

ESTUDO DA APLICABILIDADE DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM RIOS PEQUENOS

Sandro V. Gutiérrez Samanez



Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – Área: Hidráulica e Saneamento

ORIENTADOR: Prof. Dr. Arthur Mattos



São Carlos
1998

Class.	TESE/EESC
Curr.	62637
Tombo	0206138

31100013325

st 0984162

ESTUDO DA APLICABILIDADE DE
MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE
TRANSPORTE DE SEDIMENTOS
EM RIOS PEQUENOS

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC-USP

G984e Gutierrez Samanez, Sandro V.
Estudo da aplicabilidade de métodos de
estimativa de transporte de sedimentos em rios
pequenos / Sandro V. Gutierrez Samanez. -- São
Carlos, 1998.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia
de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1998.
Área: Hidráulica e Saneamento.
Orientador: Prof. Dr. Arthur Mattos.

1. Descarga sólida. 2. Transporte de sedimentos
por arraste de fundo. 3. Aplicabilidade de
métodos. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Engenheiro **SANDRO VIRGILIO GUTIERREZ SAMANEZ**

Dissertação defendida e aprovada em 22-6-1998
pela Comissão Julgadora:



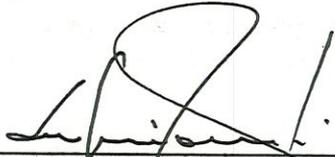
Prof. Associado **ARTHUR MATTOS (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **RODRIGO DE MELO PORTO**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Associado **EVALDO MIRANDA COIADO**
(Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP)



Prof. Titular **FAZAL HUSSAIN CHAUDHRY**
Coordenador da Área de Hidráulica e Saneamento



JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

*Aos meus Pais Julio e Consuelo
"in memoriam"*

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Arthur Mattos , pela orientação, amizade e estímulo permanente na realização deste trabalho.

Ao Professor Dr. Fazal Hussain Chaudhry pelos conhecimentos transmitidos e pelo seu exemplo de Mestre.

Ao Professor Dr. Evaldo Miranda Coiado da UNICAMP pela colaboração no fornecimento de informação, para o desenvolvimento do trabalho.

Aos técnicos José Roberto Maramarque e América Jacintha De Moraes, pela ajuda importante na fase experimental do trabalho.

Um agradecimento especial a meu amigo Diógenes pela ajuda e amizade sincera.

Aos meus amigos Karla, Lyda, Silvana, Marcia, Peter e William que me colaboraram e me ofereceram seu apoio para concluir esta dissertação.

A todos os meus colegas da Pos-graduação de Hidráulica da USP pelo companheirismo e pela solidariedade.

Aos meus colegas da Universidade San Antonio Abad de Cusco, particularmente aos Engenheiros, Francisco Serrano, Carlos Loayza e Percy Vargas, que acreditaram em mim e me brindaram seu apoio.

Aos meus irmãos, José Carlos, Tania, Blanca Lis, Julio Antonio e Lucía, pelo apoio moral e porque sempre ficaram do meu lado compartilhando meus sonhos e as minhas esperanças.

SUMÁRIO

Lista de figuras	<i>i</i>
Lista de tabelas.....	<i>iv</i>
Lista de símbolos.....	<i>vi</i>
Resumo.....	<i>x</i>
Abstract.....	<i>xii</i>
1. Introdução.....	1
2. Objetivo.....	5
3. Revisão Bibliográfica	6
3.1 Fundamentos teóricos	6
3.1.1 Transporte de sedimentos de fundo	11
3.1.2 Transporte de sedimentos em suspensão.....	13
3.2 Métodos de estimativa de cálculo de transporte de sedimentos de fundo	18
3.2.1 Método de MEYER-PETER & MÜLLER (1948).....	18
3.2.2 Método de EINSTEIN (1950)	20
3.2.3 Método de YALIN (1963).....	29
3.2.4 Método de BAGNOLD (1966).....	30
3.2.5 Método de TOFFALETI (1969).....	33
3.3 Métodos de estimativa de cálculo do transporte de sedimentos totais.....	34
3.3.1 Método de TOFFALETI (1969).....	34
3.3.2 Método de EINSTEIN & ABDEL-AAL (1972).....	42
3.3.3 Método de VAN RIJN (1984a)	45
3.3.4 Método de LAURSEN (1958).....	53
3.3.5 Método de ACKERS & WHITE (1973).....	55
3.3.6 Método de YANG (1973).....	59
3.4 Estudos sobre a aplicabilidade de métodos de estimativa de cálculo de transporte de sedimentos	62
3.5 Medição direta do transporte de sedimentos	71
3.5.1 Generalidades	71
3.5.2 Equipamentos e medição da vazão sólida por arraste de fundo	73
3.5.3 Equipamentos e medição da vazão sólida em suspensão	77
4. Metodologia	
4.1 Determinação da vazão sólida por métodos diretos	82

4.1.1	Localização.....	82
4.1.2	Medidas hidráulicas.....	83
4.1.2.1	Medida da vazão líquida.....	83
4.1.2.2	Medida da declividade da linha de água.....	85
4.1.3	Medidas sedimentométricas	85
4.1.3.1	Amostragem dos sedimentos em suspensão.....	85
4.1.3.2	Amostragem dos sedimentos do leito.....	87
4.1.4	Trabalhos laboratoriais.....	88
4.1.4.1	Determinação da concentração de sedimentos em suspensão.....	88
4.1.4.2	Determinação da granulometria do material do leito	91
4.1.4.3	Determinação da vazão sólida de fundo.....	91
4.2	Determinação das vazões sólidas: de fundo e totais, pela aplicação pela aplicação dos métodos de estimativa indireta.....	92
4.3	Processamento de dados e análise comparativa das medições diretas e os resultados das estimativas indiretas.....	93
5.	Resultados.....	94
5.1	Resultados e comparações das medições no Ribeirão do Feijão (São Carlos/SP).....	94
5.2	Resultados da medições e comparações no rio Atibaia (posto Sousas, Campinas/SP).....	96
6.	Análise dos Resultados.....	159
6.1	Análise dos resultados das medições no Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP.....	159
6.1.1	Correlações entre as grandezas medidas em campo.....	159
6.1.2	Análise comparativa das medições e estimativas de cálculo no Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP.....	160
6.2	Análise comparativa das medições e estimativas de cálculo no rio Atibaia, Campinas, SP.....	163
7.	Conclusões e recomendações.....	165
	Bibliografia	169
	Anexo 1.....	173
	Anexo 2.....	208

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 : Gráfico da equação da distribuição de sedimentos em suspensão para $a/d = 0.05$ e outros valores do expoente Z_1 (Vanoni, 1941)	16
Figura 3.2 : Curva da função da carga de fundo ϕ_* versus ψ_* (Einstein, 1950).....	24
Figura 3.3 : Fator de correção do efeito de encobrimento das partículas (Einstein, 1950).....	24
Figura 3.4 : Fator de correção da distribuição logarítmica da velocidade.....	25
Figura 3.5 : Fator de correção da pressão (Einstein, 1950).....	25
Figura 3.6a : Função I_1 em termos de E para vários valores de Z (Einstein, 1950).....	27
Figura 3.6b : Função I_1 em termos de E para vários valores de Z (Einstein, 1950).....	28
Figura 3.7 : Fator de eficiência e_b (Bagnold, 1966).....	31
Figura 3.8 : Variação de α (Bagnold, 1966).....	32
Figura 3.9 : Distribuições de velocidades e concentrações de sedimentos (Toffaleti, 1969).	36
Figura 3.10 : Velocidade de queda em função do diâmetro e da temperatura. Para uma densidade do sedimento de 2,65 e fator de forma de 0,9	40
Figura 3.11 : Gráfico para a avaliação do fator A_c (Toffaleti, 1969).....	40
Figura 3.12 : Fator de correção para a figura 3.11.....	41
Figura 3.13 : Curvas para a solução gráfica das equações de Einstein & Barbarossa (1952), para a determinação de R_h'	41
Figura 3.14 : Coeficiente κ de Von Kármán, em função de $w_{35}.D_{65}/(q.S.U)^{0.5}$ (EINSTEIN & ABDEL, 1972).....	43

Figura 3.15: Curva do início do movimento (Shields, 1936).....	48
Figura 3.16: Função $f(U^*/w)$ para o método de Laursen (1958).....	54
Figuras 3.17a e 3.17b: Amostrador de material de fundo tipo holandês AMF-4.	75
Figura 3.18 : Amostrador Rock-Island de material do leito.....	76
Figura 3.19 : Amostrador integrador de sedimentos em suspensão tipo holandês. AMF-4.....	80
Figura 4.1: Localização da seção de amostragem Ribeirão do Feijão.....	83
Figura 4.2 : Zonas de amostragem, medida e não medida, numa vertical de amostragem da corrente com relação à velocidade do fluxo e á concentração de sedimento.....	86
Figura 4.3 : Seção transversal contendo as verticais de medição e amostragem (Ribeirão do Feijão/São Carlos).....	87
Figura 4.4 : Equipamento para filtragem de amostras.....	89
Figuras 5a.1 a 5a.4 : Vazão sólida de fundo contra vazão líquida, velocidade, profundidade e declividade (R. do Feijão/São Carlos/SP).	120
Figuras 5a.5 a 5a.8 : Vazão sólida de total contra vazão líquida, velocidade, profundidade e declividade(R. do Feijão/São Carlos/SP).....	122
Figuras 5b.1 a 5b.5: Vazões sólidas de fundo calculadas pelos métodos de MEYER- PETER & MÜLLER (1948), EINSTEIN (1950), TOFFALETI (1969), EINSTEIN & ABDEL (1972) e VAN RIJN (1984c); contra as vazões sólidas de fundo medidas (R. do Feijão/São Carlos/SP).....	124
Figuras 5b.6 a 5b.8 : Vazões sólidas totais calculadas pelos métodos de LAURSEN (1958), EINSTEIN & ABDEL (1972) e ACKERS & WHITE (1973); contra as vazões sólidas totais medidas (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).....	126
Figuras 5c.1 a 5c.5 : Valores de r dentro da faixa de: $0,1 < r < 10$, onde r é a relação entre a vazão sólida de fundo calculada pelos métodos de estimativa MEYER-PETER & MÜLLER (1948), EINSTEIN (1950), TOFFALETI (1969), EINSTEIN & ABDEL (1972) e VAN RIJN (1984c); e a vazão sólida medida (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).....	128

Figuras 5c.6 a 5c.8 : Valores de r dentro da faixa de: $0,1 < r < 10$, onde r é a relação entre a vazão sólida total calculada pelos métodos de estimativa (LAURSEN (1958), EINSTEIN & ABDEL (1972) e ACKERS & WHITE (1973)), e a vazão sólida medida (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).....	130
Figuras 5d.1 a 5d.5 : Vazões sólidas de fundo calculadas pelos métodos de MEYER-PETER & MÜLLER (1948), EINSTEIN (1950), TOFFALETI (1969), EINSTEIN & ABDEL (1972) e VAN RIJN (1984c); contra as vazões sólidas de fundo medidas (Rio Atibaia, posto Sousas/Campinas/SP).....	151
Figuras 5d.6 a 5d.8 : Vazões sólidas totais calculadas pelos métodos de LAURSEN (1958), EINSTEIN & ABDEL (1972) e ACKERS & WHITE (1973); contra as vazões sólidas totais medidas (Rio Atibaia, posto Sousas/Campinas/SP).....	153
Figuras 5e.1 a 5e.5 : Valores de r dentro da faixa de: $0,1 < r < 10$, onde r é a relação entre a vazão sólida de fundo calculada pelos métodos de estimativa MEYER-PETER & MÜLLER (1948), EINSTEIN (1950), TOFFALETI (1969), EINSTEIN & ABDEL (1972) e VAN RIJN (1984c); e a vazão sólida medida (Rio Atibaia, posto Sousas/Campinas/SP).....	155
Figuras 5e.6 a 5e.8 : Valores de r dentro da faixa de: $0,1 < r < 10$, onde r é a relação entre a vazão sólida total calculada pelos métodos de estimativa (LAURSEN (1958), EINSTEIN & ABDEL (1972) e ACKERS & WHITE (1973)), e a vazão sólida medida (Rio Atibaia, posto Sousas/Campinas/SP).....	157

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 : Parâmetros hidráulicos e geométricos da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).....	98
Tabela 2 : Cálculo da vazão sólida de fundo da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).....	100
Tabela 3 : Cálculo da vazão sólida em suspensão da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).....	102
Tabela 4 : Concentrações dos sedimentos em suspensão e relações entre a concentração média padrão e as outras concentrações (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).....	104
Tabela 5 : Cálculo das vazões sólidas totais da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).....	107
Tabela 6 : Diâmetros representativos do material do leito(Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).....	109
Tabela 7 : Vazões sólidas de fundo medidas e vazões sólidas de fundo calculadas pelos diferentes métodos de estimativa indireta, da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão).....	111
Tabela 8 : Relações entre as vazões de fundo calculadas e as vazões de fundo medidas da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).....	113
Tabela 9 : Vazões sólidas totais medidas e vazões sólidas totais calculadas pelos diferentes métodos de estimativa indireta (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).....	115
Tabela 10 : Relações entre as vazões totais medidas e as vazões totais calculadas pelos diferentes métodos de estimativa indireta (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).....	117

Tabela 11 : Valores de “r” compreendidos nas faixas de: 0,1 a 10; 0,2 a 5 e de 0,5 a 2 (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).....	119
Tabela 12 : Parâmetros hidráulicos e geométricos da seção transversal em estudo (Rio Atibaia, posto Sousas/Campinas/SP).....	132
Tabela 13 : Diâmetros representativos do material do leito da seção transversal em estudo (Rio Atibaia, posto Sousas /Campinas/SP).....	136
Tabela 14 : Vazões sólidas de fundo medidas e vazões sólidas de fundo calculadas pelos diferentes métodos de estimativa indireta, da seção transversal em estudo (Rio Atibaia, posto Sousas/Campinas/SP).....	138
Tabela 15 : Relações entre as vazões de fundo calculadas e as vazões de fundo medidas da seção transversal em estudo (Rio Atibaia, posto Sousas/Campinas/SP).....	141
Tabela 16 : Vazões sólidas totais medidas e calculadas pelos diferentes métodos de estimativa indireta (Rio Atibaia, posto Sousas/Campinas/SP).....	144
Tabela 17 : Relações entre as vazões totais calculadas pelos diferentes métodos de estimativa indireta e as vazões totais medidas (Rio Atibaia, posto Sousas/Campinas/SP).....	147
Tabela 18 : Valores de “r” compreendidos nas faixas de: 0,1 a 10; 0,2 a 5 e de 0,5 a 2 (Rio Atibaia, posto Sousas/Campinas/SP).....	150
Tabela A1 : Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).....	174
Tabela A2 : Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Rio Atibaia, posto Sousas/Campinas/SP).....	209

LISTA DE SÍMBOLOS

- a - nível de referência da concentração de sedimentos do fundo, m
- B - largura do rio, m
- C - concentração de sedimentos, Kg/m^3 ou ppm
- C_t - concentração média total de sedimentos, Kg/m^3 ou ppm
- C_a - concentração de referência a uma distância do fundo igual a 5% da profundidade total, Kg/m^3 ou ppm
- c_i - concentração de sedimentos na vertical de amostragem i
- CM - concentração média padrão de sedimentos, Kg/m^3 ou ppm
- d - profundidade média do escoamento na seção do canal, m
- d_i - profundidade na vertical de amostragem i
- D_* - parâmetro adimensional dos grãos
- D_m - diâmetro representativo dos grãos, mm
- D_{ib} - diâmetro da partícula que corresponde a fração i_b , mm
- D_s - diâmetro do sedimento (m , ft)
- D_{65} - diâmetro da partícula para o qual 65% dos grãos é mais fino, mm
- D_{50} - diâmetro da partícula para qual o 50% dos grãos é mais fino, mm
- e_b - fator de eficiência do transporte de fundo
- EPE - erro padrão da estimativa
- F_{gr} - Número da mobilidade, segundo Ackers & White, adimensional
- G_{gr} - função geral de transporte, segundo Ackers & White, adimensional
- g_1 - transporte por unidade de área
- g - aceleração da gravidade
- i_b - fração do material do leito de diâmetro D_i
- i_B - fração do material do fundo, de diâmetro D_i

- i_T - fração da descarga total de sedimentos de diâmetro D_i
 I_1 e I_2 - Integrais em função de E e Z para as fórmulas de Einstein,
 K_s - altura da rugosidade equivalente de Nikuradse, cm
 K_r - coeficiente da rugosidade de Strikler
 K_r' - coeficiente da rugosidade devido ao atrito superficial
 L_a - largura do amostrador tipo Hubbell (1964)
 P_a - peso da amostra coletada com o amostrador de fundo
 P_E - parâmetro de transporte, nas equações de Einstein
 S - declividade da linha de energia para as condições de escoamento, m/m
 Q - vazão líquida na seção transversal, m^3/Seg
 Q_b - Vazão sólida de fundo calculada pelos métodos de estimativa, ton/dia
 Q_{bm} - Vazão sólida de fundo medida, ton/dia
 Q_{st} - Vazão sólida total calculada pelos métodos de estimativa, ton/dia
 Q_{stm} - Vazão sólida total medida, ton/dia
 Q_s - vazão sólida na seção transversal, ton/dia
 q - vazão líquida por unidade de largura, ton/dia
 q_s - taxa média de sedimentos transportados em suspensão, ton/dia
 q_{ss} - taxa de transporte de sedimentos em peso submerso, ton/dia
 q_b - taxa de transporte de sedimentos de fundo em peso por unidade de largura e tempo, $ton/dia/m$
 q_b' - peso submerso do sedimento transportado, $ton/dia/m$
 $q_{sui}, q_{smi}, q_{smi}$ - vazão sólida em suspensão por unidade de largura nas zonas superior, média e inferior para um tamanho de grãos D_i
 R_h - raio hidráulico da seção do rio, m
 R_h' - raio hidráulico do fundo, relativo à rugosidade dos grãos
 R_h'' - raio hidráulico associado ao atrito da forma
 R_* - número de Reynolds relativo à velocidade de corte = $U_* R/\nu$
 S_s - peso específico relativo aos grãos, adimensional
 T - parâmetro de transporte, segundo Ackers & White (1973)
 T - temperatura da água em °F
 t - tempo de coleta

- U - velocidade média do escoamento, m/seg
 U_* - velocidade de corte, m/seg
 U_*' - velocidade de corte devido ao atrito dos grãos, m/seg
 U_{*cr} - velocidade de corte crítica, m/seg
 U_{cr} - velocidade média crítica do fluxo, m/seg
 u_i - velocidade na vertical de amostragem i
 $u_{0,2}$ - velocidade medida no ponto situado a 20% da profundidade
 $u_{0,6}$ - velocidade medida no ponto situado a 60% da profundidade
 $u_{0,8}$ - velocidade medida no ponto situado a 80% da profundidade
 $U.S$ - potência unitária do escoamento
 w - Velocidade de queda das partículas, m/seg
 w_{35} - Velocidade de queda das partículas de diâmetro D_{35}
 x - Fator de correção da distribuição da velocidade
 Y - fator de correção que descreve a mudança do coeficiente de sustentação em misturas
 y - profundidade do fluxo uniforme, m
 X - diâmetro característico da mistura água-sedimento, mm
 α - coeficiente relacionado ao atrito dinâmico dos sólidos
 ϕ_* - parâmetro de intensidade de transporte
 ψ_* - intensidade de atrito
 θ - esforço de corte adimensional ou parâmetro de Shields
 θ_c - esforço de corte crítico adimensional
 γ - peso específico da água, kg/m^3
 γ_s - peso específico das partículas, kg/m^3
 γ_s' - peso específico submerso das partículas, kg/m^3
 τ_o - esforço de corte no fundo, Kg/m^2
 τ_c - esforço de corte crítico, Kg/m^2
 τ' - fração do esforço de corte total, devido ao atrito superficial, kg/m^2
 τ'' - fração do esforço de corte total, devido ao atrito das formas do leito, kg/m^2
 Θ - intensidade do fluxo

- κ - constante universal de Von Kármán
- ν - viscosidade cinemática da água, m^2/seg
- ξ - fator de correção introduzido para corrigir o efeito de encobrimento das partículas
- δ - espessura da subcamada laminar, mm
- β - coeficiente relacionado à difusão das partículas de sedimento
- ρ - massa específica da água, $ton\text{-}seg/m^4$
- ρ_s - massa específica do sedimento, $ton\text{-}seg/m^4$
- σ_s - coeficiente de uniformidade dos grãos
- τU - potência unitária do rio ou potência por unidade de área
- ε - eficiência do amostrador de fundo (0,70 segundo Hubbell (1964))
- ε_m - coeficiente de difusão considerando a quantidade de movimento
- ε_s - coeficiente de difusão
- Δ - atrito aparente da superfície do leito
- λ - porosidade do leito de areia

RESUMO

SAMANEZ, S. G. (1998). *Estudo da aplicabilidade de métodos de estimativa de transporte de sedimentos em rios pequenos*. São Carlos, 1998. 223p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Com o objetivo de analisar a aplicabilidade de métodos de estimativa indireta de transporte de sedimentos em córregos e rios pequenos, pela comparação de medições *in situ* do transporte de sedimentos com os resultados das estimativas, foram realizadas 48 medições hidráulicas e sedimentométricas no ribeirão do Feijão, São Carlos, SP, durante o período compreendido entre maio 96 e abril 97. Estes dados adicionados a 84 medições do mesmo tipo, realizadas no rio Atibaia, posto Sousas, Campinas, SP, no período de março do 93 a junho do 96, constituíram a base experimental desta dissertação.

No desenvolvimento do trabalho foram testados oito métodos de transporte de sedimentos. Para transporte por arraste de fundo, os métodos de MEYER-PETER & MÜLLER (1948), EINSTEIN (1950), TOFFALETI (1969), EINSTEIN & ABDEL-AAL(1972) e VAN RIJN Simplificado(1984c), para transporte de sedimentos totais foram testados os métodos de LAURSEN (1958), EINSTEIN & ABDEL-AAL (1972) e ACKERS & WHITE (1973).

No cálculo do transporte de sedimentos pelos métodos de estimativa indireta foram usados programas em linguagem FORTRAN-77, elaborados por MAHMOOD & PONCE (1975). Estes métodos precisaram de alguns ajustes. Além destes foram elaborados outros programas para os métodos de LAURSEN (1958) e ACKERS & WHITE (1973).

A análise comparativa entre as medições de vazão sólida de fundo e totais realizadas no ribeirão do Feijão (São Carlos/SP) e o no rio Atibaia (Campinas/SP) com as estimativas de cálculo pelos diferentes métodos testados, permitiram selecionar e estabelecer uma hierarquia quanto à aplicabilidade dos métodos testados e suas limitações ao serem usados em regiões diferentes de onde foram desenvolvidas.

Como resultado deste trabalho verificou-se que, para estimativas de cálculo de transporte de sedimentos por arraste de fundo, nenhum dos métodos forneceu resultados satisfatórios, sendo que a maioria deles superestima os resultados, no entanto, o método que forneceu os melhores resultados foi o método de EINSTEIN & ABDEL (1972) seguindo em ordem decrescente os métodos de EINSTEIN (1950), VAN RIJN Simplificado(1984c), TOFFALETI (1969) e MEYER-PETER & MÜLLER (1948).

Para vazões sólidas totais também, nenhum dos métodos apresentou resultados consistentes, mas entre os métodos testados, o método de ACKERS & WHITE (1973) é o método que melhor se aproxima aos resultados de campo.

Palavras-chave: descarga sólida, transporte de sedimentos por arraste de fundo, aplicabilidade de métodos.

ABSTRACT

SAMANEZ, S. G. *A study of the applicability of methods of estimation of sediment transport in small streams*. São Carlos, 1998. 223p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

In order to analyze the applicability of indirect methods of estimation of sediment transport in small streams through comparison with “in situ” measurements, 48 hydraulic and sedimentometric experiments were conducted in Feijão Creek in São Carlos, SP, Brazil, during the period May 96 - April 97. These data together with 84 similar measurements made in Atibaia River in Campinas, SP, between March 93 and June 96 were employed for this comparison.

In this study , eight methods of calculation of sediment transport were tested. The methods for bed-load transport were due to MEYER-PETER & MÜLLER (1948), EINSTEIN (1950), TOFFALETI (1969), EINSTEIN & ABDEL-AAL (1972) and the simplified method of VAN RIJN (1984) and, for total sediment transport, the methods of LAURSEN (1958), EINSTEIN & ABDEL-AAL (1972) and ACKERS & WHITE (1973), were tested.

In the calculation of sediment transport by indirect methods slightly modified FORTRAN-77 codes due to MAHMOOD & PONCE (1975) were used. Besides these, other codes for methods of LAURSEN (1958) and ACKERS & WHITE (1973), developed in this study were employed.

A comparative analysis on the basis of observed and calculated discharges of total and bed solids permitted selection and establishment of a hierarchy as to

applicability of the methods employed and their limitations for use in regions other than where they were developed.

On the basis of these comparisons, it is verified that none of the methods of bed-load transport were satisfactory as majority of them superestimated the transport. However, EINSTEIN & ABDEL-AAL (1972) method presented best results followed by the methods of EINSTEIN (1950), Simplified method of VAN RIJN (1984c), TOFFALETI (1969) and MEYER- PETER & MÜLLER (1948).

Also for total solids estimation, none of methods studied presented consistent results, method of ACKERS & WHITE (1973) offering better performance when compared with the observed data.

Keywords: Sediment transport, bed-load transport, applicability of methods.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de manter o controle sobre os efeitos erosivos da água na natureza e a busca de melhoria na qualidade dos recursos hídricos para seu aproveitamento racional como elemento vital, e nas diversas áreas da atividade do homem, constituem uma preocupação permanente de engenheiros e cientistas. Esta necessidade, tem dado impulso ao desenvolvimento de estudos sobre diversos problemas compreendidos no contexto da Hidrologia e da Engenharia Ambiental.

Um destes problemas, é o “sedimentológico”, que participante dos problemas de impacto ambiental, foi adquirindo maior importância nas últimas décadas do presente século, tendo merecido a atenção de governos e organismos internacionais.

No Brasil, o Primeiro Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, realizado em Ouro Preto (MG), em outubro de 1991, procurou alertar sobre a transcendência do problema sedimentológico. Como resultado deste evento foi elaborado um documento denominado “Carta de Ouro Preto”, que foi divulgado no meio técnico dos associados da ABRH (Associação Brasileira de Recursos Hídricos).

Um aspecto particular do “problema sedimentológico” é constituído pelo “transporte de sedimentos”. Que tem implicância no tratamento de problemas concernentes a assoreamento de reservatórios, arrasto de sólidos em canais, qualidade d’água para a produção de energia, controle de cheias, abastecimento de águas, controle da poluição, do equilíbrio ecológico, etc.

No estudo do transporte de sedimentos, o esforço dos investigadores está caminhando à procura de modelos e métodos, que permitam avaliar a vazão sólida em cursos de água naturais, com uma precisão pelo menos satisfatória aos fins da engenharia. Alcançar este objetivo, implica não só compreender a mecânica do

movimento e o comportamento das partículas sólidas nos fluxos de água, se não também a natureza e a origem das mesmas.

Ao identificar a origem dos sedimentos, verifica-se que estes provém do efeito erosivo da chuva e o escoamento, mediante os quais, massas de solo são removidas e conduzidas até os canais de drenagem, num processo contínuo que envolve toda a dinâmica da bacia de drenagem.

No processo do transporte de sedimentos nos cursos de água naturais distinguem-se duas modalidades: transporte de sedimentos de fundo e transporte de sedimentos em suspensão. Existindo ainda uma terceira modalidade intermediária chamada de “saltitação” considerada na maioria das vezes como parte do transporte de fundo. A modalidade de transporte, à qual as partículas estarão submetidas, vai depender do tamanho, peso e forma da partícula, do nível de turbulência, dos obstáculos do leito e de outras funções interrelacionadas como a declividade do leito, a forma do canal e a temperatura da água.

A hipótese da independência das modalidades de transporte de sedimentos, como foi descrita antes, tem facilitado aos investigadores a análise e o tratamento matemático do fenômeno, permitindo desenvolver modelos para cada um dos casos.

Assim, o transporte de sedimentos de fundo é a modalidade que apresenta as maiores dificuldades em sua análise e modelagem, portanto em seu cálculo, devido à complexidade da mecânica do movimento e as limitações das observações e medições diretas. Também porque com o tempo, a superfície do fundo modifica-se, mudando as condições do fluxo e influenciando na taxa de transporte de sedimentos e na vazão líquida.

A modalidade de transporte de sedimentos em suspensão, no entanto apresenta menos dificuldades nas medições diretas que, o transporte de sedimentos de fundo. Pela relação mais estreita que mantém com o movimento da água, uma vez que as medições feitas em campo fornecem dados confiáveis para fins práticos. Isto permite que, os modelos matemáticos que estimam o transporte de sedimento em suspensão apresentem melhores resultados que os que calculam o transporte de sedimento por arraste de fundo.

Os modelos para análise de transporte de sedimentos, na prática, envolvem um número considerável de variáveis que tornam complicada a solução matemática. Por isso, no desenvolvimento dos modelos e conforme foram evoluindo, nota-se uma tendência a simplificar o problema, reduzindo o número de variáveis, na tentativa de alcançar uma solução matemática completa. Verifica-se também, que a maioria das fórmulas foram conceituadas com base numas poucas grandezas predominantes, tais como descarga líquida, velocidade média da corrente, declividade da superfície da água, esforço de corte, potência da corrente e potência unitária da corrente.

As observações anteriores põem em evidência, que os modelos matemáticos em geral, representam apenas uma abstração da realidade e portanto, envolvem uma série de simplificações e idealizações. No caso dos modelos para o cálculo do transporte de sedimentos, percebe-se que, na sua grande maioria provém de considerações teóricas similares, estão apoiados em interpretações estatísticas derivadas de ensaios e observações diretas realizadas em calhas de laboratório e ajustados às características e condições dos rios das regiões onde foram desenvolvidos. Mas, para serem aplicados em outras regiões, as condições têm que ser similares, caso contrário podem conduzir a erros consideráveis.

Quanto ao tratamento matemático, os métodos para o cálculo do transporte de sedimentos, podem ser classificados em métodos determinísticos e métodos estocásticos. Os métodos determinísticos admitem uma correlação constante entre variáveis dependentes e independentes, e os métodos estocásticos estão baseados na previsão do movimento do sedimento, podendo ter equações com definição do início e do fim do deslocamento da partícula. Até a década do setenta, os métodos determinísticos foram os de maior aplicação pelo seu carácter prático. Mas a partir da década de oitenta, deu-se maior importância aos métodos estocásticos, por adaptar-se melhor ao estabelecimento de modelos matemáticos de fenômenos físicos aleatórios como são os de transporte sólido e pela possibilidade de utilizar métodos computacionais.

A existência de um número considerável de métodos e modelos para a estimativa da descarga de sólidos em rios e as limitações que estes envolvem; justifica

a importância do desenvolvimento de trabalhos de seleção e classificação de modelos, na procura de estabelecer os alcances e aplicabilidade de cada um deles, com o propósito de facilitar aos técnicos o uso adequado dos modelos em condições de campo.

O presente trabalho consiste numa análise da viabilidade de uso de oito métodos de estimativa de transporte de sedimentos em rios pequenos. No caso de sedimentos de fundo as fórmulas testadas foram: MEYER-PETER & MÜLLER (1948), EINSTEIN (1950), TOFFALETI (1969), EINSTEIN & ABDEL (1972), e VAN RIJN simplificado (1984c). E no caso do transporte de sedimentos totais os modelos de LAURSEN (1958), EINSTEIN & ABDEL (1972), e ACKERS & WHITE (1973).

A escolha dos métodos a serem testados, foi feita após uma primeira tentativa de cálculo, na qual considerou-se também os métodos de BAGNOLD (1966) e YALIN (1963) para sedimentos de fundo, e YANG (1973) para sedimentos totais. Entretanto, estes métodos foram descartados devido aos resultados e as ordens de grandeza muito altas que apresentaram em relação aos resultados de campo, sendo considerados apenas os métodos mencionados no parágrafo anterior.

No desenvolvimento do trabalho, foram usadas um total de 132 medições diretas, das quais 48 foram realizadas no Ribeirão do Feijão (São Carlos/SP), que forma parte da bacia hidrográfica do mesmo nome e que na atualidade é a principal fonte de captação superficial para o abastecimento de água da cidade de São Carlos. Estas medições incluem: medições de vazão sólida de fundo, carga de sedimentos em suspensão e vazão sólida total. E foram realizadas ao longo de 12 meses (entre maio do 96 e abril do 97). Além destes dados, no trabalho foram usadas 84 medições diretas realizadas no rio Atibaia, posto Sousas (Campinas/SP), no período compreendido entre março do 93 e junho do 96. Estes dados foram fornecidos pelo Departamento de Recursos Hídricos da UNICAMP.

2. OBJETIVO

Os objetivos principais do presente trabalho foram:

1º estudar a aplicabilidade e limitações de uso de oito métodos de estimativa indireta de transporte de sedimentos em rios pequenos. Os métodos testados foram:

- para transporte de sedimentos de fundo, MEYER-PETER & MÜLLER (1948), EINSTEIN (1950), TOFFALETI (1969), EINSTEIN & ABDEL (1972) e VAN RIJN simplificado (1984c).
- para transporte de sedimentos totais, LAURSEN (1958), EINSTEIN & ABDEL (1972) e ACKERS & WHITE (1973).

2º Selecionar e recomendar alguns dos métodos testados, para serem usados no cálculo do transporte de sedimentos em rios pequenos.

Além destes objetivos principais, considerou-se como objetivo específico, avaliar o comportamento e a qualidade da água do ribeirão do Feijão, quanto ao volume e características dos sólidos transportados.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A chuva e o escoamento das águas sobre a superfície terrestre dão origem a um processo erosivo contínuo, principal responsável pela modificação da paisagem natural. Em virtude deste fenômeno, consideráveis volumes de solo são arrastados e conduzidos até os canais de drenagem, através destes canais o material segue um longo percurso, e será adicionado ao material de arrasto proveniente da ação mecânica do rio sobre o leito e as margens. Este processo ocorre na natureza de forma espontânea e permanente e pode ser sintetizado em três fases: remoção, transporte e deposição. Trata-se então de um fenômeno diretamente relacionado com o ciclo hidrológico, mas que também é condicionado pelos fatores geológicos e topográficos.

A fase de transporte de sedimentos propriamente dita, acontece nos canais de drenagem, onde as águas exercem um duplo papel, de agente ativo na produção de sedimentos e de veículo de transporte do material detrítico. Durante esta fase, tanto os sedimentos provenientes das vertentes da bacia, quanto aqueles que resultam da erosão do leito, serão submetidos a formas de transporte diferentes. Assim, partículas de maior tamanho, chamadas de **sedimentos de fundo** deslocar-se-ão ou rolarão, arrastadas pela correnteza ou às vezes, darão pequenos saltos, mas sempre permanecerão, em contato com o leito. Outras partículas menores, chamadas de

sedimentos em suspensão, permanecerão flutuando, suportadas pelas componentes verticais das forças provocadas pela turbulência.

A diferença entre estas duas formas, está marcada não apenas pelo tamanho das partículas, mas também porque representam dois comportamentos mecânicos distintos, quando não independentes. Esta característica tem facilitado a análise e a modelagem matemática, permitindo aos pesquisadores desenvolver teorias para cada uma das formas de transporte.

Dentro do estudo do transporte de sedimentos, um dos assuntos cruciais por resolver, refere-se ao esforço crítico e ao início do movimento de partículas. Segundo CUNHA (1969), o início do movimento, sobretudo se o material de fundo não tiver granulometria uniforme, como sucede sempre nos canais naturais, dá-se de uma forma progressiva. Assim, à medida que aumenta a velocidade do escoamento ou a tensão tangencial no fundo, começam a mover-se, primeiro alguns grãos com menores dimensões ou mais expostos às solicitações do escoamento e só algum tempo depois verifica-se um transporte generalizado. Esta circunstância torna de certo modo controversa e subjetiva a definição de início de arrastamento. Uma definição aceitável parece ser a proposta por Lane (1953). Este autor preconiza a definição experimental da curva de variação da vazão sólida com a tensão tangencial e a sua extrapolação para definir a *tensão tangencial crítica*, ou do início de transporte, como aquela que corresponde a um valor nulo da vazão sólida.

Uma definição mais racional é a expressa por ENGELUND & FREDSOE (1982), segundo a qual, se, o valor das forças instantâneas de agitação que atuam sobre um leito de partículas, excede às forças de estabilização que agem sobre as mesmas, então, as partículas teoricamente devem mover-se ao longo do leito até serem depositadas num lugar onde as forças de agitação sejam menores do que as forças de estabilização. Para sedimentos uniformes, em fluxos unidimensionais, esta condição é melhor definida pela curva de Shields (1936), que relaciona o esforço de corte crítico adimensional τ_c , com o número de Reynolds dos grãos R_* .

$$\theta = f(R_*) \quad (3.1)$$

$$e \quad \theta = \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma).D} = \frac{U_*^2}{g(S_s - 1).D} \quad (3.2)$$

θ é o esforço de corte adimensional (esforço de corte atual dividido pelo esforço normal devido ao peso e pela espessura igual ao diâmetro do grão). D é o diâmetro representativo dos Grãos, S_s é o peso específico relativo dos grãos, γ_s e γ são os pesos específicos dos grãos e da água respectivamente.

$$R_* = \frac{U_* \cdot D}{\nu} \quad (3.3)$$

onde:

$U_* = (\tau_0 / \rho)^{1/2}$ é a velocidade de corte, τ_0 é o esforço de corte no fundo e ν é a viscosidade cinemática,

$\tau_0 = (\gamma.R_h.S)$, sendo R_h o raio hidráulico do fluxo uniforme e S a declividade da linha de energia.

Quando o esforço de corte torna-se crítico, tem-se: $\tau = \tau_c$, $\theta = \theta_c$ e $U_* = U_{*cr}$. Na prática, segundo ENGELUND & FREDSOE (1982), θ_c (esforço crítico), varia geralmente no intervalo de 0,035 a 0,06.

As definições anteriores, estabelecidas sobre o início do transporte sólido, baseiam-se na hipótese de que o fundo do leito é plano. No entanto, está hipótese resulta inaplicável no caso de canais naturais e rios, pelo fato de ser o fundo móvel e estar formado por rugas e dunas que atuam como elementos de rugosidade.

Logo, considerando a condição em que o leito não é plano tem-se, que o esforço de corte total τ_0 , ao ser transferido ao fundo, distribui-se de tal forma, que uma parte é absorvida pela rugosidade dos grãos e a outra parte pelas deformações do leito. A partir desta análise verifica-se também, que só o atrito dos grãos atua no transporte de fundo. Einstein (1950) propôs uma solução a este problema dividindo τ_0 em duas partes:

$$\tau_0 = \tau' + \tau'' \quad (3.4)$$

onde τ' representa a fração do esforço de corte total relacionada com o atrito superficial. τ' expressa-se como:

$$\tau' = \gamma \cdot R_h' \cdot S \quad (3.5)$$

onde, γ é o peso específico da água e S é o gradiente da linha de energia.

Einstein (1950) sugeriu, também, uma fórmula para a determinação de R_h' :

$$U/(g \cdot R_h' \cdot S)^{1/2} = 6 + 2,5 \ln (R_h' / k) \quad (3.6)$$

na qual R_h' é o raio hidráulico relacionado com o atrito superficial, U é a velocidade média e k depende do tamanho dos sedimentos. Einstein (1950), sugeriu que k pode ser assumido como D_{65} . Outra possibilidade é que k seja considerado igual a duas vezes D_{65} , como propõem Engelund & Hansen (1967).

O valor de τ'' representa a fração do esforço de corte total relacionada com o atrito provocado pelas formas do leito e expressa-se como:

$$\tau'' = \gamma \cdot R_h'' \cdot S$$

onde R_h'' , é o raio hidráulico relativo às formas do fundo.

Para fundos cobertos por dunas, o parâmetro θ da equação (3.2) deve ser substituído por:

$$\theta' = \tau' / (\gamma \cdot (S_s - 1) \cdot D) \quad (3.7)$$

onde D é o diâmetro representativo dos grãos e θ' é o parâmetro de Shields (1936) relativo ao atrito superficial.

KUHNLE (1993) através de ensaios em canais de laboratório, com leitos compostos por areia grossa e fina de diferentes granulometrias e misturadas em proporções distintas, analisou, a influência das características do material do leito sobre o início do movimento, observando-se que:

- as partículas de areia finas em todas as misturas começam a mover-se, aproximadamente, pelo efeito do mesmo esforço de corte,

- as areias grossas, de diferentes granulometrias, quando não estão misturadas com areia fina, precisam quase o mesmo esforço de corte para iniciar o movimento,
- no entanto, nas misturas de areia grossa e fina, as areias grossas, para se mover, precisam de um esforço de corte maior, conforme varia o tamanho dos grãos.

As razões que explicam a última observação, podem encontrar-se, segundo o autor, na presença das areias finas que impedem a formação de uma superfície de pavimentação.

Estudos conduzidos por DITTRICH et al. (1996), sobre o comportamento de estruturas coerentes de fluxo em superfícies rugosas, confirmam a hipótese de KUHNLE (1993) sobre incremento do esforço de corte de areias grossas misturadas com areia fina. Verificando-se também, que quanto mais rugosa for uma superfície, maior é o esforço de corte, comparado com a elevação dinâmica. Ainda, os autores deste trabalho consideram que o parâmetro de Shields (1936), deve ser ampliado, incluindo pelo menos um parâmetro adicional que considere a distribuição da rugosidade, e propõem também, corrigir a condição de início de movimento de partículas sobre as superfícies rugosas.

Como resultado de uma pesquisa desenvolvida por KESHAVARY & BALL (1996), sobre a influência do esforço de corte produzido pela turbulência sobre a iniciação do movimento em canais abertos, verificou-se, que o arraste de partículas num movimento no generalizado, ocorre, pelo efeito de esforços de corte menores que aqueles determinados em modelos de canais para esforço de corte médio. Os autores desta pesquisa atribuem importância, à influência dos efeitos de varredura instantâneos, no arraste de partículas.

Com relação ao problema do início do movimento, SIMONS & SENTÜRK (1992), afirmam que a solução exata continua sendo um desafio à análise teórica. E a complexidade do problema explica a diversidade de resultados experimentais. Ainda segundo os mesmos autores, não tem uma verdadeira condição crítica do início do movimento para o qual o movimento começa repentinamente quando a condição tenha sido alcançada.

3.1.1 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DE FUNDO

O transporte de sedimentos de fundo, é uma das modalidades de transporte predominante, e embora seja proporcionalmente menor que o transporte de sedimentos em suspensão, é responsável pelas mudanças das formas do fundo.

O movimento sólido de fundo fornece impressões distintas a medida que são alteradas as condições do escoamento ou as características do material sólido. Se desenvolve com movimentos simultâneos de partículas, algumas se depositando e ao mesmo tempo outras se deslocando e executando saltos, as vezes freqüentes ou com períodos de repouso prolongado.

Os estudos sobre o movimento de partículas de fundo, foram evoluindo principalmente a partir da década de trinta, com os aportes de Shields (1936), Einstein (1950) e Bagnold (1966). Na época contemporânea (décadas de oitenta e noventa) pesquisas realizadas com ajuda de técnicas modernas, permitem já, entender com maior clareza o mecanismo de movimento das partículas do fundo provocadas pelo fluxo. Assim, LEE & HSU (1994), desenvolveram um estudo sobre o movimento de saltitação, aplicando uma técnica de visualização em tempo real. Mediante esta técnica conseguiu-se medir a trajetória e as velocidades das partículas, sem provocar interferência no campo de fluxo. Tendo sido testadas diferentes profundidades d'água, declividades de canal e uma variedade de tamanhos de partículas. Então a partir destas informações foram obtidas, equações de regressão para a altura média de salto, comprimento e velocidade das partículas. Além disso, foi desenvolvido um modelo matemático para passos únicos de saltitação das partículas. Com o qual calculou-se, as trajetórias das partículas e a variação longitudinal: das velocidades, acelerações, forças de arraste, e forças de elevação. Uma análise de sensibilidade foi também apresentada para avaliar a importância relativa dos parâmetros envolvidos e verificou-se que o efeito Magnus (efeito de rotação das partículas) é importante e não pode ser desprezado.

LEE & HSU (1994), em função desta pesquisa concluíram que:

- o comprimento, a altura e a velocidade do salto das partículas do leito, incrementam-se quando o esforço de corte é aumentado;
- a altura máxima, o comprimento e a velocidade relativos do salto, foram iguais a: $9,3 D_m$, $106,8 D_m$, e $9,9 U_*$ respectivamente, onde D_m é o diâmetro médio das partículas (em mm), e U_* é a velocidade de corte no fundo (em m/seg).

Do estudo individual do movimento de saltitação das partículas em canais, LEE & HSU (1994), demonstraram que:

- a partícula acelera no ramo de subida, alcança a máxima velocidade no topo da trajetória e logo desacelera no ramo descendente;
- a força de elevação é máxima no ramo de subida, cai até um pequeno valor no topo, e logo cresce no ramo descendente;
- o efeito Magnus incrementa a altura do salto e o comprimento em torno de 12%, portanto não pode ser desconsiderado.

Um estudo, bastante detalhado, sobre as características mecânicas da saltitação no transporte de sedimentos de fundo foi desenvolvido por HU & HUI (1996). Na fase experimental do trabalho, os investigadores usaram fotografias de alta velocidade e avançadas técnicas de processamento de dados que permitiram, medir a trajetória do salto dos grãos no fluxo de água e realizar numerosas provas dentro de uma ampla faixa de condições de fluxos e tamanhos de grãos. Os dados obtidos foram analisados aplicando-se um método combinado da teoria mecânica e estatística. Onde as mudanças das grandezas dos parâmetros do salto ao longo da trajetória foram analisados por métodos determinísticos. Dos resultados desta pesquisa, HU & HUI (1996) concluíram que:

- as formas mais frequentes de movimento dos grãos, ocorrem por deslocamento, rolamento, saltitação e em suspensão. O rolamento de grãos abrange mais do 80% do transporte de sedimentos, quando $\Theta < 0,08$ (Θ intensidade do fluxo). A saltitação dos grãos representa mais do 70% do transporte de fundo para a maioria de valores de Θ , portanto, a saltitação é a principal forma do movimento da carga de fundo sob condições ordinárias de fluxo,

- as forças que agem sobre as partículas variam ao longo da trajetória do salto, e os coeficientes de arrasto e elevação variam em função da profundidade média do fluxo e da densidade específica,
- as forças de impacto sobre o fundo têm valores uma a duas vezes maiores que as outras forças, e tanto as forças de elevação, quanto as de impacto, são as responsáveis pelos saltos sucessivos,
- as trajetórias dos saltos, obtidas pelos métodos de cálculo numérico concordam com as trajetórias medidas, e a análise dos parâmetros de saltitação mostram que a altura e o comprimento dos saltos são relacionados à gravidade específica dos grãos γ_s/γ e à intensidade relativa do fluxo Θ .

3.1.2 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO

O transporte de sedimentos em suspensão, chamado também de carga em suspensão, é constituída pela fração mais fina do material do leito mantida suspensa pela ação da turbulência do fluxo. A concentração de sedimentos em suspensão varia verticalmente e de uma seção a outra dentro do mesmo rio.

Geralmente os sedimentos mais finos distribuem-se uniformemente ao longo da vertical e as partículas maiores se concentram perto do fundo; mas pelas contínuas flutuações da velocidade provocadas pela turbulência, ocorre também, às vezes, que algumas partículas grossas alcançam a superfície.

Deve-se distinguir entre os sedimentos em suspensão uma fração de partículas flutuantes de diâmetro muito pequeno, denominada “wash load”, que têm uma distribuição uniforme dentro do fluxo. Esta fração é quase sempre desconsiderada no cálculo da carga de sedimentos em suspensão.

Num fluxo bidimensional e permanente, se, a concentração de sedimentos é uniforme (na direção do fluxo), então, a concentração média em qualquer nível será constante e o fluxo sedimentar médio através de uma camada paralela ao fundo será igual a zero. E ainda, considerando-se uma área unitária paralela a uma distância y do fundo, tem-se, que os sedimentos de tamanho uniforme, precipitam sob a

influência da gravidade a uma velocidade w . Assim, a taxa média de sedimentação q_s através da área unitária é :

$$q_s = w \cdot C \quad (3.8)$$

onde C é a concentração média instantânea á distancia y e w é a velocidade de queda dos sedimentos em suspensão.

De outra parte, o transporte de sedimentos devido as flutuações da velocidade pela turbulência, pode ser expressa pela equação:

$$g_1 = - \varepsilon_s \cdot \frac{dC}{dy} \quad (3.9)$$

onde g_1 é o transporte sedimentos por unidade de área, ε_s é o coeficiente de difusão e C é a concentração média a uma profundidade y .

Nestas condições, para estabelecer um perfil de equilíbrio, a quantidade de sedimentos que precipita tem que estar balanceado pelos sedimentos que sobem devido à difusão. Combinando as equações (3.8) e (3.9) tem-se:

$$w \cdot C + \varepsilon_s \frac{dC}{dy} = 0 \quad (3.10)$$

integrando a equação (3.10)

$$C = C_a \cdot \text{Exp} \left[- w \cdot \int_a^y \frac{dy}{\varepsilon_s} \right] \quad (3.11)$$

onde C_a é a concentração dos sedimentos com velocidade de queda w ao nível $y = a$ acima do leito.

Considerando um fluxo bidimensional e permanente num canal aberto, o esforço de corte τ a uma distancia y acima do fundo pode ser expressa como:

$$\tau = \gamma \cdot S \cdot (d - y) = \tau_o \left(1 - \frac{y}{d} \right) ;$$

se, a distribuição de velocidade é conhecida, e expressa segundo a relação de Prandtl - von Kármán:

$$\frac{du}{dy} = \frac{U_*}{\kappa \cdot y} ;$$

lembrando que: $\tau = \rho \cdot \varepsilon_m \cdot \frac{du}{dy}$, $U_* = \left(\frac{\tau_o}{\rho} \right)^{1/2}$ e $\varepsilon_s = \beta \cdot \varepsilon_m$;

logo, $\varepsilon_s = \beta \cdot \kappa \cdot U_* \cdot \frac{y}{d} (d - y)$ substituindo esta expressão na equação (3.11) e rearranjando:

$$\frac{C}{C_a} = \left[\frac{d - y}{y} \frac{a}{d - a} \right]^{Z_1} \quad (3.12)$$

onde:

$$Z_1 = \frac{w}{\beta \cdot \kappa \cdot U_*} \quad (3.13)$$

A equação (3.12) é conhecida como a equação da distribuição de sedimentos em suspensão, e foi apresentada por Rouse (1937).

Vanoni (1946), citado por CUNHA (1969), definiu curvas de variação de C/C_a em função de $(y - a)/(d - a)$, para vários valores de Z_1 , considerando a concentração de referência C_a determinada a uma distância do fundo igual a 5% da profundidade total (figura 3.1). Nestas curvas, verifica-se que para valores baixos de Z_1 a concentração varia pouco com a profundidade, e apresenta uma tendência a ser uniforme, entanto que, para valores de Z_1 elevados as concentrações à superfície apresentam-se muito menores do que junto ao fundo.

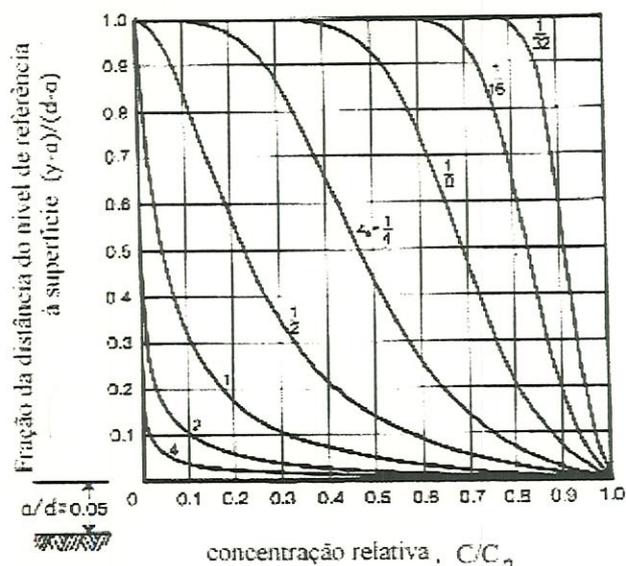


FIGURA 3.1 Gráfico da equação da distribuição de sedimentos em suspensão para $a/d = 0,05$ e outros valores do expoente Z_1 (Vanoni, 1941).

Por serem as equações teóricas para sedimentos em suspensão, uma função da velocidade de queda na água, é importante contar com esses dados para sua aplicação. Informações sobre velocidades de queda de esferas, foram fornecidas por Rouse (1937), e Albertson (1953), que publicou dados sobre a velocidade de queda de grãos com diferentes fatores de forma. Um completo estudo sobre velocidade de queda foi apresentado por McNown et al. (1977), este estudo inclui o efeito da forma, concentração de sedimentos, tamanho e o efeito da turbulência na velocidade de queda (VANONI, 1984).

GARCIA et al. (1996), desenvolveram um trabalho sobre o arraste de partículas em suspensão na região limite do fluxo turbulento, em canais abertos com fundos liso e rugoso. Nesta pesquisa foi usado um sistema de vídeo de alta velocidade capaz de registrar mais de 1000 imagens por segundo, para visualizar o fluxo e o movimento das partículas. As imagens do fluxo foram sincronizadas com medidas de velocidade registradas mediante uma sonda de filme quente, a qual forneceu informação do campo de velocidades de fluxo. Nos ensaios foram também

observadas camadas de corte típicas localizadas na região próxima à camada limite do canal aberto, onde interagem partículas de fundo e partículas que eventualmente são arrastadas em suspensão.

Os resultados obtidos por GARCIA et al. (1996), mostraram que as partículas encontram-se em suspensão mesmo se elas estivessem totalmente submersas na subcamada viscosa, contrariamente ao previsto em trabalhos anteriores. De outra parte, os experimentos em fluxos com um leito rugoso mostraram, que pelos efeitos de encobrimento entre os grãos, há uma tendência a excluir o transporte de partículas com tamanhos mais finos que os elementos rugosos.

A seguir serão descritos alguns métodos de estimativa de transporte de sedimentos e sua fundamentação teórica, procurando ressaltar as limitações e as condições para as quais foram concebidas, assim como o possível campo de aplicação.

É importante advertir, que os métodos de YALIN (1963), BAGNOLD (1966) e VAN RIJN (1984 a), para o cálculo do transporte de sedimentos de fundo, e o método de YANG (1973) para o cálculo do transporte de sedimentos totais, incluídos neste revisão bibliográfica, não foram usados na análise comparativa e de aplicabilidade, porquanto após uma primeira tentativa de cálculo, apresentaram resultados muito altos, que não permitiram estabelecer nenhuma comparação.

3.2 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE CÁLCULO DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DE FUNDO

3.2.1 MÉTODO DE MEYER PETER & MÜLLER (1948)

A fórmula de MEYER PETER & MÜLLER (1948), é basicamente uma fórmula empírica, e foi desenvolvida através de numerosos ensaios de laboratório, onde foram usados canais de prova com larguras variáveis entre 15 cm a 2 m, declividades compreendidas entre 0,0004 a 0,02 m/m, e profundidades de 1 cm a 120 cm. Os materiais usados nos ensaios, foram: areias, cascalho natural, lignita e barita de tamanhos uniformes e não uniformes (compreendidos na faixa 0,4 a 30 mm de diâmetro) e de pesos específicos submersos variáveis, desde 0,25 a 3,2 ton/m³. As vazões líquidas usadas estiveram compreendidas entre 0,002 e 2 m³/seg. Como resultado desta trabalho, MEYER-PETER & MÜLLER (1948) estabeleceram que:

- a) a declividade da linha de energia é uma característica da interação entre movimento sólido e líquido do escoamento, com transporte de sedimentos. Onde uma porção da energia é consumida para o transporte sólido e outra parte no movimento líquido;
- b) o transporte de sedimentos e o início do movimento são governados por parâmetros similares.

A fórmula de MEYER-PETER & MÜLLER (1948), obteve ampla aceitação, sobretudo na Europa, em virtude dos novos conceitos introduzidos e da sólida base experimental em que assentava. Convém contudo notar que no fundo se trata de uma fórmula que deriva do conceito de tensão tangencial crítica (CUNHA, 1969)

A equação de MEYER-PETER & MÜLLER (1948), segundo YALIN (1977), pode ser somente válida se o material for granular e transportado na vizinhança do leito. Em outras palavras é uma fórmula típica para carga de fundo.

VANONI (1984), considera que a equação de MEYER-PETER & MÜLLER (1948), expressa a taxa de transportes em termos do esforço de corte dos grãos. Este

esforço de corte pode ocorrer sobre um leito plano coberto com sedimentos aluviais. Por esta razão a fórmula fornece resultados aceitáveis, inclusive no caso de fundos com dunas.

SIMONS & SENTÜK (1992), afirmam que a equação de MEYER-PETER & MÜLLER (1948), ao ser aplicada a cursos estáveis, fornece estimativas satisfatórias, mas quando as declividades são maiores que 0.001, as discrepâncias podem ser grandes com relação aos valores observados.

A equação de MEYER-PETER & MÜLLER (1948) na forma apresentada por GRAF (1971) é:

$$\frac{\gamma \cdot R_h \cdot \left(\frac{K_r}{K_r'} \right)^{3/2} \cdot S}{D_m} - 0,047(\gamma_s - \gamma) = 0,25 \sqrt[3]{\rho} \frac{(q_b')^{2/3}}{D_m} \quad (3.14)$$

sendo:

$$K_r = \frac{U}{R_h^{2/3} \cdot S^{1/2}} \quad (3.15)$$

$$K_r' = \frac{26}{D_{90}^{1/6}} \quad (3.16)$$

$$D_m = \sum \frac{D_{ib}}{100} \quad (3.17)$$

onde:

R_h é o raio hidráulico,

K_r é o coeficiente de rugosidade de Strikler,

K_r' é o coeficiente de rugosidade devido à força de cisalhamento,

D_m é o diâmetro médio da partícula,

D_{90} é o diâmetro da partícula para a qual o 90% dos grãos é mais fino,

ρ é a massa específica da água,

q_b' é o peso submerso da descarga de sedimentos por unidade de tempo e largura,

U é a velocidade média do escoamento,

D_{ib} é o diâmetro da partícula que corresponde à fração i_b

i_b é a fração do material do leito de diâmetro D .

3.2.2 MÉTODO DE EINSTEIN (1950)

EINSTEIN (1950), desenvolveu um modelo que, na opinião de ENGELUND & FREDSOE (1982) constitui, um dos mais profundos enfoques teóricos ao problema do transporte de sedimentos. Uma particularidade deste método foi a aplicação da teoria das probabilidades, para explicar a variação estatística das forças de agitação sobre as partículas de fundo, provocadas pela turbulência.

A probabilidade de movimento das partículas de fundo foi expressa por EINSTEIN (1950), como uma função da relação entre a força ascensional instantânea e o peso da partícula submersa. O ritmo de erosão das partículas do fundo é proporcional àquela probabilidade de movimento e ao número de partículas susceptíveis de serem transportadas por unidade de superfície de fundo. Por outro lado o ritmo de deposição das partículas do fundo depende da vazão sólida na seção e da probabilidade de deposição que por sua vez está relacionada com os valores das forças ascensionais e com as características de forma, dimensões e peso das partículas (CUNHA, 1969).

EINSTEIN (1950), baseado em evidências experimentais mostrou que existe uma direta relação entre o leito móvel de um canal e a carga de fundo; chegando as seguintes conclusões:

- 1° existe um permanente e intensivo intercâmbio de partículas, entre o leito e a camada móvel;
- 2° a carga do leito move-se lentamente em direção a jusante, e o movimento individual das partículas dá-se através de passos rápidos, comparado com os períodos de repouso prolongados;
- 3° o salto médio executado por qualquer partícula do material de fundo, parece ser constante independentemente da condição do fluxo, da taxa de transporte e da composição do leito;
- 4° a variação da taxa de transporte, pode-se atribuir às mudanças do intervalo de tempo entre dois saltos e a variação da espessura do leito móvel (GRAF, 1971).

Segundo CUNHA (1969), EINSTEIN (1950) estabeleceu uma fórmula de transporte sólido, baseando-se por um lado na separação dos efeitos das resistências de forma e superficial, como fizeram MEYER-PETER & MÜLLER (1948), e por outro num conceito de probabilidade de movimento até certo ponto análogo ao que foi introduzido por Kalinske (1948).

Segundo SIMONS & SENTÜRK (1992), EINSTEIN (1950) se afastou das equações de Du Boys (1889) e Schoklists (1914) ao abandonar o critério da condição crítica no início do movimento das partículas, por ser difícil, e quase impossível de definir. E ao considerar, as flutuações do fluxo turbulento de maior importância que os valores médios do fluxo no transporte de sedimentos.

O método de EINSTEIN (1950) pode ser resumido como segue:

A intensidade de transporte de carga de fundo por unidade de tempo e largura do canal, para uma fração de diâmetro de grão individual é uma função adimensional ϕ_* , definida por:

$$\phi_* = \frac{i_B}{i_b} \left[\frac{q_b}{\rho_s \cdot g} \left(\frac{\rho}{\rho_s - \rho} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{1}{g \cdot D^3} \right)^{1/2} \right] \quad (3.18)$$

onde:

i_B - fração da carga de fundo, de diâmetro D_i ;

i_b - fração do material do leito de diâmetro D_i ;

q_b - taxa de transporte de fundo em peso por unidade de largura e tempo;

ρ_s, ρ - massas específicas do sedimento e da água, respectivamente;

g - aceleração da gravidade;

D - diâmetro do grão da fração considerada.

