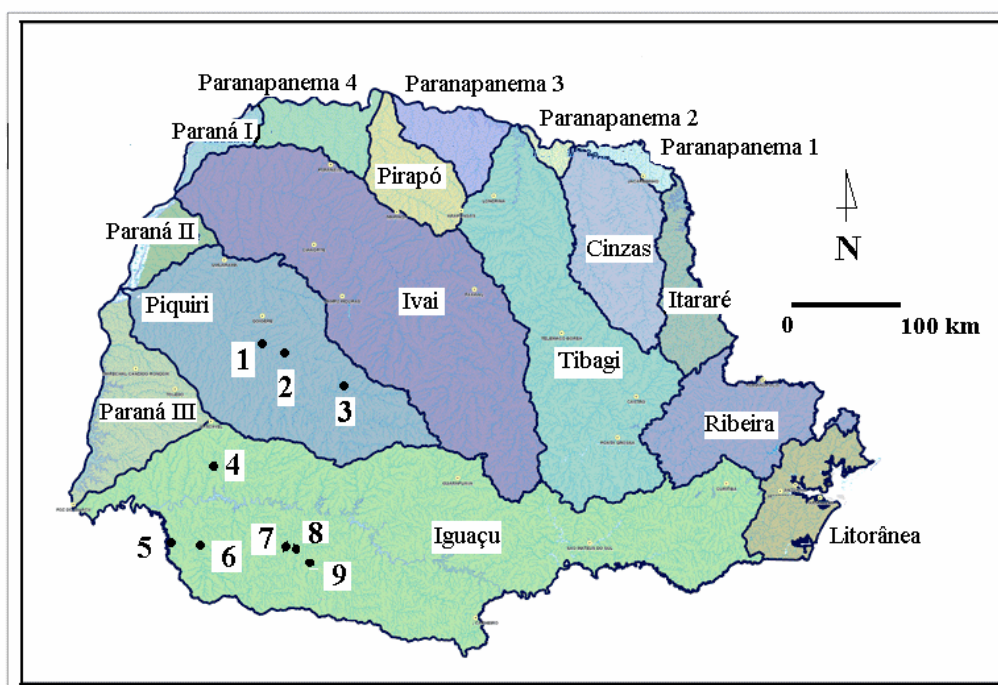


Figura 1: Área de abrangência das bacias hidrográficas no Paraná (Fonte: Suderhsa). Os números indicam a localização das estações fluviométricas estudadas. Bacia do Piquiri: 1 = Porto Novo II; 2=Ponte do Piquiri ; 3=balsa do Cantu. Bacia do Iguaçu: 4= São Sebastião; 5=Muniz, 6= ponte do Capanema; 7= balsa do Santana; 8=Águas do Verê e 9= Porto Palmeirinha.

As áreas drenadas pelas bacias dos rios Iguaçu e Piquiri são constituídas por derrames basálticos de idade mesozóica (NARDY et al., 2002). A área de estudo está inserida no terceiro planalto paranaense, localizada na porção central da bacia sedimentar do Paraná. A origem dos planaltos da bacia do Paraná está relacionada com a evolução da Plataforma Brasileira. A ascensão epirogenética da Plataforma ocorrida no Plioceno e Pleistoceno soergueu rochas paleozóicas e mesozóicas para altitudes superiores a 1.000 m (ALMEIDA, 1966). Esta forte elevação submeteu a área de estudo a um contínuo processo de dissecação. A altitude das estações selecionadas varia de 252 m (estação Muniz) a 501 m (Estação Palmeirinha). A precipitação acumulada anual varia de 1.600 mm (na região oeste) a 1.900 mm

(na região sudoeste) e o clima na classificação de Köppen é do tipo Cfa, subtropical úmido, mesotérmico, verões quentes, geadas menos frequentes e concentração de chuvas nos meses de verão (IAPAR, 1994).

Tabela 1: Dados básicos das estações da Suderhsa escolhidas para o estudo.

