

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
AMBIENTAL**

Fernando Grison

**GEOMETRIA HIDRÁULICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS  
PARANAENSES**

Florianópolis

2010



Fernando Grison

**GEOMETRIA HIDRÁULICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS  
PARANAENSES**

Dissertação submetida ao Programa de  
Pós-graduação em Engenharia  
Ambiental da Universidade Federal de  
Santa Catarina para a obtenção do  
Grau de Mestre em Engenharia  
Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Masato  
Kobiyama

Florianópolis

2010

Catálogo na fonte elaborada pela Biblioteca Universitária da  
Universidade Federal de Santa Catarina

G869g Grison, Fernando  
Geometria hidráulica de bacias hidrográficas paranaenses  
[dissertação] / Fernando Grison ; orientador, Masato  
Kobiyama. - Florianópolis, SC, 2010.  
160 p.: il., grafs., tabs., mapas ; + anexos

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-graduação em  
Engenharia Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia ambiental. 2. Bacias hidrográficas -  
Paraná. 3. Geometria hidráulica. 4. Geologia. I. Kobiyama,  
Masato. II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. III.  
Título.

CDU 628.4

Fernando Grison

**GEOMETRIA HIDRÁULICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS  
PARANAENSES**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA).

Florianópolis, 01 de março de 2010.

---

Prof. Flávio Rubens Lapolli, Dr.  
Coordenador do PPGEA

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Masato Kobiyama, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Pérciles Alves Medeiros, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Davide Franco, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Oscar Vicente Quinonez Fernandez, Dr.  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná



## AGRADECIMENTOS

Aproveito esse espaço para dizer que esse trabalho é resultado de uma soma de esforços de varias pessoas e entidades que contribuíram para sua realização. Devido a isso agradeço a todos.

Ao meu orientador Professor Masato Kobiyama pela confiança que me foi dada para realizar esse trabalho, por acreditar na minha competência, pela oportunidade de realizar essa pesquisa sobre a surpreendente teoria da geometria hidráulica fluvial e por sua grande amizade e ensinamentos que me foram passados.

A todos os amigos do LABHIDRO que de uma forma ou outra muito contribuíram para o sucesso desse trabalho, especialmente à Aline, Joana, Pedrinho e Roberto Fabris.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA) da UFSC e à Secretaria do PPGEA por todo o auxílio durante a realização desse trabalho.

Ao professores Péricles, Davide e Oscar pela contribuição na defesa final dessa dissertação.

À Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Estado do Paraná – SUDERHSA que forneceu o banco de dados utilizados nessa pesquisa.

Ao Engenheiro Edson Sakae Nagashima da SUDERSHA pela grande atenção durante o fornecimento do banco de dados.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo auxílio financeiro durante a construção desse trabalho.

Por fim, e não menos importante, agradeço à minha família que sempre me apoiou e acreditou no sucesso da minha carreira acadêmica.

Obrigado a todos.



*"Não é a força do gotejar da água  
que fura a pedra, mas sim a  
persistência incansável desta  
ação."*

Ivan Teorilang



## RESUMO

A teoria da geometria hidráulica visa contribuir com o entendimento das mudanças que ocorrem na forma dos cursos d'água naturais. A fim de contribuir com o gerenciamento dos recursos hídricos do Estado do Paraná o presente trabalho buscou analisar a geometria hidráulica das principais bacias hidrográficas paranaenses. Para isso, a geometria hidráulica foi analisada em determinadas seções transversais e ao longo de vários rios paranaenses. Para a análise da geometria de seção foram utilizados dados de 448 estações fluviométricas. Os expoentes obtidos das relações matemáticas da geometria hidráulica de seção foram agrupados por tipo de formação geológica. Os agrupamentos foram analisados por meio de diagramas triaxiais e assim foram identificadas as principais mudanças nas formas das seções localizadas em determinadas formações geológicas. A principal característica identificada dessa análise foi a alta estabilidade das margens dos canais. Além disso, observou-se que as seções transversais possuem forma retangular ou parabólica, na maioria dos rios ocorrem escoamentos supercríticos e a declividade dos canais aumenta mais rapidamente que a rugosidade. Para a análise da geometria ao longo dos rios foi determinada uma vazão com período de retorno de 1,58 anos. Essa vazão teve alta correlação com a área de drenagem das bacias. As relações dessa análise para os rios Piquiri e Ribeira mostraram que ao longo do canal a velocidade do fluxo diminui. No Rio das Cinzas observou-se que as mudanças no canal ocorrem praticamente pelo ajuste da profundidade e da largura ao longo do rio, pois, a velocidade é praticamente insensível à mudança de vazão. No Rio Iguaçu o trecho mais a montante e o trecho médio mostraram que a largura se modifica mais do que a profundidade e a velocidade. No trecho mais baixo do Rio Iguaçu a profundidade aumenta significativamente. Também foi encontrada alta correlação das áreas das seções transversais dos rios estudados com suas respectivas áreas de drenagem.

**Palavras-chave:** Geometria Hidráulica; Bacias Paranaenses; Geologia; Ajuste de Canal; Vazão Dominante.



## ABSTRACT

The theory of hydraulic geometry aims to contribute to the understanding of the changes that occur in the form of natural streams. To contribute to the water resources management in the Paraná State, the present study examined the hydraulic geometry of the Paraná's main watersheds. Then, the hydraulic geometry was analyzed at gauge stations and along downstreams of several rivers. For the station analysis, data from 448 gauged stations were used. The exponents obtained from the mathematical relations of at-a-station hydraulic geometry have been grouped with geological formation types. These groups were analyzed by means of tri-axial diagrams. Then, some changes in the section forms located in certain geological formations were identified. The main feature of this analysis was the identification of the high stability of the canal banks. The cross sections have rectangular or parabolic. In most of all the rivers supercritical flow occurs. The slope of the channel beds increases faster than their roughness. For the downstream hydraulic geometry, the discharge with the return period of 1.58 years was determined. This discharge was highly correlated with the drainage area. The relationships of the downstream hydraulic geometry of the Ribeira and Piquiri Rivers show that along the river the mean velocity decreases. For the Cinzas River, it was observed that the channel changes occur almost by adjusting the depth and width along the river, because the velocity is almost insensitive to discharge change. In the upper and middle parts of the Iguaçu River, the width changes more than the depth and velocity. In the lower part, the depth increases significantly. A high correlation of the cross section areas of the studied rivers with their respective drainage areas was found.

**Keywords:** Hydraulic Geometry; Paraná's Watersheds; Geology; Channel Adjustment; Dominant Discharge.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1 – Planícies de inundação de uma determinada seção transversal de um rio (adaptada de FISRWG, 1998). ..... 31
- Figura 3.2 – Características geométricas de uma seção transversal.  $w$  = largura de topo; ( $d$  = profundidade;  $d_m$  = profundidade média;  $abca$  = área molhada na figura)..... 32
- Figura 3.3 – Classificação de tipos de canais fluviais. A, B, C, D, DA, E, F e G representam respectivamente canais retilíneo, sinuoso, meandrado, trançado, anastomosado (ramificado), altamente meandrado, sinuoso e meandrado respectivamente.  $w/d$    a rela o entre largura e profundidade, também chamada de fator de forma e N/A   a abrevia o para “Não Aplicável”. (adaptada de Rosgen, 1994). ..... 34
- Figura 3.4 – Ciclo de ajustamento de um canal fluvial (adaptado de Richard, 2001). ..... 35
- Figura 3.5 – Compara o de vazões em uma determinada seção transversal e em dire o   jusante de um rio (adaptada de Leopoldo & Maddock, 1953). ..... 36
- Figura 3.6 – Variáveis da geometria hidráulica. (a) Variáveis em um perfil transversal; (b) Variáveis em um perfil transversal e longitudinal (adaptada de FISRWG, 1998)..... 40
- Figura 3.7 – Sistema fluvial dividido em três diferentes zonas (adaptada de FISRWG, 1998)..... 41
- Figura 3.8 – Diagrama triaxial com suas subdivisões e tipos de canais (1 a 10) (adaptado de Rhodes, 1977) ..... 44
- Figura 4.1 – Localiza o das bacias de estudo no Estado do Paraná ..... 63
- Figura 4.2 – Mapa altimétrico das bacias de estudo (Fonte: CPRM).... 65
- Figura 4.3 – Localiza o das esta es fluviométricas utilizadas para o estudo de geometria hidráulica ..... 72
- Figura 4.4 – Mapa geológico das bacias de estudo (Fonte: CPRM) ..... 74

Figura 4.5 – Formações geológicas consideradas nas bacias de estudo (Fonte: CPRM).....	75
Figura 4.6 – Esquema de análise do efeito geológico na geometria hidráulica das estações fluviométricas .....	77
Figura 4.7 – Esquema de análise da geometria hidráulica em direção à jusante do rio.....	79
Figura 5.1 – Geometria hidráulica de algumas estações das bacias de estudo. (a) 64362000-Cinzas; (b) 64380000-Cinzas; (c) 64230500-Itararé; (d) 64245000-Itararé; (e) 64660500-Ivaí; (f) 64682000-Ivaí; (g); 82002000-Litorânea; (h) 82170000-Litorânea; (i) 64799500-Piquiri; (j) 64771500-Piquiri; (k) 64546900-Pirapó; (l) 64547000-Pirapó; (m) 81080000-Ribeira; (n) 81335000-Ribeira; (o) 64465000-Tibagi; (p) 64502000-Tibagi; (q) 65025000-Iguaçu; (r) 65365800-Iguaçu.....	82
Figura 5.2 – Histograma de frequência do expoente $b$ .....	91
Figura 5.3 – Histograma de frequência do expoente $f$ .....	92
Figura 5.4 – Histograma de frequência do expoente $m$ .....	92
Figura 5.5 – Gráficos triaxiais resultantes do agrupamento dos expoentes $b$ , $f$ e $m$ por formação geológica. (a) Atuba Unidade de Gnaisses Nebulíticos; (b) Atuba Unidade Gnáissica; (c) Campo Mourão; (d) Capiuru Unidade Metapelítica; (e) Castro Associação Sedimentar Inferior; (f) Caxias; (g) Complexo Granulítico SC - Unidade de Rochas Orto e Paraderivadas; (h) Depósitos Colúvio-Aluvionares; (i) Depósitos Aluvionares; (j) Furnas; (k) Goio Ere; (l) Granito Arrieiros; (m) Granito Palermo; (n) Granito Santa Rita - Complexo Cunhaporanga; (o) Itararé; (p) Ponta Grossa; (q) Quartzo Monzonito São Sebastião - Complexo Três Córregos; (r) Rio do Rasto; (s) Serra Alta; (t) Serra Geral; (u) Suíte Granítica Rio Pien Granitoides; (v) Teresina; (x) Média total.....	94
Figura 5.6 – Diagramas triaxiais das classes ígnea (a), metamórfica (b) e sedimentar (c).....	109

Figura 5.7 – Variação da largura ( $w$ ), profundidade ( $d$ ) e velocidade ( $v$ ) com o aumento da vazão para um período de retorno de 1,58 anos em 3 seções ao longo do Rio das Cinzas.....	113
Figura 5.8 – Perfil longitudinal do Rio das Cinzas .....	114
Figura 5.9 – Variação da largura ( $w$ ), profundidade ( $d$ ) e velocidade ( $v$ ) com o aumento da vazão para um período de retorno de 1,58 anos em 7 seções ao longo do Rio Ivaí.....	115
Figura 5.10 – Perfil longitudinal do Rio Ivaí .....	117
Figura 5.11 – Variação da largura ( $w$ ), profundidade ( $d$ ) e velocidade ( $v$ ) com o aumento da vazão para um período de retorno de 1,58 anos em 8 seções ao longo do Rio Piquiri .....	118
Figura 5.12 – Perfil longitudinal do Rio Piquiri.....	120
Figura 5.13 – Variação da largura ( $w$ ), profundidade ( $d$ ) e velocidade ( $v$ ) com o aumento da vazão para um período de retorno de 1,58 anos em 3 seções ao longo do Rio Ribeira .....	121
Figura 5.14 – Perfil longitudinal do Rio Ribeira .....	122
Figura 5.15 – Variação da largura ( $w$ ), profundidade ( $d$ ) e velocidade ( $v$ ) com o aumento da vazão para um período de retorno de 1,58 anos em 3 seções ao longo do Rio Tibagi .....	123
Figura 5.16 – Perfil longitudinal do Rio Tibagi .....	126
Figura 5.17 – Variação da largura ( $w$ ), profundidade ( $d$ ) e velocidade ( $v$ ) com o aumento da vazão para um período de retorno de 1,58 anos em 3 seções ao longo do Rio Iguaçú .....	127
Figura 5.18 – Perfil longitudinal do Rio Iguaçú.....	131
Figura 5.19 – Relações da área de drenagem com as vazões com período de retorno de 1,58 anos e com as áreas das seções transversais dos rios. (a) e (b) Rio das Cinzas; (c) e (d) Rio Ivaí; (e) e (f) Rio Piquiri; (g) e (h) Rio Ribeira; (i) e (j) Rio Tibagi; (k) e (l) Rio Iguaçú.....	134



## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Resumo do diagrama de Rhodes (1977).....	47
Tabela 3.2 – Valores dos expoentes de alguns trabalhos encontrados na literatura sobre geometria hidráulica em uma determinada seção transversal.....	52
Tabela 3.3 – Valores dos expoentes de alguns trabalhos encontrados na literatura sobre geometria hidráulica em direção jusante ...	53
Tabela 3.4 – Equações do modelo de Mosley (1981).....	58
Tabela 4.1 – Caracterização das bacias de estudo.....	70
Tabela 4.2 – Formações geológicas selecionadas para análise de geometria hidráulica .....	76
Tabela 5.1 – Valores estatísticos dos expoentes das relações da geometria hidráulica de seção .....	91
Tabela 5.2 – Resultados dos diagramas triaxiais por tipo de formação geológica. “Nº est” é o número de estações analisadas em cada formação; $w$ é a largura; $d$ é a profundidade; $v$ é a velocidade; $F$ é o numero de Froude; $A$ é a área; $s$ é a declividade e $n$ o coeficiente de rugosidade .....	106
Tabela 5.3 – Porcentagens das classes geológicas por tipo de canal...	110
Tabela 5.4 – Resultados da análise de frequência de vazão. $N$ é o número de anos considerados para cada série histórica de dados, $Q_{1,58}$ é a vazão para o período de retorno de 1,58 anos em $m^3/s$ e $AD$ é a área de drenagem em $km^2$ .....	111
Tabela 5.5 – Valores das variáveis hidráulicas para o Rio das Cinzas. $C_{1,58}$ é a cota correspondente à vazão com período de retorno de 1,58 anos; $A$ é a área da seção transversal; $w$ é a largura; $d$ é a profundidade e $v$ a velocidade.....	114
Tabela 5.6 – Valores das variáveis hidráulicas para o Rio Ivaí. $C_{1,58}$ é a cota correspondente à vazão com período de retorno de 1,58 anos; $A$ é a área da seção transversal; $w$ é a largura; $d$ é a profundidade e $v$ a velocidade .....	116

Tabela 5.7 – Valores das variáveis hidráulicas para o Rio Piquiri. $C_{1,58}$ é a cota correspondente à vazão com período de retorno de 1,58 anos; $A$ é a área da seção transversal; $w$ é a largura; $d$ é a profundidade e $v$ a velocidade .....	119
Tabela 5.8 – Valores das variáveis hidráulicas para o Rio Ribeira. $C_{1,58}$ é a cota correspondente à vazão com período de retorno de 1,58 anos; $A$ é a área da seção transversal; $w$ é a largura; $d$ é a profundidade e $v$ a velocidade .....	122
Tabela 5.9 – Valores das variáveis hidráulicas para o Rio Tibagi. $C_{1,58}$ é a cota correspondente à vazão com período de retorno de 1,58 anos; $A$ é a área da seção transversal; $w$ é a largura; $d$ é a profundidade e $v$ a velocidade .....	125
Tabela 5.10 – Valores das variáveis hidráulicas para o Rio Iguaçu. $C_{1,58}$ é a cota correspondente à vazão com período de retorno de 1,58 anos; $A$ é a área da seção transversal; $w$ é a largura; $d$ é a profundidade e $v$ a velocidade .....	129
Tabela 5.11 – Resultados da geometria hidráulica de jusante.....	132
Tabela 5.12 – Resultados da geometria hidráulica de jusante com área de drenagem.....	133

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Descrição</b>
$A$	Área da seção transversal
$a$	Coefficiente da relação da geometria hidráulica para largura
$A_{bf}$	Área da seção transversal com margens plenas
$A_D$	Área de drenagem
$b$	Expoente da geometria hidráulica para largura
$C$	Coefficiente de rugosidade de Chezy
$c$	Coefficiente da geometria hidráulica para profundidade
$C_{1,58}$	Cota correspondente a vazão com período de retorno de 1,58 anos
$d$	Profundidade
$D_{bf}$	Profundidade com margens plenas
$d_m$	Profundidade média
$f$	Expoente da geometria hidráulica para profundidade
$F$	Número de Froude
$f_y$	Fator de atrito de Darcy-Weisbach
$g$	Aceleração da gravidade
$i$	Numero da ordem de uma vazão máxima
$j$	Expoente da geometria hidráulica para a carga sedimentar
$k$	Coefficiente da geometria hidráulica para velocidade
$L$	Carga sedimentar
$m$	Expoente da geometria hidráulica para velocidade
$N$	Numero de anos considerados na análise de tempo de retorno
$n$	Coefficiente de rugosidade de Manning
$p$	Coefficiente da geometria hidráulica para a carga sedimentar
$P_w$	Potência unitária do escoamento
$Q$	Vazão
$Q_{1,58}$	Vazão para o período de retorno de 1,58 anos
$Q_{bf}$	Vazão em nível de margens plenas
$r$	Coefficiente da geometria hidráulica para a declividade superficial da água
$s$	Declividade
$SP$	Potência do escoamento
$T$	Tempo de retorno

---

$v$	Velocidade
$z$	Expoente da geometria hidráulica para a declividade superficial da água
$w$	Largura
$w/d$	Fator de forma
$W_{bf}$	Largura com margens plenas
$\alpha_1$	Coefficiente da relação da geometria hidráulica regional para vazão com margens plenas
$\alpha_2$	Expoente da relação da geometria hidráulica regional para vazão com margens plenas
$\alpha_3$	Coefficiente da relação da geometria hidráulica regional para largura com margens plenas
$\alpha_4$	Expoente da relação da geometria hidráulica regional para largura com margens plenas
$\alpha_5$	Coefficiente da relação da geometria hidráulica regional para profundidade com margens plenas
$\alpha_6$	Expoente da relação da geometria hidráulica regional profundidade com margens plenas
$\alpha_7$	Coefficiente da relação da geometria hidráulica regional para área com margens plenas
$\alpha_8$	Expoente da relação da geometria hidráulica regional área com margens plenas
$\gamma$	Peso específico da água

---

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>i</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	<b>xv</b>
<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	<b>25</b>
<b>2.OBJETIVOS</b> .....	<b>29</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	29
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	29
<b>3.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>31</b>
3.1 A PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO E O NÍVEL DE MARGENS PLENAS DO RIO .....	31
3.2 FORMA DE UM CANAL FLUVIAL E ELEMENTOS DE UMA SEÇÃO TRANSVERSAL .....	32
3.3 FREQUÊNCIA DE UMA VAZÃO .....	36
3.3.1 Frequência de uma vazão com margens plenas.....	37
3.3.2 Vazão dominante.....	37
3.3.3 Relação de vazão dominante e área de drenagem .....	38
3.3.4 Vazão média anual.....	39
3.4 A GEOMETRIA HIDRÁULICA .....	39
3.4.1 Conceitos básicos sobre geometria hidráulica .....	39
3.4.2 O sistema fluvial .....	40
3.4.3 A geometria hidráulica em uma seção transversal.....	42
3.4.4 A geometria hidráulica na direção de jusante .....	43
3.4.5 Análise de geometria hidráulica .....	44
3.4.6 Geometria hidráulica de seção e em direção à jusante .....	47
3.4.7 Variabilidade dos expoentes nas relações da geometria hidráulica .....	51
3.4.8 Geometria hidráulica relacionada a sedimentos .....	54
3.4.9 Vazão dominante na geometria hidráulica .....	55
3.4.10 Modelagem na geometria hidráulica .....	56
3.4.11 Aplicações e usos da geometria hidráulica.....	59
3.4.12 Estudo de geometria hidráulica no Brasil.....	60

<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>63</b>
4.1 ÁREA DE ESTUDO .....	63
4.1.1 Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu .....	66
4.1.2 Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí .....	66
4.1.3 Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi.....	67
4.1.4 Bacia Hidrográfica do Rio Piquiri .....	67
4.1.5 Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira .....	68
4.1.6 Bacia Hidrográfica do Rio das Cinzas.....	68
4.1.7 Bacia Hidrográfica do Rio Itararé.....	69
4.1.8 Bacia Hidrográfica Litorânea .....	69
4.1.9 Bacia Hidrográfica do Rio Pirapó.....	70
4.2 BANCO DE DADOS FLUVIOMÉTRICOS .....	71
4.3 GEOLOGIA .....	73
4.4 GEOMETRIA HIDRÁULICA.....	77
4.4.1 Em uma determinada seção transversal.....	77
4.4.2 Efeito geológico na geometria hidráulica de seção .....	77
4.4.3 Em direção à jusante.....	78
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>81</b>
5.1 ANÁLISE DA GEOMETRIA HIDRÁULICA DE SEÇÃO TRANSVERSAL .....	81
5.2 ANÁLISE GEOLÓGICA.....	93
5.3 ANÁLISE DA GEOMETRIA HIDRÁULICA NA DIREÇÃO DE JUSANTE .....	110
<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>137</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>139</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>151</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Dunne & Leopold (1978), uma definição comum para qualquer bacia hidrográfica pode ser: “Uma bacia hidrográfica é uma área de terreno que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, em algum momento ao longo de um curso d’água”.

O entendimento dos processos hidrológicos que ocorrem em uma bacia hidrográfica é útil para o desenvolvimento da sociedade. É com base neste entendimento que, por exemplo, se pode quantificar e analisar riscos ambientais, instalar empreendimentos, estações de captação e tratamento de água e promover o uso adequado dos recursos disponíveis da bacia. Aliado ao conhecimento geológico, geomorfológico, hidráulico e climático esse entendimento contribui com o desenvolvimento de políticas governamentais e consequentemente com o planejamento urbano e rural.

Os processos de drenagem de uma bacia hidrográfica são altamente influenciados por sua forma. A forma de uma bacia hidrográfica é determinada por vários fatores como regime climático e hidrológico, formações geológicas e morfológicas, solos, vegetação, entre outros. Consequentemente a proporção de águas superficiais para subterrâneas de um curso d’água varia com o clima, tipo de solo e de rocha, declividade, cobertura vegetal, entre outros. Segundo Leopold & Maddock (1953), a vazão sólida e líquida de uma bacia são mecanismos da hidrologia, geologia e fisionomia da bacia de drenagem. A interação entre esses mecanismos pode promover o equilíbrio dos processos naturais que ocorrem na bacia.

A forma de uma seção transversal de qualquer rio, basicamente descrita por sua largura e profundidade, é função do fluxo d’água e da quantidade e característica do material sedimentar de suas margens e leito. Além disso, essa forma também é influenciada pela zona ripária que é importante para a estabilização das margens dos cursos d’água naturais (Kobiyama, 2003). A forma da seção transversal do rio determina a distribuição de velocidade do fluxo e das forças de cisalhamento.

O entendimento sobre a variação da forma de um curso d’água pode ser útil em vários aspectos que contribuem com o gerenciamento dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica. Por exemplo, é interessante que a retirada de água para abastecimento público seja feita em locais de estabilidade do canal do rio. Canais com margens e leito instáveis podem prejudicar a qualidade da água por aumento da taxa de sedimentos em suspensão o que aumenta os custos de tratamento dessa

água. Outros exemplos podem ser os projetos de renaturalização e revitalização de cursos d'água e os projetos de construção de barragens que exigem conhecimento sobre as variações da forma do canal do rio.

Uma das ferramentas que visam contribuir para o entendimento das mudanças que ocorrem na forma dos cursos d'água é a teoria da geometria hidráulica de canais naturais. Essa teoria foi introduzida por Leopoldo & Maddock (1953). Eles a definiram como uma medida quantitativa da largura, profundidade, velocidade e carga sedimentar de um curso d'água natural que descreve a maneira em que as propriedades do canal fluvial mudam com o fluxo d'água (Gordon *et al.*, 1992). Segundo Christofoletti (1981), o fluxo d'água é o principal agente modificador do canal. Assim, a ação exercida por ele sobre os materiais rochosos componentes do leito e das margens dos rios aluviais é a principal responsável pelo equilíbrio entre as forças erosivas e os processos de deposição de material no leito e nas margens.

Segundo Singh (2003), o entendimento da geometria hidráulica de canais serve como um excelente ponto de partida para o desenvolvimento da teoria da geometria de drenagem de uma bacia. Consequentemente, também para a compreensão da evolução da rede de canais. Isso permite a integração dos canais hidráulicos com a hidrologia e geomorfologia de bacia hidrográfica. Segundo Rhodes (1977), essa teoria é um recurso útil para sumarizar as complicadas interações da morfologia com suas dinâmicas variáveis dos rios naturais.

Hogan & Church (1989) e Kellerhalls & Church (1989) mostraram a utilidade da geometria hidráulica para a descrição quantitativa de habitações ribeirinhas. Morisawa (1985) mostrou como o uso do solo influencia nas mudanças da forma e tamanho de um canal. Por exemplo, o acréscimo da vazão e o alargamento do canal podem acompanhar a urbanização de uma bacia.

Os recursos hídricos das bacias hidrográficas do Estado do Paraná – Brasil vem sendo estudados por vários pesquisadores. Kobiyama *et al.* (2009) investigaram os mecanismos fluviais da Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu, particularmente na sub-bacia do Alto Rio Negro, cabeceira da bacia do Iguaçu. Lima *et al.* (2004) investigaram o comportamento hidrossedimentológico da Bacia Hidrográfica do Rio Piquiri. Fernandez & Bortoluzzi (2008) estimou e comparou as vazões dominantes em nove estações fluviométricas nas regiões oeste e sudoeste do Estado do Paraná, distribuídas nas bacias dos rios Piquiri e Iguaçu. Gibertoni *et al.* (2009) estudaram produção hidrossedimentológica da bacia hidrográfica do Rio Nhundiaquara, drenante à Baía de Antonina, litoral do Estado do Paraná.

O Estado do Paraná tem uma ampla variedade de formações geológicas em seu território. Acredita-se que essa variedade pode influenciar na forma de muitos rios do estado. Em rios onde as margens são formadas por rochas fracas, por exemplo, como argilitos, folhelhos e arenitos, a erosão pode acontecer mais facilmente do que onde a formação é de quartzitos, uma rocha forte. Canais com leito rochoso podem ser mais resistentes à erosão do que canais com leitos aluviais. Portanto, geologia é um dos fatores que pode influenciar na forma de um curso d'água.

O Estado do Paraná também possui um período relativamente longo de medições fluviométricas e em bastantes locais. Isto facilita o desenvolvimento de novos estudos nas bacias paranaenses.

A fim de contribuir com o gerenciamento dos recursos hídricos do Paraná, o presente trabalho buscou analisar a geometria hidráulica das principais bacias Paranaenses com base principalmente em aspectos geológicos.



## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Aplicar a teoria da geometria hidráulica nas principais bacias Paranaenses e verificar o efeito geológico e efeito do tamanho das bacias no comportamento das relações matemáticas dessa teoria.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estabelecer as relações da geometria hidráulica de seções transversais das bacias de estudo;
- Analisar o efeito de cada formação geológica nos expoentes das relações da geometria hidráulica das seções transversais por meio de diagramas triaxiais;
- Calcular as vazões dominantes dos rios principais das bacias de estudo por meio de uma análise de frequência de vazões máximas anuais;
- Estabelecer as relações da geometria hidráulica na direção de jusante dos rios principais das bacias de estudo;
- Verificar a influência da área de drenagem das bacias de estudo nas relações da geometria hidráulica na direção de jusante;
- Investigar a relação entre as áreas das seções transversais ao longo dos rios principais em nível de margens plenas e a área de drenagem correspondente a cada seção.

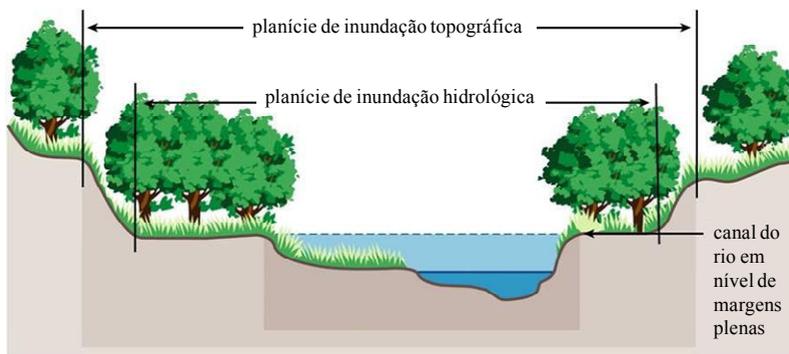


### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta um resumo de algumas teorias fundamentais para o entendimento da geometria hidráulica fluvial.

#### 3.1 A PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO E O NÍVEL DE MARGENS PLENAS DO RIO

Em uma determinada seção transversal de um rio pode-se observar algumas planícies (ou patamares) de inundação (Figura 3.1). Uma dessas planícies é quando a água preenche completamente o canal do rio, ou seja, quando o nível de margens plenas do canal é atingido (também chamado de nível de *bankfull*). Nesse caso se diz que a superfície da água está no mesmo nível da planície de inundação hidrológica.



**Figura 3.1 – Planícies de inundação de uma determinada seção transversal de um rio (adaptada de FISRWG, 1998).**

Wolman e Leopold (1957) definiram o nível de margens plenas como a cota da planície de inundação. É nessa cota que a vazão movimenta sedimentos, forma ou remove depósitos aluviais, forma ou muda curvas e meandros (Dunne e Leopold, 1978). Indicadores desse nível em campo incluem mudanças significativas de declividade longitudinal, mudanças na vegetação, entre outras (Leopold, 1994).

O limite entre os processos fluviais que moldam o canal e os que constroem a planície de inundação é encontrado no nível de margens plenas do canal. Assim, a definição desse nível bem como sua vazão correspondente é de grande importância prática (como para construção

de pontes) e científica já que é nesse estado que o rio controla suas dimensões físicas devido aos processos erosivos e deposicionais (Fernandez, 2004).

### 3.2 FORMA DE UM CANAL FLUVIAL E ELEMENTOS DE UMA SEÇÃO TRANSVERSAL

Os elementos geométricos de uma seção transversal de um canal são propriedades que podem ser definidas inteiramente pela geometria da seção e pela profundidade do fluxo (Chow, 1988). A Figura 3.2 mostra alguns elementos geométricos de importância básica. A definição desses elementos é descrita a seguir:

- Profundidade do fluxo: é a distancia vertical do ponto mais próximo do leito da seção do canal até a superfície livre;
- Largura de topo: é a distancia da seção do canal na superfície livre;
- Área molhada: área da seção transversal ocupada pela água;
- Perímetro molhado: comprimento da linha de contato entre a superfície molhada e o leito e as margens;
- Profundidade média: quociente da área molhada pela largura superficial;
- Raio hidráulico: quociente da área molhada pelo perímetro molhado.

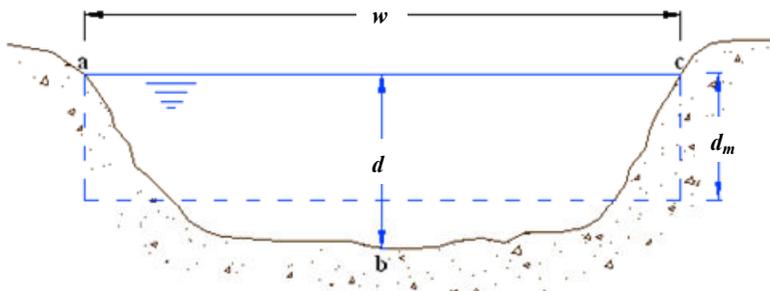


Figura 3.2 - Características geométricas de uma seção transversal.  $w$  = largura de topo;  $d$  = profundidade;  $d_m$  = profundidade média; abca = área molhada na figura).

A forma de um canal fluvial resulta da interação de fatores relacionados à carga de detritos, suas dimensões médias, quantidade, litologia, de fatores relacionados às formas de deposição e de fatores relacionados ao fluxo d'água. Quando as características das águas ou detritos de um canal são alteradas, seja pelo homem por alterações da proteção da cobertura vegetal no solo da bacia ou por mudanças climáticas, o sistema do canal se ajusta para o novo conjunto de condições. Assim, o canal é formado e mantido pelo fluxo que ele transporta. Porém, o canal nunca está ajustado o suficiente para transportar sedimentos sem que ocorra uma inundação (Dunne e Leopold, 1978).

Rosgen (1994) classificou 41 tipos de canais. Um dos critérios de classificação utilizado por ele foi a composição do material da seção transversal (Figura 3.3).

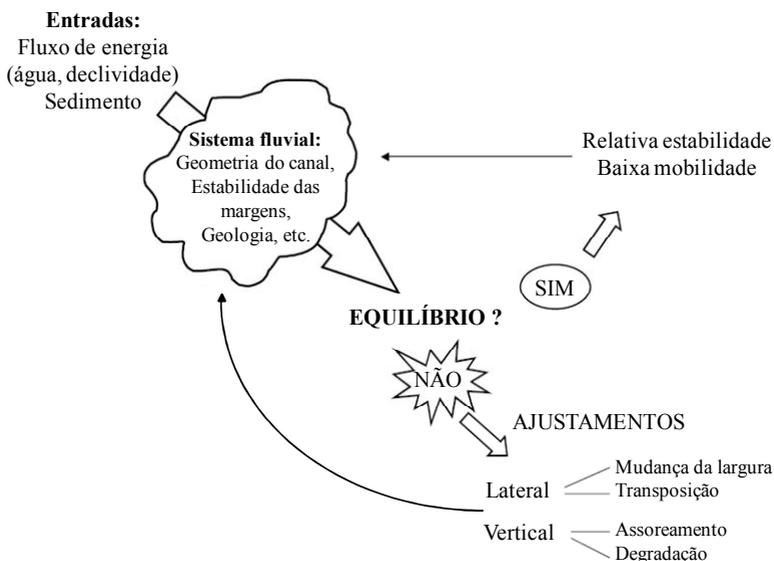
Na Figura 3.3 o entrincheiramento representa a inter-relação do rio com seu vale e / ou as características do relevo. Esta inter-relação determina se o rio é profundamente inserido (encaixado) no fundo do vale ou em algum depósito característico. A taxa de entrincheiramento é a relação entre a largura da zona susceptível à inundação e a largura da superfície do canal em nível de margens plenas. A zona susceptível de inundação é definida como a largura medida a uma altura correspondente a duas vezes a profundidade máxima do canal em nível de margens plenas. A taxa de entrincheiramento de 1 a 1,4 representa rios entrincheirados, de 1,41 a 2,2 rios moderadamente entrincheirados e acima de 2,2 são ligeiramente mais entrincheirados, como por exemplo uma várzea bem desenvolvida. A relação  $w/d$  é a relação entre a largura ( $w$ ) e a profundidade média ( $d$ ) do canal em nível de margens plenas e representa um fator de forma da seção transversal. A sinuosidade mostra o grau de meandramento do canal. É uma taxa relativa à distância entre pontos no canal em relação de uma linha reta em direção à jusante.

Material do leito	A	B	C	D	DA	E	F	G	
Rocha									
Seixo									
Pedra									
Cascalho									
Areia									
Silte/argila									
Entrincheiramento	<1,4	1,4 – 2,2	>2,2	N/A	>2,2	>2,2	<1,4	<1,4	
Sinuosidade	<1,2	>1,2	>1,4	<1,1	1,1 – 1,6	>1,5	>1,4	>1,2	
$w/d$	<12	>12	>12	>40	<40	<12	>12	<12	
Declividade (m/m)	0,04–0,099	0,02–0,039	<0,02	<0,02	<0,005	<0,02	<0,02	0,02–0,039	

**Figura 3.3 – Classificação de tipos de canais fluviais. A, B, C, D, DA, E, F e G representam respectivamente canais retilíneo, sinuoso, meandrado, trançado, anastomosado (ramificado), altamente meandrado, sinuoso e meandrado respectivamente.  $w/d$  é a relação entre largura e profundidade, também chamada de fator de forma e N/A é a abreviação para “Não Aplicável”.** (adaptada de Rosgen, 1994).

A erosão e a deposição fluvial são dois processos que atuam na modificação da forma do canal. Com o aumento gradativo do nível d'água na seção do rio há um aumento da velocidade e das forças de cisalhamento. Isso possibilita que as forças erosivas remanejem o material sedimentar do leito, o que promove a erosão do canal. Ao contrário, uma diminuição gradativa do volume do fluxo na seção é provocada pelo acúmulo da carga detrítica vindo da área de montante. A deposição dessa carga conseqüentemente promove a elevação do nível do leito (Christofolletti, 1981).

As forças resistentes no leito, a estabilidade das margens e a geometria do canal definem o sistema fluvial. Esse sistema se mantém em equilíbrio pelo ajuste de suas entradas que são acomodadas pelo movimento lateral ou vertical do canal. Dessa forma, o ciclo de ajuste de um canal pode ser entendido pela Figura 3.4 (Richard, 2001). Essa figura mostra que quando o sistema fluvial está em equilíbrio ele possui baixa mobilidade e uma relativa estabilidade de suas margens. Ao contrário, se o sistema não estiver em equilíbrio (por exemplo, ao sofrer uma enchente) ele buscará um novo equilíbrio por meio de ajustes nas suas margens e leito.

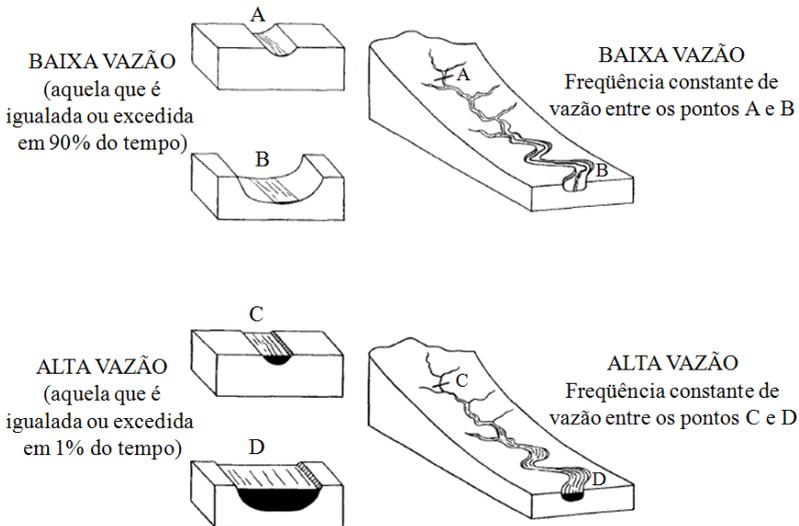


**Figura 3.4 - Ciclo de ajustamento de um canal fluvial (adaptado de Richard, 2001).**

### 3.3 FREQUÊNCIA DE UMA VAZÃO

O número de ocorrências de uma vazão ao longo de um determinado período de registro determina a sua frequência. A frequência de uma vazão é uma função da bacia hidrográfica e de suas características físicas e hidrológicas. Em termos de prática hidrológica, essa frequência é determinada por uma curva acumulativa de diferentes frequências, chamada de curva de duração de um fluxo. Por essa curva pode-se descobrir a porcentagem de tempo em que os valores das vazões de diversos intervalos estabelecidos são iguais ou ultrapassados. Consequentemente se descobre a duração de uma determinada vazão.

A variação da vazão em uma determinada seção transversal e na direção de jusante pode ser vista nos diagramas da Figura 3.5. Esses diagramas mostram que com o aumento da vazão a largura e a profundidade de um canal aumentam em uma determinada seção transversal. Esse aumento é, portanto peculiar da posição da seção transversal e do rio e segue um padrão no tempo (Leopoldo & Maddock, 1953).



**Figura 3.5 - Comparação de vazões em uma determinada seção transversal e em direção à jusante de um rio (adaptada de Leopoldo & Maddock, 1953).**

A variabilidade da vazão e de sua frequência numa determinada seção transversal e na direção de jusante é importante pelas relações que possui com a erosão e transporte de carga sedimentar. Consequentemente é importante para o estabelecimento das características da geometria hidráulica, construção de obras de engenharia e planejamento dos recursos hídricos (Christofolletti, 1981).

### 3.3.1 Frequência de uma vazão com margens plenas

As planícies de inundação são alcançadas pelas enchentes de período de retorno não constante. Para o cálculo desse período é necessário dois tipos de evidências. Uma é a medição de vazão de um local por um intervalo de tempo suficientemente longo para que uma análise de frequência de vazão seja possível. A outra é uma pesquisa em campo para observar sinais dos níveis de água nos terraços. Com isso, podem-se calcular as vazões para esses níveis pela curva de vazão (ou curva-chave), uma relação entre nível d'água e vazão.

A análise de frequência de vazões em nível de margens plenas pode ser feita pelo método proposto por Dalrymple (1960). Por esse método ordenam-se vazões máximas da maior para a menor e um tempo de retorno para cada vazão pode ser calculado, conforme a Equação 3.1.

$$T = \frac{N + 1}{i} \quad (3.1)$$

onde  $T$  é o tempo de retorno em anos de cada vazão máxima;  $N$  é o número de anos considerados para cada série histórica de dados; e  $i$  é o número da ordem de cada vazão máxima.

### 3.3.2 Vazão dominante

A vazão dominante é considerada a vazão modificadora ou modeladora de um canal fluvial. Pickup & Warner (1976) sugeriram que a vazão dominante pode ser estabelecida por meio de três categorias: vazão efetiva, vazão com determinado período de retorno e vazão em nível de margens plenas.

Carling (1988) definiu a vazão efetiva como a vazão que mais transporta sedimentos do leito de um curso d'água próximo a um estado estacionário. Leopold (1994) mostrou que o período de retorno da vazão dominante varia de 1,0 a 2,5 anos, e o valor de 1,5 anos aparece como

sendo uma média razoável. De Rose *et al.* (2008) mostraram a vazão com período de retorno de 2 anos tem uma alta correlação com a vazão em nível de margens plenas. Dury *et al.* (1963), Hickin (1968), Dury (1973, 1976) e Riley (1976) mostraram que o período de retorno de 1,58 anos é o mais adequado para determinar a vazão dominante. Fernandez & Bortoluzzi (2008) mostraram que a identificação do nível de margens plenas numa seção transversal é feita pela identificação da atual superfície deposicional.