A intensidade de transporte, ϕ_* , é uma função da intensidade de atrito ψ_* , sobre o grão individual de diâmetro D , representada pela figura 3.2.

A intensidade de atrito ψ_* é definida por:

$$\psi_* = \xi Y \left[\frac{\text{Log}10,6}{\text{Log}\left(\frac{10,6 \cdot X \cdot x}{D_{65}}\right)} \right]^2 \cdot \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \cdot \frac{D}{R_h' \cdot S} \quad (3.19)$$

onde:

ξ - fator de correção, introduzido para corrigir o efeito de “encobrimento” das partículas pequenas pelas maiores, ou pela subcamada limite laminar. O fator ξ é obtido da figura 3.3, em função de (D/x) ;

x - fator de correção na distribuição logarítmica de velocidade, obtido em função de D_{65}/δ , na figura 3.4, sendo δ a espessura da subcamada limite laminar, dada pela equação:

$$\delta = 11,6 \cdot \frac{\nu}{U_*'} \quad (3.20)$$

na qual:

$U_*' = (g \cdot R_h' \cdot S)^{1/2}$ - velocidade de corte devida ao atrito dos grãos,

ν - viscosidade cinemática da água,

R_h' - raio hidráulico do fundo, relativo aos grãos,

S - declividade total da linha de energia para as condições do escoamento,

Y - fator de correção que descreve a mudança do coeficiente de sustentação em misturas com várias rugosidades. O fator Y é obtido da figura 3.5, em função de D_{65}/δ ,

D_{65} - diâmetro da partícula para o qual o 65% dos grãos é mais fino,

X - diâmetro característico da mistura água sedimento, dado pelas equações:

$$X = 0,77 \cdot \Delta \quad \text{para} \quad \frac{\Delta}{\delta} > 1,8$$

e

$$X = 1,39 \cdot \delta \quad \text{para} \quad \frac{\Delta}{\delta} < 1,8$$

onde:

$$\Delta = D_{65}/x$$

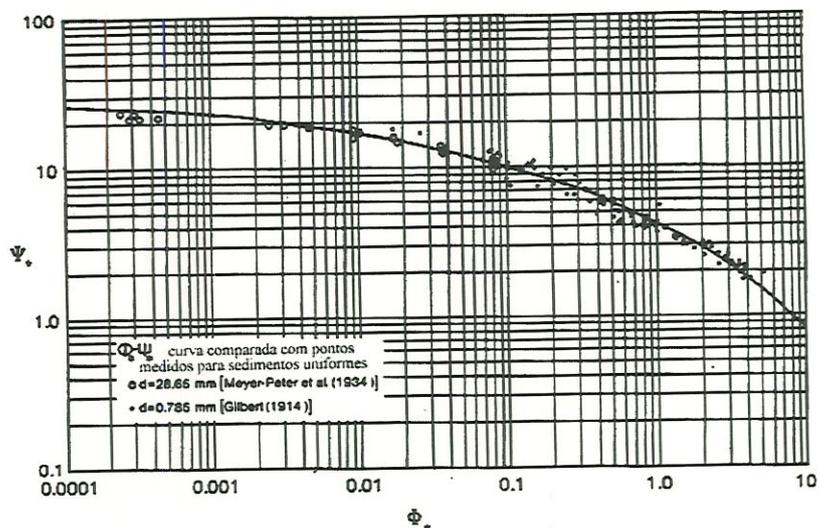


FIGURA 3.2 . - Curva da Função da carga de Fundo ϕ_* versus ψ_* (Einstein, 1950)

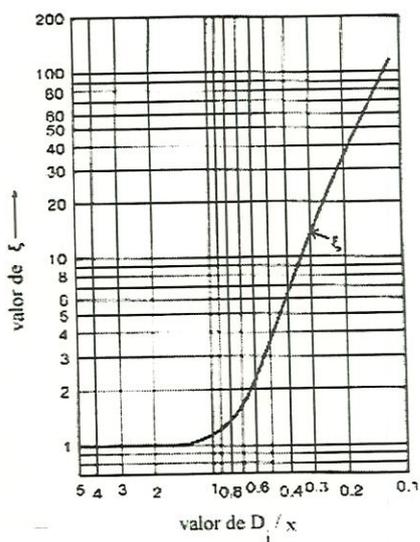


FIGURA 3.3 . - Fator de correção do efeito de encobrimento das partículas (Einstein, 1950)

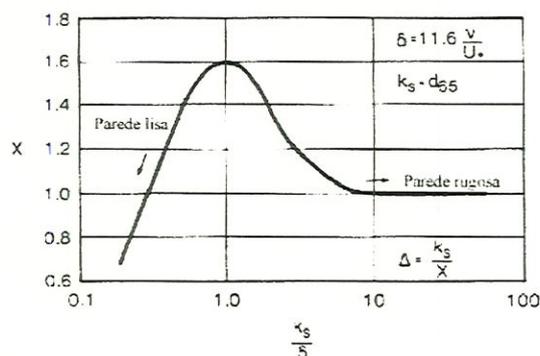


FIG. 3.4.- Fator de correção da distribuição logarítmica de velocidade (EINSTEIN, 1950)

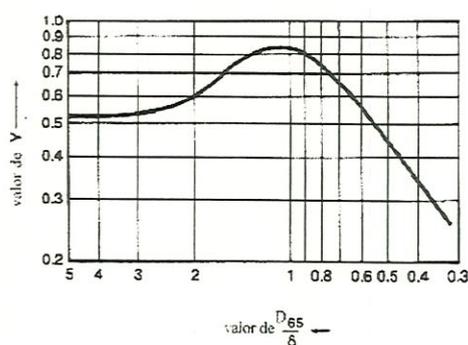


FIG 3.5 .- Fator de correção da pressão (EINSTEIN, 1950)

O método de EINSTEIN (1950) para descarga de sedimentos de fundo conclui nesta parte. A continuação, inclui-se as equações de EINSTEIN (1950) para transporte de sedimentos em suspensão e transporte de sedimentos totais, embora estas não foram usadas nas estimativas.

A taxa de transporte de material em suspensão por fração de diâmetro é expressa como:

$$q_s = i_B \cdot q_b [P_E \cdot I_1 + I_2] \quad (3.21)$$

onde:

$$P_E = 2,303 \cdot \text{Log} \left(\frac{30,2 \cdot d}{\Delta} \right) \quad (3.22)$$

d - é a profundidade do escoamento

$$I_1 = 0,216 \frac{E^{Z-1}}{(1-E)^Z} \int_E^1 \left(\frac{1-Y}{Y} \right)^Z \cdot dy \quad (3.23)$$

$$I_2 = 0,216 \frac{E^{Z-1}}{(1-E)^Z} \int_E^1 \left(\frac{1-Y}{Y} \right)^Z \cdot \text{Ln } y \cdot dy \quad (3.24)$$

$$E = \frac{2 \cdot D}{d} \quad (3.25)$$

Y - é a profundidade na vertical,

$$Z = \frac{w}{\kappa \cdot U_*'} \quad (3.26)$$

$\kappa = 0,4$ (constante de Von Karman para água limpa),

U_*' - velocidade de corte devido ao atrito dos grãos,

w - velocidade de sedimentação da partícula, dada pela equação de Rubey (1933) na forma:

$$w = \frac{\left[\frac{2}{3} \cdot g \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) \cdot D_s^3 + 36 \cdot \nu^2 \right]^{\frac{1}{2}} - 6 \cdot \nu}{D_s} \quad (3.27)$$

A carga total de transporte de sedimentos, por unidade de tempo e por unidade de largura do canal é logo expressa por:

$$q_T = i_B \cdot q_b \cdot [P_E \cdot I_1 + I_2 + 1] \quad (3.28)$$

Os valores de I_1 e I_2 em termos de E , para diversos valores de Z podem ser obtidos das figuras 3.6a e 3.6b.

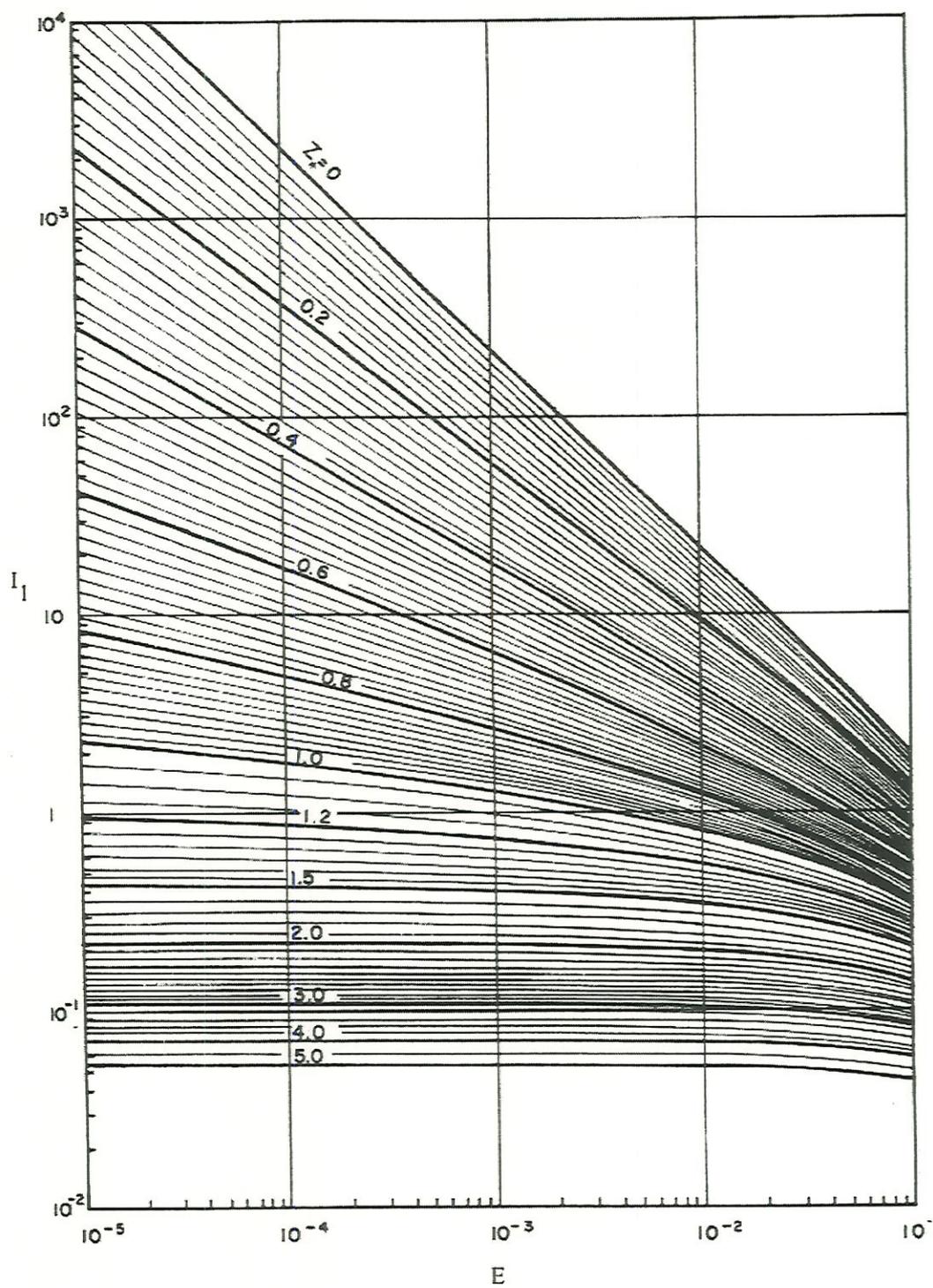


FIGURA 3.6 a - Função I_1 em termos de E para varios valores de Z (Einstein, 1950).

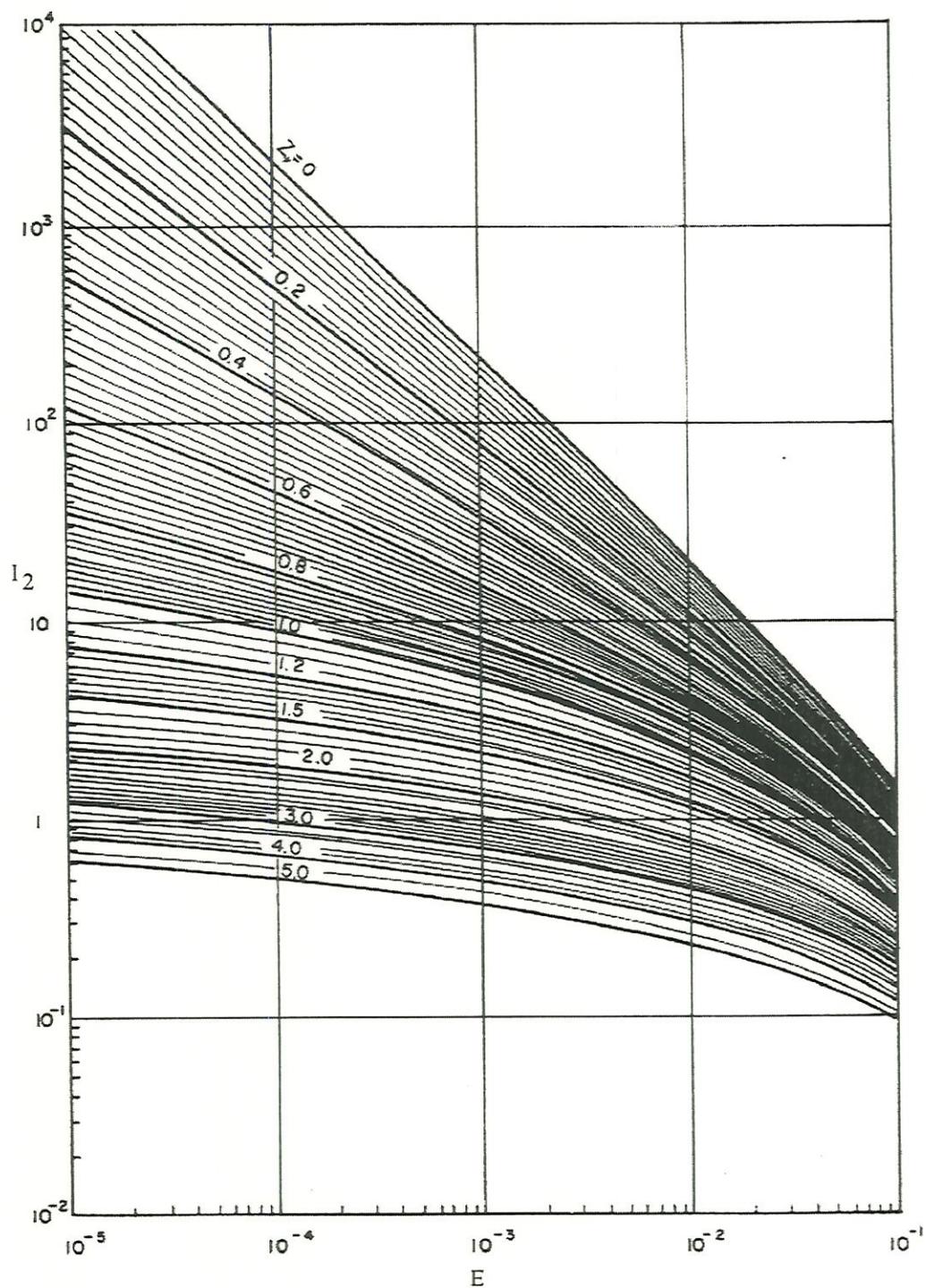


FIGURA 3.6b - Função de I_2 em termos de E para vários valores de Z (Einstein, 1950).

3.2.3 MÉTODO DE YALIN (1963)

O método de YALIN (1963) para o cálculo do transporte de sedimentos de fundo foi desenvolvido, a partir dos valores médios das forças de elevação (não instantâneas), provocadas pela turbulência, as quais agem sobre as partículas do leito.

O autor considera que o aumento de sólidos deve-se ao incremento do salto das partículas e não só ao aumento do número de partículas transportadas.

Schmitt (1966), após uma revisão do método de YALIN (1963) verificou que, no caso especial de fundo plano, esta relação produz melhores resultados que os métodos de EINSTEIN (1950), MEYER-PETER & MÜLLER (1948) ou BAGNOLD (1956).

Também, Nordin et al. (1964) avaliaram o método de YALIN (1963), encontrando que, ao ser testada em calhas de laboratório e com dados de campo, não fornece resultados desejáveis. Segundo Nordin et al (1964), isto pode ter origem na desconsideração da relação do tamanho do grão e a profundidade atual.

A equação proposta por YALIN (1963) é a seguinte:

$$q_b = 0,635 \gamma'_s \cdot D_{50} \cdot U_* \cdot r \left[1 - \left(\frac{2,3 \text{ Log}(1 + a \cdot r)}{a \cdot r} \right) \right] \quad (3.29)$$

onde:

$$\gamma'_s = \gamma_s - \gamma \quad (3.30)$$

$$r = \frac{(\tau_0 - \tau_c)}{\tau_0} \quad (3.31)$$

$$a = 2,45 \left(\frac{\rho}{\rho_s} \right)^{0,4} \cdot \left(\frac{\tau_c}{\gamma'_s \cdot D_{50}} \right)^{0,5} \quad (3.32)$$

$$\tau_0 = \gamma \cdot R_h \cdot S \quad (3.33)$$

$$U_* = (\tau / \rho)^{0,5} \quad (3.34)$$

onde:

γ'_s é o peso específico do sedimento submerso,

U_* é a velocidade de atrito da corrente,

D_{50} Diâmetro da partícula para a qual, o 50% dos grãos e mais fino,

τ_c é o esforço de corte crítico, calculado pelo diagrama de

Shields (1936).

3.2.4 MÉTODO DE BAGNOLD (1966)

BAGNOLD (1966), desenvolveu um método baseado no conceito do balanço de energia, que relaciona o trabalho, a energia dissipada pelo rio e a quantidade de sedimentos transportados.

A teoria da energia aplicada ao transporte de sedimentos, foi introduzida pela primeira vez por Rubey (1933). E adotada também por outros investigadores, seguindo diferentes critérios, assim tem-se:

1º a teoria gravitacional, desenvolvida por VELIKANOV (1954);

2º a teoria da potência do rio, desenvolvida por BAGNOLD (1966);

3º a teoria da potência unitária do rio, desenvolvida por YANG (1973).

No modelo de BAGNOLD (1966), relaciona-se o trabalho útil e a energia disponível a través de um fator de eficiência e define-se a potência do rio como a potência por unidade de área do fundo.

A equação de BAGNOLD (1966) para transporte de sedimentos de fundo é a seguinte:

$$\left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) \cdot q_b' \cdot \text{tg } \alpha = \tau \cdot U \cdot e_b \quad . \quad (3.35)$$

onde:

γ_s e γ - são os pesos específicos dos sedimentos e da água respectivamente,

q_b' - é a taxa de sedimentos transportados em peso submerso por unidade de largura e tempo,

$\text{tg } \alpha$ - é a relação entre as componentes normal e tangencial da força de corte,

α - coeficiente devido ao atrito dinâmico,

U - é a velocidade média do fluxo,

e_b - fator de eficiência, que considera a fração da potência do fluxo disponível para o transporte de sedimentos,

$\tau \cdot U$ - é potência do rio ou potência por unidade de área.

Os valores de e_b e α podem-se obter das figuras (3.7) e (3.8).

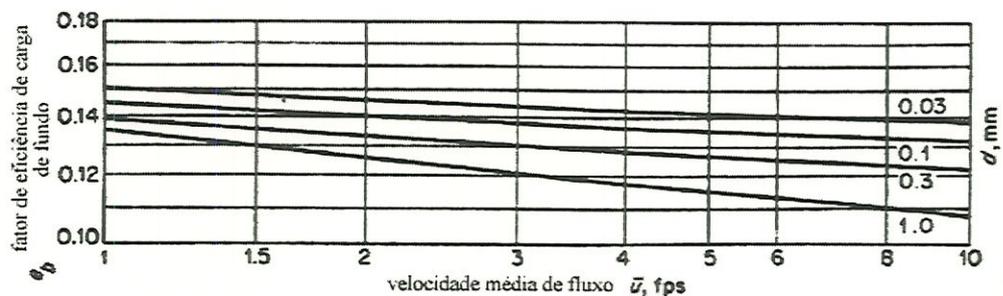


FIGURA 3.7 - Fator de eficiência e_b (Bagnold, 1966)

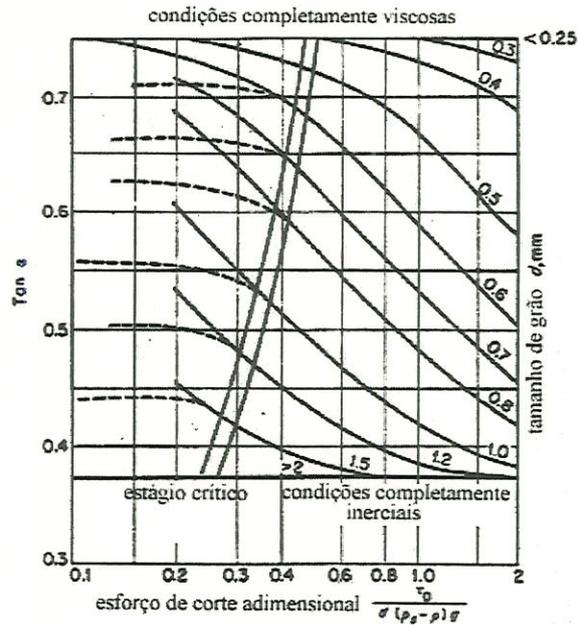


FIGURA 3.8 - Variação de α (segundo Bagnold, 1966)

Similarmente a carga em suspensão pode ser calculada usando a equação:

$$\left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) \cdot q_{ss} = 0.01 \left(\frac{\tau_0 \cdot U^2}{w} \right) \quad (3.36)$$

onde:

q_{ss} - é a taxa de transporte de sedimentos em suspensão, em peso submerso,

w - é a velocidade média de queda das partículas,

τ_0 - é a esforço de tração exercido pelo fluxo sobre o fundo (eq. 3.33).

A carga total obtém-se, somando a carga de fundo e a carga em suspensão:

$$q_t = q_b + q_{ss} = \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) \cdot \tau \cdot U \left(\frac{e_b}{tg \alpha} + 0.01 \frac{U}{w} \right) \quad (3.37)$$

Segundo YALIN (1982), a expressão de BAGNOLD (1966) não é válida para grãos de tamanho grande, ou vai ser menos precisa para casos onde a viscosidade é desprezível.

3.2.5 MÉTODO DE TOFFALETI (1969)

Segundo SIMONS & SENTÜRK (1992), as principais diferenças entre os métodos de TOFFALETI (1969) e EINSTEIN (1950), são, que TOFFALETI (1969), utilizou:

- 1° um perfil da distribuição da velocidade na vertical, representado por uma relação de potência (Eq. 3.38);
- 2° a combinação de vários fatores de correção de EINSTEIN (1950), num só fator;
- 3° uma relação dos parâmetros de fluxo ϕ^* e ψ^* para transporte de sedimentos, para um fluxo que se desenvolve acima do leito, a uma altura dois vezes o diâmetro dos grãos .

No método de TOFFALETI (1969), a concentração (C_i), dos sedimentos de tamanho D_i no limite superior da camada do fundo, para o qual $y = 2.D_i$, é determinada aplicando antes, uma relação empírica (similar à relação ϕ^* - ψ^* , utilizada por EINSTEIN (1950)) para a zona profunda ($2 D_i < y < R_h/11,24$). Então a vazão sólida de fundo por unidade de largura, para sedimentos de diâmetro D_i , assume-se que está dada, pelo produto, da concentração, a velocidade (à profundidade $y = 2.D_i$) e, a diferença $2.D_i$,ou seja:

$$q_{Bi} = (C_i u)_{y=2D_i} (2D_i)$$

Os detalhes do método de TOFFALETI (1969), são apresentados no item correspondente a transporte de sedimentos totais.

É importante salientar, que o método de TOFFALETI (1969), só foi usado, neste trabalho, para o cálculo do transporte de sedimentos de fundo.

3.3 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE CÁLCULO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS TOTAIS

3.3.1 MÉTODO DE TOFFALETI (1969)

Baseado nos conceitos de Einstein (1950) e Chien (1953), TOFFALETI (1969), propôs um modelo para a determinação da descarga sólida do material do leito (descarga de sólidos de fundo e descarga de sólidos em suspensão).

No desenvolvimento do modelo apresentado por TOFFALETI (1969) assume-se:

- uma seção hipotética de duas dimensões: largura B igual à do canal (para a qual deve-se calcular a descarga de sólidos) e uma profundidade d , igual ao raio hidráulico R_h do canal real;
- o sedimento do leito é dividido em classes granulométricas, nas quais o tamanho máximo em cada fração é duas vezes o diâmetro mínimo. O diâmetro médio D_m de cada classe é igual à média geométrica dos diâmetros máximo e mínimo na classe;
- a descarga sólida calcula-se somando as descargas parciais correspondentes a cada uma das classes;
- como no método de EINSTEIN (1950) a descarga de material em uma classe granulométrica de sedimento do leito é proporcional a uma fração ponderada i_f da classe.

O modelo de TOFFALETI (1969) foi testado e comparado com medições realizadas em 339 rios e, dados de 282 ensaios de laboratório, onde fez-se uso de canais de prova com uma variedade de condições. Assim por exemplo: larguras compreendidas entre 0,27 e 2,44 m, profundidades entre 0,05 e 0,60 m e, tamanhos de areias com diâmetros compreendidos entre 0,3 mm e 0,93 mm.

Segundo SIMONS & SENTÜRK (1992), as mais de 600 comparações feitas entre descargas medidas e calculadas abarcam uma ampla gama de condições e mostram que, o procedimento de TOFFALETI (1969) é satisfatoriamente consistente.

O método de TOFFALETI (1969) apresentado por SIMONS & SENTÜRK (1992) e CARVALHO (1994), é o seguinte:

Primeiro, para a determinação das descargas parciais, a seção hipotética é dividida em 4 zonas (fig. 3.9). Destas, as três zonas superiores correspondem a sedimentos em suspensão, cada uma com uma distribuição de concentração diferente, expressa por uma relação de potência :

- 1) a zona do leito de espessura relativa $y/d = 2 D_i / d$;
- 2) a zona baixa, que se estende de $y/d = 2 D_i / d$ a $y/d = 1/11,24$;
- 3) a zona intermediária que se estende de $y/d = 1/11,24$ a $y/d = 1/2,5$;
- 4) a zona superior, que se estende de $y/d = 1/2,5$ até a superfície.

O perfil de velocidade é representado pela equação:

$$v = (1 + n_v) \cdot U \cdot \left(\frac{y}{d}\right)^{n_v} \quad (3.38)$$

sendo:

$$n_v = 0,1198 + 0,00048 \cdot T \quad (3.39)$$

onde:

v - velocidade da corrente à distância y acima do leito,

U - velocidade média do escoamento em ft/seg ,

T - temperatura da água em $^{\circ}F$,

d - profundidade total do escoamento,

y - Uma distância qualquer acima do leito,

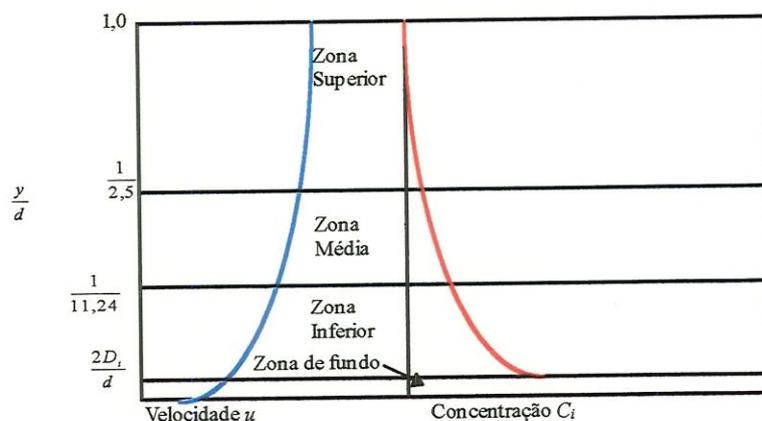


FIGURA 3.9 - Distribuições de velocidades e concentração de sedimentos (TOFFALETI, 1969).

A distribuição da concentração em cada uma das três zonas acima da zona do leito é dada pelas equações seguintes:

$$\text{Zona superior: } C_i = C_{ui} \cdot \left(\frac{y}{d}\right)^{-1,5 \cdot Z_i} \quad (3.40)$$

$$\text{Zona intermediária: } C_i = C_{mi} \cdot \left(\frac{y}{d}\right)^{-Z_i} \quad (3.41)$$

$$\text{Zona inferior: } C_i = C_{li} \cdot \left(\frac{y}{d}\right)^{-0,756 Z_i} \quad (3.42)$$

onde Z_i é dado por :

$$Z_i = \frac{w_i \cdot U}{C_z \cdot d \cdot S} \quad (3.43)$$

sendo:

w_i - velocidade de queda do sedimento de diâmetro D_i à temperatura T ,
obtida pela figura (3.10)

S - declividade do gradiente de energia do curso da água em estudo,

C_z - valor dado pela seguinte relação empírica:

$$C_z = 260,67 - 0,667 \cdot T \quad (3.44)$$

Quando o valor de Z_i calculado for menor que n_v , Z_i , deve ser assumido como $1,5n_v$. Esse procedimento é adotado para que o fator C_u da equação (3.40) decresça quando y/d aumenta, como ocorre nos cursos naturais de água.

Para calcular a descarga em suspensão do material do leito, q_{sui} , q_{smi} e q_{sLi} , nas zonas superior, intermediária e inferior, respectivamente, usam-se expressões obtidas da substituição de v da equação (3.38) na equação

$$q_{ssi} = \int_a^n C_i \cdot v \cdot dy \quad (3.45)$$

logo, integrando entre os limites apropriados, resulta:

$$q_{sui} = M_i \frac{\left(\frac{d}{11,24}\right)^{0,244 \cdot Z_i} \left(\frac{d}{2,5}\right)^{0,5 \cdot Z_i} \left[d^{n_1} - \left(\frac{d}{2,5}\right)^{n_1} \right]}{n_1} \quad (3.46)$$

$$q_{smi} = M_i \frac{\left(\frac{d}{11,24}\right)^{0,244 \cdot Z_i} \left[\left(\frac{d}{2,5}\right)^{n_2} - \left(\frac{d}{11,4}\right)^{n_2} \right]}{n_2} \quad (3.47)$$

$$q_{sLi} = M_i \frac{\left(\frac{d}{11,24}\right)^{n_3} - (2 \cdot D_{mi})^{n_3}}{n_3} \quad (3.48)$$

onde:

$$M_i = 43,2 \cdot p_i \cdot C_{Li} \cdot (1 + n_v) \cdot U \cdot d^{0,756 \cdot Z_i} - n_v \quad (3.49)$$

$$n_1 = 1 + n_v - 1,5 \cdot Z_i \quad (3.50)$$

$$n_2 = 1 + n_v - Z_i \quad (3.51)$$

$$n_3 = 1 + n_v - 0,756 \cdot Z_i \quad (3.52)$$

p_i - é a fração por peso do material de fundo com diâmetro D .

Nas equações (3.46), (3.47), (3.48), o único valor desconhecido é C_{Li} , este valor pode ser calculado a partir da relação empírica:

$$q_{sLi} = \frac{0,600 \cdot p_i}{\left(\frac{T_T \cdot A_c \cdot k_c}{U^2}\right)^{5/3} \left(\frac{D_i}{0,00058}\right)^{5/3}} \quad (3.53)$$

Se, $D_i \leq 0,00029$ ft a equação (3.53) se reduz a:

$$q_{sLi} = \frac{1,095}{\left(\frac{T_T \cdot A_c \cdot k_c}{U^2}\right)^{5/3}} \quad (3.54)$$

onde:

$$A_c = f\left(\frac{(10^5 \cdot \nu)^{1/3}}{10 \cdot u_*'}\right), \text{ dado na figura (3.11),}$$

$$u_*' = f\left(\frac{U^3}{g \cdot S \cdot \nu}, \frac{U}{g \cdot S \cdot D_{65}}\right), \text{ velocidade de atrito relativa aos grãos, dada}$$

na figura 3.13,

$$T_i = 1,10 \cdot (0,051 + 0,00009 \cdot T) \quad (3.55)$$

O fator de correção K_c dado na figura (3.12), tem o valor de 1,00 para abscissas menores que 0,25, sendo este valor somente excedido em calhas de laboratório. Quando o valor do produto $A_c \cdot k_c < 16,0$, adota-se $A_c \cdot K_c = 16$.

A concentração em $y = 2 \cdot D_{mi}$, deve ser verificada para garantir que não seja falsamente alta, sendo dada pela expressão:

$$(C_i)_{y=2 \cdot D_i} = C_{Li} \cdot \left(\frac{2 \cdot D_i}{d} \right)^{-0,756 \cdot Z_i} \quad (3.56)$$

Se, a concentração dada na equação anterior for maior que 100 lb/ft³, a concentração C_{Li} deve ser reduzida de tal forma que o valor C_i seja igual a 100.

A vazão sólida de fundo é calculada pela seguinte expressão:

$$q_{bi} = M_i \cdot (2 \cdot D_i)^{n_3} \quad (3.57)$$

onde M_i e n_3 estão dados pelas equações 3.49 e 3.52.

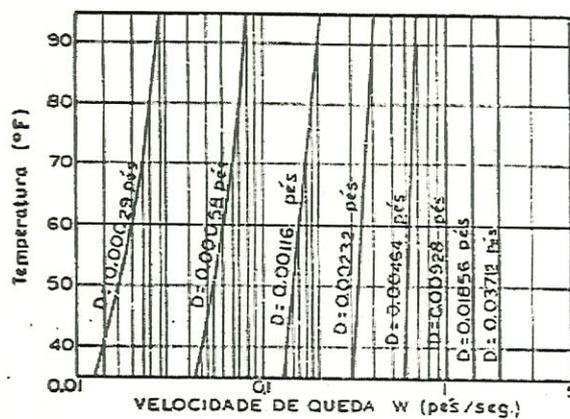


FIGURA 3.10 - Velocidade de queda em função do diâmetro e da temperatura. Para densidade do sedimento de 2,65 e fator de forma de 0,9.

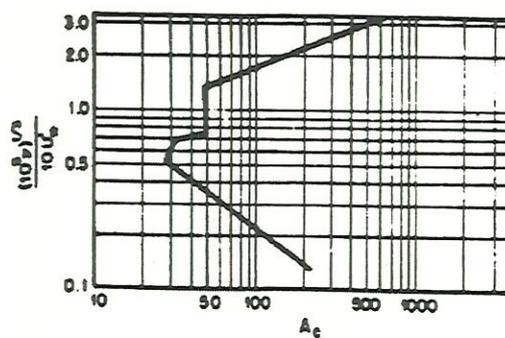


FIGURA 3.11 - Gráfico para avaliação do fator A_c (TOFFALETI, 1969)

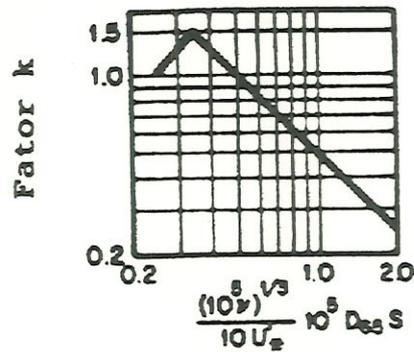


FIGURA 3.12 - Fator de correção para a figura 3.11 (TOFFALETI, 1969)

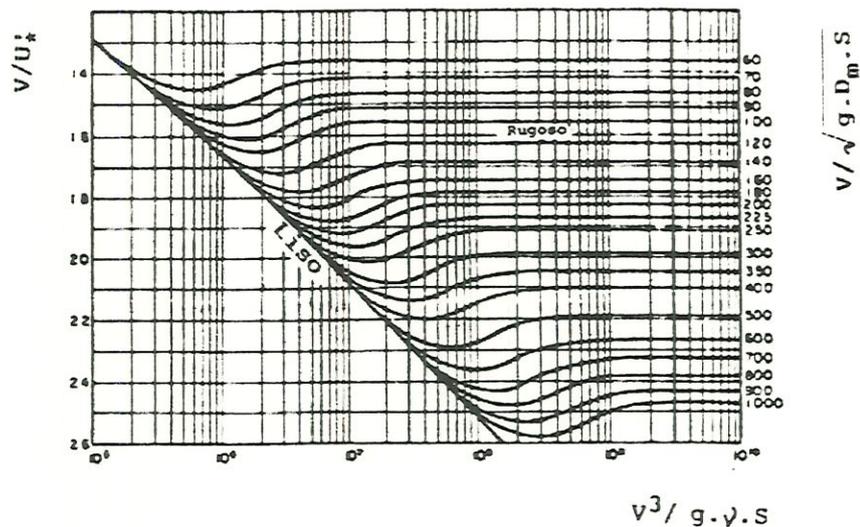


FIGURA 3.13 - Curvas para a solução gráfica das equações de Einstein e Barbarossa, para a determinação de R_h (TOFFALETI, 1969).

A descarga total de material de fundo Q_{ti} para o sedimento de diâmetro D_i é calculada pela equação:

$$Q_{ti} = B \cdot (q_{bi} + q_{smi} + q_{smi} + q_{sLi}) \quad (3.58)$$

No modelo de TOFFALETI (1969), o raio hidráulico R_h , o tamanho dos sedimentos D_i , e a largura do rio B , são expressos em pés. A velocidade é expressa em ft/seg, a concentração de sedimentos em lb/ft³, e a descarga de sedimentos (Q_{ti}) em ton/dia e q_{Bi} , q_{sui} , q_{smi} , e q_{sLi} em ton/dia.ft.

3.3.2 MÉTODO DE EINSTEIN & ABDEL - AAL (1972)

Algumas das considerações assumidas por EINSTEIN (1950), na elaboração do seu método foram:

- 1° a distribuição da velocidade e a equação de atrito num curso de água natural são idênticas às que se tem em águas claras;
- 2° o coeficiente de Von Karman, κ , é constante e tem um valor de 0,4;
- 3° a viscosidade da água não é afetada pela presença de sedimentos.

No entanto, medições realizadas no rio Missouri mostraram que a segunda hipótese não foi inteiramente satisfeita.

Baseados nestas evidências e após uma serie de experimentos EINSTEIN & ABDEL-AAL (1972), verificaram que, o coeficiente de Von Karman, κ , foi sistematicamente se reduzindo de 0,4, conforme a concentração perto do leito ultrapassava o valor do 10% em peso. O que provocava por sua vez mudanças na distribuição da velocidade, nas condições do atrito e na distribuição da carga em suspensão na vertical.

Para considerar as mudanças decorrentes da constante de Von Karman, EINSTEIN & ABDEL-AAL (1972), propuseram uma relação de κ em função do parâmetro adimensional $(w_{35} \cdot D_{65} / q^{1/2} \cdot S^{1/2} \cdot U^{1/2})$, como se mostra na figura (3.14)

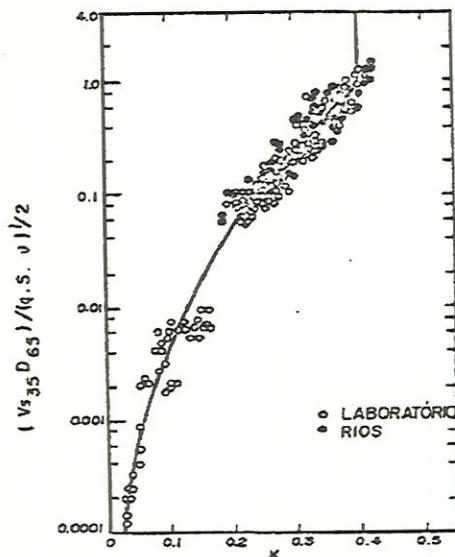


FIGURA - 3.14 - Coeficiente κ de Von Kármán, em função de $w_{35}.D_{65}/(q.S.U)^{0,5}$ (EINSTEIN & ABDEL, 1972).

onde:

w_{35} - Velocidade de queda das partículas de diâmetro D_{35}

D_{65} - Diâmetro de partículas, para o qual o 65% dos grãos é mais fino,

q - Vazão líquida por unidade de largura,

S - Declividade da linha de energia em m/m,

U - Velocidade média do fluxo em m/seg.

No desenvolvimento do trabalho, os pesquisadores usaram um canal de prova recirculante de 60 pés de comprimento, 1 pé de largura e 18 polegadas de profundidade, provido de dispositivos padrão, para às medições dos parâmetros do fluxo. Nos ensaios usaram-se areias de 1mm de diâmetro médio e misturas de areia com diâmetros D_{35} , D_{50} e D_{65} de 0,095, 0,105 e 0,120 mm respectivamente. EINSTEIN & ABDEL (1972), também observaram que, κ , não só é uma função das características dos sedimentos e da concentração, se não também das condições do fluxo.

As equações propostas por EINSTEIN & ABDEL-AAL (1972), são as seguintes:

- para carga de sedimentos em suspensão:

$$i_{ss} \cdot q_{ss} = \frac{0,4}{\kappa} i_b \cdot q_b (P_E \cdot I_1 + I_2) \quad (3.59)$$

- para descarga de sedimentos totais:

$$i_{st} q_{st} = i_b \cdot q_b \left[1 + \frac{0,4}{\kappa} (P_E \cdot I_1 + I_2) \right] \quad (3.60)$$

onde:

i_{ss} - fração da carga em suspensão, de diâmetro D ;

i_b - fração da carga de fundo, de diâmetro D ;

i_{st} - fração da carga total, de diâmetro D ;

q_{ss} - taxa de transporte em suspensão em peso por unidade de largura e tempo;

q_b - taxa de transporte de fundo em peso por unidade de largura e tempo;

q_{st} - taxa de transporte de sedimentos totais em peso por unidade de largura e tempo;

I_1 e I_2 - integrais dadas nas figuras 3.6a e 3.6b em função de E e Z ;

κ - Constante de Von Karman;

$P_E = 2,303 \cdot \text{Log} (30,2 \cdot d/\Delta)$;

d - profundidade média do escoamento;

Δ - obtido da Fig. 3.4, em função do diâmetro característico da mistura X .

Segundo os próprios autores, o método pode ter aplicabilidade e fornecer resultados satisfatórios, nos casos de cursos de água com altas concentrações de sedimento perto do leito, e características de material de fundo quase uniforme.

3.3.3 MÉTODO DE VAN RIJN (1984a)

VAN RIJN (1984a), desenvolveu um modelo para o cálculo do transporte de sedimentos de fundo, partindo da análise individual e das características do movimento das partículas.

VAN RIJN (1984a) adotou o enfoque de BAGNOLD (1966), ao considerar que:

- o movimento das partículas de fundo é governado pelas forças da gravidade e,
- o efeito da turbulência é de menor importância;
- o modo de transporte sólidos por saltitação é o modo predominante de movimento; quando a velocidade de corte é ainda menor que a velocidade de queda;
- o modo de transporte por saltitação ocorre, perto do leito, dentro de uma camada de espessura 10 vezes o diâmetro dos grãos como máximo.

As características do movimento das partículas (altura do salto, alcance e velocidade) no modelo de VAN RIJN (1984a), foram determinadas, resolvendo por métodos numéricos as equações do movimento estabelecidas para diversas condições (velocidades de corte e tamanhos de partículas).

VAN RIJN (1984a), introduziu no seu modelo, dois parâmetros adimensionais: o parâmetro da partícula D^* e o parâmetro de transporte T . O parâmetro adimensional D^* associado ao número de Reynolds dos grãos, e o parâmetro T que expressa o estado do movimento em termos da condição crítica e a velocidade de corte real.

No modelo proposto por VAN RIJN (1984a) considera-se que:

- a taxa de transporte de sedimentos de fundo depende, da velocidade, da altura do salto e da concentração;
- a concentração e a taxa de transporte de sedimentos podem ser descritos com suficiente precisão pelos parâmetros adimensionais D_* e T .

O modelo de VAN RIJN (1984 a) está baseado nos trabalhos de Fernandez Luque (1976) e Francis (1973), sobre as características do movimento de saltitação das partículas.

Experimentos com partículas selecionadas de areia grossa- transportadas como carga de fundo - foram realizadas para calibrar o modelo matemático, onde o coeficiente de elevação foi usado como parâmetro independente. Logo, na fase de verificação do modelo, o autor fez uso de 580 dados de laboratório e de campo, verificando que, um 77% das cargas transportadas calculadas, estiveram compreendidas dentro da faixa de 0,5 a 2,0 vezes os valores medidos.

No mesmo ano, VAN RIJN (1984b), apresentou um método para o cálculo da carga em suspensão a partir da integração, ao longo da profundidade, do produto da concentração local de referência e a velocidade do fluxo.

VAN RIJN (1984b) deduziu perfis de concentração, em função da altura relativa. Também novas relações foram propostas para representar a gradação do tamanho do material. E na análise de verificação usaram-se quase 800 registros de medições em campo. Dos quais, aproximadamente 76% dos valores preditos estiveram compreendidos entre 0,5 e 2 vezes os valores medidos.

As equações de VAN RIJN (1984 a), fornecem uma estimativa confiável do transporte de fundo, tratando-se de vazões sólidas com partículas de diâmetros compreendidos entre 0,2 e 2 mm .

O equacionamento do método de VAN RIJN (1984a) para transporte de sedimentos de fundo é o seguinte:

$$D_* = D_{50} \cdot \left[\frac{(s-1) \cdot g}{\nu^2} \right]^{1/3} \quad (3.61)$$

$$T = \frac{(U'_*)^2 - (U_{*cr})^2}{(U_{*cr})^2} \quad (3.62)$$

onde:

D_{50} - diâmetro das partículas do material do fundo, para o qual o 50% dos grãos é mais fino,

s - densidade do sedimento ρ_s / ρ ,

ν - viscosidade cinemática,

U - velocidade média do escoamento,

U_{*cr} - velocidade de atrito crítica, dada pelo diagrama de Shields (1936), figura (3.15),

U'_* - velocidade de atrito relativa aos grãos, dada pela equação:

$$U'_* = \left[\frac{g^{0,5}}{c'} \right] \cdot U \quad (3.63)$$

onde:

$$c' = 18 \cdot \text{Log} \left(\frac{12 \cdot R_b}{3 \cdot D_{90}} \right) \quad (3.64)$$

sendo:

R_b - raio hidráulico relativo aos grãos, com correção das paredes laterais, calculado pelo procedimento de Vanoni & Brooks (1957), tal como aparece descrito no manual do TASK COMMITTEE OF SEDIMENTATION (1971).

A velocidade de atrito relativa aos grãos U_*' , tem valor máximo igual a U_* , (velocidade de atrito de fundo).

A descarga de fundo, expressa em $m^3 / s.m$, para partículas na faixa de 200 a 2000 μm , é calculada pela equação:

$$\frac{q_b}{[(s-1) \cdot g]^{0,5} \cdot D_{50}^{1,5}} = 0,053 \cdot \frac{T^{2,1}}{D_*^{0,3}} \quad (3.65)$$

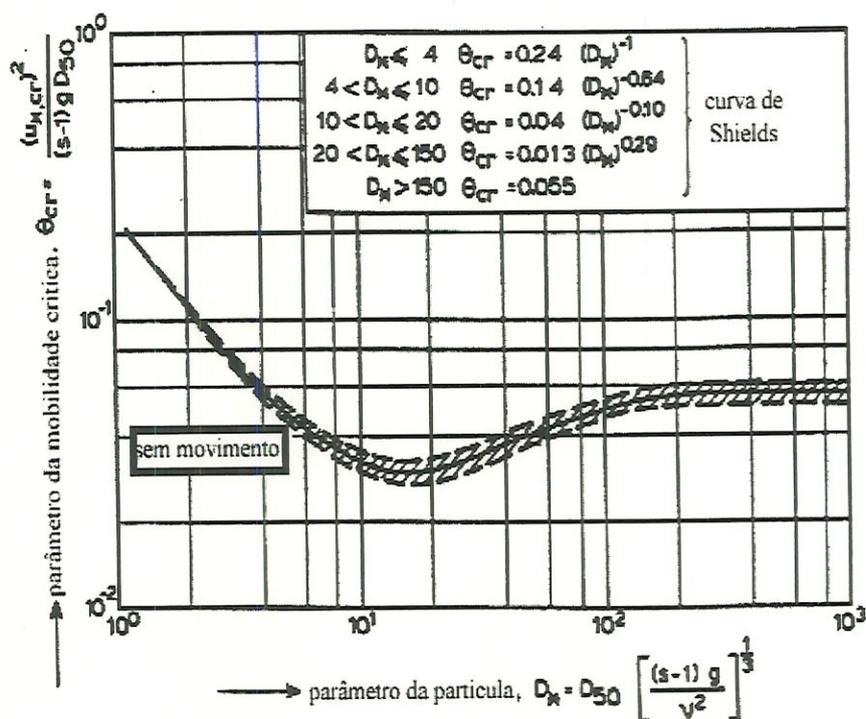


FIGURA 3.15.- . Curva do início do movimento, (Shields, 1936)

A descarga de sedimentos em suspensão, em volume, por unidade de largura, com uma precisão em torno de 25%, para $Z' < 3$ e $0,01 < a/d < 0,1$, é calculada pela equação:

$$q_{ss} = F \cdot U \cdot d \cdot C_a \quad (3.66)$$

sendo:

$$F = \frac{\left[\frac{a}{d}\right]^{Z'} - \left[\frac{a}{d}\right]^{1,2}}{\left[1 - \frac{a}{d}\right]^{Z'} \cdot [1,2 - Z']} \quad (3.67)$$

onde:

d - profundidade média do escoamento;

C_a - concentração de referência;

a - nível de referência, abaixo do qual o transporte é considerado de fundo;

Z' - parâmetro de suspensão;

O nível de referência a é considerado igual a metade da altura da forma de fundo (Δ), ou a altura da rugosidade equivalente (K_s) se as dimensões das formas de fundo não são conhecidas, enquanto um valor mínimo de $a = 0,01d$ é adotado por razões de precisão. Assim:

$$a = 0,5 \cdot \Delta \quad \text{ou} \quad a = K_s$$

sendo:

K_s - altura da rugosidade equivalente de Nikuradse;

Δ - altura das formas de fundo.

A concentração de referência C_a , é calculada pela equação

$$C_a = 0,015 \cdot \frac{D_{50}}{a} \cdot \frac{T^{1,5}}{D_*^{0,3}} \quad (3.68)$$

O parâmetro de suspensão Z' , é calculado pelo procedimento seguinte:

a) calcula-se o diâmetro das partículas em suspensão D_s , pela equação:

$$\frac{D_s}{D_{50}} = 1 + 0,011 \cdot (\sigma_s - 1) \cdot (T - 25) \quad (3.69)$$

onde:

$$\sigma_s = 0,5 \cdot \left[\frac{D_{84}}{D_{50}} + \frac{D_{16}}{D_{50}} \right] \quad (3.70)$$

b) calcula-se a velocidade de queda do sedimento em suspensão pelas equações:

- Para partículas com diâmetro menor que 100 μm , usa-se a equação de Stokes:

$$w = \frac{1}{18} \cdot \frac{(s - 1) \cdot g \cdot D_s^2}{\nu} \quad (3.71)$$

- Para partículas na faixa de 100 a 1000 μm , usa-se a equação de Zanke (1977):

$$w = 10 \cdot \frac{\nu}{D_s} \left\{ \left[1 + \frac{0,01 (s - 1) \cdot g \cdot D_s^3}{\nu^2} \right]^{0,5} - 1 \right\} \quad (3.72)$$

- Para partículas maiores que 1000 μm , usa-se a equação proposta por VAN RIJN (1982):

$$w = 1,1 \cdot \left[(s - 1) \cdot g \cdot D_s \right]^{0,5} \quad (3.73)$$

c) calcula-se o fator β , pela equação:

$$\beta = 1 + 2 \cdot \left[\frac{w}{U_*} \right]^{0,8} \cdot \left[\frac{C_a}{C_o} \right]^{0,4} \quad \text{para } 0,1 < \frac{w}{u_*} < 1 \quad (3.74)$$

sendo:

$$U_* = [g \cdot d \cdot S]^{0,5}, \text{ a velocidade de atrito no fundo;}$$

d) calcula-se o fator φ , pela equação:

$$\varphi = 2,5 \cdot \left[\frac{w}{U_*} \right]^{0,8} \cdot \left[\frac{C_a}{C_o} \right]^{0,4} \quad \text{para } 0,01 < \frac{w}{u_*} < 1 \quad (3.75)$$

onde:

$C_o = 0,65$, é a máxima concentração no fundo;

e) calcula-se o parâmetro de suspensão, Z , pela equação:

$$Z = \frac{w}{\beta \cdot \kappa \cdot U_*} \quad (3.76)$$

sendo:

β - coeficiente relacionado à difusão das partículas de sedimento, calculado pela equação (3.74),

κ - constante de von Kármán.

O parâmetro Z' é então calculado usando a equação:

$$Z' = Z + \varphi \quad (3.77)$$

A descarga total de sedimentos calcula-se pela equação:

$$q_{st} = q_b + q_{ss} \quad (3.78)$$

Posteriormente VAN RIJN (1984c), com base nos métodos anteriores(1984 a, b) em combinação com o método por ele proposto, para a previsão da rugosidade hidráulica e, usando análise de regressão e resultados computacionais para varias condições de escoamento e sedimentos ($d = 1$) a 20 m, $U = 0,5$ a 2,5 m/seg e $D_{50} = 100$ a 200 μm , $\sigma_s = 2,0$, $T = 15$ °C), propôs as seguintes equações, simplificadas, para o cálculo do transporte de sedimentos:

$$\frac{q_b}{U \cdot d} = 0,005 \cdot \left\{ \frac{U - U_{cr}}{[(s - 1) \cdot g \cdot D_{50}]^{0,5}} \right\}^{2,4} \left(\frac{D_{50}}{d} \right)^{1,2} \quad (3.79)$$

$$\frac{q_b}{U \cdot d} = 0,012 \cdot \left\{ \frac{U - U_{cr}}{[(s - 1) \cdot g \cdot D_{50}]^{0,5}} \right\}^{2,4} \left(\frac{D_{50}}{d} \right) \cdot (D_*)^{-0,6} \quad (3.80)$$

3.3.4 MÉTODO DE LAURSEN (1958)

LAURSEN (1958), propôs uma fórmula para o cálculo da concentração média total de sedimentos, baseado em uma relação funcional entre a condição de fluxo e a descarga de sedimentos resultante. A fórmula, expressa de uma maneira dimensionalmente homogênea e a seguinte:

$$\bar{C} = 0,01 \gamma \sum_i p_i \left(\frac{D_i}{d} \right)^{7/6} \left(\frac{\tau'_0}{\tau_{ci}} - 1 \right) \cdot f \left(\frac{U_*}{w_i} \right) \quad (3.81)$$

onde:

\bar{C} é a concentração média total de sedimentos em peso por unidade de volume;

τ'_0 é o esforço de corte de Laursen, devido à resistência dos grãos

$$\tau'_0 = \frac{\rho U^2}{58} \left(\frac{D_{50}}{d} \right)^{1/3} \quad (U/f^2) \quad (3.82)$$

U_* é a velocidade de corte, $U_* = \sqrt{g \cdot d \cdot S}$

w_i é a velocidade de queda das partículas de diâmetro D_i ;

τ_{ci} é o esforço de corte crítico para sedimentos de diâmetro D_i .

Na equação LAURSEN (1958), o parâmetro U_*/w_i está relacionado à carga em suspensão e, pode ser interpretado como a efetividade da ação de mistura da turbulência. O parâmetro $(\tau'_0/\tau_{ci} - 1)$ expressa, a condição limite para o início do movimento das partículas e, está associado ao transporte de sedimentos de fundo. A relação funcional $f(U_*/w_i)$ pode ser obtida de um gráfico (fig.3.16) baseado em dados

de laboratório. E finalmente a concentração \bar{C} é obtida pela soma das contribuições de cada fração p_i dos grãos de tamanho D_i .

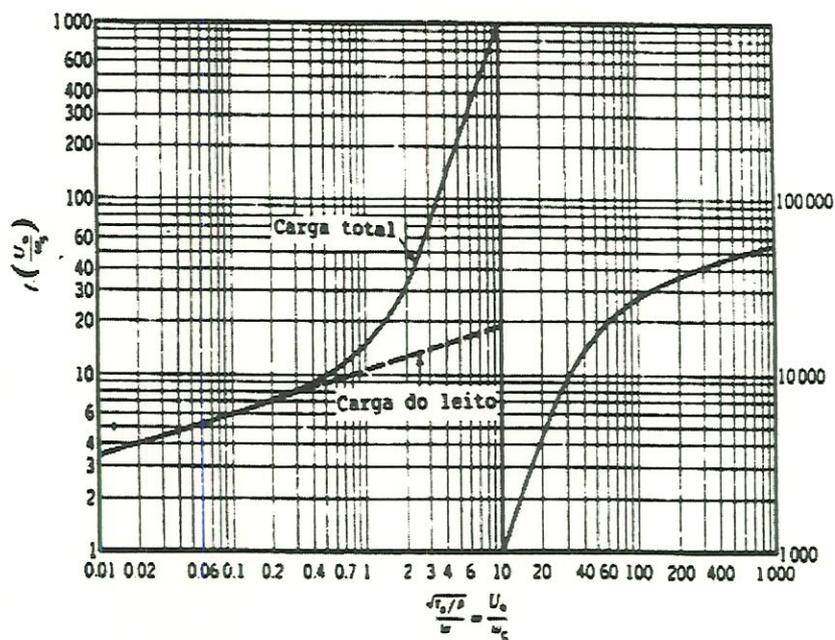


Fig. 3.16. Função $f(U/w)$ para o método de Laursen (Laursen, 1958)

Os ensaios foram realizados em calhas de prova de 10,5 polegadas a 3 pés de largura, e comprimentos desde 40 até 90 pés. Todos os sedimentos usados foram de gravidade específica próxima a 2,65 e diâmetros compreendidos entre 0,011 e 4,08 mm, com distribuições de grãos uniformes e bem graduados.

Os resultados estimados pela relação de LAURSEN (1958) apresentaram concordâncias razoáveis, comparados com dados de campo de rios pequenos. Também encontrou-se resultados coerentes em comparações com as observações no rio Niobrara, mas não foi o mesmo ao analisar registros do rio Missouri.

Segundo GRAF (1971) a relação empírica estabelecida por LAURSEN (1958) obedece a “razões mais intuitivas que racionais” e, embora a forma seja útil, merece uma revisão.

Investigações posteriores realizadas por Bogardi (1958,1965) e Garde et al. (1958) conduziram a relações similares. Assim Bogardi propõe:

$$\frac{\bar{C}}{\left(\frac{d}{R_h}\right)^{7/6} \left[\frac{\tau}{(\tau_0)_{cr}} - 1\right]} = fct\left(\frac{g \cdot d}{U_*^2}, d\right) \quad (3.83)$$

onde o parâmetro $g \cdot d / U_*^2$ oferece informação sobre transporte de sedimentos e ocorrência de formas de fundo.

A modificação de Garde et al. (1958), é a seguinte:

$$\frac{U_* \cdot D}{\nu} \frac{1}{\sqrt[3]{\bar{C}}} = \left[\frac{D}{d} \frac{1}{fct(d)}\right]^{3/2} \quad (3.84)$$

3.3.5 MÉTODO DE ACKERS & WHITE (1973)

ACKERS & WHITE (1973), após quase 1000 experimentos de laboratório, propuseram um método para o cálculo do transporte de sedimentos totais, desenvolvido em termos de três grupos adimensionais: D_{gr} (Diâmetro adimensional dos grãos), F_{gr} (Número da mobilidade) e G_{gr} (função geral de transporte).

O valor de D_{gr} está associado ao coeficiente de arrasto e, ao número de Reynolds dos grãos. Fisicamente expressa a influência do tamanho dos grãos e da viscosidade no transporte de sedimentos. O parâmetro D_{gr} foi introduzido por ACKERS & WHITE (1973), para estabelecer limites entre os grãos de transição e os finos.

ACKERS & WHITE (1973) consideram que, os sedimentos grossos são transportados principalmente como carga do leito e, somente uma parte do esforço de corte no leito do canal provoca o movimento dos grãos. Contudo os sedimentos finos são geralmente transportados em suspensão devido ao esforço de corte total que provoca o movimento.

Estas duas observações são refletidas através do Número de mobilidade (F_{gr}), no qual também foi introduzido um coeficiente n que é função de D_{gr} . Tal que, quando trata-se de grãos grossos ($n = 0$) e, F_{gr} depende só da velocidade média e independe da velocidade de corte. Pelo contrario, quando ($n = 1$), trata-se de grãos finos e o valor de F_{gr} depende somente da velocidade de corte.

A função geral de transporte G_{gr} , está baseada no conceito de potência do escoamento. Que no caso dos sedimentos grossos está definida pelo produto do corte efetivo e a velocidade de escoamento, que dizer, como uma potência por unidade de área do leito. No caso dos sedimentos finos é definida somente pela potência do escoamento. O trabalho útil nos dois casos citados, considera também os dois modos de transporte de sedimentos. A função geral de transporte, é expressa pela relação,

$$G_{gr} = \frac{X \cdot d}{s D} \left(\frac{U_*}{U} \right)^n \quad (3.85)$$

onde X é a concentração da descarga sólida expressa como fluxo de sedimento por unidade de peso de fluxo fluido.