Código	Estação	Coordenadas Geográficas	Rio	Período estudado
65955000	Balsa do Santana	25° 54' 54" S e 52° 50' 59" W	Santana	1957-2001
65927000	Porto Palmeirinha	26° 01' 46" S e 52° 37' 42" W	Chopim	1955-2006
65990550	Muniz	25° 44' 83" S e 53° 50' 49" W	Santo Antonio	1986-2004
65981500	Ponte do Capanema	25° 46' 05" S e 53° 36' 42" W	Capanema	1977-2005
65979000	São Sebastião	25° 27' 37" S e 53° 31' 43" W	Andrada	1977-2005
64775000	Balsa do Cantu	24° 44' 55" S e 52° 42' 10" W	Cantu	1968-2005
65966000	Águas do Verê	25° 46' 37" S e 52° 55' 58" W	Chopim	1957-2005
64799500	Novo Porto 2	24° 22' 41" S e 53° 09' 45" W.	Piquiri	1978-2005
64795000	Ponte do Piquiri	24° 33' 31" S e 53° 07' 45" W	Piquiri	1978-2005

3 – Materiais e Métodos

A descarga dominante com determinado intervalo de recorrência foi estimada para cada estação, a partir do banco de dados da ANA. As informações de cota e vazão correspondente para cada cheia (vazão máxima anual) são listadas cronologicamente numa tabela. Para estimar o tempo de recorrência ou tempo de retorno (T) das cheias, as vazões foram organizadas numa seqüência crescente, onde a maior cheia da série de dados ocupa a primeira posição (n=1). O valor de T para cada cheia foi estimado empregando a seguinte equação, desenvolvida pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (DALRYMPLE, 1960).

$$T = \frac{N + 1}{n} \dots\dots\dots(1)$$

Onde N=número de anos com valores de cheia disponível e n=ordem da cheia em apreço na ordem crescente.

Para cada estação fluviométrica, foram obtidas as relações matemáticas entre cheia e cota (e vice versa) e entre cheia e tempo de recorrência (e vice versa). A descarga dominante definida através de método estatístico (intervalo de recorrência) pode ser estimada para diversos intervalos de retorno. Neste trabalho foi adotado o intervalo de 1,58 anos ($Q_{1,58}$) (Dury et al., 1963; Dury, 1973, 1976 e Riley, 1976). Leopold e Wolman (1957) sugerem o intervalo de 1,50 anos. Williams (1978) constatou que somente um terço das 51 estações analisadas, apresentou tempo de retorno da vazão de margens plenas em torno de 1,50 anos. A vazão $Q_{1,58}$ foi calculada para cada estação a partir da equação resultante da relação entre tempo de recorrência (variável independente) e as cheias (variável dependente).

O nível de margens plenas foi obtido a partir de observações em campo, tendo como critério a superfície da planície aluvial ativa identificada nas proximidades de cada estação. Na área de estudo, a maior parte dos rios encontra-se encaixado. Nesta situação, a planície aluvial ativa inexistente ou é pouco desenvolvida. Por essa razão, foi tomado como referência os depósitos arenosos mais expressivos encontrados na superfície da margem (quando estas são baixas) e depósitos de barras laterais (quando as margens são altas e íngremes). A cota da superfície escolhida foi obtida mediante levantamento topográfico convencional, tendo como referências os RN's das estações. Para estimar a vazão correspondente à cota média das barras e o respectivo tempo de recorrência, foram aplicadas as equações obtidas nas relações matemáticas entre cheia e cota.

4 – Resultados e Discussões

A tabela 2 mostra o valor das cheias com 1,58 anos de recorrência ($Q_{1,58}$), a vazão de margens plenas (Q_{mp}) e o respectivo tempo de retorno nas estações selecionadas. As relações entre a área de drenagem à montante das estações (A) e as vazões $Q_{1,58}$ e Q_{mp} são mostradas nas figuras 2 e 3. Tais figuras mostram a forte correlação existente entre as variáveis.

Em média, o tempo de retorno da vazão de margens plenas nas estações estudadas é de 1,63 anos, variando de 0,60 a 2,59 anos. As vazões de margens plenas com respeito a $Q_{1,58}$ variaram de 10 a 48 % com média de 25 %. Nas estações em que $Q_{mp} > Q_{1,58}$, os canais são menos entalhados e os depósitos arenosos mais expressivos, usados como referência, estão localizados na superfície das margens. A diferença entre Q_{mp} e $Q_{1,58}$ varia de 12 a 31 %. Este foi o caso das

estações Barra do Santana, Balsa do Cantu, Águas do Verê, Porto Palmeirinha e São Sebastião. Em outras estações, onde os canais são profundos e os depósitos de diques marginais encontram distribuídos ao longo das margens íngremes, os valores de $Q_{mp} < Q_{1,58}$. A diferença entre Q_{mp} e $Q_{1,58}$ se estende de 21 a 48 %. Estas observações permitem construir a idéia de que a estimativa da Q_{mp} em trechos com margens baixas terão maior correlação com a descarga dominante definida através do método estatístico ($Q_{1,58}$).

Tabela 2: Área da bacia à montante das estações e respectivas vazões dominantes.