### 3.3.3 Relação de vazão dominante e área de drenagem

A vazão dominante está intimamente correlacionada com a área de drenagem, que é um parâmetro facilmente determinado. Além de ser correlacionada com a área de drenagem, a vazão dominante também pode ser correlacionada com as dimensões do canal em nível de margens plenas. As equações gerais que representam essas correlações podem ser vistas pelas Equações 3.2 a 3.5

$$Q_{bf} = \alpha_1 A_D^{\alpha_2} \quad (3.2)$$

$$W_{bf} = \alpha_3 A_D^{\alpha_4} \quad (3.3)$$

$$D_{bf} = \alpha_5 A_D^{\alpha_6} \quad (3.4)$$

$$A_{bf} = \alpha_7 A_D^{\alpha_8} \quad (3.5)$$

onde  $Q_{bf}$  é a vazão em nível de margens plenas ( $m^3/s$ );  $W_{bf}$  é a largura com margens plenas (m);  $D_{bf}$  é a profundidade com margens plenas (m);  $A_{bf}$  é a área da seção transversal com margens plenas ( $m^2$ );  $A_D$  é a área de drenagem ( $km^2$ );  $\alpha_1, \alpha_3, \alpha_5, \alpha_7$  são coeficientes e  $\alpha_2, \alpha_4, \alpha_6, \alpha_8$  são expoentes de regressão.

A Equação 3.2 mostra que, com as medições da área da bacia de drenagem em um mapa, as dimensões do canal (largura, profundidade e área da seção transversal) e a vazão dominante podem ser concluídas com maior facilidade e menor incerteza (Dunne e Leopold, 1978).

As Equações 3.2 a 3.5 são também denominadas Equações Regionais da Geometria Hidráulica. Essas equações regionais são importantes para projetos de restauração de cursos d'água (Glickauf *et al.*, 2007).

### 3.3.4 Vazão média anual

O valor de uma vazão média diária representa a média de um fluxo para um dia que é o volume de água observado durante um dia para um fluxo uniforme em uma determinada seção. Assim a média anual de um fluxo pode ser a média aritmética de todos os fluxos médios diários durante um ano de registro (Dunne e Leopold, 1978).

A vazão média anual geralmente preenche um canal em até um terço de sua profundidade que é igual ou excedente 25% dos dias do ano. Isto significa que o rio flui até uma vazão menor do que a média em 75% do tempo (Leopold, 1994).

## 3.4 A GEOMETRIA HIDRÁULICA

### 3.4.1 Conceitos básicos sobre geometria hidráulica

A teoria da geometria hidráulica foi introduzida por Leopoldo & Maddock (1953). Devido ao pioneirismo desse trabalho esses autores são bastante citados no desenvolvimento dessa dissertação. Eles definiram a geometria hidráulica como uma medida quantitativa das variáveis hidráulicas largura, profundidade média, velocidade e carga sedimentar que ajudam a determinar a forma de um curso d'água natural. Essas variáveis sofrem mudanças com a variação da vazão de uma determinada seção transversal de um rio como simples funções potenciais diferidas apenas em seus coeficientes e expoentes.

Basicamente, a geometria hidráulica pode ser estudada de duas formas: em determinada seção transversal (ou estação de medição) e/ou em direção à jusante do rio (ao longo do curso d'água). Em determinada seção transversal a geometria hidráulica prevê as mudanças na largura, profundidade e velocidade com a variação da vazão, enquanto a geometria hidráulica em direção a jusante prevê a adaptação do tamanho e da forma do canal para uma vazão imposta (Ferguson, 1986).

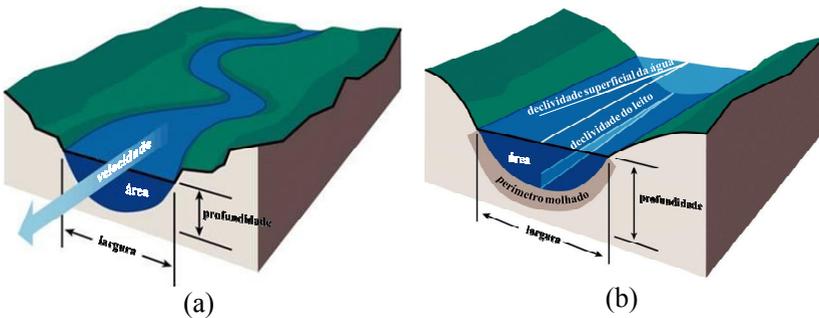
Entre várias aplicações dos estudos de geometria hidráulica em seções pode-se citar: auxílio no monitoramento da vazão de um rio (por meio da curva-chave), modelagem da recuperação de rios em pontos de poluição (Stout, 1979), estimativa de fluxo mínimo para passagem de peixes e atividades recreacionais como remo (Mosley, 1982) e avaliação de habitat disponível para peixes (Mosley & Jowett, 1985). Com relação às aplicações para estudos de geometria de jusante pode-se citar: projetos de canais de irrigação e canalização de rios, prever respostas do

rio para regulação ou transferência de fluxo e estimação de vazões presentes ou passadas das dimensões do canal (Riggs, 1978).

### 3.4.2 O sistema fluvial

A geometria hidráulica é uma teoria que investiga as características geométricas que compõem os canais fluviais. Essas características são determinadas por meio de relações estabelecidas entre o perfil transversal e seu fluxo de água. Portanto a forma do canal é a resposta que reflete o ajustamento da seção transversal à vazão (Leopold e Maddock, 1953).

O fluxo e o material sedimentar são os dois elementos fundamentais na estruturação do sistema geométrico em rios. Cada um desses elementos pode ser caracterizado por diversas variáveis que são medidas nas seções transversais (Christofoletti, 1981). As variáveis consideradas para o elemento fluxo são: largura, profundidade, velocidade, vazão, declividade superficial da água e do leito, área, perímetro molhado, raio hidráulico. As variáveis consideradas para o material sedimentar são: granulometria e rugosidade do leito. A Figura 3.6 mostra as variáveis consideradas no estudo da geometria hidráulica.



**Figura 3.6 – Variáveis da geometria hidráulica. (a) Variáveis em um perfil transversal; (b) Variáveis em um perfil transversal e longitudinal (adaptada de FISRWG, 1998).**

Ao longo do perfil longitudinal de um rio à medida que seus rios tributários são encontrados ocorre o aumento da área de drenagem de sua bacia e o aumento de sua vazão. Ao mesmo tempo, ocorrem mudanças na declividade, no transporte de sedimentos, tipo de material do leito, entre outras mudanças na geometria hidráulica do rio. Isso tudo

constitui um sistema fluvial (Leopold *et al.*, 1992). Schumm (1977) fornece um esquema idealizado de um sistema fluvial em que divide esse sistema em três diferentes zonas (Figura 3.7). A zona 1 representa a porção superior do sistema que é a cabeceira da bacia hidrográfica e por isso é onde ocorre grande erosão, formação de sedimentos. A zona 2 representa a porção média do sistema fluvial que funciona como uma zona de transporte de sedimentos. A zona 3 representa a porção inferior do sistema onde ocorrem as formações de meandros, deltas e lagos. Essa zona do sistema funciona como a área de deposição.

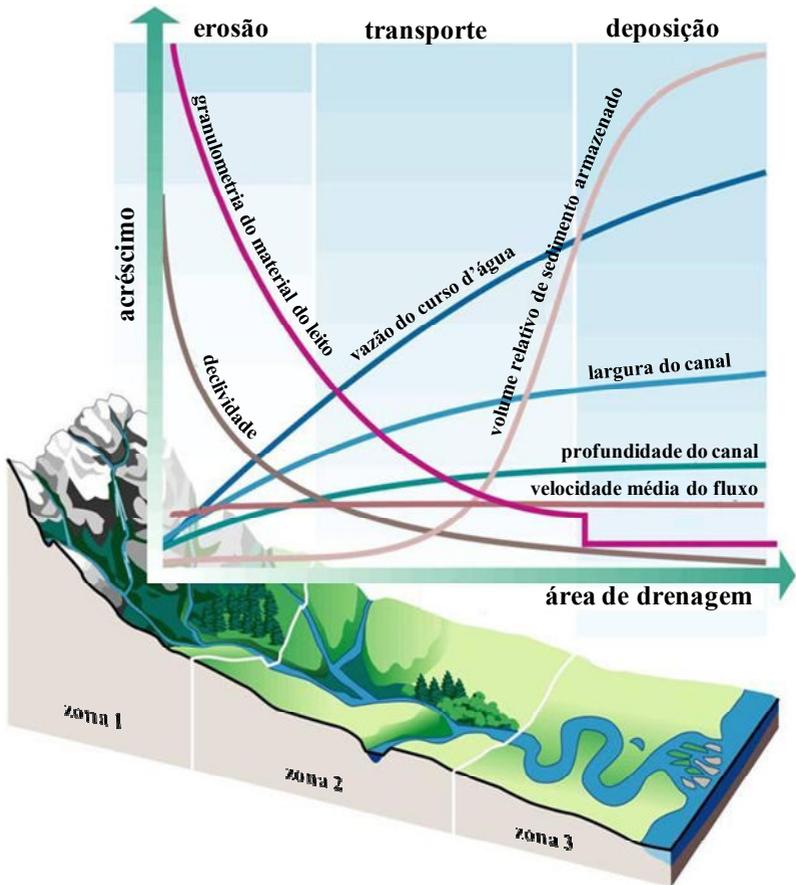


Figura 3.7 - Sistema fluvial dividido em três diferentes zonas (adaptada de FISRWG, 1998).

### 3.4.3 A geometria hidráulica em uma seção transversal

A geometria hidráulica em uma seção transversal (ou geometria de seção) mostra que com o aumento da vazão na seção ocorre um aumento de mesma taxa na profundidade e na velocidade do fluxo. Também, o aumento da vazão provoca um leve aumento na largura da seção, uma pequena diminuição da rugosidade hidráulica e alguma mudança na declividade superficial da água. A maior mudança, entretanto ocorre na carga de sedimentos em suspensão que aumenta rapidamente e em maior proporção que qualquer outro fator (Leopold & Maddock, 1953). Para a geometria de seção as variações ocorrem devido às configurações de um determinado local do canal do rio e devido ao modo em que fluxo d'água atravessa a seção (Gordon *et al.*, 1992).

As principais variáveis da geometria hidráulica de seções são representadas pelas seguintes equações:

$$w = aQ^b \quad (3.6)$$

$$d = cQ^f \quad (3.7)$$

$$v = kQ^m \quad (3.8)$$

$$L = pQ^j \quad (3.9)$$

$$s = rQ^z \quad (3.10)$$

onde  $Q$  é a vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ );  $w$  é a largura (m);  $d$  é a profundidade (m);  $v$  é a velocidade (m/s);  $L$  é a carga sedimentar (ton/dia);  $s$  é a declividade superficial da água (m/m);  $a, c, k, p, r$  são coeficientes;  $b, f, m, j, z$  são expoentes.

Devido à vazão ser dada pelo produto da velocidade pela área, as equações de 3.6 a 3.8 são normalmente as mais utilizadas em trabalhos sobre geometria hidráulica. Dessa forma, as equações acima podem ser relacionadas da seguinte forma:

$$Q = ackQ^{b+f+m} \quad (3.11)$$

então,

$$b + f + m = 1 \quad (3.12)$$

$$a \cdot c \cdot k = 1 \quad (3.13)$$

Se a largura, profundidade e velocidade forem plotadas contra a vazão em escala logarítmica as relações resultantes serão expressas por linhas retas, o que matematicamente facilita a interpretação. Por isso, os

expoentes das Equações 3.6, 3.7 e 3.8 representam a inclinação de suas respectivas retas de ajuste. Os coeficientes dessas equações representam interseção das retas quando a vazão é a unidade e por isso não são muito importantes para a geometria hidráulica (Leopold & Maddock, 1953).

Leopold & Maddock (1953) analisaram 20 rios localizados nas partes central e sudoeste dos Estados Unidos e encontraram os seguintes valores:  $b = 0,26$ ;  $f = 0,40$ ; e  $m = 0,34$ . Deste modo, à medida que a vazão aumenta na seção transversal, a velocidade e a profundidade aumentam mais rapidamente do que a largura.

### 3.4.4 A geometria hidráulica na direção de jusante

Na geometria hidráulica em direção a jusante (ou ao longo de um rio) é feita uma comparação das variáveis hidráulicas entre várias seções transversais dentro de um curso d'água. Para fazer a comparação entre seções é importante que as vazões tenham um mesmo período de retorno, ou seja, de mesma frequência. Isso, porque devido ao aumento da área de drenagem e do número de afluentes essas vazões têm tendência a aumentar na direção de jusante. Como esse aumento de vazão provoca um aumento proporcional da largura e da profundidade do rio e da velocidade do fluxo, as equações utilizadas nesse tipo de geometria são as mesmas da geometria de seção (Leopold & Maddock, 1953).

Segundo Leopold (1994), as mudanças de vazão mais significativas ao longo de um rio ocorrem quando o rio atinge o nível de margens (*bankfull*). Segundo Doll (2003), a análise de geometria hidráulica em estado *bankfull* é muito valiosa para engenheiros, hidrólogos, geomorfólogos e biólogos, que participam dos processos de restauração e proteção dos rios.

Com o uso de um valor de vazão média anual Leopold & Maddock (1953), descobriram que o aumento na direção de jusante da profundidade, largura e velocidade relativo à vazão foi similar para rios de variada forma de bacia de drenagem. Os valores médios para os expoentes foram  $b = 0,5$ ;  $f = 0,4$ ; e  $m = 0,1$ . Isso significa que grandes rios tendem a ser mais largos e rasos do que pequenos rios e que a velocidade aumenta ligeiramente na direção de jusante.

### 3.4.5 Análise de geometria hidráulica

A análise da geometria hidráulica pode ser feita por meio do diagrama proposto por Rhodes (1977) (Figura 3.8). Esse diagrama serve para auxiliar na interpretação dos resultados dos expoentes  $b$ ,  $f$  e  $m$  e suas implicações nas relações da geometria hidráulica.

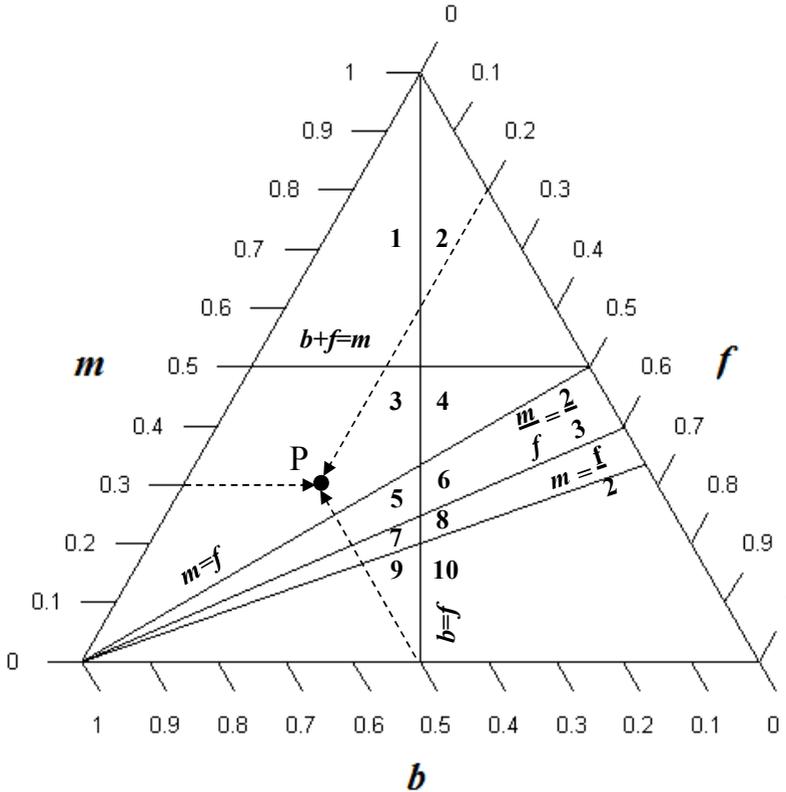


Figura 3.8 - Diagrama triaxial com suas subdivisões e tipos de canais (1 a 10) (adaptado de Rhodes, 1977).

Sendo a soma dos expoentes igual a 1 (Equação 3.12) o diagrama permite que os três expoentes sejam representados em um único ponto. Isso facilita a comparação dos pontos das estações com as subdivisões do diagrama. Por exemplo, o ponto P na Figura 3.8 representa os valores  $b = 0,5$ ,  $f = 0,2$  e  $m = 0,3$  de uma seção de um rio que por consequência tem canal tipo 3. Além disso, o ponto P está situado à esquerda da

subdivisão  $b = f$ , acima da subdivisão  $m = f$ , e abaixo da subdivisão  $b + f = m$ .

A subdivisão  $b = f$  está relacionada à taxa de mudança da relação  $w/d$  (largura por profundidade, Equações 3.6 e 3.7 respectivamente) com o acréscimo da vazão:

- Se  $b = f$ ,  $w/d$  não muda com o acréscimo da vazão;
- Se  $b > f$ , ao lado esquerdo dessa subdivisão,  $w/d$  aumenta com o acréscimo da vazão;
- Se  $b < f$ , ao lado direito dessa subdivisão,  $w/d$  diminui com o acréscimo da vazão.

Dessa subdivisão é possível obter informações sobre a estabilidade do leito e das margens, da forma do canal e do ajuste do canal para o transporte de carga sedimentar no leito. Segundo Rhodes (1977), canais com seção transversal em forma de triângulo possuem a taxa  $w/d$  constante e canais com forma retangular e parabólica diminuem essa taxa com o acréscimo de vazão. Uma explicação para o decréscimo da taxa  $w/d$  com o acréscimo da vazão é que as margens do canal são mais estáveis do que o leito. Em canais retangulares a diminuição dessa taxa é maior do que nas outras formas (Leopold & Maddock, 1953).

A subdivisão  $m = f$  ou  $m/f = 1$  está relacionada à taxa de mudança da relação  $v/d$  (velocidade por profundidade, Equações 3.8 e 3.7 respectivamente) com o acréscimo da vazão. Se  $m/f > 1$  (pontos plotados acima da subdivisão  $m = f$ ), durante um acréscimo de vazão, ocorrerá um aumento mais rápido da velocidade do que da profundidade. Isso poderá aumentar a taxa de transporte de sedimentos em uma determinada seção (Leopold & Maddock, 1953). Wilcock (1971) concluiu que a capacidade de transporte de sedimentos de um rio com o acréscimo da vazão aumenta somente quando  $m/f \geq 1$ .

A subdivisão  $m = f/2$  é baseada no número de Froude:

$$F = \frac{v}{\sqrt{gd}} \quad (3.14)$$

onde  $F$  é o número de Froude;  $v$  é a velocidade (m/s);  $g$  é a aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) e  $d$  é a profundidade (m). Com a substituição de  $v$  e  $d$  pelas Equações 3.8 e 3.7 respectivamente, tem-se:

$$F = \frac{kQ^m}{\sqrt{g(cQ^f)}} \quad (3.15)$$

Com a eliminação das constantes da Equação 3.15 tem-se a subdivisão  $m = f/2$ , quando o número de Froude for igual à unidade.

No caso de  $m > f/2$ , tem-se os pontos plotados acima da subdivisão  $m = f/2$  o que mostra que o numero de Froude aumenta com o acréscimo da vazão, caso contrário, o numero de Froude diminui. Lembra-se que para  $F > 1$  ocorre escoamento supercrítico e para  $F < 1$  escoamento subcrítico. Simons *et al.* (1965) mostraram que se  $F$  diminui com o acréscimo da vazão o canal não possui grande capacidade para transportar sedimentos.

A subdivisão  $b + f = m$  ou  $m = 0,5$  indica que a taxa de aumento da velocidade do fluxo é igual a taxa de aumento da vazão. Se  $b + f < m$  a velocidade aumenta mais rapidamente do que a área da seção transversal. Além disso, quando  $m > 0,5$  (pontos acima da subdivisão  $b + f = m$ ) e a taxa  $w/d$  é baixa o canal pode ser completamente estável.

A subdivisão  $m/f = 2/3$  está relacionada com a rugosidade do canal e pode ser explicada pela equação de Manning:

$$v = \frac{1,486d^{2/3}s^{1/2}}{n} \quad (3.16)$$

onde  $v$  é a velocidade (m/s);  $d$  é a profundidade (m);  $S$  é a declividade (m/m) e  $n$  é o valor da rugosidade de Manning. Sendo  $s$  e  $n$  proporcionais a determinadas vazões  $Q^x$  e  $Q^y$ , respectivamente, e  $d$  e  $v$  determinadas pelas Equações 3.7 e 3.8, respectivamente, tem-se:

$$kQ^m = \frac{cQ^{(2/3)f}Q^{(1/2)z}}{Q^y} \quad (3.17)$$

Com a eliminação das constantes da Equação 3.17 tem-se:

$$m = \frac{2}{3}f + \frac{z}{2} - y \quad (3.18)$$

Dessa forma pode-se dizer que:

- Se  $m = \frac{2}{3}f$ , então  $\frac{z}{2} - y = 0$ , ou  $\frac{S^{1/2}}{n}$  não sofre mudança com o acréscimo de vazão;
- Se  $m > \frac{2}{3}f$ , então  $\frac{z}{2} - y > 0$ , ou  $\frac{S^{1/2}}{n}$  deve aumentar com o acréscimo de vazão;
- Se  $m < \frac{2}{3}f$ , então  $\frac{z}{2} - y < 0$ , ou  $\frac{S^{1/2}}{n}$  deve diminuir com o acréscimo de vazão;
- Se  $z = 0$ , a resistência do canal deve diminuir.

Segundo Rhodes (1977), a rugosidade é o fator que mais se altera com a mudança de vazão. Vários trabalhos (Leopold & Maddock, 1953; Leopoldo *et al.* 1992) mostram que a declividade é pouco influenciada pela vazão.

A Tabela 3.1 resume o diagrama proposto por Rhodes (1977), no qual a competência do canal está relacionada com capacidade para transporte de sedimentos.

**Tabela 3.1 – Resumo do diagrama de Rhodes (1977).**

<b>Tipo de canal</b>	<b><math>w/d</math></b>	<b>Competência</b>	<b><math>F</math></b>	<b><math>v/A</math></b>	<b><math>S^{1/2}/n</math></b>
1	Aumenta	Aumenta	Aumenta	Aumenta	Aumenta
2	Diminui	Aumenta	Aumenta	Aumenta	Aumenta
3	Aumenta	Aumenta	Aumenta	Diminui	Aumenta
4	Diminui	Aumenta	Aumenta	Diminui	Aumenta
5	Aumenta	-	Aumenta	Diminui	Aumenta
6	Diminui	-	Aumenta	Diminui	Aumenta
7	Aumenta	-	Aumenta	Diminui	Diminui
8	Diminui	-	Aumenta	Diminui	Diminui
9	Aumenta	-	Diminui	Diminui	Diminui
10	Diminui	-	Diminui	Diminui	Diminui

### 3.4.6 Geometria hidráulica de seção e em direção à jusante

Leopoldo & Maddock (1953) analisaram a geometria hidráulica em 20 rios localizados nas partes central e sudoeste dos Estados Unidos. Por meio de gráficos log-log eles ajustaram a olho as relações entre a vazão e a largura, profundidade, velocidade e carga de sedimentos em suspensão para as seções dos 20 rios e para várias seções ao longo de alguns destes rios. Assim, eles estabeleceram as relações da geometria hidráulica de seção e em direção à jusante como funções potenciais diferenciadas somente pelos valores de seus expoentes e coeficientes. Definiram então que a geometria hidráulica de seção descreve o comportamento do fluxo e de sua carga de sedimentos em uma determinada seção em diversos níveis d'água. Além disso, definiram que geometria hidráulica de jusante pode ser estabelecida somente para uma frequência constante de vazão, com o aumento dessa vazão em direção à jusante devido à contribuição de afluentes. Esse trabalho foi o primeiro a estabelecer as relações da geometria hidráulica fluvial.

Leopold & Miller (1956) analisaram a geometria hidráulica de seção e em direção à jusante de rios efêmeros em Santa Fé e Novo México - EUA. Eles mediram as variáveis largura, profundidade, velocidade e transporte e sedimentos durante uma rápida inundação (*flash flood*) e relacionaram essas variáveis com a rede de drenagem. Pela análise dos resultados observaram que para os rios efêmeros estudados a velocidade aumenta em direção a jusante em um ritmo mais rápido do que em rios perenes. Assim, concluíram que esse aumento parece estar associado a um aumento da concentração dos sedimentos em suspensão em direção à jusante desses canais efêmeros.

Singh *et al.* (2003a, b) e Singh & Zhang (2008a, b) por meio da aplicação dos princípios da máxima entropia e mínima taxa de dissipação de energia deduziram, calibraram e testaram 4 e 11 possibilidades, respectivamente, de relações da geometria hidráulica de uma determinada seção. Essas possibilidades são alteradas entre as variáveis da geometria hidráulica com a mudança da potência do escoamento do curso d'água (*stream power*) que é compartilhado pela largura do canal, profundidade do fluxo, velocidade do fluxo, atrito e declividade do canal. Por exemplo, uma possibilidade de relação é quando se considera que a proporção de mudança temporal do *stream power* ocorre quando a taxa de ajuste da largura é igual taxa de ajuste da profundidade do fluxo. Outra possibilidade seria quando a taxa de ajuste da largura é igual a taxa de ajuste da declividade do canal. E assim foram investigadas varias possibilidades entre as variáveis largura do canal, profundidade do fluxo, velocidade do fluxo, atrito e declividade do canal para as relações de geometria hidráulica em uma determinada seção e em direção à jusante de um determinado canal.

A potência unitária do escoamento foi definida por Yang (1972) como a taxa temporal de energia potencial gasta por unidade de peso de água em um canal aluvial ou simplesmente o produto da velocidade do fluxo com a declividade do canal tendo as dimensões de potencia por unidade de peso da água:

$$P_w = vs \quad (3.19)$$

onde  $P_w$  é a potência unitária do escoamento;  $v$  é a velocidade; e  $s$  é a declividade.

Assim a potência do escoamento é obtida pela integração da potência unitária do escoamento em uma determinada seção transversal e é a taxa de energia dissipada devido à água:

$$SP = v s A \gamma = Q \gamma s \quad (3.20)$$

onde  $SP$  é o *stream power*;  $\gamma$  é o peso específico da água;  $A$  é a área da seção transversal do canal; e  $Q$  é a vazão. Para canais retangulares  $Q$  pode ser obtida pelas equações de Manning, Chezy ou Darcy-Weisbach (Equações de 3.21 a 3.23).

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} s^{1/2} = \frac{1}{n} w d^{5/3} s^{1/2} \quad (3.21)$$

$$Q = C A \sqrt{R s} = C w d^{3/2} \sqrt{s} \quad (3.22)$$

$$Q = 2 \sqrt{\frac{2g}{f_y}} A \sqrt{R s} = 2 \sqrt{\frac{2g}{f_y}} w d^{2/3} \sqrt{s} = f_{DW} w d^{2/3} \sqrt{s} \quad (3.23)$$

onde  $n$  é o coeficiente de rugosidade de Manning;  $A$  é a área de uma determinada seção transversal;  $R$  é o raio hidráulico;  $s$  é a declividade;  $w$  é a largura;  $d$  é a profundidade;  $C$  é o coeficiente de rugosidade de Chezy;  $f_y$  é o fator de atrito de Darcy-Weisbach;  $g$  é a

aceleração da gravidade; e  $f_{DW} = 2 \sqrt{\frac{2g}{f_y}}$ .

Hadadin & Bdour (2005) mostraram as relações da geometria hidráulica de seção para rios com canais incisivos, formados dentro de uma falha geológica pela erosão do leito e das margens. Essa erosão é o resultado do desequilíbrio entre a potência disponível para transportar sedimentos e a potência necessária. As relações da geometria de seção para esse canais incisivos mostram que a mudança na vazão interfere primeiramente na profundidade e velocidade do fluxo e depois na largura.

Lawrence (2007), com o uso das equações de Manning e Chezy, deduziu equações explícitas para os expoentes e coeficientes das relações da geometria hidráulica. Ele mostrou que o valor observado do expoente da relação da velocidade é geralmente maior do que o valor teórico observado em outros trabalhos.

Western *et al.* (1997) desenvolveram um método para a caracterização da variabilidade de um canal longitudinal em relação a seções transversais e à declividade. Esse método consiste em caracterizar a geometria de seções transversais por meio da relação da largura com profundidade do canal em estado de margens plena, da forma do canal, da elevação do talvegue e da profundidade em estado de margens plena.

Ebisemiju (1989) analisou a geometria hidráulica de jusante de rios em ambiente tropical úmido no sudoeste da Nigéria e observou que as mudanças nas relações da geometria hidráulica são atribuídas a mudanças no regime de vazão à jusante e aumento da heterogeneidade ambiental, com o aumento da área de drenagem da bacia. Também observou que a capacidade do canal é mais fortemente controlada pela coesão do perímetro do canal do que pela vazão. Dessa forma o expoente da relação da geometria hidráulica da largura é mais fortemente relacionado com a variação da coesão do perímetro do canal.

De Rose *et al.* (2008) analisaram a geometria hidráulica de jusante em rios em Victória, Austrália e estabeleceram um conjunto de relações empíricas para a largura, profundidade e vazão em nível de margens plenas. A taxa de variação da largura com a profundidade mostrou que uma combinação de fatores pode ser responsável por alguma mudança incomum dessa taxa. Esses fatores podem ser a variação nas margens, forma geométrica da planície, textura do sedimento transportado e do leito ou talvez mudanças históricas no uso do solo e manejo dos rios.

Wohl (2005) analisou a geometria hidráulica de jusante em rios de topografia montanhosa com leitos rochosos, presença de sistemas *step-pools*, *pool-riffles* e trechos com desfiladeiros. Mesmo nessas condições, os valores dos expoentes da geometria hidráulica de jusante encontrados foram similares aos de rios de outras partes do mundo. Grandes correlações foram encontradas entre a vazão e área de drenagem, vazão e largura do rio e vazão e velocidade média. Além disso, também foi encontrada uma boa correlação entre declividade e tamanho dos grãos do leito. Todas essas correlações sugerem que existe grande influência de deslizamento e da litologia do leito do rio ao longo do canal. Também refletem a combinação de rochas e altos valores de vazão, velocidade e potencia do fluxo.

Lee & Julian (2006) analisaram a geometria hidráulica de jusante em canais aluviais por meio da análise de regressão não linear. Por meio de um banco de dados que incluem rios de leito arenoso, leito pedregulhoso, entre outros tipos de leitos, eles estabeleceram cinco relações de geometria hidráulica para esses rios. Nessas relações além da vazão como variável independente foram incluídas também as variáveis tamanho do grão do material do leito e taxa de transporte de sedimentos.

Merritt & Wohl (2003) analisaram as relações da geometria hidráulica de jusante e o ajuste de um canal efêmero durante uma inundação causada pelo Furacão Nora em 1997, no sudoeste do Arizona.

Eles observaram que com o aumento da vazão em direção à jusante, a profundidade e a velocidade do fluxo tiveram um aumento não significativo. Enquanto que a largura do canal aumentou muito e rapidamente na direção de jusante. Esse rápido aumento pode ter ocorrido devido à baixa resistência à erosão das margens. Também eles observaram que o aumento de vazão causou a formação de rios de forma trançada (*braided rivers*) que se deve a presença de vegetação.

Montgomery & Gran (2001) analisaram a relação da geometria hidráulica de jusante para a largura em canais com leito rochoso e leito aluvial. Eles compararam trechos aluviais com trechos rochosos em 7 rios. Estabeleceram a relação da largura com a área de drenagem desses trechos e os intervalos de variação dos expoentes das relações para os diferentes trechos. Observaram que existe pouca diferença entre os intervalos dos expoentes da largura nos canais com leito rochoso e os de leito aluvial. Por fim concluíram que as relações da largura com a área de drenagem nos trechos estudados refletem a influência local de padrões longitudinais de erosividade de leitos rochosos.

Wolman (1955) analisou as relações da geometria hidráulica de seção e de jusante para um canal natural na Pensilvânia. Também analisou as mudanças de algumas variáveis com o aumento da vazão de uma determinada frequência e o equilíbrio da geometria no canal.

Ferguson (1986) revisou alguns trabalhos sobre geometria hidráulica de seção e em direção à jusante. Com base nesses trabalhos ele mostrou que a forma da seção transversal de um rio e o ângulo de suas margens são os principais determinantes da variação da largura da superfície d'água com a profundidade e as leis de resistência do fluxo determinam a variação da velocidade com a profundidade.

### **3.4.7 Variabilidade dos expoentes nas relações da geometria hidráulica**

Park (1977) analisou a variação dos expoentes das relações da geometria hidráulica (Equações 3.6 a 3.8) de vários trabalhos em várias bacias hidrográficas de diferentes tipos de clima. Os expoentes das seções mostraram grande variabilidade e não foi possível identificar alguma relação significativa com o clima.

Griffiths (1980) analisou a variação dos expoentes das relações da geometria hidráulica em rios da Nova Zelândia e observou que os valores encontrados são próximos aos valores dos expoentes encontrados em rios da América do Norte e Grã-Bretanha.

De Rose *et al.* (2008) investigaram dados hidrológicos de 29 bacias hidrográficas que foram agrupadas em sete regiões amplamente semelhantes quanto à geografia e à distribuição de chuvas. Os expoentes encontrados situam-se nos intervalos de 0,10 a 0,64, de 0,10 a 0,58 e de 0,05 a 0,55 para  $b$ ,  $f$  e  $m$  respectivamente.

Com base em Knighton (1974), Singh (2003) mostrou a variabilidade dos expoentes baseada nos valores médios encontrados em diversos trabalhos sobre geometria hidráulica em uma determinada seção e em direção à jusante, realizados por diferentes autores (Tabelas 3.2 e 3.3).

**Tabela 3.2 – Valores dos expoentes de alguns trabalhos encontrados na literatura sobre geometria hidráulica em uma determinada seção transversal.**

<b>Fonte</b>	<b><math>b</math></b>	<b><math>f</math></b>	<b><math>m</math></b>
Leopold & Maddock (1953)	0,26	0,40	0,34
Wolman (1955)	0,04	0,41	0,55
Leopold & Miller (1956)	0,26	0,33	0,32
Leopold & Langbein (1962)	0,23	0,42	0,36
Langbein (1964)	0,23	0,42	0,35
Scott (1966)	0,35	0,42	0,55
	0,24	0,56	0,20
Leopold & Skibitzke (1967)	0,16	0,30	0,52
	0,06	0,43	0,53
	0,04	0,36	0,61
	0,08	0,41	0,52
	0,27	0,20	0,53
	0,10	0,40	0,49
Coates (1969)	0,36	0,20	0,44
Church (1980)	0,22	0,31	0,48
Stall & Yang (1970)	0,23	0,41	0,36
Wilcox (1971)	0,09	0,36	0,53
Ponton (1972)	0,21	0,32	0,50
Knighton (1972)	0,29	0,40	0,31
	0,11	0,56	0,33
	0,23	0,27	0,50

**Tabela 3.2 – (Continuação)**

Riley (1978)	0,42	0,41	0,16
	0,35	0,48	0,17
	0,35	0,52	0,13
	0,38	0,46	0,16
Williams (1978)	0,49	0,24	0,27
Lane & Foster (1980)	0,375	0,375	0,25
	0,32	0,32	0,36
Abrahams (1984)	0,419	-0,06	0,632
	-0,671	0,863	0,753
Philips & Harlin (1984)	0,367	0,049	0,580
	0,419	-0,095	0,67

**Tabela 3.3 - Valores dos expoentes de alguns trabalhos encontrados na literatura sobre geometria hidráulica em direção jusante.**

<b>Fonte</b>	<b><i>b</i></b>	<b><i>f</i></b>	<b><i>m</i></b>
Leopold & Maddock (1953)	0,50	0,40	0,10
Wolman (1955)	0,34	0,45	0,32
	0,38	0,42	0,32
	0,45	0,43	0,17
	0,42	0,45	0,05
	0,57	0,40	0,03
	0,58	0,40	0,02
Leopold & Miller (1956)	0,29	0,15	0,58
	0,31	0,20	0,49
Miller (1958)	0,38	0,25	0,39
Brush (1961)	0,55	0,36	0,09
Ackers (1964)	0,42	0,43	0,15
	0,43	0,43	0,14
	0,53	0,35	0,12
Langbein (1964)	0,53	0,37	0,10
Scott (1966)	0,69	0,12	0,19
	0,03	0,48	0,45
Carlston (1969)	0,461	0,383	0,155
	0,499	0,320	0,180

**Tabela 3.3 – (Continuação)**

Thornes (1970)	0,40	0,34	0,25
	0,47	0,41	0,04
	0,11	0,32	0,59
	0,19	0,32	0,56
	0,51	0,50	0,01
	0,14	0,36	0,54
Ponton (1972)	0,60	0,40	-0,01
	0,80	0,44	-0,23
Knighton (1974)	0,61	0,31	0,08
Smith (1974)	0,60	0,30	0,10
	0,54	0,23	0,23
	0,46	0,16	0,38
Parker (1979)	0,50	0,415	0,085
Lane & Foster (1980)	0,46	0,46	0,081
Allen <i>et al.</i> (1994)	0,557	0,341	0,104

Huang & Warner (1995), por meio de uma análise de regressão, investigaram os expoentes das relações de geometria hidráulica de jusante de dados de campo de canais estáveis nos EUA e de rios naturais nos EUA e Reino Unido. Eles observaram que a geometria de jusante é na verdade o produto de controles multivariados, como vazão, declividade do canal, rugosidade do leito e composição de sedimentos das margens do canal.

### 3.4.8 Geometria hidráulica relacionada a sedimentos

Hafez (2001) desenvolveu uma equação para investigar as mudanças na largura de um rio a jusante de uma barragem devido a mudanças na vazão e no transporte de sedimentos. Para o desenvolvimento dessa equação ele combinou uma equação de transporte de sedimentos com uma lei de resistência do fluxo e aplicou essa equação em uma condição de extremo fator de atrito e *stream power*. A aplicação dessa equação em trechos do rio a jusante da barragem revelou que houve um aumento na largura do rio, o que não era esperado devido ao decréscimo da vazão e do transporte de sedimentos. Também foram observados trechos do rio com largura constante o que indica que a taxa de transporte de sedimentos para a vazão após a barragem permanece igual a antes da construção dessa

barragem. Em resumo, a equação desenvolvida mostra que a largura de um rio varia conforme a variação da vazão e do transporte de sedimentos.

Turowski *et al.* (2008) definiram canais fluviais de leito rochoso como canais que não podem sofrer mudanças na sua forma sem que ocorra erosão dos seus leitos rochosos. Eles descobriram que a geometria hidráulica desses tipos de canais em Taiwan é ajustada por meio do transporte de sedimentos dos rios. Ao contrário, a forma de canais montanhosos com leitos aluviais não depende da carga de sedimentos para se ajustar.

Leopoldo & Maddock (1953) mostraram que tanto a vazão líquida como a vazão sólida são fatores independentes da forma do canal do curso d'água e dependentes da natureza da bacia de drenagem.

### **3.4.9 Vazão dominante na geometria hidráulica**

Castro & Jackson (2001) investigaram a ligação entre os fatores regionais clima, fisiografia e eco-região e a frequência dos eventos de vazão dominante em bacias hidrográficas em Oregon, Washington e Idaho, nos EUA. As eco-regiões são unidades regionais que incluem áreas de semelhante geologia, topografia, clima, vegetação, solos, e os principais usos da terra. Por meio de uma análise de variância valores de período de retorno de vazão foram determinados para os fatores regionais. O valor médio encontrado foi de 1,4 anos. Com base nesse intervalo foram calculadas as vazões dominantes e estabelecidas as relações da geometria hidráulica.

Glickauf *et al.* (2007) e Harman *et al.* (1999) estabeleceram as equações regionais da geometria hidráulica para cursos d'água na área rural de uma planície litoral da Geórgia - EUA e em Carolina do Norte-EUA respectivamente. As equações mostraram uma forte relação entre o nível de margens plenas dos cursos d'água e a área da seção transversal, profundidade, largura, vazão dominante e área de drenagem dos cursos d'água.

Wilkerson (2008) utilizou um período de retorno de 2 anos para a vazão dominante na modelagem das equações regionais. Por meio de medidas estatísticas mostrou que a vazão dominante para 2 anos teve melhores resultados do que a área de drenagem como vazão dominante (Equação 3.2).

Navratil *et al.* (2006) avaliaram o impacto da escolha de métodos de determinação de vazão dominante em rios na França. Para isso foram

comparados métodos de determinação da vazão dominante com características hidrológicas em 16 trechos de rios. Cinco definições de nível de margens plenas da seção transversal de um rio, baseadas em critérios morfológicos e geométricos, foram consideradas. Para os critérios morfológicos considerou-se: Inflexão da margem (fim da parte abrupta da margem); Topo da margem (onde começa a planície de inundação). Para os critérios geométricos considerou-se: Mínima taxa da largura pela profundidade média relacionada com o nível d'água (Wolman, 1955); Mudança significativa na relação entre a área molhada e a largura do topo do canal (Williams, 1978); Máxima declividade da margem (Riley, 1972). As duas definições morfológicas foram mais relevantes do que as definições geométricas porque os perfis longitudinais dos trechos estudados se ajustaram melhor aos perfis da superfície da água.

### **3.4.10 Modelagem na geometria hidráulica**

Arp *et al.* (2007) desenvolveram um modelo para mostrar a influencia de lagos de glaciadas regiões montanhosas na geometria hidráulica de jusante de rios dessas montanhas. Os resultados dessa pesquisa sugerem incorporar a parte de sumidouros de sedimentos (*sediment sinks*) nos modelos de jusante para esse tipo de caso.

Booker & Dunbar (2008) aplicaram modelos multi-níveis para quantificar as variáveis da geometria hidráulica em rios na Inglaterra e Gales. Os modelos foram aplicados basicamente em três níveis espaciais das estações de monitoramento das vazões: dentro das estações, entre as estações e entre as regiões das estações. Os modelos previram que ao longo do rio (entre as estações) existe maior variabilidade da geometria hidráulica, e também da hidrológica, do que entre rios de tamanhos similares (entre regiões das estações). Com base nisso, conclui-se que a área de drenagem da bacia é a principal responsável pelas variações naturais na geometria hidráulica fluvial.