De outra parte, a função geral de transporte F_{gr} pode ser expressa através do conceito de eficiência o qual depende da função de mobilidade e de um coeficiente A interpretado como, o valor crítico de F_{gr} .

$$G_{gr} = C \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1 \right)^m \quad (3.86)$$

Os coeficientes C , A , m e n são função de D_{gr} e foram determinados a partir do ajuste das melhores curvas de quase 1000 ensaios de laboratório, realizados com grãos de tamanhos maiores que 0,04 mm, e números de Froude menores que 0,8.

Relacionando as equações (3.85) e (3.86), pode-se encontrar o valor da concentração de sedimentos.

Para a aplicação do método de ACKERS & WHITE (1973), os seguintes dados de entrada são necessários:

1. diâmetro da partícula: D_{35} ,
2. massa específica do sedimento: ρ_s ,
3. velocidade média do escoamento: U ,
4. profundidade média do escoamento: d ,
5. declividade da linha de energia: S ,
6. velocidade de atrito U_* baseada em medições da distribuição de velocidade ou da relação profundidade velocidade:

$$U_* = [g \cdot d \cdot S]^{0,5}$$

7. Viscosidade cinemática do fluido: ν
8. Aceleração da gravidade: g

O procedimento de cálculo e o equacionamento é o seguinte:

1. determina-se o valor de D_{gr} dos valores conhecidos de D , g , s , e ν pela equação:

$$D_{gr} = D_{35} \left[\frac{g \cdot (s - 1)}{\nu^2} \right]^{1/3} \quad (3.87)$$

sendo:

$$s = \frac{\rho_s}{\rho}$$

2. determina-se os valores de n , A , m e C associados com D_{gr} pelas equações:

para $1,0 < D_{gr} < 60$

$$n = 1,00 - 0,56 \cdot \text{Log } D_{gr}$$

$$A = \frac{0,23}{(D_{gr})^{0,5}} + 0,14 \quad (3.88)$$

para $D_{gr} > 60$

$$n = 0.00$$

$$A = 0.17$$

para $1,0 < D_{gr} < 60$

$$m = \frac{9,66}{D_{gr}} + 1,34 \quad (3.89)$$

$$\text{Log } C = 2,86 \cdot \text{Log } D_{gr} - (\text{Log } D_{gr})^2 - 3,53 \quad (3.90)$$

para $D_{gr} > 60$

$$m = 1,5$$

$$C = 0,025$$

para $D_{gr} < 1$, o método não se aplica,

3. calcula-se o valor da mobilidade da partícula F_{gr} , pela equação :

$$F_{gr} = \frac{U_*^n}{[g \cdot D(s-1)]^{0,5}} \cdot \left[\frac{U}{5,657 \cdot \text{Log} \left(\frac{\alpha \cdot d}{D_{35}} \right)} \right]^{1-n} \quad (3.91)$$

4. calcula-se G_{gr} pela equação:

$$G_{gr} = C \cdot \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1 \right)^m \quad (3.92)$$

5. calcula-se o fluxo de sedimentos X (por peso de fluxo de fluido), pela equação:

$$X = \frac{G_{gr} \cdot s \cdot D}{d} \cdot \frac{1}{\left(\frac{U_*}{U} \right)^n} \quad (3.93)$$

Segundo CARVALHO (1994), a fórmula de ACKERS & WHITE (1973), é apropriada para determinar descargas sólidas em rios com leitos de areia e escoamento subcrítico.

3.3.6 MÉTODO DE YANG (1973)

YANG (1973, e 1979), apresentou duas equações para cálculo da concentração da descarga do material do leito em rios, baseado no estudo do movimento incipiente e no conceito de potência unitária do escoamento.

No método de YANG (1973), entende-se por potência unitária do escoamento o valor da energia potencial dissipada por unidade de peso de água, sendo expressa pelo produto da velocidade da corrente pela declividade.

As formas básicas das equações de YANG (1973), teoricamente derivam da teoria da turbulência e da análise dimensional. E os coeficientes foram determinados por regressão múltipla a partir da análise de dados de laboratório, parâmetros de escoamento e de sedimentos associados com descarga de material do leito,

consistindo em areias na faixa granulométrica de 0,015 e 1,71 mm (CARVALHO,1994).

A aplicabilidade das equações de YANG (1973 e 1979) a rios naturais, nos Estados Unidos e na Europa, foi independentemente testada e verificada pela ASCE Task Committee (1982), The German Association for Water Resources and Land Improvent (1990), The U. S. Department of Agriculture National Sedimentation Laboratory (ALONSO, 1980) e a University of the German Federal Army (VETTER, 1989), entre outros. (YANG et al ,1996).

A primeira equação de YANG (1973), é a seguinte:

$$\begin{aligned} \text{Log } C_t = & 5,435 - 0,286 \text{Log} \frac{w.d}{\nu} - 0,457 \text{Log} \frac{U_*}{w} + (1,799 - 0,409 \text{Log} \frac{w.d}{\nu} \\ & - 0,314 \text{Log} \frac{U_*}{w}) \text{Log} \left(\frac{U.S}{w} - \frac{U_{cr}.S}{w} \right) \end{aligned} \quad (3.94)$$

onde:

C_t é a concentração média total de sedimentos em ppm por peso,

w é a velocidade média de queda em *ft/seg*, de partículas de diâmetro D_{50} ,

d é o diâmetro médio das partículas D_{50} ,

ν é a viscosidade cinemática da água,

U_* é a velocidade de corte,

U é a velocidade média do fluxo,

U_{cr} é a velocidade média crítica do fluxo,

S é a declividade da superfície ou da linha de energia,

$U.S$ é a potência unitária do escoamento.

A velocidade crítica adimensional do movimento insipiente pode ser calculada pela equação:

$$\frac{U_{cr}}{w} = \frac{2,5}{\text{Log}\left(\frac{U_* d}{\nu}\right) - 0,06} + 0,66 \quad , \quad 0 \leq \frac{U_* d}{\nu} \leq 70 \quad (3.95)$$

$$\frac{U_{cr}}{w} = 2,05 \quad , \quad 70 \leq \frac{U_* d}{\nu}$$

YANG (1973), propôs outra fórmula, para o caso no qual a potência unitária crítica adimensional ($U_{cr} S/w$) é relativamente pequena comparada com o valor predominante da potência unitária. A equação de YANG (1973), neste caso é a seguinte:

$$\begin{aligned} \text{Log } C_i = & 5,165 - 0,153 \text{Log} \frac{w \cdot d}{\nu} - 0,297 \text{Log} \frac{U_*}{w} \\ & + \left(1,780 - 0,360 \text{Log} \frac{w \cdot d}{\nu} - 0,480 \text{Log} \frac{U_*}{w} \right) \text{Log} \frac{U \cdot S}{w} \end{aligned} \quad (3.96)$$

3.4 ESTUDOS SOBRE A APLICABILIDADE DOS PRINCIPAIS MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Pelo número já considerável de fórmulas e modelos para o cálculo de transporte de sedimentos em rios, disponíveis na literatura técnica, e pelas limitações da aplicabilidade em condições de campo de cada uma destas fórmulas, é importante realizar estudos comparativos e estabelecer diretrizes para a seleção e o uso adequado de modelos.

A aplicabilidade de uma determinada fórmula geralmente depende, da similaridade que possa existir entre as características do problema atual e as condições dentro das quais o modelo foi criado e testado (características hidráulicas e características do material transportado). De outra parte a validade atribuída a uma determinada fórmula só pode estar garantida através da comparação entre os resultados de medições diretas e os resultados fornecidos pela fórmula testada.

O estudo comparativo é uma análise estatística na qual relacionam-se valores calculados pela aplicação de fórmulas ou modelos e valores obtidos no campo mediante medições diretas. Os resultados obtidos desta comparação, são processados e classificados dentro de uma faixa ou classe de erros e expressos de modo percentual com respeito ao total de dados testados.

As medições diretas (medições em campo) adotadas como valores de referência numa análise comparativa, devem corresponder a registros que não foram usados na determinação dos coeficientes das fórmulas. Nestas condições, uma vez estabelecidas as comparações, a concordância entre valores medidos e calculados, vai depender, de uma parte, das vantagens da fórmula, e de outra, do cuidado tomado nas medições diretas.

No entanto, os resultados obtidos de uma análise comparativa devem ser interpretados com cautela, uma vez que, uma boa concordância, nem sempre expressa a vantagem de uma fórmula com respeito a outras, mas pode apenas servir de referência na seleção do modelo mais adequado.

Sobre a aplicabilidade das fórmulas, O TASK COMMITTEE (1982) recomenda que, é necessária uma análise sistemática das condições requeridas para cada fórmula e da faixa de condições onde cada fórmula é aplicável, e pode ser ainda de maior importância uma listagem das condições sob as quais uma fórmula não deve ser aplicada, seja porque essas condições violam as considerações estabelecidas para a fórmula ou porque se conhece, que a fórmula produz estimativas irreais sob dada condição.

Sobre a diversidade de métodos e modelos para o cálculo do transporte de sedimentos SIMONS & SENTÜRK(1977) opinam, que cada método de cálculo de transporte de sedimentos foi desenvolvido em condições especiais, utilizando diferentes equações para condições similares, resultando taxas de transporte que podem ser diferentes por muitas ordens de grandeza. Por isto, no uso das equações de transporte de sedimentos para um problema particular, deve-se tomar extremo cuidado, para selecionar as equações, procurando sempre utilizar aquelas fórmulas que foram desenvolvidas sob condições similares ao problema tratado.

Segundo CHANG (1988) além das bases teóricas, o transporte de sedimentos é complicado pelas enormes incertezas, que geralmente não são consideradas nas fórmulas, tais como os fenômenos hidrológicos erráticos, heterogeneidade geológica e limitações. Portanto é muito difícil, quando não impossível recomendar uma equação de aplicação universal. Contudo, mais importante para o usuário, é conhecer os fundamentos teóricos e empíricos sob os quais cada equação foi desenvolvida. E compreender claramente as hipóteses básicas e limitações físicas, sendo recomendável um teste de calibração das possíveis equações a serem usadas, com os dados de campo.

Investigações sobre a aplicabilidade das fórmulas de transporte de sedimentos até hoje conhecidas encontram-se espalhadas em diversos trabalhos e revistas publicadas.

Stall et al. (1958), citado por SIMONS & SENTÜRK (1992), fez uma comparação de registros de campo coletados no rio Money Creek com resultados calculados pelos métodos de Einstein (1950), Du Boys (1879) e Schoklitsch (1935). As comparações realizadas por Stall et al. (1958) mostraram que a fórmula de

Schoklitsch (1935), apresenta a melhor concordância com as medições diretas (ficando dentro do 30%), contudo os dois outros métodos apresentaram valores muito distantes dos observados (Aproximadamente 200% para o método de Du Boys, e 750% para o método de Einstein (1950).

O TASK COMMITE (1971), citado por SIMONS & SENTÜRK (1992), utilizou dados de campo dos rios Colorado e Niobrara, coletados por Vanoni et al. (1960), para avaliar 13 equações de transporte de sedimentos. As equações testadas foram: Blench (1966), Colby (1964), Du Boys (1879), Einstein (1950), Laursen (1958), Toffaleti (1948), Schoklitsch (1935), Shields (1936) e Toffaleti (1969). Na pesquisa conduzida pelo TASK COMMITE (1971), a descarga total de sedimentos para o rio Colorado foi obtida a partir de amostras de sedimentos em suspensão aplicando o método modificado de Einstein (1955) e a descarga de sedimentos para o rio Colorado foi medida diretamente. Entre as fórmulas analisadas as que mostraram melhor concordância com a descarga de sedimentos observada, foram as equações de Colby (1964), Toffaleti (1969) e Engelund & Hansen (1967).

ALONSO (1980), citado pelo TASK COMMITE (1982), selecionou 5 fórmulas de cálculo de sedimentos totais para serem testadas, estas fórmulas foram: Ackers & White (1973), Engelund & Hansen (1967), Laursen (1958), Yang (1973) e a fórmula de Meyer-Peter & Müller (1948) combinada com o método de Einstein modificado (1955). Além destas foram selecionadas 3 fórmulas: Bagnold (1956), Meyer-Peter & Müller (1948) e Yalin (1963), para análise da descarga de sedimentos de fundo.

Baseado nas relações de discrepância de 205 testes individuais (40 de campo e 105 de laboratório), ALONSO (1980), concluiu que a equação de Yang (1973) é a mais confiável e aplicável dentro de uma variada faixa de condições de fluxo e tamanhos de sedimentos (areias finas a grossas). As fórmulas de Ackers & White (1973), Engelund & Hansen (1967) e Laursen (1958) foram também consideradas confiáveis, embora produziram maiores erros de estimativa.

Brownlie (1981) citado por STEVENS & YANG (1981), fez comparações detalhadas, entre vazões sólidas medidas e calculadas, para testar sete fórmulas de estimativa indireta, baseado em dados de quase 1000 experimentos de laboratório e

campo. As fórmulas testadas foram: Ackers & White (1973), Einstein (1950), Engelund & Hansen (1967), Laursen (1958), Rottner (1959), Toffaleti (1969) e Yang (1973). As areias usadas nos ensaios foram de tamanhos compreendidos entre 0.086 e 1.44 mm. Como resultado desta análise comparativa, Brownlie (1981) concluiu que: as fórmulas de Ackers & White (1973) e Engelund & Hansen (1967) foram as que mostraram a melhor concordância com as medições de campo, para uma combinação de experimentos de laboratório e observações de campo.

YANG et al. (1982), desenvolveram um estudo comparativo de 7 equações para estimar a carga total de sedimentos. As equações testadas neste estudo foram: Colby (1964), Yang (1973), Yang (1979), Shen & Hung (1972), Engelund & Hansen (1967), Ackers & White (1973) e Maddock (1967).

As medições de campo utilizadas por YANG et al. (1982), foram obtidas dos rios: Niobrara, Middle Loup, Mountain Creek, Rio Grande e Mississipi, que adicionadas às provas de laboratório, somaram um total de 1259 experimentos. Este conjunto de dados abarcou uma diversidade de condições de fluxo: diâmetros compreendidos entre 0,15 e 1,71 mm; larguras de canal entre 0,134 e 532 m; profundidades médias entre 0,01 e 15,2 m; temperaturas da água de 0 a 34,3 °C; velocidades médias de fluxo de 0,23 a 1,97 m/seg e declividades de 0,000043 a 0,0279.

YANG et al. (1982), chegaram às seguintes conclusões:

- as equações de Yang (1973), Engelund & Hansen (1967) e Ackers & White (1973), foram as mais precisas dentro da generalidade de condições analisadas;
- as equações baseadas no conceito de dissipação de energia foram mais precisas que as equações baseadas em outros princípios teóricos;
- os resultados calculados pelas equações de Shen & Hung (1972) e pela equação de Maddock (1967) apresentaram boa concordância com os resultados dos experimentos de laboratório e de alguns rios pequenos;
- o método de Colby (1964) não é recomendável para canais de laboratório.

NAKATO (1990), desenvolveu um estudo comparativo, selecionando 11 fórmulas: Ackers & White (1973); Brown (1950); Engelund (1976); Inglis (1968);

Karim & Kennedy (1981); Meyer-Peter & Müller (1948); Van Rijn (1984); Shields (1936); Toffaleti (1969) e Yang (1973). O autor, comparou os valores calculados com registros de medições diretas no rio Sacramento. Os registros de comparação adotados corresponderam a duas estações, nos períodos de 1977 a 1979.

Como resultado da sua pesquisa, NAKATO (1990), encontrou que:

- A predição da descarga de sedimentos em suspensão pela fórmula de Toffaleti (1969) foi a que melhor se aproximou aos valores medidos, seguida pelas fórmulas de Van Rijn (1984) e de Engelund & Fredsoe (1976);
- com relação às fórmulas de estimativa da descarga de sedimentos totais, embora não se tenha disposto de medições diretas, pode-se observar que as fórmulas de Ackers & White (1973), Engelund & Hansen (1967), Karim (1981), Toffaleti (1969) e Yang (1973), forneceram resultados bastante próximos entre si, contudo as fórmulas de Van Rijn (1984) e Inglis Lacey (1968), superestimaram os resultados. Com relação à carga de sedimentos de fundo, por falta de medições em campo, a comparação foi feita entre os mesmos valores calculados. Assim as fórmulas de Engelund & Fredsoe (1976) e Van Rijn (1984a) forneceram resultados razoáveis e próximos entre si, enquanto a fórmula de Einstein & Brown (1950) superestimou os resultados, e as equações de Schoklitsch (1914) e Meyer-Peter & Müller (1948) forneceram resultados muito baixos.

YANG et al. (1990), avaliaram e compararam os fundamentos teóricos de três equações de transporte de sedimentos baseadas no conceito de taxa de dissipação de energia, que foram as seguintes:

- a equação de Yang (1973), baseada no conceito de potência unitária do escoamento;
- a equação proposta por Bagnold (1966), baseada no conceito de potência do escoamento;
- a equação proposta por Velikanov (1954), baseada na teoria gravitacional.

Na análise comparativa citada no parágrafo anterior, YANG et al. (1990), usaram registros de laboratório e de campo. E chegaram às seguintes conclusões:

- das três equações examinadas, a equação de Yang (1973) foi a que forneceu os melhores resultados, logo o conceito de potência unitária do escoamento é o melhor parâmetro para a determinação da taxa de transporte ou da concentração de sedimentos;
- a equação proposta por Velikanov pode ser convertida à forma geral da equação adimensional da potência unitária do escoamento proposta por Yang (1973);
- devido às dificuldades na medição da declividade, alguns engenheiros substituem declividade por velocidade ou profundidade no estudo do transporte de sedimentos, assumindo que as equações de resistência originalmente desenvolvidas para canais com fronteiras hidraulicamente rígidas, podem ser usadas diretamente ou com algumas modificações na hidráulica fluvial. A imprecisão das equações de transporte devido a estas assunções conduz a erros maiores que os causados pela inexatidão na medição da declividade.

YANG & WAN (1991), usando programas de cálculo elaborados por STEVENS & YANG (1989), desenvolveram uma análise comparativa de 8 fórmulas: Laursen (1958), Engelund & Hansen (1967), Colby (1964), Ackers & White (D_{50}) (1973), Ackers & White (D_{35}) (1973), Yang (D_{50})(1973), Einstein (1950) e Toffaleti (1969). O estudo limitou-se ao transporte de sedimentos totais e foi desenvolvida para materiais compreendidos dentro da classe das areias. Nesta análise comparativa, foram usados dados de um total de 1438 experimentos (1119 de laboratório e 319 de campo).

YANG & WAN (1991) adotaram a concentração de sedimentos, o número de Froude, e a declividade como variáveis para definir as condições hidráulicas e dos sedimentos. Mas, o parâmetro básico de comparação adotado, foi a razão de discrepância, expressa, pela relação entre a concentração de sedimentos estimada, dividida pela concentração de sedimentos medida.

YANG & WAN (1991) observaram que, as fórmulas que forneceram resultados de maior precisão ao serem aplicadas em calhas de laboratório em ordem decrescente foram: Yang (D_{50}) (1973); Engelund & Hansen (1967); Ackers & White (D_{50}) (1973); Laursen (1958); Ackers & White (D_{35}) (1973); Einstein (1950) e Toffaleti (1969). Nesta conclusão anota-se também que as fórmulas propostas por

Colby (1964), Einstein (1950) e Toffaleti (1969) não são adequadas para calhas de laboratório ou para aplicar em rios muito pequenos.

Também, YANG & WAN (1991) encontraram que, as fórmulas de melhor precisão ao serem aplicadas em rios, em ordem decrescente foram: Yang (D_{50}) (1973); Toffaleti (1969); Einstein (1950); Ackers & White (D_{50}); Colby (1964); Laursen (1958); Engelund & Hansen (1967) e Ackers & White (D_{35}) (1973).

Como resultado desta pesquisa YANG & WAN (1991) também observaram que, os coeficientes de correção por encobrimento e elevação no modelo de Einstein (1950) superestimam o efeito da não uniformidade na distribuição dos grãos do leito. Finalmente os autores consideram que, uma boa precisão não garante que uma fórmula seja superior a outras, para todas as condições de fluxo e de sedimentos.

PAIVA (1988), utilizando 23 experimentos de campo no rio Mogi-Guaçu e 328 dados experimentais para canais do Paquistão obtidos pelo ACOP (Alluvial Channels Observation Project), desenvolveu um trabalho de "Avaliação dos modelos matemáticos de cálculo de transporte de sedimentos em rios", no qual foram testados os seguintes métodos: Meyer-Peter & Müller (1948); Einstein (1950); Einstein & Brown (1950); Einstein modificado por Colby & Hembree (1955); Colby (1957); Laursen (1958); Colby (1964); Shen & Hung (1971); Einstein & Abdel-Aal (1972); Yang (1973); Ackers & White (1973); Ranga Raju (1983) e Van Rijn (1984).

PAIVA (1988), chegou as seguintes conclusões:

- nenhum dos métodos de cálculo de descarga de fundo testados apresentou boa concordância com os dados medidos. Dos métodos testados, o método de Einstein modificado por Colby & Hembree (1955) e o método de Toffaleti (1969), apresentaram os melhores resultados;
- o método de Einstein (1950), mostrou-se inviável na estimativa de transporte de sedimentos em rios e grandes canais;
- dos métodos que incorporam dados medidos de concentração de sedimentos em suspensão. O método de Toffaleti (1969) apresentou os melhores resultados;

- dos métodos de estimativa indireta de descarga em suspensão, os melhores resultados foram fornecidos pelos métodos de Van Rijn simplificado (1984c) e Toffaleti (1969);
- dos métodos de estimativa indireta da descarga total de material de fundo, os melhores resultados foram apresentados pelos métodos de Ackers & White (1973) e Yang (1973).

PONCE (1990), realizou uma "Análise de Aplicabilidade e modificações de modelos de cálculo de transporte de sedimentos por arrasto de fundo em rios de médio porte". O trabalho de PONCE (1990) baseou-se em: 36 ensaios de campo no rio Mogi-Guaçú realizados pelo pesquisador, 21 ensaios realizados por PAIVA (1988) no mesmo local e mais de 111 dados de campo obtidos pelo DNAEE no posto Bairro Rio Comprido, no rio Paraíba do Sul. Estes dados foram usados para testar 10 modelos para o cálculo de transporte de sedimentos por arrasto de fundo. Os modelos testados foram: Meyer-Peter & Müller (1948), Einstein (1950), Einstein & Brown (1950), Einstein modificado por Colby & Hembree (1955), Yalin (1963), Bagnold (1966), Toffaleti (1969), Einstein & Abdel-Aal (1972), Van Rijn (1984a), Van Rijn simplificado (1984c).

Da análise da aplicação dos métodos de estimativa indireta do transporte de sedimento por arrasto de fundo aos dados do rio Mogi-Guaçú, observou-se que:

- 1º Nenhum dos métodos de cálculo apresentou bons resultados para todas as taxas de transporte;
- 2º quando dividida a taxa de transporte em três faixas, os resultados encontrados foram os seguintes:
 - para as taxas baixas nenhum dos métodos apresentou bons resultados, sendo que a maioria de eles superestimam o cálculo;
 - para taxas médias os modelos de Toffaleti (1969) e Yalin (1963), apresentaram bons resultados;
 - para taxas altas o método de Toffaleti (1969) apresentou bons resultados.

Da análise da aplicação dos métodos de estimativa indireta de transporte de sedimento por arrasto de fundo aos dados do rio Paraíba do Sul, observou-se que:

- para as taxas baixas o modelo de Toffaleti (1969) apresentou bons resultados,
- para as taxas médias o modelo de Yalin (1963), apresentou resultados aceitáveis;
- para as taxas altas o modelo de Bagnold (1966), apresentou bons resultados.

Baseados em estudos próprios e de outros autores, SIMONS & SENTÜRK (1992) elaboraram algumas recomendações para a seleção de equações, como uma referência para os engenheiros:

- 1º determinar o tipo de registro de campo disponível ou medido dentro das limitações de tempo, orçamento e mão de obra;
- 2º examinar todas as fórmulas e selecionar aquelas com valores medidos a partir de variáveis independentes determinadas no passo 1;
- 3º comparar a situação de campo e as limitações das fórmulas selecionadas no passo dois. Se, mais de uma fórmula pode ser usada, então, calcular a taxa de transporte de sedimentos mediante estas fórmulas, e comparar os resultados;
- 4º decidir qual das fórmulas pode concordar melhor com a carga de sedimentos medida e usar estas fórmulas para calcular a taxa de transporte de sedimentos, quando não se disponha de medições.
- 5º na ausência de medições da carga de sedimentos, por comparação, as seguintes fórmulas devem ser consideradas:
 - a . Usar a fórmula de Meyer-Peter & Müller (1948) quando o material do leito é maior que 5 mm.;
 - b . usar o procedimento de Einstein (1950) quando a carga de fundo é uma porção significativa da carga total;
 - c . usar a fórmula de Toffaleti (1969) para rios grandes com leitos de areia;
 - d . usar a fórmula de Colby (1964) para rios com profundidades menores que 10 pés;
 - e . usar a fórmula de Shen & Hung (1972) para calhas de laboratório e rios muito pequenos;

- f . usar a fórmula de Yang (1973) para areias, em calhas de laboratório e rios naturais com " wash load" (carga de lavagem) excluído;
 - g . usar as equações de Ackers & White (1973) ou de Engelund & Hansen (1972) para condições subcríticas de fluxo em regímenes tranquilos;
 - h . usar a fórmula de Laursen (1958) para calhas de laboratório e rios superficiais com areia fina e silte grossa;
 - i . um regime ou equação de regressão pode ser aplicado ao rio se as condições do fluxo e dos sedimentos são similares a aquelas de onde foi derivada a equação;
- 6° caso em que nenhuma das equações de transporte de sedimento existentes possa dar resultados satisfatórios, usar os dados coletados da estação fluvial e plotar a carga de sedimentos ou a concentração contra a vazão líquida, velocidade, declividade, profundidade, esforço de corte, potência, potência unitária do escoamento. A curva com menor dispersão sem desvio sistemático a partir de uma correlação um a um entre variáveis dependentes e independentes deve ser selecionada como a curva chave para a estação. As relações assim desenvolvidas são freqüentemente mais confiáveis.

3.5 MEDIÇÃO DIRETA DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

3.5.1 GENERALIDADES

As medições da descarga de sedimentos em condições de campo são normalmente realizadas em separado para cada um dos modos de transporte. Assim tem-se instrumentos desenvolvidos para sedimentos em suspensão e instrumentos para medições de sedimentos por arrasto de fundo.

A precisão da determinação da descarga de sedimentos depende, não só dos métodos de campo e dos equipamentos utilizados na coleta de dados, mas também do conhecimento da distribuição dos sedimentos no fluxo. Particularmente importante é o conhecimento da distribuição vertical e horizontal dos sedimentos na seção transversal em estudo do rio, junto com a informação do tamanho do material do leito e da forma do fundo (TASK COMMITTEE, 1975).

GAWEESH (1994) considera que a precisão na medição do transporte de sedimentos, mediante o uso de amostradores mecânicos, depende da eficiência do amostrador (erro instrumental), do local de amostragem com relação as formas de fundo (variabilidade espacial) e, da turbulência perto do fundo (variabilidade temporal).

Segundo SIMONS & SENTÜRK (1992) vários instrumentos foram desenvolvidos para medir a descarga de sedimentos. Entre eles, só poucos tem aceitação universal, por tanto ao usar esses instrumentos é preciso tomar cuidado e, ter presente a faixa de condições hidráulicas e das características dos sedimentos de acordo com as especificações dos fabricantes.

Segundo CARVALHO (1994) os aparelhos de medição são operados manualmente ou com guinchos, de acordo com o seu peso, com a velocidade da corrente e a profundidade do curso da água. A operação pode ser simples, como a medição a vau, exigir uma canoa, ou mesmo ser necessário um barco de médio porte, de acordo com o tamanho e peso do equipamento e as condições de trabalho.

Nas primeiras investigações realizadas sobre sedimentos fluviais, cada pesquisador ou, pelo menos, cada agência desenvolvia métodos e equipamentos, de acordo com suas próprias necessidades. Logo tornou-se evidente, que resultados comparáveis não seriam fáceis de serem obtidos se, os equipamentos, dados coletados e os métodos de análise fossem diferentes. Para superar esta dificuldade, nos Estados Unidos foi criada uma comissão nacional, integrada por todas as entidades do País vinculadas a problemas de recursos hídricos e sedimentologia, denominada "Inter Agency Committee on Water Resources". O subcomitê em Sedimentação foi organizado para estudar métodos e equipamentos, para medições de descarga sólida em cursos de água e, para desenvolver e padronizar equipamentos.

3.5.2 EQUIPAMENTOS E MEDIÇÃO DA VAZÃO SÓLIDA POR ARRASTE DE FUNDO

A medição direta da vazão sólida por arraste de fundo na forma convencional, é feita colocando, no leito do rio, um instrumento de acumulação de material, em posições previamente estabelecidas, da seção transversal em estudo, durante um tempo determinado. A fim de obter uma amostra que deverá ser logo, secada e pesada.

Nas medições diretas do transporte do sedimentos de fundo é importante considerar as limitações dos aparelhos e os erros a que estes conduzem. No caso das medições de fundo as dificuldades que se apresentam, segundo Hubbel (1964) citado por SIMONS & SENTÜRK (1992), obedecem a várias razões, assim tem-se:

- que qualquer dispositivo mecânico colocado na vizinhança do leito, produz distúrbios no escoamento e portanto altera a taxa de transporte de sedimentos;
- é difícil desenvolver um dispositivo que colete todas as faixas de diâmetro do sedimento de fundo;
- a medição da descarga de sedimentos de fundo num ponto determinado, não é representativa da seção do canal, toda vez que a velocidade e o movimento de sedimentos perto do leito variam espacialmente e com o tempo.

Para a medição direta da descarga de fundo foram desenvolvidos vários tipos de amostradores. Segundo CARVALHO (1994) existem até quatro tipos de amostradores : amostrador de cesta ou caixa, amostrador de bandeja ou tanque, amostrador de diferença de pressão e amostrador de fenda ou poço.

O amostrador de cesta ou caixa, dispõe de um recipiente permeável, onde o sedimento de fundo é acumulado. Para facilitar a orientação com o escoamento está provido de lemes direcionais. Os amostradores de caixa são abertos na frente e no topo, enquanto que os amostradores de cesta são abertos, em todos os lados, exceto na frente e às vezes no fundo, mas cobertos pelos lados com uma malha metálica. A eficiência deste equipamento é variável e é usado para medições descontínuas. Entre os modelos mais difundidos tem-se: o amostrador Muhlhofer, o amostrador Nesper, e o amostrador suíço.

O amostrador de bandeja ou tanque, consiste num depósito, que possui uma abertura no final de uma rampa de entrada, por onde ingressam os sólidos depois de deslocar-se pela rampa, ficando retidos no interior do tanque. A eficiência deste equipamento é segundo CARVALHO (1994) muito variável, devido à redução da velocidade na entrada e ao desvio de parte do sedimento. Entre os modelos deste tipo tem-se os amostradores russos: Losiebsky, Polyakov e o amostrador SRIH.

O amostrador de diferença de pressão foi projetado de tal forma que a velocidade de entrada e a velocidade da corrente sejam aproximadamente iguais. Isto consegue-se, através da criação da queda de pressão, pela disposição divergente das paredes próximas ao fundo. Entre os modelos destas características tem-se o amostrador Helley-Smith, o amostrador Karolyi, o amostrador do Corpo de Engenheiros (EUA), o amostrador Yangtze, e o modelo Holandês HUBBEL (1964), usado neste trabalho (Figs. 3.17 a e 3.17b).

O amostrador de fenda ou poço, consiste de um tanque com fundo e duas paredes laterais. Dentro desse tanque, pode ou não haver um sistema defletor para retardar a mistura água-sedimento (PAIVA, 1988). Este tipo de amostrador, segundo GRAF (1971), deve ser apenas usado em fluxos com baixas velocidades e pequenas taxas de transporte. O amostrador de fenda é geralmente usado para medições contínuas, resultando as vezes oneroso na construção e manutenção.

Fora dos amostradores para determinar a taxa de transporte de sedimentos, os métodos de medição indireta do transporte de sedimentos por arrasto, precisam de dados sobre a composição granulométrica e os diâmetros característicos dos grãos. Com este fim devem-se obter amostras do leito, fazendo uso de equipamentos simples conhecidos como amostradores do leito. Segundo CARVALHO (1994), esses amostradores podem ser classificados assim:

- amostradores de penetração horizontal, com dois tipos: caçamba de dragagem e de concha;
- amostrador de penetração vertical, com quatro tipos: de tubo vertical, caçamba de raspagem, de escavação e equipamentos de escavação de pedregulho.



Figura 3.17a - Amostrador de material de fundo tipo holandês AMF-4



Figura 3.17b - Amostrador de material de fundo tipo holandês AMF-4

O amostrador de caçamba de dragagem, de penetração horizontal, é o coletor de material do leito mais comum. Consiste em uma seção pesada de cilindro com uma boca aberta e borda cortante, permitindo que no processo de dragagem se colete uma camada superior de quase 5 cm de material do leito. Deste tipo de amostradores o modelo Rock- Island é o mais difundido (Fig.3.18)

O amostrador de concha, de penetração horizontal, é usado em cursos de água rasos. Consiste em uma concha leve com uma extremidade fechada, sendo a outra aberta, com borda cortante, que ao ser forçado no leito, por meio de uma haste, coleta uma camada superficial de 5 cm de espessura.

O amostrador de draga busca-fundo, de penetração vertical, consiste em duas caçambas que se fecham juntas ao tocar no leito, devido a um dispositivo de desarme que consiste numa alavanca de braço móvel. A operação permite coletar uma camada superficial do material. Mas por ser de fraca pressão, as caçambas perdem parte do sedimento, principalmente os finos, descaracterizando a amostra. O mais comum é o modelo Petersen.

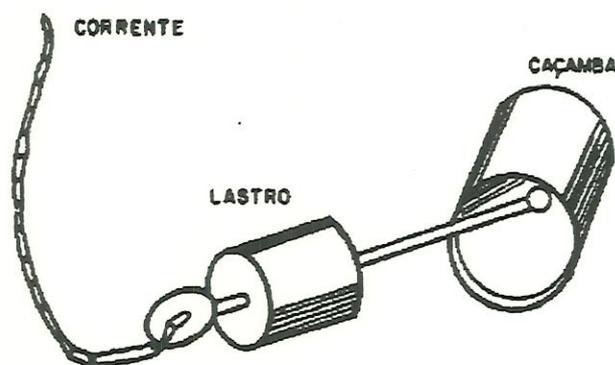


Figura 3.18 Amostrador Rock-Island de material do leito

O amostrador de escavação, de penetração vertical, consiste em uma caçamba que fica presa dentro do corpo do amostrador. Este é construído de forma hidrodinâmica e tem peso suficiente para não ser arrastado. A caçamba tem uma mola tracionada que a mantém aberta enquanto o amostrador fica suspenso, mas quando o

amostrador toca o leito a mola desarma, fechando a caçamba. O modelo USBM-54 é dos mais comuns.

Além dos métodos convencionais de medição direta dos sedimentos de fundo descritos, existem outros métodos como: a observação das formas de fundo e os métodos acústicos.

A determinação da carga de fundo em regimes uniformes é possível mediante a observação do movimento das formas de fundo com ajuda da equação:

$$q_b = (1 - \lambda) U_s \frac{A}{2} \quad (3.97)$$

onde: q_b , é a vazão sólida de fundo, λ e a porosidade do leito, U_s é a velocidade média das formas do fundo e A é altura média das formas do fundo.

Segundo Karaki et al. (1961) citado por SIMONS & SENTÜRK (1992), em águas claras e superficiais a velocidade e a altura das formas pode ser diretamente observada. O que permite que a descarga de fundo possa ser calculada, a partir da equação (3.97), sempre que a porosidade λ seja conhecida. Em águas profundas e menos claras, um mapeamento da superfície da água e das formas do leito podem ser acompanhadas utilizando instrumentos ultra-sônicos. Ainda estes pesquisadores afirmam que, a velocidade e a altura das formas do fundo, tanto como a descarga do fundo podem ser determinadas a partir dessas medições sonoras.

Os métodos acústicos, são realizados com microfones desenhados para detectar o som produzido pelas partículas no seu movimento. A vantagem deste método é que não interfere o deslocamento das partículas. Infelizmente nenhum desses amostradores acústicos forneceu uma informação confiável.

3.5.2 EQUIPAMENTOS E MEDIÇÃO DA VAZÃO SÓLIDA EM SUSPENSÃO

A medição da vazão sólida em suspensão é feita geralmente a partir de amostras representativas de uma mistura água-sedimento, coletadas de diferentes

pontos da seção transversal em estudo de um rio, seguindo um método de amostragem. As amostras coletadas, são levadas a um laboratório, onde mediante um processo de filtragem, são separados os sólidos de um volume determinado de amostra, para em seguida serem secados numa estufa e pesados numa balança de precisão. Uma vez determinados, o peso seco, e o volume de amostra, calcula-se a concentração.

Os equipamentos usados na amostragem, podem ser classificados segundo CARVALHO (1994) em três categorias: instantâneos, por integração e por bombeamento.

Os amostradores instantâneos estão desenhados para coletar uma mistura de água-sedimento, em um tempo restrito. E consistem em um cilindro vertical ou horizontal com válvulas nas extremidades, as que podem ser fechadas subitamente para reter a amostra em qualquer profundidade. O uso destes amostradores é mais adequado para extrair amostras de reservatórios, lagos, ou para estudos oceanográficos.

Os amostradores por integração são de uso mais comum no estudo de transporte de sedimentos em rios, porque obtêm uma mistura de água-sedimento em um período de tempo adequado, permitindo uma concentração média representativa. Podem ser pontuais ou integradores na vertical.

Os amostradores por bombeamento, retiram a mistura água-sedimento por sucção através de um orifício colocado no ponto de amostragem e conectado a uma mangueira. Posicionando o orifício de sucção na direção da corrente e regulando a velocidade de entrada, pode-se obter uma amostra que é representativa da concentração no ponto de amostragem. Os modernos equipamentos para medição da descarga sólida podem funcionar bombeando água em grande quantidade, a que passa por peneiras com filtros de grande poder, já instalados no barco, que separam o sedimento da água.

Dos três tipos de amostradores descritos, os de maior difusão em trabalhos de cálculo de sedimentos em rios, são os amostradores por integração, que por sua vez

se dividem em dois tipos: amostradores integradores pontuais e amostradores integradores na vertical.

Os amostradores integradores pontuais, são usados para coletar amostras representativas e com estes, determinar a concentração média em qualquer ponto selecionado em baixo da superfície da água, exceto nas proximidades do fundo. Estes amostradores podem também ser usados para amostras contínuas num incremento de profundidade. Este procedimento é aplicado em rios muito profundos para uma amostragem vertical integrada. Entre os modelos estandar desenvolvidos pela Interagency Committee on Water Resources (1963) tem-se: o U.S. P-61, U.S. P-62, U.S. P-63 e o U.S. P-46 cuja denominação brasileira é *AMS* - 4.

Os amostradores integradores na vertical, coletam e acumulam amostras ao serem introduzidos até o fundo do rio e levados de volta à superfície. Se o amostrador desce e sobe a uma velocidade constante, obtêm-se uma amostra integrada na profundidade e a concentração assim determinada representa a concentração média na vertical. Segundo SIMONS & SENTÜRK (1992), para uma profundidade menor que 30 pés, a integração na profundidade é realizada num só sentido (de baixo para cima). Para profundidades maiores de 30 pés, é necessário obter mais de uma amostra.

Os modelos de amostradores estandar por integração na vertical desenvolvidos pela Interagency Committee on Water Resources (1963) comumente usados são: o U.S. DH-48, U.S. DH-59 e o U.S. DH-49. Cujas denominações brasileiras são *AMS* - 1, *AMS* - 3, *AMS* - 2 respectivamente.

O amostrador U.S. DH-59 usado no presente trabalho, foi desenhado para coleta de material em suspensão. É do tipo leve, usa garrafa, tendo sido fabricado para uso com cabo de suspensão, podendo ser manipulado a vau, de uma ponte ou de canoa, em rios com velocidade até 1,5 m/seg. É integrador na vertical para profundidades até quase 5 m, tendo três bicos calibrados para 1/8", 3/16" e 1/4" que são usados conforme variam as profundidades e velocidades da corrente. O amostrador U.S. DH-59 é fundido em bronze, e tem forma hidrodinâmica. A denominação nacional é *AMS* - 3 (CARVALHO, 1994).

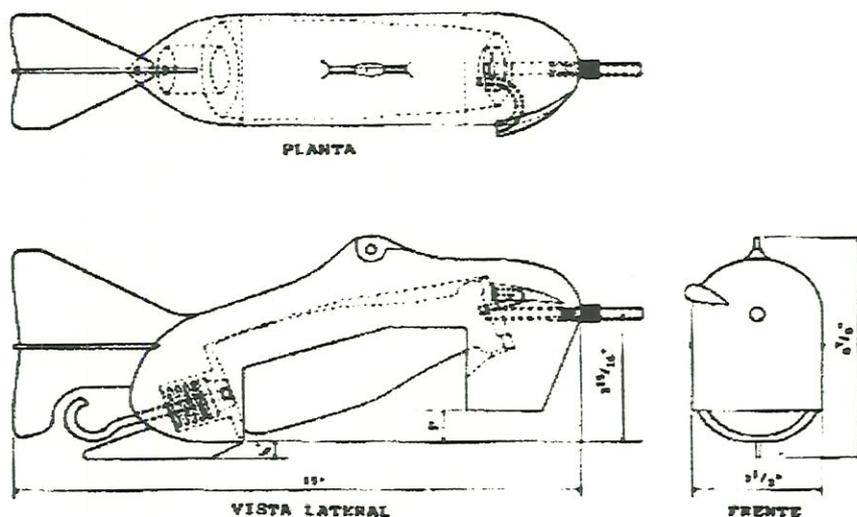


FIGURA 3.19 - Amostrador integrador tipo Holandês AMS - 4

Segundo CARVALHO (1994), além dos métodos convencionais para a determinação da concentração de sedimentos e para a obtenção da descarga em suspensão, existem outros métodos e equipamentos para a medição direta da vazão sólida, chamados de medidores “*in situ*”, entre estes tem-se: os medidores fotoelétricos, nucleares, ultra-sônicos óticos e ultra-sônicos de dispersão.

O medidor fotoelétrico determina a concentração a partir da medição da turbidez, por um procedimento fotoelétrico. Deve ser usado em rios com transporte de sedimentos finos e de baixa concentração. O limite superior de aplicação é de 5.000 mg/l. Os medidores fotoelétricos de turbidez estão baseados no princípio de atenuação da luz transmitida através da mistura água-sedimento. Necessita uma calibragem periódica.

O medidor nuclear da concentração de sedimentos usa radioisótopos e é também conhecido como traçador radioativo. Em geral, baseia-se na absorção ou

difusão de radiações eletromagnéticas pela matéria, medindo a densidade do sedimento na mistura água-sedimento.

O medidor ultra-sônico ótico determina a concentração de sedimento e sua granulometria média *in situ*. A partir das leituras em dois medidores que refletem o efeito ultra-sônico e o efeito fotoelétrico, respectivamente, sendo que os valores de concentração e granulometria média podem ser obtidos de gráficos que tenham sido calibrados em laboratório [Yuqian (1983), citado por CARVALHO (1994)].

Medidor ultra-sônico de dispersão efetua a medida *in situ*, baseado na dispersão do ultra-som em partículas de sedimento em suspensão. A velocidade de partículas e a concentração de sedimento são determinadas simultaneamente pela medição da frequência e da intensidade do sinal do efeito Doppler [Yuqian (1983), citado por CARVALHO (1994)].

4.0 METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida neste trabalho compreendeu três etapas:

- 1º determinação das vazões sólidas: de fundo, em suspensão e total por métodos diretos;
- 2º determinação das vazões sólidas: de fundo, em suspensão e total pela aplicação dos métodos de estimativa indireta;
- 3º processamento de dados e análise comparativa das medições diretas e os resultados das estimativas indiretas.

4.1 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO SÓLIDA POR MÉTODOS DIRETOS

A determinação da vazão sólida por métodos diretos compreendeu, as medições fluviométricas e sedimentométricas realizadas simultaneamente, tanto para a vazão sólida de fundo, quanto para a vazão em suspensão, em ambos os casos os passos seguidos foram os seguintes: localização e descrição do trecho do rio, medidas hidráulicas e medidas sedimentométricas, serviços de laboratório e aplicação dos métodos para cálculo de transporte de sedimentos.

4.1.1 LOCALIZAÇÃO

O ribeirão do Feijão, local onde foram realizadas as medições, é um canal de drenagem da bacia hidrográfica do mesmo nome. Situado na parte norte do Estado de São Paulo. Nasce na serra do Cuscuzeiro e percorre aproximadamente 21 Km até seu encontro com o ribeirão do Lobo, onde formam o rio Jacaré Guaçu.

Um reconhecimento prévio do rio, permitiu selecionar um trecho do rio adequado para as medições, isto é, reto, com um comprimento de aproximadamente 100 m, e de fácil acesso pela estrada que comunica a fazenda Paineiras com a estrada São Carlos - Broa . O trecho escolhido fica perto da ponte que une as fazendas Paineiras e Yolanda no Município de São Carlos (Figura 4.1).

No local selecionado foram instaladas três réguas para registrar o nível da água, uma a montante, outra no médio e uma terceira a jusante. As três réguas foram niveladas e referidas a um ponto fixo da ponte.

A seção principal foi estabelecida num ponto a 40 m da ponte e a 37 m da seção auxiliar a montante.

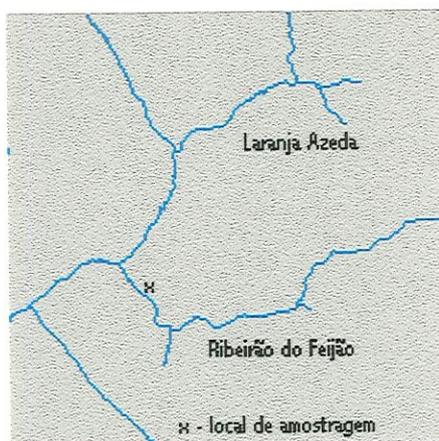


Figura 4.1 Localização da seção de amostragem, ribeirão do Feijão

4.1.2 MEDIDAS HIDRAULICAS

4.1.2.1 Medida da vazão líquida

O procedimento para calcular a vazão líquida foi o seguinte:

- dividiu-se a seção transversal em 7 verticais, segundo o esquema mostrado na figura 4.3;
- mediu-se as profundidades de cada vertical a vau utilizando uma régua graduada;

- mediu-se as velocidades em cada vertical, utilizando um molinete fluviométrico de leitura direta (Micro Kartan - HIDROCEA). Para considerar a variação da velocidade na vertical registrou-se a velocidade em três pontos a 20, 60 e 80% da profundidade,
- a velocidade média, na vertical, foi calculada usando a equação:

$$u_i = \frac{u_{0.2} + 2 u_{0.6} + u_{0.8}}{4} \quad (4.1)$$

onde:

- $u_{0.2}$, $u_{0.6}$ e $u_{0.8}$, são as velocidades médias a 20, 60 e 80% da profundidade;
- u_i é a velocidade média na vertical,
- determinadas as velocidades médias nas verticais e as profundidades correspondentes, procedeu-se os cálculos das áreas compreendidas entre as verticais, considerando-as trapézios ou triângulos nos extremos. Em seguida foram determinadas as velocidades representativas de cada seção, a partir da média das velocidades verticais achadas no passo anterior;
- logo obteve-se a vazão líquida somando os produtos das áreas das seções e as velocidades médias na seção.

$$Q = \sum_{j=1}^n A_j U_j \quad (4.2)$$

$$A_j = \left(\frac{d_i + d_{i-1}}{2} \right) (L_i + L_{i-1}) \quad (4.3)$$

$$U_j = \frac{u_i + u_{i-1}}{2} \quad (4.4)$$

onde:

- Q é a vazão líquida na seção transversal,
- A_j é a área compreendida entre duas verticais,
- U_j é a velocidade média da seção j ,
- d_i é a profundidade da vertical i .

u_i é a velocidade média na vertical i

L_i é a distância na vertical i

4.1.2.2 Medida da declividade da linha da água

A declividade da linha da água obteve-se a partir da diferença das leituras do nível da água nas réguas hidrométricas instaladas na montante, na jusante e no médio do trecho selecionado. Medindo as distâncias entre as seções, logo, relacionando as diferenças dos níveis com as distâncias, determina-se a declividade. Adotou-se como declividade do trecho aquela que ajustava-se melhor às três leituras.

4.1.3 MEDIDAS SEDIMENTOMÉTRICAS

4.1.3.1 Amostragem do sedimento em suspensão

A finalidade de obter uma amostra de uma mistura água-sedimento num rio, é conhecer o tipo e a concentração de material transportado no momento da amostragem.

Os métodos de amostragem de sedimentos em suspensão podem mudar segundo os objetivos e as condições locais, podendo ser, pontuais e por integração na vertical, existindo para cada caso um tipo de instrumento apropriado. Assim, a amostragem pontual usa-se comumente para definir a distribuição vertical da concentração de sedimentos e a granulometria na posição de coleta.

A amostragem por integração na vertical (adotada neste trabalho) é a mais usada quando o objetivo é a determinação da concentração média de sedimentos independentemente da distribuição.

A operação de coleta consiste em introduzir o amostrador em baixo da água a uma velocidade aproximadamente constante até atingir o fundo do rio e logo reverter o movimento. Durante este percurso a amostra acumulada não deve encher a garrafa

ou recipiente. Como se observa na figura 4.2, nesta operação vai ter sempre uma zona não amostrada.

O amostrador utilizado neste trabalho, foi do tipo AMS-3 com bicos removíveis de 1/8", 3/16" e 1/4". Tendo sido operado a mão, seguindo as recomendações gerais e, tratando de evitar a remoção de partículas do fundo pelo impacto do amostrador ao tocar o leito.

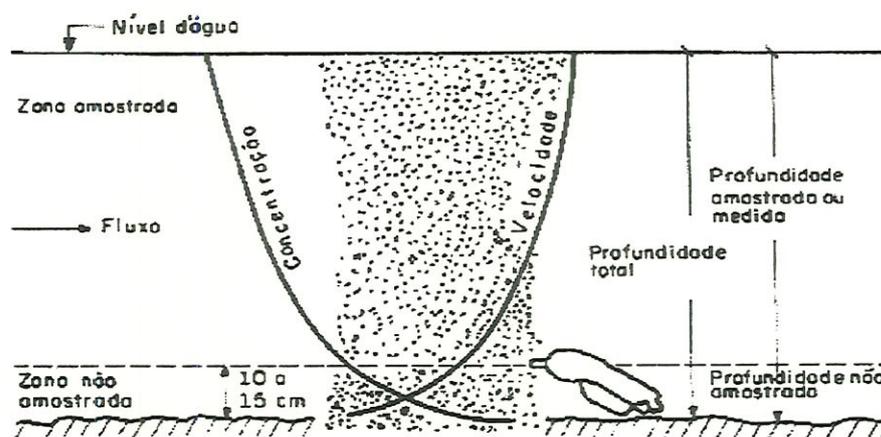


FIGURA 4.2 - Zonas de amostragem, medida e não medida, numa vertical de amostragem da corrente com relação à velocidade de fluxo e concentração de sedimento.

Normalmente a seleção do número e localização das verticais de amostragem deve estar em função da distribuição dos sedimentos na seção e da vazão. A distribuição dos pontos de amostragem no caso particular deste trabalho foi o mostrado no esquema da fig. (4.3). É dizer adotou-se:

- sete verticais ponderadas distribuídas ao longo da seção;
- três verticais a 1/4, 1/2, e 3/4 da seção transversal;
- três verticais a 1/6, 1/2 e 5/6 da seção transversal.

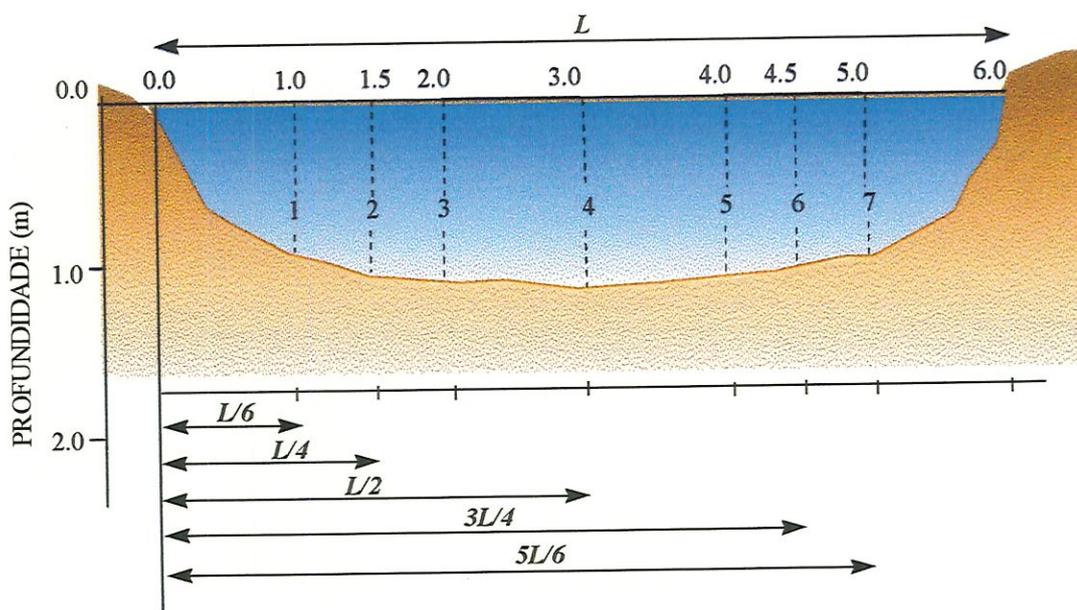


FIGURA 4.3 - Seção transversal contendo as verticais de medição e amostragem (Ribeirão do Feijão/São Carlos)

4.1.3.1 Amostragem dos sedimentos do leito

As medições da vazão sólida do leito no presente trabalho, foram realizadas utilizando um amostrador modelo Holandês *AMF-4* (Ver figuras 3.17 a e b), o qual tratando-se de uma seção pequena, foi colocado para cada medição, no ponto médio da seção de amostragem, procurando sempre orientá-lo no sentido oposto ao fluxo, onde ficou de 2 até 8 horas até acumular uma quantidade suficiente de material. O material assim obtido foi transferido a um saco de plástico e levado para o laboratório.

4.1.4 TRABALHOS LABORATORIAIS

Os trabalhos realizados em laboratório visam à determinação: da concentração de sedimentos em suspensão, a granulometria do material do leite, e do material transportado por arrasto de fundo.

4.1.4.1 DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO EM LABORATÓRIO.

Foi feita seguindo o procedimento descrito pelo DNAEE/CESP (1984), e apresentado por PAIVA (1988) e CARVALHO (1994) e compreende os seguintes passos:

- Filtra-se 100 ml de amostra, num equipamento de filtração, provido de uma bomba de vácuo (fig.4.3) e usando papel filtro quantitativo de porosidade fina. Neste caso particular foi utilizado um papel filtro AP-20 da MILIPORE;
- coloca-se o filtro com o sedimento numa estufa a 105 °C, para secar, por duas horas;
- pesa-se o papel filtro com sedimento numa balança de precisão (com aproximação de milésimos de gramo);
- determina-se o peso dos sedimentos pela diferença do peso do filtro mais amostra e o peso do filtro só. A concentração determina-se usando a equação:

$$C = \frac{P - P_0}{Vol} \quad (3.10)$$

onde:

C - Concentração em peso por unidade de volume;

P - peso do filtro e sedimento;

P_0 - peso do filtro;

vol - volume da amostra.

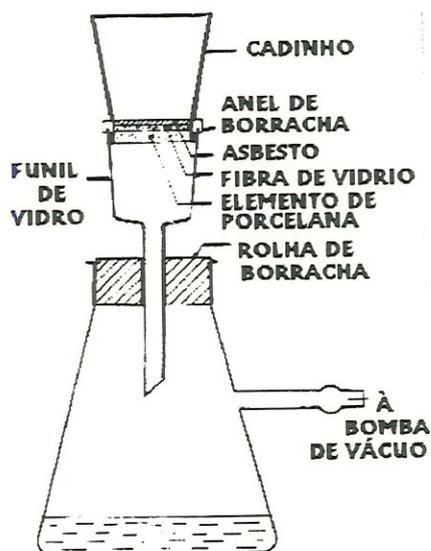


Figura 4.3 - Equipamento para filtração de amostras

Para determinar a concentração média da seção em estudo, previamente foram calculadas a descarga sólida e a vazão líquida.

A descarga sólida foi obtida integrando na largura da seção transversal o produto da concentração pela profundidade multiplicada pela velocidade em cada vertical, segundo a equação:

$$Q_s = \sum_{i=2}^n \left[\frac{u_i d_i c_i + u_{i-1} d_{i-1} c_{i-1}}{2} \right] [L_i - L_{i-1}] \quad (4.5)$$

onde:

Q_s é a descarga sólida na seção transversal;

c_i , d_i e u_i , são concentração, profundidade e velocidade em cada vertical de amostragem.

A concentração média foi calculada pela relação,

$$C_M = \frac{Q_s}{Q} \quad (4.6)$$

onde, Q é a vazão líquida, obtida das medições hidráulicas.

A concentração assim calculada, adota-se como a concentração padrão e inclui todas as amostras na sua determinação.

Outras duas concentrações foram determinadas pela mistura das amostras coletadas nas verticais 2, 4 e 6 (CETR2) e, nas verticais, 3, 5 e 7 (CETR3) da seção transversal, estas últimas só tem fins de comparação. O erro padrão da estimativa foi calculado pelas equações:

$$EPE = \left[\frac{\sum (y - y_{est})^2}{n - 2} \right]^{0.5} \quad (4.9)$$

$$ERR.PERC. = \left(\frac{EPE}{\bar{y}} \right) \cdot 100 \quad (4.10)$$

onde:

EPE - Erro padrão da estimativa,

y - valores da concentração média padrão,

y_{est} - valores que se deseja testar, neste caso, CETR2, CETR3 e CETR,

n - número de experimentos

$ERR.PERC.$ - erro padrão da estimativa em porcentagem em relação à média,

\bar{y} - valor médio do padrão.

4.1.4.2 DETERMINAÇÃO DA GRANULOMETRIA DO MATERIAL DO LEITO

Foi realizada com amostras de material extraídos do leito, mediante uma caçamba de raspagem tipo Rock Island (figura 3.18). As amostras devem ser previamente secadas numa estufa à temperatura de 105 °C.

O equipamento usado para granulometria foi: um conjunto de peneiras de diferentes tamanhos de abertura e um vibrador estandar. A operação consiste em: pesar uma amostra de material, colocar nas peneiras e ligar o vibrador durante 10 minutos, após este tempo, retira-se do vibrador e pesa-se as frações de material retido em cada peneira. Os pesos retidos expressos em porcentagem, correspondentes a cada peneira, permitem traçar a curva granulométrica.

4.1.4.3 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO SÓLIDA DE FUNDO

Este trabalho foi realizado secando previamente na estufa a 105 °C, o material do fundo obtido por acumulação, no amostrador de fundo, segundo a descrição anterior. A amostra seca deve ser pesada. Conhecidos, o peso da amostra seca o tempo de amostragem e as a largura do bocal de entrada, determina-se a vazão sólida de fundo, por unidade de largura, usando a equação:

$$q_f = \frac{P_a}{\varepsilon \cdot L_a \cdot t} \quad (4.11)$$

onde:

q_f - descarga de fundo em peso por unidade de largura;

P_a - peso da amostra;

L_a - Largura do amostrador;

ε - Eficiência do amostrador (0,70 segundo HUBBEL (1964));

t - tempo de coleta;

Os trabalhos de filtragem e secado de amostras foram realizados nos laboratórios do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, USP. E os trabalhos de peneiramento para a obtenção das curvas de granulometria foram realizados no laboratório de Mecânica dos solos do Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

4.2 DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES SÓLIDAS: DE FUNDO E TOTAL, PELA APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE ESTIMATIVA INDIRETA.

Para a aplicação dos diversos métodos de estimativa indireta, foi preciso conhecer previamente, as características hidráulicas e geométricas do rio, a distribuição granulométrica e os diâmetros representativos dos grãos, obtidos das amostras do material em suspensão e do material do fundo coletados na seção de amostragem do rio.

Com esta informação previa procedeu-se a aplicar os diferentes métodos de estimativa indireta, estes foram:

- Para o cálculo do transporte de sedimentos de fundo, os métodos de: MEYER-PETER & MÜLLER (1948), EINSTEIN (1950), TOFFALETI (1969), EINSTEIN & ABDEL (1972) e VAN RIJN simplificado(1984c).
- Para o cálculo do transporte de sedimentos totais os métodos de: LAURSEN (1958), EINSTEIN & ABDEL (1972) e ACKERS & WHITE (1973).

No processamento de dados foram usados programas em linguagem FORTRAN, desenvolvidos por MAHMOOD & PONCE (1975) e publicados por VILLELA & PONCE (1990), alguns destes programas precisaram de ajustes. E os programas de LAURSEN (1958) e ACKERS & WHITE (1973) foram desenvolvidos como parte desta dissertação.

De outro lado é importante anotar, que o pequeno tamanho e a reduzida quantidade dos sedimentos em suspensão, não permitiu determinar as curvas granulométricas correspondentes (embora exista métodos, como os de remoção pela

base e pipetagem). Portanto não foi realizada nenhuma análise comparativa dos sedimentos em suspensão.