Estação	Área (km ²)	Cheia com 1,58 anos de recorrência ($Q_{1,58}$) (m ³ /s)	Vazão de margens plenas (Q_{mp}) (m ³ /s)	Tempo de retorno de Q_{mp} (anos)
Balsa do Santana	1.720	381,70	429,612	2,0
Porto Palmeirinha	3.410	552,91	684,77	2,22
Muniz	969	175,38	90,82	0,91
Ponte do Capanema	1.740	578,78	350,34	0,60
São Sebastião	1.309	323,29	399,712	2,59
Balsa do Cantu	2.513	738,24	813	2,1
Águas do Verê	6.696	1141,3	1498,13	2,26
Novo Porto 2	12.124	3026,53	2395	1,05
Ponte do Piquiri	11.303	2392,5	1867,3	0,98

A equivalência das categorias de descarga que representam a vazão dominante foi discutida por vários autores. Andrew (1980) observou que as vazões efetivas e margens plenas foram semelhantes em 15 estações estudadas na bacia do rio Yampa, em Wyoming e Colorado (EUA). No entanto, outros estudos mostraram que ambas as vazões podem ser significativamente diferente (BENSON e THOMAS, 1966; PICKUP e WARNER, 1976). Outras pesquisas também evidenciaram que a vazão efetiva e a descarga com determinado intervalo de retorno podem variar substancialmente de um curso de água para outro (WILLIAMS, 1978; NASH, 1994). Estes resultados mostram a dificuldade em correlacionar estas vazões, as quais são determinadas pela área e relevo da bacia e, pelo regime hidrológico (ASHMORE e DAY, 1988; CASTRO e JACKSON, 2001).

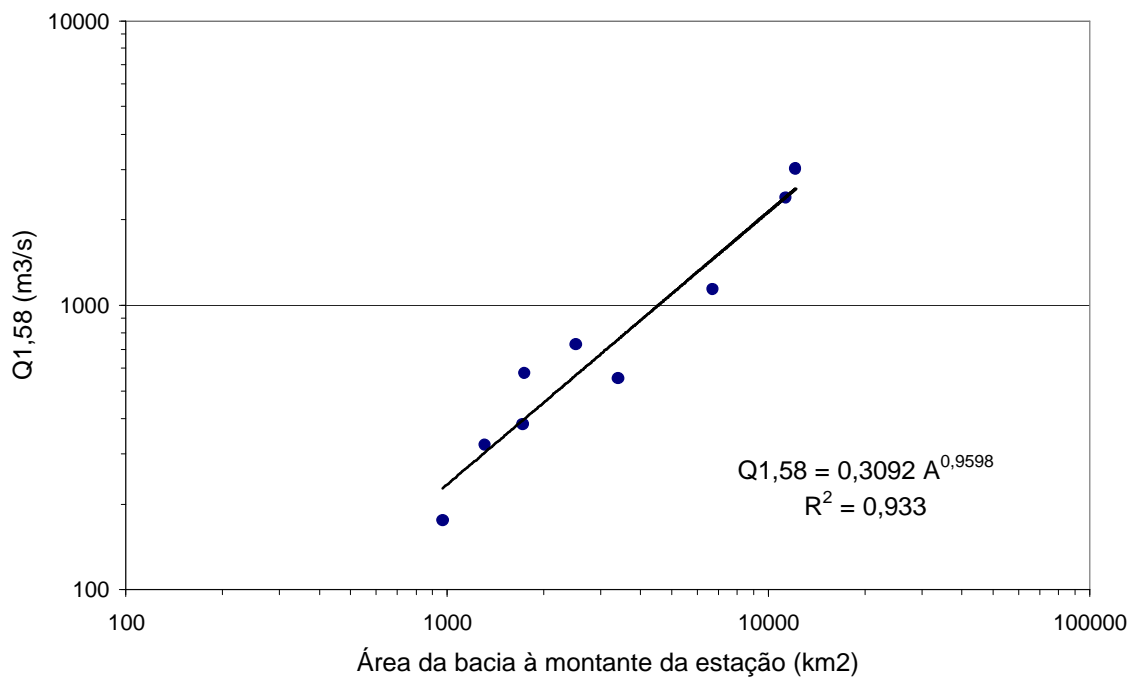


Figura 2: relação entre a área da bacia acima da estação e a vazão com 1,58 anos de recorrência.