Buhman *et al.* (2002) desenvolveram um modelo espacial estocástico para descrever a geometria hidráulica dos rios Mississipi e Vermelho nos EUA. As relações entre estatística espacial da geometria hidráulica e a largura dos canais em nível de margens plenas, sinuosidade dos canais, elevação do leito e espaçamento dos sistemas *riffle-pool* e composição das margens dos canais foram exploradas. O trabalho mostra como a incerteza do parâmetro geométrico (devido a

espacial variabilidade e erro na medição da geometria hidráulica) pode ser incorporada em modelos prescritivos de processos fluviais.

Darby (2005) analisou um banco de dados sobre material das margens de 58 rios de leito de cascalho (com pedregulho) na Inglaterra. As variáveis desse banco de dados são: densidade de campo, coesão aparente, coesão efetiva, ângulo de fricção, porcentagem volumétrica de água, porcentagem de índice de saturação, diâmetro médio das partículas da margem, porcentagem de areia, silte e argila. Esses dados foram analisados juntamente com dados de geometria hidráulica e o resultado desse trabalho serve para calibrar e verificar os modelos analíticos e numéricos de morfologia fluvial.

Huang & Nanson (2000) modelaram os mecanismos de auto-ajuste de canais aluviais. Eles utilizaram as relações da geometria hidráulica em nível de margens plenas e o princípio da máxima eficiência do fluxo, definido como máxima capacidade de transporte de sedimentos pela potência unitária do escoamento. Pela introdução do fator de forma (relação entre largura e profundidade) descobriram que o auto-ajuste dos canais aluviais pode ser modelado pelas relações básicas de continuidade do fluxo e pela resistência ao transporte de sedimentos. O intervalo de variação do fator de forma foi de 2,5 a 30. Por fim, eles concluíram que a condição ideal para o transporte de sedimentos em canais aluviais, considerando o fator de forma, declividade do canal e tamanho dos sedimentos, depende do princípio da máxima eficiência do fluxo.

Xu (2004) com um banco de dados de rios de várias partes do mundo comparou a geometria hidráulica de rios de leitos arenosos com rios de leitos de pedregulhos. Para isso foram estabelecidas as relações entre largura, profundidade, taxa da largura pela profundidade, e declividade com a vazão. Essas relações foram utilizadas para discriminação de padrões de canal sendo que a relação entre a profundidade e a vazão foi a que teve melhor desempenho. Descobriu-se que em nível de margens plenas rios com padrões trançados (*braided rivers*) possuem maior largura do que quando em forma de meandros (*meandering rivers*). Também, em nível de margens plenas, a profundidade de rios em forma de meandros com leito arenoso é muito maior do que com leito de pedregulho e que este tem profundidade maior do que com padrões trançados. A diferença de declividade entre leitos arenosos e de pedregulho é muito maior do que entre rios em forma de meandros e trançados, sendo a declividade de rios com leito de pedregulho muito maior do que com leito arenoso.

Mosley (1981) criou um modelo para a geometria hidráulica de rios na Nova Zelândia. Ele analisou um banco de dados de características morfológicas, hidrológicas e sedimentológicas de 72 rios. A Tabela 3.4 mostra as equações desse modelo com seus melhores ajustes.

**Tabela 3.4 - Equações do modelo de Mosley (1981). (\*)**

Melhores ajustes das equações

$$XS = 0,41Q_{maf}^{0,86} D^{-0,299} SILT^{-0,162}$$

$$WD = 0,028SP^{0,576} D^{-0,982} VI^{-0,749} SIG^{-0,973} SILT^{-0,2}$$

$$ID = 0,071Q_{maf}^{-0,275} D_{50}^{0,550} SIG^{0,491} Q_{mibr}^{0,459} Q_{sr}^{-0,607}$$

$$SN = 0,304SP^{-0,06}$$

$$BI = 0,198SP^{0,159} D^{-0,133} VI^{-0,245}$$

$$RN = 0,28D_{50}^{-0,892} Q_{maf}^{0,249} VI^{0,42} SIG^{-0,322}$$

$$WL = 46Q_{maf}^{0,51}$$

(\*)  $XS$  é a área de seção transversal;  $WD$  é a taxa da largura pela profundidade;  $SP$  é a declividade;  $SN$  é a sinuosidade;  $BI$  é o índice de *braiding*;  $RN$  é a rugosidade;  $WL$  é o comprimento de onda do meandro;  $Q_{maf}$  é a vazão de inundação média anual;  $D$  é a média do diâmetro dos sedimentos do leito;  $SILT$  é a porcentagem de silte e argila;  $SP$  é o *stream power*;  $VI$  é o índice de variabilidade do fluxo;  $SIG$  é o desvio padrão dos sedimentos do leito;  $SILT$  é a porcentagem de silte e argila do material das margens;  $D_{50}$  é o diâmetro médio dos sedimentos do leito;  $Q_{mibr}$  é a taxa de vazão de inundação média anual pela vazão média instantânea e  $Q_{sr}$  é o índice de vazão dominante).

Em geral os resultados do modelo mostram que 53% da variação da geometria hidráulica dos rios estudados pode ser explicada pelos índices de regime hidrológico e características sedimentares, mais especificamente pelo índice de vazão dominante e de diâmetro médio dos sedimentos do leito.

Stewardson (2005) criou um modelo para o estudo da geometria hidráulica por trechos de rios. Nesse artigo o autor mostra que quando valores de trechos de rios são usados para o estudo da geometria hidráulica (em vez de seções transversais individuais) os expoentes das equações não somam 1 necessariamente. O motivo é que no caso da análise por trechos de rios talvez as variáveis largura, profundidade e velocidade média são mais fortemente relacionadas com a bacia

hidrográfica do que simplesmente com seções transversais individuais. Dessa forma, o autor mostra que a análise da geometria hidráulica de trechos tende a reduzir a variabilidade dos expoentes associados com a seleção da localização da seção transversal e com qualquer erro aleatório de medição.

Roy *et al.* (1988) relacionaram a geometria hidráulica e a velocidade do fluxo em uma confluência de dois rios (um tributário maior e outro menor) com o material do leito. Eles coletaram dados em duas seções transversais antes da confluência (uma seção em cada um dos tributários) e em duas seções após a confluência (uma bem próxima e outra um pouco a jusante). Os dados de velocidade foram medidos em sete condições e representam eventos desde os menores fluxos até o nível de margens plenas dos rios. Os autores observaram que a velocidade do fluxo aumenta quando passa pela confluência. Além disso, que esse aumento começa a ocorrer bem abaixo do nível de margens plenas e vai até um ponto em que a resistência oferecida pelo interior das margens é completamente desprezível. Concluíram que a aceleração do fluxo está associada com a geometria do plano da confluência, com as inclinações laterais dos canais, que permitem a convergência da água, e com uma redução da rugosidade do material do leito na confluência. Também que devido ao raio de curvatura do afluente e ao ângulo de entrada a energia do fluxo na confluência aumenta com o acréscimo do nível d'água.

### **3.4.11 Aplicações e usos da geometria hidráulica**

Jowett (1998) mostrou que a geometria hidráulica pode ser usada para prever se determinadas vazões de um rio fornecem habitat adequado dentro de níveis razoáveis de precisão. Com o uso de técnicas de simulação ele comparou as relações da geometria hidráulica de seção com poucas medições de profundidade e velocidade em rios na Nova Zelândia.

Gregory & Park (1974) aplicaram a teoria da geometria hidráulica para investigar mudanças de vazões e ajustes de um canal a jusante de um reservatório. Para isso estabeleceram relações da geometria hidráulica entre seção transversal e área de drenagem e entre vazão e área de drenagem. Essas relações foram previstas desde baixos fluxos até o nível de margens plenas. Observaram que a construção do reservatório ocasionou uma diminuição substancial da capacidade do canal à jusante da barragem. Estimaram que somente cerca de 54% da

capacidade do canal imediatamente abaixo da barragem é original sendo que o efeito desse ajuste a capacidade do canal persistiu por pelo menos 11 km. Além disso, as vazões dominantes com período de retorno de 1,5 e 2,33 anos foram estimadas em cerca de 40% do valor daquelas obtidas antes da construção do reservatório.

Williams *et al.* (2002) mostraram a utilidade da geometria hidráulica em projetos de restauração de rios em mangues. As relações da geometria hidráulica obtidas permitem estimar parâmetros de equilíbrio dos canais que podem ser úteis para prever a direção e a taxa de evolução dos sistemas de canais dos mangues.

Heede (1972) mostrou que geometria hidráulica pode ser utilizada como ferramenta de auxílio no manejo florestal. Para isso, mostrou a influência do crescimento da floresta na formação de degraus ao longo de cursos d'água. Observou também que o corte das florestas em locais de cursos d'água com fluxo em equilíbrio dinâmico e com movimentação significativa de material do leito deve ser minimizado. Isso porque a manutenção desse equilíbrio, por exemplo, ajuda a preservar a desova de peixes.

### **3.4.12 Estudo de geometria hidráulica no Brasil**

Latrubesse & Aquino (1998) avaliaram as relações da geometria hidráulica de seção e em direção à jusante nos rios Juruá e Purus, na Amazônia Sul - Ocidental. Os rios são do tipo encaixado com sedimentos coesivos e possuem em geral características similares de geologia, relevo, cobertura vegetal e clima. Os valores médios encontrados para os expoentes da geometria hidráulica de seção foram:  $b = 0,12$ ;  $f = 0,53$ ;  $m = 0,35$ . Esses resultados foram considerados compatíveis com dados de rios com meandros encaixados em sedimentos coesivos.

Fernandez & Bortoluzzi (2008) avaliaram a geometria hidráulica em rios de Marechal Cândido Rondon – PR. Para isso, relacionaram vazões em nível de margens plenas e vazões para um período de retorno de 1,58 anos com a área de drenagem. Foram obtidas fortes correlações entre essas variáveis. O uso de depósitos arenosos nos diques marginais (também conhecidos como barrancos de terra firme, até margem dos rios) com pouco entalhamento como um indicador do nível de margens plenas foi considerado confiável.

Aquino *et al.* (2005) avaliaram as relações da geometria hidráulica de seção no Rio Araguaia, principal sistema fluvial do Brasil

central. As relações de geometria hidráulica obtidas caracterizam o comportamento morfo-hidráulico do rio em alto, médio e baixo curso. Os valores médios para os expoentes foram:  $b = 0,03$ ;  $f = 0,50$ ;  $m = 0,46$ . Assim, esse estudo mostrou que com o aumento da vazão a largura se modifica pouco enquanto a profundidade e a velocidade se modificam significativamente. A conclusão foi que o alto, médio e baixo curso do Rio Araguaia possuem comportamento hidrológico e morfo-hidráulico diferentes que é explicado pela diferença do material do leito do rio ao longo do seu canal.

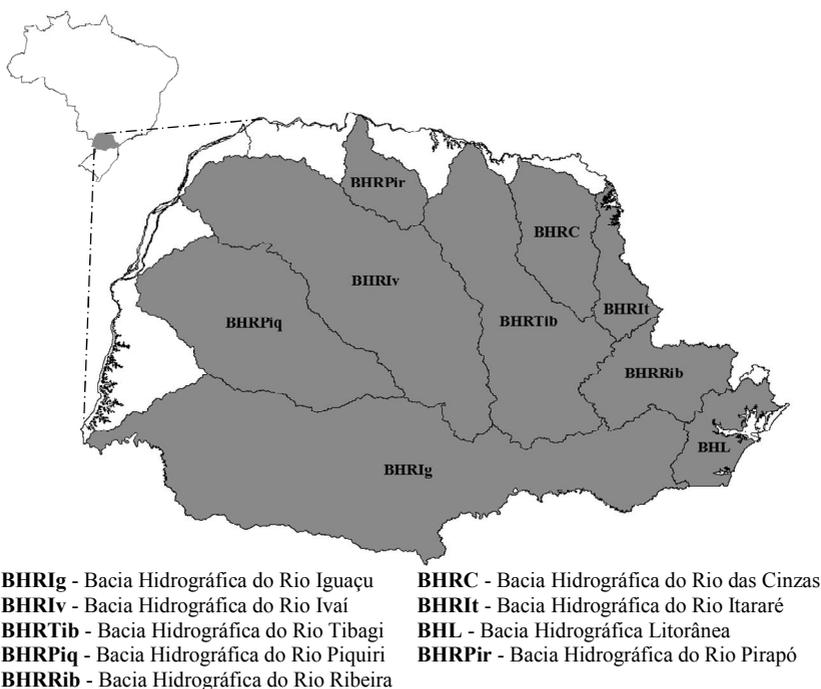
Thornes (1970) estabeleceu as relações da geometria hidráulica dos rios Xingu e Araguaia, no Estado do Mato Grosso. Ele observou que nas relações da geometria hidráulica de jusante apareceram descontinuidades entre os rios estudados. Uma possível explicação para essas descontinuidades poderia estar na instabilidade dos rios que por serem de cabeceira e por sofrerem desmatamento extensivo aumentam sua carga de sedimentos em suspensão.



## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo desse trabalho envolve nove bacias hidrográficas dentro do Estado do Paraná (Figura 4.1). Localizado na Região Sul do Brasil, o Estado do Paraná ocupa uma área de aproximadamente 199.314 km<sup>2</sup>.



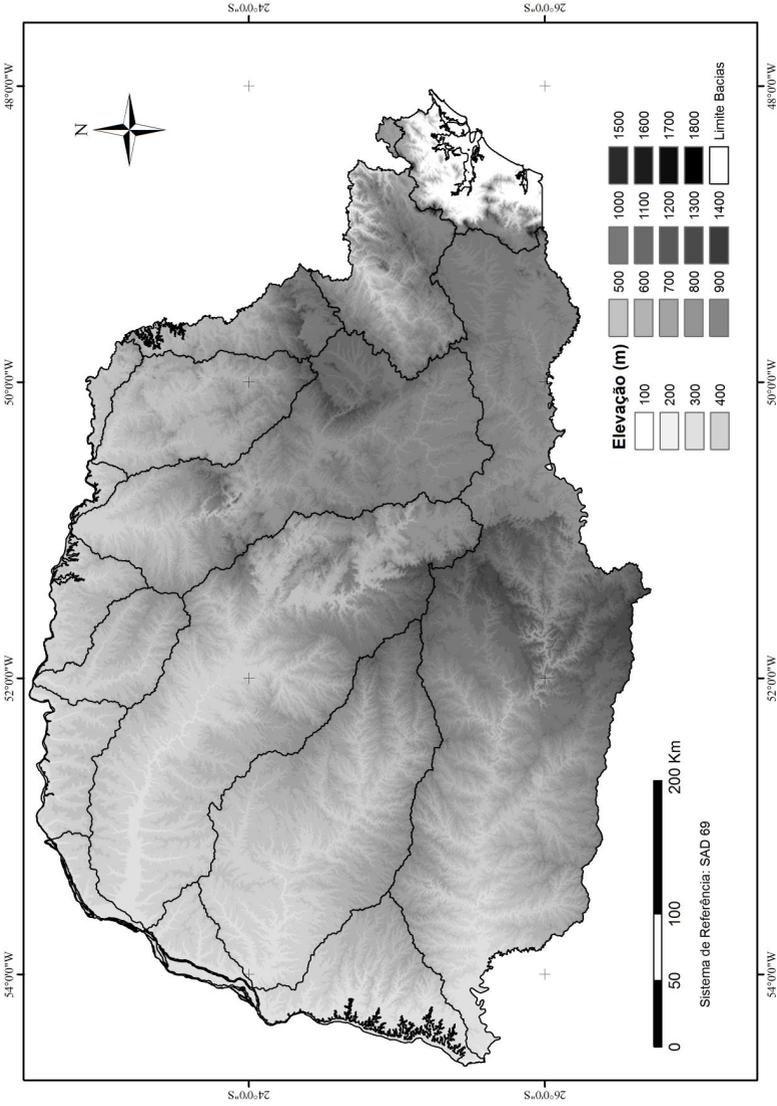
**Figura 4.1 - Localização das bacias de estudo no Estado do Paraná.**

A Figura 4.2 mostra o mapa altimétrico do Paraná. Neste mapa se observa uma grande variação de altitude sendo que as partes centrais possuem as maiores elevações. Também se observa que a maior parte das exutórias das bacias esta localizada nas direções norte e oeste.

O relevo do território paranaense caracteriza-se pela frequência de terrenos de baixada no litoral, onde predominam as planícies de aluvião, e a existência de planaltos e serras de formações rochosas

cristalinas, como a Serra do Mar. Em direção ao interior, nas regiões central e oeste, o relevo se divide em três tipos de planaltos distintos. O primeiro planalto, onde está localizada a cidade de Curitiba, capital do Estado, apresenta formações de rochas cristalinas; no segundo predominam as rochas sedimentares, folhetos, arenitos e calcários; e no terceiro planalto, onde estão quase 135 mil km<sup>2</sup> da área total do Estado, encontram-se formações geológicas basálticas que compõem os solos originados de rochas vulcânicas e os solos argilosos de rochas sedimentares.

A seguir serão descritas algumas características e particularidades das bacias de estudo. Muitas informações sobre essas bacias foram obtidas da série “Bacias Hidrográficas do Paraná – Uma Série Histórica” da Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA), entidade autárquica vinculada a Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA) do Estado do Paraná.



**Figura 4.2 – Mapa altimétrico das bacias de estudo (Fonte: CPRM).**

#### **4.1.1 Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu**

A Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu localiza-se principalmente ao Sul do Estado do Paraná (54.818 km<sup>2</sup>) e corresponde a aproximadamente 27,5% do território do estado. Essa bacia também se localiza ao norte do Estado de Santa Catarina (10.853 km<sup>2</sup>). Nas cabeceiras dessa bacia se encontra a região metropolitana de Curitiba, onde ocorrem intensas atividades industriais e comerciais, e no interior há predomínio da agropecuária. As formações geológicas apresentam-se bastante diversificadas, com predomínio da Serra Geral no terceiro planalto, Itararé no segundo planalto e Sedimentos Recentes no primeiro planalto.

O Rio Iguaçu é formado pelo encontro dos rios Iraí e Atuba e é o maior rio do estado do Paraná. Desde suas nascentes até a foz cruza os três planaltos paranaenses até desaguar no Rio Paraná, possuindo aproximadamente 1.320 km de comprimento. Segundo Curcio *et al.* (2007) o padrão de leito do Rio Iguaçu é do tipo misto, alternado em meandantes encaixados e livres (o que determina a presença de solos arenosos). De uma série de dados de 1943 a 2008 a vazão máxima observada no Rio Iguaçu, na estação Salto das Cataratas, próximo à foz, é de 37.181 m<sup>3</sup>/s no ano de 1983.

#### **4.1.2 Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí**

A Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí é a segunda maior bacia do Estado do Paraná (36.594 km<sup>2</sup>) e corresponde a aproximadamente 18,3% do território do estado. A atividade predominante nessa bacia é a agropecuária. As formações geológicas predominantes dessa bacia são Serra Geral e Depósitos Aluvionares.

O Rio Ivaí é formado pelo encontro do Rio dos Patos com o Rio Jordão e é o segundo maior rio em extensão do Estado do Paraná com 680 km de extensão.

Segundo Destefani (2005), o Rio Ivaí em seu percurso desenvolve um padrão bastante irregular mostrando-se sinuoso, configurando curvas irregulares e muitas vezes com quebras abruptas formando “cotovelos”. Essa sinuosidade apresenta uma maior ou menor amplitude e frequência que parece estar na dependência da geologia e geomorfologia da bacia. O padrão de canal do Rio Ivaí é definido como meandrante encaixado. De uma série de dados de 1975 a 2008 a vazão

máxima observada no Rio Ivaí, na estação Novo Porto Taquara, próximo à foz, é de 7.855 m<sup>3</sup>/s no ano de 1992.

#### **4.1.3 Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi**

A Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi (25.239 km<sup>2</sup>) corresponde a aproximadamente 12,6% do território do estado. A atividade predominante nessa bacia é a agropecuária. A bacia está distribuída no Segundo e Terceiro Planaltos Paranaenses, sendo que as cabeceiras de seus afluentes localizam-se no Primeiro Planalto. As formações geológicas predominantes dessa bacia são Serra Geral, Depósitos Aluvionares, Furnas e Ponta Grossa.

O Rio Tibagi tem aproximadamente 550 km de comprimento tendo suas nascentes localizadas na Serra das Almas, entre os municípios de Campo Largo, Ponta Grossa e Palmeira. Seu curso percorre o estado de sul para norte atravessando o segundo e o terceiro planalto paranaense até sua foz, na margem esquerda do Rio Paranapanema, fronteira entre os Estados do Paraná e São Paulo.

Segundo Martins (2008), os canais de drenagem do setor da Bacia Hidrográfica do Altíssimo Rio Tibagi abrangem a zona natural mais elevada de toda a bacia hidrográfica do Rio Tibagi com mais de 1.100 metros de altitude. Esses canais apresentam leitos do tipo “lajeados” e “cânions”. Os lajeados são caracterizados por aprofundamento pouco expressivo dos vales. Os “cânions” por expressiva dissecação vertical da estrutura rochosa, devido ao aproveitamento dos canais dos sistemas de falhas e fraturas presentes. De uma série de dados de 1932 a 2000 a vazão máxima observada no Rio Tibagi, na estação Jataizinho, próximo à foz, é de 6.828 m<sup>3</sup>/s no ano de 1937.

#### **4.1.4 Bacia Hidrográfica do Rio Piquiri**

A Bacia Hidrográfica do Rio Piquiri (24.731 km<sup>2</sup>), localizada na região oeste do Paraná, corresponde a aproximadamente 12,4% do território do estado. A bacia é caracterizada pela presença de afloramentos das Unidades Litoestratificadas: Formações Serra Geral, Caiuá e Depósitos Alúvio-fluviais. Essas unidades possuem grande potencial de produção de águas subterrâneas. A atividade econômica principal dessa bacia é a agropecuária.

Segundo Lima *et al.* (2004) a bacia possui uma produção específica de sedimentos em suspensão de 43 e 135 ton/km<sup>2</sup>/ano (classificação entre baixa e moderada) e o Rio Piquiri despeja em média 5000 ton/dia de sedimentos em suspensão no Rio Paraná.

O Rio Piquiri possui 485 km de extensão e nasce no terceiro planalto na região centro-sul do Paraná. É um dos principais afluentes da margem esquerda do Rio Paraná. De uma série de dados de 1970 a 2008 a vazão máxima observada no Rio Piquiri, na estação Balsa Santa Maria, próximo à foz, é de 6.258 m<sup>3</sup>/s no ano de 1992.

#### **4.1.5 Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira**

A Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira está localizada entre os Estados do Paraná e São Paulo. No Estado do Paraná a bacia possui uma área de aproximadamente 9.129 km<sup>2</sup> o que corresponde a 4,5% da área total do estado. Essa bacia faz parte do primeiro planalto paranaense sobre as unidades aquíferas Karst e Pré-Cambriana. Há predominância de florestas com araucária na parte norte e leste, com ocorrência de floresta atlântica e campos subtropicais a oeste. A atividade econômica principal dessa bacia é o turismo do Vale do Ribeira. As principais formações geológicas encontradas são Atuba Unidade Gnáissica, Capiru Unidade Metapelítica e Unidade Carbonítica, Granito Arrieiros, Quartzo Monzonito São Sebastião e Complexo Três Córregos.

O Rio Ribeira nasce na vertente leste da serra Paranapiacaba e possui uma extensão de aproximadamente 470 km, dos quais 220 km estão no estado paranaense. De uma série de dados de 1937 a 2008 a vazão máxima observada no Rio Ribeira, na estação Capela da Ribeira, próximo à foz, é de 3.115 m<sup>3</sup>/s no ano de 1937.

#### **4.1.6 Bacia Hidrográfica do Rio das Cinzas**

A Bacia Hidrográfica do Rio das Cinzas (9.658 km<sup>2</sup>) está localizada no nordeste do estado paranaense e corresponde a 4,8% do seu território. A bacia está sobre os aquíferos Serra Geral Norte, Guarani, Paleozoica Superior e Paleozoica Médio-Superior. Nela encontra-se o Parque Estadual Mata São Francisco, entre os municípios Cornélio Procópio e Santa Mariana. A principal atividade econômica da bacia é a agropecuária. As principais formações geológicas encontradas são Serra Geral, Itararú e Rio do Rasto.

O Rio das Cinzas nasce na Serra Furnas e até sua foz no Rio Paranapanema possui um comprimento de aproximadamente 240 km. É considerado o principal curso d'água do Norte Pioneiro do Paraná. De uma série de dados de 1933 a 2008 a vazão máxima observada no Rio das Cinzas, na estação Andirá, próximo à foz, é de 1.681 m<sup>3</sup>/s no ano de 1990.

#### **4.1.7 Bacia Hidrográfica do Rio Itararé**

A Bacia Hidrográfica do Rio Itararé (5.187 km<sup>2</sup>) está localizada no leste do estado paranaense e corresponde a 2,6% do seu território. Na sua porção norte a bacia está sobre os aquíferos Guarani, Paleozoico Superior, Média e Inferior. Na porção sul sobre os aquíferos Karst e Pré-Cambriano. As principais formações geológicas encontradas são Itararé e Furnas.

O Rio Itararé faz divisa entre os estados do Paraná e São Paulo e conta com o Rio Jaguariaíva como principal afluente. A principal atividade da bacia é o reflorestamento. De uma série de dados de 1932 a 1970 a vazão máxima observada no Rio Itararé, na estação Salto do Itararé, próximo à foz, é de 752 m<sup>3</sup>/s no ano de 1936.

#### **4.1.8 Bacia Hidrográfica Litorânea**

A Bacia Hidrográfica Litorânea (5.766 km<sup>2</sup>) possui uma cobertura original composta por Floresta Ombrófila Densa. Somadas às áreas do litoral sul do Estado de São Paulo a bacia é o maior remanescente contínuo de Floresta Atlântica do Brasil. Segundo Kobiyama *et al.* (2001), a preservação dessa floresta confere a região algumas características peculiares como biodiversidade, ecoturismo, área de proteção ambiental, entre outros. Nessa bacia também se encontram morros cristalinos e o relevo da Serra do Mar. As formações geológicas são bastante diversificadas. Entre elas podem-se citar Depósitos Litorâneos Indiferenciados, Depósitos Aluvionares, Complexo Granulítico SC, Granito Morro Inglês e Serra Negra.

Os rios dessa bacia nascem nas encostas da Serra do Mar e dirigem-se para o oceano. O principal deles é o Rio Nhundiaquara com aproximadamente 30 km. De uma série de dados de 1939 a 2008 a vazão máxima observada no Rio Nhundiaquara, na estação Morretes, próximo à foz, é de 250 m<sup>3</sup>/s no ano de 1995.

#### 4.1.9 Bacia Hidrográfica do Rio Pirapó

A Bacia Hidrográfica do Rio Pirapó (5.025 km<sup>2</sup>) se localiza no terceiro planalto paranaense. O Rio Pirapó, principal rio dessa bacia, nasce no município de Apucarana a 1000 de altitude e corre em direção norte até percorrer 168 km até a foz no Rio Paranapanema. Parte da bacia está inserida na formação Caiuá e parte na formação Serra Geral, que são as unidades aquíferas da bacia. A agricultura é uma das principais atividades econômicas da bacia.

De uma série de dados de 1952 a 1963 a vazão máxima observada no Rio Pirapó, na estação Fazenda Irmãos Sasaki, próximo à foz, é de 490 m<sup>3</sup>/s no ano de 1956.

A Tabela 4.1 mostra os valores de área, vazão máxima histórica e um resumo das características litológicas de todas as bacias de estudo.

**Tabela 4.1 – Caracterização das bacias de estudo.**

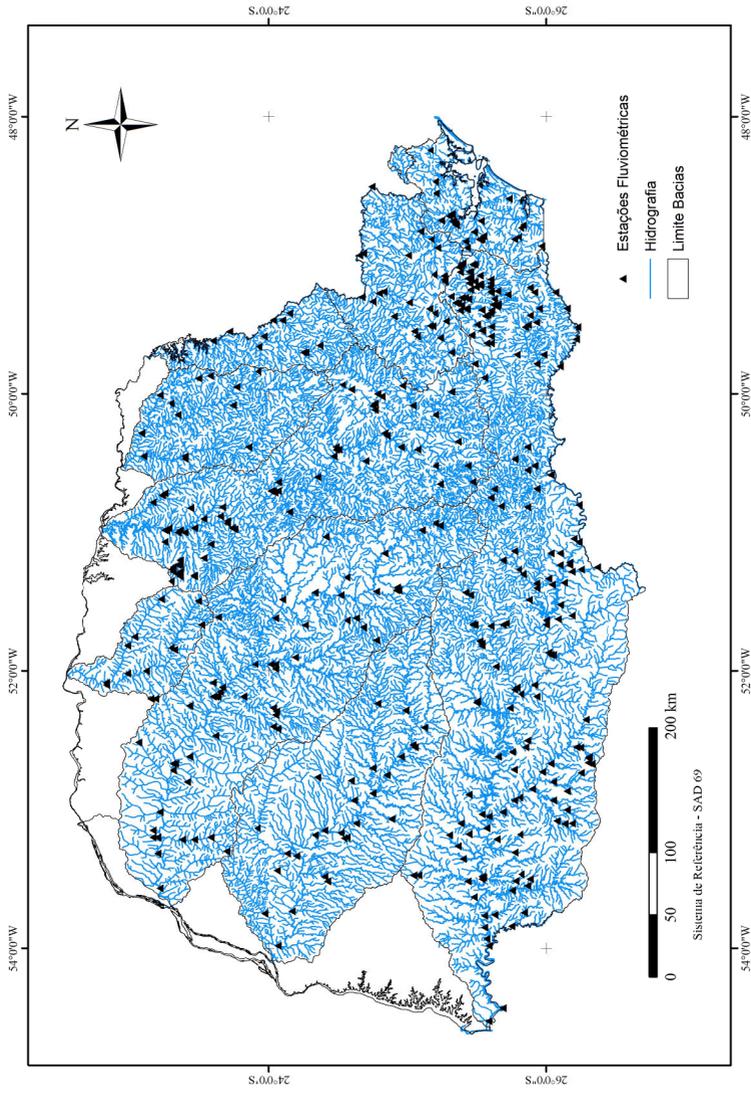
Nome	Área (km <sup>2</sup> )	Vazão máxima (m <sup>3</sup> /s)	Litologia
Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu	54.818	37.181	Serra Geral, Itararé, Sedimentos Recentes
Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí	36.594	7.855	Serra Geral, Depósitos Aluvionares
Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi	25.239	6.828	Serra Geral, Depósitos Aluvionares, Furnas, Ponta Grossa
Bacia Hidrográfica do Rio Piquiri	24.731	6.258	Serra Geral, Caiuá. Depósitos Alúvio-fluviais
Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira	9.129	3.115	Atuba Unidade Gnáissica, Capiru Unidade Metapelítica e Unidade Carbonítica, Granito Arrieiros, Quartzo Monzonito São Sebastião, Complexo Três Córregos
Bacia Hidrográfica do Rio das Cinzas	9.658	1.681	Serra Geral, Itararé, Rio do Rasto
Bacia Hidrográfica do Rio Itararé	5.187	752	Itararé, Furnas
Bacia Hidrográfica Litorânea	5.766	250	Depósito Litorâneos Indiferenciados, Depósitos Aluvionares, Complexo Granulítico SC, Granito Morro Inglês, Serra Negra
Bacia Hidrográfica do Rio Pirapó	5.025	490	Caiuá, Serra Geral

## 4.2 BANCO DE DADOS FLUVIOMÉTRICOS

Os dados utilizados nesse estudo foram todos obtidos pela Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA). Foram selecionadas todas as estações fluviométricas de nove bacias do Estado do Paraná, que estão sob os cuidados operacionais da SUDERHSA. Cada estação é identificada por um código padronizado pela Agência Nacional de Águas (ANA). Para cada estação foram obtidos bancos de dados de curva-chave, medições de vazão, seções transversais e série histórica de cotas. A Figura 4.3 mostra um mapa de localização de todas as estações utilizadas.

Além das estações da Figura 4.3 também foram consideradas duas estações da SUDERHSA que estão localizadas no Estado de Santa Catarina.

Devido às falhas encontradas no banco de dados não foi possível utilizar todas as estações disponibilizadas pela SUDERHSA. O Anexo 01 mostra os códigos das estações utilizadas em cada bacia de estudo.

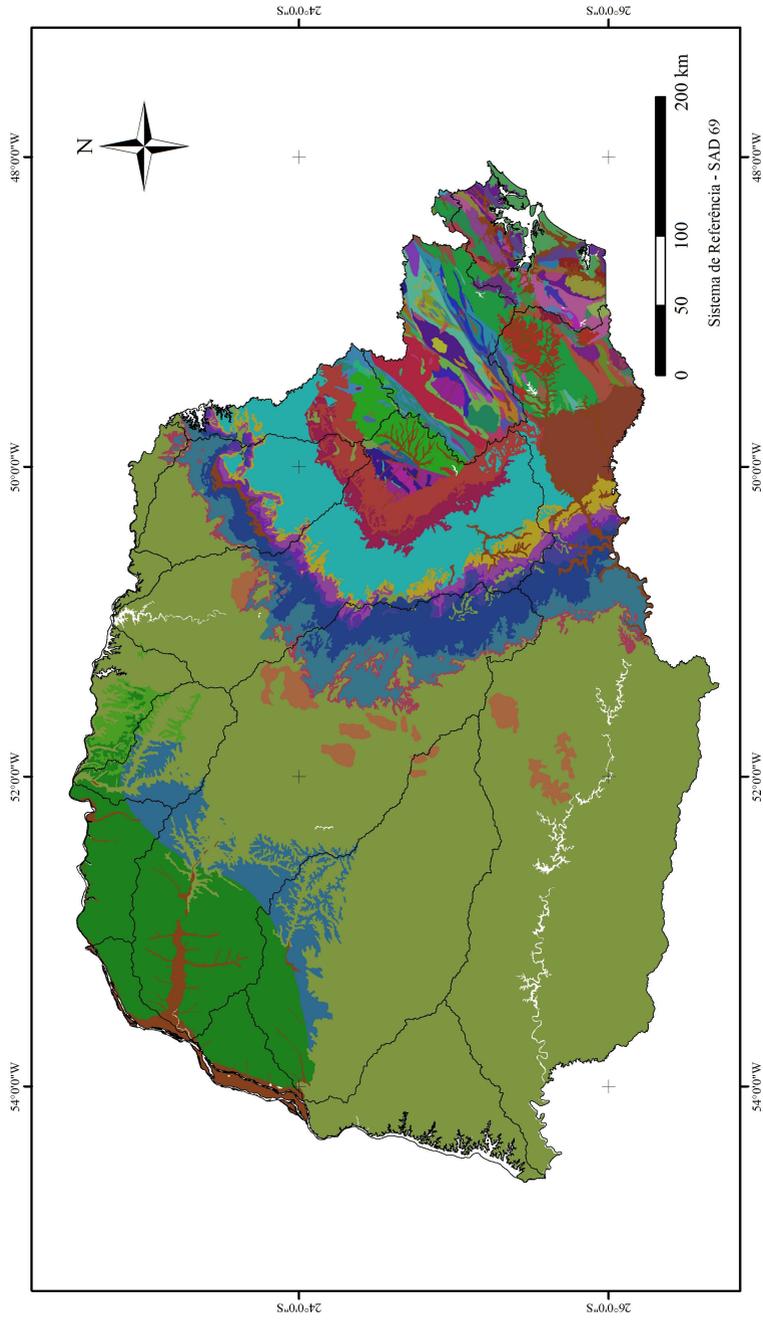


**Figura 4.3 – Localização das estações fluvimétricas utilizadas para o estudo de geometria hidráulica.**

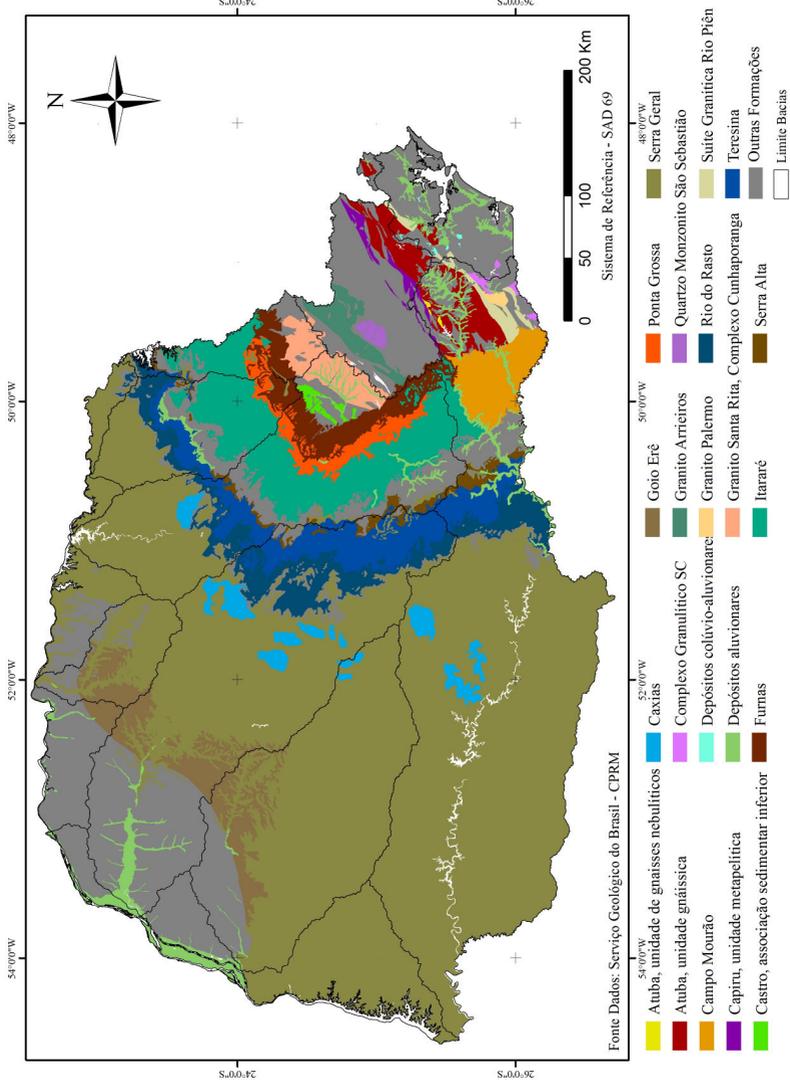
### 4.3 GEOLOGIA

As bacias de estudo possuem ampla variedade de formações geológicas. Com base em Bizzi *et al.* (2003) e no mapa geológico, elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), foram identificados 143 tipos de formações geológicas entre as nove bacias. As maiores variações geológicas ocorrem nas porções média e superior das bacias estudadas.

Com um mapa geológico (Figura 4.4) foi feita a identificação do tipo de formação geológica em que se encontra inserida cada estação fluviométrica considerada para o estudo. Entre as varias formações geológicas algumas foram descartadas devido a pouca ou nenhuma estação localizada nessas formações. Assim, foram selecionados 22 tipos de formação geológica (Figura 4.5).



**Figura 4.4 – Mapa geológico das bacias de estudo (Fonte: CPRM).**



**Figura 4.5 – Formações geológicas consideradas nas bacias de estudo (Fonte: CPRM).**

A Tabela 4.2 mostra as formações selecionadas com seus respectivos tipos de rocha e classe.

**Tabela 4.2 – Formações geológicas selecionadas para análise de geometria hidráulica.**

<b>Formação geológica</b>	<b>Litologia</b>	<b>Classe</b>
Atuba, unidade de gnaisses nebulíticos	Gnaisse, Hornblenda Gnaisse, Biotita Gnaisse	Metamórfica
Atuba, unidade gnáissica	Gnaisse, Migmatito, Hornblenda Gnaisse, Gnaisse Tonalítico, Biotita Gnaisse	Metamórfica
Campo Mourão	Arenito, Folhelho	Sedimentar
Capiru, unidade metapelítica	Filito, Metarenito Quartzoso, Metarrimito, Metassiltito	Metamórfica
Castro Associação Sedimentar Inferior	Arenito Arcoseano, Lamito, Siltito	Sedimentar
Caxias	Riodacito	Ígnea
Complexo Granulítico Santa Catarina - Unidade de rochas orto e paraderivadas	Gnaisse, Granulito, Gnaisse Granulítico	Metamórfica
Depósitos Colúvio-Aluvionares	Areia, Argila, Cascalho	Sedimentar
Depósitos Aluvionares	Areia, Cascalho	Sedimentar
Furnas	Arenito	Sedimentar
Goio Eru	Arenito	Sedimentar
Granito Arrieiros	Granodiorito, Monzogranito	Ígnea
Granito Palermo	Monzogabro, Quartzo-Monzonito, Quartzo-Sienito, Sienomonzogranito	Ígnea
Granito Santa Rita, Complexo Cunhaporanga	Monzogranito	Ígnea
Itararu	Arenito, Diamictito, Folhelho, Ritmito	Sedimentar
Ponta Grossa	Folhelho, Arenito Fino	Sedimentar
Quartzo Monzonito São Sebastião, Complexo Três Córregos	Quartzo-Monzonito	Ígnea
Rio do Rasto	Argilito, Argilito Siltico, Siltito	Sedimentar
Serra Alta		
Serra Geral	Basalto, Dacito	Ígnea
Suíte Granítica Rio Pien Granitoides	Granodiorito, Monzogranito, Quartzo-Monzodiorito	Ígnea
Teresina	Siltito Argiloso	Sedimentar

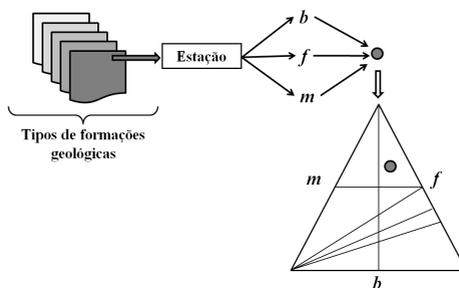
## 4.4 GEOMETRIA HIDRÁULICA

### 4.4.1 Em uma determinada seção transversal

Para a análise da geometria hidráulica das seções transversais foram selecionadas 448 estações em 214 rios das bacias de estudo. Para cada estação foi utilizado um arquivo de medições de vazão que é composto pelas variáveis cota, vazão, velocidade, área molhada, profundidade média e largura correspondentes a cada medição. Assim, as variáveis, velocidade, profundidade média e largura foram plotadas em função da vazão e por meio de uma regressão linear simples foram obtidos os expoentes e coeficientes das relações da geometria hidráulica (Equações 3.6, 3.7 e 3.8). As relações da geometria hidráulica relacionadas ao transporte de sedimentos (Equação 3.9) e a declividade superficial da água (Equação 3.10) não foram consideradas nesse trabalho.