4.3 PROCESAMENTO DE DADOS E ANÁLISE COMPARATIVA DA MEDIÇÕES DIRETAS E OS RESULTADOS DAS ESTIMATIVAS INDIRETAS

Os resultados das medições diretas de vazão sólida de fundo e total foram correlacionados com os valores das medições hidráulicas (velocidade média, profundidade, e vazão líquida), com o propósito de encontrar a curva chave é dizer a curva de melhor correlação com as grandezas hidráulicas (figuras: 4 a.1 a 4 a.6).

Uma primeira análise comparativa fez-se entre os resultados das estimativas indiretas com os dados das medições diretas considerados como referenciais. Nesta análise, adotou-se como parâmetro de comparação, a relação entre os valores medidos com os valores calculados “r”, isto aparece nas tabelas 8, 10, 15 e 17 da seção de resultados.

Uma segunda análise comparativa mostra graficamente a concordância entre os valores medidos e calculados. Estes gráficos permitem também, apreciar, se, os métodos de estimativa indireta subestimaram ou superestimaram às medições diretas e a proximidade à curva da concordância perfeita (figuras 5b.1 a 5b.8 e 5d.1 a 5d.8).

Um terceiro conjunto de gráficos permite apreciar o número de medições compreendidas dentro de uma faixa de valores de “r”. Neste caso a faixa tolerável considerou-se, compreendida entre $0.1 < r < 10$ (figuras 5c.1 a 5c.8 e 5e.1 a 5e.8).

Para a seleção dos métodos que apresentaram os melhores resultados adotou-se, o terceiro critério, que dizer, pelo número de razões entre estimativas de cálculo e medições com valores próximos a $r = 1$, compreendidos dentro das faixas de tolerância de: 0,1 a 10; 0,2 a 5 e de 0,5 a 2.

5. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados do trabalho através de tabelas e gráficos comparativos, em separado para cada grupo de medições.

5.1 RESULTADOS E COMPARAÇÕES DAS MEDIÇÕES NO RIBEIRÃO DO FEIJÃO (SÃO CARLOS/SP)

No ribeirão do Feijão foram realizadas 48 medições de campo (medidas hidráulicas, sedimentométricas e de temperatura da água), durante o período compreendido entre maio de 96 e abril de 97, seguindo a metodologia descrita no capítulo anterior. Os resultados das medições hidráulicas, dos parâmetros geométricos e das temperaturas estão apresentados na tabela 1. Aqui é importante notar que a viscosidade foi determinada como função da temperatura.

Nas tabelas 2, 3 e 5 apresentam-se os resultados das medições sedimentométricas, isto é, resultados da vazão sólida de fundo, em suspensão, e vazão sólida total. Assim a vazão sólida de fundo determinou-se, conhecendo previamente a vazão sólida por metro de largura. A vazão em suspensão foi determinada a partir da concentração média, segundo a equação 4.6. A concentração de sedimentos neste caso é expressa em kg/m^3 e em ppm.

A vazão sólida total foi determinada pela soma da vazão sólida de fundo e a vazão sólida em suspensão tal como aparece na tabela 5.

Na tabela 4 mostra-se os resultados das concentrações de material em suspensão, determinadas pelas misturas de amostras tomadas nas verticais 2, 4, 5 (CETR2) e 3, 5, 7 (CETR3), isto com fins de comparação. Na mesma tabela

relaciona-se os resultados das concentrações CETR2 e CETR3 com as concentração médias padrão (CM), e calcula-se o erro de estimativa pela equação 4.9.

Na tabela 6 figuram os resultados dos diâmetros representativos (D_{10} , D_{35} , D_{50} , etc.), obtidos a partir das curvas de granulometria, que foram inseridas na seção de anexos, junto com os resultados da análise granulométrica.

Na tabela 7 apresentam-se os resultados das estimativas de cálculo da vazão sólida de fundo pelos métodos de MEYER-PETER & MÜLLER (1948), EINSTEIN (1950), TOFFALETI (1969), EINSTEIN & ABDEL-AAL (1972) e VAN RIJN simplificado (1984c), determinados, em cada caso, mediante programas em linguagem FORTRAN elaborados por MAHMOOD & PONCE (1975), a estes foram adicionados os programas para os métodos de ACKERS & WHITE (1973) e LAURSEN (1958).

Na tabela 8 apresentam-se os resultados das relações entre, as estimativas de cálculo da vazão sólida de fundo com as vazões sólidas determinadas a partir das medições sedimentométricas, e no final desta tabela fez-se um cálculo dos valores médios e os desvios padrão, com fins de comparação.

Nas tabelas 9 e 10 repete-se o procedimento anterior, desta vez para as estimativas de cálculo da vazão sólida total, neste caso para os métodos de LAURSEN (1958), EINSTEIN & ABDEL-AAL (1972) e ACKERS & WHITE (1973).

Nas figuras 5a.1 a 5a.8 fez-se uma correlação das vazões sólidas de fundo e as vazões sólidas totais contra as outras grandezas (vazão líquida, velocidade média do fluxo, profundidade média hidráulica e declividade), para estabelecer equações de correlação e determinar as curvas chaves. As equações de correlação para uma escala logarítmica e os coeficientes de correlação aparecem nos gráficos correspondentes.

Nas figuras 5b.1 a 5b.8 estão apresentados os resultados das medições diretas e das estimativas, cada um deles num eixo. Estes gráficos têm o propósito de evidenciar a proximidade com a linha de concordância perfeita, e também permitem visualizar, se os métodos subestimam ou superestimam os cálculos.

Nas figuras 5c.1 a 5c.8 apresenta-se em forma gráfica a quantidade de valores que estão compreendidos dentro da faixa entre 10 e 0,1, correspondente a uma relação entre valores medidos e calculados. Isto tem o propósito de estabelecer quais dos métodos apresentam resultados mais próximos aos determinados de forma direta. O resumo desta análise aparece nas tabela 11 e 18.

5.2 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES E COMPARAÇÕES NO RIO ATIBAIA (POSTO SOUSAS/CAMPINAS/SP)

Um total de 84 medições hidráulicas e sedimentométricas foram realizadas no rio Atibaia (Posto Sousas/Campinas/SP), pelo Departamento de Recursos Hídricos da UNICAMP, no período compreendido entre março do 93 e junho de 96. Esta informação foi usada na análise da aplicabilidade dos métodos de estimativa indireta para o cálculo do transporte dos sedimentos de fundo e totais, do presente trabalho. Os resultados das medições hidráulicas e dos parâmetros geométricos aparecem na tabela 12.

Na tabela 13 apresentam-se os valores dos diâmetros representativos do material do leito, determinados a partir da análise granulométrica correspondente (Ver anexo 2 do trabalho).

Os resultados da aplicação dos métodos de estimativa indireta de vazão sólida de fundo, aos dados do rio Atibaia aparecem na tabela 14. É importante salientar, que pela falta de informação sobre temperatura, para a determinação da viscosidade, assumiu-se temperaturas médias de 20, e 28 °C para as temporadas de verão e inverno respectivamente, e 24 °C para estações intermédias, isto considerando, que a influência da viscosidade não é muito determinante nos cálculos.

Na tabela 15 apresenta-se os valores das relações entre vazões sólidas de fundo medidas e de vazões sólidas calculadas. No final desta tabela aparecem os cálculos dos valores médios e os desvios padrões, correspondentes a estas relações.

Na tabela 16 mostra-se os resultados da aplicação dos métodos de estimativa indireta de vazão sólida total aos dados do rio Atibaia e na tabela 17 aparecem as relações das estimativas com os valores das medições diretas.

A análise gráfica aplicada aos resultados das medições no rio Atibaia foram realizadas seguindo os mesmos passos que para o caso do ribeirão do Feijão. Os resultados desta análise aparecem nas figuras, 5d.1 a 5d.8 e 5e.1 a 5e.8.

**TABELA 1 - Parâmetros hidráulicos e geométricos da seção transversal em estudo
(Ribeirão do Feijão / São Carlos/SP)**

No.	Data	Área (m²)	Prof. (m)	Larg. (m)	Raio hidr. (m)	Declivid. (m/m)	Veloc. (m/seg)	Vazão (m³/seg)	Temperat. °C	Viscosidade m²/seg
1	14/05/96	4,910	0,982	5,00	0,705	0,00119	0,224	1,100	18,3	1,044E-06
2	21/05/96	5,040	1,008	5,00	0,718	0,00121	0,262	1,320	18,5	1,038E-06
3	28/05/96	4,900	0,980	5,00	0,704	0,00114	0,215	1,054	17,0	1,078E-06
4	04/06/96	4,999	0,999	5,00	0,714	0,00108	0,227	1,135	16,9	1,081E-06
5	11/06/96	4,917	0,983	5,00	0,706	0,00096	0,219	1,077	15,9	1,109E-06
6	18/06/96	4,816	0,963	5,00	0,695	0,00094	0,204	0,982	16,5	1,092E-06
7	25/06/96	4,732	0,946	5,00	0,687	0,00089	0,327	1,547	23,1	9,298E-07
8	01/07/96	4,858	0,971	5,00	0,700	0,00105	0,236	1,146	15,8	1,112E-06
9	09/07/96	4,700	0,940	5,00	0,683	0,00096	0,228	1,072	17,1	1,076E-06
10	16/07/96	4,807	0,961	5,00	0,694	0,00087	0,214	1,029	15,0	1,135E-06
11	23/07/96	4,604	0,921	5,00	0,673	0,00083	0,192	0,884	14,2	1,159E-06
12	30/07/96	4,976	0,995	5,00	0,712	0,00083	0,198	0,985	16,1	1,103E-06
13	06/08/96	4,810	0,962	5,00	0,695	0,00075	0,172	0,827	18,2	1,046E-06
14	13/08/96	4,947	0,970	5,10	0,703	0,00113	0,221	1,093	18,0	1,051E-06
15	23/08/96	4,661	0,930	5,00	0,679	0,00082	0,166	0,774	17,0	1,078E-06
16	27/08/96	4,661	0,930	5,00	0,679	0,00084	0,166	0,774	18,0	1,051E-06
17	03/09/96	5,149	1,010	5,10	0,723	0,00132	0,253	1,303	18,5	1,038E-06
18	10/09/96	7,689	0,973	7,90	0,781	0,00239	0,409	3,145	17,9	1,054E-06
19	17/09/96	5,434	1,006	5,40	0,733	0,00181	0,307	1,668	18,9	1,028E-06
20	20/09/96	4,566	0,932	4,90	0,675	0,00103	0,248	1,132	19,0	1,026E-06
21	01/10/96	4,442	0,925	4,80	0,668	0,00077	0,218	0,968	20,0	1,001E-06
22	08/10/96	4,562	0,912	5,00	0,669	0,00084	0,225	1,026	17,5	1,065E-06
23	15/10/96	5,230	0,987	5,30	0,719	0,00160	0,322	1,684	20,1	9,985E-07
24	22/10/96	4,378	0,876	5,00	0,648	0,00067	0,220	0,963	23,5	9,212E-07

Continua.....

**TABELA 1 - Parâmetros hidráulicos e geométricos da seção transversal em estudo
(Ribeirão do Feijão / São Carlos/SP)**

No.	Data	Área (m²)	Prof. (m)	Larg. (m)	Raio hydr. (m)	Declivid. (m/m)	Veloc. (m/seg)	Vazão (m³/seg)	Temperat. °C	Viscosidade m²/seg
25	31/10/96	4,339	0,867	5,00	0,644	0,00081	0,249	1,080	21,7	9,609E-07
26	05/11/96	4,485	0,897	4,90	0,670	0,00011	0,279	1,251	21,8	9,586E-07
27	12/11/96	4,129	0,860	4,80	0,633	0,00052	0,219	0,904	22,7	9,385E-07
28	19/11/96	5,557	1,028	5,40	0,745	0,00198	0,353	1,962	22,1	9,518E-07
29	22/11/96	7,030	1,170	6,00	0,843	0,003595	0,473	3,325	19,8	1,006E-06
30	25/11/96	4,530	0,924	4,90	0,671	0,001055	0,259	1,173	21,5	9,654E-07
31	03/12/96	4,591	0,956	4,80	0,684	0,00087	0,237	1,088	20,0	1,001E-06
32	05/12/96	4,706	0,960	4,90	0,690	0,00099	0,234	1,101	21,0	9,770E-07
33	12/12/96	5,332	1,030	5,20	0,734	0,00153	0,295	1,573	22,0	9,541E-07
34	18/12/96	4,865	0,973	5,00	0,700	0,00127	0,270	1,314	21,4	9,677E-07
35	04/01/97	7,038	1,256	5,60	0,868	0,00238	0,308	2,168	25,0	8,901E-07
36	08/01/97	4,801	0,906	5,30	0,675	0,00088	0,270	1,296	22,2	9,496E-07
37	14/01/97	5,222	0,920	5,70	0,693	0,00139	0,300	1,567	23,2	9,276E-07
38	24/01/97	6,300	1,185	6,30	0,727	0,00394	0,350	2,205	24,5	9,003E-07
39	28/01/97	6,740	1,180	5,70	0,836	0,00259	0,330	2,224	23,5	9,212E-07
40	11/02/97	5,605	1,100	5,10	0,768	0,00127	0,276	1,547	26,0	8,703E-07
41	20/02/97	5,696	1,030	5,50	0,753	0,00180	0,259	1,475	21,2	9,724E-07
42	05/03/97	5,304	1,020	5,20	0,733	0,00157	0,277	1,469	21,8	9,586E-07
43	10/03/97	5,399	1,019	5,30	0,736	0,00154	0,262	1,415	24,0	9,106E-07
44	13/03/97	5,328	1,001	5,30	0,730	0,00114	0,239	1,273	22,0	9,541E-07
45	17/03/97	5,353	1,029	5,20	0,738	0,00129	0,250	1,338	23,5	9,212E-07
46	20/03/97	5,291	0,998	5,30	0,725	0,00113	0,228	1,206	21,8	9,586E-07
47	04/04/97	5,277	1,010	5,20	0,731	0,00171	0,222	1,171	21,5	9,654E-07
48	07/04/97	5,215	1,002	5,20	0,724	0,00105	0,225	1,173	21,0	9,770E-07

TABELA 2 - Cálculo da vazão sólida de fundo da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

Nº	Data	Peso da amostra (gr.)	Tempo de amostrag. (Horas)	Vaz. sólida de fundo (Kg/seg/m)	Larg. (m)	Vaz. sólida de fundo (ton/dia)
1	14/05/96	28,42	2,00	0,0000513	5,00	0,022
2	21/05/96	21,42	2,00	0,0000386	5,00	0,017
3	28/05/96	20,24	2,00	0,0000365	5,00	0,016
4	04/06/96	6,57	2,00	0,0000119	5,00	0,005
5	11/06/96	5,80	4,00	0,0000052	5,00	0,002
6	18/06/96	18,51	6,00	0,0000111	5,00	0,005
7	25/06/96	8,32	6,00	0,0000050	5,00	0,002
8	01/07/96	27,50	6,00	0,0000165	5,00	0,007
9	09/07/96	24,14	6,00	0,0000145	5,00	0,006
10	16/07/96	29,45	8,00	0,0000133	5,00	0,006
11	23/07/96	23,32	14,00	0,0000060	5,00	0,003
12	30/07/96	20,70	8,00	0,0000093	5,00	0,004
13	06/08/96	30,73	8,00	0,0000139	5,00	0,006
14	13/08/96	34,30	14,00	0,0000088	5,10	0,004
15	23/08/96	24,96	10,00	0,0000090	5,00	0,004
16	27/08/96	19,89	6,00	0,0000120	5,00	0,005
17	03/09/96	22,71	8,00	0,0000102	5,10	0,005
18	10/09/96	2554,62	3,00	0,0030719	7,90	2,097
19	17/09/96	168,04	5,00	0,0001212	5,40	0,057
20	20/09/96	24,49	8,00	0,0000110	4,90	0,005
21	01/10/96	28,11	6,00	0,0000169	4,80	0,007
22	08/10/96	59,67	15,00	0,0000144	5,00	0,006
23	15/10/96	603,46	6,00	0,0003628	5,30	0,166
24	22/10/96	24,07	7,00	0,0000124	5,00	0,005
25	31/10/96	192,65	8,00	0,0000869	5,00	0,038
26	05/11/96	144,05	6,00	0,0000866	4,90	0,037
27	12/11/96	17,87	8,00	0,0000081	4,80	0,003
28	19/11/96	109,28	6,00	0,0000657	5,40	0,031
29	22/11/96	1271,54	5,00	0,0009174	6,00	0,476
30	25/11/96	72,28	14,00	0,0000186	4,90	0,008
31	03/12/96	70,65	8,00	0,0000319	4,80	0,013
32	05/12/96	31,80	6,00	0,0000191	4,90	0,008
33	12/12/96	174,56	7,00	0,0000900	5,20	0,040
34	18/12/96	42,52	8,00	0,0000192	5,00	0,008
35	04/12/96	73,45	6,00	0,0000442	5,60	0,021
36	08/01/97	23,97	5,00	0,0000173	5,30	0,008
37	14/01/97	132,68	6,00	0,0000798	5,70	0,039

Continua....



TABELA 2 - Cálculo da vazão sólida de fundo da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

<i>N°</i>	<i>Data</i>	<i>Peso da amostra (gr.)</i>	<i>Tempo de amostrag. (Horas)</i>	<i>Vaz. sólida de fundo (Kg/seg/m)</i>	<i>Larg. (m)</i>	<i>Vaz. sólida de fundo (ton/dia)</i>
38	24/01/97	669,58	6,00	0,0004026	6,30	0,008
39	28/01/97	95,15	6,00	0,0000572	5,70	0,028
40	11/02/97	22,77	5,00	0,0000164	5,10	0,007
41	20/02/97	414,89	8,00	0,0001871	5,50	0,089
42	05/03/97	64,51	6,00	0,0000388	5,20	0,017
43	10/03/97	19,41	5,00	0,0000140	5,30	0,006
44	13/03/97	17,75	12,00	0,0000053	5,30	0,002
45	17/03/97	12,80	3,00	0,0000154	5,20	0,007
46	20/03/97	25,79	8,00	0,0000116	5,30	0,005
47	04/04/97	24,74	7,00	0,0000127	5,20	0,006
48	07/04/97	20,57	12,00	0,0000062	5,20	0,003

TABELA 3 - Cálculo da vazão sólida em suspensão da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

No.	Data	Concent. média (Kg/m³)	Concent. med. (CM) (ppm)	Vazão líquida (m³/seg)	Sediment. em susp. (Kg/seg)	Sediment. em susp. (ton/dia)
1	21/05/96	0,00384	3,84	1,320	0,00507	0,438
2	28/05/96	0,00343	3,43	1,054	0,00362	0,312
3	04/06/96	0,00266	2,66	1,135	0,00302	0,261
4	11/06/96	0,00271	2,71	1,077	0,00292	0,252
5	18/06/96	0,00258	2,58	0,982	0,00253	0,219
6	25/06/96	0,00196	1,96	1,547	0,00303	0,262
7	01/07/96	0,00232	2,32	1,146	0,00266	0,230
8	09/07/96	0,00278	2,78	1,072	0,00298	0,257
9	16/07/96	0,00218	2,18	1,029	0,00224	0,194
10	23/07/96	0,00246	2,46	0,884	0,00217	0,188
11	30/07/96	0,00259	2,59	0,985	0,00255	0,220
12	06/08/96	0,00232	2,32	0,827	0,00192	0,166
13	13/08/96	0,00378	3,78	1,093	0,00413	0,357
14	23/08/96	0,00347	3,47	0,774	0,00269	0,232
15	27/08/96	0,00362	3,62	0,774	0,00280	0,242
16	03/09/96	0,00843	8,43	1,303	0,01098	0,949
17	10/09/96	0,00568	5,68	3,145	0,01786	1,543
18	17/09/96	0,00651	6,51	1,668	0,01086	0,938
19	20/09/96	0,00322	3,22	1,132	0,00365	0,315
20	01/10/96	0,00955	9,55	0,968	0,00924	0,799
21	08/10/96	0,00476	4,76	1,026	0,00488	0,422
22	15/10/96	0,00403	4,03	1,684	0,00679	0,586
23	22/10/96	0,00427	4,27	0,963	0,00411	0,355
24	31/10/96	0,00418	4,18	1,08	0,00451	0,390
25	05/11/96	0,00302	3,02	1,251	0,00378	0,326
26	12/11/96	0,00267	2,67	0,904	0,00241	0,209
27	19/11/96	0,00263	2,63	1,982	0,00521	0,450
28	22/11/96	0,00234	2,34	3,325	0,00778	0,672
29	25/11/96	0,00345	3,45	1,173	0,00405	0,350
30	03/12/96	0,00427	4,27	1,088	0,00465	0,401
31	05/12/96	0,00516	5,16	1,101	0,00568	0,491
32	12/12/96	0,00628	6,28	1,573	0,00988	0,853
33	18/12/96	0,00504	5,04	1,314	0,00662	0,572
34	04/01/97	0,00302	3,02	2,168	0,00655	0,566
35	08/01/97	0,00409	4,09	1,296	0,00530	0,458
36	14/01/97	0,00357	3,57	1,567	0,00559	0,483

Continua..

TABELA 3 - Cálculo da vazão sólida em suspensão da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

No.	Data	Concent. media Kg/m³	Concent. med.(CM) (ppm)	Vazão líquida (m3/seg)	Sediment. em susp. (Kg/seg)	Sediment. em susp. (ton/dia)
37	24/01/97	0,00496	4,96	2,205	0,01094	0,945
38	28/01/97	0,00359	3,59	2,224	0,00798	0,690
39	11/02/97	0,00571	5,71	1,547	0,00883	0,763
40	20/02/97	0,00436	4,36	1,475	0,00643	0,556
41	05/03/97	0,00562	5,62	1,469	0,00826	0,713
42	10/03/97	0,00316	3,16	1,415	0,00447	0,386
43	13/03/97	0,00509	5,09	1,273	0,00648	0,560
44	17/03/97	0,00552	5,52	1,338	0,00739	0,638
45	20/03/97	0,01287	12,87	1,206	0,01552	1,341
46	04/04/97	0,00433	4,33	1,171	0,00507	0,438
47	07/04/97	0,00549	5,49	1,173	0,00644	0,556

TABELA 4 - Concentrações dos sedimentos em suspensão e relações entre a concentração média padrão e as outras concentrações

Nº	DATA	CM (ppm)	CETR2 (ppm)	CETR3 (ppm)	CETR (ppm)	RCETR2 (ppm)	RCETR3 (ppm)	RCETR (ppm)
1	21/05/96	3,84	6,40	6,93	5,53	1,67	1,81	1,44
2	28/05/96	3,43	5,73	6,27	20,77	1,67	1,83	6,05
3	04/06/96	2,66	7,07	6,80	225,00	2,66	2,56	84,59
4	11/06/96	2,71	5,40	4,73	16,93	1,99	1,75	6,25
5	18/06/96	2,58	6,40	4,97	21,43	2,48	1,93	8,31
6	25/06/96	1,96	5,77	5,47	19,30	2,94	2,79	9,85
7	01/07/96	2,32	5,57	9,20	18,17	2,40	3,97	7,83
8	09/07/96	2,78	6,27	9,60	28,07	2,25	3,45	10,10
9	16/07/96	2,18	4,77	4,73	17,93	2,19	2,17	8,23
10	23/07/96	2,46	4,13	5,77	18,47	1,68	2,34	7,51
11	30/07/96	2,59	5,17	5,73	19,37	1,99	2,21	7,48
12	06/08/96	2,32	7,10	4,23	19,60	3,06	1,82	8,45
13	13/08/96	3,78	7,63	7,10	24,83	2,02	1,88	6,57
14	23/08/96	3,47	7,10	6,67	20,13	2,05	1,92	5,80
15	27/08/96	3,62	7,07	2,90	28,70	1,95	0,80	7,93
16	03/09/96	8,43	16,23	15,87	55,17	1,93	1,88	6,54
17	10/09/96	5,68	10,00	11,47	12,20	1,76	2,02	2,15
18	17/09/96	6,51	12,60	11,73	20,40	1,94	1,80	3,13
19	20/09/96	3,22	6,13	6,40	13,37	1,90	1,99	4,15

Continua.....

TABELA 4 - Concentrações dos sedimentos em suspensão e relações entre a concentração média padrão e as outras concentrações

Nº	DATA	CM (ppm)	CETR2 (ppm)	CETR3 (ppm)	CETR (ppm)	RCETR2 (ppm)	RCETR3 (ppm)	RCETR (ppm)
20	01/10/96	9,55	12,17	12,23	17,03	1,27	1,28	1,78
21	08/10/96	4,76	8,30	8,33	43,93	1,74	1,75	9,23
22	15/10/96	4,03	9,80	9,10	15,03	2,43	2,26	3,73
23	22/10/96	4,27	8,13	8,60	27,47	1,90	2,01	6,43
24	31/10/96	4,18	7,37	7,43	10,97	1,76	1,78	2,62
25	05/11/96	3,02	8,90	7,87	15,20	2,95	2,60	5,03
26	12/11/96	2,67	8,60	9,00	22,20	3,22	3,37	8,31
27	19/11/96	2,63	5,47	8,03	9,63	2,08	3,05	3,66
28	22/11/96	2,34	5,70	5,30	16,80	2,44	2,26	7,18
29	25/11/96	3,45	6,97	6,33	9,67	2,02	1,84	2,80
30	03/12/96	4,27	8,60	12,20	13,87	2,01	2,86	3,25
31	05/12/96	5,16	10,00	8,03	26,40	1,94	1,56	5,12
32	12/12/96	6,28	11,93	12,47	33,67	1,90	1,99	5,36
33	18/12/96	5,04	11,30	10,03	30,87	2,24	1,99	6,12
34	04/01/97	3,02	8,70	8,13	27,97	2,88	2,69	9,26
35	08/01/97	4,09	0,97	0,97	22,67	0,24	0,24	5,54
36	14/01/97	3,57	7,67	8,50	13,83	2,15	2,38	3,87
37	24/01/97	4,96	9,63	9,13	9,97	1,94	1,84	2,01
38	28/01/97	3,59	9,43	8,13	13,97	2,63	2,27	3,89
39	11/02/97	5,71	14,47	12,67	48,73	2,53	2,22	8,53

Continua...

TABELA 4 - Concentrações dos sedimentos em suspensão e relações entre a concentração média padrão e as outras concentrações

Nº	DATA	CM (ppm)	CETR2 (ppm)	CETR3 (ppm)	CETR (ppm)	RCETR2 (ppm)	RCETR3 (ppm)	RCETR (ppm)
40	20/02/97	4,36	8,07	8,30	11,27	1,85	1,90	2,58
41	05/03/97	5,62	6,90	10,27	14,63	1,23	1,83	2,60
42	10/03/97	3,16	9,10	8,20	11,57	2,88	2,59	3,66
43	13/03/97	5,09	9,70	8,97	30,30	1,91	1,76	5,95
44	17/03/97	5,52	9,70	9,67	37,90	1,76	1,75	6,87
45	20/03/97	12,87	12,70	11,63	18,20	0,99	0,90	1,41
46	04/04/97	4,33	8,03	7,17	26,60	1,86	1,66	6,14
47	07/04/97	5,49	8,77	8,43	27,37	1,60	1,54	4,98
Média		4,24	8,16	8,12	25,80	2,06	2,06	7,24
EPE			4,45	4,45	38,29			
ERR.PERC			54,55	54,87	148,38			

onde:

CM = Concentração média padrão, obtida pelo método descrito na seção 3.2

CETR2 = Concentração de sedimentos de uma mistura de amostras tomadas nas seções 2, 4 e 6,

CETR3 = Concentração de sedimentos de uma mistura de amostras tomadas nas seções 3, 4 e 5,

CETR = Concentração de sedimentos de uma mistura de amostras tomadas nas sete seções,

RCTR2, RCTR3 e RCTR : Relações das concentrações CETR2, CETR3 e CETR com a concentração média padrão (CM),

EPE : Erro padrão da estimativa

ERR.PER : Erro padrão da estimativa em porcentagem em relação à média

TABELA 5 - Cálculo das vazões sólidas totais da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

Nº	Data	Vazão líquida (m3/seg)	Sediment. de fundo (ton/dia)	Sediment. em susp. (ton/dia)	Sediment. totais (ton/dia)
1	21/05/96	1,320	0,017	0,438	0,455
2	28/05/96	1,054	0,016	0,312	0,328
3	04/06/96	1,135	0,005	0,261	0,266
4	11/06/96	1,077	0,002	0,252	0,254
5	18/06/96	0,982	0,005	0,219	0,224
6	25/06/96	1,547	0,002	0,262	0,264
7	01/07/96	1,146	0,007	0,230	0,237
8	09/07/96	1,072	0,006	0,257	0,263
9	16/07/96	1,029	0,006	0,194	0,200
10	23/07/96	0,884	0,003	0,188	0,191
11	30/07/96	0,985	0,004	0,220	0,224
12	06/08/96	0,827	0,006	0,166	0,172
13	13/08/96	1,093	0,004	0,357	0,361
14	23/08/96	0,774	0,004	0,232	0,236
15	27/08/96	0,774	0,005	0,242	0,247
16	03/09/96	1,303	0,005	0,949	0,954
17	10/09/96	3,145	2,097	1,543	3,640
18	17/09/96	1,668	0,057	0,938	0,995
19	20/09/96	1,132	0,005	0,315	0,320
20	01/10/96	0,968	0,007	0,799	0,806
21	08/10/96	1,026	0,006	0,422	0,428
22	15/10/96	1,684	0,166	0,586	0,752
23	22/10/96	0,963	0,005	0,355	0,360
24	31/10/96	1,080	0,038	0,390	0,428
25	05/11/96	1,251	0,037	0,326	0,363
26	12/11/96	0,904	0,003	0,209	0,212
27	19/11/96	1,982	0,031	0,450	0,481
28	22/11/96	3,325	0,476	0,672	1,148
29	25/11/96	1,173	0,008	0,350	0,358
30	03/12/96	1,088	0,013	0,401	0,414
31	05/12/96	1,101	0,008	0,491	0,499
32	12/12/96	1,573	0,040	0,853	0,893
33	18/12/96	1,314	0,008	0,572	0,580
34	04/01/97	2,168	0,021	0,566	0,587
35	08/01/97	1,296	0,008	0,458	0,466
36	14/01/97	1,567	0,039	0,483	0,522
37	24/01/97	2,205	0,219	0,945	1,164

Continua...

TABELA 5 - Cálculo das vazões sólidas totais da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

No.	Data	Vazão líquida (m³/seg)	Sediment. de fundo (ton/dia)	Sediment. em susp. (ton/dia)	Sediment. totais (ton/dia)
38	28/01/97	2,224	0,028	0,690	0,718
39	11/02/97	1,547	0,007	0,763	0,770
40	20/02/97	1,475	0,089	0,556	0,645
41	05/03/97	1,469	0,017	0,713	0,730
42	10/03/97	1,415	0,006	0,386	0,392
43	13/03/97	1,273	0,002	0,560	0,562
44	17/03/97	1,338	0,007	0,638	0,645
45	20/03/97	1,206	0,005	1,341	1,346
46	04/04/97	1,171	0,006	0,438	0,444
47	07/04/97	1,173	0,003	0,556	0,559

TABELA 6 - Diâmetros representativos do material do leito (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

Nº	DATA	D10 (mm)	D30 (mm)	D35 (mm)	D50 (mm)	D60 (mm)	D65 (mm)	D90 (mm)
1	14/05/96	0,210	0,285	0,308	0,346	0,371	0,384	0,533
2	21/05/96	0,242	0,328	0,339	0,376	0,402	0,414	0,589
3	28/05/96	0,238	0,316	0,330	0,365	0,395	0,400	0,563
4	04/06/96	0,219	0,309	0,329	0,377	0,403	0,431	0,715
5	11/06/96	0,233	0,316	0,327	0,363	0,387	0,400	0,560
6	18/06/96	0,279	0,363	0,375	0,428	0,483	0,508	0,752
7	25/06/96	0,238	0,322	0,332	0,368	0,395	0,404	0,578
8	01/07/96	0,309	0,437	0,479	0,610	0,694	0,740	1,566
9	09/07/96	0,248	0,328	0,352	0,393	0,419	0,456	0,680
10	16/07/96	0,252	0,349	0,376	0,442	0,503	0,537	1,080
11	23/07/96	0,19	0,285	0,305	0,349	0,372	0,392	0,584
12	30/07/96	0,279	0,386	0,413	0,504	0,567	0,596	1,025
13	06/08/96	0,215	0,303	0,479	0,354	0,378	0,392	0,540
14	13/08/96	0,219	0,303	0,318	0,362	0,379	0,405	0,572
15	23/08/96	0,242	0,322	0,335	0,375	0,402	0,414	0,591
16	27/08/96	0,194	0,316	0,328	0,378	0,402	0,438	0,747
17	03/09/96	0,252	0,349	0,372	0,435	0,503	0,546	1,195
18	10/09/96	0,224	0,322	0,338	0,384	0,418	0,441	0,644
19	17/09/96	0,202	0,291	0,307	0,354	0,378	0,400	0,568
20	20/09/96	0,233	0,316	0,334	0,375	0,402	0,417	0,598
21	01/10/96	0,215	0,303	0,316	0,359	0,378	0,402	0,568
22	08/10/96	0,233	0,316	0,324	0,365	0,387	0,406	0,568
23	22/10/96	0,248	0,336	0,362	0,419	0,463	0,503	0,738
24	31/10/96	0,233	0,328	0,353	0,410	0,473	0,504	0,794
25	05/11/96	0,194	0,274	0,298	0,344	0,371	0,390	0,577

Continua...

TABELA 6 - Diâmetros representativos do material do leito (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

Nº	DATA	D10 (mm)	D30 (mm)	D35 (mm)	D50 (mm)	D60 (mm)	D65 (mm)	D90 (mm)
26	12/11/96	0,191	0,283	0,303	0,348	0,377	0,393	0,556
27	19/11/96	0,236	0,321	0,340	0,384	0,417	0,441	0,682
28	22/11/96	0,32	0,409	0,433	0,496	0,534	0,559	0,827
29	25/11/96	0,255	0,304	0,358	0,402	0,435	0,464	0,588
30	03/12/96	0,221	0,314	0,327	0,372	0,401	0,417	0,615
31	05/12/96	0,236	0,327	0,351	0,399	0,445	0,474	0,708
32	12/12/96	0,231	0,314	0,331	0,375	0,401	0,418	0,65
33	18/12/96	0,212	0,327	0,346	0,397	0,435	0,461	0,582
34	04/01/97	0,16	0,208	0,222	0,268	0,301	0,32	0,462
35	08/01/97	0,314	0,393	0,424	0,498	0,534	0,572	1,240
36	14/01/96	0,277	0,362	0,382	0,444	0,502	0,531	0,810
37	24/01/97	0,097	0,156	0,169	0,201	0,245	0,264	0,587
38	28/01/97	0,245	0,348	0,372	0,436	0,482	0,516	1,147
39	11/02/97	0,289	0,362	0,378	0,432	0,482	0,515	0,774
40	20/02/97	0,289	0,355	0,376	0,427	0,482	0,52	0,783
41	05/03/97	0,241	0,327	0,346	0,392	0,427	0,459	0,690
42	10/03/97	0,314	0,393	0,416	0,511	0,581	0,614	1,332
43	13/03/97	0,306	0,393	0,418	0,507	0,568	0,597	1,175
44	17/03/97	0,220	0,321	0,330	0,377	0,414	0,431	0,646
45	20/03/97	0,283	0,369	0,387	0,460	0,535	0,556	0,928
46	04/04/97	0,241	0,340	0,353	0,402	0,440	0,482	0,743
47	07/04/97	0,236	0,320	0,341	0,387	0,427	0,448	0,670

TABELA 7 - Vazões sólidas de fundo medidas e vazões sólidas de fundo calculadas pelos diferentes métodos de estimativa indireta da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

Nº	Data	Vazão sólida medida (ton/dia)	Método de estimativa indireta				
			Meyer Peter (ton/dia)	Einstein -1950 (ton/dia)	Toffaleti (ton/dia)	Einstein Abdel (ton/dia)	Van Rijn simplific. (ton/dia)
1	14/05/96	0,022	0,000	0,000	0,000	0,003	0,070
2	21/05/96	0,017	0,000	0,100	0,001	0,070	0,180
3	28/05/96	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,050
4	04/06/96	0,005	0,000	0,020	0,000	0,019	0,080
5	11/06/96	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,040
6	18/06/96	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,030
7	25/06/96	0,002	0,234	0,590	0,044	0,588	0,520
8	01/07/96	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,100
9	09/07/96	0,006	0,000	0,000	0,000	0,003	0,070
10	16/07/96	0,006	0,000	0,000	0,000	0,003	0,060
11	23/07/96	0,003	0,000	0,000	0,001	0,000	0,010
12	30/07/96	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,030
13	06/08/96	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14	13/08/96	0,004	0,000	0,010	0,000	0,005	0,060
15	23/08/96	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16	27/08/96	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010
17	03/09/96	0,005	0,000	0,080	0,001	0,083	0,260
18	10/09/96	2,097	5,910	9,920	0,022	9,898	4,150
19	17/09/96	0,057	0,740	1,060	0,003	1,058	0,630
20	20/09/96	0,005	0,000	0,040	0,001	0,044	0,110
21	01/10/96	0,007	0,000	0,000	0,001	0,001	0,030
22	08/10/96	0,006	0,000	0,000	0,005	0,001	0,040
23	15/10/96	0,166	0,480	0,970	0,003	0,967	0,770
24	22/10/96	0,005	0,000	0,000	0,001	0,002	0,030
25	31/10/96	0,038	0,000	0,040	0,003	0,036	0,120
26	05/11/96	0,037	0,000	0,000	0,008	0,270	0,250
27	12/11/96	0,003	0,000	0,000	0,006	0,001	0,010
28	19/11/96	0,031	1,570	2,690	0,002	2,689	1,350
29	22/11/96	0,476	8,960	30,280	0,007	30,279	6,500
30	25/11/96	0,008	0,000	0,060	0,001	0,061	0,150
31	03/12/96	0,013	0,000	0,020	0,002	0,022	0,070
32	05/12/96	0,008	0,000	0,020	0,001	0,019	0,090
33	12/12/96	0,040	0,220	0,580	0,002	0,581	0,460
34	18/12/96	0,008	0,000	0,210	0,001	0,213	0,220
35	04/01/97	0,021	1,580	1,690	0,003	1,692	0,710
36	08/01/97	0,008	0,000	0,040	0,002	0,041	0,270

Continua...

TABELA 7 - Vazões sólidas de fundo medidas e vazões sólidas de fundo calculadas pelos diferentes métodos de estimativa indireta da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

No	Data	Vazão sólida medida (ton/dia)	Método de estimativa indireta				
			Meyer Peter (ton/dia)	Einstein -1950 (ton/dia)	Toffaleti (ton/dia)	Einstein Abdel (ton/dia)	Van Rijn simplific. (ton/dia)
37	14/01/97	0,039	0,000	0,560	0,002	0,560	0,580
38	24/01/97	0,219	4,810	9,670	0,019	9,671	2,130
39	28/01/97	0,028	1,250	2,180	0,002	2,176	1,360
40	11/02/97	0,007	0,000	0,230	0,000	0,228	0,290
41	20/02/97	0,089	0,000	0,210	0,000	0,213	0,310
42	05/03/97	0,017	0,000	0,350	0,001	0,352	0,350
43	10/03/97	0,006	0,000	0,070	0,067	0,067	0,360
44	13/03/97	0,002	0,000	0,010	0,008	0,008	0,160
45	17/03/97	0,007	0,000	0,140	0,138	0,138	0,170
46	20/03/97	0,005	0,000	0,010	0,009	0,009	0,110
47	04/04/97	0,006	0,000	0,040	0,040	0,040	0,130
48	07/04/97	0,003	0,000	0,020	0,017	0,017	0,070

TABELA 8 - Relações entre as vazões de fundo calculadas e as vazões de fundo medidas da seção transversal em estudo (Ribeirão do feijão/São Carlos/SP)

<i>Nº</i>	<i>Data</i>	<i>Qb1/Qbm</i>	<i>Qb2/Qbm</i>	<i>Qb3/Qbm</i>	<i>Qb4/Qbm</i>	<i>Qb5/Qbm</i>
1	14/05/96	0,00	0,00	0,00	0,14	3,17
2	21/05/96	0,00	5,99	0,06	4,19	10,78
3	28/05/96	0,00	0,00	0,00	0,00	3,16
4	06/04/96	0,00	3,92	0,00	3,73	15,69
5	06/11/96	0,00	0,00	0,00	0,00	17,39
6	18/06/96	0,00	0,00	0,00	0,00	6,25
7	25/06/96	106,36	268,18	20,00	267,27	236,36
8	07/01/96	0,00	0,00	0,00	0,00	14,08
9	07/09/96	0,00	0,00	0,00	0,48	11,11
10	16/07/96	0,00	0,00	0,00	0,53	10,53
11	23/07/96	0,00	0,00	0,38	0,00	3,85
12	30/07/96	0,00	0,00	0,00	0,00	7,50
13	08/06/96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	13/08/96	0,00	2,56	0,00	1,28	15,38
15	23/08/96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	27/08/96	0,00	0,00	0,00	0,00	1,92
17	09/03/96	0,00	17,78	0,22	18,44	57,78
18	09/10/96	2,82	4,73	0,01	4,72	1,98
19	17/09/96	13,07	18,73	0,05	18,69	11,13
20	20/09/96	0,00	8,51	0,21	9,36	23,40
21	10/01/96	0,00	0,00	0,14	0,14	4,29
22	10/08/96	0,00	0,00	0,81	0,16	6,45
23	15/10/96	2,89	5,84	0,02	5,82	4,64
24	22/10/96	0,00	0,00	0,19	0,37	5,56
25	31/10/96	0,00	1,07	0,08	0,96	3,20
26	11/05/96	0,00	0,00	0,22	7,36	6,81
27	11/12/96	0,00	0,00	1,82	0,30	3,03
28	19/11/96	51,14	87,62	0,07	87,59	43,97
29	22/11/96	18,84	63,67	0,01	63,66	13,67
30	25/11/96	0,00	7,59	0,13	7,72	18,99
31	12/03/96	0,00	1,52	0,15	1,67	5,30
32	12/05/96	0,00	2,47	0,12	2,35	11,11
33	12/12/96	5,45	14,36	0,05	14,38	11,39
34	18/12/96	0,00	25,30	0,12	25,66	26,51
35	01/04/97	74,18	79,34	0,14	79,44	33,33
36	08/01/97	0,00	5,06	0,25	5,19	34,18

Continua.....

TABELA 8 - Relações entre as vazões de fundo calculadas e as vazões de fundo medidas da seção transversal em estudo (Ribeirão do feijão/São Carlos/SP)

No	Data	Qb1/Qbm	Qb2/Qbm	Qb3/Qbm	Qb4/Qbm	Qb5/Qbm
37	14/01/97	0,00	14,25	0,05	14,25	14,76
38	24/01/97	21,95	44,14	0,09	44,14	9,72
39	28/01/97	44,33	77,30	0,07	77,16	48,23
40	11/02/97	0,00	31,94	0,00	31,67	40,28
41	20/02/97	0,00	2,36	0,00	2,40	3,49
42	05/03/97	0,00	20,11	0,06	20,23	20,11
43	10/03/97	0,00	10,94	10,47	10,47	56,25
44	13/03/97	0,00	4,17	3,33	3,33	66,67
45	17/03/97	0,00	20,29	20,00	20,00	24,64
46	20/03/97	0,00	1,89	1,70	1,70	20,75
47	04/04/97	0,00	7,02	7,02	7,02	22,81
48	07/04/97	0,00	7,14	6,07	6,07	25,00
Média		7,10	18,04	1,55	18,12	21,59
Desvio Padrão		20,64	130,87	10,58	42,71	35,53
Valor máximo		106,36	268,18	20,00	267,27	236,36
Valor mínimo		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Qbm = Vazão sólida de fundo medida

Qb1 = Vazão sólida de fundo calculada pelo método de MEYER-PETER & MÜLLER (1948)

Qb2 = Vazão sólida de fundo calculada pelo método de EINSTEIN (1950)

Qb3 = Vazão sólida de fundo calculada pelo método de TOFFALETI (1969)

Qb4 = Vazão sólida de fundo calculada pelo método de EINSTEIN & ABDEL (-1972)

Qb5=Vazão sólida de fundo medida pelo método de VAN RIJN simplificado (1984c)

TABELA 9 - Vazões sólidas totais medidas e vazões sólidas totais calculadas pelos diferentes métodos de estimativa indireta (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

Nº	Data	Vaz. sólida total medida	Vaz. sólida total calculada pelo método de:		
			Laursen (ton/dia)	Einstein Abdel (ton/dia)	Ackers e White (ton/dia)
1	21/05/96	0,455	0,059	0,070	4,249
2	28/05/96	0,328	0,000	0,000	1,865
3	04/06/96	0,266	0,000	0,019	3,484
4	11/06/96	0,254	0,000	0,000	1,578
5	18/06/96	0,224	0,000	0,000	0,588
6	25/06/96	0,264	0,680	0,588	8,466
7	01/07/96	0,237	0,015	0,000	0,948
8	09/07/96	0,263	0,001	0,003	1,812
9	16/07/96	0,200	0,000	0,003	1,302
10	23/07/96	0,191	0,000	0,000	2,542
11	30/07/96	0,224	0,000	0,000	0,883
12	06/08/96	0,172	0,000	0,000	0,584
13	13/08/96	0,361	0,000	0,005	3,460
14	23/08/96	0,236	0,000	0,000	0,267
15	27/08/96	0,247	0,000	0,000	1,032
16	03/09/96	0,954	0,704	0,083	5,066
17	10/09/96	3,640	14,149	9,919	153,927
18	17/09/96	0,995	1,343	1,058	32,104
19	20/09/96	0,320	0,035	0,044	2,635
20	01/10/96	0,806	0,000	0,001	1,241
21	08/10/96	0,428	0,000	0,001	5,134
22	15/10/96	0,752	0,578	0,967	12,718
23	22/10/96	0,360	0,000	0,002	0,570
24	31/10/96	0,428	0,060	0,036	1,698
25	05/11/96	0,363	0,329	0,270	7,390
26	12/11/96	0,212	0,000	0,001	0,639
27	19/11/96	0,481	0,967	2,689	21,278
28	22/11/96	1,148	7,794	30,984	48,189
29	25/11/96	0,358	0,049	0,061	2,386
30	03/12/96	0,414	0,023	0,022	2,377
31	05/12/96	0,499	0,025	0,019	2,076
32	12/12/96	0,893	0,346	0,581	11,065
33	18/12/96	0,580	0,410	0,213	9,644
34	04/01/97	0,587	2,751	1,692	104,010
35	08/01/97	0,466	0,021	0,041	1,331
36	14/01/97	0,522	0,215	0,560	5,720
37	24/01/97	1,164	24,628	9,752	987,854

Continua...

TABELA 9 - Vazões sólidas totais medidas e vazões sólidas totais medidas pelos diferentes métodos de estimativa indireta (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

Nº	Data	Vaz. sólida total medida (ton/dia)	Vazão sólida total calculada pelo método de		
			Laursen (ton/dia)	Einstein Abdel (ton/dia)	Ackers e White (ton/dia)
38	28/01/97	0,718	1,308	2,176	30,009
39	11/02/97	0,770	0,015	0,228	2,891
40	20/02/97	0,645	0,035	0,213	4,152
41	05/03/97	0,730	0,098	0,352	6,468
42	10/03/97	0,392	0,011	0,067	2,070
43	13/03/97	0,562	0,013	0,008	1,287
44	17/03/97	0,645	0,100	0,138	5,718
45	20/03/97	1,346	0,006	0,009	3,494
46	04/04/97	0,444	0,000	0,040	4,505
47	07/04/97	0,559	0,000	0,017	2,408

TABELA 10 - Relações entre as vazões totais medidas e as vazões totais calculadas pelos diferentes métodos de estimativa indireta (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

<i>Nº</i>	<i>Data</i>	<i>Qst1/Qstm</i>	<i>Qst2/Qstm</i>	<i>Qst3/Qstm</i>
1	21/05/96	0,13	0,15	9,34
2	28/05/96	0,00	0,00	5,69
3	04/06/96	0,00	0,07	13,10
4	11/06/96	0,00	0,00	6,21
5	18/06/96	0,00	0,00	2,63
6	25/06/96	2,58	2,23	32,07
7	01/07/96	0,06	0,00	4,00
8	09/07/96	0,00	0,01	6,89
9	16/07/96	0,00	0,02	6,51
10	23/07/96	0,00	0,00	13,31
11	30/07/96	0,00	0,00	3,94
12	06/08/96	0,00	0,00	3,40
13	13/08/96	0,00	0,01	9,58
14	23/08/96	0,00	0,00	1,13
15	27/08/96	0,00	0,00	4,18
16	03/09/96	0,74	0,09	5,31
17	10/09/96	3,89	2,73	42,29
18	17/09/96	1,35	1,06	32,27
19	20/09/96	0,11	0,14	8,23
20	01/10/96	0,00	0,00	1,54
21	08/10/96	0,00	0,00	12,00
22	15/10/96	0,77	1,29	16,91
23	22/10/96	0,00	0,01	1,58
24	31/10/96	0,14	0,08	3,97
25	05/11/96	0,91	0,74	20,36
26	12/11/96	0,00	0,00	3,01
27	19/11/96	2,01	5,59	44,24
28	22/11/96	6,79	26,99	41,98
29	25/11/96	0,14	0,17	6,66
30	03/12/96	0,06	0,05	5,74
31	05/12/96	0,05	0,04	4,16
32	12/12/96	0,39	0,65	12,39
33	18/12/96	0,71	0,37	16,63
34	04/01/97	4,69	2,88	177,19
35	08/01/97	0,05	0,09	2,86
36	14/01/97	0,41	1,07	10,96
37	24/01/97	21,16	8,38	848,67

Continua...

TABELA 10 - Relações entre as vazões totais medidas e as vazões totais calculadas pelos diferentes métodos de estimativa indireta (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

<i>Nº</i>	<i>Data</i>	<i>Qst1/Qstm</i>	<i>Qst2/Qstm</i>	<i>Qst3/Qstm</i>
38	28/01/97	1,82	3,03	41,80
39	11/02/97	0,02	0,30	3,75
40	20/02/97	0,05	0,33	6,44
41	05/03/97	0,13	0,48	8,86
42	10/03/97	0,03	0,17	5,28
43	13/03/97	0,02	0,01	2,29
44	17/03/97	0,16	0,21	8,87
45	20/03/97	0,00	0,01	2,60
46	04/04/97	0,00	0,09	10,15
47	07/04/97	0,00	0,03	4,31
Média		1,05	1,27	32,66
Desvio Padrão		3,289	1,268	124,548
Valor máximo		4,69	26,99	848,67
Valor mínimo		0,00	0,00	1,13

Qst1= Vazão sólida total calculada pelo método de LAURSEN (1958)

Qst2= Vazão sólida total calculada pelo método de EINSTEIN & ABDEL (-1972)

Qst3= Vazão sólida total calculada pelo método de ACKERS & WHITE (-1973)

**TABELA 11- VALORES DE "r" COMPREENDIDOS NAS FAIXAS, DE: 0,1 A 10; 0,2 A 5 E DE 0,5 A 2
(RIBEIRÃO DO FEIJÃO/SÃO CARLOS/SP)**

Sedimentos de Fundo Métodos	Nro. de valores de "r" compreendidos entre:					
	0,1 < r < 10		0,2 < r < 5		0,5 < r < 2	
	Nro. de valores	% do Total	Nro. de valores	% do Total	Nro. de valores	% do Total
M. PETER & MÜLLER (1948)	3	6,25	0	0,00	0	0,00
EINSTEIN (1950)	16	33,33	9	18,75	3	6,25
TOFFALETI (1969)	18	37,50	9	18,75	4	8,33
EINSTEIN & ABDEL (1972)	24	50,00	10	20,83	4	8,33
VAN RIJN (SIMPLIFICADO)	17	35,42	10	20,83	2	4,17

Sedimentos Totais Métodos	Nro. de valores de "r" compreendidos entre:					
	0,1 < r < 10		0,2 < r < 5		0,5 < r < 2	
	Nro. de valores	% do Total	Nro. de valores	% do Total	Nro. de valores	% do Total
LAURSEN (1958)	19	39,58	11	22,92	4	8,33
EINSTEIN & ABDEL (1972)	20	41,67	13	27,08	5	10,42
ACKERS & WHITE (1973)	30	62,50	14	29,17	3	6,25

* Onde: $r = \text{Vazão sólida calculada (pelos diferentes metodos) / Vazão sólida medida}$
Número de ensaios = 48

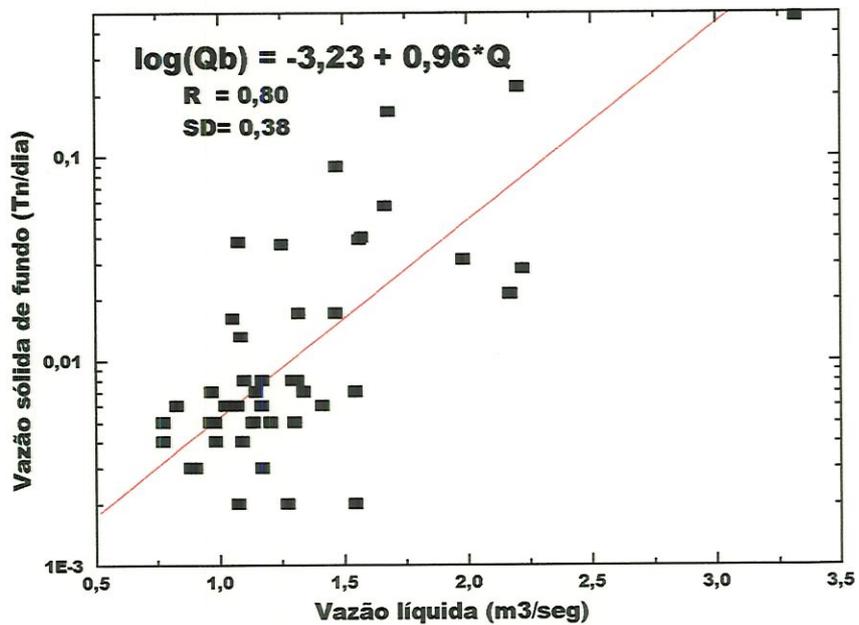


Fig. 5a.1 - Vazão sólida de fundo contra vazão líquida (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

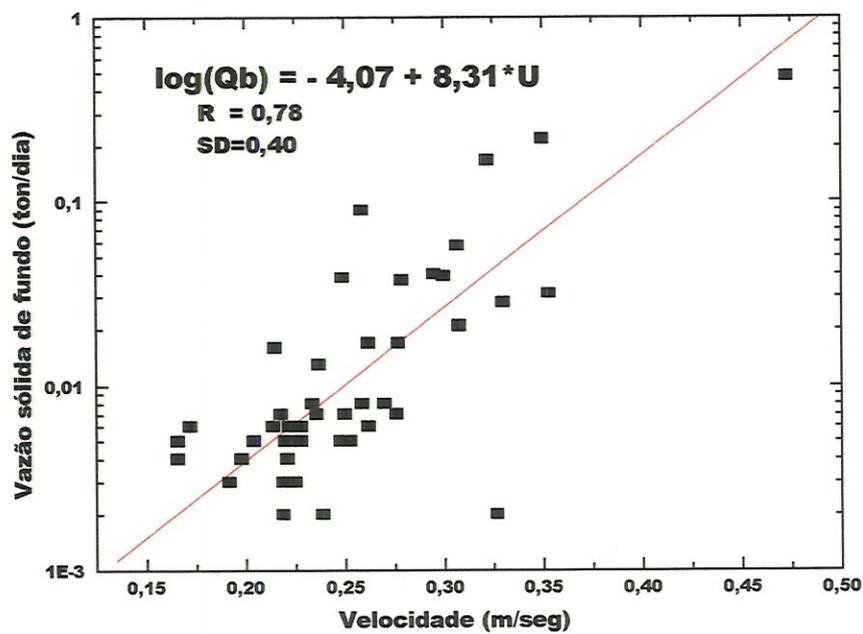


Fig. 5a.2 - Vazão sólida de fundo contra velocidade (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

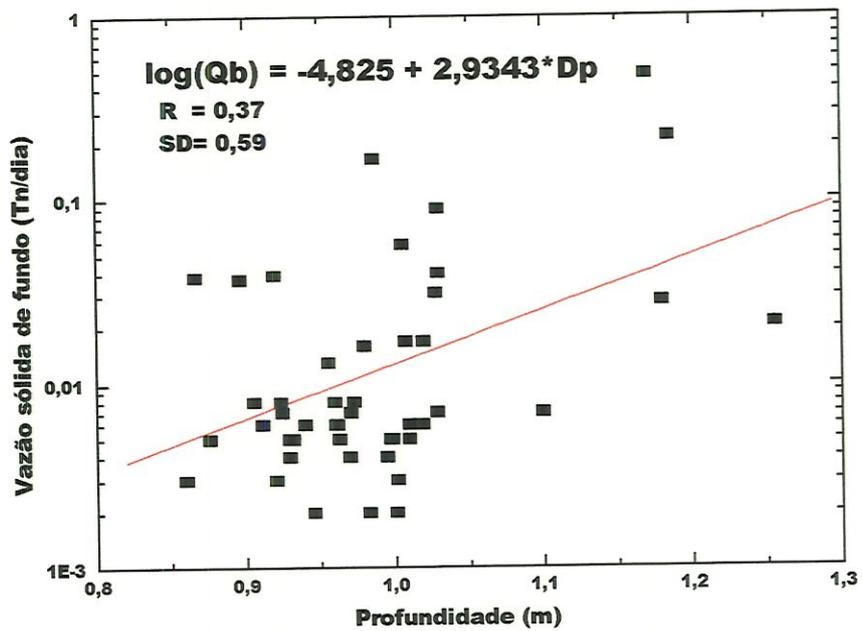


Fig. 5a.3 - Vazão sólida de fundo contra Profundidade (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

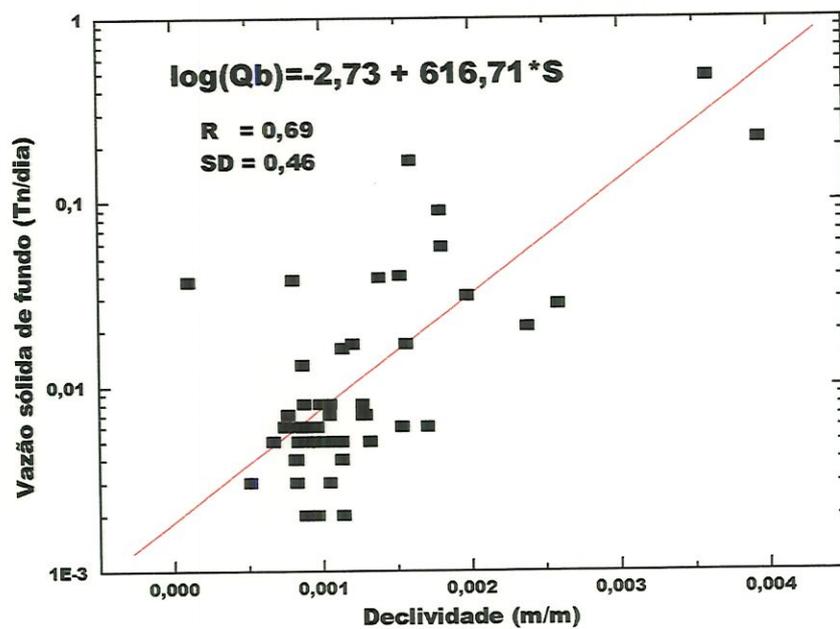
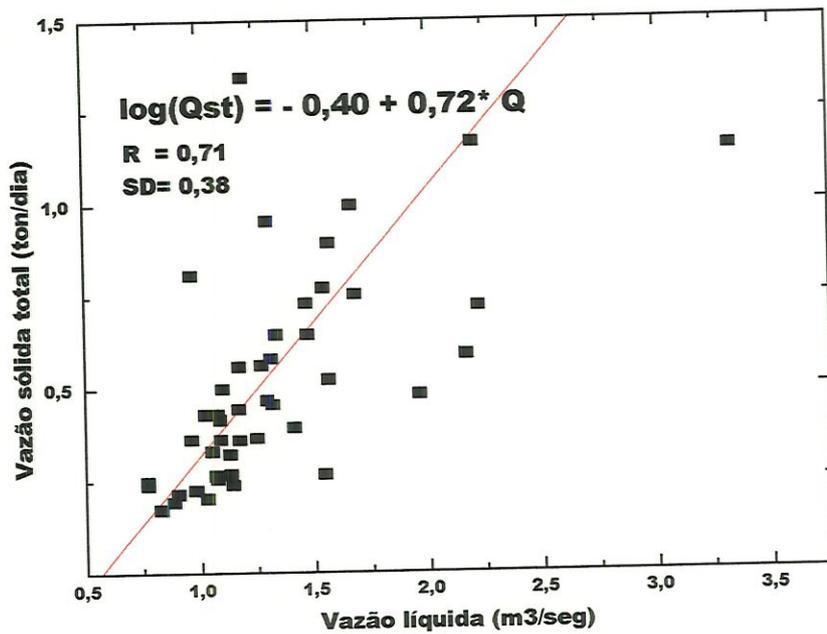
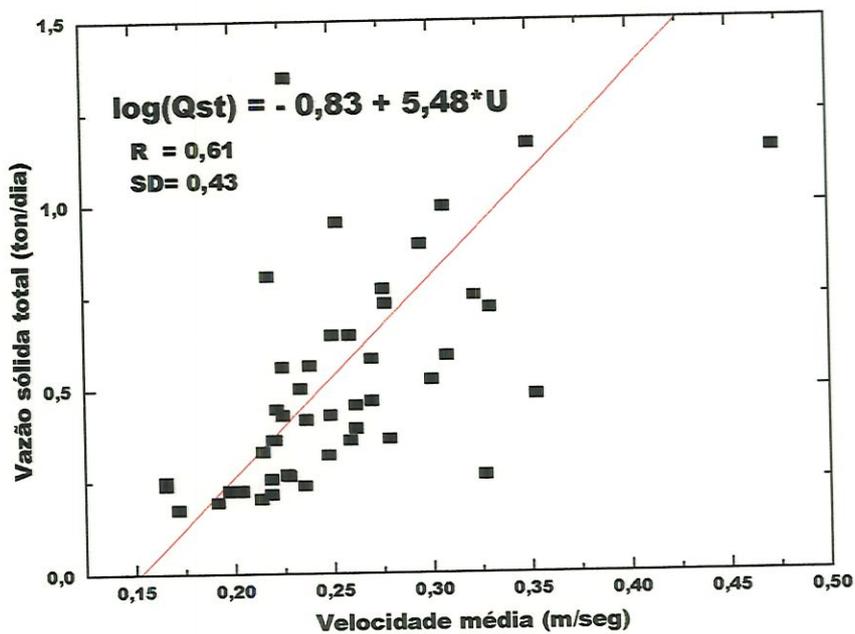


Fig. 5a.4 - Vazão sólida de fundo contra declividade (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).