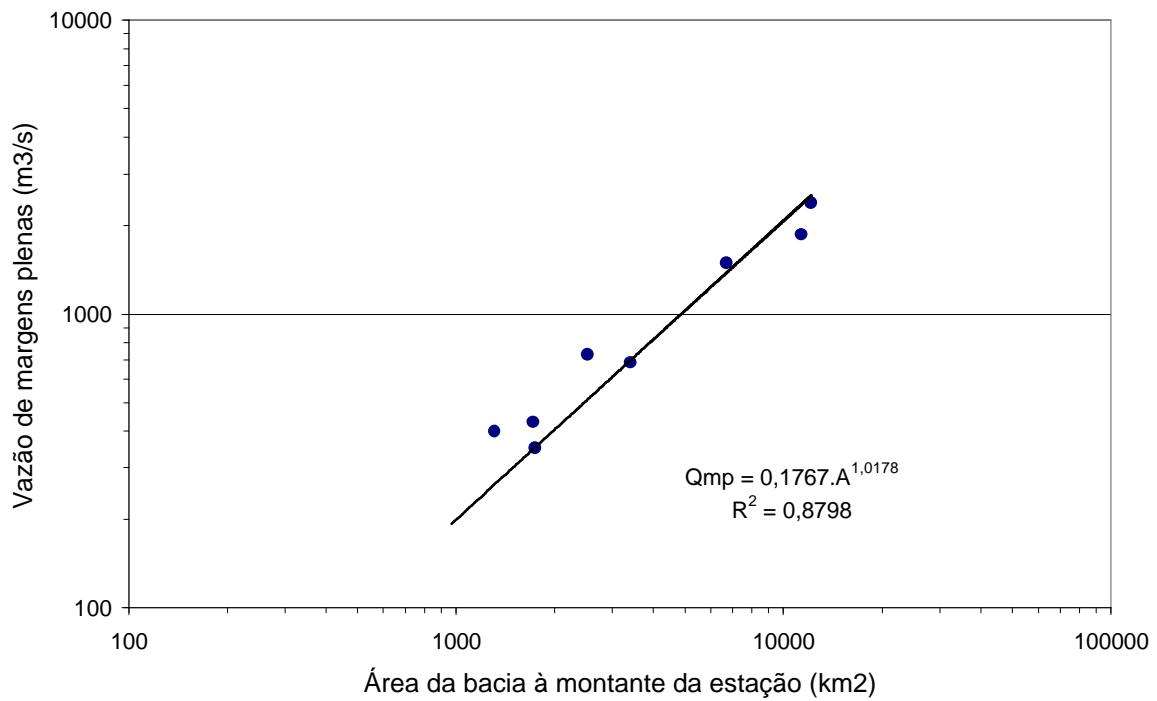


Figura 3: relação entre a área da bacia acima da estação e a vazão de margens plenas.

5 - Considerações Finais

O trabalho visou estudar, numa primeira aproximação, a relação entre a cheia com 1,58 anos de retorno e a descarga de margens plenas cujo nível foi definido em campo, através da identificação de depósitos de carga de fundo encontrados na superfície das margens. As 10 estações fluviométricas selecionadas encontram-se distribuídas nas regiões Oeste e Sudoeste do Paraná. As menores diferenças entre Q_{mp} e $Q_{1,58}$ foram encontradas em canais pouco entalhados, onde o acúmulo de carga de fundo na superfície das margens é significativo em períodos de enchente. Estes depósitos são mais espessos e, por tanto, mais evidentes em margens com superfície plana do que em margens com fases declivosas, onde as enchentes distribuem a carga de fundo em vários níveis.

Em suma, o uso de depósitos arenosos localizados nos diques marginais de canais com pouco entalhamento, se mostrou promissor na demarcação de um nível confiável de margens plenas e pode ser útil como indicadores em rios desprovidos de estações fluviométricas.

6 – Agradecimentos

Os autores agradecem à Agência Nacional de Águas (ANA), à Suderhsa pela disponibilidade dos dados hidrométricos e aos observadores das estações fluviométricas Pedro Paulo dos Santos, Maria Augusta Coelho, Osvaldo da Silva, Adão Valter Parolin, Hugo Selmiro Rodher, Jatir Maronese e Eliezer Marcos Brustolin pelo auxílio nas atividades de campo.

7 - Referências Bibliográficas

- Ackers, P.; Charlton, F.G. (1970) Meander geometry arising from varying flows. *Journal of Hydrology*, 11: 230-252.
- Almeida, F.F.M. de (1966) Origem e evolução da Plataforma Brasileira. *Sedeeo*, 2: 46-89
- Andrews, E.D. (1980) Effective and bankfull discharges of streams in the Yampa River Basin, Colorado and Wyoming. *Journal of Hydrology*, 46: 311-330.
- Ashmore, P.E.; Day, T.J. (1988) Effective discharge for suspended sediment transport in stream of the Saskatchewan river basin. *Water Resources Research*, 24 (6): 864-870.
- Benson, M.A.; Thomas, D.M. (1966) A definition of dominant discharge. *Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology*, 11: 76-80.