### 4.4.2 Efeito geológico na geometria hidráulica de seção

A análise do efeito geológico na geometria hidráulica das estações fluviométricas foi feita pela interpretação de diagramas triaxiais conforme o modelo proposto por Rhodes (1977). Por meio da aplicação da teoria da geometria hidráulica de seção transversal foram gerados os expoentes  $b$ ,  $f$  e  $m$  das Equações 3.6, 3.7 e 3.8 para cada estação fluviométrica. Após isso, as estações com seus respectivos expoentes foram agrupadas por tipo de formação geológica e por classe geológica. Para cada grupo foi criado um diagrama triaxial. A Figura 4.6 mostra um esquema de como foi criado cada diagrama.



**Figura 4.6 - Esquema de análise do efeito geológico na geometria hidráulica das estações fluviométricas.**

#### 4.4.3 Em direção à jusante

A análise da geometria hidráulica em direção à jusante foi realizada nos rios principais das bacias de estudo. Porém, apenas os rios Cinzas, Ivaí, Piquiri, Ribeira, Tibagi e Iguaçu tiveram quantidade suficiente de estações para esse tipo de análise. Os demais rios foram descartados.

Para cada rio principal foram selecionadas suas estações e para cada estação foi calculada uma vazão dominante com base em um período de retorno. Para obtenção dessa vazão primeiramente foi feita uma análise de frequência de vazões máximas anuais, conforme o método proposto por Dalrymple (1960). Com arquivos contendo séries históricas de vazões máximas anuais de cada estação ordenou-se cada vazão da maior para a menor e um tempo de retorno para cada vazão máxima foi calculado conforme Equação 3.1. Após isso, plotaram-se as vazões máximas em função de seus respectivos períodos de retorno e estabeleceu-se uma regressão linear simples. Com a equação da regressão foi calculada a vazão dominante para um período de retorno de 1,58 anos (Dury *et al.*, 1963; Hickin, 1968; Dury, 1973 e 1976; Riley, 1976).

Com uma tabela de cota-vazão de cada estação foi identificada a cota correspondente à vazão com período de retorno de 1,58 anos. Com um arquivo contendo as variáveis hidráulicas de cada seção transversal foi identificada a área molhada, largura e profundidade média (razão da área molhada pela largura) para cada cota correspondente a vazão com período de retorno de 1,58 anos. A velocidade foi calculada pela razão entre a vazão e a área molhada. Depois de obtidas todas as variáveis hidráulicas foi feita a análise de geometria hidráulica de jusante pelo método proposto por Leopoldo & Maddock (1953). A Figura 4.7 mostra um fluxograma dessa análise em direção à jusante do rio.

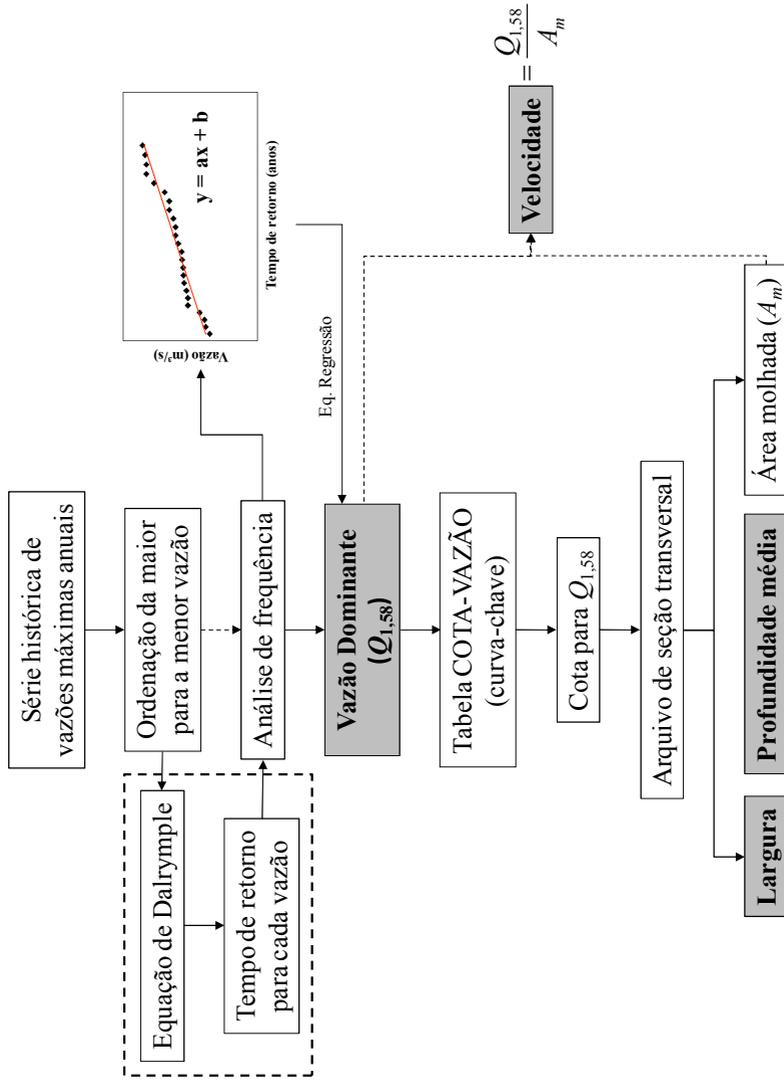


Figura 4.7 - Esquema de análise da geometria hidráulica em direção à jusante do rio.

Sabe-se que em direção à jusante de um rio a vazão aumenta. O motivo é que a área de drenagem da bacia hidrográfica também aumenta. Sabe-se também que a área de uma bacia é uma variável que pode ser medida mais facilmente do que uma determinada vazão de um rio. Por causa dessa facilidade e devido a sua variação em direção à jusante a área de drenagem é muitas vezes utilizada nas relações da geometria hidráulica no lugar de uma vazão com determinado período de retorno. Para verificar a correlação entre as áreas de drenagem e as vazões com período de retorno de 1,58 anos os valores das áreas de drenagem foram plotados em função dos valores de vazão.

Como os ajustes ao longo do canal são controlados pelas variáveis da geometria hidráulica, a área da seção transversal pode ser uma variável indicadora da capacidade do canal quando em nível de margens plenas (Park, 1978). Por causa desse fato foi investigada a relação entre as áreas das seções transversais ao longo dos rios em nível de margens plenas e a área de drenagem correspondente a cada seção.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 ANÁLISE DA GEOMETRIA HIDRÁULICA DE SEÇÃO TRANSVERSAL**

A Figura 5.1 mostra os gráficos resultantes dessa análise de geometria hidráulica de seção. Devido à grande quantidade de estações avaliadas (448 estações), optou-se por mostrar os gráficos de ajuste de apenas duas estações de cada bacia.

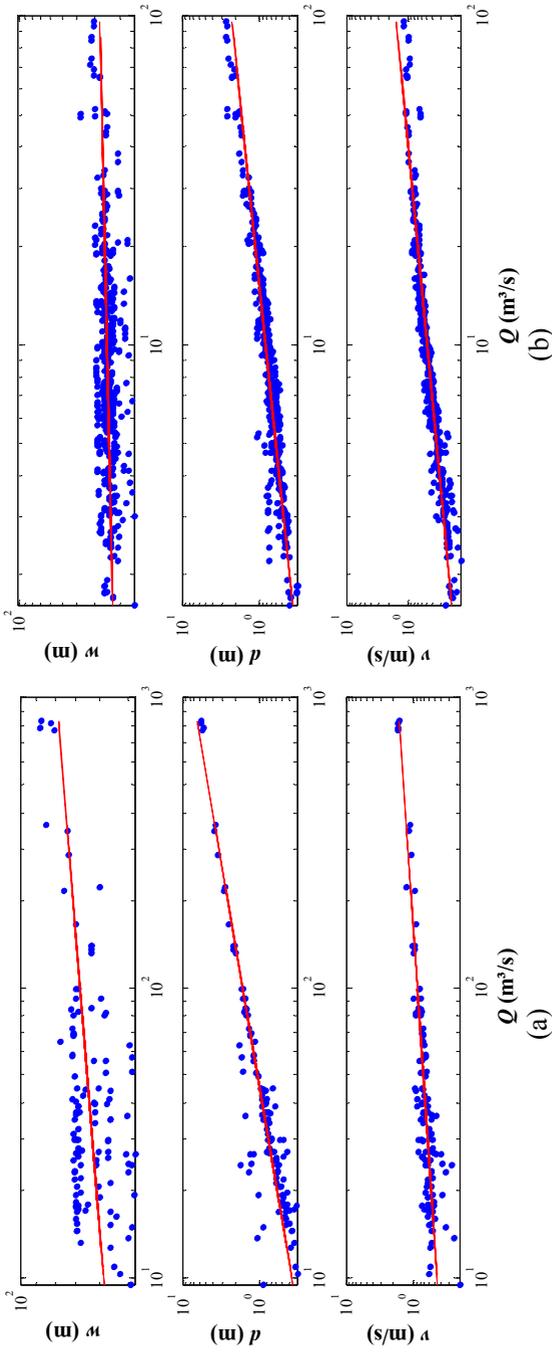


Figura 5.1 – Geometria hidráulica de algumas estações das bacias de estudo. (a) 64362000-Cinzas; (b) 64380000-Cinzas; (c) 64230500-Itararé; (d) 64245000-Itararé; (e) 64660500-Ivaí; (f) 64682000-Ivaí; (g); 82002000-Litorânea; (h) 82170000-Litorânea; (i) 64799500-Piquiri; (j) 64771500-Piquiri; (k) 64546900-Pirapó; (l) 64547000-Pirapó; (m) 81080000-Ribeira; (n) 81335000-Ribeira; (o) 64465000-Tibagi; (p) 64502000-Tibagi; (q) 65025000-Iguaçu; (r) 65365800-Iguaçu.

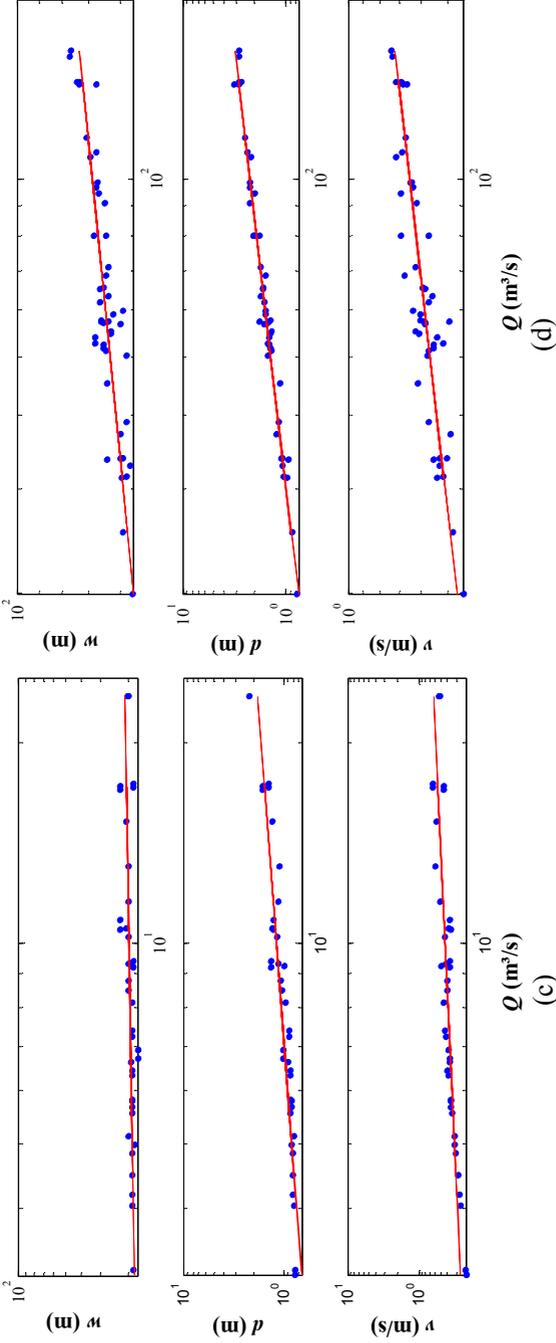


Figura 5.1 – (Continuação)

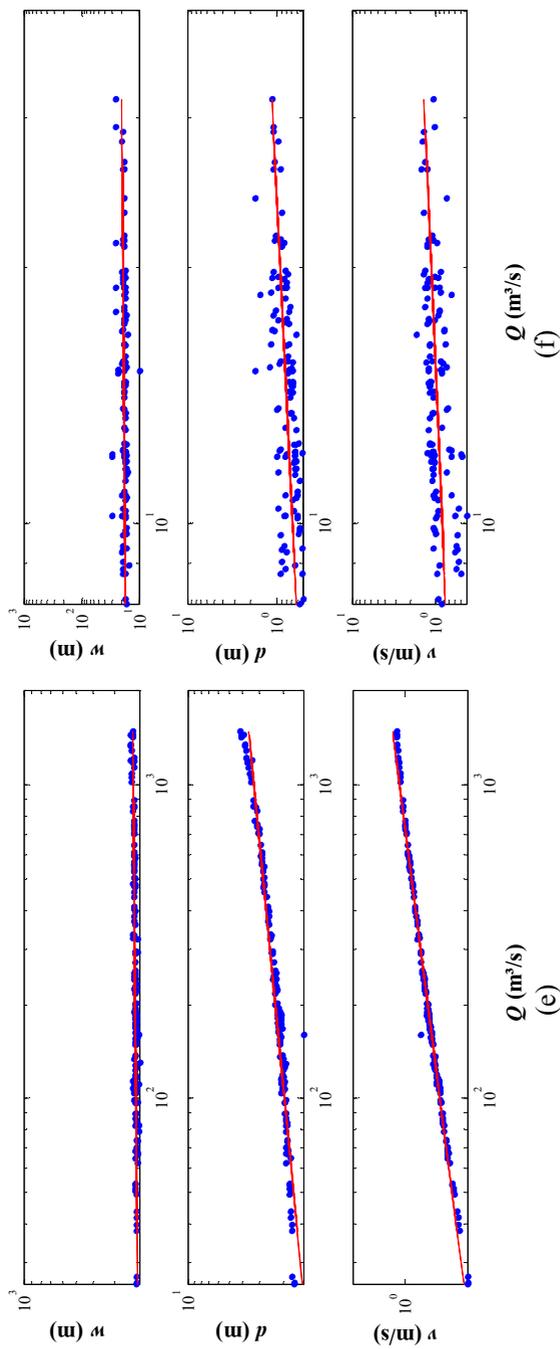


Figura 5.1 – (Continuação)

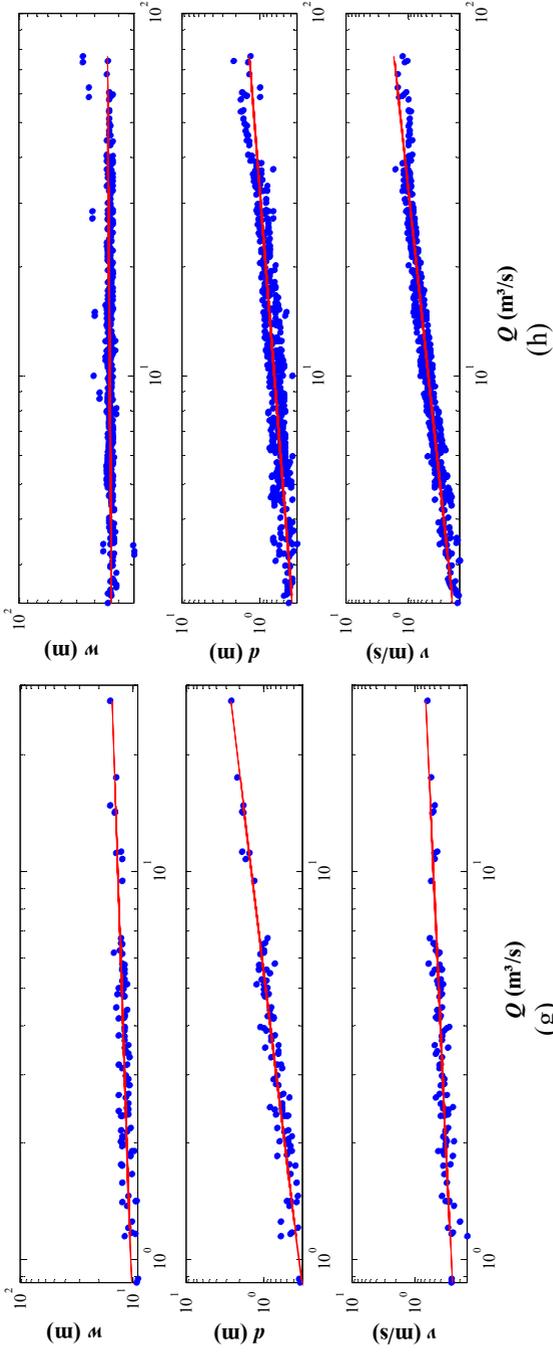


Figura 5.1 – (Continuação)

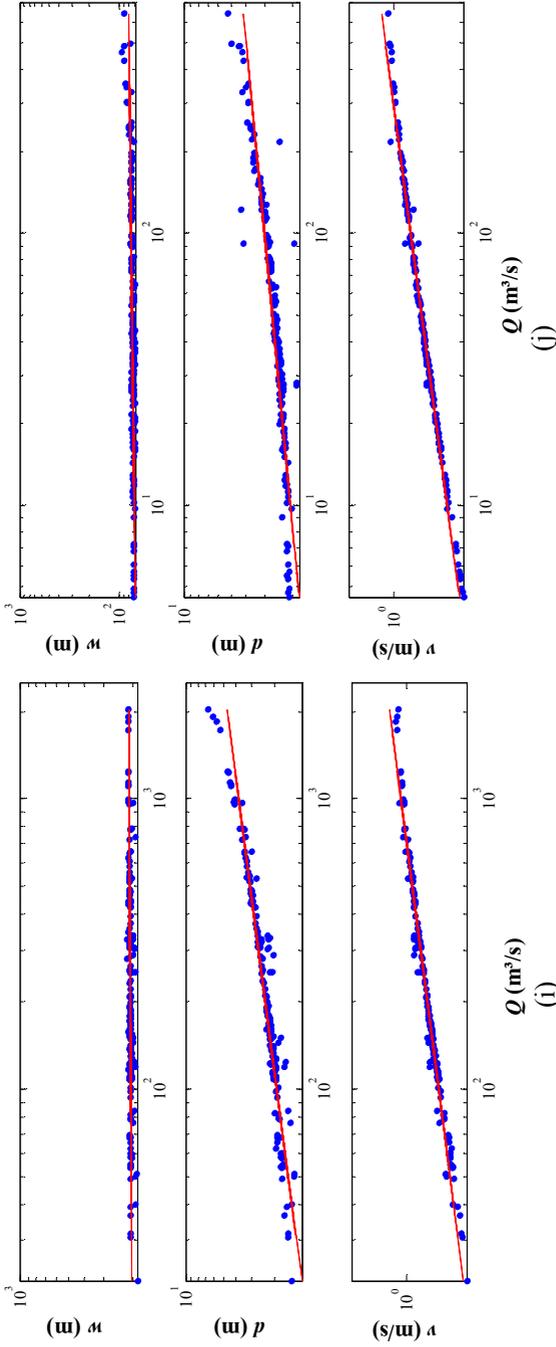


Figura 5.1 – (Continuação)

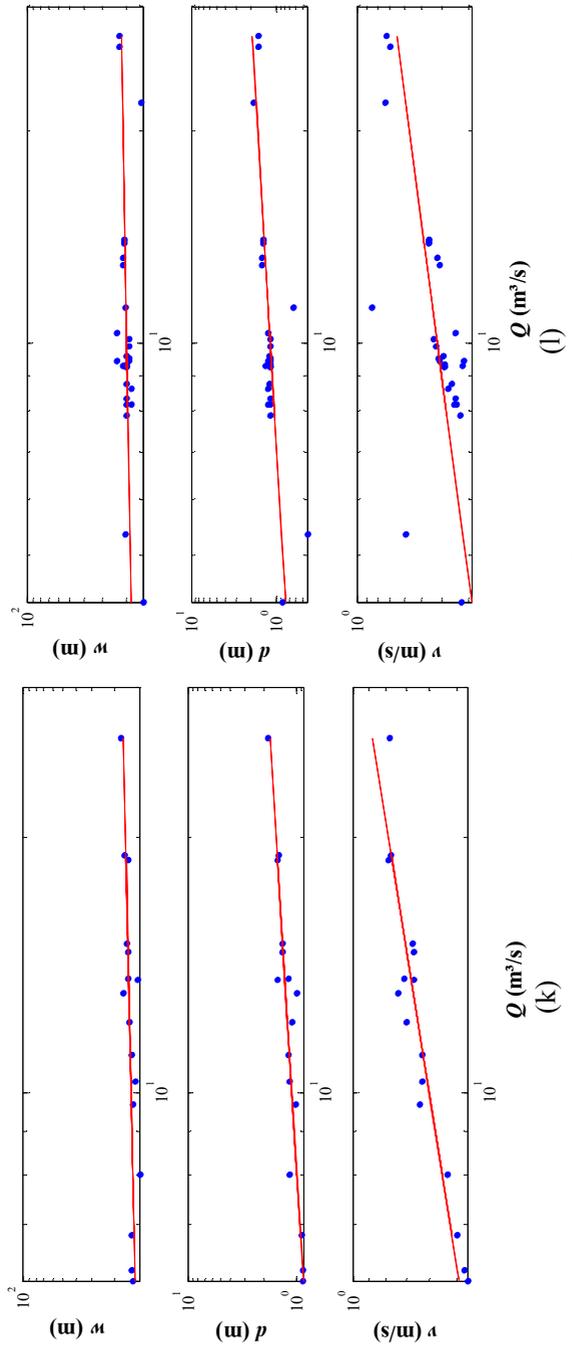


Figura 5.1 – (Continuação)

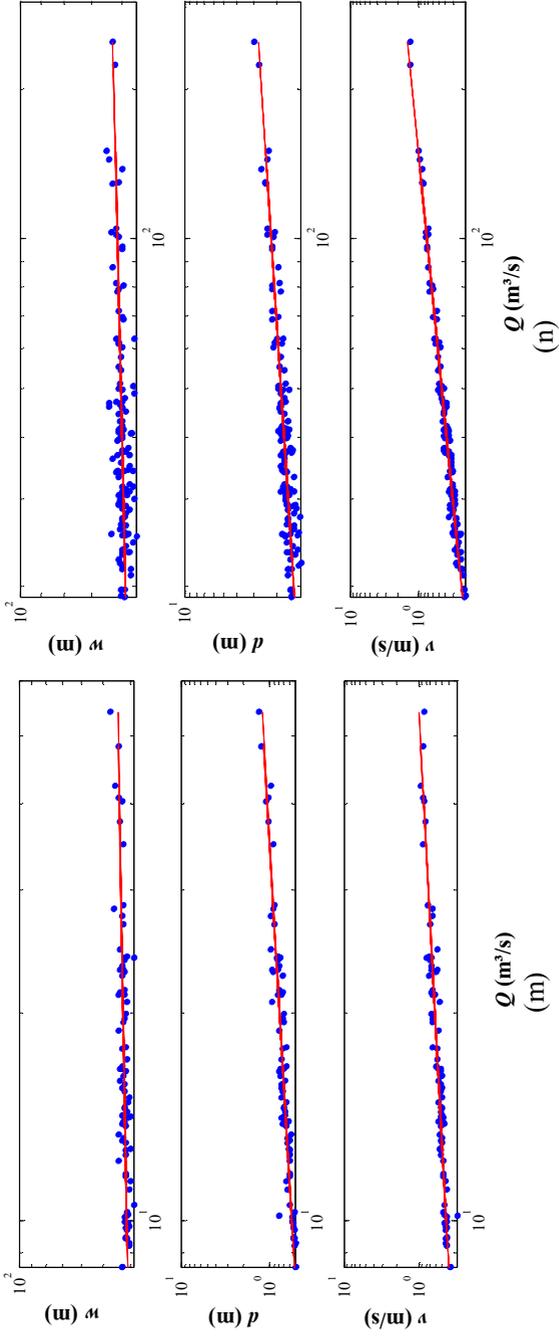


Figura 5.1 – (Continuação)

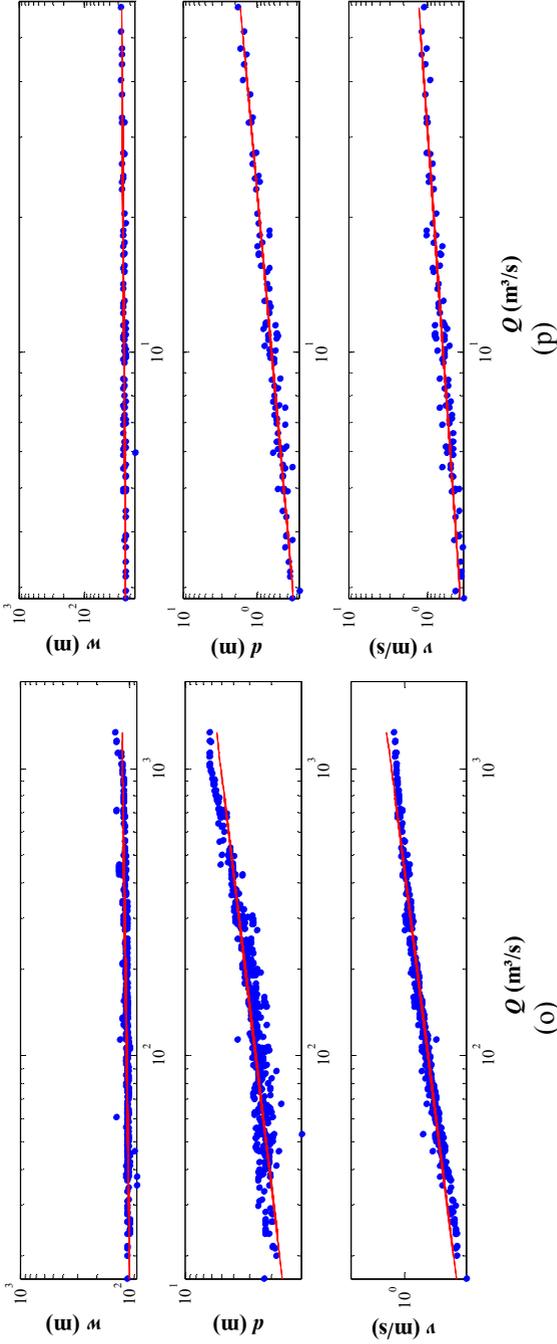


Figura 5.1 – (Continuação)

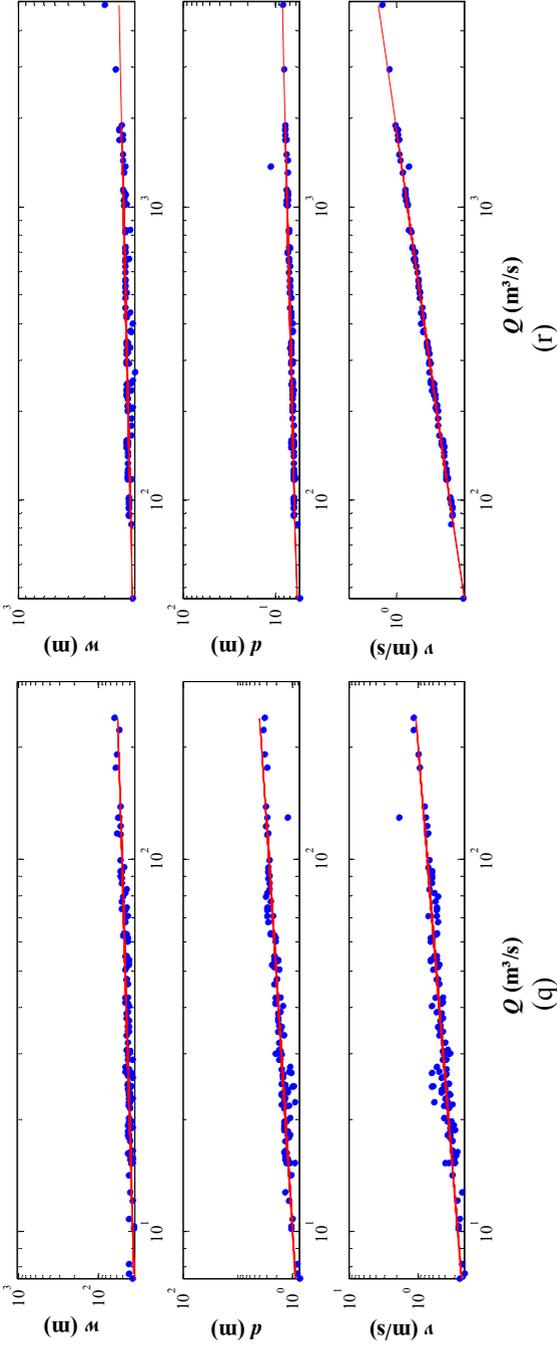
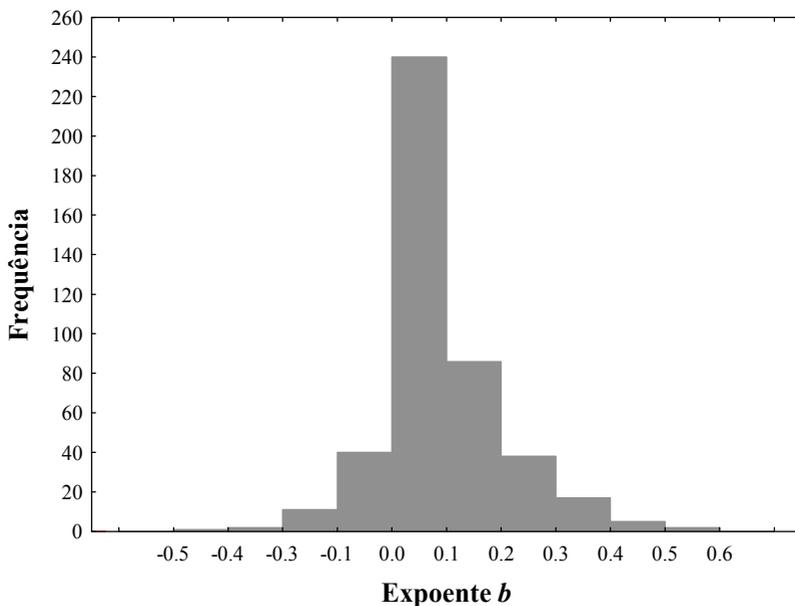


Figura 5.1 – (Continuação)

O Anexo mostra os valores dos expoentes  $b$ ,  $f$ , e  $m$ , sua soma  $b + f + m$ , os coeficientes  $a$ ,  $c$  e  $k$  e seu produto  $a \cdot c \cdot k$  encontrados para cada estação fluviométrica analisada. A Tabela 5.1 mostra o valor médio, mínimo, máximo, a mediana e a moda dos expoentes. Nessa tabela também se observa o número de estações consideradas para a obtenção desses valores estatísticos. No caso do expoente  $b$  algumas estações foram descartadas devido à presença de valores negativos muito grandes, que podem ocorrer devido a erros dos dados. Para os expoentes  $f$  e  $m$  todas as estações foram consideradas. As Figuras 5.2, 5.3 e 5.4 mostram os histogramas de frequência dos expoentes  $b$ ,  $f$  e  $m$ .

**Tabela 5.1 – Valores estatísticos dos expoentes das relações da geometria hidráulica de seção.**

	Número	Média	Mediana	Moda	Mínimo	Máximo
$b$	442	0,08	0,05	0,19	-0,45	0,54
$f$	448	0,36	0,35	0,26	-1,71	1,71
$m$	448	0,54	0,54	0,53	-0,97	2,37



**Figura 5.2 - Histograma de frequência do expoente  $b$ .**

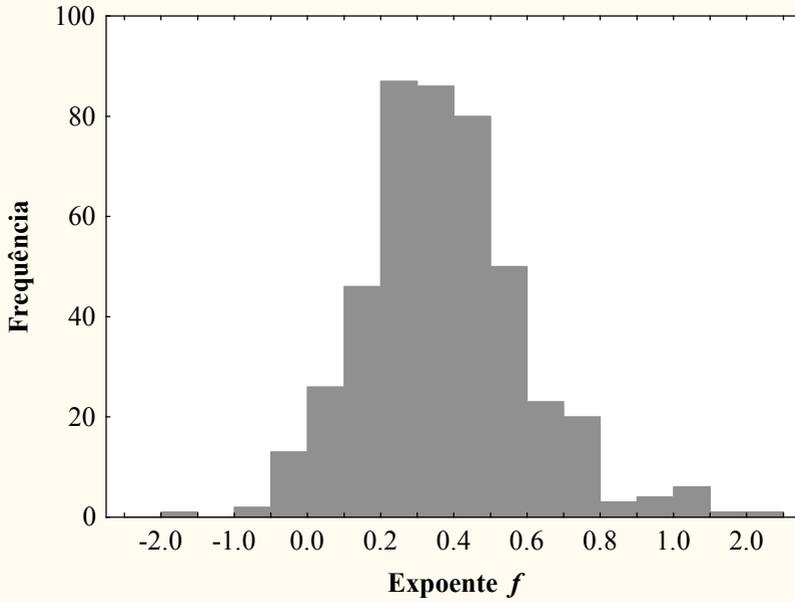


Figura 5.3 - Histograma de frequência do expoente  $f$ .

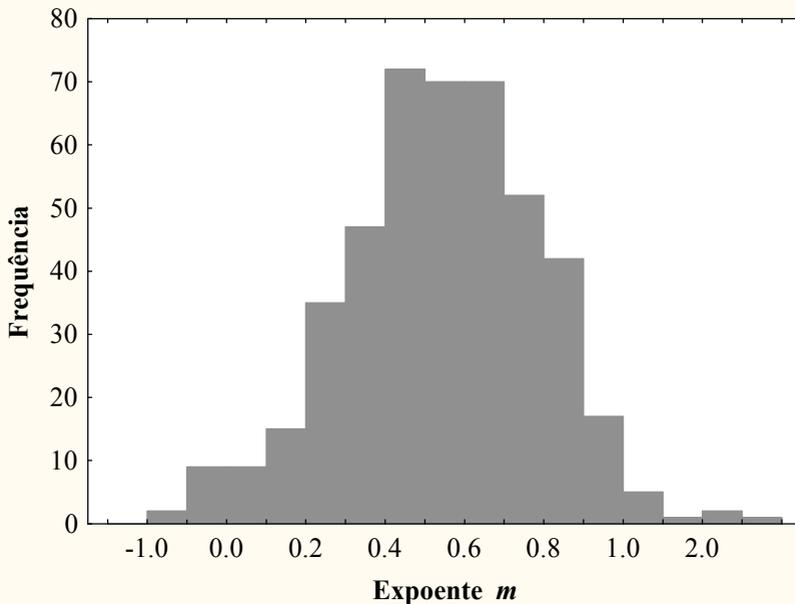


Figura 5.4 - Histograma de frequência do expoente  $m$ .

Nos histogramas acima se observa que os expoentes são normalmente distribuídos. As maiores frequências dos expoentes  $b$ ,  $f$  e  $m$  ocorrem nos intervalos de 0,0 a 0,1, 0,2 a 0,5 e 0,4 a 0,7 respectivamente, próximas aos valores médios.

Park (1977), em uma pesquisa feita em trabalhos publicados desde 1953 encontrou os intervalos de 0,0 a 0,59, 0,06 a 0,73 e 0,07 a 0,71 para  $b$ ,  $f$  e  $m$  respectivamente e as maiores frequências desses expoentes ocorreram nos intervalos de 0,0 a 0,2, 0,3 a 0,5 e 0,2 a 0,5 respectivamente.

Hadadin & Bdour (2005) analisaram 7 seções de um canal incisivo, formado por degradação geológica, e encontraram os valores médios  $b = 0,09$ ;  $f = 0,58$ ; e  $m = 0,33$ .

## 5.2 ANÁLISE GEOLÓGICA

A Figura 5.5 mostra os gráficos triaxiais resultantes do agrupamento dos expoentes  $b$ ,  $f$  e  $m$  por formação geológica.

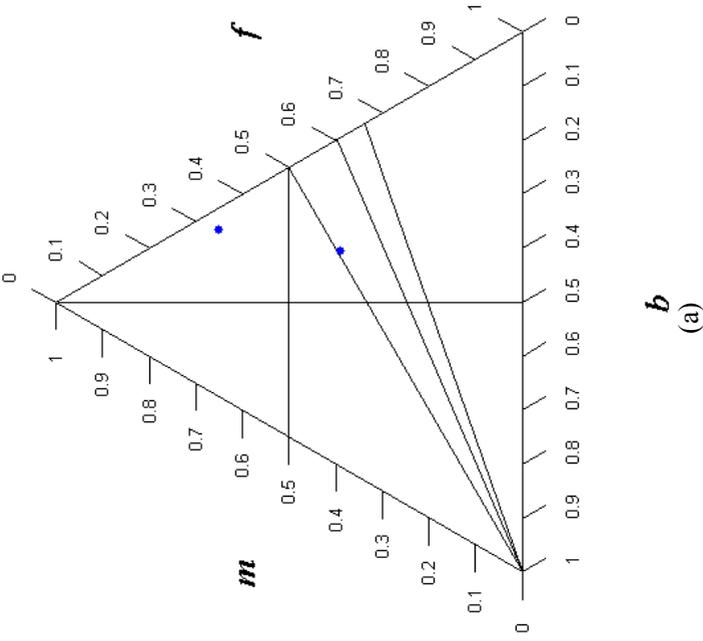


Figura 5.5 - Gráficos triaxiais resultantes do agrupamento dos expoentes  $b$ ,  $f$  e  $m$  por formação geológica. (a) Atuba Unidade de Gnaisses Nebulíticos; (b) Atuba Unidade Gnáissica; (c) Campo Mourão; (d) Capiru Unidade Metapelítica; (e) Castro Associação Sedimentar Inferior; (f) Caxias; (g) Complexo Granulítico SC - Unidade de Rochas Orto e Paraderivadas; (h) Depósitos Colúvio-Aluvionares; (i) Depósitos Aluvionares; (j) Furnas; (k) Goio Ere; (l) Granito Arrieiros; (m) Granito Palermo; (n) Granito Santa Rita - Complexo Cunhaporanga; (o) Itararú; (p) Ponta Grossa; (q) Quartzito Monzonito São Sebastião - Complexo Três Córregos; (r) Rio do Rasto; (s) Serra Alta; (t) Serra Geral; (u) Suíte Granítica Rio Pien Granitoides; (v) Teresina; (x) Média total.