**Fig. 5a.5 - Vazão sólida total contra Vazão líquida
(Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)**



**Fig. 5a.6 - Vazão sólida total contra Velocidade média
(Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)**

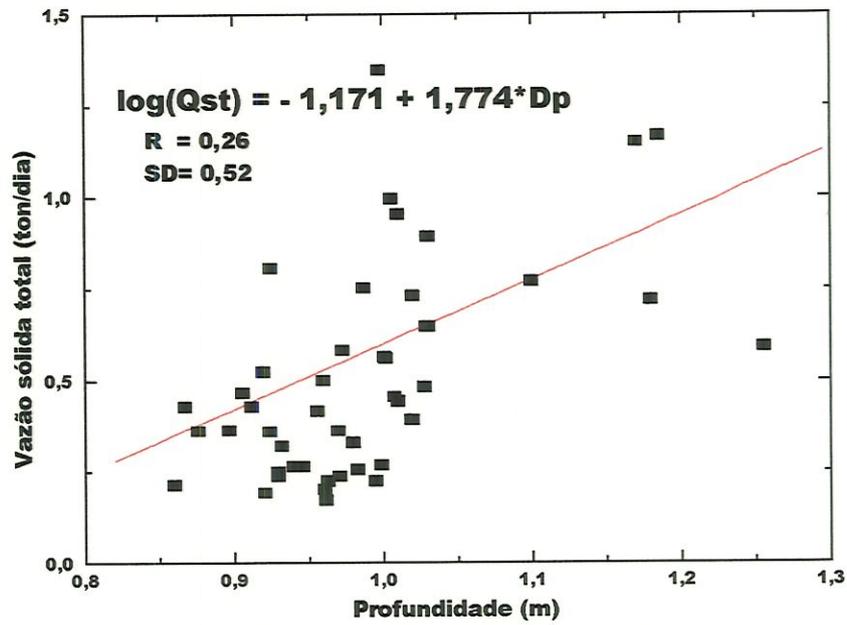


Fig. 5a.7 - Vazão sólida total contra Profundidade (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

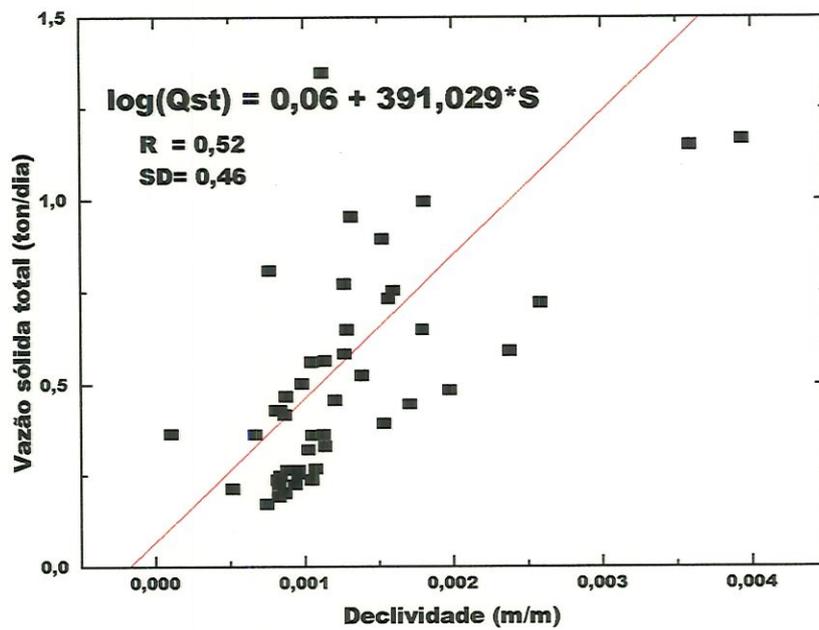


Fig. 5a.8 - Vazão sólida total contra declividade (Ribeirão do Feijão)

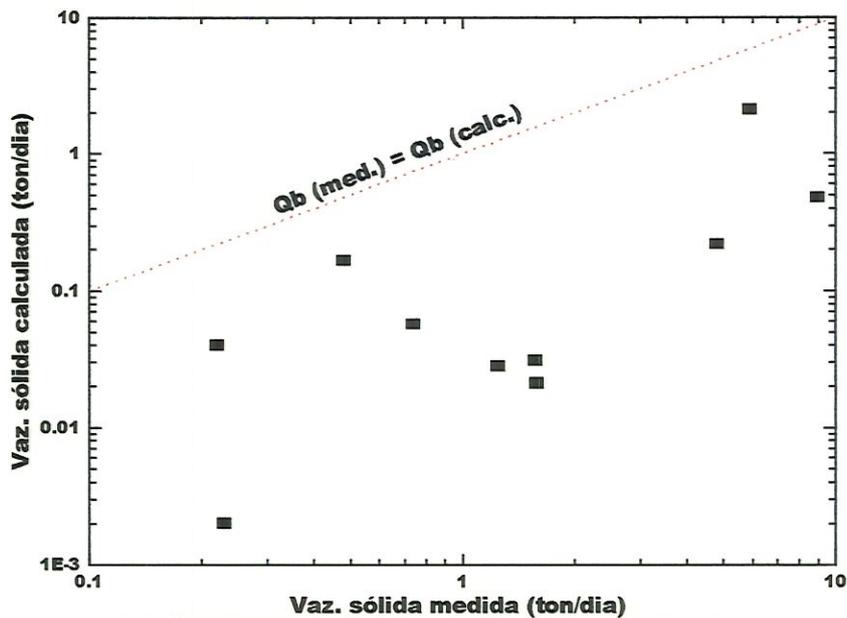


Fig. 5b.1 - Vazão sólida de fundo calculada pelo método de MEYER-PETER & MÜLLER (1948) contra vazão sólida medida (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

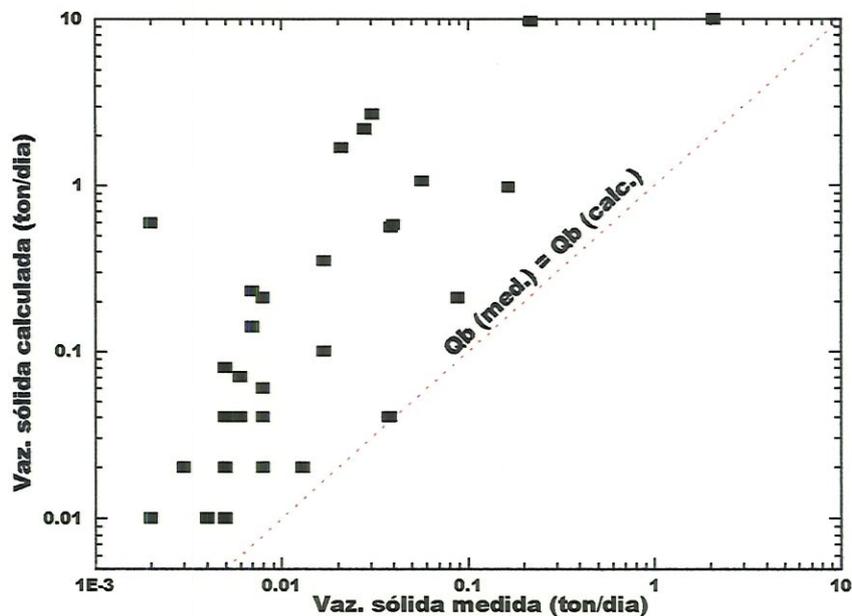
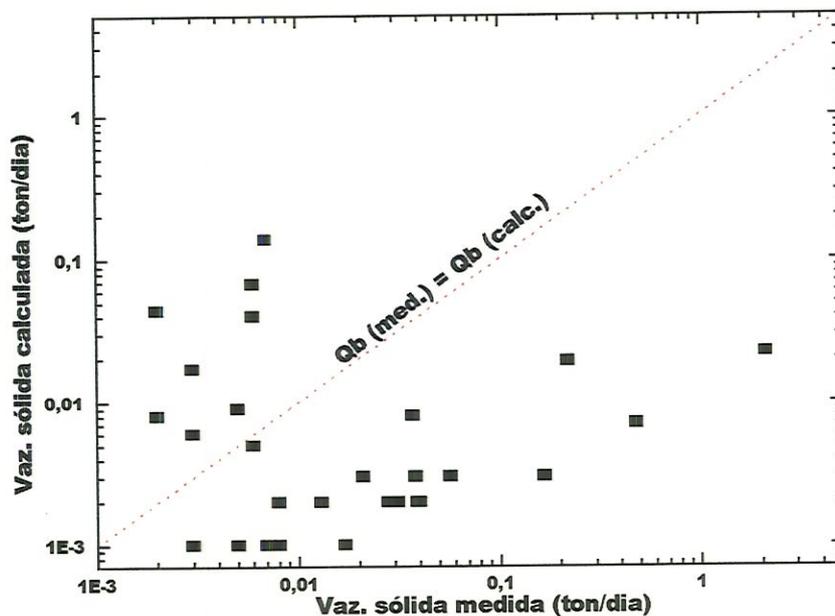


Fig. 5b.2 - Vazão sólida de fundo calculada pelo método de EINSTEIN (1950) contra vazão sólida de fundo medida (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)



5b.3 - Vazão sólida de fundo calculada pelo método de TOFFALETI (1969) contra vaz. sólida de fundo medida (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

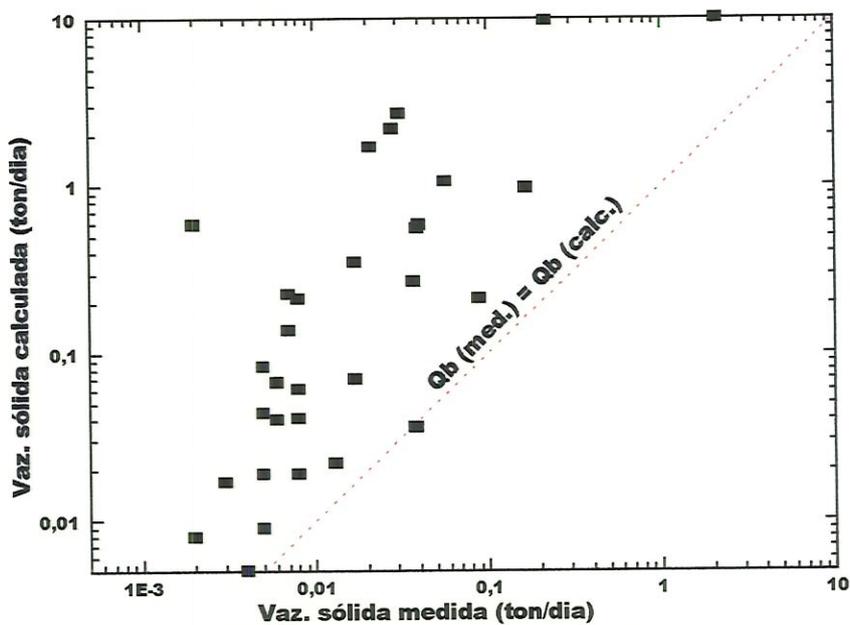


Fig. 5b.4 - Vazão sólida de fundo calculada pelo método de EINSTEIN & ABDEL (1972) contra vazão sólida medida (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

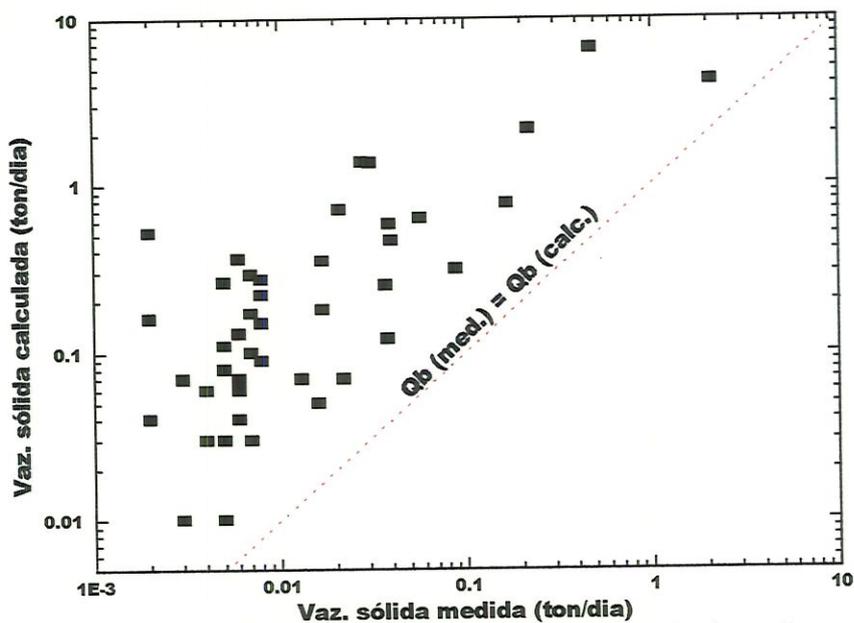


Fig. 5b.5 - Vazão sólida de fundo calculada pelo método de VAN RIJN simp.(1984c) contra vaz. sólida de fundo medida (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

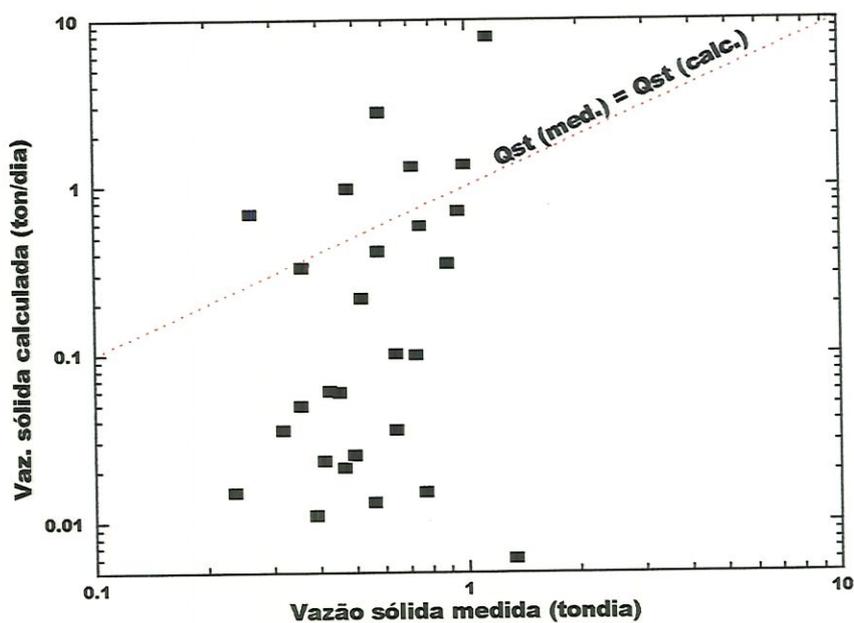


Fig. 5b.6 - Vazão sólida total calculada pelo método de LAURSEN (1958) contra vazão sólida total medida (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

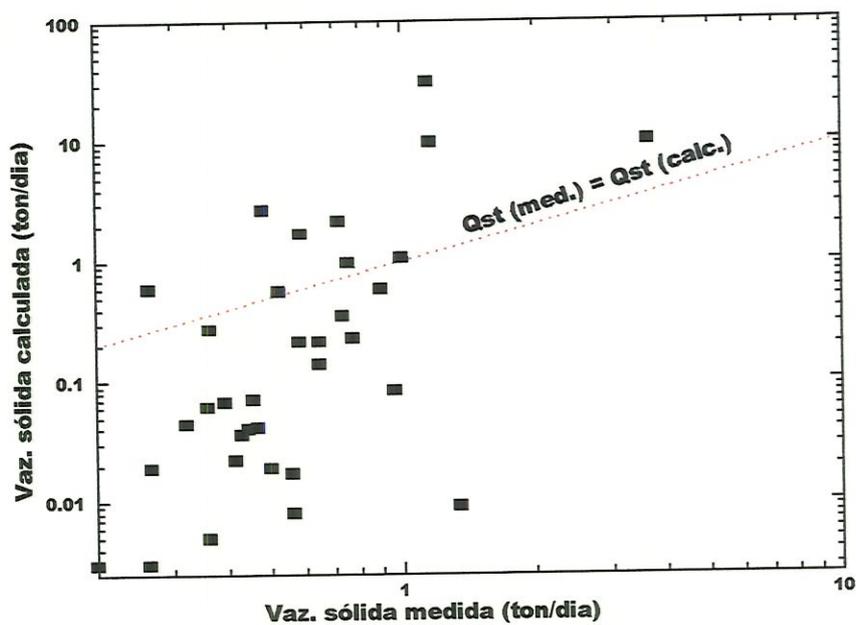


Fig. 5b.7 Vazão sólida total calculada pelo método de EINSTEIN & ABDEL (1972) contra vazão sólida total medida; ribeirão do Feijão/São Carlos/SP

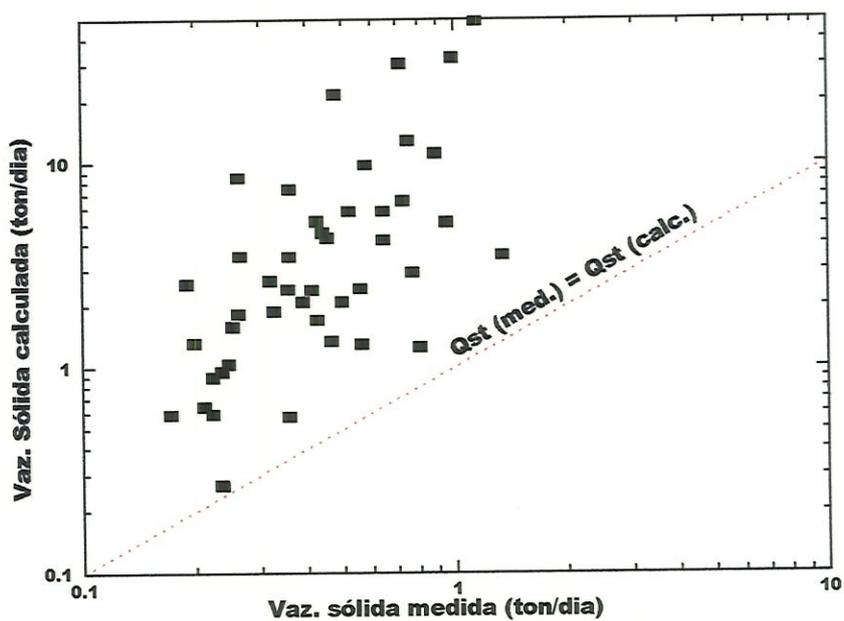


Fig. 5b.8 - Vazão sólida total calculada pelo método de ACKERS & WHITE (1973) contra vazão sólida total medida (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

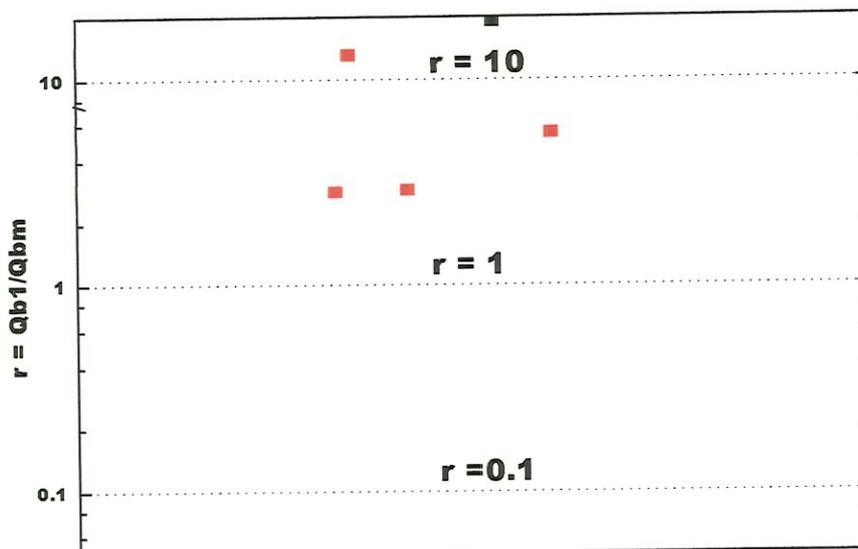


Fig. 5c.1- Valores de r dentro da faixa de: $0,1 < r < 10$
 Q_{bm} : Vazão sólida de fundo medida; Q_{b1} : V. S. de
fundo calculada pelo método de MEYER-PETER &
MÜLLER (1948); (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).

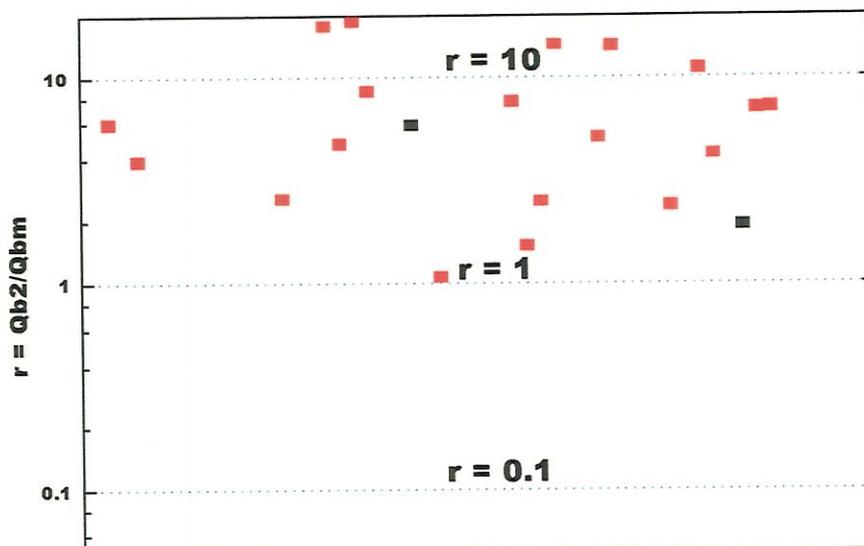


Fig. 5c.2 -Valores de r dentro da faixa de: $0,1 < r < 10$
 Q_{bm} : vazão sólida de fundo medida, Q_{b2} : V. S. de
fundo calculada pelo método de EINSTEIN (1950);
(Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).

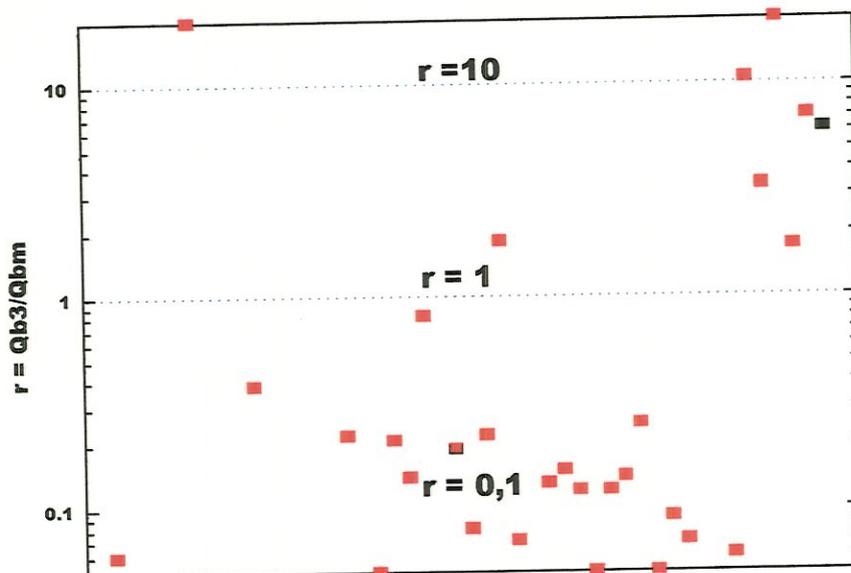


Fig. 5c.3 - Valores de r dentro da faixa de: $0,1 < r < 10$
 Qbm : vazão sólida de fundo medida, $Qb2$: V.S. de
fundo calculada pelo método de TOFFALETI (1969);
(Ribeirão do Feijão- São Carlos/SP)

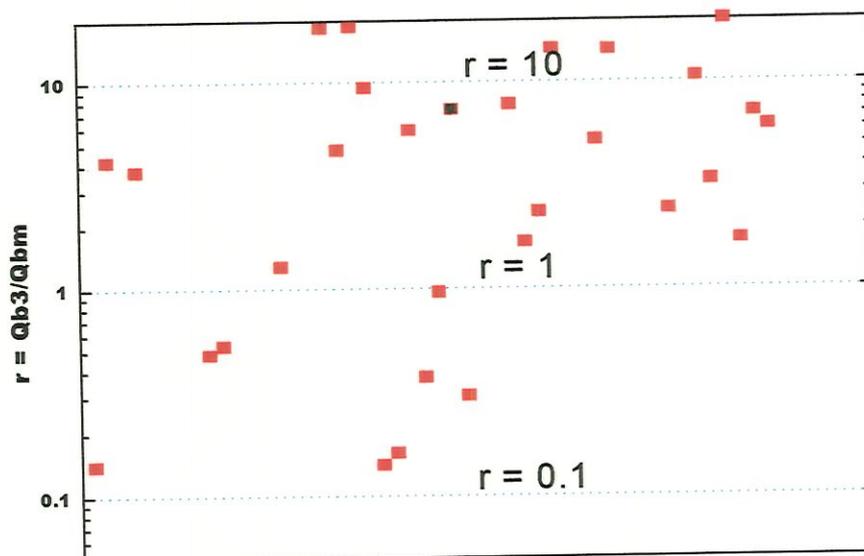


Fig. 5c.4 -Valores de r dentro da faixa de: $0,1 < r < 10$
 Qbm : vazão sólida de fundo medida; $Qb1$: V. S. de
fundo calculada pelo método de EINSTEIN & ABDEL
(1972); (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

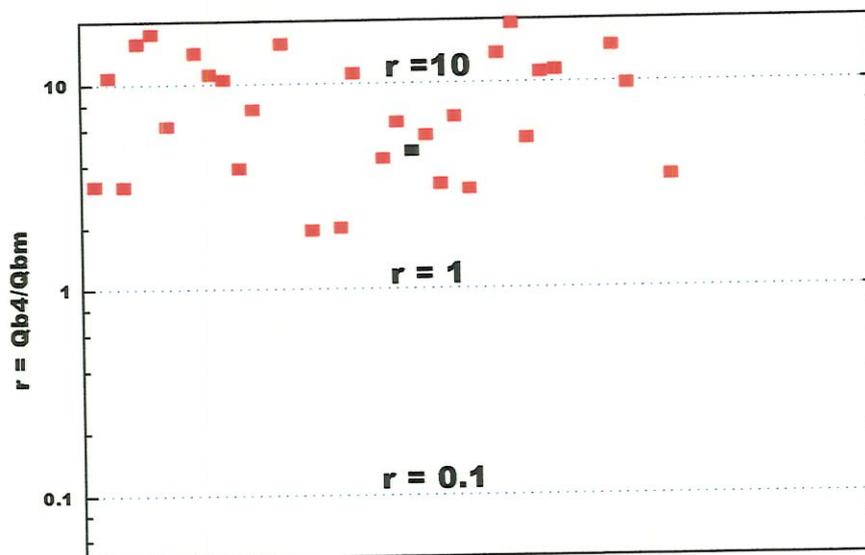


Fig. 5c.5 -Valores de r dentro da faixa de: $0,1 < r < 10$
Qbm: vazão sólida de fundo medida; Qb4: V. S. de
fundo calculada pelo método de VAN RIJN simplif.
(1984c); (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).

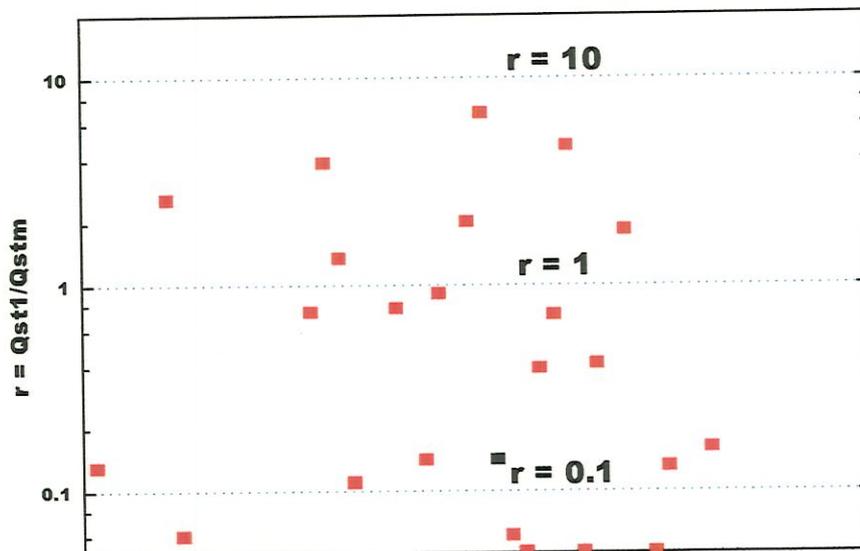


Fig. 5c.6 -Valores de r dentro da faixa de: $0,1 < r < 10$
Qstm: vazão sólida total medida; Qst1: V. S. total
calculada pelo método de LAURSEN (1958);
(Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).

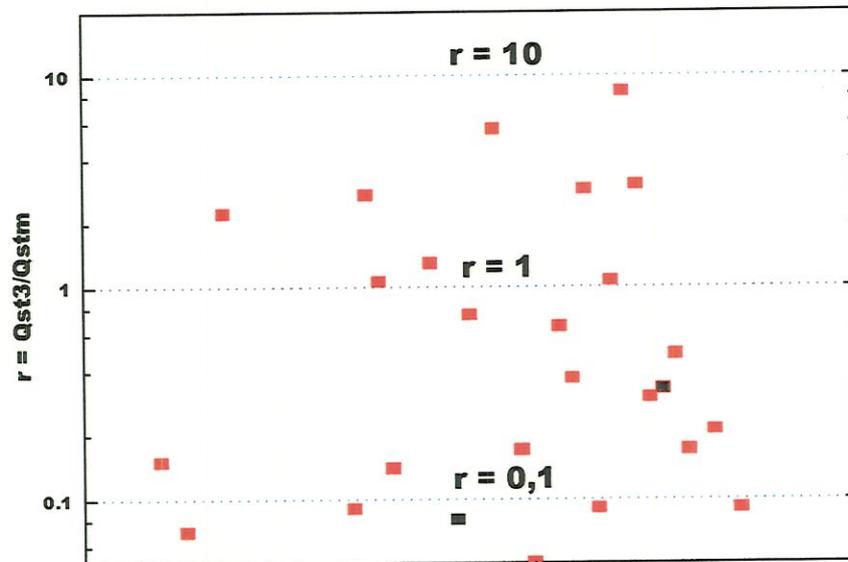


Fig. 5c.7 -Valores de r dentro da faixa de: $0,1 < r < 10$; Q_{st3} : vazão sólida total medida; Q_{stm} : V. S. total calculada pelo método de EINSTEIN & ABDEL (1972); (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).

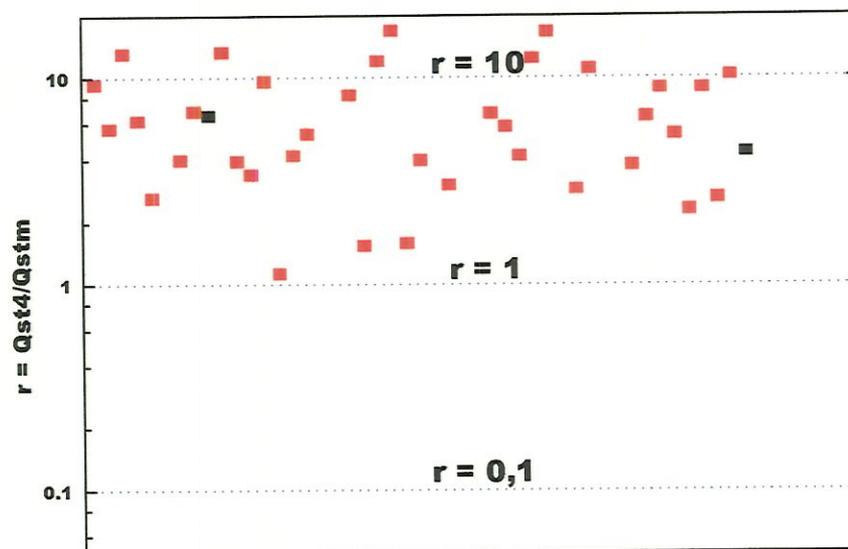


Fig. 5c.8 -Valores de r dentro da faixa de: $0,1 < r < 10$ Q_{stm} : vazão sólida total medida; Q_{st4} : V. S. total calculada pelo método de ACKERS & WHITE (1973); (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).

**TABELA 12 - Parâmetros hidráulicos e geométricos da secção transversal em estudo
(Posto Sosas/Campinas/SP)**

Nro.	Data	Area (m²)	Perímetro (m)	Raio hidráulico (m)	Profund. (m)	Largura (m)	Declivid. (m/m)	Velocid. (m/seg)	Vazão líquida (m³/seg)
1	26/03/93	49,63	36,50	1,36	2,15	34,70	1,94.10 ⁻⁴	0,64	31,69
2	06/04/93	41,73	36,30	1,15	1,84	34,87	1,97.10 ⁻⁴	0,52	21,73
3	20/04/93	38,78	35,80	1,08	1,70	34,88	1,85.10 ⁻⁴	0,43	16,78
4	04/05/93	44,71	37,40	1,20	1,87	34,78	2,11.10 ⁻⁴	0,51	22,67
5	18/05/93	36,60	35,50	1,03	1,51	34,38	1,63.10 ⁻⁴	0,36	13,12
6	01/06/93	55,70	37,10	1,50	2,45	35,24	2,31.10 ⁻⁴	0,73	40,92
7	15/06/93	37,96	35,40	1,07	1,62	34,21	1,81.10 ⁻⁴	0,45	17,03
8	22/06/93	37,60	37,23	1,01	1,61	34,54	1,72.10 ⁻⁴	0,45	16,91
9	29/06/93	31,40	36,00	0,87	1,32	33,99	1,64.10 ⁻⁴	0,30	9,48
10	06/07/93	31,18	35,50	0,88	1,31	33,77	1,05.10 ⁻⁴	0,26	8,26
11	21/07/93	29,13	35,20	0,83	1,24	33,64	0,89.10 ⁻⁴	0,24	7,03
12	03/08/93	25,71	34,43	0,75	1,12	32,82	0,64.10 ⁻⁴	0,15	3,74
13	17/08/93	27,41	35,20	0,78	1,18	33,53	0,30.10 ⁻⁴	0,22	5,93
14	31/08/93	31,48	35,60	0,88	1,31	33,74	0,47.10 ⁻⁴	0,19	6,13
15	21/09/93	34,11	35,60	0,96	1,40	33,97	1,47.10 ⁻⁴	0,32	10,95
16	28/09/93	51,42	37,65	1,37	2,39	34,92	2,31.10 ⁻⁴	0,74	38,11
17	05/10/93	35,54	36,30	0,98	1,49	34,38	1,47.10 ⁻⁴	0,39	14,02
18	21/10/93	42,15	37,40	1,14	1,82	34,84	1,89.10 ⁻⁴	0,54	22,83
19	28/10/93	47,48	37,50	1,27	2,06	34,88	2,06.10 ⁻⁴	0,61	28,94
20	04/11/93	30,01	35,50	0,85	1,18	33,82	0,80.10 ⁻⁴	0,24	7,25
21	09/11/93	31,47	35,35	0,89	1,30	34,01	1,30.10 ⁻⁴	0,31	9,90
22	20/12/93	42,79	35,50	1,21	1,82	34,64	1,97.10 ⁻⁴	0,50	21,41
23	29/03/94	68,50	35,75	1,92	1,99	34,34	1,97.10 ⁻⁴	0,55	37,70
24	19/04/94	51,34	34,80	1,47	1,48	34,00	1,30.10 ⁻⁴	0,39	20,09

TABELA 12 - Continuação

Nro.	Data	Area	Perímetro	Raio	Profund.	Largura	Declivid.	Velocid.	Vazão
		(m²)	(m)	hidráulico	(m)	(m)	(m/m)	(m/seg)	líquida
				(m)					(m³/seg)
25	06/05/94	44,60	34,20	1,30	1,29	33,60	0,96.10 ⁻⁴	0,27	12,10
26	20/05/94	44,60	34,20	1,30	1,34	33,60	1,14.10 ⁻⁴	0,28	12,58
27	01/07/94	47,45	34,54	1,38	1,36	33,81	1,14.10 ⁻⁴	0,29	13,71
28	15/07/94	44,28	34,22	1,29	1,28	33,64	0,64.10 ⁻⁴	0,24	10,56
29	29/07/94	47,30	34,48	1,37	1,32	33,81	1,14.10 ⁻⁴	0,30	13,98
30	12/08/94	42,61	34,06	1,25	1,23	33,26	0,47.10 ⁻⁴	0,16	6,91
31	26/08/94	46,19	34,19	1,35	1,29	33,47	0,62.10 ⁻⁴	0,20	9,44
32	08/09/94	47,28	34,48	1,37	1,38	33,68	0,80.10 ⁻⁴	0,23	10,93
33	22/09/94	50,30	34,70	1,45	1,44	33,92	1,30.10 ⁻⁴	0,28	14,32
34	06/10/94	44,94	34,30	1,31	1,30	33,49	0,47.10 ⁻⁴	0,22	9,67
35	27/10/94	63,31	35,50	1,78	1,84	34,48	1,22.10 ⁻⁴	0,45	28,50
36	23/11/94	55,61	34,33	1,33	1,34	33,52	0,47.10 ⁻⁴	0,20	11,00
37	22/12/94	98,56	37,28	2,64	2,79	35,68	2,14.10 ⁻⁴	0,72	70,64
38	05/01/95	82,62	36,26	2,28	2,41	35,27	2,31.10 ⁻⁴	0,68	56,36
39	19/01/95	52,84	34,82	1,51	1,53	33,92	1,47.10 ⁻⁴	0,38	19,98
40	26/01/95	50,97	34,77	1,46	1,50	33,93	1,47.10 ⁻⁴	0,33	17,01
41	16/02/95	89,00	36,46	2,44	2,57	35,40	2,47.10 ⁻⁴	0,77	68,21
42	08/03/95	63,57	35,53	1,79	1,86	34,94	1,72.10 ⁻⁴	0,49	31,34
43	24/03/95	89,07	36,47	2,44	2,50	35,38	1,80.10 ⁻⁴	0,73	64,81
44	07/04/95	74,26	35,98	2,06	2,19	35,05	1,97.10 ⁻⁴	0,64	47,36
45	28/04/95	61,54	35,43	1,74	1,79	34,63	1,80.10 ⁻⁴	0,49	29,99
46	12/05/95	66,61	35,68	1,87	1,89	34,74	1,80.10 ⁻⁴	0,57	37,76
47	09/06/95	57,87	35,06	1,57	1,58	34,35	1,47.10 ⁻⁴	0,35	20,51
48	23/06/95	53,43	36,18	1,98	1,53	34,34	1,04.10 ⁻⁴	0,38	20,50
49	05/07/95	50,01	34,70	1,44	1,44	34,19	1,47.10 ⁻⁴	0,33	16,29

TABELA 12 - Continuação

Nro.	Data	Area (m²)	Perímetro (m)	Raio hidráulico (m)	Profund. (m)	Largura (m)	Declivid. (m/m)	Velocid. (m/seg)	Vazão líquida (m³/seg)
50	12/07/95	75,71	36,02	2,10	2,17	35,03	2,39.10 ⁻⁴	0,61	45,94
51	19/07/95	56,29	35,14	2,16	1,57	34,59	1,55.10 ⁻⁴	0,40	22,54
52	26/07/95	59,62	35,32	1,69	1,67	34,61	1,64.10 ⁻⁴	0,44	26,29
53	10/08/95	49,26	34,64	1,42	1,38	34,09	1,22.10 ⁻⁴	0,30	14,71
54	31/08/95	43,28	34,13	1,27	1,23	33,65	0,80.10 ⁻⁴	0,25	10,61
55	21/09/95	56,17	35,13	1,60	1,57	34,28	4,73.10 ⁻⁴	0,39	21,80
56	28/09/95	58,45	35,26	1,66	1,67	34,68	1,30.10 ⁻⁴	0,41	23,78
57	05/10/95	48,18	34,55	1,39	1,39	34,16	0,97.10 ⁻⁴	0,28	13,59
58	19/10/95	77,21	36,08	2,14	2,23	35,02	1,88.10 ⁻⁴	0,63	48,82
59	23/11/95	48,00	34,50	1,39	1,39	34,05	0,97.10 ⁻⁴	0,31	15,11
60	07/12/95	42,47	33,96	1,25	1,18	33,39	0,64.10 ⁻⁴	0,22	9,25
61	10/01/96	112,07	37,37	3,00	3,18	36,91	2,14.10 ⁻⁴	0,95	106,31
62	31/01/96	54,00	34,99	1,54	1,53	34,12	1,47.10 ⁻⁴	0,41	22,38
63	07/02/96	68,59	35,75	1,92	2,01	35,12	1,64.10 ⁻⁴	0,58	39,74
64	06/03/96	84,79	36,33	2,33	2,38	35,36	2,06.10 ⁻⁴	0,71	60,16
65	20/03/96	111,68	37,37	2,99	3,15	36,55	2,47.10 ⁻⁴	1,00	111,45
66	03/04/96	65,41	35,62	1,84	1,86	34,87	1,80.10 ⁻⁴	0,54	35,03
67	16/04/96	65,31	35,62	1,83	1,84	34,52	1,64.10 ⁻⁴	0,50	32,34
68	15/05/96	58,86	35,28	1,67	1,65	34,24	1,47.10 ⁻⁴	0,44	25,67
69	22/05/96	56,30	35,13	1,60	1,57	34,20	1,47.10 ⁻⁴	0,40	22,58
70	19/06/96	49,15	34,64	1,42	1,41	33,76	0,97.10 ⁻⁴	0,28	13,76
71	03/06/96	52,61	34,89	1,51	1,49	34,07	1,14.10 ⁻⁴	0,32	16,83
72	17/07/96	47,41	34,50	1,37	1,31	33,81	0,97.10 ⁻⁴	0,27	12,79
73	31/07/96	46,64	34,43	1,35	1,32	34,75	1,05.10 ⁻⁴	0,26	12,23

TABELA 12 - Continuação

Nro.	Data	Area (m²)	Perímetro (m)	Raio hidráulico (m)	Profund. (m)	Largura (m)	Declivid. (m/m)	Velocid. (m/seg)	Vazão líquida (m³/seg)
74	07/08/96	47,65	34,52	1,38	1,36	34,04	0,80.10 ⁻⁴	0,26	12,60
75	14/08/96	50,30	34,72	1,45	1,40	33,99	1,05.10 ⁻⁴	0,28	14,24
76	21/08/96	51,00	34,78	1,47	1,42	33,89	0,89.10 ⁻⁴	0,30	15,09
77	28/08/96	47,41	34,50	1,37	1,33	33,73	0,97.10 ⁻⁴	0,26	12,25
78	04/09/96	60,37	35,37	1,71	1,71	34,56	1,47.10 ⁻⁴	0,40	24,13
79	11/09/96	97,96	36,77	2,66	2,73	35,84	2,31.10 ⁻⁴	0,80	78,24
80	02/10/96	51,20	34,80	1,50	1,40	34,10	1,05.10 ⁻⁴	0,33	17,00
81	16/10/96	63,40	35,50	1,80	1,80	34,70	1,50.10 ⁻⁴	0,45	28,70
82	06/11/96	65,80	35,60	1,80	1,80	34,70	1,60.10 ⁻⁴	0,49	32,10
83	20/11/96	65,20	35,60	1,80	1,80	34,70	1,30.10 ⁻⁴	0,43	27,90
84	06/12/96	58,60	35,30	1,70	1,60	34,60	1,30.10 ⁻⁴	0,42	24,36

TABELA 13 - Diâmetros representativos (em mm) do material do leite da seção transversal em estudo (Posto Sousas/Campinas/SP)

Nº	DATA	D10	D16	D35	D50	D65	D84	D90
1	26/03/93	0,15	0,18	0,34	0,64	0,97	1,56	1,86
2	06/04/93	0,19	0,24	0,37	0,54	0,88	2,77	3,82
3	20/04/93	0,24	0,29	0,48	0,68	1,04	2,96	4,11
4	04/05/93	0,22	0,27	0,53	0,86	1,37	3,24	4,22
5	18/05/93	0,24	0,28	0,4	0,51	0,64	0,97	1,23
6	01/06/93	0,33	0,4	0,71	1,02	1,47	2,50	3,13
7	15/06/93	0,29	0,34	0,5	0,64	0,83	1,44	3,78
8	22/06/93	0,36	0,44	0,69	0,97	1,5	4,47	4,94
9	29/06/93	0,32	0,37	0,52	0,66	0,85	1,40	2,00
10	06/07/93	0,3	0,36	0,56	0,78	1,22	4,1	4,75
11	21/07/93	0,3	0,36	0,56	0,77	1,09	3,33	4,50
12	03/08/93	0,27	0,32	0,48	0,63	0,87	3,9	4,70
13	17/08/93	0,27	0,32	0,47	0,64	0,92	2,3	4,02
14	31/08/93	0,28	0,32	0,49	0,66	0,95	2,17	3,16
15	21/09/93	0,24	0,27	0,37	0,47	0,61	1,00	1,45
16	28/09/93	0,31	0,37	0,51	0,63	0,80	1,29	1,77
17	05/10/93	0,28	0,34	0,51	0,69	0,97	4,77	5,11
18	21/10/93	0,31	0,37	0,55	0,71	0,96	3,63	4,62
19	28/10/93	0,29	0,35	0,5	0,63	0,8	1,24	1,64
20	04/11/93	0,34	0,44	0,84	1,26	2,14	4,52	4,96
21	09/11/93	0,3	0,39	0,75	1,15	1,87	4,27	4,82
22	20/12/93	0,3	0,36	0,51	0,63	0,81	1,26	1,71
23	29/03/94	0,25	0,3	0,44	0,56	0,73	1,18	1,66
24	19/04/94	0,24	0,29	0,42	0,55	0,74	1,34	2,26
25	06/05/94	0,23	0,28	0,42	0,54	0,71	1,2	4,43
26	20/05/94	0,25	0,29	0,41	0,52	0,65	0,95	1,2
27	01/07/94	0,27	0,31	0,43	0,53	0,65	0,89	1,05
28	15/07/94	0,23	0,27	0,37	0,47	0,6	0,89	1,1
29	29/07/94	0,28	0,34	0,5	0,65	0,87	1,66	2,3
30	12/08/94	0,28	0,32	0,45	0,57	0,73	1,23	2,18
31	26/08/94	0,27	0,3	0,41	0,51	0,63	0,88	1,05
32	08/09/94	0,28	0,32	0,44	0,54	0,68	1,00	1,27
33	22/09/94	0,21	0,25	0,36	0,45	0,58	0,89	1,1
34	06/10/94	0,27	0,32	0,45	0,57	0,74	1,18	1,52
35	27/10/94	0,26	0,33	0,53	0,73	1,01	1,79	3,15
36	23/11/94	0,3	0,34	0,48	0,6	0,75	1,14	1,45
37	22/12/94	0,32	0,37	0,55	0,71	0,95	1,6	2,51
38	05/01/95	0,28	0,32	0,45	0,57	0,72	1,08	1,36
39	19/01/95	0,22	0,27	0,41	0,57	0,90	4,17	4,79
40	26/01/95	0,29	0,34	0,46	0,57	0,70	1,02	1,28
41	16/02/95	0,21	0,26	0,41	0,59	0,88	1,79	2,70
42	08/03/95	0,18	0,20	0,30	0,41	0,60	1,20	1,85

TABELA 13 - Continuação

Nº	DATA	D10	D16	D35	D50	D65	D84	D90
43	24/03/95	0,17	0,21	0,39	0,65	1,14	2,97	4,03
44	07/04/95	0,15	0,17	0,21	0,25	0,33	0,72	1,10
45	28/04/95	0,15	0,17	0,21	0,24	0,32	0,91	1,44
46	12/05/95	0,16	0,17	0,23	0,32	0,65	1,55	2,79
47	09/06/95	0,17	0,19	0,25	0,33	0,49	1,09	1,58
48	23/06/95	0,17	0,19	0,28	0,50	0,90	2,04	2,86
49	05/07/95	0,16	0,18	0,26	0,37	0,53	0,91	1,23
50	12/07/95	0,14	0,15	0,18	0,2	0,23	0,50	0,92
51	19/07/95	0,14	0,16	0,20	0,24	0,30	0,60	0,85
52	26/07/95	0,16	0,17	0,23	0,35	0,66	1,39	1,93
53	10/08/95	0,17	0,19	0,25	0,32	0,42	0,71	0,95
54	31/08/95	0,14	0,16	0,19	0,23	0,28	1,46	4,69
55	21/09/95	0,16	0,18	0,23	0,29	0,39	0,75	1,14
56	28/09/95	0,17	0,19	0,27	0,4	0,75	1,66	2,5
57	05/10/95	0,17	0,19	0,27	0,36	0,57	1,24	1,64
58	19/10/95	0,18	0,21	0,37	0,82	1,56	3,06	3,79
59	23/11/95	0,16	0,19	0,31	0,52	0,81	1,37	1,66
60	07/12/95	0,15	0,18	0,34	0,63	0,97	1,56	1,86
61	10/01/96	0,17	0,19	0,26	0,38	0,6	1,18	1,75
62	31/01/96	0,17	0,18	0,22	0,26	0,31	0,41	0,47
63	07/02/96	0,17	0,19	0,25	0,32	0,44	1,19	1,68
64	06/03/96	0,17	0,18	0,23	0,27	0,32	0,43	0,56
65	20/03/96	0,17	0,19	0,25	0,3	0,36	0,57	1,69
66	03/04/96	0,23	0,26	0,34	0,43	0,62	1,41	2,05
67	16/04/96	0,23	0,25	0,31	0,37	0,44	0,74	1,18
68	15/05/96	0,23	0,26	0,35	0,44	0,64	1,50	2,20
69	22/05/96	0,19	0,23	0,32	0,41	0,61	1,63	3,00
70	19/06/96	0,24	0,27	0,35	0,42	0,55	0,99	1,36
71	03/06/96	0,20	0,25	0,40	0,64	1,10	2,52	3,77
72	17/07/96	0,17	0,21	0,32	0,46	0,86	2,82	4,09
73	31/07/96	0,22	0,27	0,41	0,56	0,80	1,34	1,66
74	07/08/96	0,18	0,22	0,33	0,45	0,75	1,98	3,05
75	14/08/96	0,19	0,23	0,36	0,54	1,00	2,7	3,73
76	21/08/96	0,21	0,24	0,36	0,50	0,92	3,27	4,35
77	28/08/96	0,19	0,23	0,35	0,52	1,07	3,85	4,63
78	04/09/96	0,23	0,27	0,38	0,53	0,88	1,95	2,89
79	11/09/96	0,23	0,27	0,4	0,64	1,29	4,19	4,79
80	02/10/96	0,21	0,24	0,33	0,42	0,74	1,82	2,37
81	16/10/96	0,23	0,27	0,39	0,67	1,65	4,07	4,69
82	06/11/96	0,21	0,24	0,33	0,42	0,74	3,00	4,16
83	20/11/96	0,21	0,25	0,35	0,50	1,10	3,50	4,40
84	06/12/96	0,21	0,24	0,31	0,38	0,48	0,93	1,40

TABELA 14-Vazões sólidas de fundo medidas e calculadas pelos diferentes métodos de estimativa indireta (Posto Sousas/Campinas/SP)

Nro.	Data	Vazão sólida medida (ton/dia)	Vazão sólida calculada pelo método de:				
			Meyer- Peter (ton/dia)	Einstein (ton/dia)	Toffaleti (ton/dia)	Einstein & Abdel (ton/dia)	Van Rijn Simplific. (ton/dia)
1	26/03/93	0,141	26,761	19,490	59,620	19,490	48,870
2	06/04/93	0,038	0,000	5,590	99,142	5,590	27,140
3	20/04/93	0,045	0,000	0,740	17,263	0,738	6,400
4	04/05/93	0,045	0,000	2,120	89,226	2,116	10,790
5	18/05/93	0,024	0,000	0,120	3,431	0,124	2,070
6	01/06/93	0,190	11,230	29,270	84,909	29,271	53,740
7	15/06/93	0,008	0,000	2,000	10,476	1,998	9,120
8	22/06/93	0,008	0,000	0,180	9,865	0,177	2,940
9	29/06/93	0,007	0,000	0,000	0,538	0,003	0,150
10	06/07/93	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11	21/07/93	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12	03/08/93	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
13	17/08/93	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14	31/08/93	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
15	21/09/93	0,006	0,000	0,020	1,699	0,015	0,970
16	28/09/93	0,384	36,700	102,600	106,293	102,598	103,400
17	05/10/93	0,006	0,000	0,000	0,000	0,050	3,190
18	21/10/93	0,023	0,000	4,390	60,241	4,390	22,410
19	28/10/93	0,037	1,773	34,910	88,089	34,906	38,490
20	04/11/93	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
21	09/11/93	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
22	20/12/93	0,080	0,000	9,250	30,101	9,254	12,880
23	29/03/94	0,027	0,000	17,990	60,019	17,986	25,090
24	19/04/94	0,022	0,000	0,100	6,427	0,100	3,190
25	06/05/94	0,012	0,000	0,000	0,494	0,000	0,190
26	20/05/94	0,012	0,000	0,000	0,495	0,001	0,050
27	01/07/94	0,006	0,000	1,132	0,433	1,135	0,050
28	15/07/94	0,051	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
29	29/07/94	0,010	0,000	0,000	0,247	0,000	0,050
30	08/12/94	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
31	26/08/94	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
32	08/09/94	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
33	22/09/94	0,002	0,000	0,000	0,510	0,000	0,440
34	06/10/94	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
35	27/10/94	0,424	0,000	1,040	21,371	1,042	3,690
36	23/11/94	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
37	22/12/94	0,218	25,017	61,280	43,400	61,277	75,370
38	05/01/95	0,523	26,796	79,130	61,233	79,132	71,200
39	19/01/95	0,015	0,000	0,070	6,716	0,066	3,990

Continua..

TABELA 14-Vazões sólidas de fundo medidas e calculadas pelos diferentes métodos de estimativa indireta (Posto Sousas/Campinas/SP)

Nro.	Data	Vazão sólida medida (ton/dia)	Vazão sólida calculada pelo método de:				
			Meyer- Peter (ton/dia)	Einstein (ton/dia)	Toffaleti (ton/dia)	Einstein & Abdel (ton/dia)	Van Rijn Simplific. (ton/dia)
40	26/01/95	0,036	0,000	0,010	0,731	0,010	0,450
41	16/02/95	0,485	0,000	82,730	193,446	82,729	139,780
42	08/03/95	0,396	0,000	4,880	66,336	4,879	17,520
43	24/03/95	1,721	22,218	27,760	397,526	27,762	97,450
44	07/04/95	0,171	34,011	65,140	466,209	65,142	67,070
45	28/04/95	0,081	3,399	22,790	94,006	22,794	19,240
46	12/05/95	0,468	5,505	12,440	280,487	12,444	44,010
47	09/06/95	0,023	0,000	1,390	4,485	1,388	2,200
48	23/06/95	0,018	0,000	0,030	14,081	0,027	3,210
49	05/07/95	0,051	0,000	0,340	3,437	0,345	1,150
50	12/07/95	4,163	32,648	66,660	408,039	66,657	56,450
51	19/07/95	0,016	0,000	6,440	14,156	6,438	4,580
52	26/07/95	0,118	0,000	2,400	32,326	2,396	10,310
53	10/08/95	0,012	0,000	0,350	1,758	0,348	0,320
54	31/08/95	0,002	0,000	0,090	1,130	0,092	0,260
55	21/09/95	0,031	0,000	12,900	4,555	12,896	7,910
56	28/09/95	0,249	0,000	0,350	20,730	0,353	6,410
57	05/10/95	0,002	0,000	0,010	1,165	0,012	0,170
58	19/10/95	0,205	0,000	7,520	208,534	7,521	33,010
59	23/11/95	0,006	0,000	0,000	2,951	0,000	3,600
60	07/12/95	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
61	10/01/96	5,141	157,487	239,340	1148,165	239,342	384,810
62	31/01/96	0,019	0,000	2,060	24,073	2,059	3,960
63	07/02/96	0,238	0,000	16,710	246,006	16,707	41,890
64	06/03/96	3,542	36,655	86,850	474,972	86,848	96,430
65	20/03/96	1,150	222,71	341,220	1148,316	341,223	494,910
66	03/04/96	0,133	0,553	10,930	61,761	10,925	29,870
67	16/04/96	0,051	0,960	10,550	32,097	10,552	17,130
68	15/05/96	0,246	0,000	1,150	11,583	1,145	9,430
69	22/05/96	0,008	0,000	0,370	9,762	0,365	6,360
70	19/06/96	0,012	0,000	0,010	0,338	0,008	0,090
71	03/06/96	0,023	0,000	0,000	1,970	0,000	0,380
72	17/07/96	0,004	0,000	0,000	0,724	0,000	0,310
73	31/07/96	0,005	0,000	0,000	0,273	0,000	0,000
74	07/08/96	0,004	0,000	0,000	0,554	0,000	0,080
75	14/08/96	0,005	0,000	0,000	0,855	0,000	0,250
76	21/08/96	0,005	0,000	0,000	1,287	0,000	0,660
77	28/08/96	0,003	0,000	0,000	0,517	0,000	0,170

Continua...

TABELA 14-Vazões sólidas de fundo medidas e calculadas pelos diferentes métodos de estimativa indireta (Posto Sousas/Campinas/SP)

Nro.	Data	Vazão sólida medida (ton/dia)	Vazão sólida calculada pelo método de:				
			Meyer-Peter (ton/dia)	Einstein (ton/dia)	Toffaleti (ton/dia)	Einstein & Abdel (ton/dia)	Van Rijn Simplific. (ton/dia)
78	04/09/96	0,036	0,000	0,170	6,224	0,167	4,960
79	11/09/96	3,697	51,641	47,610	180,836	47,614	163,990
80	02/10/96	0,006	0,000	0,000	2,389	0,004	1,220
81	16/10/96	0,250	0,000	0,540	24,275	0,540	7,130
82	06/11/96	0,320	0,000	2,630	42,601	2,625	21,060
83	20/11/96	0,034	0,000	0,330	18,375	0,328	9,350
84	06/12/96	4,34	0,000	1,870	10,696	1,872	5,980

TABELA 15 -Relações entre vazões sólidas de fundo calculadas pelos diferentes métodos de estimativa indireta e vazões sólidas de fundo medidas (Posto Sousas/Campinas/SP)

<i>Nro.</i>	<i>Data</i>	<i>Qb1/Qbm</i>	<i>Qb2/Qbm</i>	<i>Qb3/Qbm</i>	<i>Qb4/Qbm</i>	<i>Qb5/Qbm</i>
1	26/03/93	189,794	138,227	422,837	138,227	346,596
2	06/04/93	0,000	147,105	2609,000	147,105	714,211
3	20/04/93	0,000	16,444	383,622	16,400	142,222
4	04/05/93	0,000	47,111	1982,800	47,022	239,778
5	18/05/93	0,000	5,000	142,958	5,167	86,250
6	01/06/93	59,105	154,053	446,889	154,058	282,842
7	15/06/93	0,000	250,000	1309,500	249,750	1140,000
8	22/06/93	0,000	22,500	1233,125	22,125	367,500
9	29/06/93	0,000	0,000	76,857	0,429	21,429
10	06/07/93	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11	21/07/93	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12	03/08/93	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
13	17/08/93	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14	31/08/93	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
15	21/09/93	0,000	3,333	283,167	2,500	161,667
16	28/09/93	95,573	267,188	276,805	267,182	269,271
17	05/10/93	0,000	0,000	0,000	8,333	531,667
18	21/10/93	0,000	190,870	2619,174	190,870	974,348
19	28/10/93	47,919	943,514	2380,784	943,405	1040,270
20	04/11/93	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
21	09/11/93	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
22	20/12/93	0,000	115,625	376,263	115,675	161,000
23	29/03/94	0,000	666,296	2222,926	666,148	929,259
24	19/04/94	0,000	4,545	292,136	4,545	145,000
25	06/05/94	0,000	0,000	41,167	0,000	15,833
26	20/05/94	0,000	0,000	41,250	0,083	4,167
27	01/07/94	0,000	188,667	72,167	189,167	8,333
28	15/07/94	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
29	29/07/94	0,000	0,000	24,700	0,000	5,000
30	08/12/94	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
31	26/08/94	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
32	08/09/94	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
33	22/09/94	0,000	0,000	255,000	0,000	220,000
34	06/10/94	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
35	27/10/94	0,000	2,453	50,403	2,458	8,703
36	23/11/94	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
37	22/12/94	114,757	281,101	199,083	281,087	345,734
38	05/01/95	51,235	151,300	117,080	151,304	136,138
39	19/01/95	0,000	4,667	447,733	4,400	266,000

Continua....