- Carling, P. (1988) The concept of dominant discharge applied to two gravel-bed streams in relation to channel stability thresholds. *Earth Surface Processes and Landforms*, 13: 355-367.
- Castro, J.M.; Jackson, P.C. (2001) Bankfull discharge recurrence intervals and regional hydraulic geometry relationships: patterns in the Pacific Northwest, USA. *Journal of the American Water Resources Association*, 37 (5): 1249-1262.
- Dalrymple, T. (1960) *Manual of Hydrology: Part 3. Flood-frequency analyses*. Geological Survey Water-Supply Paper 1543-A, 80 p.
- Dury, G.H. (1973) Magnitude-frequency analysis and channel morphology. In: MORISAWA, M. (Org.) *Fluvial Geomorphology*. Allen and Unwin, 91-121
- Dury, G.H. (1976) Discharge prediction, present and former from channel dimensions. *Journal of Hydrology*, 30: 219-245.
- Dury, G.H.; Hails, J.R.; Robbie, H.B. (1963) Bankfull discharge and magnitude-frequency series. *Australian Journal of Science*, 26: 123-124.
- Emmett, W.W.; Wolman, M.G. (2001) Effective discharge and gravel-bed rivers. *Earth Surface Processes and Landform*, 26: 1369-1380.
- Fernandez, O.V.Q. (2003) Determinação do nível e da descarga de margem plena em cursos fluviais. *Boletim de Geografia, Universidade Estadual de Maringá*, 21 (1): 97-109.
- Hickin, E.J. (1968) Channel morphology bankfull stage and bankfull discharge of streams near Sydney, Australia. *Journal of Science*, 30 (7): 274-275.
- IAPAR - Fundação Instituto Agrônômico do Paraná (1994) *Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná*, Curitiba (PR), 49 p.
- Inglis, C.C. (1968) Discussion of systematic evaluation of river regime. *Proceeding of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Waterways Harbour Division*, 94: 109-114.
- Leopold, L.B. (1994) *A view of the river*. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts.
- Leopold, L.B.; Maddock, T. (1953) The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. *Professional Paper, United States Geological Survey, Washington*, 252: 57 p.
- Leopold, L.B.; Wolman, M.G. (1957) River channel patterns – braided, meandering and straight. *Professional Paper, United States Geological Survey*, 282B.
- Lewis, C.P.; McDonald, B.C. (1973) Rivers of the Yukon north slope. In: *Fluvial Processes and Sedimentation*, pp. 251-271.
- Marlette, R.R.; Walker, R.H. (1968) Dominant discharges at Platte-Missouri confluence. *Proceeding of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Waterways Harbour Division*, 94: 23-32.

- Nardy, A.J.R.; Oliveira, M.A.F.; Betancourt, R.H.S.; Verdugo, D.R.H.; Machado, F.B. (2002) Geologia e estratigrafia da Formação Serra Geral. *Geociências (Unesp, São Paulo)*: 21: 15-32
- Nash, D.B. (1994) Effective sediment-transporting discharge from magnitude-frequency analysis. *Journal of Geology*, 102: 79-95.
- Pickup, G.; Warner, R.F. (1976) Effects of hydrologic regime on magnitude and frequency of dominant discharge. *Journal of Hydrology*, 29: 51-75.
- Pickup, G.; Rieger, W.A. (1979) A conceptual model of the relationship between channel characteristics and discharge. *Earth Surface Processes*, 4: 37-42.
- Prins, A.; De Vries, M. (1971) On dominant discharge concepts for rivers. *Proceedings 14 th Congress International Association Hydraulic Research*, 3: 1-10.
- Riley, S.J. (1976) Aspects of bankfull geometry in a distributary system of eastern Australia. *Hydrological Sciences Journal*, 21: 545-560.
- USDA (United States Department of Agriculture) FISRWG (Federal Interagency Stream Restoration Working Group) (1998) *Stream corridor restoration: principles, processes and practices*. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC.
- Williams, G.P. (1978) Bank-full discharge of rivers. *Water Resources Research*, 14 (6): 1141-1153.
- Wolman, M.G. e Leopold, L.B. (1957) River flood plains: some observation on their formation.. *Professional Paper, United States Geological Survey*, 282, p. 87-109.