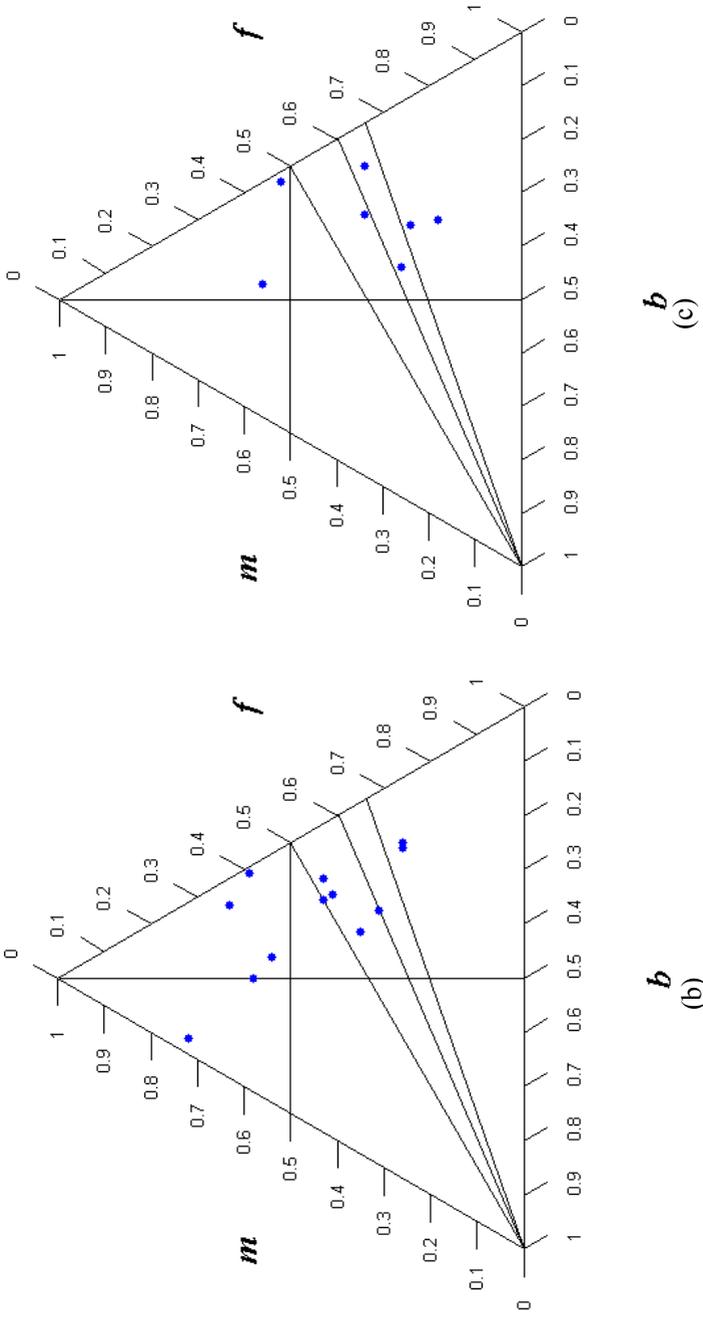


Figura 5.5 – (Continuação)

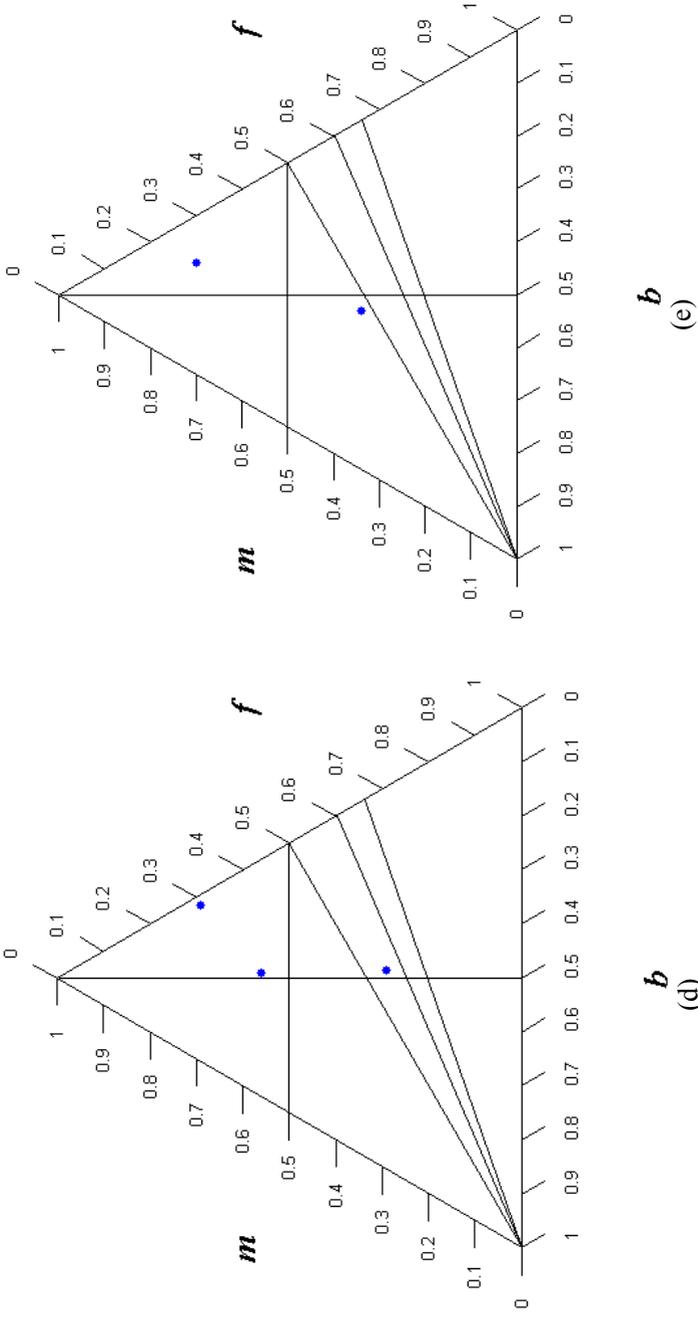


Figura 5.5 – (Continuação)

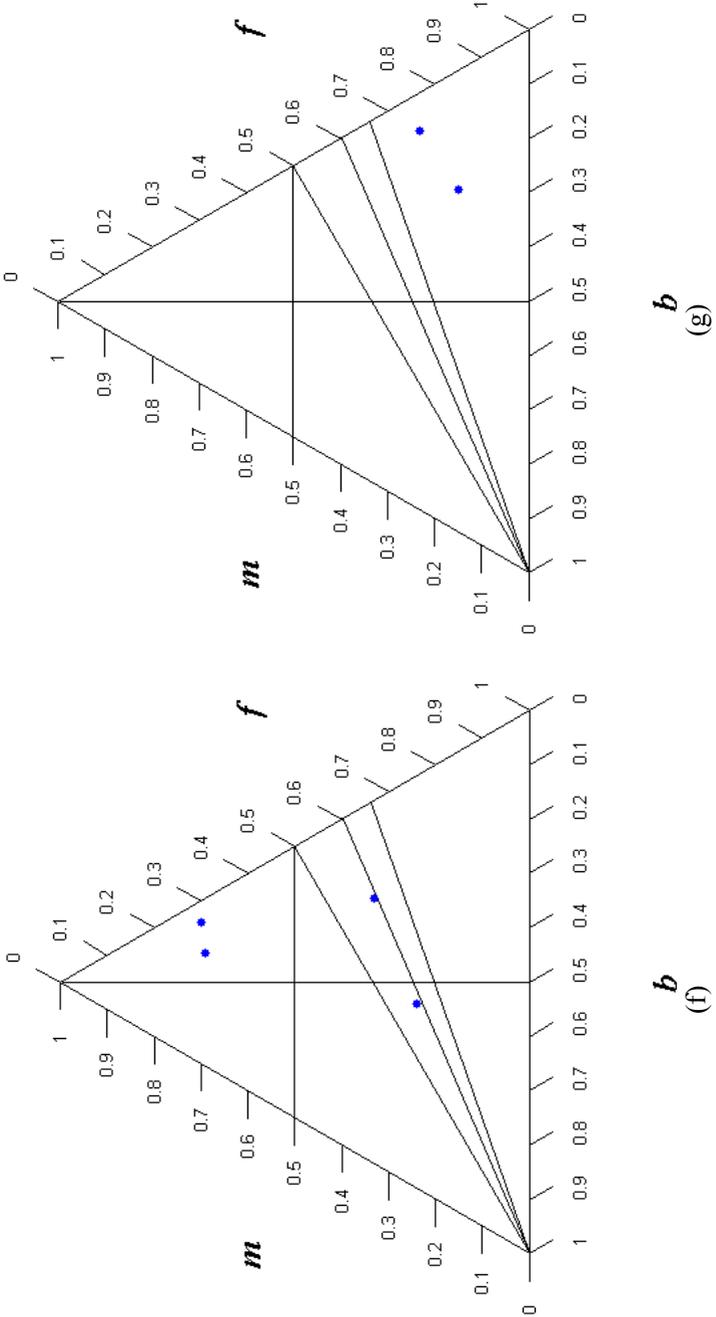


Figura 5.5 – (Continuação)

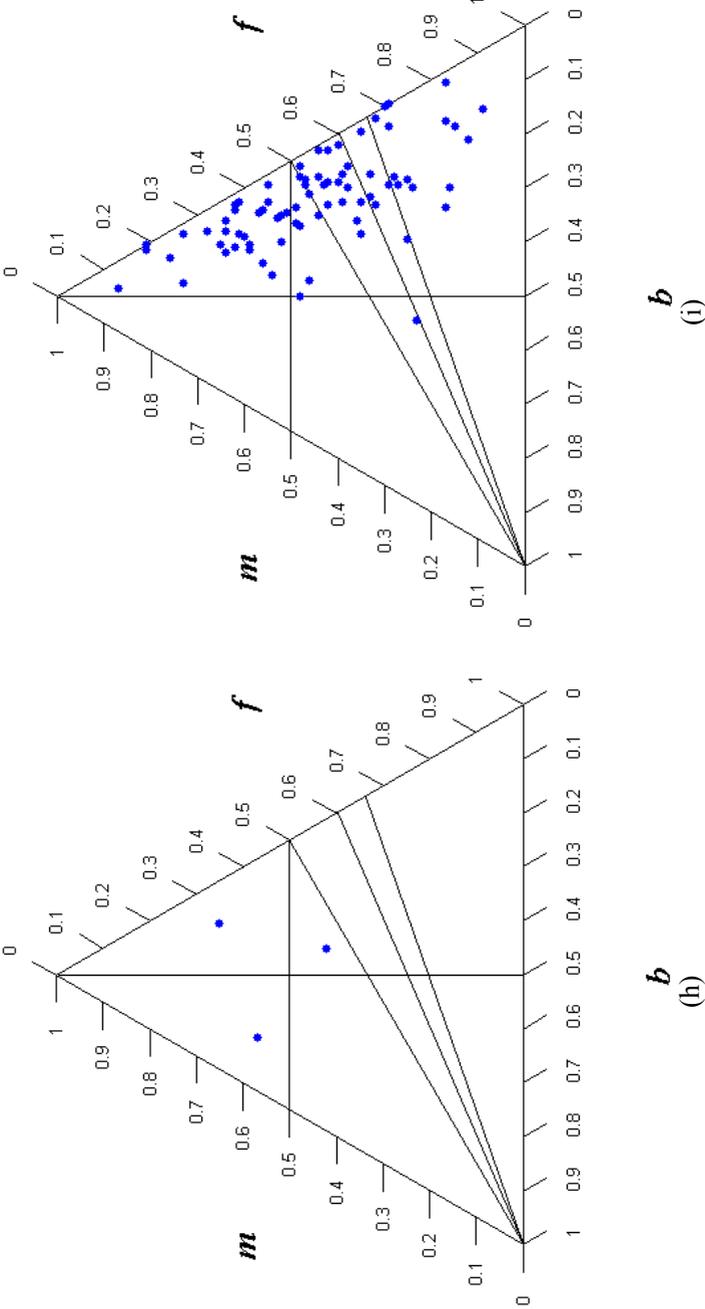


Figura 5.5 – (Continuação)

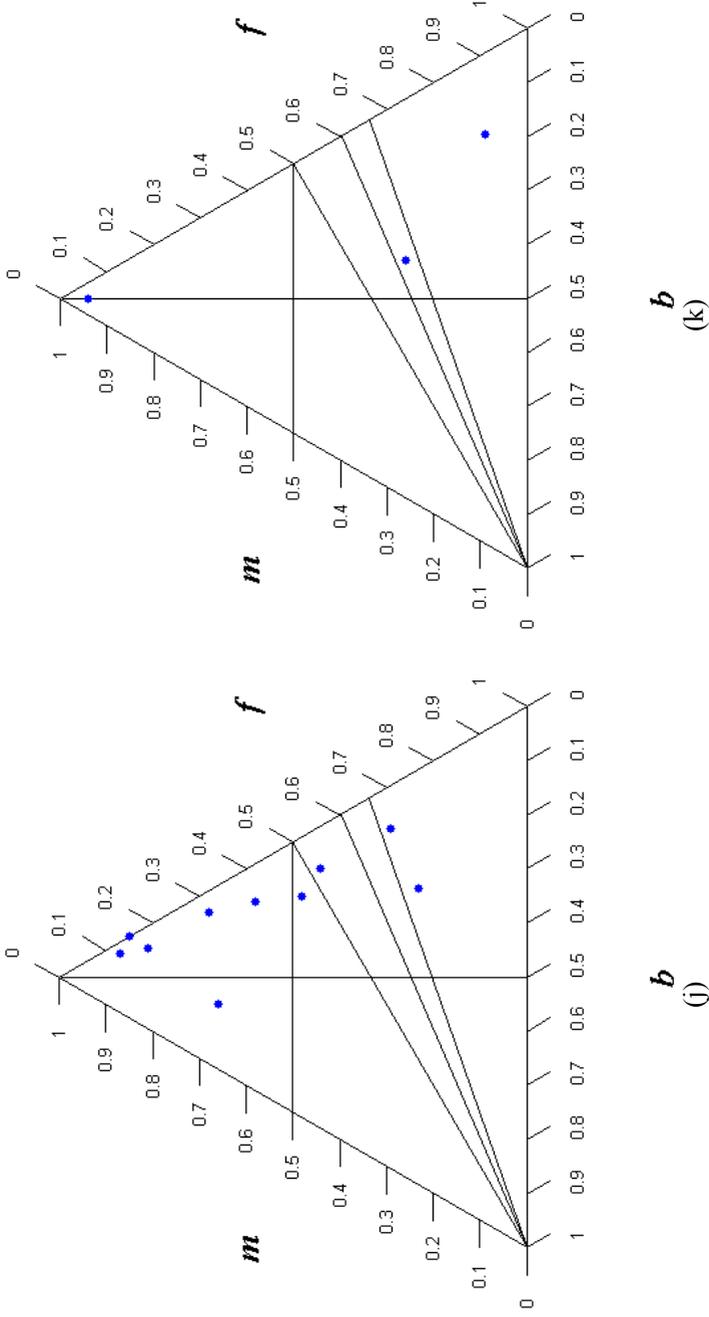


Figura 5.5 – (Continuação)

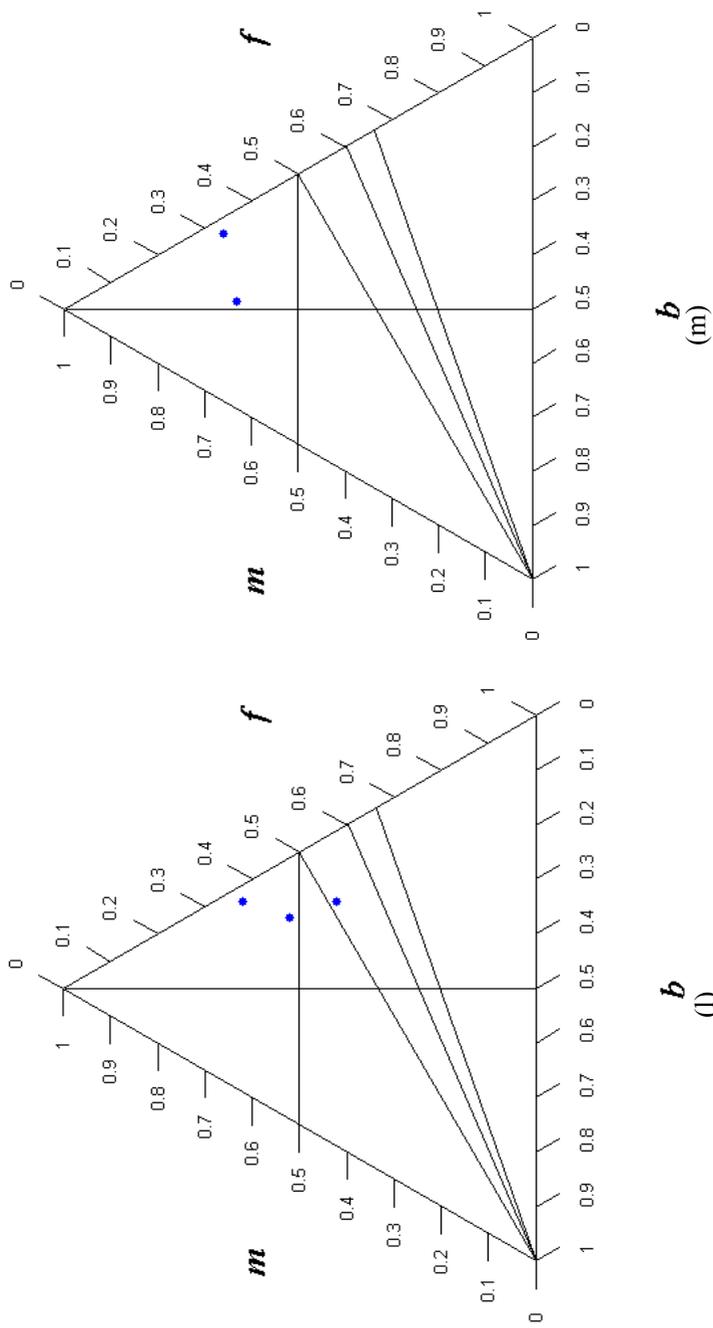


Figura 5.5 – (Continuação)

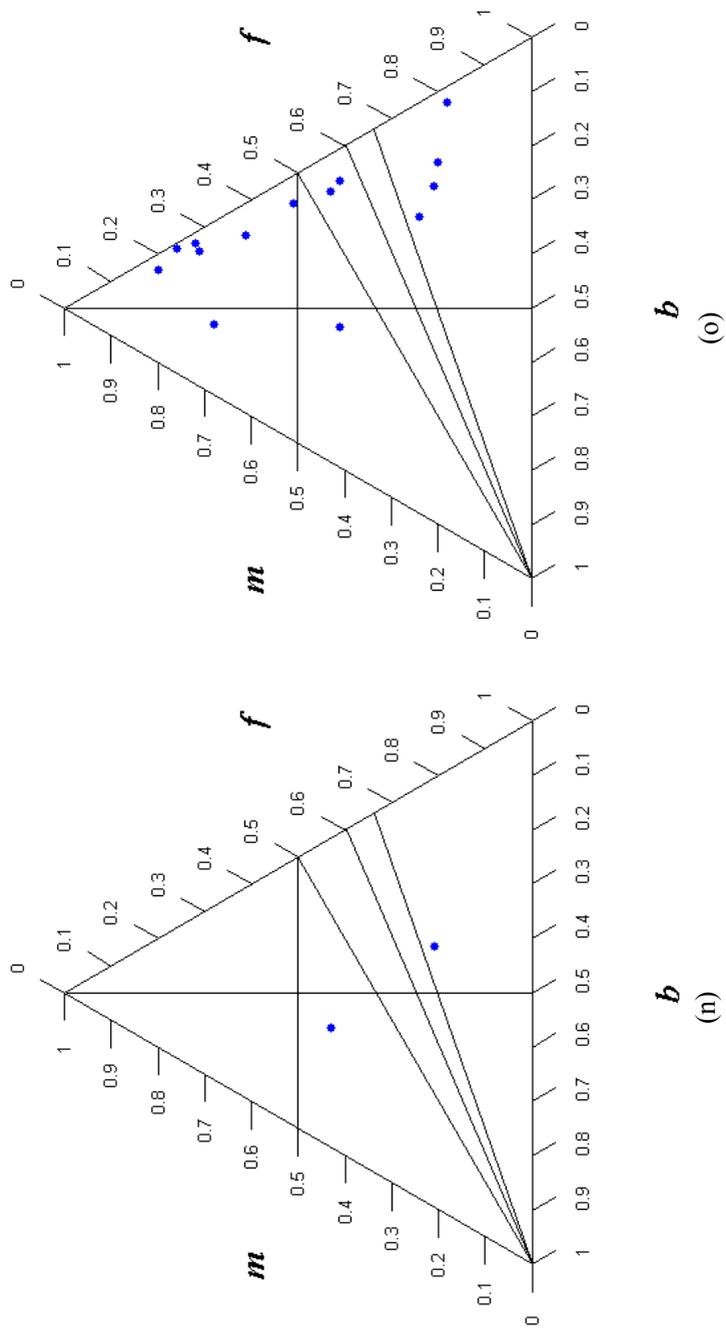


Figura 5.5 – (Continuação)

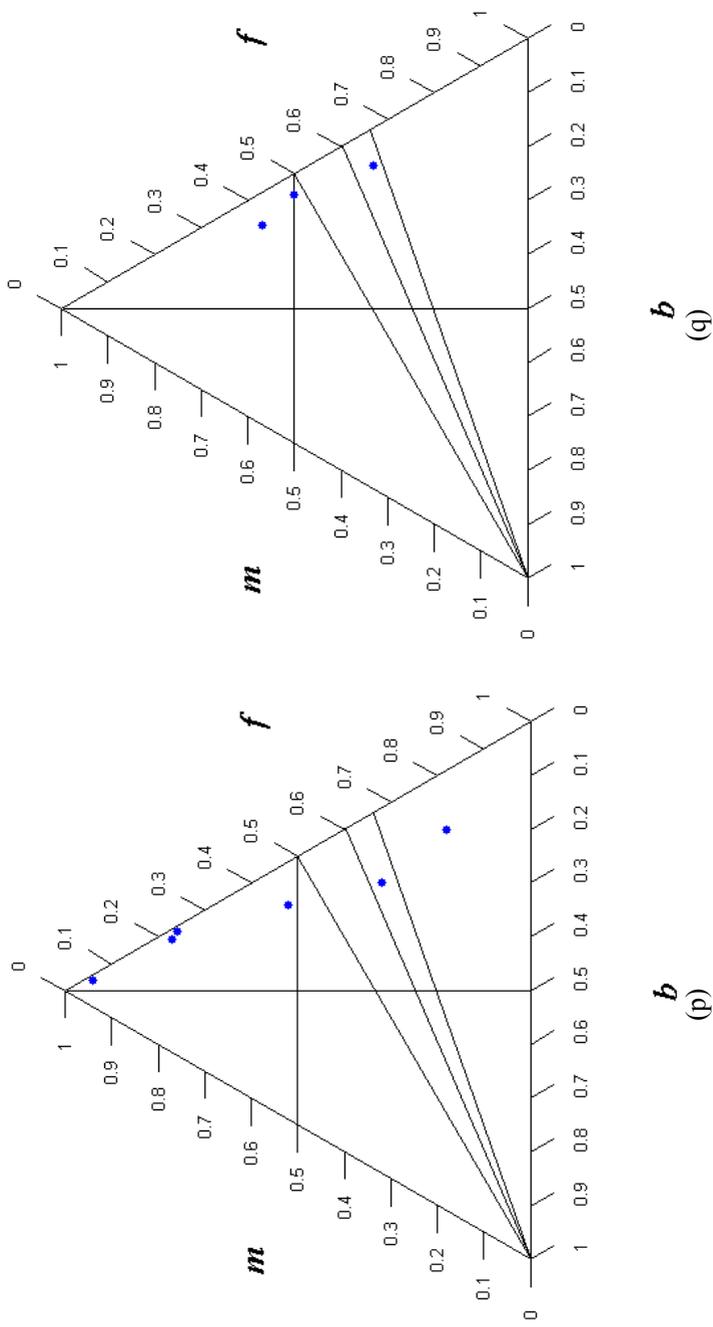


Figura 5.5 – (Continuação)

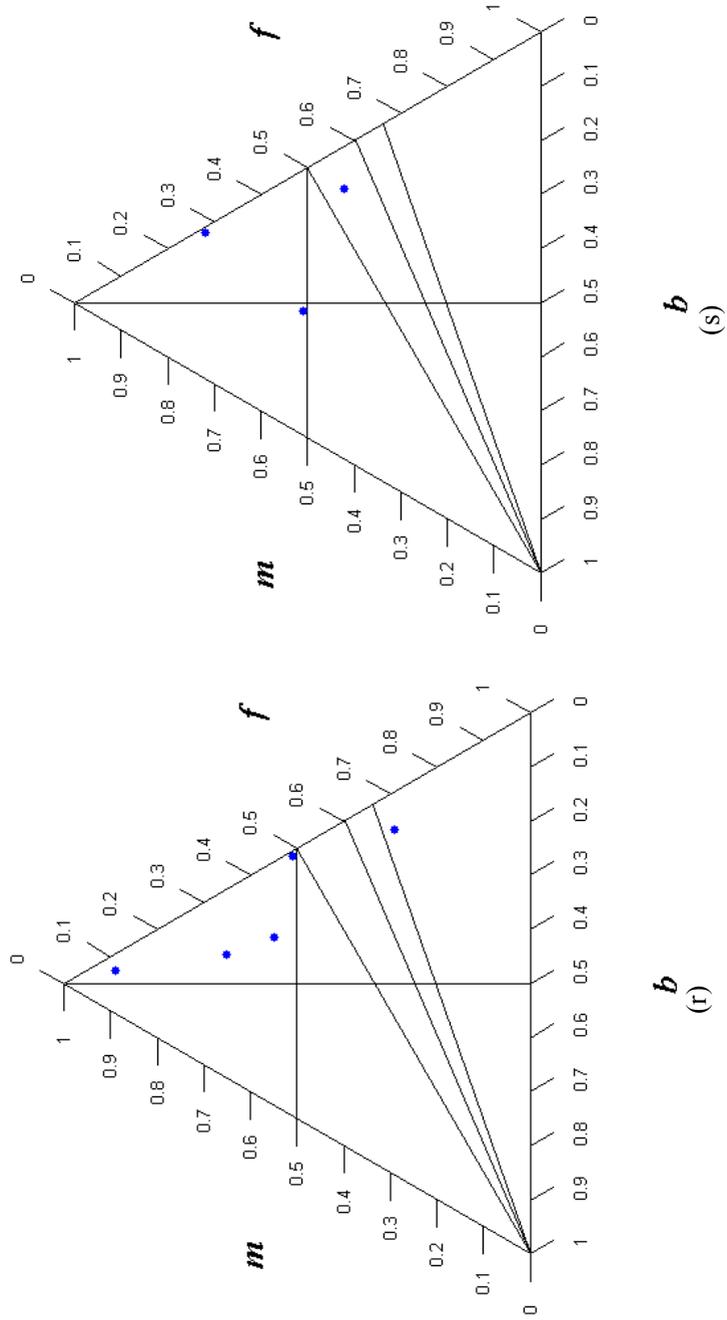


Figura 5.5 – (Continuação)

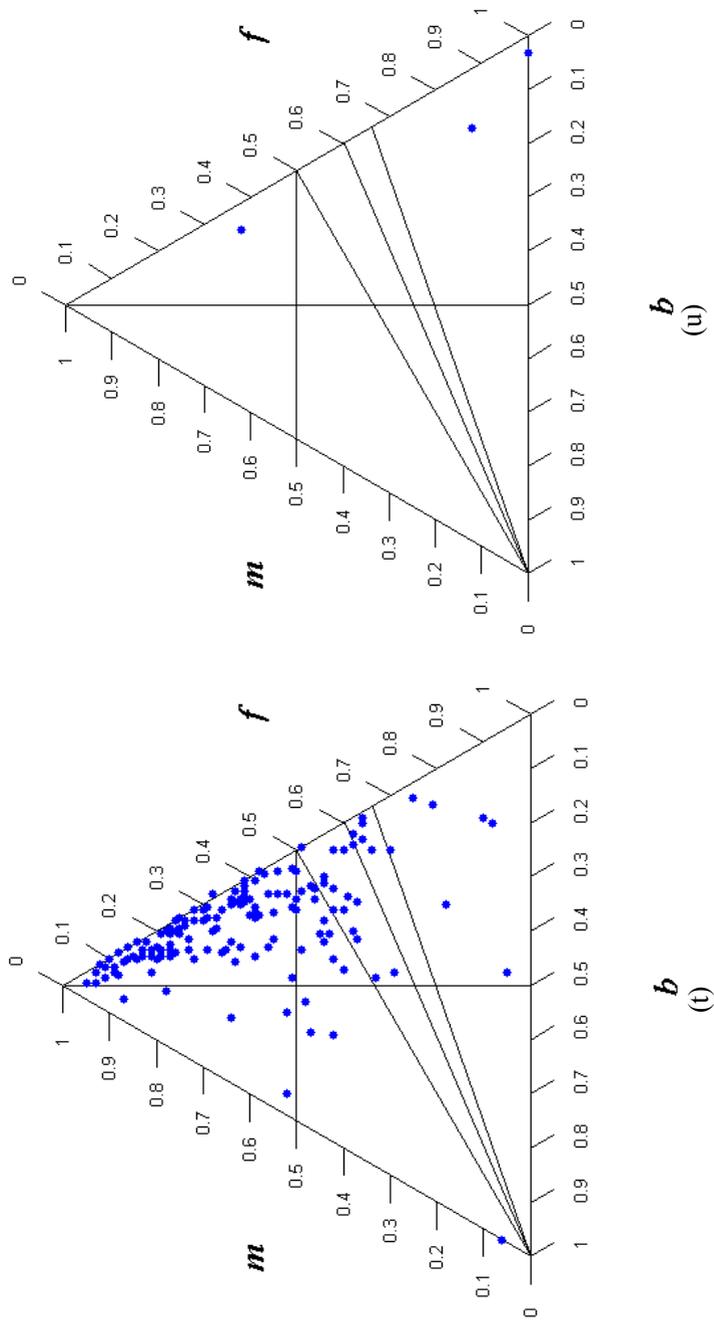


Figura 5.5 – (Continuação)

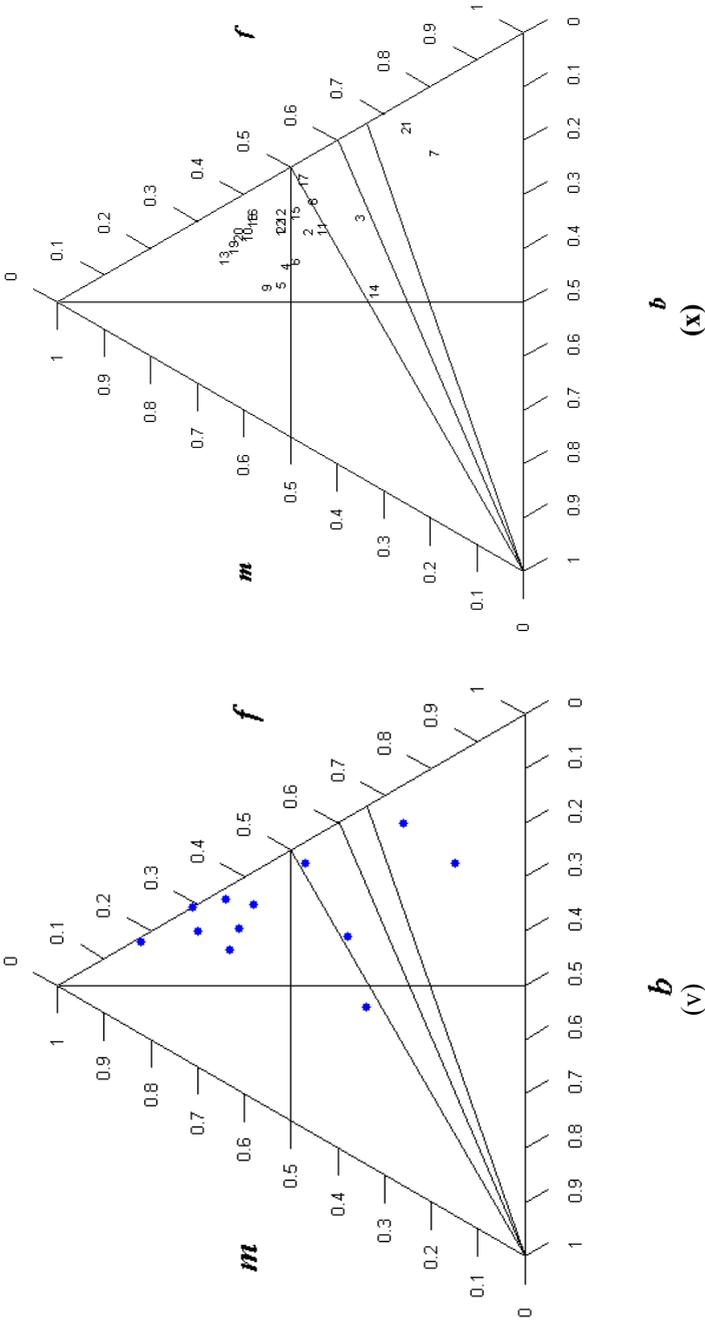


Figura 5.5 – (Continuação)

A Tabela 5.2 resume os resultados encontrados nos diagramas triaxiais, segundo a metodologia proposta por Rhodes (1977).

**Tabela 5.2 – Resultados dos diagramas triaxiais por tipo de formação geológica. “Nº est” é o número de estações analisadas em cada formação;  $w$  é a largura;  $d$  é a profundidade;  $v$  é a velocidade;  $F$  é o número de Froude;  $A$  é a área;  $s$  é a declividade e  $n$  o coeficiente de rugosidade.**

<b>Formações geológicas</b>	<b>Nº est</b>	<b><math>w/d</math></b>	<b><math>v/d</math></b>	<b><math>F</math></b>	<b><math>v/A</math></b>	<b><math>s^{1/2}/n</math></b>
Atuba Unidade de Gnaisses Nebulíticos	2	↓	↑	>1	–	↑
Atuba Unidade Gnaissica	12	↓	–	–	–	–
Campo Mourão	7	↓	–	–	–	–
Capiru Unidade Metapelítica	3	↓	–	>1	–	↑
Castro Associação Sedimentar Inferior	2	–	↑	>1	–	↑
Caxias	4	↓	–	>1	–	↑
Complexo Granulítico SC *	2	↓	↓	<1	↓	↓
Depósitos Coluvio-Aluvionares	3	–	↑	>1	–	↑
Depósitos Aluvionares	82	↓	–	–	–	–
Furnas	10	↓	–	–	–	–
Goio Ere	2	↓	–	–	–	↓
Granito Arrieiros	3	↓	↑	>1	–	↑
Granito Palermo	2	–	↑	>1	↑	↑
Granito Santa Rita **	2	–	–	–	↓	–
Itararu	14	↓	–	–	–	–
Ponta Grossa	6	↓	–	–	–	–
Quartzo Monzonito São Sebastião	3	↓	–	>1	–	–
Rio do Rasto	5	↓	–	–	–	–
Serra Alta	3	↓	–	>1	–	↑
Serra Geral	173	↓	–	–	–	–
Suíte Granítica Rio Pien Granitoides	3	↓	–	–	–	–
Teresina	12	↓	–	–	–	–
<b>Media total</b>	<b>22***</b>	↓	–	–	–	–

↑ Indica que há tendência de aumento da relação com o acréscimo da vazão.  
 ↓ Indica que há tendência de diminuição da relação com o acréscimo da vazão.

\* Unidade de rochas Orto e Paraderivadas.  
 \*\* Complexo Cunhaporanga.  
 \*\*\*Quantidade total de formações geológicas.

A Tabela 5.2 mostra que com relação à taxa de mudança da relação  $w/d$ , relacionada à subdivisão  $b=f$ , praticamente em todas as formações ocorre um decréscimo dessa taxa com o aumento da vazão. Apenas 4 formações não demonstram esse comportamento. Além disso, nas formações Depósitos Aluvionares e Serra Geral da Figura 5.5, que possuem as maiores quantidades de estações, o aumento da taxa  $w/d$  se mostra mais definido. Portanto, em geral há uma tendência de todos os rios analisados possuírem maior estabilidade das margens do que do leito. Além disso, as seções transversais possuem forma retangular ou parabólica.

Com relação à taxa de mudança da relação  $v/d$ , relacionada à subdivisão  $m=f$ , apenas 6 formações demonstraram alguma tendência de aumento ou diminuição dessa taxa. Porém em todas essas 6 formações os pontos plotados estão bastante dispersos, o que pode prejudicar uma análise mais precisa quanto à variação de  $v/d$ .

Com relação ao número de Froude, relacionado à subdivisão  $m=f/2$ , em 9 formações os rios possuem tendência de escoamentos supercríticos. Apenas na formação Complexo Granulítico SC os rios demonstraram escoamento subcrítico. Nas demais formações a dispersão dos pontos atrapalha a análise de alguma tendência com relação ao número de Froude.

Com relação à taxa  $v/A$ , relacionada à subdivisão  $b+f=m$ , nas formações Complexo Granulítico SC e Granito Santa Rita (Figura 5.5) há uma tendência de que os rios aumentem mais a área das seções transversais do que a velocidade com o acréscimo da vazão. Isso mostra que esses rios podem ser formados por margens instáveis. Ao contrário, na formação Granito Palermo além dos pontos estarem acima da subdivisão  $b+f=m$ , pois  $m > 0,5$ , eles também possuem baixa taxa de  $w/d$  o que indica que esses canais podem ser completamente estáveis.

Finalmente, com relação à taxa  $s^{1/2}/n$ , relacionada à subdivisão  $m=2/3f$ , 10 formações foram possíveis de ser analisadas. Somente duas dessas formações mostram que ocorre diminuição dessa taxa. Ou seja, a rugosidade dos canais dessas formações aumenta mais rapidamente do que a declividade com o aumento da vazão. Todas as outras 8 formações mostram que a declividade do canal aumenta mais rapidamente que a rugosidade. Rhodes (1977), mostrou que a rugosidade é o fator que mais se altera com a mudança de vazão. Assim, como apenas duas formações apresentam esse comportamento a análise da relação  $s^{1/2}/n$  nas estações fica prejudicada.

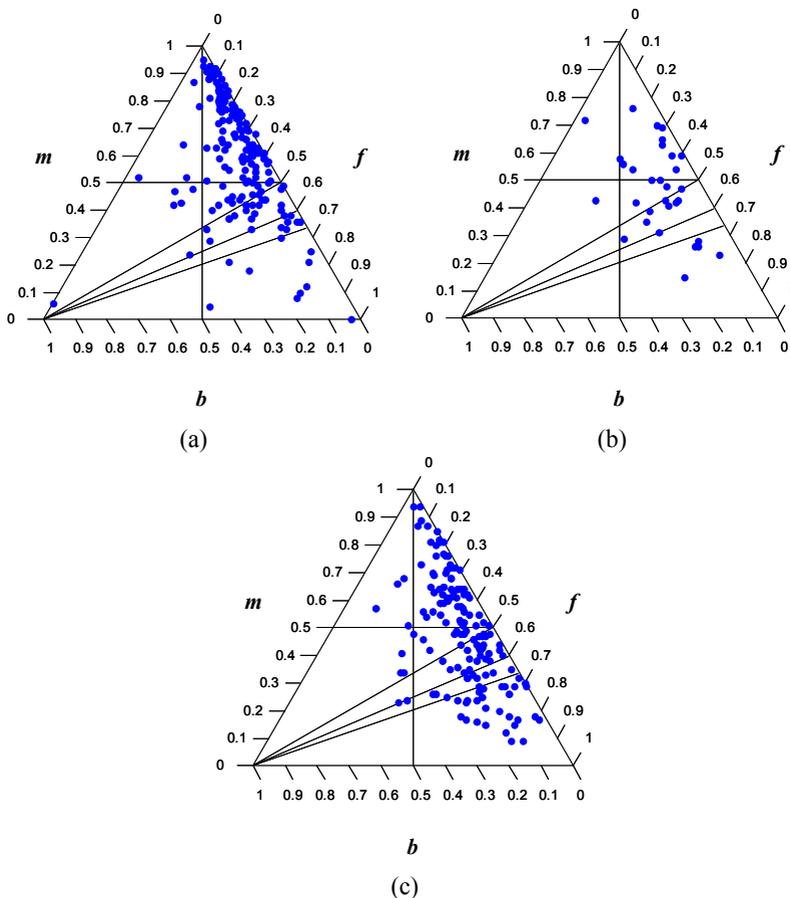
A análise do comportamento das relações da Tabela 5.2 pelo valor médio dos expoentes  $b$ ,  $f$  e  $m$  mostra em geral uma forte tendência

de estabilidade das margens dos rios de estudo (Figura 5.5). Isso ocorre porque todos os expoentes se concentram ao lado direito da subdivisão  $b=f$ . Além disso, dos 22 valores médios, 13 se concentram acima da subdivisão  $b+f=m$  o que mostra completa estabilidade desses canais.

Em geral em todos os tipos de formações geológicas os valores plotados nos diagramas da Figura 5.5 ficaram bastante dispersos. Park (1977), ao analisar diagramas dos expoentes da geometria hidráulica de seção e em direção à jusante não encontrou evidências claras quanto ao comportamento desses expoentes. Ele agrupou os expoentes de diferentes tipos de rios em função do tipo de clima dos locais desses rios. Devido à grande dispersão desses pontos Park concluiu que é preciso considerar mais fatores locais nesse tipo de análise. Fatores como, por exemplo, a composição do material das margens, padrão fluvial (se meândrico ou trançado), presença de corredeiras, entre outros fatores.

Muitos expoentes das relações da geometria hidráulica desse estudo tiveram valores negativos. Esses expoentes foram descartados porque quando plotados no diagrama triaxial ficavam fora do triângulo, o que prejudica a análise. Porém, em todos os casos a soma de  $b$ ,  $f$  e  $m$  ou produto de  $a$ ,  $c$  e  $k$  se manteve com valor 1, mesmo ao considerar esses valores negativos.

A Figura 5.6 mostra os diagramas triaxiais resultantes dos agrupamentos dos expoentes por classe geológica. Os valores médios dos expoentes para essas classes são: para a classe ígnea,  $b = 0,60$ ,  $f = 0,32$  e  $m = 0,08$ ; para a classe metamórfica,  $b = 0,47$ ,  $f = 0,40$  e  $m = 0,14$ ; e para a classe sedimentar,  $b = 0,48$ ,  $f = 0,41$  e  $m = 0,10$ . Observa-se nesses diagramas que há uma tendência de os rios possuírem margens estáveis, pois a maioria dos pontos se concentra ao lado direito da subdivisão  $b=f$ . Essa estabilidade ocorre principalmente na classe ígnea, onde além dos pontos se concentrarem ao lado direito da subdivisão  $b=f$  também há uma alta concentração acima da subdivisão  $b+f=m$ . Com relação às outras subdivisões do diagrama a grande dispersão dos pontos prejudica uma análise mais detalhada.



**Figura 5.6 - Diagramas triaxiais das classes ígnea (a), metamórfica (b) e sedimentar (c).**

Para melhor apresentar os resultados da Figura 5.6, a Tabela 5.3 mostra as porcentagens das classes geológicas em relação a cada tipo de canal, conforme a classificação de Rhodes (1977) (Tabela 3.1).

**Tabela 5.3 – Porcentagens das classes geológicas por tipo de canal.**

Tipo de canal	Ígnea (%)	Metamórfica (%)	Sedimentar (%)
1	2,64	3,22	2,65
<b>2</b>	<b>64,55</b>	<b>38,71</b>	<b>43,71</b>
3	2,65	3,22	1,99
4	7,94	12,91	7,28
5	0,53	0	1,33
6	11,64	25,81	17,22
7	0	0	0
8	4,76	0	7,28
9	0	0	0
10	5,29	16,13	18,54

A Tabela 5.3 mostra que o canal tipo 2 tem maior porcentagem em todas as classes. Além disso, os canais tipo 4, 6 e 10 também apresentam porcentagem significativa em todas as classes. Ou seja, assim como se observam na Figura 5.6 em geral os rios em estudo apresentam alta estabilidade de suas margens, pois as maiores porcentagens dos tipos de canal ocorrem naqueles situados ao lado direito da subdivisão  $b = f$ .

### 5.3 ANÁLISE DA GEOMETRIA HIDRÁULICA NA DIREÇÃO DE JUSANTE

A Tabela 5.4 mostra os resultados dos valores de vazão para o período de retorno de 1,58 anos dos rios Cinzas, Ivaí, Piquiri, Ribeira, Tibagi e Iguaçu. Além disso, também mostra a série de dados considerados para cada estação, a equação resultante da regressão linear e a área de drenagem de cada estação. Observa-se na tabela que em todas as análises houve uma alta correlação dos dados. Os valores do  $R^2$  (coeficiente de determinação) variaram entre 0,70 e 0,99.