TABELA 15- Relações entre vazões sólidas de fundo calculadas pelos diferentes métodos de estimativa indireta e vazões sólidas de fundo medidas (Posto Sousas/Campinas/SP)

<i>Nro.</i>	<i>Data</i>	<i>Qb1/Qbm</i>	<i>Qb2/Qbm</i>	<i>Qb3/Qbm</i>	<i>Qb4/Qbm</i>	<i>Qb5/Qbm</i>
40	26/01/95	0,000	0,278	20,306	0,278	12,500
41	16/02/95	0,000	170,577	398,858	170,575	288,206
42	08/03/95	0,000	12,323	167,515	12,321	44,242
43	24/03/95	12,910	16,130	230,985	16,131	56,624
44	07/04/95	198,895	380,936	2726,368	380,947	392,222
45	28/04/95	41,963	281,358	1160,568	281,407	237,531
46	12/05/95	11,763	26,581	599,331	26,590	94,038
47	09/06/95	0,000	60,435	195,000	60,348	95,652
48	23/06/95	0,000	1,667	782,278	1,500	178,333
49	05/07/95	0,000	6,667	67,392	6,765	22,549
50	12/07/95	7,842	16,012	98,016	16,012	13,560
51	19/07/95	0,000	402,500	884,750	402,375	286,250
52	26/07/95	0,000	20,339	273,949	20,305	87,373
53	10/08/95	0,000	29,167	146,500	29,000	26,667
54	31/08/95	0,000	45,000	565,000	46,000	130,000
55	21/09/95	0,000	416,129	146,935	416,000	255,161
56	28/09/95	0,000	1,406	83,253	1,418	25,743
57	05/10/95	0,000	5,000	582,500	6,000	85,000
58	19/10/95	0,000	36,683	1017,239	36,688	161,024
59	23/11/95	0,000	0,000	491,833	0,000	600,000
60	07/12/95	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
61	10/01/96	30,634	46,555	223,335	46,556	74,851
62	31/01/96	0,000	108,421	1267,000	108,368	208,421
63	07/02/96	0,000	70,210	1033,639	70,197	176,008
64	06/03/96	10,349	24,520	134,097	24,519	27,225
65	20/03/96	193,663	296,713	998,536	296,716	430,357
66	03/04/96	4,158	82,180	464,368	82,143	224,586
67	16/04/96	18,824	206,863	629,353	206,902	335,882
68	15/05/96	0,000	4,675	47,085	4,654	38,333
69	22/05/96	0,000	46,250	1220,250	45,625	795,000
70	19/06/96	0,000	0,833	28,167	0,667	7,500
71	03/06/96	0,000	0,000	85,652	0,000	16,522
72	17/07/96	0,000	0,000	181,000	0,000	77,500
73	31/07/96	0,000	0,000	54,600	0,000	0,000
74	07/08/96	0,000	0,000	138,500	0,000	20,000
75	14/08/96	0,000	0,000	171,000	0,000	50,000
76	21/08/96	0,000	0,000	257,400	0,000	132,000
77	28/08/96	0,000	0,000	172,333	0,000	56,667

Continua..

TABELA 15 - Relações entre vazões sólidas de fundo calculadas pelos diferentes métodos de estimativa indireta e vazões sólidas de fundo medidas (Posto Sousas/Campinas/SP)

<i>Nro.</i>	<i>Data</i>	<i>Qb1/Qbm</i>	<i>Qb2/Qbm</i>	<i>Qb3/Qbm</i>	<i>Qb4/Qbm</i>	<i>Qb5/Qbm</i>
78	04/09/96	0,000	4,722	172,889	4,639	137,778
79	11/09/96	13,968	12,878	48,914	12,879	44,358
80	02/10/96	0,000	0,000	398,167	0,667	203,333
81	16/10/96	0,000	2,160	97,100	2,160	28,520
82	06/11/96	0,000	8,219	133,128	8,203	65,813
83	20/11/96	0,000	9,706	540,441	9,647	275,000
84	06/12/96	0,000	0,431	2,465	0,431	1,378
Média		13,140	76,840	445,780	76,941	179,550
Desvio Padrão		40,040	154,630	653,484	154,570	251,600
Valor máximo		198,89	943,51	2726,36	943,45	795
Valor mínimo		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

onde:

Qbm: Vazão sólida de fundo medida

Qb1: Vazão sólida de fundo calculada pelo método de MEYER-PETER & MÜLLER (1948)

Qb2: Vazão sólida de fundo calculada pelo método de EINSTEIN (1950)

Qb3: Vazão sólida de fundo calculada pelo método de TOFFALETI (1969)

Qb4: Vazão sólida de fundo calculada pelo método de EINSTEIN & ABDEL-1972

Qb5: Vazão sólida de fundo calculada pelo método de VAN RIJN (1984c)

TABELA 16 - Vazões sólidas totais medidas e calculadas pelos diferentes métodos de estimativa indireta (Posto Sousas/Campinas/SP)

Nº	Data	Vazão sólida total (ton/dia)	Vazão sólida total medida pelo método de:		
			Laursen (ton/dia)	Einstein & Abdel (ton/dia)	Ackers & White (ton/dia)
1	26/03/93	301,711	42,635	19,564	195,001
2	06/04/93	103,728	12,657	5,590	60,275
3	20/04/93	151,275	3,758	0,738	17,181
4	04/05/93	212,615	15,022	2,116	59,088
5	18/05/93	27,564	1,031	0,124	6,241
6	01/06/93	541,200	30,794	29,272	134,189
7	15/06/93	32,298	2,886	1,998	14,562
8	22/06/93	30,778	2,021	0,177	7,835
9	29/06/93	14,927	0,092	0,003	0,912
10	06/07/93	12,232	0,053	0,000	0,159
11	21/07/93	11,436	0,033	0,000	0,050
12	03/08/93	4,632	0,000	0,000	0,001
13	17/08/93	7,392	0,001	0,000	0,000
14	31/08/93	8,582	0,000	0,000	0,001
15	21/09/93	26,696	0,488	0,015	2,977
16	28/09/93	431,614	33,842	105,662	172,269
17	05/10/93	113,156	1,148	0,050	5,113
18	21/10/93	174,283	6,825	4,390	36,177
19	28/10/93	408,337	15,051	35,018	81,233
20	04/11/93	22,513	0,042	0,000	0,029
21	09/11/93	29,765	0,474	0,000	0,862
22	20/12/93	168,3	5,434	9,254	32,136
23	29/03/94	228,687	18,960	17,990	110,469
24	19/04/94	68,272	2,764	0,100	9,021
25	06/05/94	25,182	0,247	0,000	0,531
26	20/05/94	26,282	0,342	0,001	1,050
27	01/07/94	10,806	0,378	1,135	1,082
28	15/07/94	26,401	0,023	0,000	0,045
29	29/07/94	45,27	0,079	0,000	0,019
30	08/12/94	5,891	0,000	0,000	0,000
31	26/08/94	11,842	0,000	0,000	0,010
32	08/09/94	25,424	0,002	0,000	0,069
33	22/09/94	23,662	0,336	0,004	2,259
34	06/10/94	14,692	0,006	0,000	0,005
35	27/10/94	218,734	4,683	1,042	17,027
36	23/11/94	33,804	0,000	0,000	0,003
37	22/12/94	4.148,998	39,588	61,685	238,632
38	05/01/95	881,483	39,478	80,738	242,263

Continua...

TABELA 16 - Vazões sólidas totais medidas e calculadas pelos diferentes métodos de estimativa indireta (Posto Sousas/Campinas/SP)

Nº	Data	Vazão sólida total (ton/dia)	Vazão sólida total medida pelo método de:		
			Laursen (ton/dia)	Einstein & Abdel (ton/dia)	Ackers & White (ton/dia)
39	19/01/95	68,095	2,560	0,066	10,929
40	26/01/95	56,966	0,334	0,010	2,824
41	16/02/95	449,175	90,603	84,729	536,750
42	08/03/95	141,706	12,606	4,879	73,478
43	24/03/95	8.339,06	98,955	27,790	553,055
44	07/04/95	373,971	67,588	65,488	508,299
45	28/04/95	93,501	20,084	22,794	131,612
46	12/05/95	183,128	45,254	12,446	230,572
47	09/06/95	33,453	1,409	1,388	14,286
48	23/06/95	35,888	3,411	0,027	8,870
49	05/07/95	20,801	1,768	0,345	9,942
50	12/07/95	311,243	131,556	67,668	1285,392
51	19/07/95	47,286	10,574	6,438	52,004
52	26/07/95	101,838	16,222	2,396	65,758
53	10/08/95	16,912	0,491	0,348	3,955
54	31/08/95	9,882	0,000	0,092	0,612
55	21/09/95	50,581	15,732	12,896	217,503
56	28/09/95	72,479	4,836	0,353	21,059
57	05/10/95	16,932	0,195	0,012	1,371
58	19/10/95	370,215	54,916	7,521	231,977
59	23/11/95	25,516	0,768	0,000	2,141
60	07/12/95	12,602	0,012	0,000	0,070
61	10/01/96	1.874,441	234,251	307,148	2111,251
62	31/01/96	66,279	3,435	2,059	30,742
63	07/02/96	246,668	21,056	16,717	136,291
64	06/03/96	521,482	81,047	90,399	598,436
65	20/03/96	1.722,280	327,522	483,357	3286,480
66	03/04/96	202,793	14,313	10,925	80,775
67	16/04/96	1.984,03	8,737	10,552	61,691
68	15/05/96	49,126	3,376	1,145	22,541
69	22/05/96	30,348	4,092	0,365	20,220
70	19/06/96	15,312	0,030	0,008	0,641
71	03/06/96	28,533	1,060	0,000	3,072
72	17/07/96	13,044	0,390	0,000	0,979
73	31/07/96	11,465	0,144	0,000	0,532
74	07/08/96	11,194	0,127	0,000	0,397
75	14/08/96	22,045	0,446	0,000	1,471
76	21/08/96	20,695	0,352	0,000	1,134

Continua....

TABELA 16 - Vazões sólidas totais medidas e calculadas pelos diferentes métodos de estimativa indireta (Posto Sousas/Campinas/SP)

Nº	Data	Vazão sólida total (ton/dia)	Vazão sólida total medida pelo método de:		
			Laursen (ton/dia)	Einstein & Abdel (ton/dia)	Ackers & White (ton/dia)
77	28/08/96	11,923	0,180	0,000	0,652
78	04/09/96	89,886	2,510	0,167	15,115
79	11/09/96	1.590,377	103,914	47,614	651,042
80	02/10/96	24,846	0,284	0,040	2,935
81	16/10/96	151,79	5,798	0,540	24,818
82	06/11/96	350,36	8,891	2,625	50,407
83	20/11/96	315,644	4,034	0,328	21,229
84	06/12/96	156,93	1,901	1,872	17,474

TABELA 17 - Relações entre vazões sólidas totais calculadas pelos diferentes métodos de estimativa indireta e vazões sólidas totais medidas (Posto Sousas/Campinas/SP)

Nº	Data	Qst1/Qstm	Qst2/Qstm	Qst3/Qstm
1	26/03/93	0,141	0,065	0,646
2	06/04/93	0,122	0,054	0,581
3	20/04/93	0,025	0,005	0,114
4	04/05/93	0,071	0,010	0,278
5	18/05/93	0,037	0,004	0,226
6	01/06/93	0,057	0,054	0,248
7	15/06/93	0,089	0,062	0,451
8	22/06/93	0,066	0,006	0,255
9	29/06/93	0,006	0,000	0,061
10	06/07/93	0,004	0,000	0,013
11	21/07/93	0,003	0,000	0,004
12	03/08/93	0,000	0,000	0,000
13	17/08/93	0,000	0,000	0,000
14	31/08/93	0,000	0,000	0,000
15	21/09/93	0,018	0,001	0,112
16	28/09/93	0,078	0,245	0,399
17	05/10/93	0,010	0,000	0,045
18	21/10/93	0,039	0,025	0,208
19	28/10/93	0,037	0,086	0,199
20	04/11/93	0,002	0,000	0,001
21	09/11/93	0,016	0,000	0,029
22	20/12/93	0,032	0,055	0,191
23	29/03/94	0,083	0,079	0,483
24	19/04/94	0,040	0,001	0,132
25	06/05/94	0,010	0,000	0,021
26	20/05/94	0,013	0,000	0,040
27	01/07/94	0,035	0,105	0,100
28	15/07/94	0,001	0,000	0,002
29	29/07/94	0,002	0,000	0,000
30	08/12/94	0,000	0,000	0,000
31	26/08/94	0,000	0,000	0,001
32	08/09/94	0,000	0,000	0,003
33	22/09/94	0,014	0,000	0,095
34	06/10/94	0,000	0,000	0,000
35	27/10/94	0,021	0,005	0,078
36	23/11/94	0,000	0,000	0,000
37	22/12/94	0,010	0,015	0,058
38	05/01/95	0,045	0,092	0,275

Continua...

TABELA 17 - Relações entre vazões sólidas totais calculadas pelos diferentes métodos de estimativa indireta e vazões sólidas totais medidas (Posto Sousas/Campinas/SP)

<i>Nº</i>	<i>Data</i>	<i>Qst1/Qstm</i>	<i>Qst2/Qstm</i>	<i>Qst3/Qstm</i>
39	19/01/95	0,038	0,001	0,160
40	26/01/95	0,006	0,000	0,050
41	16/02/95	0,202	0,189	1,195
42	08/03/95	0,089	0,034	0,519
43	24/03/95	0,012	0,003	0,066
44	07/04/95	0,181	0,175	1,359
45	28/04/95	0,215	0,244	1,408
46	12/05/95	0,247	0,068	1,259
47	09/06/95	0,042	0,041	0,427
48	23/06/95	0,095	0,001	0,247
49	05/07/95	0,085	0,017	0,478
50	12/07/95	0,423	0,217	4,130
51	19/07/95	0,224	0,136	1,100
52	26/07/95	0,159	0,024	0,646
53	10/08/95	0,029	0,021	0,234
54	31/08/95	0,000	0,009	0,062
55	21/09/95	0,311	0,255	4,300
56	28/09/95	0,067	0,005	0,291
57	05/10/95	0,012	0,001	0,081
58	19/10/95	0,148	0,020	0,627
59	23/11/95	0,030	0,000	0,084
60	07/12/95	0,001	0,000	0,006
61	10/01/96	0,125	0,164	1,126
62	31/01/96	0,052	0,031	0,464
63	07/02/96	0,085	0,068	0,553
64	06/03/96	0,155	0,173	1,148
65	20/03/96	0,190	0,281	1,908
66	03/04/96	0,071	0,054	0,398
67	16/04/96	0,004	0,005	0,031
68	15/05/96	0,069	0,023	0,459
69	22/05/96	0,135	0,012	0,666
70	19/06/96	0,002	0,001	0,042
71	03/06/96	0,037	0,000	0,108
72	17/07/96	0,030	0,000	0,075
73	31/07/96	0,013	0,000	0,046
74	07/08/96	0,011	0,000	0,035
75	14/08/96	0,020	0,000	0,067
76	21/08/96	0,017	0,000	0,055

Continua...

TABELA 17 - Relações entre vazões sólidas totais calculadas pelos diferentes métodos de estimativa indireta e vazões sólidas totais medidas (Posto Sousas/Campinas/SP)

<i>Nº</i>	<i>Data</i>	<i>Qst1/Qstm</i>	<i>Qst2/Qstm</i>	<i>Qst3/Qstm</i>
77	28/08/96	0,015	0,000	0,055
78	04/09/96	0,028	0,002	0,168
79	11/09/96	0,065	0,030	0,409
80	02/10/96	0,011	0,002	0,118
81	16/10/96	0,038	0,004	0,164
82	06/11/96	0,025	0,007	0,144
83	20/11/96	0,013	0,001	0,067
84	06/12/96	0,012	0,012	0,111
Média		0,059	0,039	0,387
Desvio Padrão		0,076	0,069	0,716
Valor máximo		0,423	0,255	4,300
Valor mínimo		0,000	0,000	0,000

onde:

Qstm - Vazão sólida total medida

Qst1 - Vazão sólida total calculada pelo método de LAURSEN (1958)

Qst2 - Vazão sólida total calculada pelo método de EINSTEIN & ABDEL (1972)

Qst3 - Vazão sólida total calculada pelo método de ACKERS & WHITE (1973)

$$r = \text{Qst}(\text{calculado})/\text{Qst}(\text{medido})$$

**TABELA 18 - VALORES DE "r" COMPREENDIGOS NAS FAIXAS, DE: 0,1 A 10; 0,2 A 5 E DE 0,5 A 2
(POSTO SOUSAS/CAMPINAS/SP)**

Sedimentos de Fundo Métodos	Nro. de valores de "r" compreendidos entre:					
	0,1 < r < 10		0,2 < r < 5		0,5 < r < 2	
	Nro. de valores	% do Total	Nro. de valores	% do Total	Nro. de valores	% do Total
M. PETER & MÜLLER (1948)	2	2,38	1	0,12	0	0
EINSTEIN (1950)	17	20,24	15	1,79	3	3,57
TOFFALETI (1969)	1	1,19	1	0,12	0	0,00
EINSTEIN & ABDEL (1972)	20	23,81	14	1,67	4	4,76
VAN RIJN (SIMPLIFICADO)	6	7,14	3	0,36	1	1,19

Sedimentos Totais Métodos	Nro. de valores de "r" compreendidos entre:					
	0,1 < r < 10		0,2 < r < 5		0,5 < r < 2	
	Nro. de valores	% do Total	Nro. de valores	% do Total	Nro. de valores	% do Total
LAURSEN (1958)	15	17,86	2	2,38	1	1,19
EINSTEIN & ABDEL (1972)	11	13,10	0	0,00	0	0,00
ACKERS & WHITE (1973)	47	55,95	33	39,29	13	15,48

* Onde: $r = \text{Vazão sólida calculada (pelos diferentes metodos) / Vazão sólida medida}$
Número de ensaios = 84

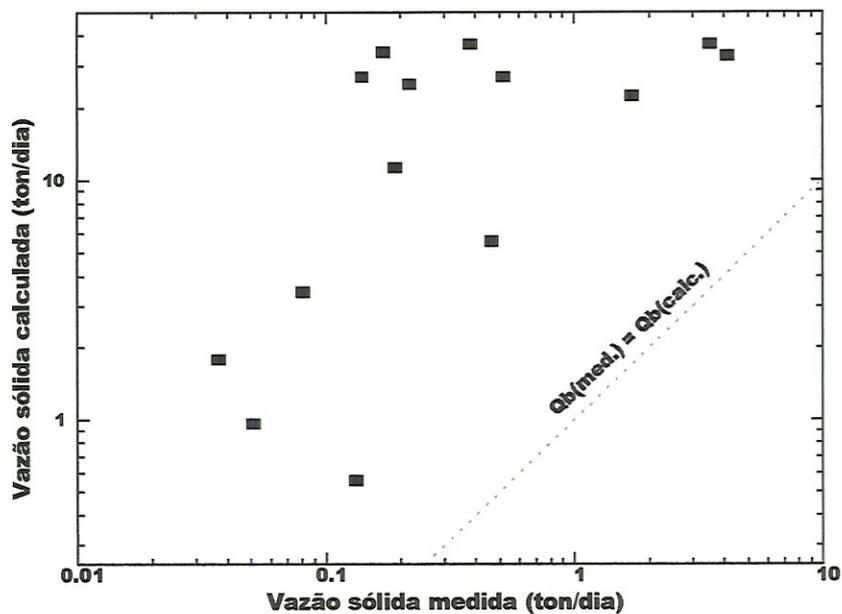


Fig.5d.1- Vazão sólida de fundo medida contra V. S. calculada pelo método de MEYER-PETER & MÜLLER (1948); (Posto Sousas/Campinas/SP)

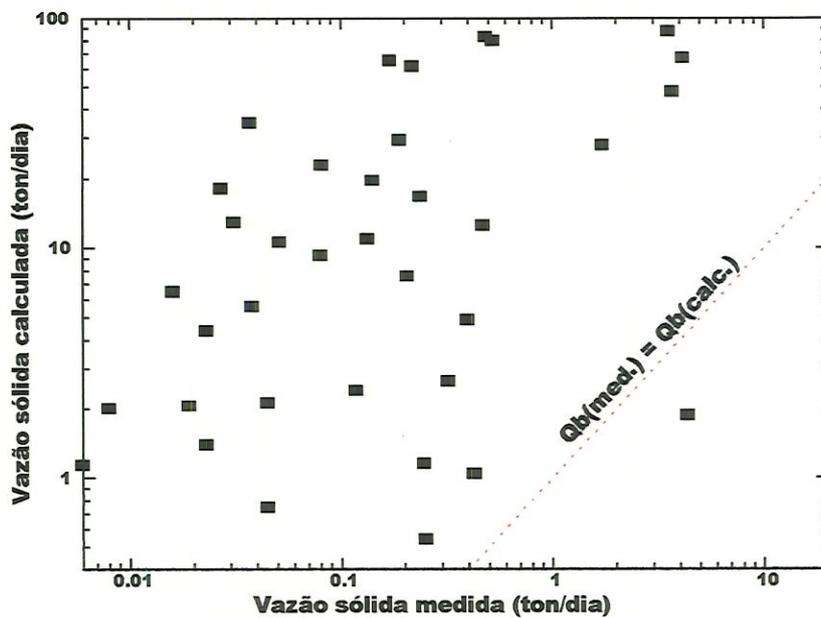


Fig.5d.2 - Vazão sólida de fundo medida contra V.S. de fundo calculada pelo método de EINSTEIN (1950); (Posto Sousas/Campinas/SP)

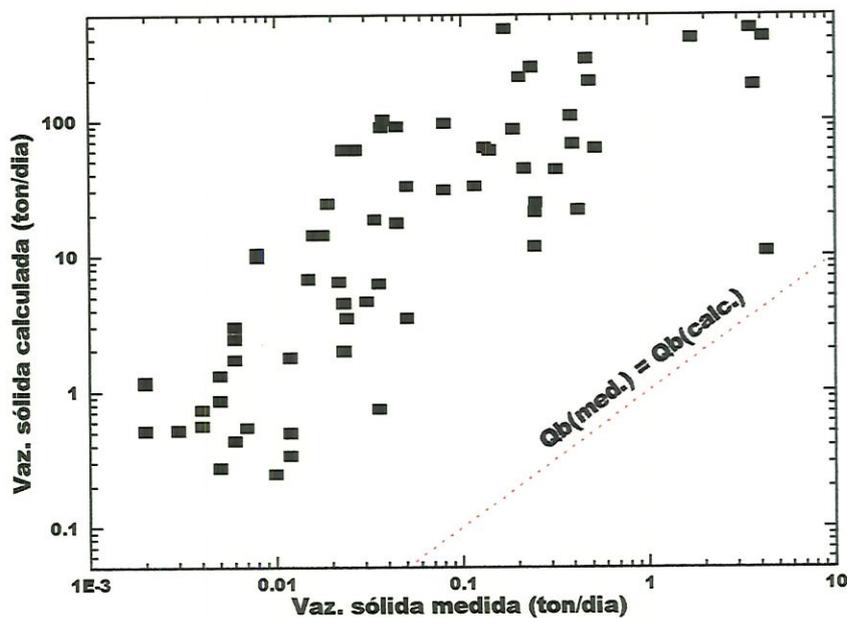


Fig.5d.3- Vazão sólida de fundo medida contra V. S. de fundo calculada pelo método de TOFFALETI (1969); (posto Sousas/Campinas/SP)

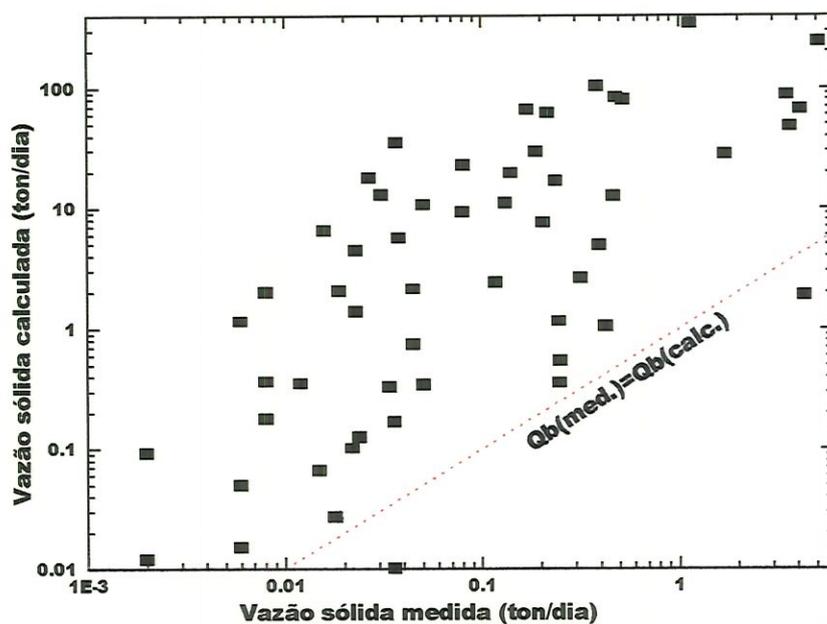


Fig.5d.4- Vazão sólida de fundo medida contra V.S. de fundo calculada pelo método de EINSTEIN & ABDEL (1972); (posto Sousas/Campinas/SP).

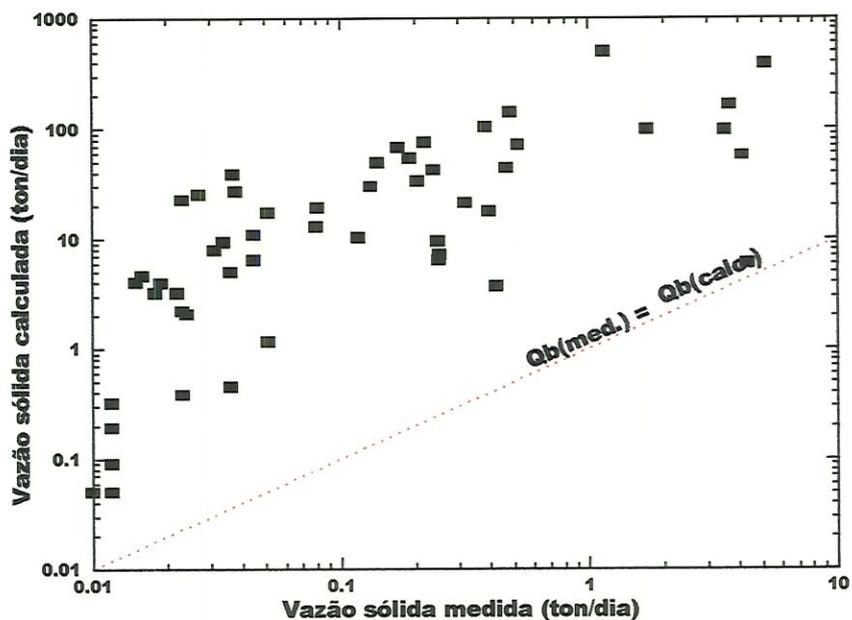


Fig.5d.5- Vazão sólida de fundo medida contra V.S. calculada pelo método de VAN RIJN simplificado (1984c); (posto Sousas/Campinas/SP).

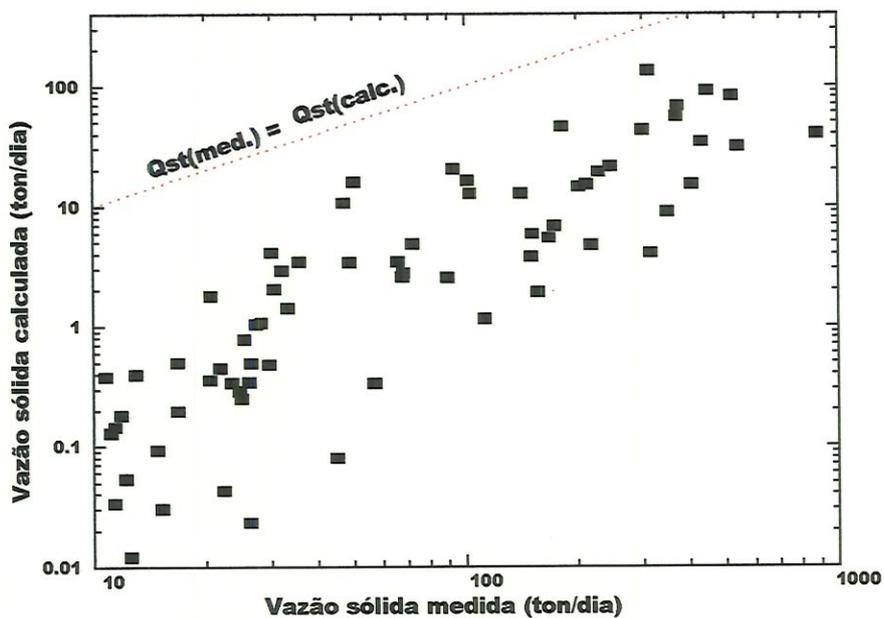


Fig.5d.6 - Vazão sólida total medida contra V.S. total calculada pelo método de LAURSEN (1958); (posto Sousas/Campinas/SP)

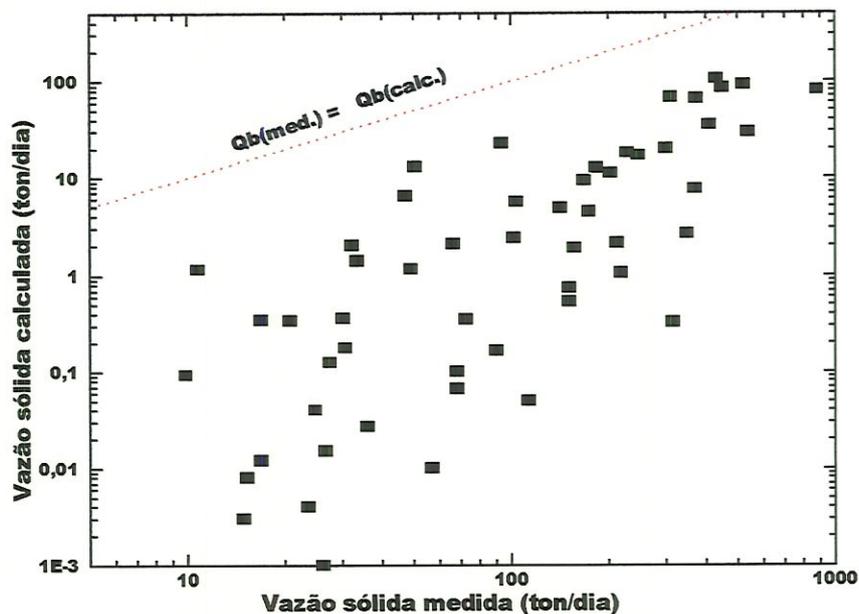


Fig. 5d.7- Vazão sólida total medida contra V.S. total calculada pelo método de EINSTEIN & ABDEL (1972); (posto Sousas/Campinas/SP).

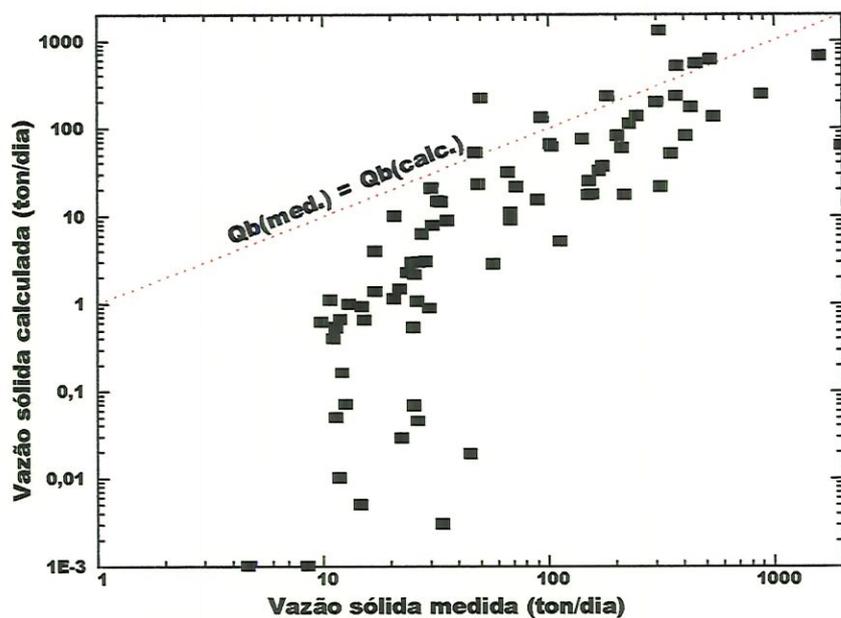


Fig.5d.8 - Vazão sólida total medida contra V. S. total calculada pelo método de ACKERS & WHITE (1973); (posto Sousas/Campinas/SP)

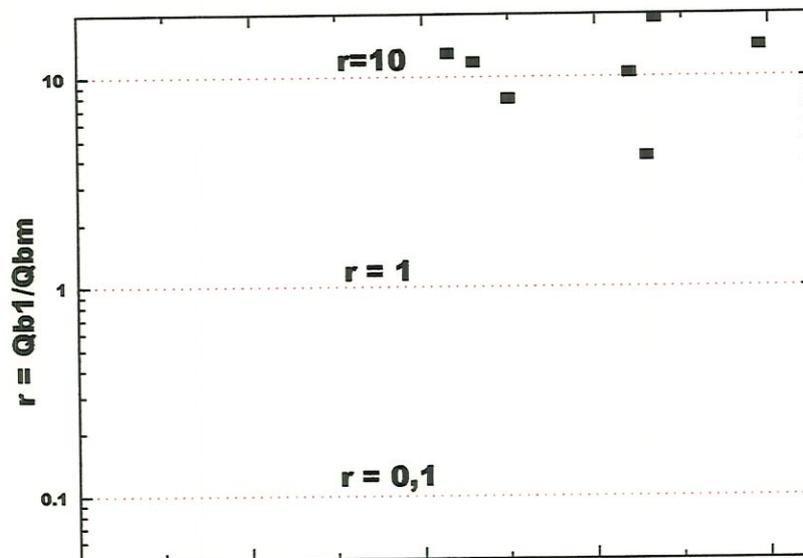


Fig.5e.1- Valores de r dentro da faixa de: $0,1 < r < 10$
 Q_{bm} : Vazão sólida de fundo medida; Q_{b1} : V.S. de
fundo calculada pelo método de MEYER-PETER &
MÜLLER (1948); (posto Sousas/Campinas/SP)

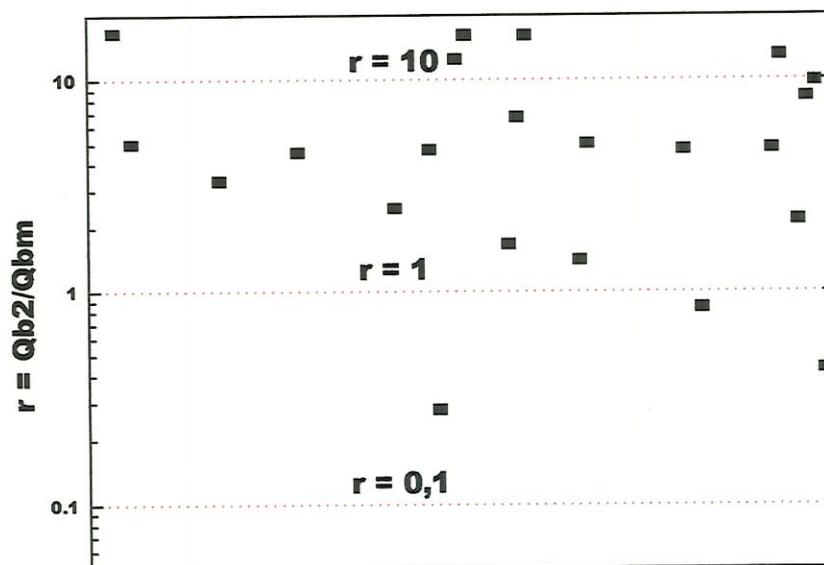


Fig.5e.2- Valores de r dentro da faixa de: $0,1 < r < 10$
 Q_{bm} : Vazão sólida de fundo medida; Q_{b2} : V.S. de
fundo calculada pelo método de EINSTEIN (1950);
(posto Sousas/Campinas/SP)

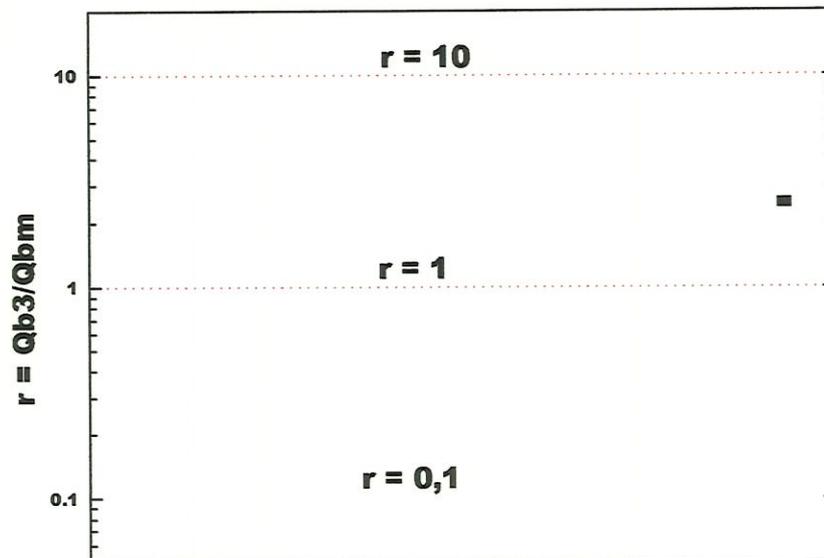


Fig.5e.3 - Valores de r dentro da faixa de $0,1 < r < 10$; Qb_m : Vazão sólida de fundo medida; Qb_3 : V. S. de fundo calculada pelo método de TOFFALETI (1969); (Posto Sousas/Campinas/SP)

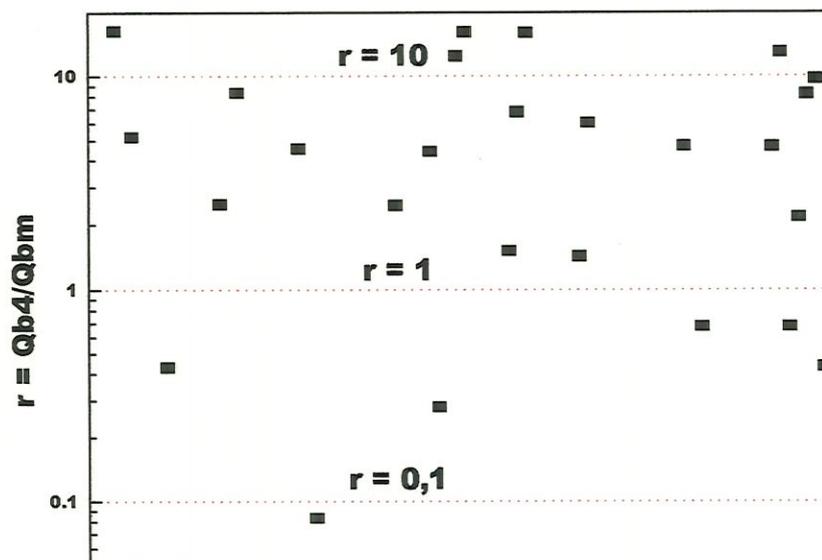


Fig.5e.4 - Valores de r dentro da faixa de: $0,1 < r < 10$ Qb_m : Vazão sólida de fundo medida; Qb_4 : V.S. de fundo calculada pelo método de EINSTEIN & ABDEL (1972); (posto Sousas/Campinas/SP).

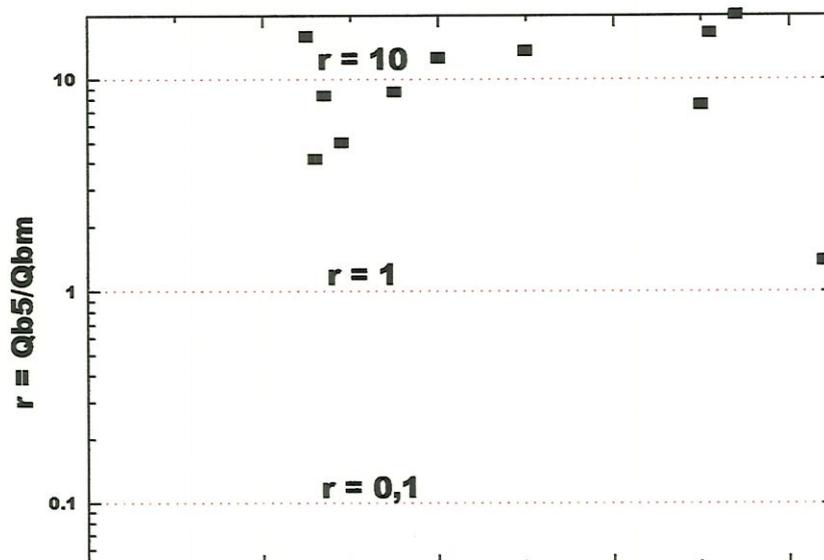


Fig.5e.5- Valores de r dentro da faixa de: $0,1 < r < 10$
Qbm: Vazão sólida de fundo medida; **Qb5:** V.S. de fundo calculada pelo método de VAN RIJN simplif. (1984c); (posto Sousas/Campinas/SP).

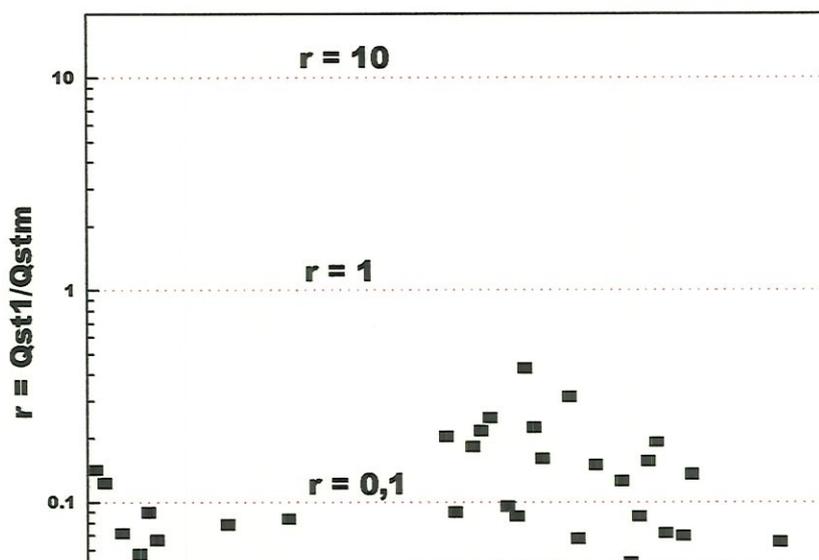


Fig.5e.6- Valores de r dentro da faixa de: $0,1 < r < 10$
Qstm: Vazão sólida total medida; **Qst1:** V.S. total calculada pelo método de LAURSEN (1958); (posto Sousas/Campinas/SP).

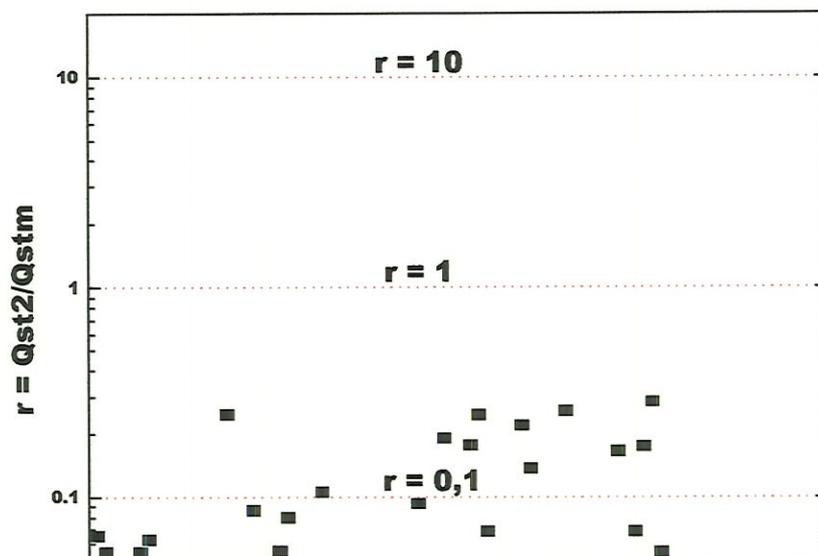


Fig.5e.7- Valores de r dentro da faixa de: $0,1 < r < 10$
Qstm: Vazão sólida total medida; **Qst2:** V.S. total
 calculada pelo método de **EINSTEIN & ABDEL (1972)**;
 (posto Sousas/Campinas/SP)

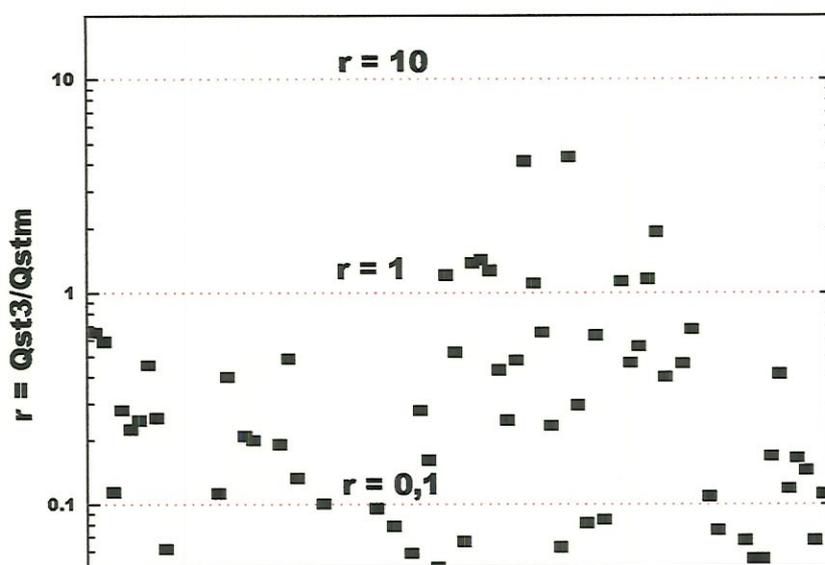


Fig.5e.8- Valores de r dentro da faixa de: $0,1 < r < 10$
Qstm: Vazão sólida total medida; **Qst3:** V.S. total
 calculada pelo método de **ACKERS & WHITE (1973)**;
 (posto Sousas/Campinas/SP).

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES NO RIBEIRÃO DO FEIJÃO, SÃO CARLOS, SP

6.1.1 CORRELAÇÕES ENTRE AS GRANDEZAS MEDIDAS EM CAMPO (RIBEIRÃO DO FEIJÃO)

As vazões sólidas de fundo e totais determinadas em forma direta no ribeirão do Feijão, foram correlacionadas com as grandezas hidráulicas (velocidade, profundidade, e declividade), para estabelecer a melhor correspondência entre as grandezas predominantes e para avaliar o comportamento do rio quanto a transporte de sedimentos.

Encontrando-se em geral, melhores correlações, para o caso das vazões sólidas de fundo contra as grandezas hidráulicas, que no caso das vazões sólidas totais contra as grandezas hidráulicas.

Analisando em separado cada um dos casos verificou-se que:

a) Para vazão sólida de fundo:

- a correlação entre a vazão sólida de fundo e a vazão líquida é a que apresenta melhor correspondência que as outras correlações (coeficiente de correlação: 0,8), percebe-se também que quanto maior for a vazão líquida a dispersão é maior (figura 5a.1);
- as correlações entre vazão sólida e velocidade, e entre vazão sólida e declividade apresentaram coeficientes de correlação de apenas 0,78 e 0,69, notando-se maior dispersão para valores altos de velocidade e declividade respectivamente (figuras 5a.2 e 5a.4).

- a comparação entre vazão sólida e profundidade apresenta uma correlação muito baixa (0,37); (figura 5a.3).

b) Para vazão sólida total:

- como era esperado, a comparação entre vazão sólida total e vazão líquida é a que apresenta a melhor correlação 0,71, observando-se que para taxas altas de vazão líquida, a dispersão é mais acentuada. (figura 5a.5);
- as comparações entre vazão sólida total contra velocidade e declividade apresentam correlações baixas (0,61 e 0,52). Observa-se por outro lado que o desvio é menor no caso da curva vazão sólida contra velocidade. (figuras 5a.6 e 5a.8)
- a correlação entre vazão sólida total e profundidade, apresenta um coeficiente de apenas 0,26 (figura 5a.3).

6.1.2 ANÁLISE COMPARATIVA DAS MEDIÇÕES E ESTIMATIVAS DE CALCULO NO RIBEIRÃO DO FEIJÃO, SÃO CARLOS, SP

A análise comparativa entre vazões sólidas medidas e vazões sólidas calculadas pelos diferentes métodos de estimativa indireta, foi realizada de três formas :

- 1º pela análise estatística das relações entre os valores medidos e calculados;
- 2º pela dispersão dos valores medidos e calculados com relação a linha de concordância perfeita (gráficos 5b.1 a 5b.8);
- 3º pela análise gráfica das relações entre as vazões sólidas medidas e calculadas (gráficos 5c.1 a 5c.8).

Pela primeira forma, isto é, pela análise estatística dos resultados das relações entre valores medidos e os obtidos por métodos de estimativa “r”, obteve-se que:

a) Para vazões sólidas de fundo:

- Os métodos de TOFFALETI (1969) e o método de MEYER- PETER & MÜLLER (1948), apresentaram os melhores resultados, ou seja, valores médios de r iguais a 1,55 e 7,10 respectivamente, e desvios padrão de 10,58 e 20,64 em cada caso (ver

tabela 8). Observa-se também, que embora o método de MEYER-PETER & MÜLLER forneça, na maioria dos casos, valores iguais a zero, os outros resultados diferentes de zero, aproximam-se aos valores medidos.

- Os métodos de EINSTEIN (1950) e EINSTEIN & ABDEL (1972) apresentaram valores médios de 18,04 e 18,12.

b) Para vazão sólida total medida e calculada:

- Os melhores resultados corresponderam aos métodos de LAURSEN (1958) e EINSTEIN & ABDEL (1969) com valores médios de 1,05 e 1,27; e desvios padrão de 1,27 e 3,29 respectivamente, o que evidencia uma boa correspondência (Ver tabela 10).

Da análise pelo segundo critério, verificou-se que:

a) no caso da vazão sólida de fundo:

- o método de TOFFALETI (1969), embora apresenta valores dispersos, estes estão igualmente distribuídos com relação à linha de concordância perfeita (figura 5b.3);
- os métodos de EINSTEIN (1950), EINSTEIN & ABDEL (1972), e VAN RIJN simplificado (1984c) superestimam os resultados (Figuras 5b.2, 5b.4, e 5b.5);
- o método de MEYER-PETER & MÜLLER (1948) subestima os resultados (Figura 5b.1);
- os valores calculados pelo método de EINSTEIN & ABDEL (1972), são os que mais se aproximam à curva de concordância perfeita. (Figura 5b.4);

b) no caso da vazão sólida total:

- os métodos de EINSTEIN & ABDEL (1972) e LAURSEN (1958), apresentam um maior número de valores superestimados que subestimados (Figuras 5b.6 e 5b.7);
- o método de ACKERS & WHITE (1973) superestima os resultados (Figura 5b.8).

Da análise pelo terceiro critério verificou-se que:

a) para transporte de sedimentos de fundo:

- na faixa de valores de “r” entre 0,1 e 10, o método de EINSTEIN & ABDEL (1972) apresenta a maior porcentagem de valores com relação ao número total de medições (50%), figura 5c.4 e tabela 11. Em seguida encontram-se em ordem decrescente os métodos de TOFFALETI (1969), VAN RIJN simplificado (1984c) e EINSTEIN (1950) com porcentagens de 37,5; 35,42 e 33,33 % respectivamente;
- na faixa de valores de “r” compreendida entre 0,2 e 5 os métodos de EINSTEIN & ABDEL (1950) e VAN RIJN simplificado (1984c), foram os que apresentam a maior porcentagem de valores com relação ao total de medições (20,83%); (figuras 5c.4, 5c.5 e tabela 11). Seguidos dos métodos de EINSTEIN (1950) e TOFFALETI (1969), ambos com 18,75 %.
- na faixa de valores de “r” compreendida entre 0,5 e 2 os métodos de EINSTEIN & ABDEL (1972) e TOFFALETI (1969) apresentaram a maior porcentagem com relação aos valores medidos (8.33%), figuras 5c.3 e 5c.4 e tabela 11.

b) Para transporte de sedimentos totais:

- na faixa de valores de “r” entre 0,1 e 10 o método de ACKERS & WHITE (1973) apresenta a maior porcentagem de valores com relação ao número total de medições (62,5%), seguido dos métodos de EINSTEIN & ABDEL (1972) e LAURSEN (1958), com 41,67 e 39,58% respectivamente, figuras 5c.7, 5c.8 e 5c.9 e tabela 11.
- na faixa de “r” compreendida, entre 0,2 e 5 as porcentagens e métodos, em ordem decrescente foram: ACKERS & WHITE (1973) 29,17%; EINSTEIN & ABDEL (1972) 27,08%; e LAURSEN (1958) 22,92%.
- na faixa de valores de “r” compreendida entre 0,5 e 2 os melhores resultados, corresponderam, aos métodos de EINSTEIN & ABDEL (1972), com 10,42% do total de valores medidos diretamente. Seguido dos métodos de LAURSEN (1958) e ACKERS E WHITE (1973) com porcentagens de 8,33% e 6,25%, figuras 5c.6, 5c.7 e 5c.8 e tabela 11.

6.2 ANÁLISE COMPARATIVA DAS MEDIÇÕES E ESTIMATIVAS DE CÁLCULO NO RIO ATIBAIA, CAMPINAS, SP

A análise comparativa das medições e estimativas de cálculo pela aplicação dos métodos testados às 84 medições no rio Atibaia (posto Sousas, Campinas/SP) foi realizada, seguindo os mesmos critérios que para o caso anterior. Desta análise, obteve-se os seguintes resultados:

Da análise estatística das relações entre valores medidos e calculados, determinou-se:

a) Para vazões sólidas de fundo:

- Embora todos os resultados sejam muitos altos, os melhores resultados foram os apresentados pelos métodos de MEYER-PETER & MULLER(1948), EINSTEIN (1950) e EINSTEIN & ABDEL (1972) com valores médios de 13,14; 76,94 e 76,84 e desvios padrão de 40,04 e 154,570.

b) Para vazões sólidas totais:

- o método de ACKERS & WHITE (1973) foi o que apresentou os melhores resultados, isto é, uma média de 0,387 e um desvio padrão de 0,716; seguido do método de LAURSEN (1958)

De acordo com a segunda forma de análise, observou-se que:

a) no caso da vazão sólida de fundo:

- os métodos de EINSTEIN & ABDEL (1972) e EINSTEIN (1950), foram os que apresentam maior proximidade com a curva de concordância perfeita (figuras 5d.2 e 5d.4);
- todos os métodos superestimaram os resultados (figuras 5d.1 a 5d.5.5).

b) No caso da vazão sólida total:

- o método de ACKERS & WHITE (1973) foi o que apresentou a melhor concordância e a melhor distribuição de pontos com relação as medições diretas (figuras 5d.8);
- os métodos de LAURSEN (1958) e EINSTEIN & ABDEL (1972) subestimaram os resultados (figuras 5d.6 e 5d.7).

Da análise pelo terceiro critério, determinou-se que:

a) Para vazões sólidas de fundo:

- os métodos de EINSTEIN (1950) e EINSTEIN & ABDEL (1972), foram os que apresentaram o maior número de valores dentro da faixa de $0,1 < r < 10$ (figuras 5e.2 ,5e.4 e tabela 18), seguidos dos métodos de VAN RIJN (simplificado) e MEYER-PETER & MÜLLER (1948), (figuras 5e.1 e 5e.5);
- o método de TOFFALETI (1969) apresentou valores muito altos com relação aos valores das medições diretas (figura 5e.3).

b) Para vazões sólidas totais:

- o método de ACKERS & WHITE (1973) apresentou, o maior número de pontos dentro da faixa de $0,1 < r < 10$ e valores de r próximos a (1), (figura 5e.8), seguido dos métodos de LAURSEN (1958) e EINSTEIN & ABDEL (1972), (figuras 5e.6 e 5e.7 e tabela 18).

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Das medições hidráulicas e sedimentométricas, realizadas no Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP (no período do maio 96 a abril 97) e da análise das correlações entre a vazão sólida e as grandezas hidráulicas, conclui-se que:

- não existe uma correspondência definida entre a vazão sólida e as grandezas hidráulicas.
- as melhores correlações dentro das limitações antes descritas, foram as que correspondem às vazões sólidas no Ribeirão do Feijão (de fundo e total), com a velocidade e a vazão líquida. Portanto, as curvas obtidas a partir destas correlações podem ser usadas como curvas chaves, necessitando de ajustes contínuos;
- o Ribeirão do Feijão durante o ano transportou pequena quantidade de sólidos, sendo a vazão sólida total média de 0,565 ton/dia, a vazão sólida média em suspensão de 0,491 ton/dia e a vazão sólida de fundo média de 0,07 ton/dia, representando a vazão sólida de fundo em 12 % da vazão sólida total;
- a concentração média padrão, ao longo do período das medições, foi de 4,24 ppm e não mostrou flutuações altas exceto quando da ocorrência de cheias;
- as concentrações médias obtidas das combinação de amostras verticais 2, 4, 6 e 3, 4, 5 foram de 8,16 e 8,12 ppm, o que demonstra uma distribuição uniforme de sedimentos na seção;

- a vazão líquida média, correspondente ao período das medições, foi de 1,35 m³/seg, variando ao longo do ano entre uma mínima de 0,774 m³/seg e uma máxima de 3,325 m³/seg. A profundidade média foi de 0,98 m, registrando-se um máximo de 1,18 m, na época de cheias e um mínimo de 0,86 m na estiagem;
- as médias dos diâmetros representativos D_{35} , D_{50} , D_{65} e D_{90} do material do leito na seção de amostragem, foram de 0,350, 0,399, 0,464 e 0,753 mm, respectivamente;

Da análise comparativa entre as medições diretas da *vazão sólida de fundo* no *Ribeirão do Feijão* e das estimativas de cálculo obtidas pela aplicação dos métodos testados (MEYER-PETER & MÜLLER (1948), EINSTEIN (1950), TOFFALETI (1969), EINSTEIN & ABDEL-AAL (1972) e VAN RIJN simplificado (1984c), conclui-se que:

- nenhum dos métodos testados apresentou resultados adequados para serem recomendados na aplicação do cálculo da vazão sólida de fundo em rios pequenos;
- dos métodos testados, o método de EINSTEIN & ABDEL-AAL (1972), foi aquele que forneceu melhores resultados em comparação com as medições diretas, seguido dos métodos de TOFFALETI (1969), VAN RIJN simplificado (1984c) e EINSTEIN (1950);
- o método de MEYER-PETER & MÜLLER (1948) na maioria dos cálculos só forneceu resultados nulos, não permitindo uma boa comparação com as medições diretas. Isto deve-se ao fato de que neste método a vazão sólida não é calculada por classes granulométricas;
- considerando todas as taxas de transporte de sedimentos, os métodos de EINSTEIN (1950), EINSTEIN & ABDEL (1950) e VAN RIJN simplificado (1984c) superestimaram os resultados;
- o método de MEYER-PETER & MÜLLER (1948) subestimaram os resultados principalmente para taxas baixas de transporte de sedimentos. O método de TOFFALETI (1969) subestimou os resultados para taxas altas de transporte de sedimentos.

Da análise comparativa entre as medições diretas da *vazão sólida total* no *Ribeirão do Feijão* e as estimativas de cálculo obtidas pela aplicação dos diferentes

métodos testados LAURSEN (1958), EINSTEIN & ABDEL (1958) e ACKERS & WHITE (1973), conclui-se que:

- entre os métodos testados com base nos diferentes critérios, o método de ACKERS & WHITE (1973) foi o que forneceu os melhores resultados, seguido dos métodos de EINSTEIN & ABDEL-AAL (1972) e LAURSEN (1958).

Da comparação entre as 84 medições diretas da *vazão sólida total* realizadas no *Rio Atibaia*, posto Sousas, Campinas, SP (no período de março 93 a junho 96), e as estimativas de cálculo obtidas pela aplicação dos métodos testados: MEYER-PETER & MÜLLER (1948), EINSTEIN (1950), TOFFALETI (1969), EINSTEIN & ABDEL-AAL (1972) e VAN RIJN Simplificado (1984c), conclui-se que:

- dos métodos testados nenhum deles apresentou resultados que possam garantir a sua aplicabilidade em rios pequenos;
- os métodos de EINSTEIN & ABDEL-AAL (1972) e EINSTEIN (1950) foram os que apresentaram os resultados mais próximos às medições de campo;
- os métodos de VAN RIJN Simplificado (1984c), MEYER-PETER & MÜLLER (1948) e TOFFALETI apresentaram resultados muito altos com relação aos valores das medições diretas.