**Tabela 5.4 – Resultados da análise de frequência de vazão.  $N$  é o número de anos considerados para cada série histórica de dados,  $Q_{1,58}$  é a vazão para o período de retorno de 1,58 anos em  $m^3/s$  e  $A_D$  é a área de drenagem em  $km^2$ .**

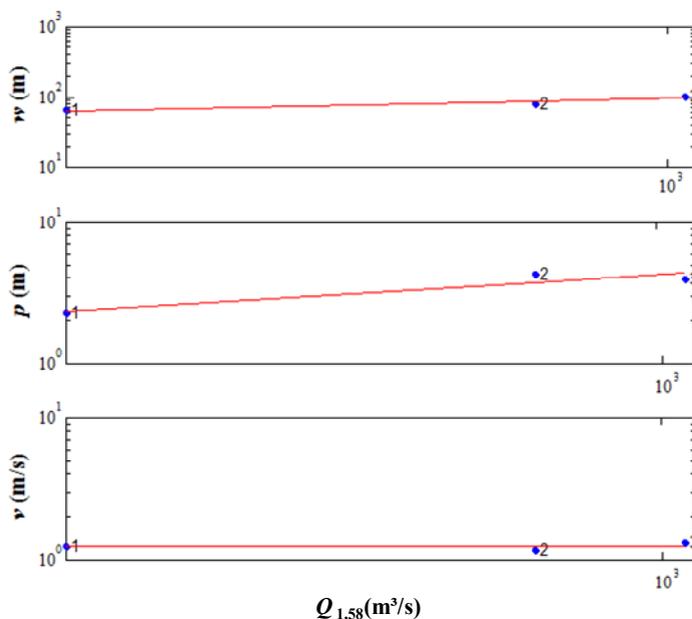
<b>Cód. Est.</b>	<b>Série</b>	<b><math>N</math></b>	<b>Equação</b>	<b><math>R^2</math></b>	<b><math>Q_{1,58}</math></b>	<b><math>A_D</math></b>
<b>Rio das Cinzas</b>						
64360000	1926-2008	79	$y = 400,36x + 103,43$	0,98	182,96	2015
64362000	1976-2008	32	$y = 514,08x + 305,61$	0,91	407,74	3976
64370000	1931-2008	75	$y = 875,11x + 352,85$	0,89	526,70	5622
<b>Rio Ivaí</b>						
64625000	1956-2008	52	$y = 879,42x + 585,08$	0,89	759,78	3572
64645000	1965-2008	43	$y = 1881,1x + 1122$	0,94	1495,69	8600
64655000	1967-2008	52	$y = 2322,2x + 1802$	0,84	2263,32	12701
64660500	1985-2008	23	$y = 5156,8x + 3270,3$	0,88	4294,73	19300
64685000	1953-2008	55	$y = 2842,1x + 2765,7$	0,88	3330,30	28427
64689005	1990-2008	16	$y = 1507,8x + 2937,4$	0,84	3236,94	31956
64693000	1974-2009	33	$y = 3198,9x + 3035,5$	0,94	3670,98	34442
<b>Rio Piquiri</b>						
64764000	1984-2008	24	$y = 656,3x + 380,57$	0,95	510,95	1703
64767000	1981-2008	27	$y = 1410,6x + 1158,7$	0,90	1438,93	3620
64771500	1976-2008	32	$y = 1438,1x + 1057,5$	0,94	1343,19	4223
64776100	1986-2008	22	$y = 3269,8x + 1968,3$	0,96	2617,87	7690
64795000	1970-2008	38	$y = 2668,7x + 1988,3$	0,93	2518,46	11303
64799500	1978-2008	31	$y = 2761,3x + 2577,8$	0,81	3126,35	12124
64820000	1966-2008	42	$y = 3565,8x + 1926,7$	0,94	2635,07	17457
64830000	1969-2008	39	$y = 3009,2x + 2221,9$	0,95	2819,70	20982
<b>Rio Ribeira</b>						
81107000	1978-2008	30	$y = 1199,6x + 131,27$	0,94	369,58	3199
81135000	1930-2008	78	$y = 1148,1x + 178,01$	0,99	406,09	4570
81200000	1936-2008	72	$y = 1472,9x + 281,77$	0,98	574,37	7252
<b>Rio Tibagi</b>						
64430200	2002-2008	4	$y = 10,848x + 45,193$	0,95	47,35	546
64444000	1974-2008	35	$y = 405,22x + 177,38$	0,96	257,88	4450
64447000	1975-2008	33	$y = 528,04x + 228,8$	0,96	333,70	5731
64465000	1931-2004	70	$y = 958,36x + 345,65$	0,97	536,04	8948
64481200	1987-2004	15	$y = 1307,1x + 554,11$	0,89	813,77	11600
64482000	1980-2008	27	$y = 1746,2x + 605,95$	0,97	952,85	14000
64506000	1977-2008	29	$y = 3125,1x + 1069,7$	0,98	1690,52	21240
64506500	1987-2008	21	$y = 3092,7x + 1163,3$	0,96	1777,69	21200
<b>Rio Iguçu</b>						
65009000	1976-2008	31	$y = 53,84x + 60,25$	0,77	70,95	626
65013005	1984-2008	19	$y = 55,444x + 86,507$	0,75	97,52	727
65017006	1976-2008	26	$y = 111,94x + 57,138$	0,70	79,38	1284
65019980	1974-1990	9	$y = 42,641x + 128,71$	0,83	137,18	2122
65020000	1974-1990	16	$y = 115,55x + 120$	0,85	142,95	2152

**Tabela 5.4 – (Continuação)**

65025000	1976-2008	32	$y = 216,18x + 120,01$	0,95	162,96	2578
65028000	1976-2008	22	$y = 339,05x + 96,141$	0,92	163,50	3049
65035000	1935-2008	73	$y = 368,25x + 148,97$	0,98	222,13	3662
65060000	1930-2008	78	$y = 679,65x + 169,74$	0,97	304,76	6065
65220000	1963-2008	45	$y = 1447,7x + 697,14$	0,95	984,74	18300
65255000	1993-2008	15	$y = 1268,6x + 944,66$	0,86	1196,68	20640
65310000	1930-2008	78	$y = 1779x + 854,02$	0,95	1207,43	24211
65365800	1978-2008	29	$y = 2461,7x + 1108,6$	0,89	1597,63	24900
65802000	1980-1992	12	$y = 4756,2x + 2154,4$	0,72	3099,25	33700
65808000	1967-1992	5	$y = 3602,7x + 1601$	0,83	2316,70	38275
65830000	1967-1992	21	$y = 8412,7x + 917,35$	0,96	2588,59	34100
65975000	1976-2008	32	$y = 12140x + 5349$	0,86	7760,70	57974
65986000	1985-2008	23	$y = 15386x + 5289,8$	0,88	8346,34	62900
65988000	1974-1993	19	$y = 8103,8x + 4141,1$	0,86	5750,98	63236
65993000	1942-2008	63	$y = 15526x + 3559,7$	0,95	6644,05	67317

Com os dados de vazão da Tabela 5.4 foram estabelecidas as relações da geometria hidráulica de jusante para os rios considerados nessa análise.

A Figura 5.7 mostra o comportamento das variáveis largura, profundidade e velocidade com o aumento da vazão em 3 estações ao longo do Rio das Cinzas.



1 – 64360000; 2 – 64362000; 3 – 64370000.

**Figura 5.7 - Variação da largura ( $w$ ), profundidade ( $d$ ) e velocidade ( $v$ ) com o aumento da vazão para um período de retorno de 1,58 anos em 3 seções ao longo do Rio das Cinzas.**

Com base nas regressões lineares dos gráficos da Figura 5.7 as relações da geometria hidráulica em direção à jusante para o Rio das Cinzas são então estabelecidas.

$$w = 8,04Q^{0,39} \quad (5.1)$$

$$d = 0,10Q^{0,59} \quad (5.2)$$

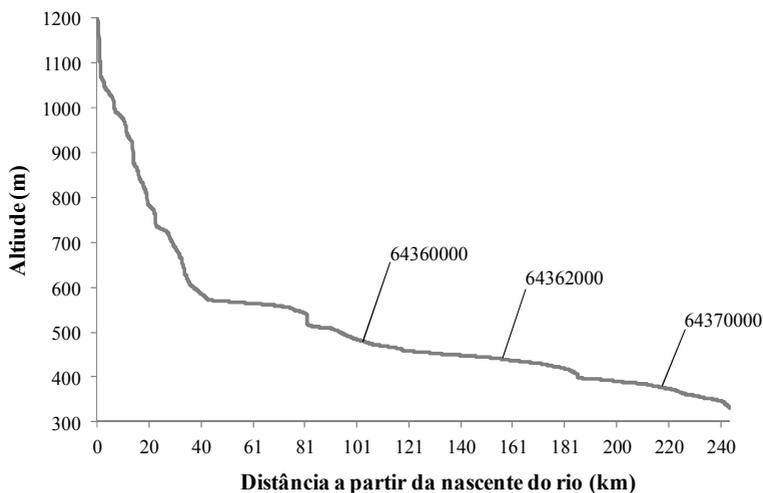
$$v = 1,14Q^{0,01} \quad (5.3)$$

A Tabela 5.5 mostra os valores de cota, área, largura, profundidade, velocidade média e a forma da seção transversal para a vazão com período de retorno de 1,58 anos para o Rio das Cinzas. A forma da seção é hachurada aproximadamente na cota correspondente a vazão com período de retorno de 1,58 anos. A Figura 5.8 mostra o perfil longitudinal do Rio das Cinzas com a localização das estações consideradas nessa análise.

**Tabela 5.5 - Valores das variáveis hidráulicas para o Rio das Cinzas.**

$C_{1,58}$  é a cota correspondente à vazão com período de retorno de 1,58 anos;  $A$  é a área da seção transversal;  $w$  é a largura;  $d$  é a profundidade e  $v$  a velocidade.

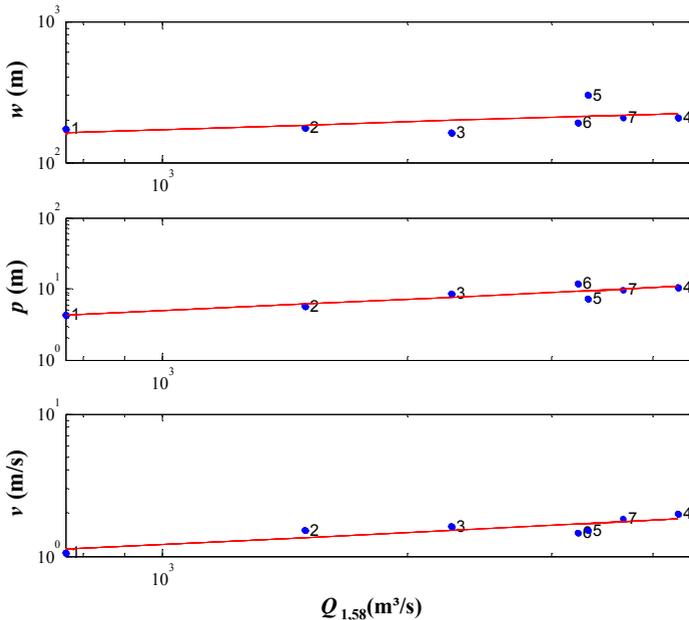
Código	$C_{1,58}$ (m)	$A$ (m <sup>2</sup> )	$w$ (m)	$d$ (m)	$v$ (m/s)	Forma da seção transversal
64360000	1,45	146,05	64,5	2,26	1,25	
64362000	4,64	348,11	81,23	4,29	1,17	
64370000	3,42	402,80	101,69	3,96	1,31	

**Figura 5.8 – Perfil longitudinal do Rio das Cinzas.**

Observa-se na Figura 5.7 que ao contrário da largura e profundidade média a velocidade é uma variável praticamente insensível à mudança de vazão, não sofrendo variação ao longo do Rio das Cinzas. O expoente da velocidade na Equação 5.3 é significativamente menor que os expoentes da largura e profundidade (Equações 5.1 e 5.2 respectivamente). Na Tabela 5.5 pode-se observar que a velocidade média sofre pouca variação. Isso pode ser explicado com base no perfil longitudinal do Rio das Cinzas (Figura 5.8). As poucas estações analisadas se localizam na parte baixa do rio onde a existe pouca

variação da declividade do leito. Além disso, a taxa  $v/d$  diminui entre as estações de código 64360000 e 64362000 e aumenta entre as estações de código 64362000 e 64370000. A variação dessa taxa impede que ocorra uma tendência de aumento ou de diminuição da velocidade ao longo desse trecho do Rio das Cinzas.

A Figura 5.9 mostra o comportamento das variáveis largura, profundidade e velocidade com o aumento da vazão em 7 estações ao longo do Rio Ivaí.



1 – 64625000; 2 – 64645000; 3 – 64655000; 4 – 64660500; 5 – 64685000; 6 – 64689005; 7 – 64693000.

**Figura 5.9 – Variação da largura ( $w$ ), profundidade ( $d$ ) e velocidade ( $v$ ) com o aumento da vazão para um período de retorno de 1,58 anos em 7 seções ao longo do Rio Ivaí.**

Com base nas regressões lineares dos gráficos da Figura 5.9 as relações da geometria hidráulica em direção à jusante para o Rio Ivaí são então estabelecidas.

$$w = 49,11Q^{0,18} \quad (5.4)$$

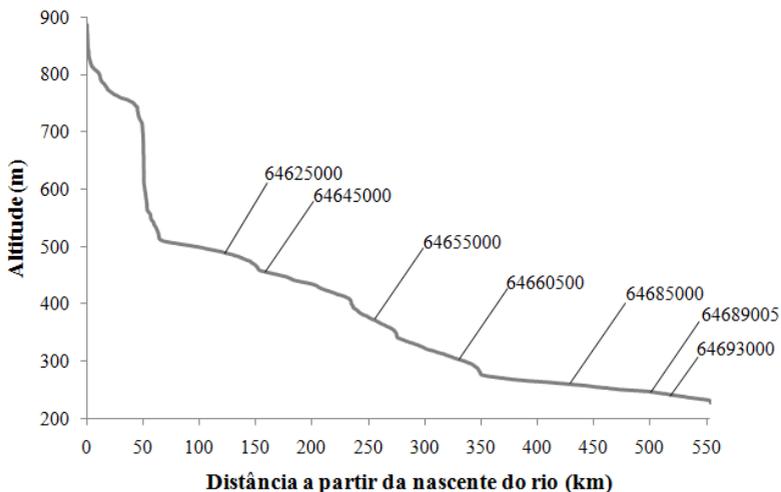
$$d = 0,12Q^{0,53} \quad (5.5)$$

$$v = 1,16Q^{0,28} \quad (5.6)$$

A Tabela 5.6 mostra os valores de cota, área, largura, profundidade média, velocidade média e a forma da seção transversal para a vazão com período de retorno de 1,58 anos para o Rio Ivaí. A Figura 5.10 mostra o perfil longitudinal do Rio Ivaí com a localização das estações consideradas nessa análise.

**Tabela 5.6 - Valores das variáveis hidráulicas para o Rio Ivaí.  $C_{1,58}$  é a cota correspondente à vazão com período de retorno de 1,58 anos;  $A$  é a área da seção transversal;  $w$  é a largura;  $d$  é a profundidade e  $v$  a velocidade.**

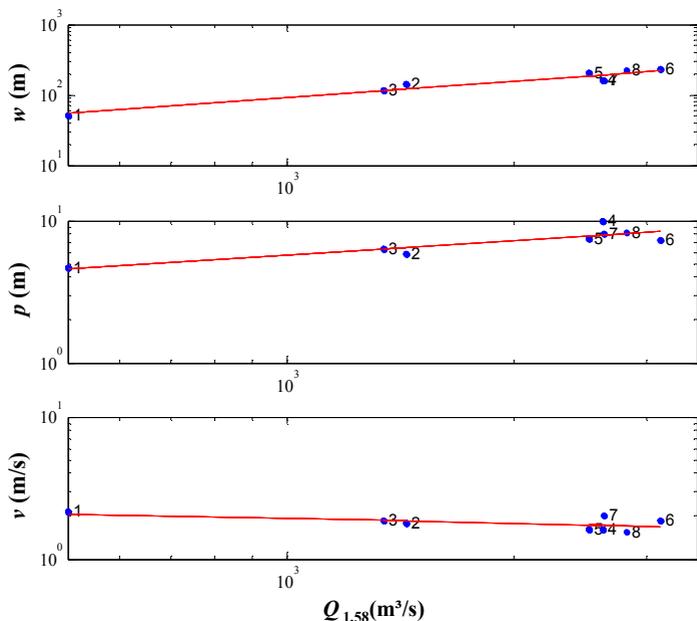
Código	$C_{1,58}$ (m)	$A$ (m <sup>2</sup> )	$w$ (m)	$d$ (m)	$v$ (m/s)	Forma da seção transversal
64625000	6,88	722,76	171,42	4,22	1,05	
64645000	6,13	991,01	177,47	5,58	1,51	
64655000	4,23	1393,04	163,27	8,53	1,62	
64660500	5,54	2161,74	208,74	10,36	1,99	
64685000	8,58	2193,14	300,45	7,30	1,52	
64689005	10,49	2220,66	190,46	11,66	1,46	
64693000	10,23	2010,16	208,97	9,62	1,83	



**Figura 5.10 – Perfil longitudinal do Rio Ivaí.**

Observa-se na Figura 5.9 que entre as estações 64660500 e 64693000 (pontos de 4 a 7 no gráfico) ocorre uma grande dispersão dos pontos. Observa-se também que a vazão com período de retorno de 1,58 anos sofre um grande aumento no seu valor na estação 64660500 o que provoca a dispersão desses pontos. Além disso, as estações seguintes, em direção à jusante, possuem valores de vazão inferiores aos da estação 64660500. Isso pode significar que existem erros nas medições de vazão da estação 64660500 e que podem ser causados pela má localização dessa estação no rio. Com base na Figura 3.2 (sobre a classificação de tipos de canais fluviais) se observa que a forma da seção transversal dessa estação (Tabela 5.6) mostra que ela está localizada em uma curva do rio. Isso pode justificar erros de medição na geometria e principalmente na velocidade do fluxo nessa seção. Além disso, entre as estações 64660500 e 64693000 também ocorre grande variação da taxa  $w/d$  que contribuiu com a dispersão dos pontos já que essa taxa influencia diretamente na forma do canal e consequentemente na mudança da vazão.

A Figura 5.11 mostra o comportamento das variáveis largura, profundidade e velocidade com o aumento da vazão em 8 estações ao longo do Rio Piquiri.



1 – 64764000; 2 – 64767000; 3 – 64771500; 4 – 64776100;  
5 – 64795000; 6 – 64799500; 7 – 64820000; 8 – 64830000.

**Figura 5.11 - Variação da largura ( $w$ ), profundidade ( $d$ ) e velocidade ( $v$ ) com o aumento da vazão para um período de retorno de 1,58 anos em 8 seções ao longo do Rio Piquiri.**

Com base nas regressões lineares dos gráficos da Figura 5.11 as relações da geometria hidráulica em direção à jusante para o Rio Piquiri são então estabelecidas.

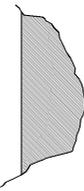
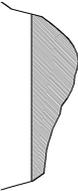
$$w = 0,43Q^{0,77} \quad (5.7)$$

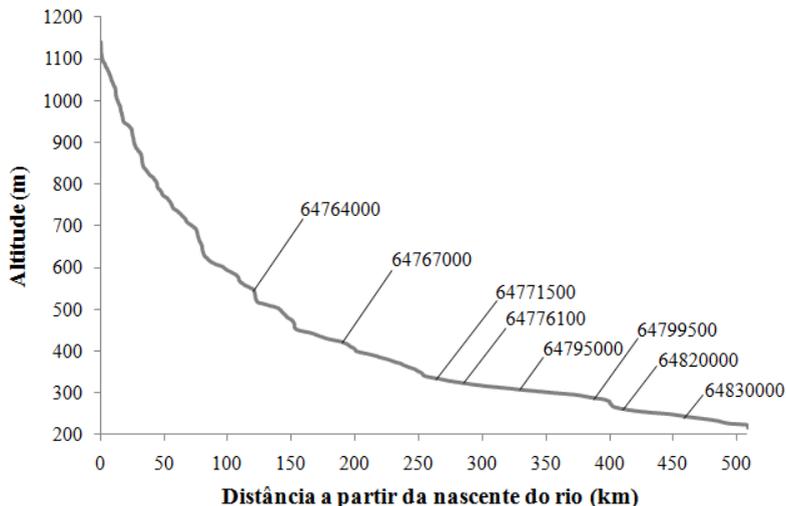
$$d = 0,55Q^{0,34} \quad (5.8)$$

$$v = 4,21Q^{-0,11} \quad (5.9)$$

A Tabela 5.7 mostra os valores de cota, área, largura, profundidade média, velocidade média e a forma da seção transversal para a vazão com período de retorno de 1,58 anos para o Rio Piquiri. A Figura 5.12 mostra o perfil longitudinal do Rio Piquiri com a localização das estações consideradas nessa análise.

**Tabela 5.7 - Valores das variáveis hidráulicas para o Rio Piquiri.  $C_{1,58}$  é a cota correspondente à vazão com período de retorno de 1,58 anos;  $A$  é a área da seção transversal;  $w$  é a largura;  $d$  é a profundidade e  $v$  a velocidade.**

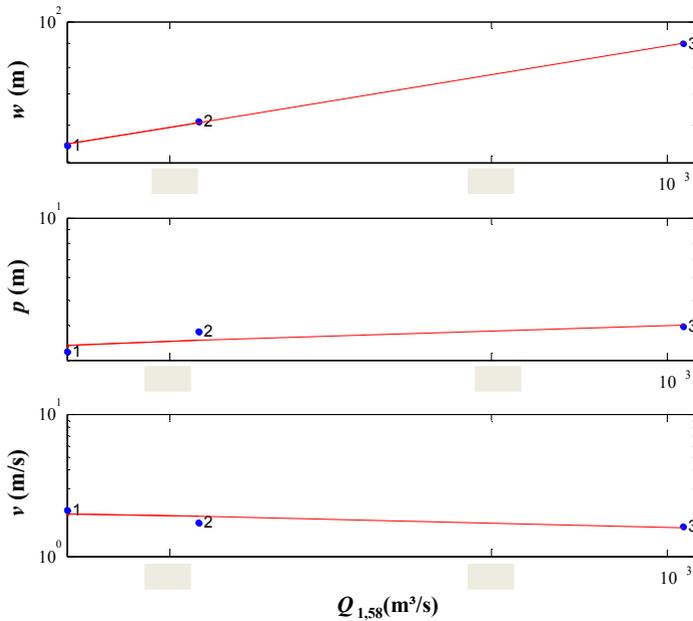
Código	$C_{1,58}(\text{m})$	$A$ (m <sup>2</sup> )	$w$ (m)	$d$ (m)	$v$ (m/s)	Forma da seção transversal
64764000	5,63	239,90	51,27	4,68	2,13	
64767000	6,38	809,38	140,03	5,78	1,78	
64771500	7,46	717,88	114,20	6,29	1,87	
64776100	6,37	1611,52	161,36	9,99	1,62	
64795000	5,98	1557,85	207,68	7,50	1,62	
64799500	6,74	1669,11	229,52	7,27	1,87	
64820000	6,28	1297,07	159,27	8,14	2,03	
64830000	7,10	1818,16	220,66	8,24	1,55	



**Figura 5.12 - Perfil longitudinal do Rio Piquiri.**

Assim como na análise da geometria do Rio Ivaí, a análise para o Rio Piquiri também mostra uma considerável dispersão dos pontos correspondentes às estações mais a jusante do rio. Além disso, essa análise mostra que a velocidade varia negativamente com o aumento da vazão o que pode representar fraca competência do Rio Piquiri para o transporte de sedimentos. Das relações da geometria hidráulica para o Rio Piquiri observa-se que a profundidade varia aproximadamente com a raiz cúbica da vazão (Equação 5.8).

A Figura 5.13 mostra o comportamento das variáveis largura, profundidade e velocidade com o aumento da vazão em 3 estações ao longo do Rio Ribeira.



1 – 81107000; 2 – 81135000; 3 – 81200000.

**Figura 5.13 - Variação da largura ( $w$ ), profundidade ( $d$ ) e velocidade ( $v$ ) com o aumento da vazão para um período de retorno de 1,58 anos em 3 seções ao longo do Rio Ribeira.**

Com base nas regressões lineares dos gráficos da Figura 5.13 as relações da geometria hidráulica em direção à jusante para o Rio Ribeira são estabelecidas.

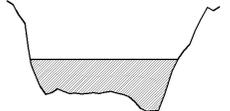
$$w = 0,07Q^{1,12} \quad (5.10)$$

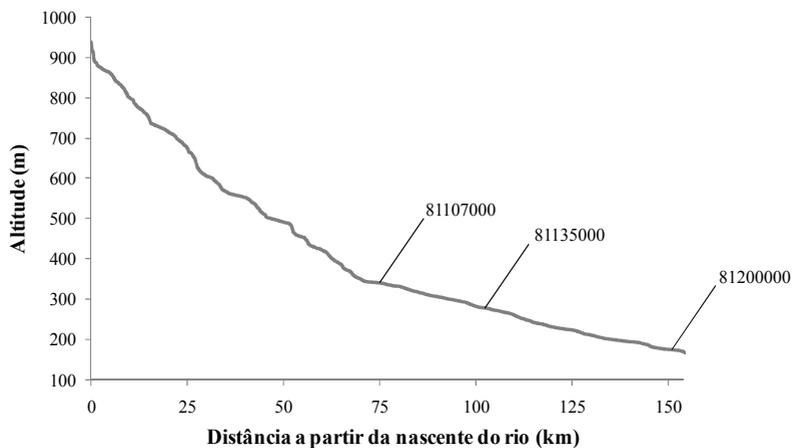
$$d = 0,35Q^{0,38} \quad (5.11)$$

$$v = 37,21Q^{-0,49} \quad (5.12)$$

A Tabela 5.8 mostra os valores de cota, área, largura, profundidade média, velocidade média e a forma da seção transversal para a vazão com período de retorno de 1,58 anos para o Rio Ribeira. A Figura 5.14 mostra o perfil longitudinal do Rio Ribeira com a localização das estações consideradas nessa análise.

**Tabela 5.8 - Valores das variáveis hidráulicas para o Rio Ribeira.  $C_{1,58}$  é a cota correspondente à vazão com período de retorno de 1,58 anos;  $A$  é a área da seção transversal;  $w$  é a largura;  $d$  é a profundidade e  $v$  a velocidade.**

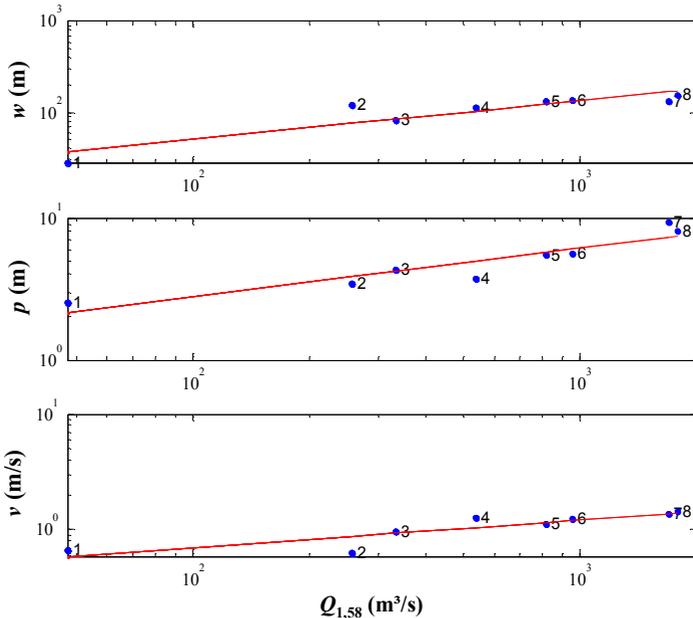
Código	$C_{1,58}$ (m)	$A$ (m <sup>2</sup> )	$w$ (m)	$d$ (m)	$v$ (m/s)	Forma da seção transversal
81107000	3,50	174,34	54,49	3,20	2,12	
81135000	3,44	234,09	61,23	3,82	1,73	
81200000	4,29	355,29	89,61	3,96	1,62	



**Figura 5.14 - Perfil longitudinal do Rio Ribeira.**

Observa-se na Figura 5.13 que assim como no Rio Piquiri, a velocidade também varia negativamente com o acréscimo da vazão. Nesse caso esse comportamento da velocidade pode ser explicado pela pouca quantidade de estações analisadas no Rio Ribeira. Além disso, as 3 estações se localizam na parte baixa do rio como pode ser visto no perfil longitudinal (Figura 5.14).

A Figura 5.15 mostra o comportamento das variáveis largura, profundidade e velocidade com o aumento da vazão em 8 estações ao longo do Rio Tibagi.



1 – 64430200; 2 – 64444000; 3 – 64447000; 4 – 64465000;  
5 – 64481200; 6 – 64482000; 7 – 64506000; 8 – 64506500.

**Figura 5.15 - Variação da largura ( $w$ ), profundidade ( $d$ ) e velocidade ( $v$ ) com o aumento da vazão para um período de retorno de 1,58 anos em 3 seções ao longo do Rio Tibagi.**

Com base nas regressões lineares dos gráficos da Figura 5.15 as relações da geometria hidráulica em direção à jusante para o Rio Tibagi são então estabelecidas.

$$w = 7,23Q^{0,42} \quad (5.13)$$

$$d = 0,58Q^{0,34} \quad (5.14)$$

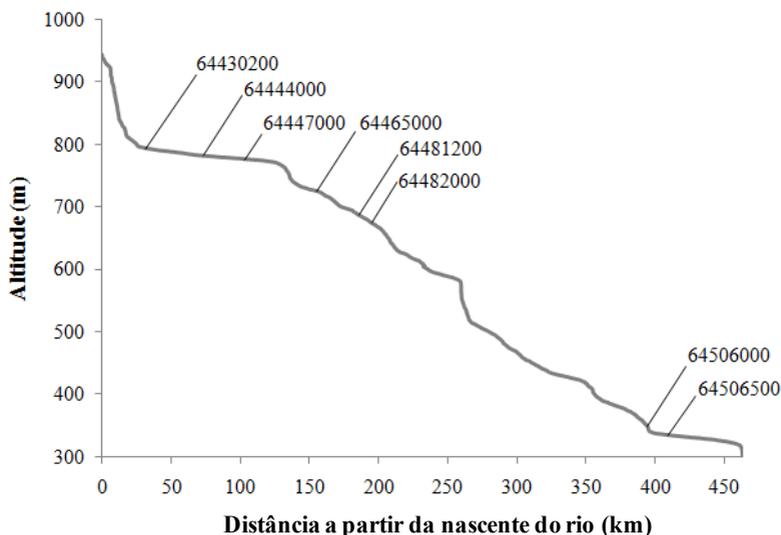
$$v = 0,23Q^{0,24} \quad (5.15)$$

A Tabela 5.9 mostra os valores de cota, área, largura, profundidade média, velocidade média e a forma da seção transversal para a vazão com período de retorno de 1,58 anos para o Rio Tibagi. A

Figura 5.16 mostra o perfil longitudinal do Rio Tibagi com a localização das estações consideradas nessa análise.

**Tabela 5.9 - Valores das variáveis hidráulicas para o Rio Tibagi.  $C_{1,58}$  é a cota correspondente à vazão com período de retorno de 1,58 anos;  $A$  é a área da seção transversal;  $w$  é a largura;  $d$  é a profundidade e  $v$  a velocidade.**

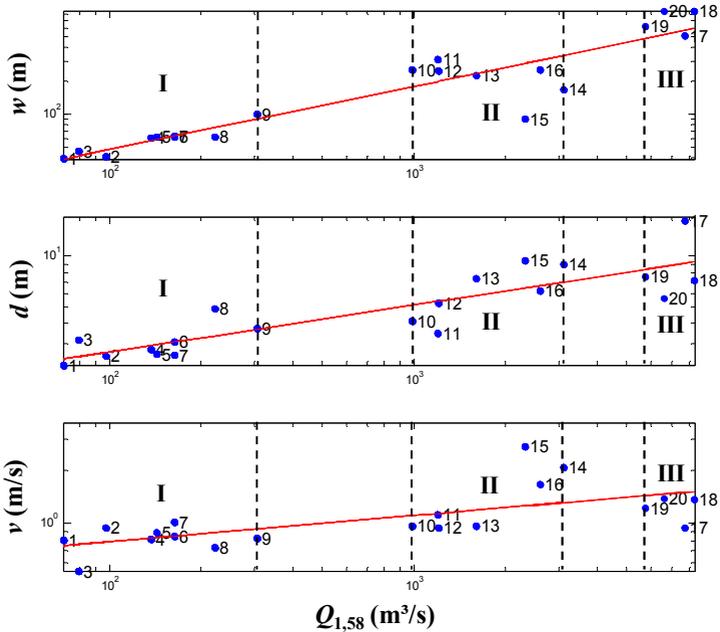
Código	$C_{1,58}$ (m)	$A$ (m <sup>2</sup> )	$w$ (m)	$d$ (m)	$v$ (m/s)	Forma da seção transversal
64430200	3,55	71,37	28,10	2,54	0,66	
64444000	5,13	415,22	120,07	3,46	0,62	
64447000	5,56	350,74	81,53	4,30	0,95	
64465000	1,86	424,59	113,89	3,73	1,26	
64481200	1,82	727,74	132,77	5,48	1,12	
64482000	8,31	778,48	138,25	5,63	1,22	
64506000	4,91	1234,38	132,06	9,35	1,37	
64506500	4,32	1235,46	154,44	8,00	1,44	



**Figura 5.16 - Perfil longitudinal do Rio Tibagi.**

Observa-se na Figura 5.15 que em geral ocorre um comportamento muito semelhante da largura, profundidade e velocidade em resposta ao acréscimo da vazão. Esse comportamento também pode ser visto pelos expoentes das relações do Rio Tibagi. Na Tabela 5.9 observa-se que a estação 64444000 sofre um grande aumento da largura em relação à estação anterior. Isso pode ser explicado pela forma dessa seção, observada na Tabela 5.9. Para a cota equivalente a vazão com período de retorno de 1,58 há uma pequena inundação da margem esquerda que aumenta significativamente a largura dessa seção para essa cota. Nas relações da geometria hidráulica para o Rio Tibagi observa-se que a profundidade varia aproximadamente com a raiz cúbica da vazão e a velocidade com a raiz quarta (Equações 5.14 e 5.15).

A Figura 5.17 mostra o comportamento das variáveis largura, profundidade e velocidade com o aumento da vazão em 20 estações ao longo do Rio Iguaçú.



1 – 65009000; 2 – 65013005; 3 – 65017006; 4 – 65019980; 5 – 65020000; 6 – 65025000; 7 – 65028000; 8 – 65035000; 9 – 65060000; 10 – 65220000; 11 – 65255000; 12 – 65310000; 13 – 65365800; 14 – 65802000; 15 – 65808000; 16 – 65830000; 17 – 65975000; 18 – 65986000; 19 – 65988000; 20 – 65993000.

**Figura 5.17 - Variação da largura ( $w$ ), profundidade ( $d$ ) e velocidade ( $v$ ) com o aumento da vazão para um período de retorno de 1,58 anos em 3 seções ao longo do Rio Iguaçu.**

Com base nas regressões lineares dos gráficos da Figura 5.17 as relações da geometria hidráulica em direção à jusante para o Rio Iguaçu são então estabelecidas.

$$w = 3,40Q^{0,57} \quad (5.16)$$

$$d = 0,72Q^{0,28} \quad (5.17)$$

$$v = 0,40Q^{0,14} \quad (5.18)$$

A Tabela 5.10 mostra os valores de cota, área, largura, profundidade média, velocidade média e a forma da seção transversal para a vazão com período de retorno de 1,58 anos para o Rio Iguaçu. A

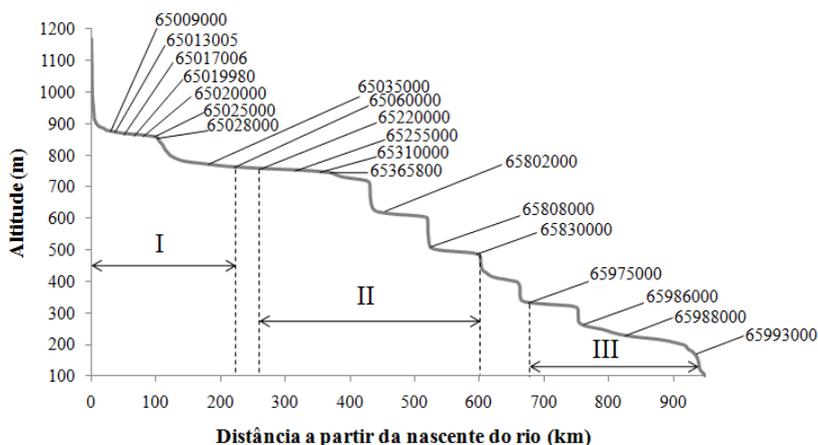
Figura 5.18 mostra o perfil longitudinal do Rio Iguaçu com a localização das estações consideradas nessa análise.

**Tabela 5.10 - Valores das variáveis hidráulicas para o Rio Iguaçu.  $C_{1,58}$  é a cota correspondente à vazão com período de retorno de 1,58 anos;  $A$  é a área da seção transversal;  $w$  é a largura;  $d$  é a profundidade e  $v$  a velocidade.**

Código	$C_{1,58}$ (m)	$A$ (m <sup>2</sup> )	$w$ (m)	$d$ (m)	$v$ (m/s)	Forma da seção transversal
65009000	3,05	87,05	38,99	2,23	0,81	
65013005	3,65	104,18	41,19	2,53	0,94	
65017006	3,05	146,00	46,23	3,16	0,54	
65019980	3,13	167,92	60,49	2,78	0,82	
65020000	2,47	160,24	62,15	2,58	0,89	
65025000	3,53	192,35	62,74	3,07	0,85	
65028000	3,74	159,96	62,51	2,56	1,02	
65035000	3,74	304,58	62,51	4,87	0,73	
65060000	3,74	368,30	99,68	3,69	0,83	

Tabela 5.10 – (Continuação)

65220000	3,66	1016,79	249,06	4,08	0,97	
65255000	5,62	1066,72	310,56	3,43	1,12	
65310000	4,59	1287,74	247,10	5,21	0,94	
65365800	2,63	1653,67	224,60	7,36	0,97	
65802000	8,50	1489,88	167,57	8,89	2,08	
65808000	10,30	851,89	90,28	9,44	2,72	
65830000	7,49	1559,17	250,08	6,23	1,66	
65975000	5,76	8281,07	508,52	16,28	0,94	
65986000	7,43	6139,18	861,44	7,13	1,36	
65988000	5,33	4660,01	616,98	7,55	1,23	
65993000	2,03	4816,95	860,61	5,60	1,38	



**Figura 5.18 - Perfil longitudinal do Rio Iguaçu.**

Devido a uma boa quantidade de estações e para melhor analisar os resultados da geometria hidráulica ao longo do Rio Iguaçu divide-se o rio em três partes, identificadas por: I, II e III na Figura 5.17 e 5.18. A primeira parte corresponde ao trecho mais alto da bacia onde se localizam os pontos de 1 a 9 na Figura 5.17 e as estações de 65009000 a 65060000 na Figura 5.18. A segunda parte corresponde ao trecho médio do Rio Iguaçu onde se localizam os pontos de 10 a 16 na Figura 5.17 e as estações de 65220000 a 65830000 na Figura 5.18. A terceira parte corresponde ao trecho mais baixo do Rio Iguaçu onde se localizam todos os outros pontos e estações nas Figuras 5.17 e 5.18.

Na primeira parte os pontos na Figura 5.17 tendem a um bom alinhamento para as três variáveis. Na Tabela 5.10 observa-se que para as estações desses pontos a largura é a variável que mais se modifica em direção à jusante com o acréscimo da vazão. A profundidade e a velocidade sofrem pouca variação nos seus valores. Esse comportamento da primeira parte pode ser explicado pela baixa variação da altitude que pode impedir a ocorrência de grandes profundidade e velocidades do fluxo d'água no canal. Nesse trecho da primeira parte a declividade do canal é de apenas 0,0006 m/m em uma distancia de aproximadamente 190 km. Assim, pode-se dizer que nesse trecho o rio tende a se ajustar mais pela mudança de sua largura.

Na segunda parte os pontos na Figura 5.17 se mostram bastante dispersos para as três variáveis e os valores da largura aumentam

significativamente em algumas estações em relação à primeira parte. A principal causa disso pode ser que essas estações estejam sofrendo influencia de barragens que estão localizadas nesse trecho do rio. Exemplos dessas barragens são Foz do Areia, Segredo, Salto Santiago e Salto Osório. A fim de verificar se existe alguma influencia significativa das barragens as estações desse trecho foram descartadas e novamente as variáveis largura, profundidade e velocidade foram plotadas em função da vazão. O resultado das novas regressões lineares para essas variáveis são:

$$w = 2,56Q^{0,63} \quad (5.19)$$

$$d = 0,78Q^{0,26} \quad (5.20)$$

$$v = 0,49Q^{0,10} \quad (5.21)$$

As novas regressões mostram que os expoentes mudaram de 0,57 para 0,63, de 0,28 para 0,26 e de 0,14 para 0,10 para  $b$ ,  $f$  e  $m$  respectivamente. Portanto, pode-se considerar que com relação às medições feitas nessas estações e utilizadas nessa análise as barragens não influenciam significativamente na geometria hidráulica ao longo do Rio Iguaçu. Ou seja, as estações do trecho médio podem não estar sob a influência das barragens.

Na terceira parte os pontos na Figura 5.17 ainda ficam um pouco dispersos. Observa-se na Tabela 5.10 que a estação 65975000 possui um valor de profundidade média significativamente maior que qualquer outra estação a jusante. Ao contrário, sua velocidade média é uma das menores desde a segunda parte no trecho médio do rio. Ao observar a área de drenagem dessa parte verifica-se que essa estação possui o maior valor e esse pode ser o motivo da grande variação na profundidade. Com grande área para drenar e considerando grande estabilidade de suas margens o rio nesse ponto pode estar buscando seu equilíbrio pelo ajuste maior de sua profundidade com o acréscimo da vazão.

Utilizando as Equações 5.1 a 5.18 a Tabela 5.11 mostra os expoentes e sua soma e os coeficientes e seu produto encontrados na análise da geometria hidráulica de jusante.

**Tabela 5.11 – Resultados da geometria hidráulica de jusante.**

Bacia	$b$	$f$	$m$	$b+f+m$	$a$	$c$	$k$	$a \cdot c \cdot k$
Cinzas	0,39	0,59	0,01	1,00	8,04	0,10	1,14	0,96
Ivaí	0,18	0,53	0,28	1,00	49,11	0,12	0,16	0,98
Piquiri	0,77	0,34	-0,11	0,99	0,43	0,55	4,21	1,00
Ribeira	1,12	0,38	-0,49	1,00	0,07	0,35	37,21	0,97
Tibagi	0,42	0,34	0,24	1,00	7,23	0,58	0,23	0,98
Iguaçu	0,57	0,28	0,14	1,00	3,40	0,72	0,40	0,99

Observa-se na Tabela 5.11 que para os rios Piquiri e Ribeira a velocidade possui correlação negativa. No caso do Rio Ribeira essa correlação negativa pode ser devido a pouca quantidade de estações analisadas. No caso do Rio Piquiri a correlação negativa não pode ser justificada da mesma forma porque há uma quantidade suficiente de estações analisadas e bem distribuídas ao longo do canal. Park (1977), ao reexaminar o trabalho de Leopold & Maddock (1953), concluiu que o aumento da velocidade com o acréscimo da vazão não se aplica a todos os tipos de rios. Em metade dos segmentos dos rios analisados foi encontrado correlação negativa quando considerado uma vazão com período de retorno de até 2,33 anos. Park (1977), também salientou que as diferenças nas correlações podem ser devido ao período de retorno utilizado para a vazão, diferenças entre os locais das estações e métodos utilizados para o ajuste dos pontos.

A Tabela 5.12 mostra os resultados dos expoentes e coeficientes das relações da geometria hidráulica de jusante quando a vazão com período de retorno de 1,58 anos foi substituída pela área de drenagem. A Figura 5.19 mostra as altas correlações entre as vazões e as áreas de drenagem das bacias.

**Tabela 5.12 – Resultados da geometria hidráulica de jusante com área de drenagem.**

<b>Bacia</b>	<b><i>b</i></b>	<b><i>f</i></b>	<b><i>m</i></b>	<b><i>b+f+m</i></b>	<b><i>a</i></b>	<b><i>c</i></b>	<b><i>k</i></b>	<b><i>a·c·k</i></b>
Cinzas	0,43	0,60	0,02	1,05	2,42	0,02	1,00	0,06
Ivaí	0,14	0,38	0,17	0,70	49,45	0,19	0,29	2,85
Piquiri	0,49	0,22	-0,06	0,64	1,78	0,99	3,23	5,75
Ribeira	0,61	0,25	-0,32	0,55	0,35	0,43	27,09	4,19
Tibagi	0,43	0,32	0,22	0,98	2,05	0,28	0,13	0,07
Iguaçu	0,59	0,28	0,15	1,03	0,62	0,33	0,25	1,03

Os resultados da Tabela 5.12 mostram que na ausência de dados de vazão, a área de drenagem pode ser utilizada para estudos de geometria hidráulica. Os resultados dos expoentes e coeficientes dessa tabela são valores muito próximos aos da Tabela 5.11, principalmente com relação ao expoente *m*.

Na Figura 5.19 também se observa a alta correlação da área da seção transversal com a área de drenagem. Isso mostra que área da seção transversal pode ser uma variável indicadora da capacidade do canal quando em nível de margens plenas. Assim, a geometria hidráulica pode ser utilizada no estudo de regionalização de vazão.

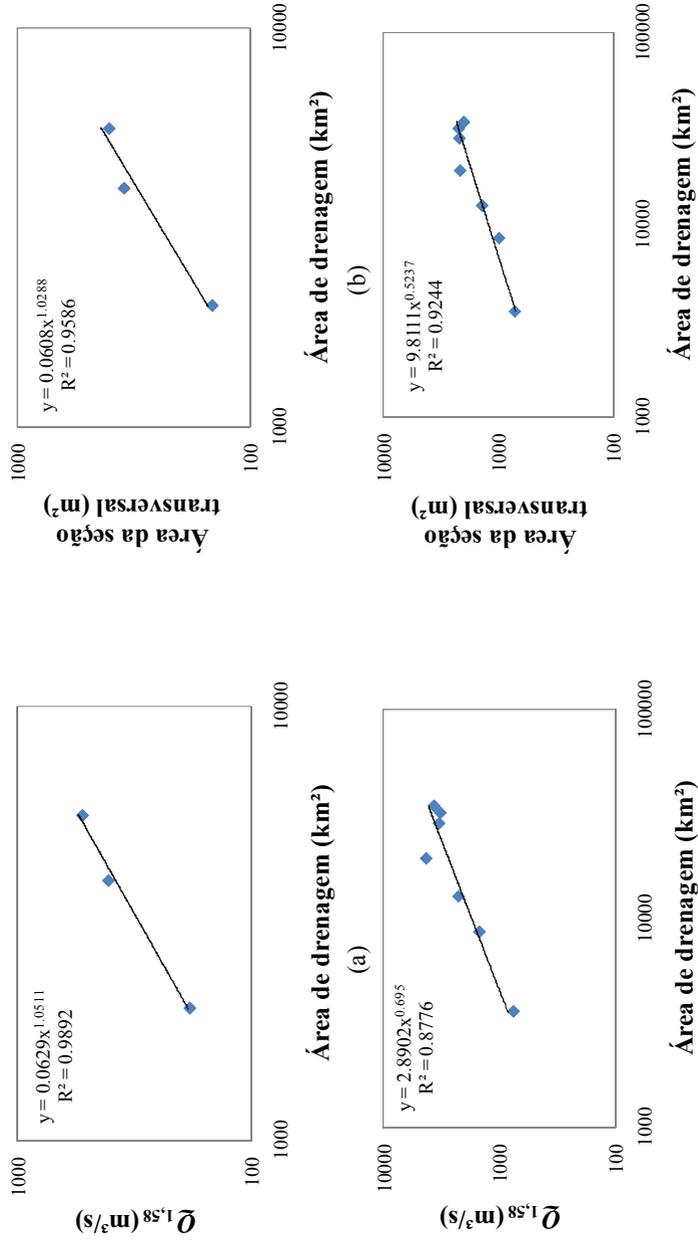


Figura 5.19 – Relações da área de drenagem com as vazões com período de retorno de 1,58 anos e com as áreas das seções transversais dos rios. (a) e (b) Rio Ivaí; (c) e (d) Rio Cinzas; (e) e (f) Rio Piquiri; (g) e (h) Rio Ribeira; (i) e (j) Rio Tibagi; (k) e (l) Rio Iguaçu.

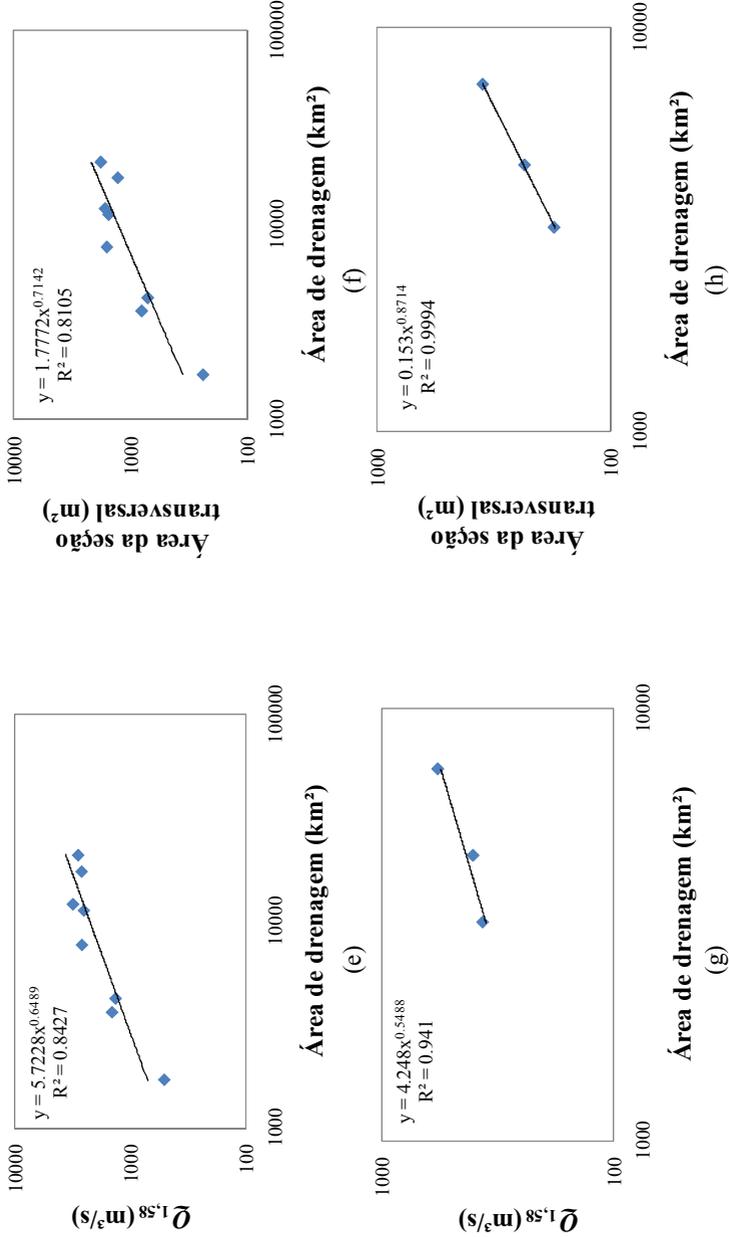


Figura 5.19 – (Continuação)

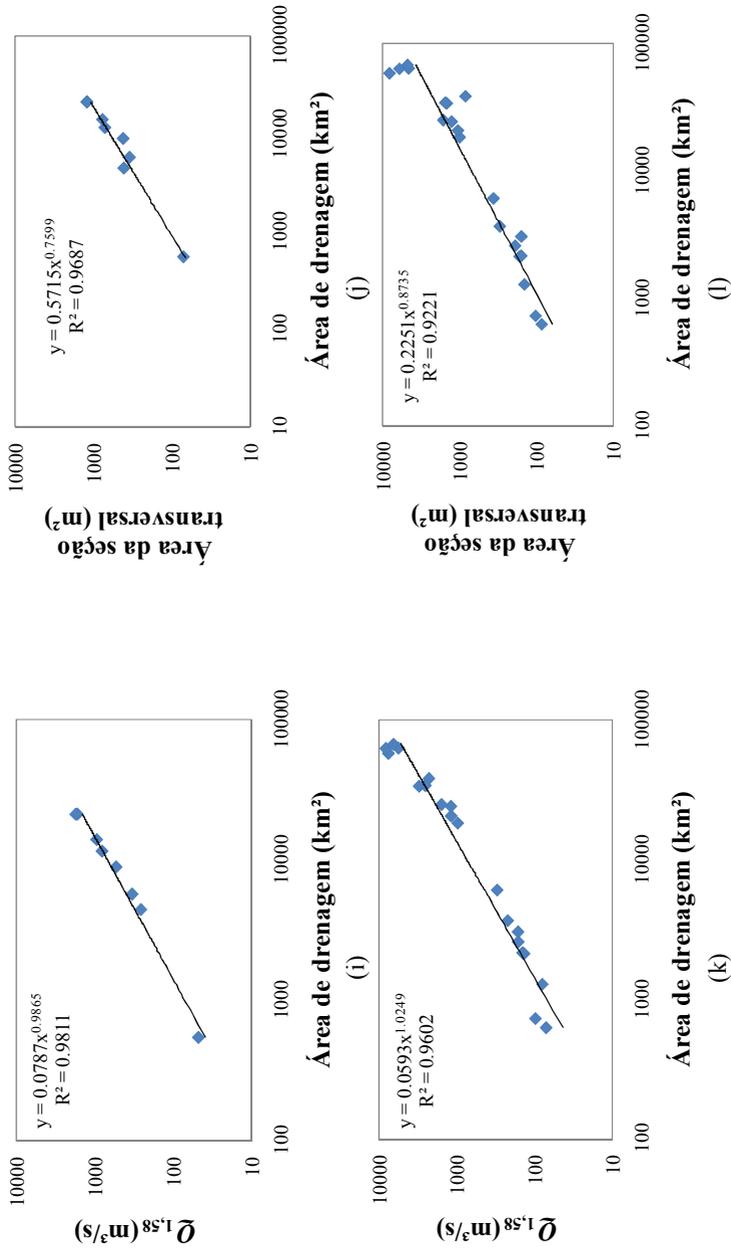


Figura 5.19 – (Continuação)

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A teoria da geometria hidráulica fluvial foi aplicada em nove bacias hidrográficas Paranaenses. Para isso foram estabelecidas as relações matemáticas da geometria hidráulica de seção e de direção à jusante para cada bacia.

Para análise da geometria hidráulica de seção foram selecionadas 448 estações entre as bacias. Os valores médios dos expoentes foram  $b = 0,08$ ,  $f = 0,36$  e  $m = 0,54$ . Uma análise de frequência dos expoentes mostrou que eles são normalmente distribuídos e que as maiores frequências ocorrem nos intervalos de 0,0 a 0,1, 0,2 a 0,5 e 0,4 a 0,7 para  $b$ ,  $f$  e  $m$  respectivamente, ou seja, próximas aos valores médios. Os valores médios dos expoentes para as classes geológicas foram: para a classe ígnea,  $b = 0,60$ ,  $f = 0,32$  e  $m = 0,08$ ; para a classe metamórfica,  $b = 0,47$ ,  $f = 0,40$  e  $m = 0,14$ ; e para a classe sedimentar,  $b = 0,48$ ,  $f = 0,41$  e  $m = 0,10$ .

Por meio de diagramas triaxiais foi feita uma análise da influência geológica nos expoentes da geometria hidráulica de seção. Em geral, verificou-se que a grande variabilidade de formações geológicas e a pouca quantidade de estações na maioria das formações dificultou essa análise geológica. Isso porque essa variabilidade causa grande dispersão dos pontos plotados nos diagramas triaxiais, o que prejudica a interpretação. Entre 22 tipos de formações geológicas verificou-se que em geral os rios das bacias de estudo possuem tendência de maior estabilidade das margens do que do leito. Além disso, as seções transversais possuem forma retangular ou parabólica. Na maioria dos rios ocorrem escoamentos supercríticos e a declividade do canal aumenta mais rapidamente que a rugosidade.

Muitos expoentes encontrados tiveram valores negativos. Porém, em todos os casos a soma ou produto de  $b$ ,  $f$  e  $m$  se manteve com valor 1, ou muito próximo de 1. Constatou-se então que os expoentes negativos podem ocorrer devido às medições de determinadas seções não serem sempre no mesmo local. Isso pode então provocar mudanças principalmente na largura e profundidade média. Para uma mesma vazão medida em dois locais diferentes a largura e a profundidade podem ser significativamente diferentes. Assim, na análise de regressão esses dados podem gerar um ajuste decrescente, o que resulta em expoentes negativos.

A análise da geometria hidráulica em direção a jusante foi feita com base nos rios Cinzas, Ivaí, Piquiri, Ribeira, Tibagi e Iguaçu. A pouca quantidade de estações e a má distribuição dessas estações ao

logo de alguns rios prejudicou uma análise mais precisa da geometria hidráulica de jusante. Destaca-se dessa análise que para os rios Piquiri e Ribeira a velocidade teve correlação negativa. No caso do Rio Ribeira essa correlação negativa pode ser devido a pouca quantidade de estações analisadas. No caso do Rio Piquiri a correlação negativa pode ser justificada por erros de medição ao longo do canal. Mas por outro lado, a correlação negativa pode ser normal nesses rios. Destaca-se também que no caso do Rio Iguçu a presença das barragens não interferiu na análise da geometria hidráulica, o que pode ter sido devido às estações não estarem sob a influência das barragens.

A relação entre vazão com período de retorno de 1,58 anos e área de drenagem mostrou que na ausência de uma série de dados de vazão a área de drenagem pode ser utilizada para estudos de geometria hidráulica de jusante das bacias paranaenses. Além disso, a alta correlação da área da seção transversal com a área de drenagem mostrou que área da seção transversal pode ser uma variável indicadora da capacidade do canal quando em nível de margens plenas. Dessa forma a geometria hidráulica é útil em estudos de regionalização de vazão.

A coerência dos dados de vazão para um período de retorno de 1,58 anos com a área de drenagem mostra que em geral os dados medidos podem ser considerados bons e confiáveis. Devido a isso, a teoria da geometria hidráulica fluvial pode ser utilizada como uma ferramenta de apoio na consistência de dados fluviométricos.

Além da geologia, outros fatores como regime climático e hidrológico, formações morfológicas, usos dos solos, tipos de vegetação, entre outros, podem influenciar a geometria hidráulica dos rios no Paraná. Recomenda-se que futuros trabalhos continuem a investigar qual desses fatores que mais influencia a forma dos canais dos rios paranaenses. Outros períodos de retorno para a vazão dominante também devem ser investigados em futuros trabalhos. Devido à grande quantidade de barragens que existem em outros rios paranaenses, também se recomenda uma investigação sobre a influência dessas barragens na forma desses rios.

A teoria da geometria hidráulica proposta por Leopoldo & Maddock (1953) ainda pode ser muito desenvolvida e explorada. Apesar de pouco conhecida e aplicada no Brasil o presente trabalho demonstrou que essa teoria pode contribuir com o avanço da ciência hidrológica e consequentemente com gerenciamento dos recursos hídricos brasileiros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHAMSON, A. D. Channel networks: A geomorphological perspective. **Water Resources Research**, v.20, p.161-188, 1984.
- ACKERS, P. Experiments on small streams in alluvium. **Journal of the Hydraulics Division**, Proc. ASCE, v. 90, n. HY4, p.1-37, 1964.
- ALLEN, P. M.; ARNOLD, J. G.; BYARS, B. W. Downstream channel geometry for use of in planning-level models. **Water Resources Bulletin**, v. 30, n. 4, p.663-671, 1994.
- AQUINO, S.; STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. Regime hidrológico e aspectos do comportamento morfohidráulico do Rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, n.2, 2005.
- ARP, C. D.; SCHMIDT, J. C.; BAKER, M. A.; MYERS, A. K. Stream geomorphology in a mountain lake district: hydraulic geometry, sediment sources and sinks, and downstream lake effects. **Earth Surf. Process. Landforms**, v.32, p.525-543, 2007.
- BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Brasília – DF, 2003. 692 p.
- BOOKER, D. J.; DUNBAR, M. J. Predicting river width, depth and velocity at ungauged sites in England and Wales using multilevel models. **Hydrological Processes**, v.22, p. 4049-4057, 2008.
- BRUSH, L. M. Drainage basins, channels, and flow characteristics of selected streams in central Pennsylvania. **U. S. Geological Survey Professional Paper** 282-F, p.145-175, 1961.
- BUHMAN, D. L.; GATES, T. K.; WATSON, C. C. Stochastic variability of fluvial hydraulic geometry: Mississippi and Red rivers. **Journal of Hydraulic Engineering**, v.128, n.4, p.426-437, 2002.
- CARLING, P. The concept of dominant discharge applied to two gravel-bed streams in relation to channel stability thresholds. **Earth Surf. Process. Landforms**, v.13, p.355-367, 1988.

CARLSTON, C. W. Downstream variations in the hydraulic geometry of streams: special emphasis on mean velocity. **American Journal of Science**, v. 267, p.499-509, 1969.

CASTRO, J. M.; JACKSON, P. L. Bankfull discharge recurrence intervals and regional hydraulic geometry relationships: patterns in the pacific northwest, USA. **Journal of the American Water Resources Association**, v.5, n.37, 2001.

CHOW, V. T. **Open-Channel Hydraulics**. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York - NY, 1988. 680p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. Editora Edgard Blucher, São Paulo – SP, 1981. 313p.

CHURCH, M. **On the equation of hydraulic geometry**. Department of Geography, University of British Columbia, Vancouver, Canada, 1980.

COATES, D. R. Hydraulic geometry in a glaciated region. **Transactions, American Geophysical Union**, v. 50, p.149, 1969.

CPRM, (Org.). **Serviço Geológico do Brasil**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/>>.

CURCIO, G. R.; BONNET, A.; RACHWAL, M. F. G.; GALVÃO, F.; UHLMANN, A. A tectônica e sua relação com as florestas fluviais dos rios Iguçu e Tibagi no segundo planalto paranaense – Paraná – Brasil. **In: VIII Congresso de Ecologia do Brasil, Caxambu – MG, Anais, 2007.**

DALRYMPLE, T. **Manual of Hydrology: Part 3. Flood-frequency analyses**. Geological Survey Water-Supply, Paper 1543-A, 1960. 80p.

DARBY, S. E. Refined Hydraulic Geometry Data for British Gravel-Bed Rivers. **Journal of Hydraulic Engineering**, v.131, n.1, 2005.

DE ROSE, R. C.; STEWARDSON, M. J.; HARMAN, C. Downstream hydraulic geometry of rivers in Victoria, Australia, **Geomorphology**, n.99, p.302–316, 2008.

DESTEFANI, E. V. **Regime hidrológico do Rio Ivaí – PR**. Maringá – PR, 99f. il. Dissertação (Mestrado em Análise Regional e Ambiental) -

Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2002.

DOLL, B. A.; DOBBINS, A. D.; SPOONER, J.; CLINTON, D.R.; BIDELESPACH, D.A. Hydraulic geometry relationships for rural north carolina coastal plain streams. **NC Stream Restoration Institute**, Report to N.C. Division of Water Quality for 319 Grant Project No. EW20011, www.ncsu.edu/sri, 11 p., 2003.

DUNNE, T.; LEOPOLD, L. B. **Water in Environmental Planning**. W. H. Freeman and Company, New York, 1978. 818p.

DURY, G.H. Magnitude-frequency analysis and channel morphology. **Fluvial Geomorphology**. Allen and Unwin, p.91-121, 1973.

DURY, G.H. Discharge prediction, present and former from channel dimensions. **Journal of Hydrology**, v.30, p.219-245, 1976.

DURY, G.H.; HAILS, J.R.; ROBBIE, H.B. Bankfull discharge and magnitude-frequency series. **Australian Journal of Science**, v.26, p.123-124, 1963.

EBISEMIJU, F. S. The morphology and downstream hydraulic geometry relations of alluvial stream channels in a humid tropical environment, southwestern Nigeria. **IAHS**, n.187, 1989.

FERGUSON, R. I. Hydraulics and hydraulic geometry. **Progress in Physical Geography**, v.10, p.1-31, 1986.

FERNANDEZ, O. V. Q.; BORTOLUZZI, L. N. Magnitude e frequência das descargas dominantes em rios das regiões oeste e sudoeste do Paraná. In: VII Simpósio Nacional de Geomorfologia, Belo Horizonte-MG, Anais, 2008.

FISRWG. **Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices**. Federal Interagency Stream Restoration Working Group. Item No. 0120-A; SuDocs No. A 57.6/2:EN 3/PT.653. ISBN-0-934213-59-3. 1998.

GIBERTONI, R. F. C.; SANTOS, I.; MÜLLER, I. I.; PEREIRA, P. S. Modelagem da produção e transporte de sedimentos em bacias

hidrográficas do litoral paranaense: o caso da bacia do Rio Nhundiaquara. **In:** XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande-MS, UFMS, Anais, 18p., 2009.

GLICKAUF, S.; HARMAN, W.; BEVINGTON, S.; GILLAND, K. The development of bankfull hydraulic geometry relationships for streams of the Georgia coastal plain. **In:** Proceedings of the Georgia Water Resources Conference, University of Georgia, 2007.

GORDON, N. D.; MCMAHON, T. A.; FINLAYSON, B. L. **Stream hydrology: an introduction for ecologists**. John Wiley & Sons Ltd, New York, 1992. 526p.

GREGORY, K. J. & PARK, C. Adjustment of River Channel Capacity Downstream From a Reservoir. **Water Resources Research**, v.10, p.870-873, 1974.

GRIFFITHS, G. Hydraulic geometry of some New Zealand gravel-bed rivers. **Journal of Hydrology**, v.19, p.106-18, 1980.

HADADIN, N.; BDOUR, A. At-station hydraulic geometry for incised channels. **Journal of Applied Sciences**, v.5, p.1606-1612, 2005.

HAFEZ, Y. I. River response to sediment loads. **In:** Proceedings of World Water and Environmental Resources Congress, 2001.

HARMAN, W.A.; JENNINGS, G.D.; PATTERSON, J.M.; CLINTON, D.R.; SLATE, L.O.; JESSUP, A.G; EVERHART, J.R; SMITH, R.E. Bankfull Hydraulic Geometry Relationships for North Carolina Streams. **In:** AWRA Wildland Hydrology Proceedings. D.S. Olsen and J.P. Potyondy, editors. AWRA Summer Symposium. Bozeman, MT. 1999.

HEEDE, B. H. Influences of a forest on the hydraulic geometry of two mountain streams. **Water Resources Bulletin**, v.8, n.3, p.523-530, 1972.

HICKIN, E. J. Channel morphology bankfull stage and bankfull discharge of streams near Sydney, Australia. **Journal of Science**, v.30, p.274-275, 1968.

HOGAN, D. L.; CHURCH, M. Hydraulic geometry in small, coastal streams: progress towards quantification of salmonid habitat. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v.46, p.844-852, 1989.

HUANG, H. Q.; NANSON, G. C. Hydraulic geometry and maximum flow efficiency as products of the principle of least action. **Earth Surf. Process. Landforms**, v.25, p.1-16, 2000.

HUANG, H. Q.; WARNER, R. F. The multivariate controls of hydraulic geometry: a causal investigation in terms of boundary shear distribution. **Earth Surface Processes And Landforms**, v.20, p.115-130, 1995.

JOWETT, I. G. Hydraulic geometry of New Zealand rivers and its use as a preliminary method of habitat assessment. **Regul. Rivers: Res. Mgmt.**, v.14, p.451-466, 1998.

KELLERHALS, R.; CHURCH, M. The morphology of large rivers: characterization and management. **In**: Proceedings of the International Large Rivers Symposium. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 106, p.31-48, 1989.

KNIGHTON, A. D. Changes in braided reach. **Geological Society of America Bulletin**, v. 83, p.3813-3922, 1972.

KNIGHTON, A. D. Variation in width–discharge relation and some implications for hydraulic geometry. **Geological Society of America Bulletin**, v.85, p.1069–1076, 1974.

KOBIYAMA, M.; JR, J. B.; FRUET, D.; SANTOS, I. Análise do hidrograma das bacias dos rios Nhundiaquara e Marumbi, PR: estudo preliminar com geometria fractal. **In**: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju-SE, Anais, 2001.

KOBIYAMA, M. Conceitos de zona ripária e seus aspectos geobiohidrológicos. **In**: I Seminário de Hidrologia Florestal: Zonas Ripárias – Alfredo Wagner/SC, 2003.

KOBIYAMA, M.; CHAFFE, P.L.B.; ROCHA, H.L.; CORSEUIL, C.W.; MALUTTA, S.; GIGLIO, J.N.; MOTA, A.A.; SANTOS, I.; RIBAS JUNIOR, U.; LANGA, R. Implementation of school catchments network for water resources management of the Upper Negro River

region, southern Brazil. In: Taniguchi, M.; Burnett, W.C.; Fukushima, Y.; Haigh, M.; Umezawa, Y. (Orgs.). **From Headwater to the Ocean: Hydrological changes and watershed management**. London: Taylor & Francis, p.151-157, 2009.

LANE, L. J.; FOSTER, G. R. Modeling channel processes with changing land use. **Proceedings, ASCE Symposium on Watershed Management**, v.1, p.200-214, 1980.

LANGBEIN, W.B. Geometry of river channels. **Journal of the Hydraulics Division, ASCE**, v. 90, n. HY2, p. 301-311, 1964.

LATRUBESSE, E. M.; AQUINO, S. Geometria hidráulica em rios da Amazônia Sul-Occidental. **Revista Geosul**, Florianópolis, v. 14, n. 27, p.610-613, 1998.

LAWRENCE, D. S. Analytical derivation of at-a-station hydraulic-geometry relations. **Journal of Hydrology**, v.334, p.17-27, 2007.

LEE, J. S.; JULIEN, P. Y. Downstream Hydraulic Geometry of Alluvial Channels. **Journal of Hydraulic Engineering**, v.132, p.1347-1352, 2006.

LEOPOLD, L.B; MILLER J.P. Ephemeral streams-hydraulic factors and their relation to the drainage net. **United States Geological Survey**, Prof. Paper. 282A, 42p, 1956.

LEOPOLD, L. B. **A View of the River**. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1994. 290p.

LEOPOLD, L.B.; MADDOCK, T. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. **United States Geological Survey**, Prof. Paper. 252, 56p, 1953.

LEOPOLD, L. B.; SKIBITZKE, H. E. Observations on measured rivers. **Geografika Annales**, v. 49A, n. 2-4, p.247-255, 1967.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J.P. **Fluvial Processes in Geomorphology**. W.H. Freeman and Company, San Francisco, 1992. 522p.

LIMA, J. E. F. W.; LOPES, W. T. A.; SILVA, E. M.; VIEIRA, M. R. **Diagnóstico hidrossedimentológico da bacia do Rio Piquiri**. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, Embrapa Cerrados, n.134, 2004. 25p.

MARTINS, T. D. **Superfícies aplainadas na bacia hidrográfica do altíssimo Rio Tibagi – PR**, 92f. il. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

MERRITT, D. M.; WOHL, E. E. Downstream hydraulic geometry and channel adjustment during a flood along an ephemeral, arid-region drainage. **Geomorphology**, v.52, p.165-180, 2003.

MILLER, J. P. High mountain streams: Effect of geology on channel characteristics and bed material. **New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources**, Memo 4, Socorro, New Mexico, 1958.

MONTGOMERY, D. R.; GRAN, K. B. Downstream variations in the width of bedrock channels. **Water Resources Research**, v.37, n.6, p.1841-1846, 2001.

MORISAWA, M. **Rivers: Form and Process**. Harlow: Longman, 1985. 222p.

MOSLEY, M. P. Semi-determinate hydraulic geometry of river channels, south island, New Zealand. **Earth Surf. Process. Landforms**, v.6, p.127-137, 1981.

MOSLEY, M. P. Critical depths for passage in braided rivers, Canterbury, New Zealand. **New Zeal. J. Mar. Freshwat. Res.**, v.16, p.351-357, 1982.

MOSLEY, M. P.; JOWETT, I. G. Fish habitat analysis using river flow simulation. **New Zeal. J. Mar. Freshwat. Res.**, v.19, p.293-309, 1985.

NAVRATIL, O.; ALBERT, M. B.; HÉROUIN, E.; GRESILLON, J. M. Determination of bankfull discharge magnitude and frequency: comparison of methods on 16 gravel-bed river reaches. **Earth Surf. Process. Landforms**, v.31, p.1345-1363, 2006.

PARK, C. C. World-wide variations in hydraulic geometry exponents of stream channels: an analysis and some observations. **Journal of Hydrology**, v.33, p.133-146, 1977.

PARK, C. C. Allometric analysis and stream channel morphology. **Geographical. Analysis**, v.10, p.211-228, 1978.

PARKER, G. Hydraulic geometry of active gravel rivers. **Journal of Hydraulic Division**, Proc. ASCE, v.105, n. HY9, p.1185-1201, 1979.

PHILLIPS, P. J.; HARLIN, J. M. Spatial dependency of hydraulic geometry exponents in a subalpine stream. **Journal of Hydrology**, v. 71, p.277-283, 1984.

PONTON, J. R. Hydraulic geometry in the Green and Birkenhead river basins, British Columbia. **Mountain Geomorphology: Geomorphological Processes in the Canadian Zcordillera**, p.151-160, 1972.

RHODES, D.D. The *b-f-m* diagram graphical representation and interpretation of at-a-station hydraulic geometry. **American Journal of Science**, v.277, p.73-42, 1977.

RICHARD, G. A. **Quantification and prediction of lateral channel adjustments downstream from cochiti dam, Rio Grande, NM.** 2001

RIGGS, H.C. Streamflow characteristics from channel size. **Journal of the Hydraulics Division**, n.104, p.87-96 d, 1978.

RILEY, S. J. Comparison of morphometric measures of bankfull. **Journal of Hydrology**, v.17, p.23-31, 1972.

RILEY, S. J. Aspects of bankfull geometry in a distributary system of eastern Australia. **Hydrological Sciences Journal**, v.21, p.545-560, 1976.

RILEY, S. J. The role of minimum variance theory in defining the regime characteristics of the lower Namoi-Gwydir basin. **Water Resources Bulletin**, v.14, p.1-11, 1978.

ROSGEN, D.L. A classification of natural rivers. **Catena**, v.22, p.169-199, 1994.

ROY, A. G.; ROY, R.; BERGERON, N. Hydraulic geometry and changes in flow velocity at a river confluence with coarse bed material. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.13, p.583-598, 1988.

SCHUMM, S.A. **The fluvial system**. John Wiley & Sons, New York - EUA, 1977. 338p.

SCOTT, C. H. Suspended sediment and the hydraulic geometry of channels. Erosion and Deposition in the Loess-Mantled Great Plains, Madison Creek Drainage Basin, Nebraska, **Geological Survey Professional Paper 352-H**, Washington, D. C., 1966.

SIMONS, D. B.; RICHARDSON, E. V.; NORDIN, C. J. Sedimentary structures generated by flow in alluvial channels. **SEPM Special Publication**, v.12, p.34-52, 1965.

SINGH, V.P. On the theories of hydraulic geometry. **International Journal of Sediment Research**, v.18, p.196-218, 2003.

SINGH, V.P.; ZHANG, L. At-a-station hydraulic geometry relations, 1: theoretical development. **Hydrological Process**, v.22, p.189-215, 2008a.

SINGH, V.P.; ZHANG, L. At-a-station hydraulic geometry relations, 2: calibration and testing. **Hydrological Process**, v.22, p.216-228, 2008b.

SINGH, V. P.; YANG, C. T.; DENG, Z. Q. Downstream hydraulic geometry relations: 1. Theoretical development. **Water Resources Research**, v.39, n.12, SWC2-1–SWC2-15, 2003a.

SINGH, V. P.; YANG, C. T.; DENG, Z. Q. Downstream hydraulic geometry relations: 2. Calibration and testing. **Water Resources Research**, v.39, n.12, SWC3-1–SWC3-10, 2003b.

SMITH, T. R. A derivation of the hydraulic geometry of steady-state channels from conservation principles and sediment transport laws. **Journal of Geology**, v.82, p.98-104, 1974.

STALL, J. B.; YANG, C. T. Hydraulic geometry of 12 selected stream systems of the United States. **University of Illinois, Water Resources Research Center, Research Report**, n.32, 1970.

STEWARDSON, M. J. Hydraulic geometry of stream reaches. **Journal of Hydrology**, v.306, p.97-111, 2005.

STOUT, H. P. Prediction of oxygen deficits associated with effluent inputs to the rivers of the Forth catchment. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers**, v.2, p.51-64, 1979.

SUDERHSA, (Org.). **Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental**. Disponível em: <<http://www.suderhsa.pr.gov.br/>>.

THORNES, J. B. The hydraulic geometry of stream channels in the Xingu-Araguaia headwaters. **Geographical Journal**, v.136, p.366-82, 1970.

TUROWSKI, J. M.; HOVIUS, N.; WILSON, A.; HORNG, M. J. Hydraulic geometry, river sediment and the definition of bedrock channels. **Geomorphology**, v.99, p.26–38, 2008.

WESTERN, A. W.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A.; O'NEILL, I. C. A method for characterizing longitudinal irregularity in river channels. **Geomorphology**, v.21, p.39-51, 1997.

WILCOCK, D. N. Investigation into the relations between bed load transport and channel shape. **Geol. Soc. America Bull**, v.82, p.2159-2176, 1971.

WILKERSON, G. V. Improved bankfull discharge prediction using 2-year recurrence-period discharge. **Journal of the American Water Resources Association**, v.44, n.1, p.243-258, 2008.

WILLIAMS, G. P. Bank-full discharge of rivers. **Water Resources Research**, v.14, p.1141–1154, 1978.

WILLIAMS, G.P. Hydraulic geometry of river cross-sections- Theory of minimum variance. Professional paper 1029, **U.S. Geological Survey**, Washington, D.C., 1978.

WILLIAMS, P. B.; ORR, M. K.; GARRITY, N. J. Hydraulic Geometry: A Geomorphic Design Tool for Tidal Marsh Channel Evolution in Wetland Restoration Projects. **Restoration Ecology**, v.10, n.3, p.577-590, 2002.

WOHL, E. Downstream hydraulic geometry along a tropical mountain river. **In: The Rio Chagres: A multidisciplinary profile of a tropical watershed**, R. S. Harmon, ed, Kluwer Academic Publishers, New York-NY, p.169-188, 2005.

WOLMAN, M. G. The natural channel of brandywine creek, Pennsylvania. **Geological Survey**, Prof. Paper 271, 63p, 1955.

WOLMAN, M. G.; LEOPOLD, L. B. River flood plains: some observations on their formation. **United States Geological Survey**, Prof. Paper 282-C, 30p, 1957.

XU, J. Comparison of hydraulic geometry between sand and gravel-bed rivers in relation to channel pattern discrimination. **Earth Surf. Process. Landforms**, v.29, p.645-657, 2004.

YANG, C. T. Unit stream power and sediment transport. **Journal of the Hydraulics Division**, v.98, n.HY-10, p.1805-1826, 1972.



## ANEXO

Códigos das estações utilizadas em cada bacia de estudo, período da série de dados analisada, número de medições de vazão consideradas, valores dos expoentes  $b$ ,  $f$ ,  $e$  e  $m$ , sua soma  $b+f+m$ , coeficientes  $a$ ,  $c$  e  $k$  e seu produto  $a \cdot c \cdot k$ , encontrados para cada estação fluviométrica analisada.