Da análise comparativa entre as medições diretas da *vazão sólida total* no *Rio Atibaia*, posto Sousas, Campinas - SP e as estimativas de cálculo obtidas pela aplicação dos diferentes métodos testados : LAURSEN (1958), EINSTEIN & ABDEL (1958) e ACKERS & WHITE (1973), conclui-se que:

- o método de ACKERS & WHITE (1973) foi o método que apresentou os melhores resultados;
- os métodos LAURSEN (1958) e EINSTEIN & ABDEL-AAL (1972) subestimaram os resultados.

Considerando os resultados correspondentes aos dois rios conclui-se que:

- para estimativas de vazão sólida de fundo em rios pequenos e córregos o método de EINSTEIN & ABDEL-AAL (1972) forneceu resultados satisfatórios, mas para ser aplicado, precisa de um teste prévio.

- para estimativas de cálculo de vazão sólida total em rios pequenos e córregos o modelo de ACKERS & WHITE (1973) conduz a resultados coerentes, podendo ser aplicado em rios pequenos.

Das observações e a experiência do presente trabalho, conclui-se também que:

- a vazão sólida não depende exclusivamente de um número de grandezas predominantes e põe em evidência a influência de outros fatores como as condições de contorno que, caso do Ribeirão do Feijão, deve-se a presença de mata ciliar nas margens que altera as condições do fluxo, diminui a taxa de transporte de sedimentos e portanto, atenua o processo erosivo.
- as estimativas de cálculo em casos particulares de rios pequenos devem ser feitas pelo menos por três métodos, de forma a permitir a comparação dos resultados e a avaliação do grau de acuracidade das estimativas efetuadas;
- no caso do Ribeirão do Feijão as discrepâncias entre medições diretas e estimativas e a baixa taxa de transporte de sedimentos podem ser explicadas pelas características da formação geológica da região (formação Botucatu), pela diferença entre a capacidade de transporte e a não disponibilidade de materiais susceptíveis aos processos de transporte.
- Recomenda-se um estudo e revisão dos coeficientes considerados nos diferentes modelos, de forma a proceder à calibração dos mesmos de acordo com as condições locais.
- As limitações dos aparelhos de amostragem para coleta de material de fundo, constitui uma das maiores dificuldades nos estudos comparativos. E enquanto estes não sejam aperfeiçoados as discrepâncias entre medições e estimativas, serão muito grandes.
- Nenhuma das fórmulas poderá ser aplicada, se não existir medições de campo, que permitam uma calibragem prévia.
- Nos estudos de aplicabilidade de modelos de estimativa de transporte de sedimentos, é importante estabelecer previamente um critério de seleção dos modelos a serem testados.

BIBLIOGRAFÍA

- ACKERS, P. & WHITE, W.R. (1973) - "*Sediment Transport : New Approach and Analysis*". Journal of the Hydraulics Division, ASCE, vol. 96, N° HY 11, Nov., pp. 2041-2060.
- AMIN, M.I. & MURPHY, P.J. (1981) - "*Two Bed-Load Formulas an Evaluation*". Journal of The Hydraulics Division , Asce, vol. 107, N° HY6, Aug.,961-972.
- ASHWORT P. & BENNETT S. & BEST S. (1996) - "*Coherent Flow Structures in Open Channels*", John Wiley & Sons Ltd, England, 733 pp
- AZIZ, N. M. (1996), "*Error Estimate in Einstein's Suspended Sediment Load Method*", Journal of The Hydraulics Division , ASCE Vol. 122 N° 5, pp 282-285.
- CARVALHO, N. O . (1994), "*Hidrossedimentología - Prática*", Fundo de Desenvolvimento Tecnológico da ELECTROBRÁS , Rio de Janeiro - Brasil, 372 pp.
- CHANG, H. H. (1988), "*Fluvial Processes in River Engineering*", John Wiley & Sons, Inc. USA , 432 pp.
- CHRISTOFOLETTI, A . (1981), "*Geomorfología Fluvial*", Editora Blücher Ltda, São Paulo - Brasil, 313 pp.
- COLBY, B. R. (1964) - "*Practical Computations of Bed Material Discharge*". Journal of the Hydraulics Division, ASCE, vol. 90, N° HY2.

- CUNHA, L.V. da (1969) - "Evolução e Posição Atual dos Conceitos sobre Transporte Sólido em escoamentos com Superfície Livre". Laboratório Nacional de Engenharia Civil - Lisboa.
- DITTRICH A. & NESTMANN P. & ERGENZINGER (1996), "*Ratio of Lift and Coherent Shear Forces Over Rough Surfaces*"- Flow Structures in Open Channels. Edited by P.J. Ashworth, John Wiley & Sons Ltd., pp. 125-146.
- EINSTEIN, H. A. & ABDEL-AAL, F.M. (1972) - "*Einstein Bed Load Function at High Sediment Rates*", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, vol. 98, N° HY1, JAN. , pp. 137-152.
- ENGELUND, F. & FREDSOE, J. (1982) - "*Hydraulic theory of alluvial rivers*", Advances in Hidroscience, Vol. 13 pp 187-195.
- GARCIA M. & NIÑO Y. & LOPEZ F. (1996), "*Laboratory Observations of particle entrainment into suspension by turbulent Bursting*" - Coherent Flow Structures in Open Channels. Edited by P.J. Ashworth, John Wiley & Sons Ltd., pp. 63-86.
- GRAF, W. H. (1971) - "*Hydraulics of Sediment Transport*", Mc Graw-Hill Book Co, N.Y.
- GUY, H. P. (1974) - "*Field Methods of Measurement of Fluvial Sediment*". Techniques of Water - Resources Investigations.
- HU, C. & HUI, Y. (1996) - "*Bed Load Transport I : Mechanical Characteristics*". Journal of Hydraulic Engineering ASCE , Vol. 122, N° 5, pp 245- 254.
- KESHAVARZY A. & BALL J.(1996) - "*The influence of the turbulent shear stress on the initiation of sediment motion in na open channel flow*", Stochastic Hydraulics 96, Balkema, Rotterdam, pp191-197.
- LEE, H. & HSU, I. (1994) - "*Investigation of Saltating Particle Motions*". Journal of Hydraulic Engineering ASCE , Vol. 120, No. 7, July, 1994, pp 831- 845.
- MAHMOOD, K. & PONCE, V.M. (1975) - "*Computer Programs for Sediment Transport - Documentation Listing*", Engineering Research Center, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 95p.

- NAKATO, T. (1990) - "*Tests of Selected Sediment Transport Formulas*", Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 116 N° 3
- PAIVA, J. B. D. (1988) - "*Avaliação de Modelos Matemáticos de cálculo de Transporte de Sedimentos em rios*". São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos 1988, Tese de Doutorado.
- PONCE, R. C. (1990) - "*Análise da Aplicabilidade e Modificações de Modelos de Cálculo de Transporte de Sedimento por arrasto de fundo em rios de médio porte*", São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos 1990, Tese de Doutorado.
- PONCE, R. C. & VILLELA, M. (1990) - "*Manual do Usuário para os Programas de Transporte de Sedimento por arrasto de Fundo*". Escola de Engenharia de São Carlos, 75 pp.
- RAJU, K. G. R. , GARDE, R. J. & BHARDWAJ, R. R. (1983) - "*Total Load Transport in Alluvial Channels*", Journal of Hydraulics Division, ASCE, vol. 107, N°. HY2, February.
- SHEN, H. W. & HUNG, C. S. (1983) - "*Remodified Einstein Procedure for Sediment Load* ", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 109, N° 4, April, pp 565-629.
- SIMONS, D. B. & SENTURK, F. (1977) - "*Sediment Transport Technology*". Water Resources Publications , Fort Collins, Colorado.
- SIMONS, D. B. & SENTURK, F. (1992) - "*Sediment Transport Technology*". Water Resources Publications , Fort Collins, Colorado.
- STEVENS, H. H. et al. (1989) - "*Summary and use of selected fluvial sediment discharge formulas*", Denver Colorado U.S. Geological Survey.
- TASK COMMITTEE OF SEDIMENTATION MANUAL (1971) - "*Sediment Transportation Mechanics: H. Sediment Discharge Formulas*", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 97, N° HY4, April, pp 523-567.

TASK COMMITTEE ON RELATIONS BETWEEN MORPHOLOGY OF SMALL STREAMS AND SEDIMENT YIELD (1982) - "*Relationships Between*

Morphology of Small Streams and Sediment Yield", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 108, HY11, November, pp 1328- 1365.

TOFFALETI, F. B. (1969) - "*Definitive Computations of Sand Discharge in Rivers*", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 95, HY1, Jan., pp 225-246.

VANONI, V. A. (1975) - "*Sedimentation Engineering*", ASCE, Task Committee for Preparation of the Manual on Sedimentation of Sedimentation Committee of the Hydraulics Division.

VANONI, V. A. (1984) - "*Fifty Years of Sedimentation*", Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 110 N° 8 , pp 1022-1050.

VAN RIJN, L. C. (1984 a) - "*Sediment Transport , Part I : Bed Load Transport*", Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, Vol. 110, N° 10, October, pp 1431- 1436.

VAN RIJN, L.C. (1984 b) - "*Sediment Transport, part II: Suspended Load Transport, Part II*", Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, Vol. 110, N°. 11, November, pp 1613-1641.

YALIN, M. S. (1977) - "*Mechanics of Sediment Transport*", (2nd ed.) Pergamon Press, Oxford England.

YANG, C. T. (1973) - "*Incipient Motion and Sediment Transport*", Journal of Hydraulics Division, ASCE Vol. 99 N° HY10 paper 10067 pp 1679-1701

YANG, C. T. & KONG, X. (1991), "*Energy dissipation rate and Sediment Transport*", Journal of Hydraulic Research , Vol 29, N° 4 , pp 199-206.

YANG, C. T. & MOLINAS (1966), "*Sediment Transport in the Yellow River*", Journal of Hydraulic Engineering - Vol 122 , N° 5 , pp 237-244.

ANEXO 1

TABELA A1. Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão/São carlos/SP)

Nº	Data	Diâmetros		Fração no leito	D90 (mm)	D65 (mm)	D50 (mm)	D35 (mm)	Coef. grad.
		inferior (mm)	superior (mm)						
1	14/5/96	4,800	2,000	0,0004	0,533	0,384	0,346	0,308	1,413
		2,000	0,840	0,0082					
		0,840	0,600	0,0288					
		0,600	0,420	0,1678					
		0,420	0,300	0,4772					
		0,300	0,210	0,2187					
		0,210	0,150	0,0827					
2	21/5/96	4,800	2,000	0,0004	0,589	0,414	0,376	0,339	1,396
		2,000	0,840	0,0182					
		0,840	0,600	0,0660					
		0,600	0,420	0,2402					
		0,420	0,300	0,4805					
		0,300	0,210	0,1505					
		0,210	0,150	0,0388					
3	28/5/96	4,800	2,000	0,0003	0,563	0,400	0,365	0,330	1,380
		2,000	0,840	0,0119					
		0,840	0,600	0,0445					
		0,600	0,420	0,2076					
		0,420	0,300	0,5116					
		0,300	0,210	0,1813					
		0,210	0,150	0,0378					
4	6/4/96	4,800	2,000	0,0100	0,715	0,431	0,377	0,329	1,541
		2,000	0,840	0,0464					
		0,840	0,600	0,0840					
		0,600	0,420	0,2237					
		0,420	0,300	0,3750					
		0,300	0,210	0,1680					
		0,210	0,150	0,0784					
5	6/11/96	4,800	2,000	0,0011	0,560	0,400	0,363	0,327	1,397
		2,000	0,840	0,0138					
		0,840	0,600	0,0361					
		0,600	0,420	0,2180					
		0,420	0,300	0,4889					
		0,300	0,210	0,1905					
		0,210	0,150	0,0475					

Continua...

TABELA A1. Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão/São carlos/SP)

Nº	Data	Diâmetros		Fração no leito	D90 (mm)	D65 (mm)	D50 (mm)	D35 (mm)	Coef. grad.
		inferior (mm)	superior (mm)						
6	18/6/96	0,150	0,075	0,0041					
		4,800	2,000	0,0013	0,752	0,508	0,428	0,375	1,428
		2,000	0,840	0,0535					
		0,840	0,600	0,1238					
		0,600	0,420	0,3353					
		0,420	0,300	0,3645					
		0,300	0,210	0,1028					
		0,210	0,150	0,0170					
7	25/6/96	0,150	0,075	0,0018					
		4,800	2,000	0,0010	0,578	0,404	0,368	0,332	1,392
		2,000	0,840	0,0239					
		0,840	0,600	0,0470					
		0,600	0,420	0,2125					
		0,420	0,300	0,4971					
		0,300	0,210	0,1886					
		0,210	0,150	0,0277					
8	7/1/96	0,150	0,075	0,0220					
		4,800	2,000	0,0190	1,566	0,740	0,610	0,479	1,890
		2,000	0,840	0,2774					
		0,840	0,600	0,2157					
		0,600	0,420	0,2069					
		0,420	0,300	0,2111					
		0,300	0,210	0,0576					
		0,210	0,150	0,0113					
9	7/9/96	0,150	0,075	0,0019					
		4,800	2,000	0,0073	0,680	0,456	0,393	0,352	1,401
		2,000	0,840	0,0379					
		0,840	0,600	0,0822					
		0,600	0,420	0,2774					
		0,420	0,300	0,4299					
		0,300	0,210	0,1191					
		0,210	0,150	0,0371					
10	7/16/96	0,150	0,075	0,0091					
		4,800	2,000	0,0174	1,080	0,537	0,442	0,376	1,597
		2,000	0,840	0,1041					
		0,840	0,600	0,1280					
		0,600	0,420	0,2850					
		0,420	0,300	0,3142					
0,300	0,210	0,1087							

Continua...

TABELA A1. Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão/São carlos/SP)

Nº	Data	Diâmetros		Fração no leito	D90 (mm)	D65 (mm)	D50 (mm)	D35 (mm)	Coef. grad.
		inferior (mm)	superior (mm)						
11	7/23/96	0,210	0,150	0,0319	0,584	0,392	0,349	0,305	1,526
		0,150	0,075	0,0107					
		4,800	2,000	0,0006					
		2,000	0,840	0,0328					
		0,840	0,600	0,0523					
		0,600	0,420	0,1679					
		0,420	0,300	0,4148					
		0,300	0,210	0,2024					
		0,210	0,150	0,0800					
12	7/30/96	0,150	0,075	0,0492	1,025	0,596	0,504	0,413	1,570
		4,800	2,000	0,0026					
		2,000	0,840	0,1159					
		0,840	0,600	0,2254					
		0,600	0,420	0,2922					
		0,420	0,300	0,2521					
		0,300	0,210	0,0715					
		0,210	0,150	0,0271					
		0,150	0,075	0,0132					
13	8/6/96	4,800	2,000	0,0000	0,540	0,392	0,354	0,479	1,415
		2,000	0,840	0,0061					
		0,840	0,600	0,0259					
		0,600	0,420	0,1943					
		0,420	0,300	0,4895					
		0,300	0,210	0,1980					
		0,210	0,150	0,0685					
		0,150	0,075	0,0177					
		0,075	0,0375	0,0044					
14	8/13/96	4,800	2,000	0,0000	0,572	0,405	0,362	0,318	1,463
		2,000	0,840	0,0085					
		0,840	0,600	0,0540					
		0,600	0,420	0,2377					
		0,420	0,300	0,4103					
		0,300	0,210	0,2156					
		0,210	0,150	0,0566					
		0,150	0,075	0,0173					
		0,075	0,0375	0,0044					
15	8/23/96	4,800	2,000	0,0000	0,591	0,414	0,375	0,335	1,419
		2,000	0,840	0,0200					
		0,840	0,600	0,0684					
		0,600	0,420	0,2396					
		0,420	0,300	0,4537					

Continua...

TABELA A1. Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão/São carlos/SP)

Nº	Data	Diâmetros		Fração no leito	D90 (mm)	D65 (mm)	D50 (mm)	D35 (mm)	Coef. grad.
		inferior (mm)	superior (mm)						
16	8/27/96	0,300	0,210	0,1847	0,747	0,438	0,378	0,328	1,577
		0,210	0,150	0,0300					
		0,150	0,075	0,0036					
		4,800	2,000	0,0125					
		2,000	0,840	0,0548					
		0,840	0,600	0,0844					
		0,600	0,420	0,2208					
		0,420	0,300	0,3623					
		0,300	0,210	0,1541					
		0,210	0,150	0,0699					
17	9/3/96	0,150	0,075	0,0412	1,195	0,546	0,435	0,372	1,644
		4,800	2,000	0,0142					
		2,000	0,840	0,1236					
		0,840	0,600	0,1399					
		0,600	0,420	0,2424					
		0,420	0,300	0,3225					
		0,300	0,210	0,1115					
		0,210	0,150	0,0344					
		0,150	0,075	0,0115					
		4,800	2,000	0,0021					
18	9/10/96	2,000	0,840	0,0229	0,644	0,441	0,384	0,338	1,475
		0,840	0,600	0,0919					
		0,600	0,420	0,2642					
		0,420	0,300	0,3951					
		0,300	0,210	0,1522					
		0,210	0,150	0,0546					
		0,150	0,075	0,0170					
		4,800	2,000	0,0000					
		2,000	0,840	0,0098					
		0,840	0,600	0,0500					
20	9/17/96	0,600	0,420	0,2265	0,568	0,400	0,354	0,307	1,505
		0,420	0,300	0,3855					
		0,300	0,210	0,2160					
		0,210	0,150	0,0894					
		0,150	0,075	0,0228					
		4,800	2,000	0,0012					
		2,000	0,840	0,0272					
		0,840	0,600	0,0683					
		0,600	0,420	0,2414					
		0,420	0,300	0,3855					
21	9/20/96	0,300	0,210	0,1541	0,598	0,417	0,375	0,334	1,445
		0,210	0,150	0,0699					
		0,150	0,075	0,0412					
		4,800	2,000	0,0142					

Continua...

TABELA A1. Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão/São carlos/SP)

Nº	Data	Diâmetros		Fração no leito	D90 (mm)	D65 (mm)	D50 (mm)	D35 (mm)	Coef. grad.
		inferior (mm)	superior (mm)						
22	10/1/96	0,420	0,300	0,4350	0,568	0,402	0,359	0,316	1,467
		0,300	0,210	0,1710					
		0,210	0,150	0,0489					
		0,150	0,075	0,0070					
		4,800	2,000	0,0000					
		2,000	0,840	0,0164					
		0,840	0,600	0,0433					
		0,600	0,420	0,2268					
		0,420	0,300	0,4201					
		0,300	0,210	0,2066					
23	10/8/96	0,210	0,150	0,0729	0,568	0,406	0,365	0,324	1,432
		0,150	0,075	0,0139					
		4,800	2,000	0,0000					
		2,000	0,840	0,0126					
		0,840	0,600	0,0441					
		0,600	0,420	0,2425					
		0,420	0,300	0,4367					
		0,300	0,210	0,2092					
		0,210	0,150	0,0472					
		0,150	0,075	0,0770					
24	15/10/96	4,800	2,000	0,0005	0,702	0,485	0,409	0,359	1,427
		2,000	0,840	0,0362					
		0,840	0,600	0,1092					
		0,600	0,420	0,3199					
		0,420	0,300	0,3606					
		0,300	0,210	0,1360					
		0,210	0,150	0,0309					
		0,150	0,075	0,0067					
		4,800	2,000	0,0005					
		2,000	0,840	0,0427					
25	22/10/96	0,840	0,600	0,1338	0,738	0,503	0,419	0,362	1,491
		0,600	0,420	0,3197					
		0,420	0,300	0,3187					
		0,300	0,210	0,1351					
		0,210	0,150	0,0409					
		0,150	0,075	0,0086					
		4,800	2,000	0,0012					
		2,000	0,840	0,0729					
		0,840	0,600	0,1342					
		0,600	0,420	0,3197					
26	31/10/96	4,800	2,000	0,0012	0,794	0,504	0,410	0,353	1,599
		2,000	0,840	0,0729					
		0,840	0,600	0,1342					

Continua...

TABELA A1. Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão/São carlos/SP)

N°	Data	Diâmetros		Fração no leito	D90 (mm)	D65 (mm)	D50 (mm)	D35 (mm)	Coef. grad.					
		inferior (mm)	superior (mm)											
27	11/5/96	0,600	0,420	0,2648	0,577	0,390	0,344	0,298	1,517					
		0,420	0,300	0,3165										
		0,300	0,210	0,1472										
		0,210	0,150	0,0508										
		0,150	0,075	0,0124										
		2,000	0,840	0,0244										
		0,840	0,600	0,0500										
		0,600	0,420	0,1736										
		0,420	0,300	0,3924										
		0,300	0,210	0,2319										
28	11/12/96	0,210	0,150	0,1014	0,556	0,393	0,348	0,303	1,497					
		0,150	0,075	0,0230										
		4,800	2,000	0,0002										
		2,000	0,840	0,0053										
		0,840	0,600	0,0428										
		0,600	0,420	0,2121										
		0,420	0,300	0,599										
		0,300	0,210	0,0190										
		0,210	0,150	0,0808										
		0,150	0,075	0,0408										
29	11/19/96	4,800	2,000	0,0033	0,682	0,441	0,384	0,340	1,464					
		2,000	0,840	0,0298										
		0,840	0,600	0,1013										
		0,600	0,420	0,2439										
		0,420	0,300	0,4064										
		0,300	0,210	0,1734										
		0,210	0,150	0,0375										
		0,150	0,075	0,0044										
		4,800	2,000	0,0031						0,827	0,559	0,496	0,433	1,415
		2,000	0,840	0,0885										
0,840	0,600	0,1604												
0,600	0,420	0,4300												
0,420	0,300	0,2740												
0,300	0,210	0,0397												
0,210	0,150	0,0043												
0,150	0,075	0,0000												
31	11/25/96	4,800	2,000	0,0015	0,588	0,464	0,402	0,358	1,361					
		2,000	0,840	0,0356										

Continua...

TABELA A1. Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão/São carlos/SP)

Nº	Data	Diâmetros		Fração no leito	D90 (mm)	D65 (mm)	D50 (mm)	D35 (mm)	Coef. grad.
		inferior (mm)	superior (mm)						
32	12/3/96	0,840	0,600	0,0387					
		0,600	0,420	0,3623					
		0,420	0,300	0,4069					
		0,300	0,210	0,1276					
		0,210	0,150	0,0217					
		0,150	0,075	0,0057					
		4,800	2,000	0,0019	0,615	0,417	0,372	0,327	1,492
		2,000	0,840	0,0225					
		0,840	0,600	0,0807					
		0,600	0,420	0,2348					
33	12/5/96	0,420	0,300	0,4012					
		0,300	0,210	0,1798					
		0,210	0,150	0,0608					
		0,150	0,075	0,0183					
		4,800	2,000	0,0002	0,708	0,474	0,399	0,351	1,461
		2,000	0,840	0,0368					
		0,840	0,600	0,1144					
		0,600	0,420	0,2826					
		0,420	0,300	0,3732					
		0,300	0,210	0,1374					
34	12/12/96	0,210	0,150	0,0433					
		0,150	0,075	0,0121					
		4,800	2,000	0,0003	0,650	0,418	0,375	0,331	1,477
		2,000	0,840	0,0254					
		0,840	0,600	0,0940					
		0,600	0,420	0,2224					
		0,420	0,300	0,4168					
		0,300	0,210	0,1834					
		0,210	0,150	0,0467					
		0,150	0,075	0,0110					
35	12/18/96	4,800	2,000	0,0007	0,582	0,461	0,397	0,346	1,458
		2,000	0,840	0,0458					
		0,840	0,600	0,0158					
		0,600	0,420	0,3711					
		0,420	0,300	0,3494					
		0,300	0,210	0,1300					
		0,210	0,150	0,0551					
		0,150	0,075	0,0321					
36	1/4/97	4,800	2,000	-	0,462	0,320	0,268	0,222	1,526

Continua...

TABELA A1. Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão/São carlos/SP)

Nº	Data	Diâmetros		Fração no leito	D90 (mm)	D65 (mm)	D50 (mm)	D35 (mm)	Coef. grad.
		inferior (mm)	superior (mm)						
37	1/8/97	2,000	0,840	0,0053	1,240	0,572	0,498	0,424	1,564
		0,840	0,600	0,0241					
		0,600	0,420	0,0922					
		0,420	0,300	0,2741					
		0,300	0,210	0,2914					
		0,210	0,150	0,2490					
		0,150	0,075	0,0639					
		4,800	2,000	0,0075					
		2,000	0,840	0,1412					
		0,840	0,600	0,1450					
38	1/14/97	0,600	0,420	0,3640	0,810	0,531	0,444	0,382	1,510
		0,420	0,300	0,2629					
		0,300	0,210	0,0602					
		0,210	0,150	0,0176					
		0,150	0,075	0,0016					
		4,800	2,000	0,0018					
		2,000	0,840	0,0796					
		0,840	0,600	0,1487					
		0,600	0,420	0,3111					
		0,420	0,300	0,3391					
39	1/24/97	0,300	0,210	0,0893	0,587	0,264	0,201	0,169	1,876
		0,210	0,150	0,0259					
		0,150	0,075	0,0045					
		4,800	2,000	0,0070					
		2,000	0,840	0,0397					
		0,840	0,600	0,0487					
		0,600	0,420	0,0642					
		0,420	0,300	0,1177					
		0,300	0,210	0,1809					
		0,210	0,150	0,2795					
40	1/28/97	0,150	0,075	0,2623	1,147	0,516	0,436	0,372	1,586
		4,800	2,000	0,0046					
		2,000	0,840	0,1298					
		0,840	0,600	0,0577					
		0,600	0,420	0,3378					
		0,420	0,300	0,3002					
		0,300	0,210	0,1249					
		0,210	0,150	0,0367					
0,150	0,075	0,0083							

Continua...

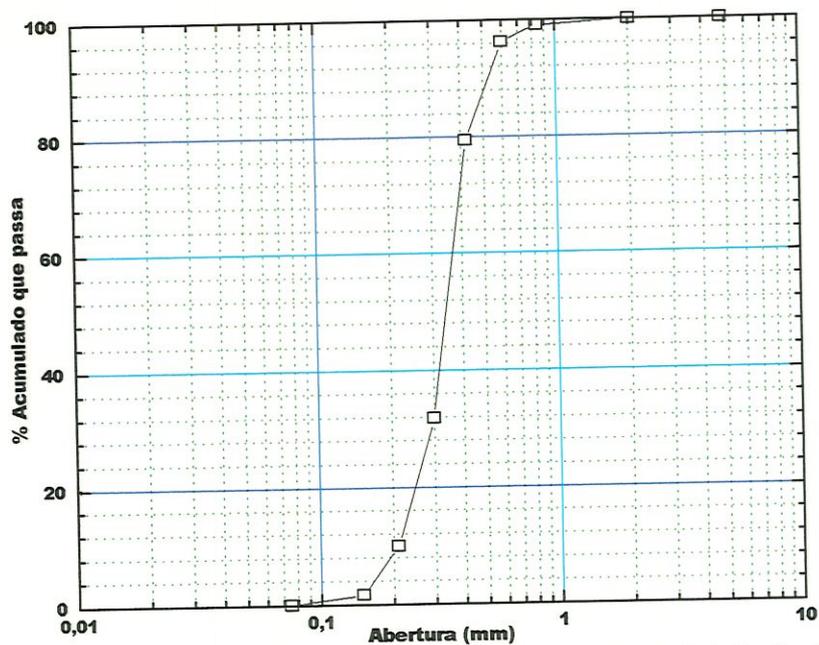
TABELA A1. Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)

Nº	Data	Diâmetros		Fração no leito	D90 (mm)	D65 (mm)	D50 (mm)	D35 (mm)	Coef. grad.
		inferior (mm)	superior (mm)						
41	2/11/97	4,800	2,000	0,0035	0,774	0,515	0,432	0,378	1,450
		2,000	0,840	0,0605					
		0,840	0,600	0,1311					
		0,600	0,420	0,3265					
		0,420	0,300	0,3707					
		0,300	0,210	0,0888					
		0,210	0,150	0,0179					
		0,150	0,075	0,0010					
42	2/20/97	4,800	2,000	0,0024	0,783	0,520	0,427	0,376	1,489
		2,000	0,840	0,0593					
		0,840	0,600	0,1603					
		0,600	0,420	0,2890					
		0,420	0,300	0,3766					
		0,300	0,210	0,0948					
		0,210	0,150	0,0156					
		0,150	0,075	0,0020					
43	3/5/97	4,800	2,000	0,0015	0,690	0,459	0,392	0,346	1,454
		2,000	0,840	0,0505					
		0,840	0,600	0,0768					
		0,600	0,420	0,2818					
		0,420	0,300	0,3859					
		0,300	0,210	0,1523					
		0,210	0,150	0,0468					
		0,150	0,075	0,0044					
44	3/10/97	4,800	2,000	0,0061	1,332	0,614	0,510	0,416	1,644
		2,000	0,840	0,1631					
		0,840	0,600	0,1916					
		0,600	0,420	0,2783					
		0,420	0,300	0,2915					
		0,300	0,210	0,0617					
		0,210	0,150	0,0071					
		0,150	0,075	0,0006					
45	3/13/97	4,800	2,000	0,0046	1,175	0,597	0,507	0,418	1,561
		2,000	0,840	0,1341					
		0,840	0,600	0,2055					
		0,600	0,420	0,3021					
		0,420	0,300	0,2735					
		0,300	0,210	0,0607					
		0,210	0,150	0,0171					

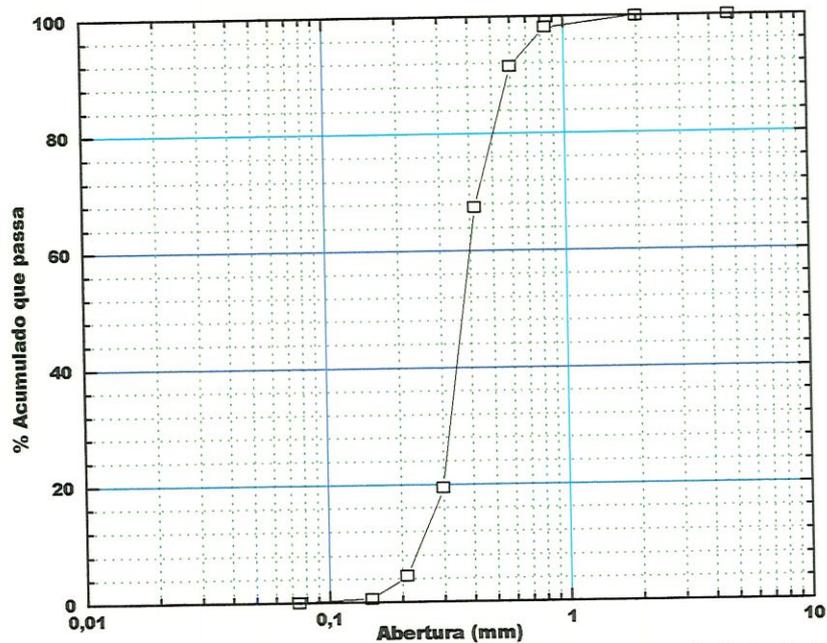
Continua...

TABELA A1. Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Ribeirão do Feijão/São carlos/SP)

Nº	Data	Diâmetros		Fração no leito	D90 (mm)	D65 (mm)	D50 (mm)	D35 (mm)	Coef. grad.
		inferior (mm)	superior (mm)						
46	3/17/97	0,150	0,075	0,0024	0,646	0,431	0,377	0,330	1,496
		4,800	2,000	0,0009					
		2,000	0,840	0,0490					
		0,840	0,600	0,0620					
		0,600	0,420	0,2528					
		0,420	0,300	0,3799					
		0,300	0,210	0,1813					
		0,210	0,150	0,0552					
47	3/20/97	0,150	0,075	0,0189	0,928	0,556	0,460	0,387	1,564
		4,800	2,000	0,0005					
		2,000	0,840	0,1077					
		0,840	0,600	0,1730					
		0,600	0,420	0,2816					
		0,420	0,300	0,3179					
		0,300	0,210	0,0830					
		0,210	0,150	0,0309					
48	4/4/97	0,150	0,075	0,0054	0,743	0,482	0,402	0,353	1,487
		4,800	2,000	0,0006					
		2,000	0,840	0,0505					
		0,840	0,600	0,1208					
		0,600	0,420	0,2708					
		0,420	0,300	0,3727					
		0,300	0,210	0,1280					
		0,210	0,150	0,0448					
49	4/7/97	0,150	0,075	0,0118	0,670	0,448	0,387	0,341	1,476
		4,800	2,000	0,0000					
		2,000	0,840	0,0322					
		0,840	0,600	0,0955					
		0,600	0,420	0,2625					
		0,420	0,300	0,3933					
		0,300	0,210	0,1466					
		0,210	0,150	0,0573					
		0,150	0,075	0,0126					



**Fig. A1 - Curva granulométrica do material do Leito.
Data: 14/05/96; profundidade: 0,98m; (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)**



**Fig. A2 - Curva granulométrica do material do leito
Data: 21/05/96; profundidade: 1,12 m; (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)**

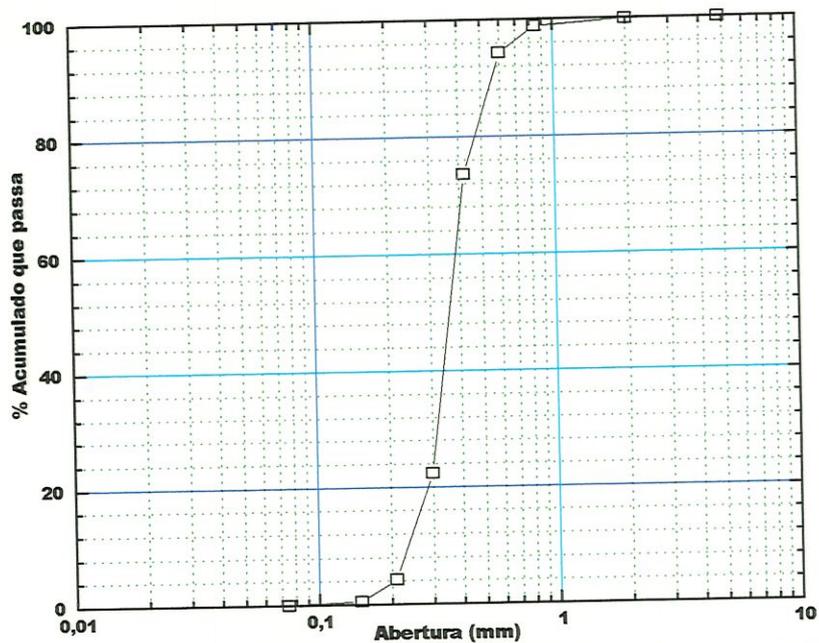


Fig. A3 - Curva granulométrica do material do leito
Data: 28/05/96; profundidade: 1,07 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP).

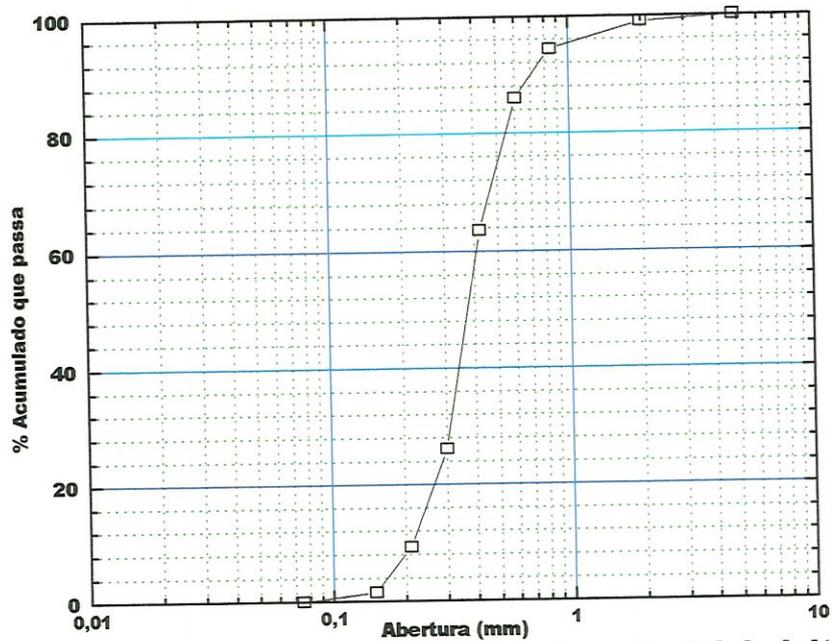


Fig. A4 - Curva granulométrica do material do leito;
Data: 04/06/96; profundidade: 1,20 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP)

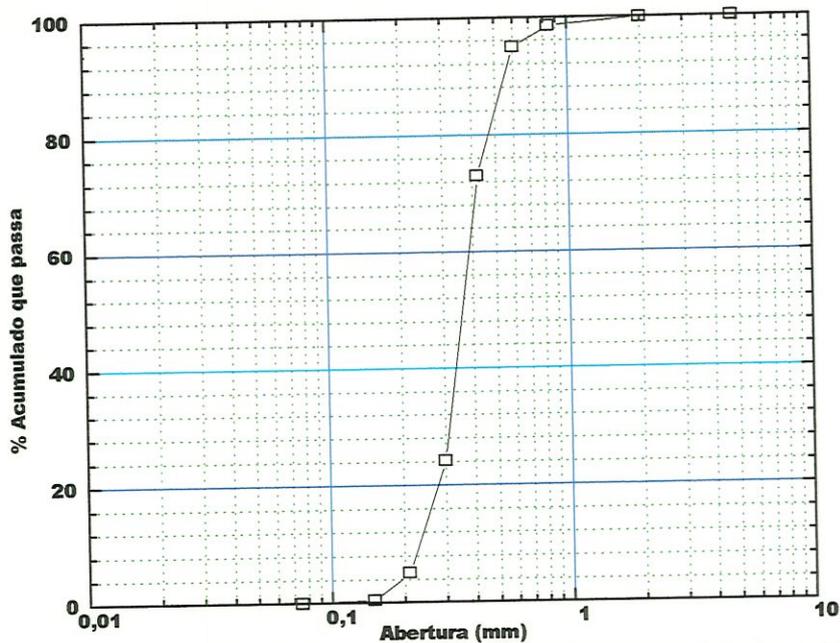


Fig. A5 - Curva granulométrica do material do leito
Data: 11/06/96; profundidade: 1,06 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP).

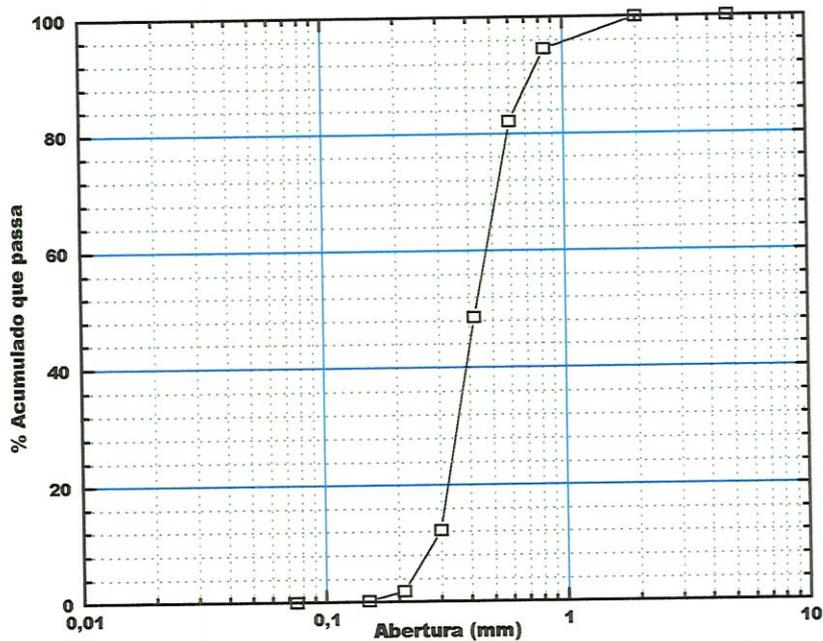
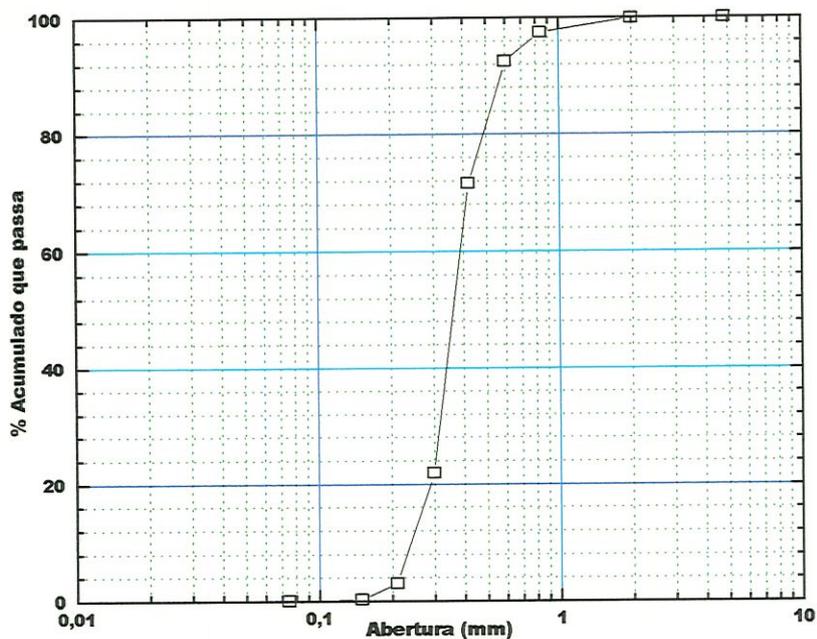
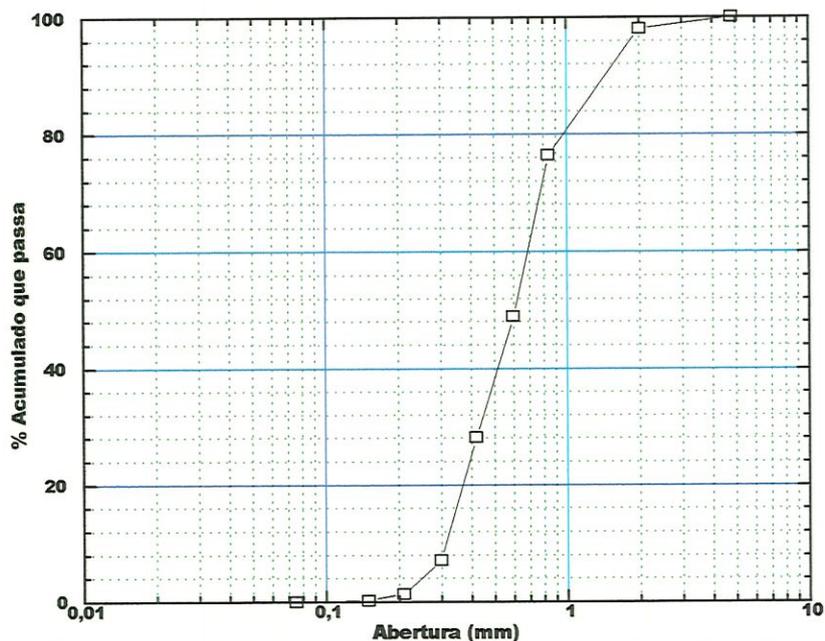


Fig. A6 - Curva granulométrica do material do leito
Data: 18/06/96; profundidade: 1,03 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP).



**Fig. A7 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 25/06/96; profundidade: 0,92 m; (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).**



**Fig. A8 - Curva granulométrica do material do leito
Data: 01/07/96; profundidade: 1,07 m; (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)**

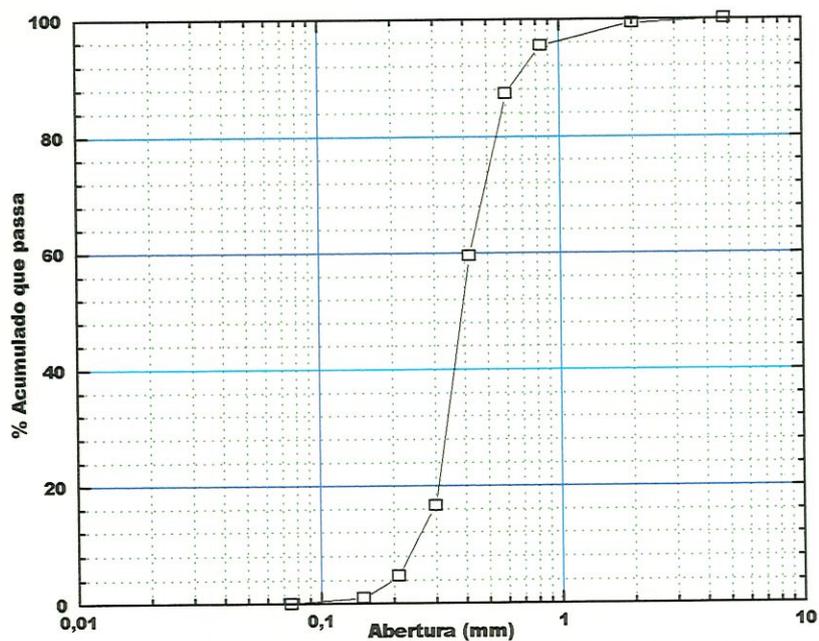


Fig. A9 - Curva granulométrica do material do leito
Data: 09/07/96; profundidade: 1,06 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP)

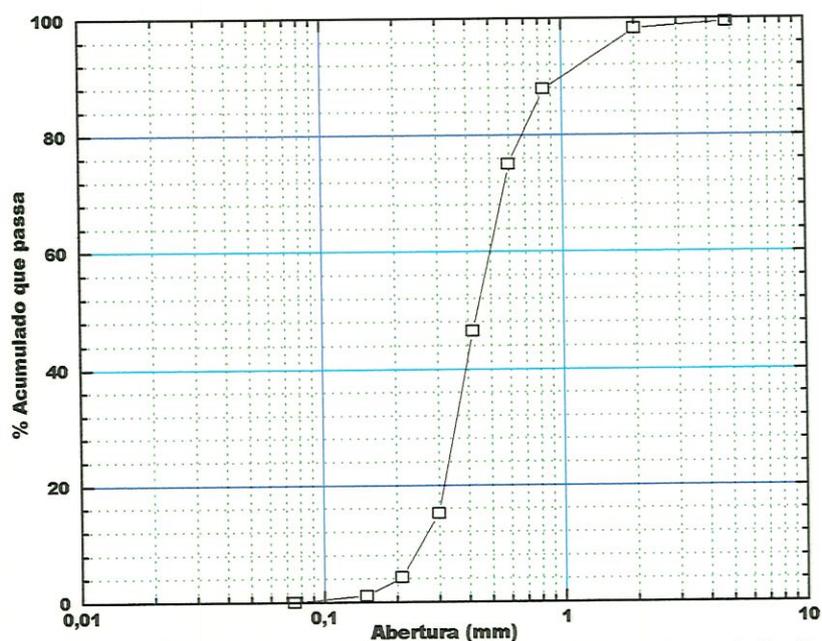
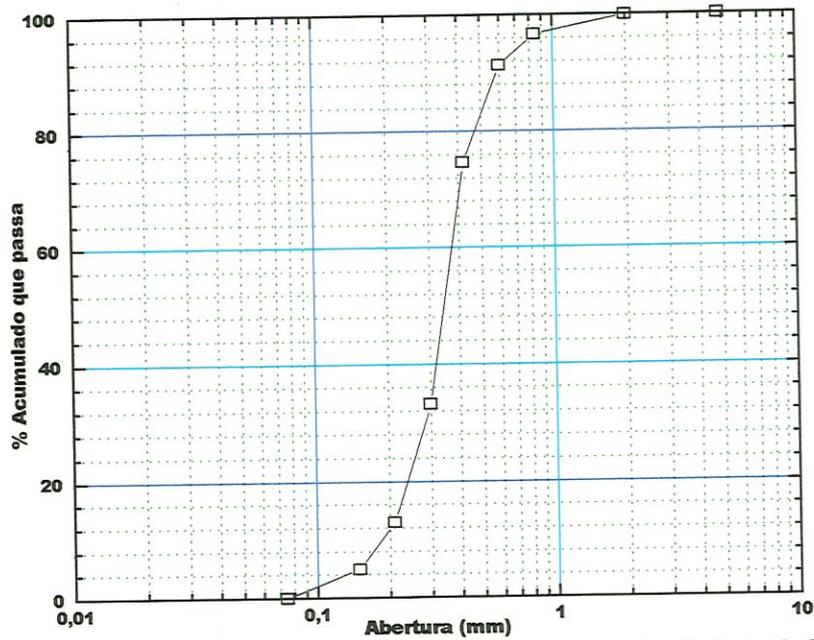
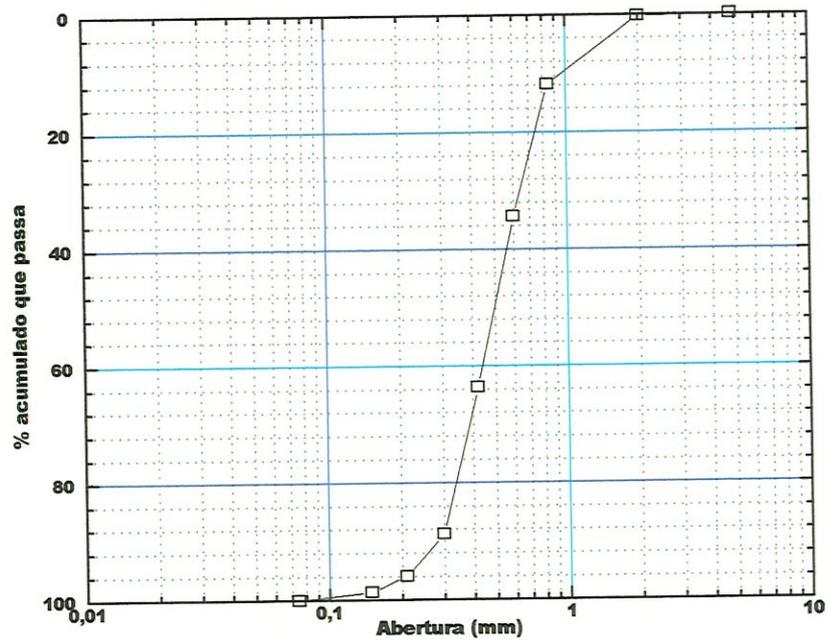


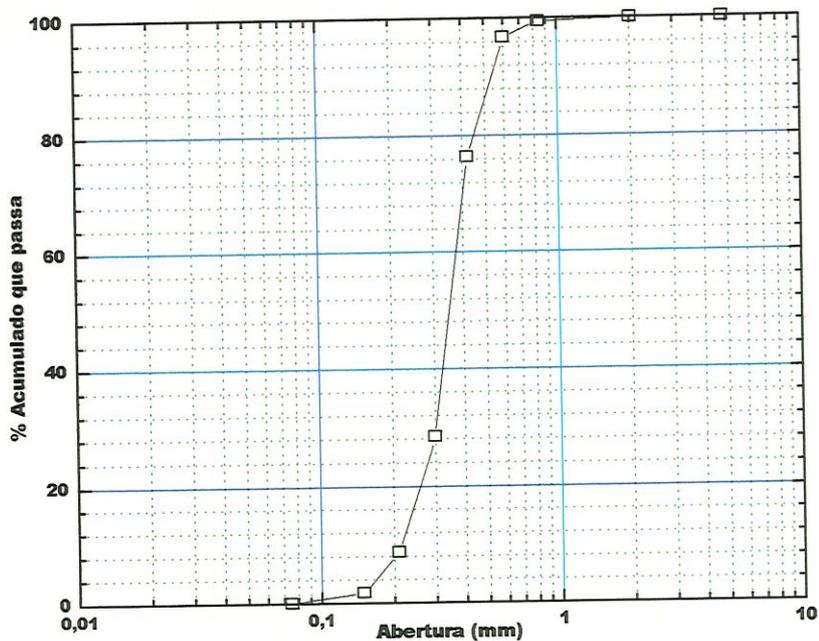
Fig. A10 - Curva granulométrica do material do leito
Data: 16/07/96; profundidade: 1,12 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP)



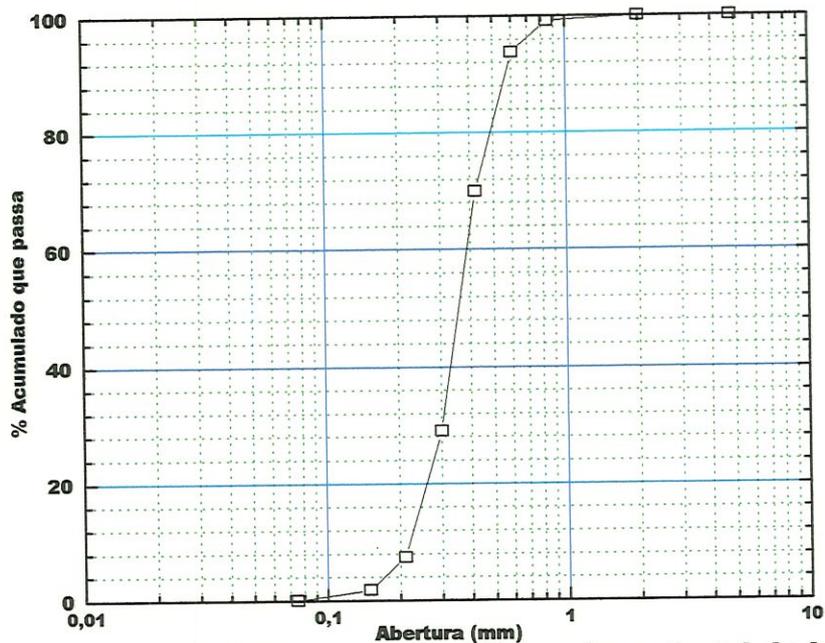
**Fig. A11 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 23/07/96; profundidade: 1,13; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP)**



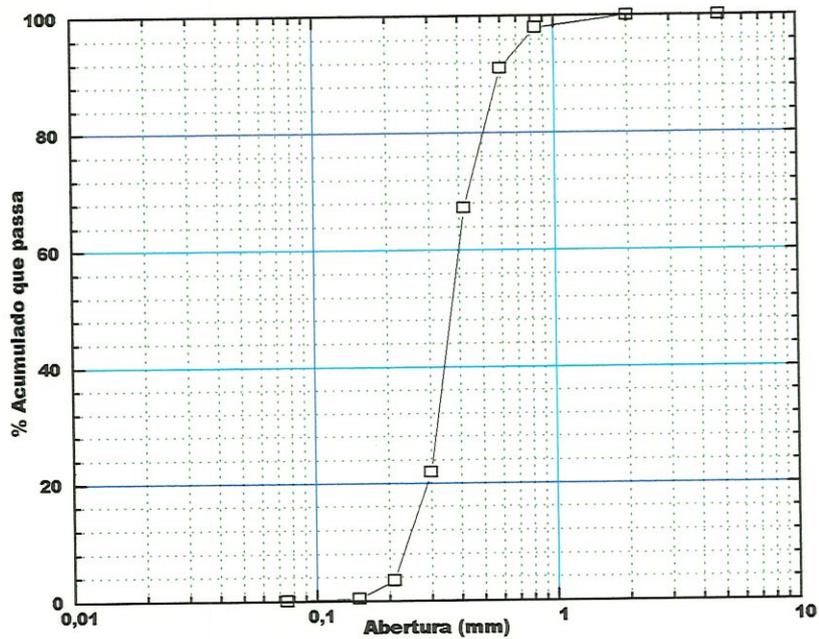
**Fig. A12 - Curva granulométrica do material do leito
Data: 30/07/96; profundidade: 1.12m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP)**



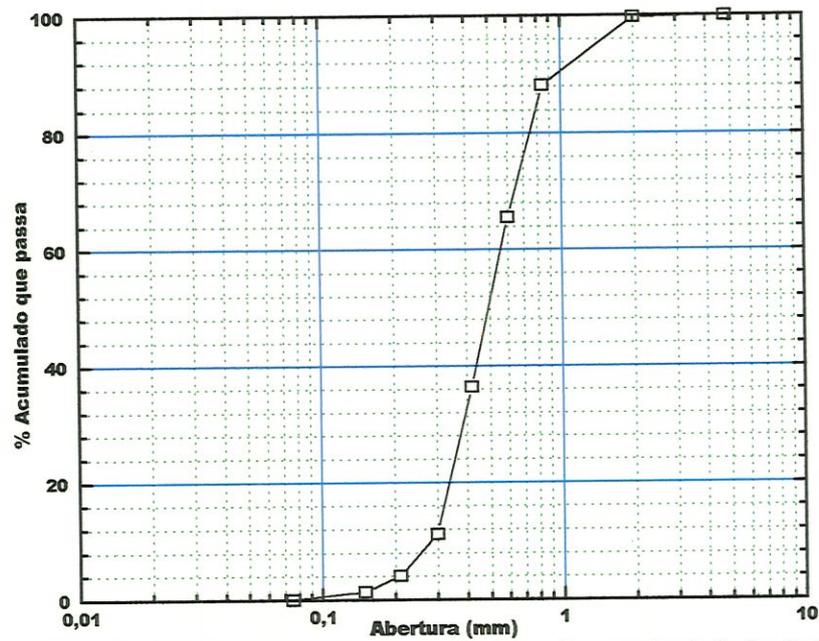
**Fig. A13 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 06/08/96; profundidade: 1,03 m; (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).**



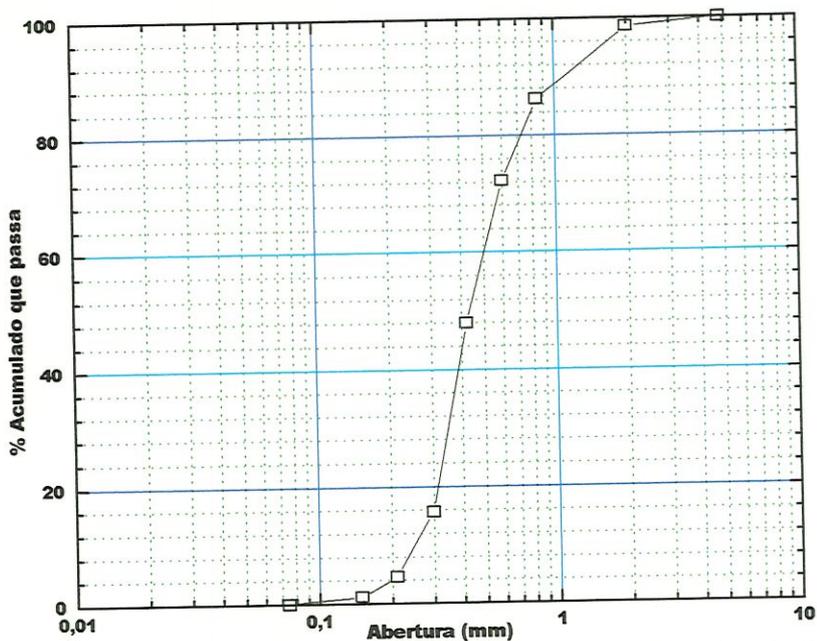
**Fig. A14 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 13/08/96; profundidade: 1,06 m; (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).**



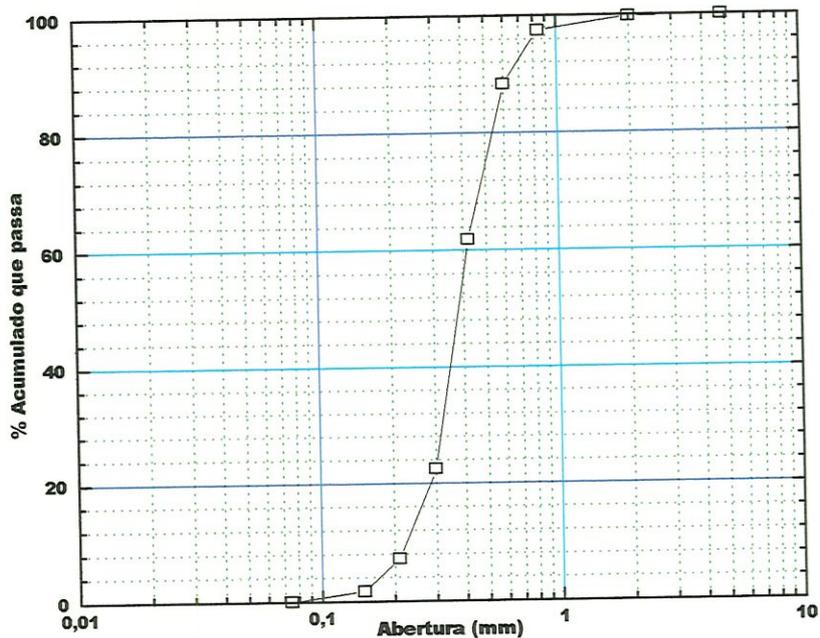
**Fig. A15 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 23/08/96; profundidade: 1,15 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP).**