<b>Bacia Cinzas</b>										
<b>Código</b>	<b>Período</b>	<b>N<sub>med</sub></b>	<b><math>b</math></b>	<b><math>f</math></b>	<b><math>m</math></b>	<b><math>b+f+m</math></b>	<b><math>a</math></b>	<b><math>c</math></b>	<b><math>k</math></b>	<b><math>a \cdot c \cdot k</math></b>
64359950	2002-2006	12	0,18	0,13	0,68	0,99	8,48	0,38	0,30	0,99
64360000	1931-2009	377	0,03	0,17	0,80	1,00	55,98	0,85	0,02	1,00
64360100	2000-2008	16	0,06	0,33	0,61	1,00	5,15	0,84	0,23	1,00
64362000	1976-2008	119	0,06	0,64	0,29	1,00	50,55	0,08	0,23	1,00
64365000	1973-1975	52	0,13	0,23	0,65	1,00	2,38	0,32	1,34	1,01
64365800	2001-2006	16	0,05	0,13	0,84	1,02	6,57	0,38	0,42	1,05
64365850	2002-2009	19	0,12	0,25	0,63	0,99	9,74	0,26	0,39	1,00
64366500	2001-2009	20	0,08	0,33	0,59	1,00	18,03	0,46	0,12	1,00
64370000	1932-2009	632	0,01	0,38	0,61	1,00	76,45	0,31	0,04	1,00
64380000	1972-2009	467	0,05	0,44	0,51	1,00	22,12	0,29	0,15	1,00
64382000	1976-2008	92	0,01	0,12	0,86	0,99	61,49	1,77	0,01	1,02
64385000	1953-1961	18	-0,09	0,57	0,52	1,00	98,61	0,15	0,07	1,00
64390000	1931-2009	587	0,05	0,39	0,56	1,00	47,37	0,42	0,05	1,00
<b>Bacia Itararé</b>										
64230000	2008-2009	10	0,12	0,41	0,48	1,00	18,66	0,38	0,14	1,00
64230500	1979-1984	39	0,07	0,50	0,43	1,00	16,96	0,37	0,16	1,00
64231000	1985-2009	100	0,02	0,23	0,76	1,00	38,91	0,76	0,03	1,00
64235000	1954-1955	14	0,35	0,22	0,43	1,00	7,40	0,69	0,19	0,99
64240000	1940-1943	54	0,08	0,48	0,44	1,00	19,47	0,24	0,21	1,00
64241000	1954-1958	34	0,01	0,11	0,87	1,00	39,46	0,84	0,03	1,00
64242000	1976-2008	120	0,06	0,53	0,41	1,00	32,23	0,19	0,16	1,00
64242200	2002-2006	10	0,22	0,55	0,24	1,00	11,14	0,56	0,16	1,00
64245000	1972-1979	55	0,13	0,67	0,20	1,00	37,82	0,10	0,26	1,00
64248000	1931-1969	175	0,04	0,25	0,71	1,00	53,73	0,71	0,03	1,00
64250000	1972-1979	54	0,04	0,79	0,18	1,00	18,88	0,14	0,39	1,00
<b>Bacia Ivai</b>										
64619950	1985-2009	111	0,05	0,25	0,70	1,00	33,71	0,95	0,03	1,00
64620000	1930-2009	426	0,004	0,29	0,71	1,00	47,86	0,48	0,04	1,00
64622000	1951-1956	7	0,22	0,40	0,38	1,01	16,67	0,21	0,28	0,99
64625000	1956-2009	248	0,07	0,67	0,26	1,00	67,79	0,07	0,22	1,00
64630000	1957-2002	34	0,26	-0,14	0,87	0,99	12,09	1,38	0,06	1,02
64630100	2004-2004	18	0,11	0,24	0,65	1,00	16,78	0,38	0,16	1,00
64630500	2000-2008	30	0,05	0,22	0,73	1,00	24,37	0,62	0,07	1,00
64632000	2004-2008	22	0,09	0,19	0,72	1,00	12,65	0,52	0,15	1,00
64634000	2002-2008	18	0,04	0,15	0,81	1,00	4,00	0,46	0,54	1,00
64635000	1948-1953	11	-0,03	0,48	0,55	1,00	8,20	0,37	0,33	1,00
64637000	1960-1974	54	-0,17	0,46	0,71	1,00	22,96	0,29	0,15	1,00
64638000	1956-2008	27	0,42	0,34	0,24	1,00	9,34	0,22	0,48	1,00
64639010	2002-2004	6	-0,25	-0,43	1,67	0,99	1,24	0,04	17,74	0,97

<b>Bacia Ivai - Continuação</b>										
64640000	1949-1956	7	0,03	0,08	0,89	1,00	179,41	1,22	0,00	0,99
64645000	1965-2008	473	0,002	0,48	0,51	1,00	134,46	0,16	0,05	1,00
64647000	2001-2008	19	0,19	0,49	0,33	1,00	4,14	1,29	0,19	1,00
64648000	2004-2009	26	0,02	0,17	0,82	1,01	38,29	0,38	0,07	0,99
64652000	1974-2009	427	0,02	0,22	0,76	1,00	74,07	0,78	0,02	1,00
64655000	1971-2009	259	0,03	0,08	0,88	1,00	132,23	3,93	0,002	1,00
64655300	2001-2008	23	0,29	0,23	0,48	1,00	6,92	0,33	0,43	1,00
64658400	2002-2007	14	0,03	0,14	0,83	1,00	4,74	0,31	0,69	1,00
64658500	1965-2009	472	0,01	0,40	0,59	1,00	85,71	0,19	0,06	1,00
64659000	1974-2009	139	0,04	0,34	0,62	1,00	74,33	0,55	0,02	1,00
64660000	1965-2009	467	0,01	0,40	0,59	1,00	85,75	0,20	0,06	1,00
64660500	1985-2003	177	0,01	0,22	0,76	1,00	212,93	0,70	0,01	1,00
64670000	1949-1955	31	0,12	0,26	0,62	1,00	14,38	0,65	0,11	1,00
64671000	1974-2009	428	0,07	0,12	0,81	1,00	21,15	1,08	0,04	1,00
64671600	2004-2008	21	0,01	0,62	0,36	1,00	20,21	0,12	0,41	1,01
64671950	2001-2009	19	0,14	0,76	0,10	1,00	7,37	0,47	0,29	1,00
64672000	1973-1975	52	0,03	0,59	0,38	1,01	6,34	0,24	0,65	0,99
64673000	1974-2008	139	0,03	0,19	0,77	1,00	42,90	0,78	0,03	1,00
64673002	1954-1955	11	-0,32	0,48	0,84	1,00	146,87	0,17	0,04	1,01
64675002	1974-2008	446	-0,01	0,22	0,79	1,00	240,45	1,41	0,00	1,00
64675240	1978-1980	24	-0,06	0,55	0,51	1,00	3,29	0,23	1,29	1,00
64675300	1978-1983	42	0,19	0,38	0,43	1,00	7,51	0,35	0,39	1,00
64675799	1975-1975	40	0,01	-0,16	1,14	0,98	2,05	0,14	3,46	0,96
64675800	1974-1981	115	0,37	0,20	0,42	0,99	5,50	0,20	0,90	1,00
64675801	1975-1975	48	0,01	0,50	0,52	1,02	2,70	0,44	0,87	1,04
64677000	1956-1958	14	0,06	0,54	0,42	1,01	7,14	0,35	0,39	0,99
64680000	1976-2008	119	0,05	0,40	0,54	1,00	18,69	0,28	0,20	1,00
64682000	1976-2009	119	0,09	0,47	0,44	1,00	14,28	0,23	0,31	1,00
64685000	1953-2009	440	0,02	0,43	0,55	1,00	195,76	0,19	0,03	1,00
64686800	1978-1981	35	0,82	0,58	-0,41	0,99	29,00	0,38	0,09	0,98
64687000	1974-1981	120	-0,07	0,14	0,94	1,01	4,21	0,18	1,34	1,00
64687300	1978-1981	34	-0,19	1,19	0,00	1,01	3,27	0,74	0,42	1,01
64688015	2002-2003	5	0,83	-0,08	0,24	0,98	9,70	0,18	0,55	0,97
64689000	1976-1991	87	0,07	0,47	0,47	1,00	103,27	0,25	0,04	1,00
64689005	1993-2009	57	0,05	0,28	0,68	1,00	119,83	0,97	0,01	1,00
64689800	1974-1975	69	-0,12	0,66	0,46	1,01	3,61	0,39	0,71	1,01
64690000	1958-1976	190	0,02	0,58	0,40	1,00	162,38	0,10	0,06	1,00
64690200	1974-1981	169	-0,02	0,20	0,82	1,00	2,64	0,23	1,66	1,01
64691000	1977-1981	37	0,01	0,70	0,30	1,01	11,53	0,23	0,38	0,99
64691040	2001-2007	13	0,18	-0,07	0,86	0,97	7,57	0,14	0,91	0,98
64691050	1977-1981	33	0,42	0,34	0,23	1,00	5,35	0,42	0,45	1,00
64691100	1977-1983	32	0,44	0,54	0,04	1,02	8,44	0,43	0,29	1,05
64691150	1977-1981	49	0,01	0,67	0,32	1,00	17,56	0,18	0,31	1,00
64693000	1974-2009	238	0,05	0,38	0,56	1,00	114,16	0,45	0,02	1,00
64695000	1979-1980	16	0,02	0,18	0,81	1,00	183,74	1,98	0,00	1,00
<b>Bacia Litorânea</b>										
82002000	1992-2008	97	0,11	0,61	0,28	1,00	10,50	0,35	0,27	1,00
82008000	1975-1977	31	0,11	0,16	0,73	1,00	21,24	0,34	0,14	1,00
82009080	1977-2008	126	0,21	0,57	0,22	1,00	2,03	0,30	1,62	1,00

<b>Bacia Litorânea - Continuação</b>										
82060004	1957-1960	77	0,19	0,27	0,54	1,00	22,32	0,34	0,13	1,00
82061000	1951-1960	56	0,19	0,27	0,54	1,00	22,32	0,34	0,13	1,00
82065000	1992-2009	99	0,08	0,55	0,38	1,00	22,46	0,19	0,24	1,00
82111000	1945-1965	230	0,22	0,62	0,16	1,00	16,56	0,18	0,34	1,00
82121000	1930-1952	55	0,02	0,63	0,35	1,00	29,18	0,18	0,19	1,00
82121002	1974-2009	21	0,12	0,29	0,59	1,00	21,17	0,77	0,06	1,01
82121003	1994-2008	72	0,12	0,66	0,22	1,00	37,85	0,11	0,24	1,00
82139500	2006-2008	11	0,14	0,34	0,52	1,00	13,17	0,54	0,14	1,00
82140000	1952-1956	22	0,16	0,51	0,32	0,99	7,63	0,40	0,33	1,00
82140700	2006-2009	15	0,09	0,31	0,60	1,00	15,25	0,42	0,16	1,00
82160000	1940-1952	150	0,52	0,67	-0,19	1,00	9,34	0,44	0,24	0,99
82163000	1952-1956	10	0,33	0,10	0,57	1,00	6,51	0,52	0,29	1,00
82170000	1938-2009	598	0,02	0,36	0,62	1,00	32,09	0,28	0,11	1,00
82185000	1944-1944	7	-0,03	0,06	0,95	0,98	6,92	0,25	0,57	0,98
82190000	1944-1947	41	0,01	0,51	0,48	1,00	23,47	0,22	0,19	1,00
82195000	1948-1965	86	0,24	0,34	0,42	1,00	19,55	0,43	0,12	1,00
82195002	1974-2006	189	0,08	0,27	0,65	1,00	31,01	0,29	0,11	1,00
82198000	1977-2009	152	0,12	0,38	0,50	1,00	18,91	0,26	0,21	1,00
82198300	2006-2009	16	0,14	0,52	0,33	1,00	9,71	0,31	0,33	1,00
82220000	1948-2008	48	0,15	0,40	0,45	1,00	8,36	0,40	0,30	1,00
82230805	1997-2008	39	-0,05	0,75	0,30	1,00	40,63	0,10	0,24	1,00
82230850	1997-2008	35	-0,13	0,80	0,33	1,00	28,89	0,10	0,36	1,00
82234000	1996-2008	65	0,02	0,35	0,63	1,00	52,85	0,36	0,05	1,00
82235000	1992-1996	35	0,03	0,35	0,62	1,00	32,52	0,38	0,08	1,00
82252000	1972-1972	9	0,30	1,09	-0,40	0,99	3,60	12,91	0,02	0,96
<b>Bacia Piquiri</b>										
64764000	1984-2007	97	0,06	0,40	0,54	1,00	40,20	0,37	0,07	1,00
64764400	2004-2009	25	0,15	0,43	0,42	1,00	28,66	0,28	0,12	1,00
64765000	1971-1982	135	0,05	0,27	0,67	1,00	71,58	0,52	0,03	1,00
64765001	1982-1983	6	0,03	0,14	0,83	1,00	77,45	1,65	0,01	1,00
64767000	1981-2007	301	-0,01	0,24	0,77	1,00	102,57	1,23	0,01	1,00
64771500	1976-2007	201	0,03	0,17	0,80	1,00	66,11	1,42	0,01	1,00
64773000	1978-2008	119	0,06	0,33	0,60	1,00	31,00	0,47	0,07	1,00
64775000	1967-2007	211	0,03	0,22	0,75	1,00	75,39	1,09	0,01	1,00
64775050	2001-2008	23	0,09	0,34	0,58	1,01	4,40	0,54	0,43	1,01
64776100	1986-2007	82	0,005	0,12	0,88	1,00	130,42	4,07	0,002	1,00
64780000	1965-1979	62	0,003	0,63	0,36	1,00	20,33	0,20	0,24	1,00
64782000	1951-1955	8	0,04	0,17	0,79	1,00	7,67	0,74	0,18	1,00
64785000	1967-2008	266	0,09	0,41	0,50	1,00	20,25	0,37	0,13	1,00
64790000	1964-2008	120	-0,01	0,30	0,71	1,00	27,90	0,54	0,07	1,00
64795000	1970-2003	276	0,02	0,20	0,79	1,00	175,47	1,15	0,005	1,00
64796950	2008-2009	4	-0,01	0,40	0,61	1,00	17,21	0,27	0,21	1,00
64797000	1957-2009	7	0,03	0,72	0,25	1,00	25,09	0,10	0,41	1,00
64799500	1978-2006	186	0,01	0,30	0,69	1,00	194,39	0,49	0,01	1,00
64800000	1962-1978	137	0,02	0,28	0,69	1,00	126,70	0,57	0,01	1,00
64810000	1966-2008	236	0,14	0,58	0,28	1,00	17,18	0,23	0,25	1,00
64815000	1978-2006	88	0,07	0,26	0,68	1,00	35,46	0,60	0,05	1,00
64820000	1966-2004	465	-0,03	0,41	0,62	1,00	196,55	0,35	0,01	1,00
64824800	2002-2008	10	-0,45	0,65	0,80	1,00	12,64	0,33	0,24	0,99

<b>Bacia Piquiri - Continuação</b>										
64825000	1966-1968	9	0,04	0,36	0,60	1,00	10,95	0,42	0,22	1,00
64829550	2001-2008	16	0,30	0,44	0,26	1,00	5,15	0,59	0,33	1,00
64830000	1969-2003	188	0,04	0,34	0,62	1,00	156,87	0,47	0,01	1,00
64832000	1979-1980	7	0,05	0,19	0,76	1,00	149,76	1,65	0,004	1,01
64833000	1994-2008	53	0,16	0,57	0,27	1,00	8,02	0,30	0,41	1,00
<b>Bacia Pirapó</b>										
64529900	2001-2009	26	0,15	0,29	0,56	1,00	6,22	0,69	0,23	1,00
64530000	1973-1980	83	0,22	0,40	0,37	1,00	3,84	0,40	0,65	1,00
64540000	1959-1964	29	0,04	0,54	0,42	1,00	29,56	0,21	0,16	1,00
64541000	2001-2009	26	-0,003	0,08	0,92	1,00	29,15	2,17	0,02	1,00
64543000	1961-1973	31	0,11	0,43	0,46	1,00	18,54	0,35	0,16	1,00
64544000	1973-2004	49	0,04	0,03	0,94	1,01	6,02	0,14	1,16	1,00
64545000	1956-1957	9	0,10	-0,58	1,48	1,00	25,71	17,40	0,00	1,00
64545700	1977-1979	37	0,15	0,76	0,09	1,00	5,04	0,45	0,44	1,00
64545800	2006-2006	3	-0,05	0,40	0,66	1,01	9,42	0,68	0,15	1,00
64546900	2002-2007	16	0,14	0,47	0,39	1,00	10,86	0,37	0,25	1,00
64547000	1951-1965	28	0,08	0,48	0,44	1,00	16,60	0,39	0,15	1,00
64550000	1967-2009	220	0,03	0,33	0,64	1,00	38,38	0,56	0,05	1,00
64552000	1951-1956	18	-0,13	0,75	0,38	1,00	76,85	0,14	0,09	1,00
<b>Bacia Ribeira</b>										
81019300	1988-2008	78	0,11	0,41	0,48	1,00	11,79	0,34	0,25	1,00
81019350	1981-2008	110	0,04	0,37	0,59	1,00	31,30	0,29	0,11	1,00
81019550	1977-1980	14	0,12	0,47	0,42	1,02	9,46	0,35	0,30	1,00
81020000	1977-1980	12	0,02	0,27	0,70	0,99	10,02	0,47	0,21	1,00
81021000	1977-1978	13	-0,22	1,07	0,12	0,97	3,44	0,98	0,29	0,97
81050000	1948-1948	108	0,001	0,62	0,40	1,02	5,06	0,38	0,53	1,01
81060000	1952-1968	42	0,07	0,46	0,47	0,99	10,23	0,39	0,25	1,00
81080000	1981-2008	84	0,04	0,46	0,50	1,00	37,26	0,20	0,14	1,00
81100000	1936-1945	37	0,07	0,60	0,33	1,00	40,54	0,12	0,20	1,01
81102000	1978-2009	111	0,05	0,33	0,62	1,00	35,61	0,42	0,07	1,00
81107000	1978-2009	102	0,06	0,37	0,57	1,00	39,63	0,42	0,06	1,00
81120000	1978-2009	133	0,08	0,16	0,76	1,00	21,26	0,35	0,13	1,00
81125000	1945-2009	371	0,13	0,45	0,42	1,00	15,22	0,33	0,20	1,00
81135000	1930-2009	414	0,03	0,35	0,62	1,00	50,93	0,45	0,04	1,00
81140000	1930-2009	368	0,11	0,37	0,52	1,00	12,53	0,42	0,19	1,00
81160000	1955-2009	25	-0,01	0,94	0,07	1,00	26,91	0,11	0,35	1,01
81200000	1936-2009	436	0,05	0,41	0,54	1,00	69,85	0,23	0,06	1,00
81210000	1956-1965	45	0,14	0,35	0,50	1,00	11,65	0,21	0,41	1,00
81290000	1953-1963	32	0,37	0,21	0,43	1,01	4,52	0,34	0,65	1,01
81290100	1997-1999	30	-0,09	-0,01	1,10	1,00	6,91	1,09	0,13	1,00
81290200	1997-1999	17	-0,32	0,04	-0,03	-0,31	0,79	0,46	0,10	0,03
81290400	1997-2003	22	-0,10	0,09	0,99	0,99	2,25	0,60	0,72	0,98
81290500	1997-2008	76	0,33	0,37	0,29	1,00	6,61	1,14	0,13	1,00
81291000	1997-2008	60	-0,10	0,70	0,40	1,00	13,12	0,28	0,27	1,00
81299000	1985-2009	109	0,02	0,40	0,59	1,00	23,23	0,55	0,08	1,00
81300000	1930-1968	199	0,14	0,43	0,43	1,00	22,19	0,32	0,14	1,00
81303000	1984-2009	121	0,22	0,21	0,58	1,00	15,95	0,70	0,09	1,00
81335000	1976-2009	128	0,03	0,25	0,73	1,00	54,70	0,71	0,03	1,00

<b>Bacia Tibaji</b>										
64429000	2001-2008	18	0,33	0,26	0,41	1,00	7,72	0,42	0,31	1,00
64430200	2002-2008	19	0,22	0,55	0,23	1,00	10,88	0,26	0,35	0,99
64440000	1937-1965	257	0,11	0,71	0,18	1,00	27,97	0,18	0,20	1,00
64441020	1987-2009	89	0,17	0,51	0,32	1,00	10,26	0,53	0,18	1,00
64442000	1973-1975	57	0,05	0,31	0,63	1,00	3,05	0,46	0,71	0,99
64442300	2002-2008	18	0,09	0,38	0,53	1,00	13,28	0,94	0,08	1,00
64442800	1981-2009	91	0,27	0,48	0,25	1,00	12,63	0,49	0,16	1,00
64444000	1974-2009	467	0,16	0,62	0,21	1,00	34,43	0,13	0,22	1,00
64447000	1975-2009	168	0,14	0,54	0,32	1,00	34,55	0,20	0,15	1,00
64447500	1987-2009	191	0,02	0,21	0,77	1,00	83,43	1,25	0,01	1,00
64449500	2002-2009	20	0,08	0,46	0,46	1,00	7,20	0,54	0,26	1,00
64450000	1941-1990	163	0,00	0,15	0,85	1,00	22,31	1,09	0,04	1,00
64453000	1979-2009	186	0,08	0,63	0,29	1,00	30,03	0,19	0,18	1,00
64460000	1941-2008	199	0,09	0,40	0,52	1,00	21,12	0,44	0,11	1,00
64465000	1930-2008	562	0,04	0,28	0,68	1,00	88,51	0,73	0,02	1,00
64474950	2001-2006	11	0,14	0,27	0,59	1,00	4,59	0,68	0,32	1,00
64475000	1930-1955	212	0,31	0,48	0,21	1,00	13,24	0,34	0,22	1,00
64476000	1974-1981	38	0,06	0,30	0,64	1,00	28,74	0,68	0,05	1,00
64477000	1973-1975	59	0,35	0,30	0,34	1,00	4,97	0,50	0,40	0,99
64477020	1980-2008	91	0,01	0,55	0,44	1,00	9,86	0,57	0,18	1,00
64477600	1980-2009	133	0,12	0,29	0,59	1,00	36,55	0,54	0,05	1,00
64480000	1941-1955	70	0,09	0,21	0,70	1,00	37,87	0,67	0,04	1,00
64481000	1974-2008	369	0,01	0,23	0,76	1,00	69,86	0,72	0,02	1,00
64481001	1987-2009	180	0,04	0,15	0,81	1,00	74,84	1,12	0,01	1,00
64481200	1987-2003	153	0,00	0,05	0,94	1,00	135,41	3,66	0,00	1,00
64482000	1979-2008	206	0,02	0,26	0,72	1,00	118,99	0,84	0,01	1,00
64484000	1956-1957	12	0,00	1,01	-0,02	1,00	34,48	0,08	0,35	1,01
64490000	1941-1950	115	0,01	0,27	0,72	1,00	159,36	0,71	0,01	1,00
64490800	2004-2008	18	0,04	0,49	0,47	1,00	110,45	0,14	0,07	1,01
64490900	2004-2009	27	0,09	0,22	0,69	1,00	22,35	0,36	0,13	1,00
64491000	1974-2009	443	0,26	0,23	0,51	1,00	18,63	1,24	0,04	1,00
64491100	2004-2008	20	0,08	0,49	0,43	1,00	90,57	0,13	0,08	1,00
64491260	1987-2008	153	0,11	0,42	0,48	1,00	18,25	0,28	0,20	1,00
64494950	2004-2008	19	0,03	0,34	0,63	1,00	18,84	0,50	0,11	1,00
64495000	1955-1955	14	0,01	0,15	0,83	1,00	20,57	0,79	0,06	1,01
64497000	1948-1953	29	0,10	0,26	0,64	1,00	12,86	0,50	0,16	1,00
64498550	1987-2003	126	0,34	0,18	0,47	1,00	9,50	1,82	0,06	1,00
64500000	1952-2008	112	0,10	0,21	0,69	1,00	6,57	0,47	0,32	1,00
64501000	1978-2008	128	0,05	0,26	0,70	1,00	87,74	1,11	0,01	1,00
64501950	1988-2008	82	0,05	0,18	0,76	1,00	17,59	0,60	0,09	1,00
64502000	1987-2008	99	0,05	0,55	0,40	1,00	21,87	0,18	0,25	1,00
64504100	2001-2008	21	0,07	0,48	0,44	0,99	3,24	0,29	1,06	0,99
64504210	1987-2008	174	0,04	0,29	0,67	1,00	188,41	0,38	0,01	1,00
64504450	2001-2006	10	0,06	0,18	0,77	1,00	5,89	0,74	0,23	1,00
64504500	1977-1978	24	0,00	0,33	0,68	1,00	5,50	0,80	0,23	1,00
64504550	1987-2008	179	0,04	0,35	0,61	1,00	13,63	0,49	0,15	1,00
64504570	1986-1987	11	0,11	0,47	0,42	1,00	5,37	0,45	0,41	1,00
64504573	1986-1987	9	0,16	0,47	0,37	1,00	4,46	0,68	0,33	1,00

<b>Bacia Tibaji - Continuação</b>										
64504576	1986-1987	11	0,11	0,39	0,50	1,00	3,01	0,46	0,72	1,00
64504579	1986-1987	11	0,10	0,60	0,30	1,00	2,89	0,90	0,38	1,00
64504581	1987-2002	39	-0,29	0,34	0,57	0,62	4,61	0,57	0,35	0,91
64504583	1986-1987	10	0,14	0,23	0,63	1,00	6,65	0,51	0,29	1,00
64504585	1986-1987	11	0,12	0,10	0,78	1,00	3,71	0,40	0,66	0,99
64504586	1986-1987	10	0,09	0,45	0,47	1,00	7,17	0,46	0,30	1,00
64504587	1986-1989	17	0,05	0,26	0,68	1,00	2,87	0,53	0,65	1,00
64504588	1986-1987	10	0,00	0,39	0,61	0,99	5,30	0,31	0,60	0,98
64504589	1986-1987	12	0,01	0,16	0,84	1,00	6,82	0,55	0,27	1,00
64504591	1987-2008	73	0,04	0,46	0,51	1,00	7,71	0,33	0,39	1,00
64504592	1986-1987	9	0,26	0,56	0,18	1,00	7,59	0,58	0,23	1,00
64504595	1987-1992	41	0,00	0,10	0,90	1,00	239,79	1,75	0,00	1,01
64504598	1987-1989	17	0,05	0,59	0,36	1,00	10,18	0,20	0,49	1,00
64504700	1977-1980	43	-0,01	0,11	0,91	1,00	209,60	2,22	0,00	1,00
64506000	1977-2009	274	0,02	0,09	0,89	1,00	123,41	4,19	0,00	1,00
64506500	1997-2009	67	0,00	0,08	0,92	1,00	149,70	4,11	0,00	1,00
64507000	1901-1999	584	0,01	0,17	0,82	1,00	188,04	1,66	0,00	1,00
64507100	1988-2008	64	0,16	0,40	0,44	1,00	4,04	0,54	0,45	1,00
64508000	1951-1982	13	0,29	0,19	0,52	1,00	11,69	0,41	0,21	1,00
64508020	2002-2008	20	-0,04	0,80	0,23	1,00	28,32	0,23	0,15	1,00
64508500	1975-2008	123	0,03	0,27	0,70	1,00	23,14	0,51	0,08	1,00
<b>Bacia do Iguaçu</b>										
65000900	2002-2004	20	0,17	0,58	0,24	0,99	6,83	0,41	0,35	0,99
65000920	2002-2004	21	0,03	0,37	0,61	1,00	2,82	0,68	0,52	1,00
65001000	2002-2005	30	0,13	0,39	0,48	1,00	7,40	0,57	0,24	1,00
65001150	2001-2004	21	0,00	0,19	0,81	1,00	4,03	0,39	0,63	1,00
65001980	1976-1977	25	0,40	0,36	0,24	1,00	6,06	0,84	0,20	1,00
65002002	1973-1977	28	0,25	0,41	0,35	1,00	6,69	0,67	0,22	1,00
65003950	1984-2008	99	0,24	0,58	0,17	1,00	9,93	0,48	0,21	1,00
65004990	1994-2002	3	0,27	0,92	-0,19	1,00	11,29	0,27	0,32	1,00
65004995	1984-2008	105	0,15	0,73	0,12	1,00	11,26	0,35	0,25	1,00
65005000	1973-1978	37	0,40	1,03	-0,43	1,00	9,68	0,26	0,39	1,00
65006050	1973-1974	8	0,02	0,81	0,17	1,00	7,47	0,41	0,33	1,00
65006055	1984-2008	141	0,13	0,48	0,39	1,00	8,27	0,38	0,31	1,00
65006075	1984-2008	131	0,16	0,28	0,56	1,00	14,00	0,75	0,10	1,00
65007045	1984-1999	96	0,05	0,48	0,47	1,00	9,46	0,36	0,30	1,00
65007046	1999-2008	55	0,05	0,40	0,55	1,00	12,89	0,38	0,21	1,00
65009000	1973-2008	198	0,12	0,46	0,42	1,00	18,89	0,28	0,19	1,00
65010000	1955-2008	189	0,09	0,51	0,40	1,00	10,66	0,59	0,16	1,00
65011400	1981-2008	111	0,09	0,42	0,49	1,00	12,44	0,28	0,29	1,00
65011500	1975-1999	88	0,04	0,48	0,48	1,00	14,26	0,22	0,32	1,00
65012000	1973-1975	42	0,26	1,72	-0,98	1,00	19,28	0,08	0,63	1,00
65013000	1973-2006	47	0,05	0,50	0,44	1,00	24,52	0,29	0,14	1,00
65013005	1984-2008	108	0,10	0,51	0,38	1,00	22,66	0,23	0,19	1,00
65013006	2001-2004	7	0,09	0,74	0,17	1,00	27,28	0,14	0,26	0,99
65014950	1976-1977	49	0,09	0,50	0,42	1,00	9,88	0,63	0,16	1,00
65015000	1963-1977	71	0,15	0,50	0,35	1,00	8,39	0,43	0,27	1,00
65015400	1976-2008	128	0,12	0,80	0,09	1,00	15,89	0,25	0,25	1,00
65017000	1974-1974	3	0,05	0,08	0,87	1,00	23,30	1,09	0,04	1,00

Bacia do Iguçu - Continuação										
65017006	1973-2006	128	0,23	0,30	0,46	1,00	18,11	0,76	0,07	1,00
65017035	1976-2003	74	0,08	0,31	0,61	1,00	7,70	0,71	0,18	1,00
65019000	1973-1985	7	0,04	0,32	0,64	1,00	33,00	0,85	0,04	0,99
65019300	1973-1977	14	0,02	0,50	0,48	1,00	24,48	0,42	0,10	1,00
65019400	1976-1977	22	0,14	0,45	0,41	1,00	5,80	0,68	0,25	1,00
65019500	1973-1974	4	0,00	-0,13	1,11	0,98	8,30	0,57	0,21	1,00
65019600	1960-2004	25	-0,01	0,68	0,33	1,00	5,68	0,44	0,40	1,00
65019640	1998-2004	18	0,21	0,40	0,39	1,00	6,69	0,38	0,39	1,00
65019650	1965-1965	11	0,08	0,40	0,51	1,00	9,64	0,32	0,32	1,00
65019670	1984-1990	24	0,07	0,27	0,65	1,00	7,16	0,50	0,28	1,00
65019700	1973-2008	185	0,07	0,27	0,65	1,00	7,16	0,50	0,28	1,00
65019800	1974-1977	10	0,09	0,49	0,43	1,00	25,78	0,36	0,11	0,99
65019980	1999-2008	38	0,11	0,56	0,33	1,00	32,41	0,19	0,16	1,00
65020000	1974-1987	213	0,10	0,47	0,43	1,00	32,14	0,27	0,11	1,00
65020500	1963-1969	32	0,05	0,32	0,63	1,00	5,19	0,40	0,49	1,00
65020995	1987-2008	111	0,23	0,34	0,42	1,00	5,12	0,58	0,34	1,00
65021000	1987-2008	114	0,02	0,29	0,69	1,00	3,58	0,50	0,55	1,00
65021250	1987-2007	80	0,03	0,31	0,65	1,00	5,01	0,60	0,33	1,00
65021750	1987-1999	50	0,22	0,23	0,56	1,00	4,19	0,54	0,44	1,00
65021770	1987-2007	110	0,06	0,52	0,43	1,00	3,60	0,61	0,46	1,00
65021800	1987-2008	125	0,22	0,47	0,31	1,00	6,46	0,45	0,34	1,00
65022000	1965-1968	8	0,25	0,03	0,72	1,00	5,69	0,42	0,42	1,00
65022900	1990-1993	30	0,08	0,39	0,52	1,00	8,34	0,63	0,19	1,00
65023000	1987-2006	159	0,19	0,46	0,36	1,00	9,78	0,48	0,21	1,00
65024000	1971-2006	130	0,08	0,53	0,39	1,00	11,16	0,47	0,19	1,00
65024100	1987-1991	20	-0,11	0,54	0,55	0,99	5,30	1,06	0,18	0,99
65025000	1973-2008	124	0,13	0,43	0,44	1,00	27,55	0,38	0,10	1,00
65026950	1998-2006	43	0,12	0,74	0,15	1,00	9,20	0,31	0,35	1,00
65027000	1972-2006	159	0,15	0,56	0,29	1,00	10,47	0,41	0,23	1,00
65027020	1972-1973	10	0,03	0,67	0,29	0,99	8,58	0,40	0,29	1,01
65028000	1973-2008	108	0,12	0,39	0,49	1,00	34,13	0,39	0,07	1,00
65029980	2001-2006	15	-0,02	0,22	0,80	1,00	6,10	1,04	0,16	1,00
65030000	1963-1969	24	0,08	0,46	0,46	1,00	3,75	0,64	0,42	1,00
65030500	1973-1978	22	0,00	0,71	0,29	1,01	8,78	0,35	0,32	1,00
65034000	1973-2008	108	0,21	0,12	0,66	1,00	5,71	0,37	0,47	1,00
65035000	1935-2008	536	0,07	0,35	0,58	1,00	54,86	0,45	0,04	1,00
65060000	1930-2008	437	0,16	0,59	0,25	1,00	35,89	0,13	0,21	1,00
65085000	1948-1974	145	0,07	0,70	0,23	1,00	19,29	0,29	0,18	1,00
65090000	1967-2008	258	0,22	0,63	0,15	1,00	15,76	0,17	0,37	1,00
65093000	2002-2008	14	0,08	0,58	0,34	1,00	8,45	0,44	0,27	1,00
65094500	1976-2008	84	0,19	0,25	0,56	1,00	23,38	1,61	0,03	1,00
65095000	1951-2008	325	0,03	0,46	0,52	1,00	44,89	0,27	0,08	1,00
65100000	1930-2008	627	0,17	0,49	0,34	1,00	25,71	0,30	0,13	1,00
65125000	1976-1976	13	0,17	0,20	0,63	1,00	13,56	0,74	0,10	1,00
65130000	1956-1978	59	0,04	0,31	0,66	1,00	22,19	0,56	0,08	1,00
65135000	1939-2008	684	0,11	0,77	0,12	1,00	17,73	0,17	0,33	1,00
65136000	1956-1960	11	0,03	0,97	0,00	1,00	7,01	0,32	0,44	1,00
65136500	1976-1978	38	0,13	0,61	0,26	1,00	18,89	0,27	0,20	1,01
65136550	1987-2008	68	0,12	0,62	0,26	1,00	20,68	0,24	0,20	1,00

Bacia do Iguaçu - Continuação										
65137000	1972-1977	54	0,24	0,52	0,24	1,00	1,96	0,75	0,68	1,01
65154910	1991-1993	25	0,31	0,43	0,26	1,00	4,24	0,52	0,46	1,00
65155000	1930-2008	332	0,26	0,56	0,18	1,00	13,62	0,27	0,28	1,00
65175000	1963-2008	520	0,08	0,50	0,42	1,00	48,58	0,28	0,07	1,00
65180000	1951-2008	144	0,10	0,26	0,64	1,00	20,05	1,35	0,04	1,01
65181000	1976-1981	29	0,26	0,26	0,48	1,00	14,28	1,24	0,06	1,00
65187950	2002-2007	13	0,09	0,30	0,61	1,00	11,80	0,84	0,10	1,01
65188000	2001-2007	17	0,37	0,29	0,34	1,00	7,76	0,26	0,48	0,99
65188100	1961-1961	8	0,06	0,36	0,58	0,99	6,72	0,36	0,41	1,00
65190000	1941-1954	117	0,02	0,34	0,64	1,00	24,83	0,36	0,11	1,00
65200000	1939-1953	50	0,10	0,28	0,62	1,00	24,12	1,19	0,03	1,00
65208000	1974-2008	394	0,11	0,30	0,59	1,00	24,92	1,16	0,03	1,00
65220000	1963-2008	490	0,06	0,37	0,57	1,00	153,09	0,30	0,02	1,00
65235000	1948-1964	124	0,20	0,65	0,15	1,00	13,20	0,25	0,30	1,00
65255000	1994-1996	20	0,02	0,56	0,42	1,00	161,76	0,09	0,07	1,00
65260000	1985-2008	68	0,00	0,08	0,91	0,99	66,13	0,91	0,02	1,02
65310000	1930-2008	713	0,14	0,31	0,55	1,00	113,35	0,49	0,02	1,00
65310500	1994-2008	89	0,22	0,44	0,35	1,00	9,37	0,36	0,30	1,00
65365000	1945-2008	571	0,02	0,36	0,61	1,00	20,87	0,31	0,16	1,00
65365800	1983-2008	119	0,04	0,08	0,88	1,00	176,17	4,26	0,00	1,00
65370000	1945-2008	1019	0,22	0,26	0,51	1,00	29,96	0,43	0,08	0,99
65383500	1980-1999	281	-0,02	0,27	0,75	1,00	74,87	0,55	0,02	1,00
65385000	1955-1984	220	0,02	0,23	0,75	1,00	56,13	0,65	0,03	1,00
65415000	1965-2008	309	0,02	0,44	0,54	1,00	23,98	0,30	0,14	1,00
65420002	1977-1977	6	0,04	0,15	0,80	0,99	27,78	0,49	0,07	1,02
65440000	1953-1953	6	2,84	-1,72	-0,13	0,99	0,99	2,75	0,37	1,01
65480000	2008-2009	11	0,02	0,34	0,64	1,00	27,39	0,21	0,17	1,00
65490000	1953-1958	9	0,06	0,73	0,21	1,01	12,95	0,25	0,31	1,00
65490200	2008-2009	11	0,09	0,22	0,69	1,00	11,84	0,45	0,19	1,00
65550000	1962-1965	11	0,94	0,00	0,06	1,00	3,39	0,45	0,65	1,00
65550050	2008-2009	11	0,01	0,25	0,74	1,00	22,04	0,46	0,10	1,00
65687000	2008-2009	11	-0,01	0,36	0,65	1,00	18,80	0,35	0,15	1,00
65690000	1957-1964	32	0,01	0,40	0,59	1,00	28,63	0,31	0,11	1,00
65720000	1943-1945	12	-0,01	0,07	0,95	1,00	23,26	1,33	0,03	0,99
65764000	1980-2008	340	0,02	0,21	0,77	1,00	38,60	0,68	0,04	1,00
65765000	1980-1981	25	0,01	0,06	0,93	1,00	52,53	3,00	0,01	1,00
65769500	2008-2009	11	0,03	0,34	0,64	1,00	26,64	0,32	0,12	1,00
65770000	1963-1979	170	0,00	0,42	0,58	1,00	60,21	0,34	0,05	1,00
65771000	2008-2009	11	0,28	0,33	0,40	1,00	9,65	0,39	0,26	1,00
65774000	1968-1976	90	0,19	0,32	0,49	1,00	28,71	0,74	0,05	1,00
65774300	1976-1987	130	0,15	0,43	0,42	1,00	45,11	0,23	0,10	1,00
65774407	1976-1987	133	0,15	0,44	0,40	1,00	44,74	0,22	0,10	1,00
65775900	1987-2008	208	0,02	0,33	0,64	1,00	75,80	0,31	0,04	1,00
65776000	1974-1991	330	0,00	0,25	0,75	1,00	73,74	0,54	0,03	1,00
65776010	1980-1989	167	0,03	0,09	0,89	1,00	96,05	4,35	0,00	0,99
65802000	1979-1991	209	0,02	0,13	0,84	1,00	123,35	2,94	0,00	1,00
65808000	1968-1968	18	0,01	0,11	0,87	1,00	129,18	3,37	0,00	1,00
65809000	1985-2007	108	0,03	0,35	0,62	1,00	20,97	0,57	0,08	1,00
65810000	1936-1949	28	0,00	0,28	0,72	1,00	51,51	0,75	0,03	1,00

Bacia do Iguçu - Continuação										
65811000	1974-2004	432	0,03	0,16	0,81	1,00	47,44	0,92	0,02	1,00
65813000	2002-2007	8	0,05	0,16	0,79	1,00	67,35	2,15	0,01	1,00
65815000	1960-1988	127	-0,02	0,45	0,56	1,00	83,69	0,27	0,04	1,00
65815050	1988-2006	73	0,04	0,46	0,50	1,00	79,75	0,15	0,09	1,00
65815100	1980-1997	255	0,02	0,23	0,75	1,00	69,66	0,93	0,02	1,00
65819400	2005-2008	23	0,00	0,24	0,76	1,00	43,04	1,11	0,02	1,01
65819500	2001-2008	21	0,07	0,40	0,54	1,01	3,85	0,71	0,37	1,01
65820000	1957-1958	12	0,02	0,42	0,57	1,01	11,12	0,27	0,33	0,99
65821000	1956-1957	9	-0,03	0,72	0,31	1,00	7,29	0,56	0,25	1,00
65825000	1949-2006	432	0,03	0,34	0,63	1,00	103,54	0,33	0,03	1,00
65826400	1987-1995	95	0,01	0,22	0,77	1,00	133,76	0,56	0,01	1,00
65826800	1976-1997	340	0,03	0,04	0,93	1,00	69,08	4,09	0,00	1,00
65830000	1971-1991	322	0,02	0,24	0,74	1,00	210,78	0,84	0,01	1,00
65835000	1967-1979	147	0,03	-0,02	1,00	1,00	201,89	10,53	0,00	1,00
65855000	1951-2006	471	0,06	0,17	0,77	1,00	52,34	0,73	0,03	1,00
65855100	2004-2008	26	0,18	0,37	0,45	1,00	43,40	0,31	0,07	1,00
65874900	2001-2008	21	-0,02	0,17	0,85	1,00	5,76	0,74	0,23	1,00
65875000	1956-1962	21	0,74	-0,08	0,34	1,00	4,80	0,87	0,24	1,00
65883000	1967-1973	70	-0,12	-0,93	2,05	1,00	134,51	165,67	0,00	1,03
65883070	2000-2008	32	0,01	0,29	0,70	1,00	10,81	0,30	0,31	1,00
65889000	2002-2008	17	0,02	0,06	0,91	0,99	10,80	0,50	0,19	1,01
65895002	1943-2008	223	0,24	0,12	0,64	1,00	47,63	2,69	0,01	1,00
65898002	1977-1979	34	0,44	0,04	0,52	1,00	12,64	4,43	0,02	1,00
65925000	1965-2008	186	0,03	0,34	0,64	1,00	52,64	0,42	0,05	1,00
65925765	2003-2004	4	0,15	0,31	0,55	1,01	7,33	0,45	0,31	1,00
65925770	2003-2004	4	-0,05	0,53	0,50	0,98	7,82	0,45	0,28	0,98
65925775	2003-2004	4	0,16	0,26	0,59	1,01	5,66	0,33	0,54	1,00
65925780	2003-2004	4	0,01	0,63	0,36	1,00	6,46	0,64	0,24	1,01
65925800	2001-2008	8	0,01	0,13	0,85	1,00	15,28	1,15	0,06	1,00
65926000	1953-1955	8	-0,06	0,55	0,51	1,00	128,51	0,17	0,05	0,99
65927000	1955-2008	516	0,02	0,31	0,66	1,00	88,46	0,39	0,03	1,00
65930000	1963-1968	15	0,33	0,35	0,33	1,01	9,80	0,34	0,30	1,00
65940010	2005-2008	18	0,02	0,26	0,72	1,00	94,93	0,74	0,01	1,00
65945000	1957-2008	329	0,00	0,51	0,49	1,00	25,82	0,24	0,16	1,00
65946000	1961-1968	9	0,05	0,57	0,38	1,00	13,94	0,39	0,18	1,00
65948000	1961-2008	103	0,03	0,24	0,74	1,00	23,97	0,60	0,07	1,00
65950000	1956-1957	6	-0,05	0,72	0,32	1,00	50,66	0,13	0,15	1,00
65950150	2003-2004	4	0,14	0,37	0,54	1,05	6,22	0,32	0,57	1,13
65950155	2003-2004	4	0,15	0,76	0,08	0,99	5,57	0,79	0,22	0,98
65950200	2002-2008	16	0,01	0,36	0,63	1,00	20,21	0,61	0,08	1,00
65955000	1956-2002	300	0,00	0,20	0,79	1,00	79,69	0,69	0,02	1,00
65958000	2007-2008	12	0,00	0,14	0,86	1,00	157,04	1,76	0,00	1,00
65960000	1956-2008	361	0,00	0,14	0,86	1,00	154,19	1,58	0,00	1,00
65962000	1973-2008	404	0,01	0,20	0,79	1,00	155,20	0,78	0,01	1,00
65963000	1972-1976	91	-0,07	0,61	0,45	1,00	308,12	0,09	0,04	1,00
65969000	1981-1981	3	0,06	-0,01	0,95	1,00	46,22	10,67	0,00	1,01
65970000	1978-2008	224	0,00	0,28	0,72	1,00	49,98	0,80	0,02	1,00
65970020	2001-2008	22	0,20	0,36	0,44	1,00	4,24	0,48	0,50	1,01
65970250	2001-2008	20	0,07	0,20	0,73	1,00	5,16	0,70	0,28	1,00

<b>Bacia do Iguaçu - Continuação</b>										
65970320	1998-2008	63	0,21	0,41	0,38	1,00	13,18	0,38	0,20	1,00
65970500	2002-2008	15	0,06	0,35	0,59	1,00	13,70	0,55	0,13	1,00
65971010	1998-2008	54	0,02	0,37	0,61	1,00	26,01	0,30	0,13	1,00
65971050	1998-2008	56	0,03	0,22	0,75	1,00	22,51	0,56	0,08	1,00
65972000	1986-1986	6	0,02	0,03	0,95	1,00	274,08	8,70	0,00	1,01
65974000	1965-1974	18	0,09	0,04	0,87	1,00	21,45	0,30	0,15	1,00
65974200	2002-2004	6	0,54	0,98	-0,54	0,99	14,37	0,82	0,08	0,98
65974500	2001-2008	22	0,44	0,50	0,05	1,00	8,75	0,55	0,21	1,00
65974590	1998-2008	62	0,09	0,45	0,46	1,00	25,75	0,35	0,11	1,00
65975000	1976-2008	366	0,02	0,08	0,89	1,00	268,22	5,55	0,00	1,00
65976001	2002-2008	21	0,07	0,34	0,59	1,00	6,28	0,79	0,20	1,00
65976020	2002-2004	6	-0,02	0,07	0,96	1,00	5,01	0,68	0,29	1,00
65976040	2002-2004	5	0,21	1,18	-0,40	0,98	7,87	0,33	0,39	1,01
65979000	1976-2008	192	0,07	0,41	0,52	1,00	25,30	0,50	0,08	1,00
65980000	1966-1968	11	0,11	0,39	0,51	1,01	12,01	0,33	0,25	1,00
65981500	1976-2008	202	0,09	0,36	0,55	1,00	27,18	0,58	0,06	1,00
65982000	2002-2008	17	0,23	0,34	0,42	0,99	8,47	0,31	0,38	1,00
65985000	1968-1986	155	-0,04	0,39	0,65	1,00	488,26	0,32	0,01	1,00
65985220	2000-2008	31	0,32	0,38	0,29	1,00	10,79	0,40	0,23	1,00
65986000	1985-2008	92	0,01	0,51	0,49	1,00	812,00	0,07	0,02	1,00
65987000	1977-1997	284	0,02	0,15	0,83	1,00	384,42	3,67	0,00	1,00
65988000	1974-1993	222	0,11	0,23	0,66	1,00	281,30	0,78	0,00	1,00
65990450	2002-2006	10	0,23	0,40	0,37	1,00	11,31	0,44	0,20	1,00
65990550	1988-2008	80	0,08	0,43	0,49	1,00	17,82	0,31	0,18	1,00
65993000	1990-2008	109	0,00	0,21	0,78	1,00	830,39	0,96	0,00	1,00
65996000	2001-2008	21	0,08	0,58	0,34	1,00	8,24	0,44	0,27	1,00