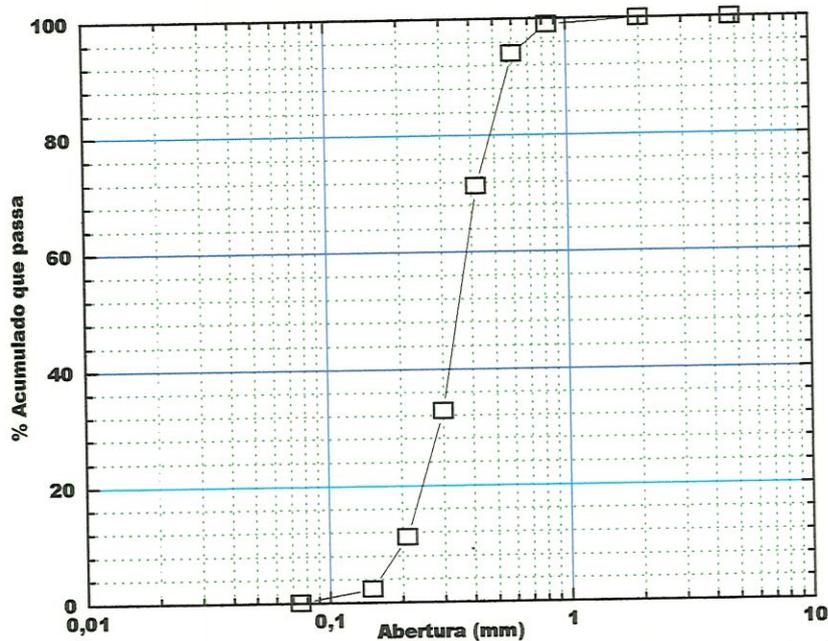
**Fig. A16 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 30/08/96; profundidade: 1,04 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP).**



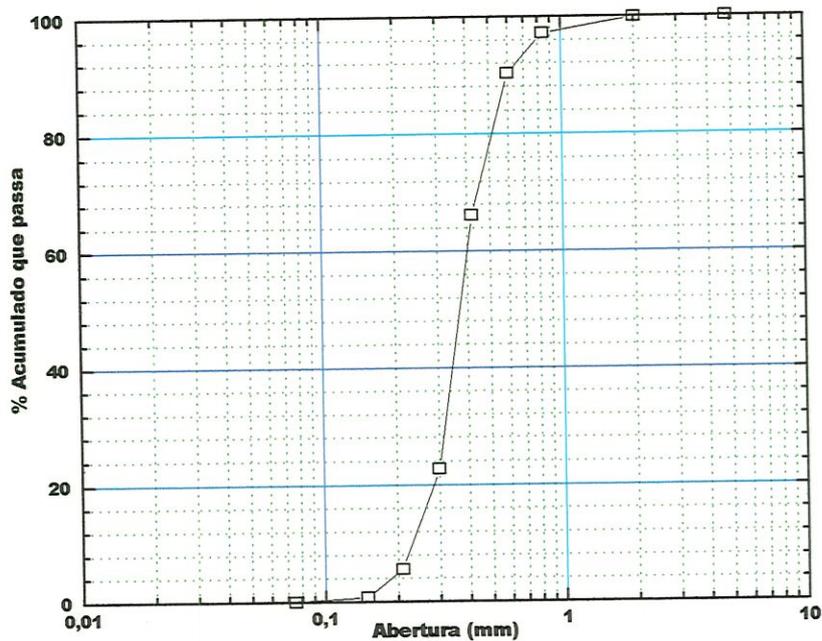
**Fig. A17 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 03/09/96; profundidade: 1.21 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP).**



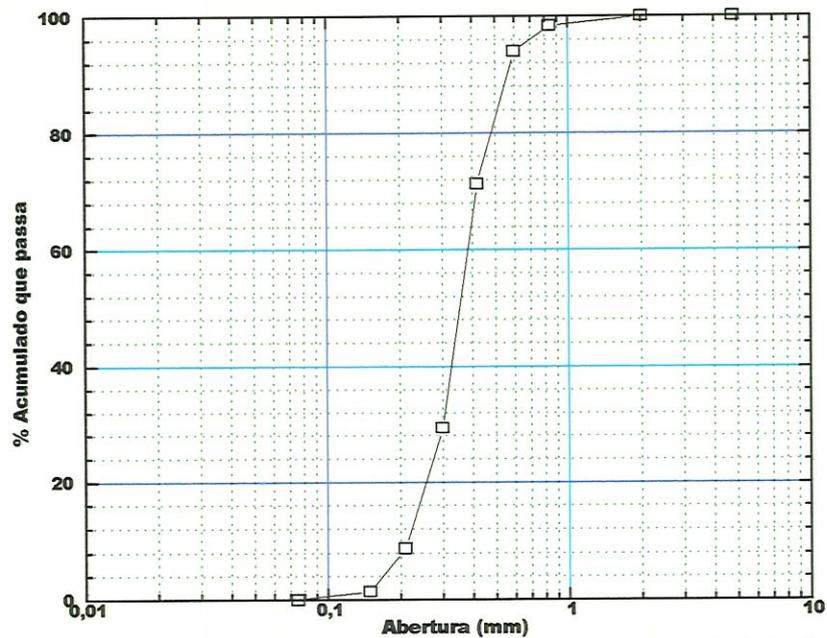
**Fig. A18 - Curva granulométrica do material do leito
Data: 10/09/96; profundidade: 1,44 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP).**



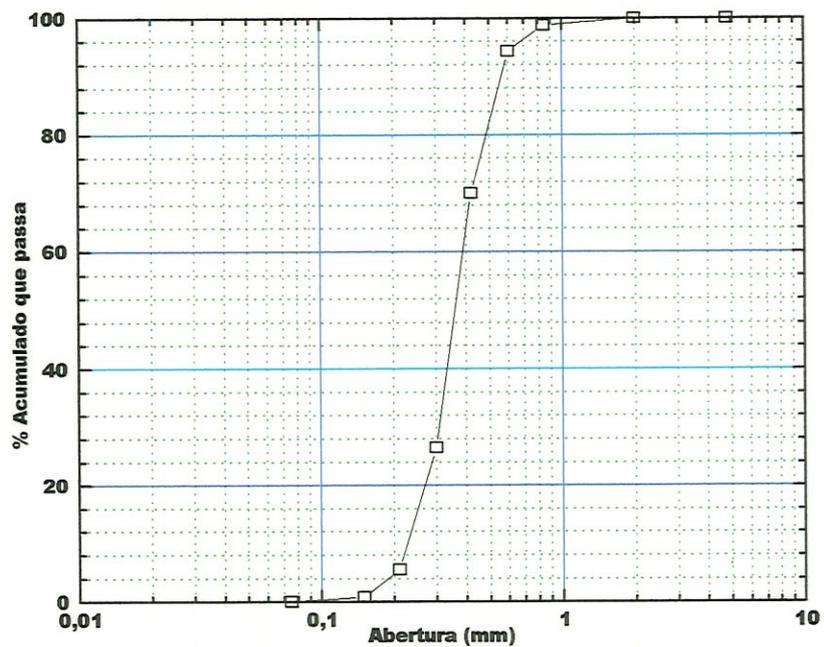
**Fig. A19 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 17/09/96; profundidade: 1,11 m; (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).**



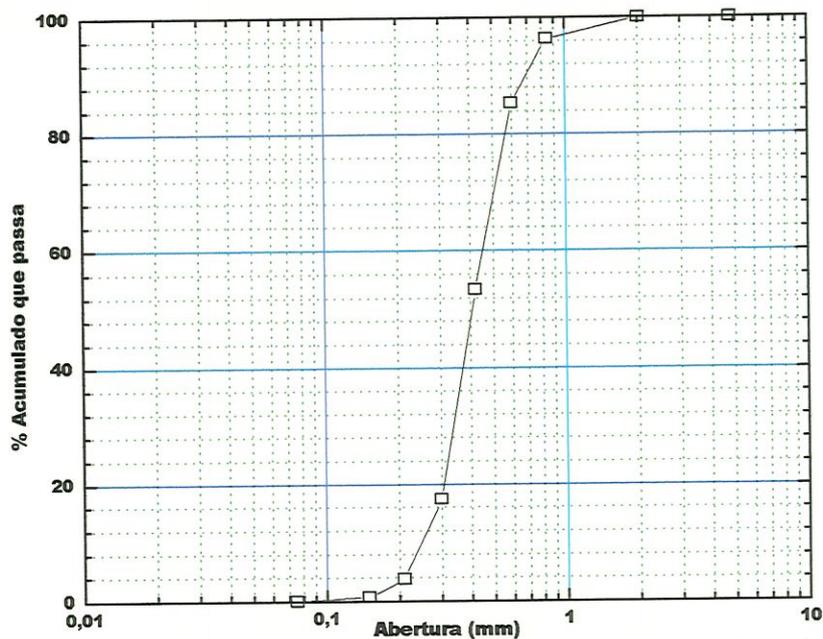
**Fig. A20 - Curva granulométrica do material do leito
Data: 20/09/96; profundidade: 0.98 m; (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP)**



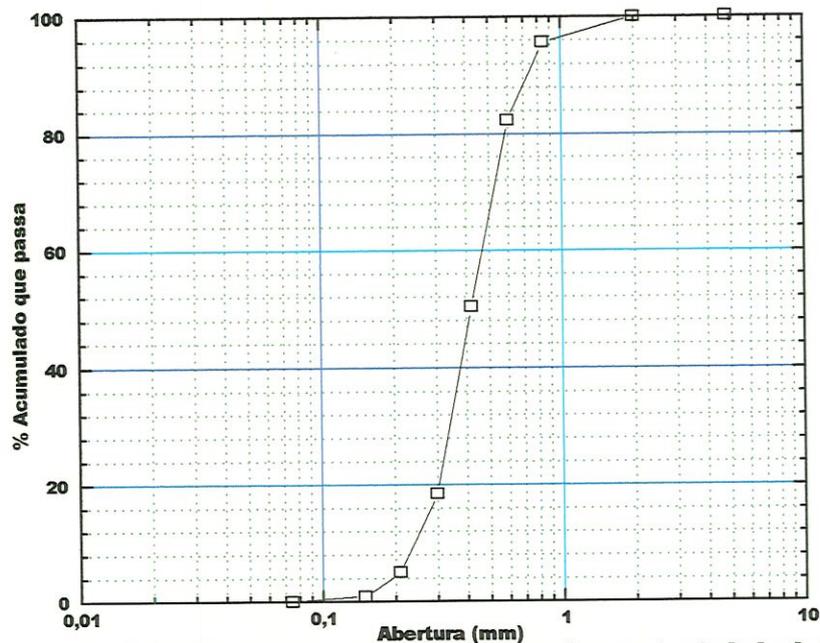
**Fig. A21 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 01/10/96; profundidade: 0.92 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP).**



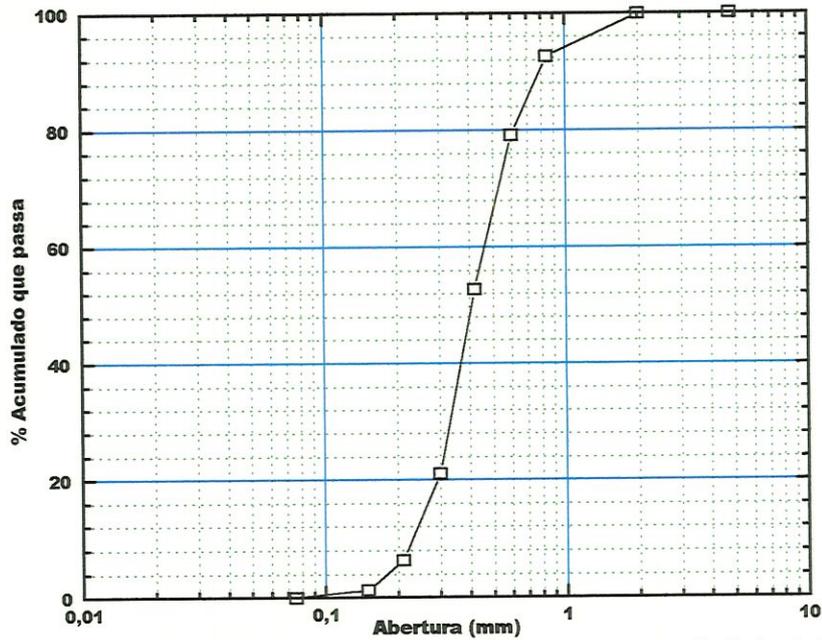
**Fig. A22 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 08/10/96; profundidade: 1.02 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP).**



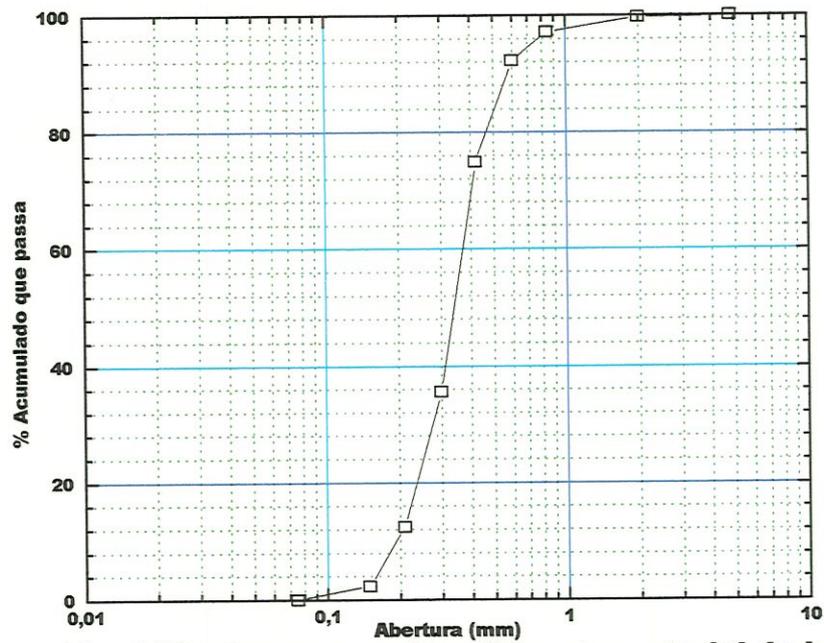
**Fig. A23 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 15/10/96; profundidade: 1.14 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP).**



**Fig. A24 - Curva granulométrica do material do leito
Data: 22/10/96; profundidade: 0,93 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP)**



**Fig. A25 - Curva granulométrica do material do leito
Data: 31/10/96; profundidade: 0,93 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP).**



**Fig. A26 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 05/11/96; profundidade: 0.97 m; (Ribeirão do
Feijão).**

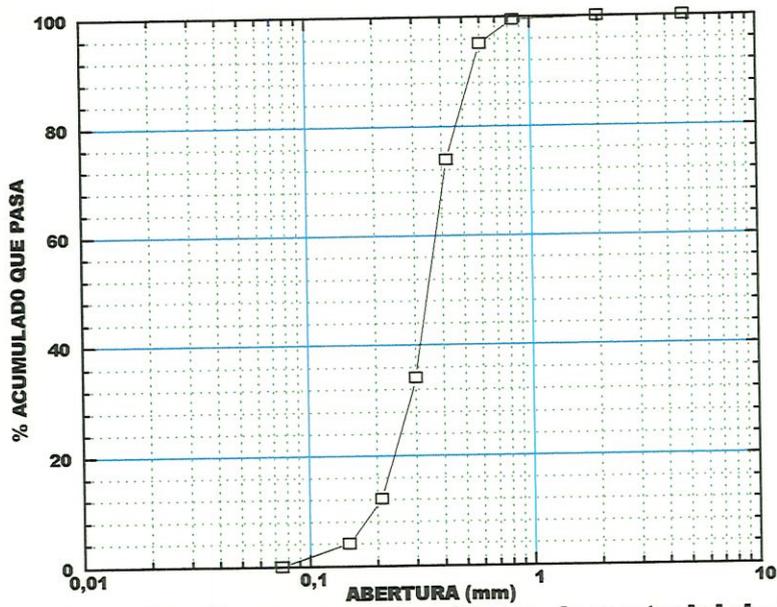


Fig. A27 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 12/11/96; profundidade: 0,88 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP).

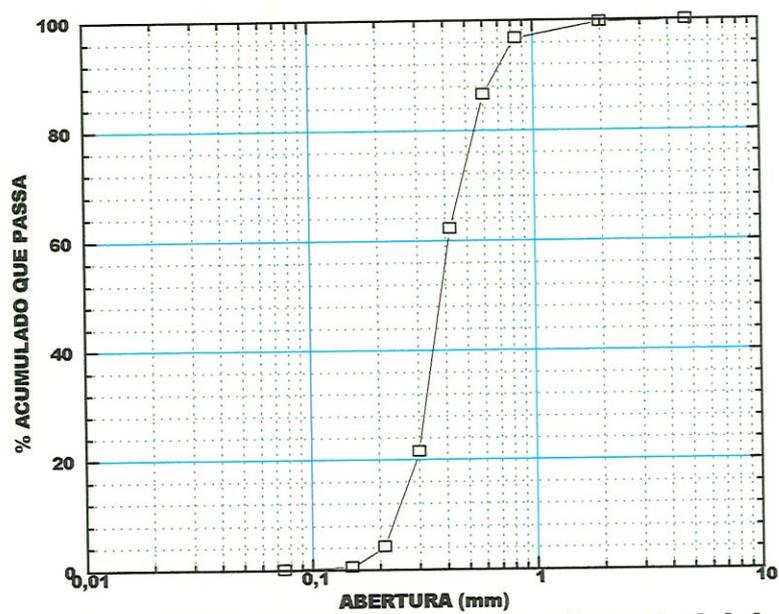


Fig. A28 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 19/11/96; profundidade: 1,12 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP).

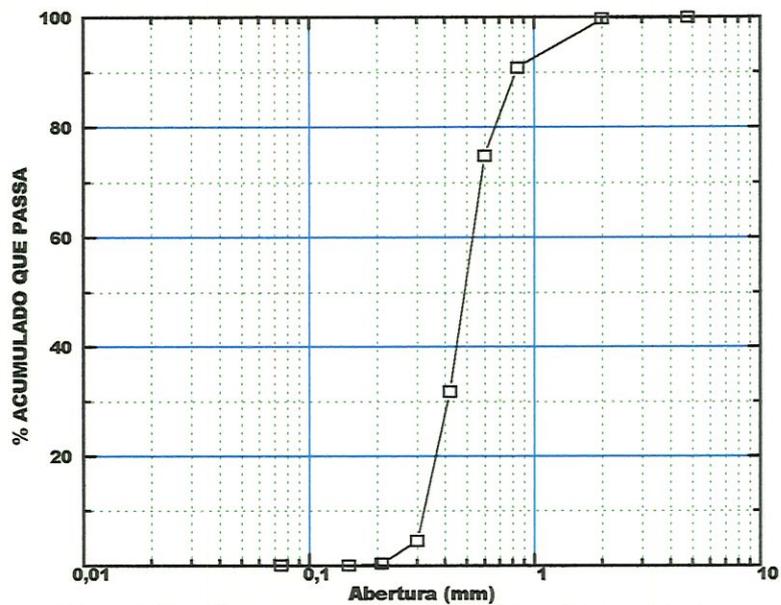


Fig. A29 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 22/11/96; profundidade: 1,30 m; (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).

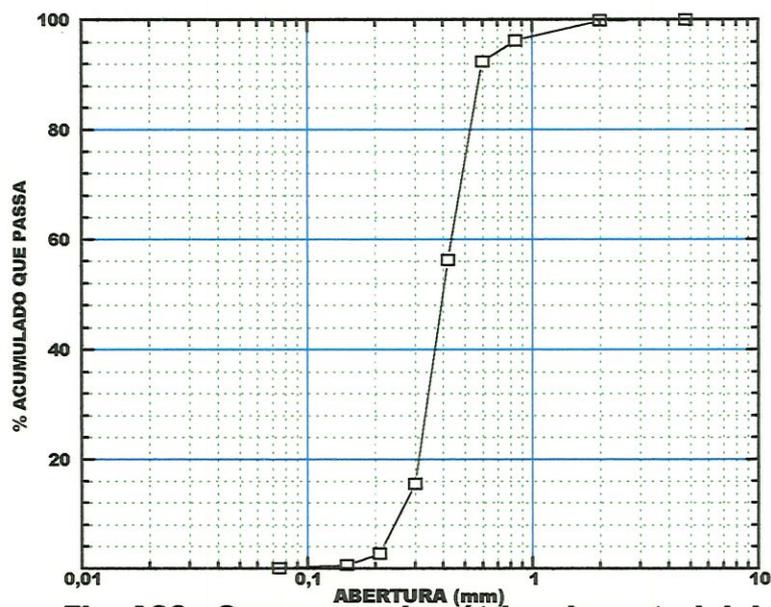


Fig. A30 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 25/11/96; profundidade: 0,90 m; (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).

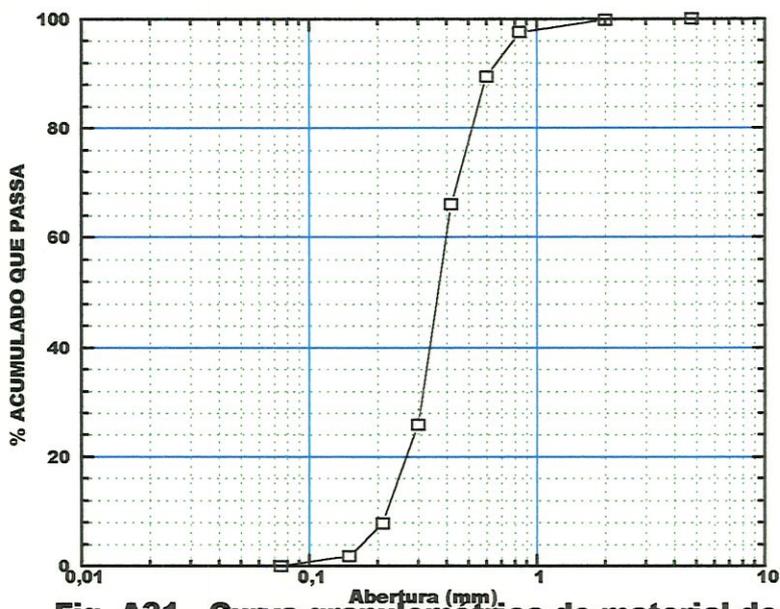


Fig. A31 - Curva granulométrica do material do leito
Data: 03/12/96; profundidade: 1,02 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP)

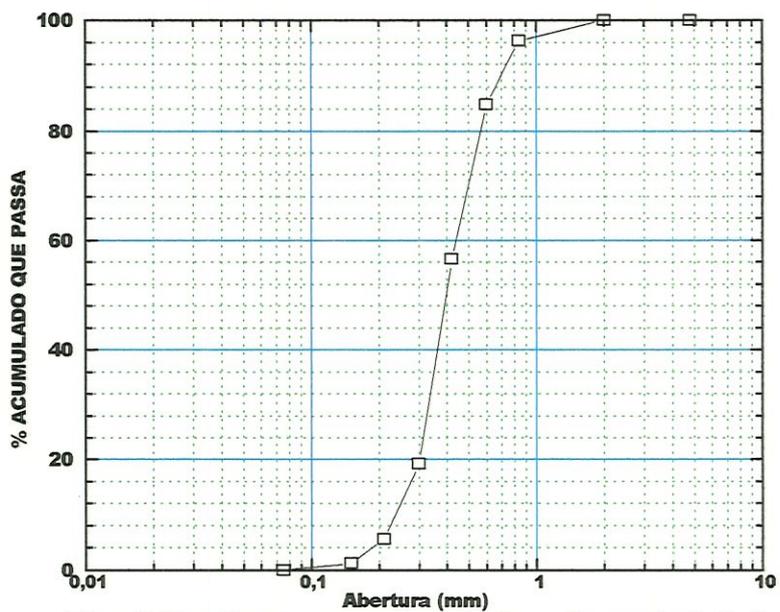
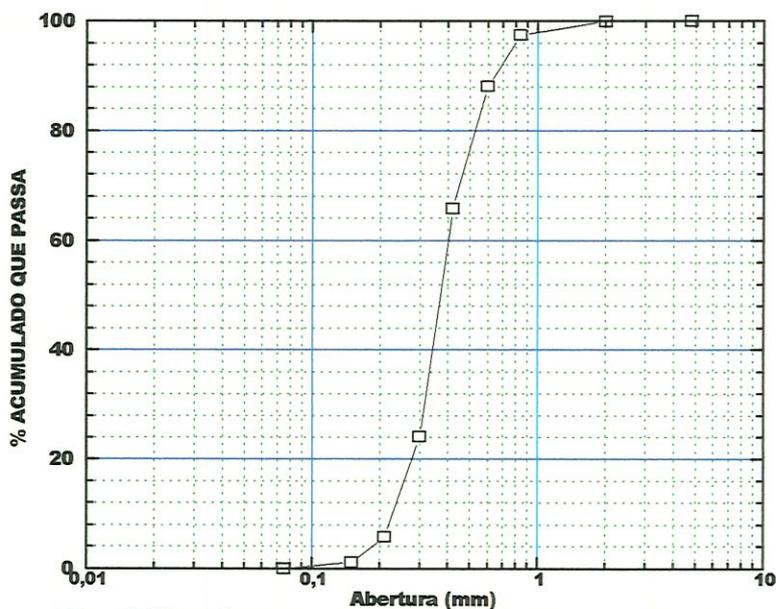
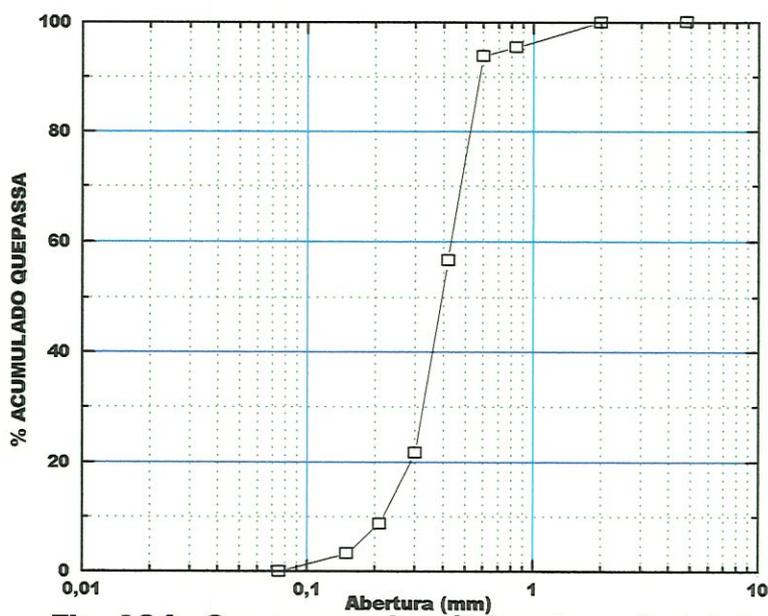


Fig. A32 - Curva granulométrica do material do leito
Data: 05/12/96; profundidade: 1,03 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP).



**Fig. A33 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 12/12/96; profundidade: 1,13 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP).**



**Fig. A34 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 18/12/96; profundidade: 1,04 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP).**



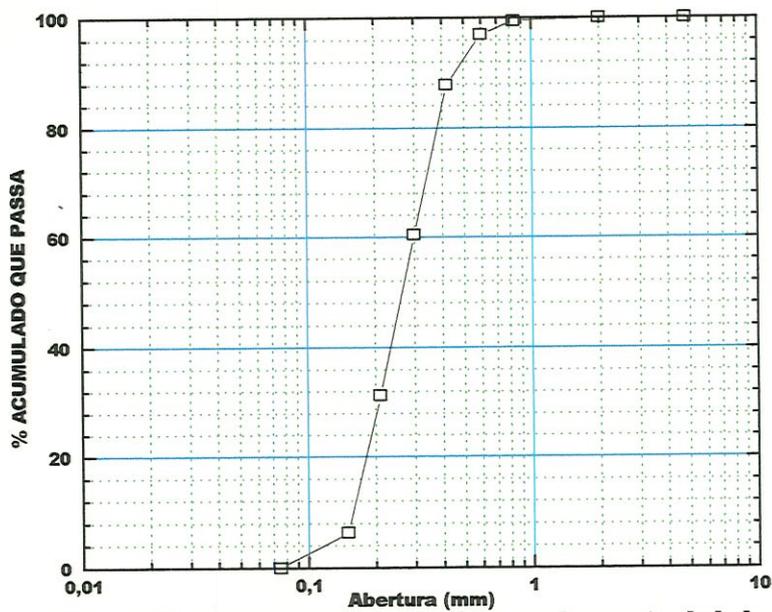


Fig. A35 - Curva granulométrica do material do leito
Data: 04/01/97; profundidade: 1,56 m; (Ribeirão do
Feijão/ São Carlos/SP).

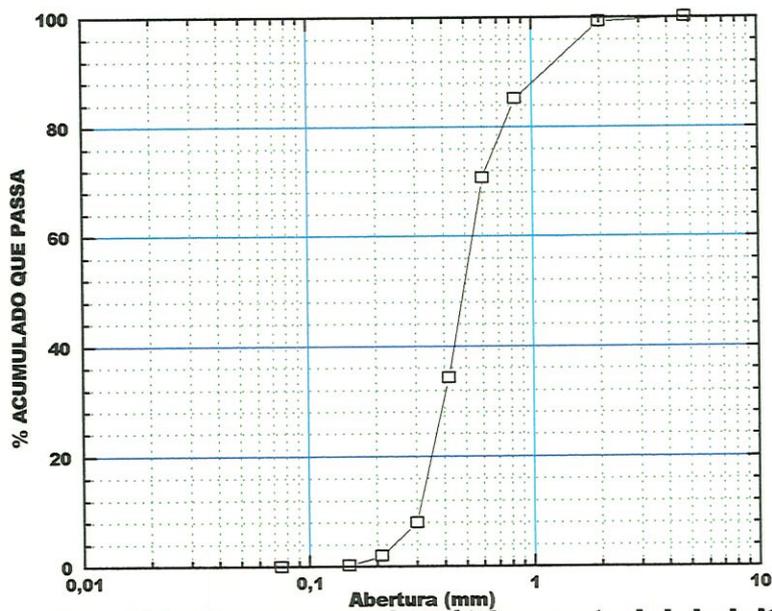


Fig. A36 - Curva granulométrica material do leito.
Data: 08/01/97; profundidade: 0,90 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP).

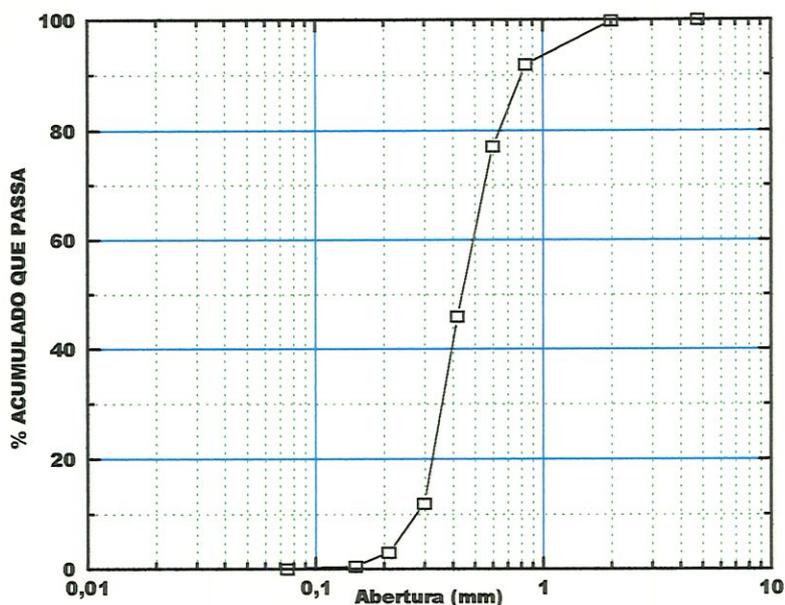


Fig. A37 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 14/01/97; profundidade: 1,13 m; (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).

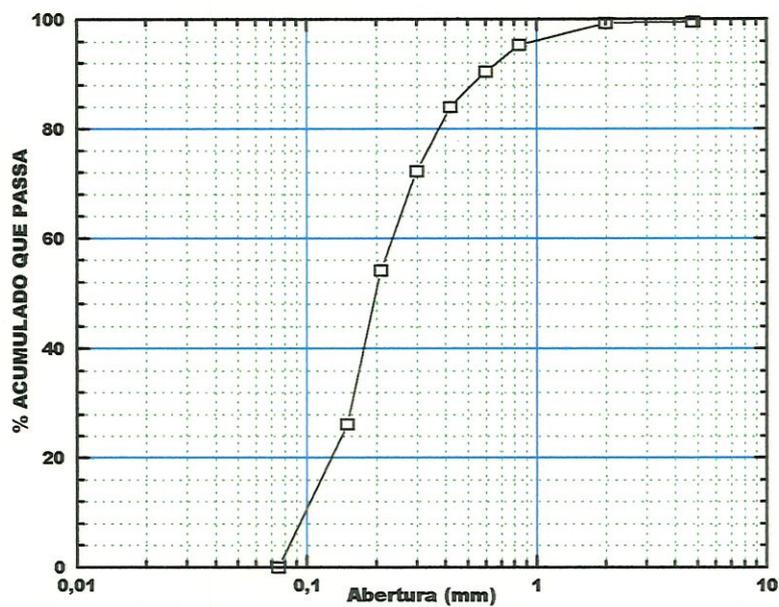


Fig. A38 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 24/01/97; profundidade: 3,0 m; (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).

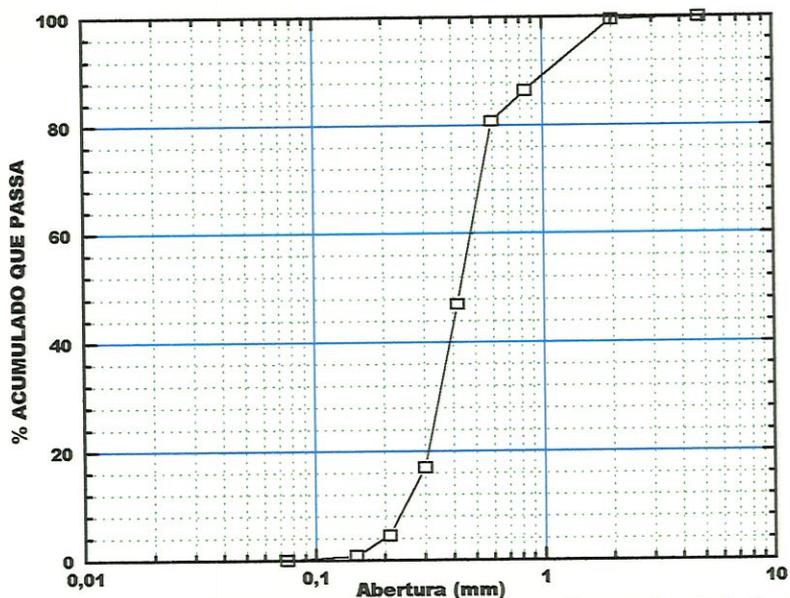


Fig. A39 - Curva granulométrica do material do leito
Data: 28/01/97; profundidade: 1,51m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP).

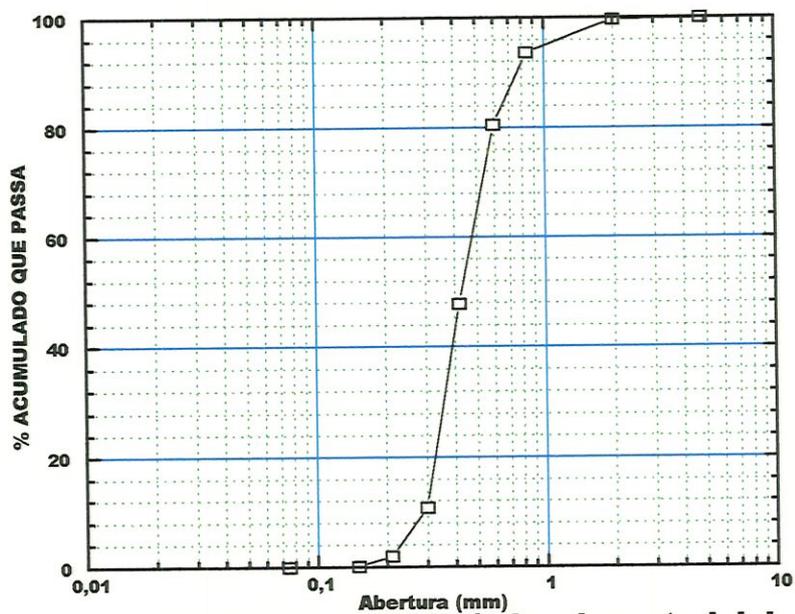
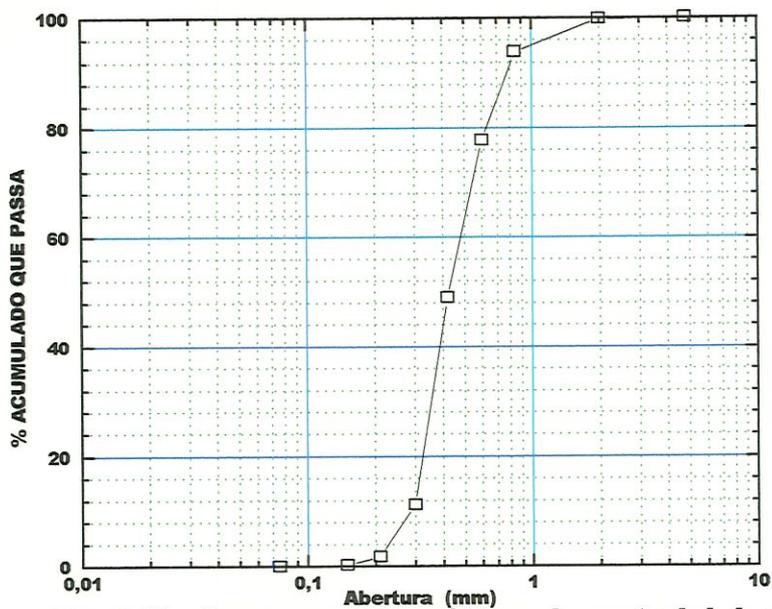
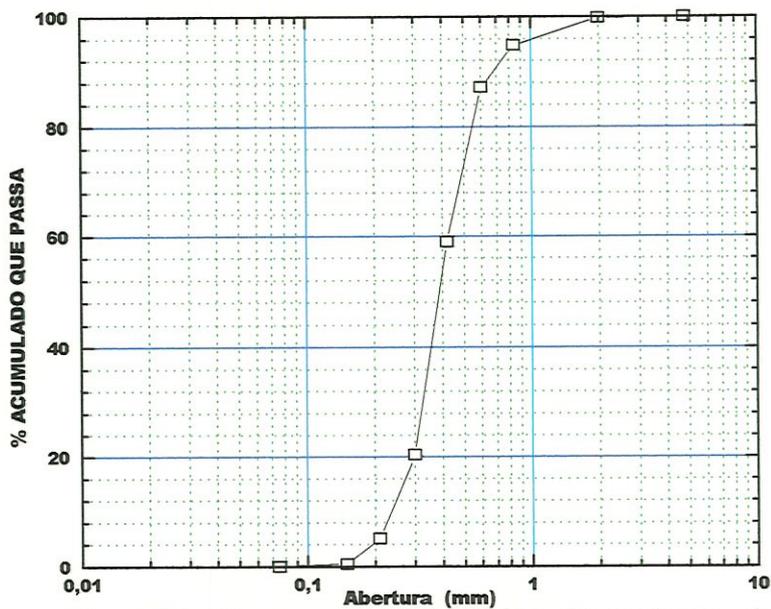


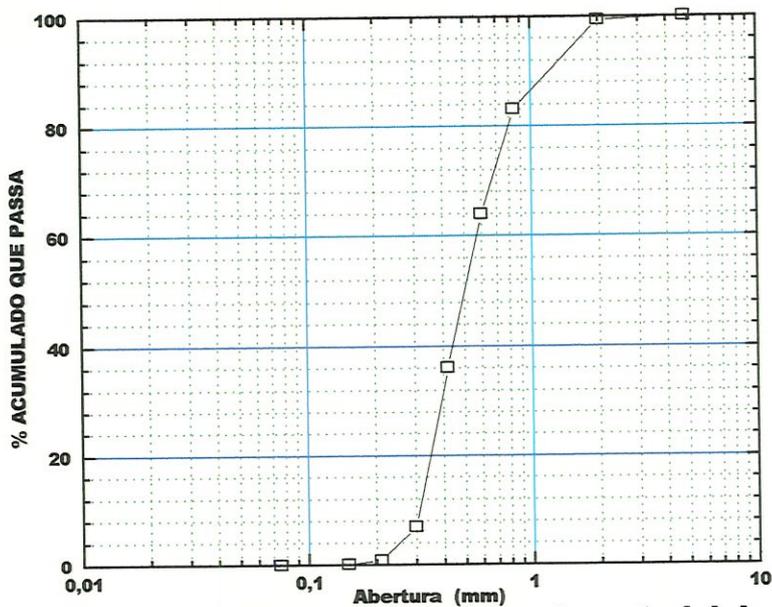
Fig. A40 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 11/02/97; profundidade: 1,28 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP).



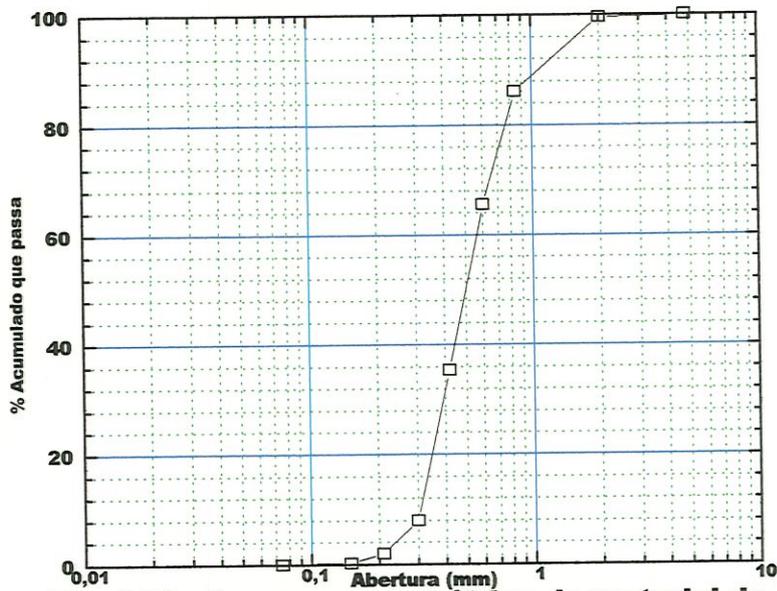
**Fig. A41 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 20/02/97; profundidade: 1,09 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP).**



**Fig. A42 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 05/03/97; profundidade: 1,06 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP).**



**Fig. A43 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 10/03/97; profundidade: 1,08 m; (Ribeirão do
Feijão/ São Carlos/SP).**



**Fig. A44 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 13/03/97; profundidade: 1,00 m; (ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP).**

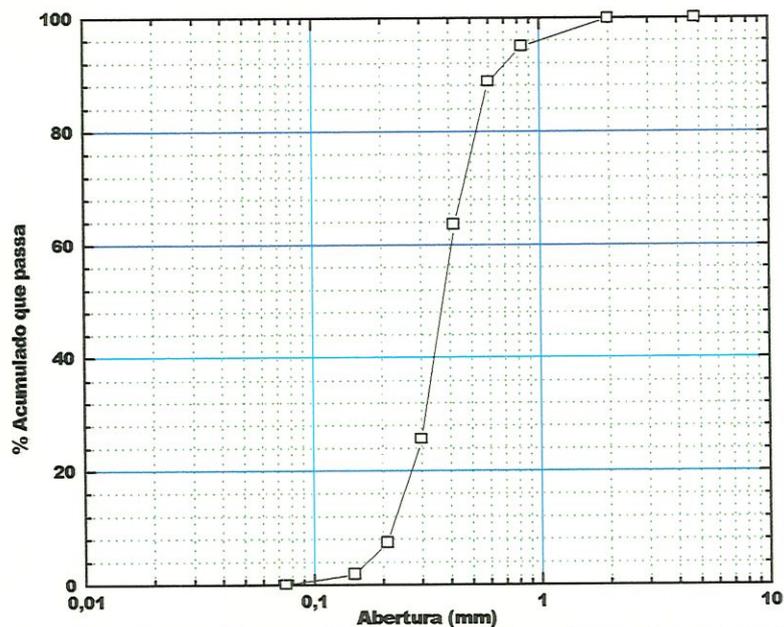


Fig. A45 - Curva Granulométrica do material do leito.
Data: 17/03/97; profundidade: 1,07 m; (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).

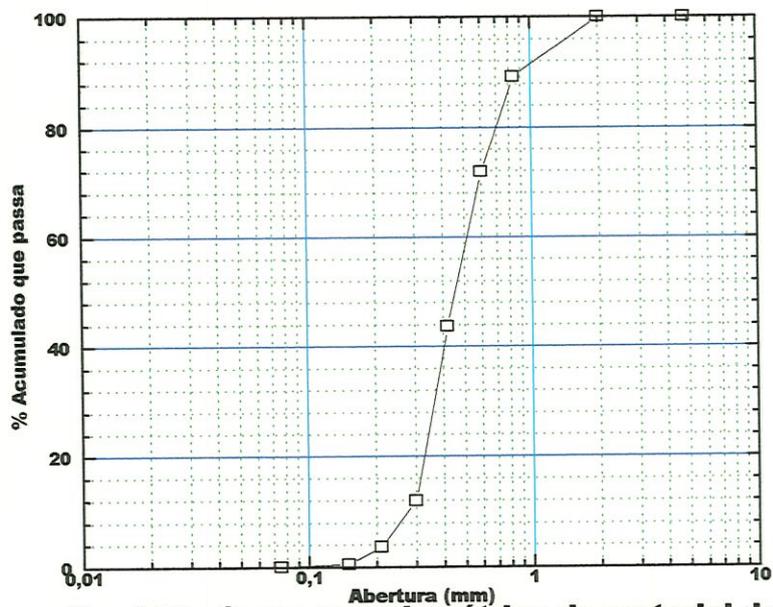
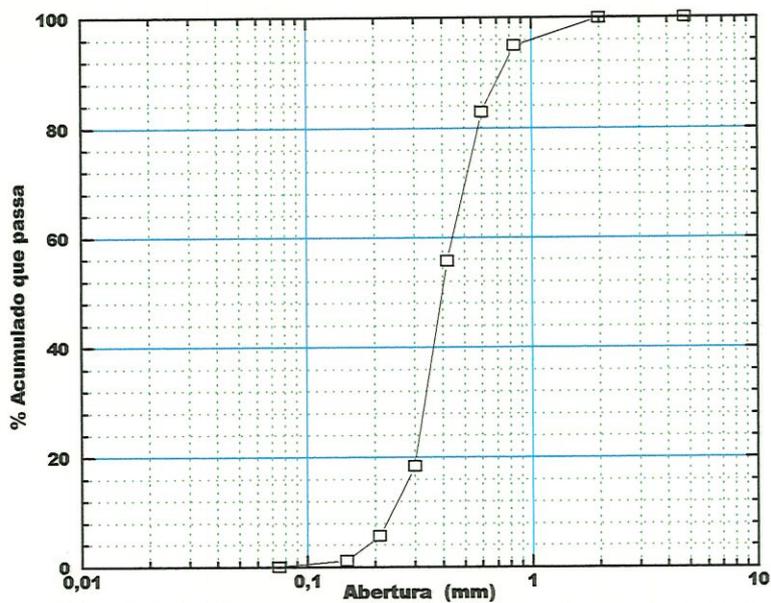
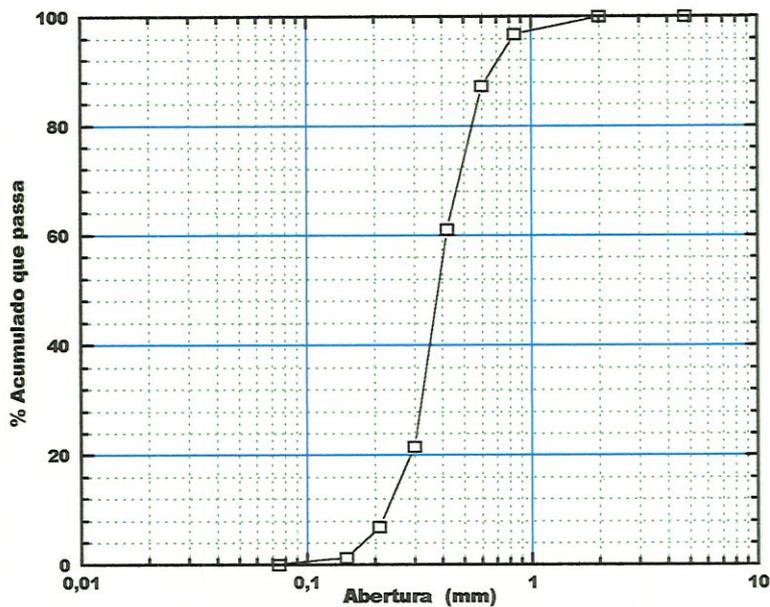


Fig. A46 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 20/03/97; profundidade: 1,06 m; (Ribeirão do Feijão/São Carlos/SP).



**Fig. A47 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 04/04/97; profundidade: 1,04 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP).**



**Fig. A48 - Curva granulométrica do material do leito.
Data: 07/04/97; profundidade: 1,03 m; (Ribeirão do
Feijão/São Carlos/SP).**

ANEXO 2

TABELA A2-Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Posto Sousas/Campinas/SP)

Exp.	Data	Diâmetros		Fração no leito	D16 (mm)	D50 (mm)	D84 (mm)	Coef. grad.
		Inf.(mm)	Sup.(mm)					
1	26/03/93	5,660	4,760	0,0166	0,180	0,64	1,56	2,997
		4,760	2,000	0,0628				
		2,000	0,840	0,1173				
		0,840	0,420	0,2409				
		0,420	0,250	0,3753				
		0,250	0,149	0,1575				
		0,149	0,074	0,0295				
2	4/6/93	5,660	4,760	0,0494	0,240	0,54	2,77	3,69
		4,760	2,000	0,1662				
		2,000	0,840	0,1519				
		0,840	0,420	0,2329				
		0,420	0,250	0,2491				
		0,250	0,149	0,124				
		0,149	0,074	0,0266				
3	20/04/93	5,660	4,760	0,0602	0,290	0,68	2,96	3,349
		4,760	2,000	0,1487				
		2,000	0,840	0,198				
		0,840	0,420	0,2961				
		0,420	0,250	0,1938				
		0,250	0,149	0,0868				
		0,149	0,074	0,0165				
4	5/4/93	5,660	4,760	0,0641	0,270	0,86	3,24	3,476
		4,760	2,000	0,1792				
		2,000	0,840	0,272				
		0,840	0,420	0,2036				
		0,420	0,250	0,1424				
		0,250	0,149	0,1115				
		0,149	0,074	0,0273				
5	18/05/93	5,660	4,760	0,0172	0,280	0,51	0,97	1,862
		4,760	2,000	0,035				
		2,000	0,840	0,1479				
		0,840	0,420	0,4203				
		0,420	0,250	0,2785				
		0,250	0,149	0,0851				
		0,149	0,074	0,0159				
6	6/1/93	5,660	4,760	0,0207	0,400	1,02	2,5	2,5
		4,760	2,000	0,208				
		2,000	0,840	0,3592				
		0,840	0,420	0,235				
		0,420	0,250	0,1389				
		0,250	0,149	0,0354				

Continua...

TABELA A2-Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Posto Sousas/Campinas/SP)

Exp.	Data	Diâmetros		Fração no leito	D16 (mm)	D50 (mm)	D84 (mm)	Coef. grad.
		Inf.(mm)	Sup.(mm)					
7	15/06/93	0,149	0,074	0,0028	0,340	0,64	1,44	2,066
		5,660	4,760	0,058				
		4,760	2,000	0,0563				
		2,000	0,840	0,2196				
		0,840	0,420	0,4167				
		0,420	0,250	0,1958				
		0,250	0,149	0,0472				
8	22/06/93	0,149	0,074	0,0064	0,440	0,97	4,47	3,406
		5,660	4,760	0,1253				
		4,760	2,000	0,1607				
		2,000	0,840	0,274				
		0,840	0,420	0,3009				
		0,420	0,250	0,1117				
		0,250	0,149	0,0243				
9	29/06/93	0,149	0,074	0,0031	0,370	0,66	1,4	1,952
		5,660	4,760	0,0298				
		4,760	2,000	0,0695				
		2,000	0,840	0,2416				
		0,840	0,420	0,4483				
		0,420	0,250	0,171				
		0,250	0,149	0,0351				
10	7/6/93	0,149	0,074	0,0047	0,360	0,78	4,1	3,712
		5,660	4,760	0,0992				
		4,760	2,000	0,1555				
		2,000	0,840	0,2094				
		0,840	0,420	0,3102				
		0,420	0,250	0,176				
		0,250	0,149	0,043				
11	21/07/93	0,149	0,074	0,0067	0,360	0,77	3,33	3,232
		5,660	4,760	0,0801				
		4,760	2,000	0,1072				
		2,000	0,840	0,2654				
		0,840	0,420	0,3282				
		0,420	0,250	0,1632				
		0,250	0,149	0,0465				
12	8/3/93	0,149	0,074	0,0094	0,320	0,63	3,9	4,08
		5,660	4,760	0,095				
		4,760	2,000	0,0818				
		2,000	0,840	0,1774				
		0,840	0,420	0,3677				
		0,420	0,250	0,2065				

Continua.....

TABELA A2-Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Posto Sousas/Campinas/SP)

Exp.	Data	Diâmetros		Fração no leito	D16 (mm)	D50 (mm)	D84 (mm)	Coef. Grad.
		Inf.(mm)	Sup.(mm)					
13	17/08/93	0,250	0,149	0,0603	0,320	0,64	2,3	2,797
		0,149	0,074	0,0112				
		5,660	4,760	0,0593				
		4,760	2,000	0,1108				
		2,000	0,840	0,2049				
		0,840	0,420	0,3299				
		0,420	0,250	0,2244				
		0,250	0,149	0,0584				
14	31/08/93	0,149	0,074	0,0123	0,320	0,66	2,17	2,675
		5,660	4,760	0,0321				
		4,760	2,000	0,1425				
		2,000	0,840	0,2103				
		0,840	0,420	0,3339				
		0,420	0,250	0,2198				
		0,250	0,149	0,0532				
		0,149	0,074	0,0083				
15	21/09/93	5,660	4,760	0,0308	0,270	0,47	1	1,934
		4,760	2,000	0,0508				
		2,000	0,840	0,1248				
		0,840	0,420	0,3537				
		0,420	0,250	0,3335				
		0,250	0,149	0,0847				
		0,149	0,074	0,0216				
		5,660	4,760	0,0242				
4,760	2,000	0,0628						
2,000	0,840	0,2254						
0,840	0,420	0,467						
0,420	0,250	0,1829						
0,250	0,149	0,0337						
0,149	0,074	0,0041						
17	10/5/93	5,660	4,760	0,1624	0,340	0,69	4,77	4,471
		4,760	2,000	0,0622				
		2,000	0,840	0,1829				
		0,840	0,420	0,3377				
		0,420	0,250	0,1899				
		0,250	0,149	0,0534				
		0,149	0,074	0,0115				
		18	21/10/93	5,660				
4,760	2,000			0,0847				
2,000	0,840			0,227				
0,840	0,420			0,3971				

Continua...

TABELA A2-Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Posto Sosas/Campinas/SP)

Exp.	Data	Diâmetros		Fração no leito	D16 (mm)	D50 (mm)	D84 (mm)	Coef. grad.
		Inf.(mm)	Sup.(mm)					
19	28/10/93	0,420	0,250	0,1515	0,350	0,63	1,24	1,884
		0,250	0,149	0,0399				
		0,149	0,074	0,0118				
		5,660	4,760	0,0491				
		4,760	2,000	0,0316				
		2,000	0,840	0,2293				
		0,840	0,420	0,4552				
		0,420	0,250	0,1745				
		0,250	0,149	0,0503				
20	11/4/93	0,149	0,074	0,0099	0,440	1,26	4,52	3,225
		5,660	4,760	0,1289				
		4,760	2,000	0,2262				
		2,000	0,840	0,3006				
		0,840	0,420	0,1958				
		0,420	0,250	0,1051				
		0,250	0,149	0,0342				
		0,149	0,074	0,0091				
		5,660	4,760	0,1082				
21	11/9/93	4,760	2,000	0,22	0,390	1,15	4,27	3,331
		2,000	0,840	0,2912				
		0,840	0,420	0,2002				
		0,420	0,250	0,1205				
		0,250	0,149	0,0461				
		0,149	0,074	0,0139				
		5,660	4,760	0,0409				
		4,760	2,000	0,0433				
		2,000	0,840	0,23				
22	20/12/93	0,840	0,420	0,4592	0,360	0,63	1,26	1,875
		0,420	0,250	0,173				
		0,250	0,149	0,0408				
		0,149	0,074	0,0129				
		5,660	4,760	0,0417				
		4,760	2,000	0,0428				
		2,000	0,840	0,1831				
		0,840	0,420	0,4108				
		0,420	0,250	0,2254				
23	29/03/94	0,250	0,149	0,0697	0,300	0,56	1,18	1,987
		0,149	0,074	0,0265				
		5,660	4,760	0,0312				
		4,760	2,000	0,0788				
		2,000	0,840	0,1706				

Continua....

TABELA A2-Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Posto Sousas/Campinas/SP)

Exp.	Data	Diâmetros		Fração no leito	D16 (mm)	D50 (mm)	D84 (mm)	Coef. grad.
		Inf.(mm)	Sup.(mm)					
25	5/6/94	0,840	0,420	0,3711	0,280	0,54	1,2	2,075
		0,420	0,250	0,2458				
		0,250	0,149	0,0744				
		0,149	0,074	0,028				
		5,660	4,760	0,0774				
		4,760	2,000	0,0418				
		2,000	0,840	0,1366				
		0,840	0,420	0,3907				
		0,420	0,250	0,2383				
		0,250	0,149	0,0839				
26	20/05/94	0,149	0,074	0,0312	0,290	0,52	0,95	1,81
		5,660	4,760	0,026				
		4,760	2,000	0,0385				
		2,000	0,840	0,1287				
		0,840	0,420	0,4537				
		0,420	0,250	0,257				
		0,250	0,149	0,0665				
		0,149	0,074	0,0296				
		5,660	4,760	0,0221				
		4,760	2,000	0,0195				
27	7/1/94	2,000	0,840	0,1313	0,310	0,53	0,89	1,694
		0,840	0,420	0,5028				
		0,420	0,250	0,2496				
		0,250	0,149	0,0532				
		0,149	0,074	0,0216				
		5,660	4,760	0,0128				
		4,760	2,000	0,0214				
		2,000	0,840	0,1429				
		0,840	0,420	0,3973				
		0,420	0,250	0,3199				
28	15/07/94	0,250	0,149	0,0818	0,270	0,47	0,89	1,817
		0,149	0,074	0,0239				
		5,660	4,760	0,007				
		4,760	2,000	0,119				
		2,000	0,840	0,2316				
		0,840	0,420	0,3898				
		0,420	0,250	0,2202				
		0,250	0,149	0,0294				
		0,149	0,074	0,003				
		5,660	4,760	0,0387				
29	29/07/94	4,760	2,000	0,0651	0,340	0,65	1,66	2,233
		2,000	0,840	0,2316				
		0,840	0,420	0,3898				
30	8/12/94	0,420	0,250	0,2202	0,320	0,57	1,23	1,97
		0,250	0,149	0,0294				
		0,149	0,074	0,003				

Continua...

TABELA A2-Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Posto Sosas/Campinas/SP)

Exp.	Data	Diâmetros		Fração no leito	D16 (mm)	D50 (mm)	D84 (mm)	Coef. grad.
		Inf.(mm)	Sup.(mm)					
31	26/08/94	2,000	0,840	0,1678	0,300	0,51	0,88	1,713
		0,840	0,420	0,4216				
		0,420	0,250	0,2557				
		0,250	0,149	0,0411				
		0,149	0,074	0,01				
		5,660	4,760	0,0069				
		4,760	2,000	0,0209				
		2,000	0,840	0,1406				
		0,840	0,420	0,4714				
		0,420	0,250	0,292				
32	9/8/94	0,250	0,149	0,0551	0,320	0,54	1	1,77
		0,149	0,074	0,0131				
		5,660	4,760	0,0098				
		4,760	2,000	0,0378				
		2,000	0,840	0,1748				
		0,840	0,420	0,4548				
		0,420	0,250	0,2669				
		0,250	0,149	0,0421				
		0,149	0,074	0,0138				
		5,660	4,760	0,0115				
33	22/09/94	4,760	2,000	0,0186	0,250	0,45	0,89	1,889
		2,000	0,840	0,1426				
		0,840	0,420	0,3687				
		0,420	0,250	0,3139				
		0,250	0,149	0,1151				
		0,149	0,074	0,0296				
		5,660	4,760	0,0123				
		4,760	2,000	0,0489				
		2,000	0,840	0,2164				
		0,840	0,420	0,414				
34	10/6/94	0,420	0,250	0,2439	0,320	0,57	1,18	1,926
		0,250	0,149	0,0482				
		0,149	0,074	0,0162				
		5,660	4,760	0,0483				
		4,760	2,000	0,0843				
		2,000	0,840	0,299				
		0,840	0,420	0,3324				
		0,420	0,250	0,1573				
		0,250	0,149	0,0527				
		0,149	0,074	0,0261				
35	27/10/94	5,660	4,760	0,019	0,330	0,73	1,79	2,332
		4,760	2,000	0,0843				
36	23/11/94	2,000	0,840	0,299	0,340	0,6	1,14	1,832
		0,840	0,420	0,3324				

Continua....

TABELA A2-Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Posto Sousas/Campinas/SP)

Exp.	Data	Diâmetros		Fração no leito	D16 (mm)	D50 (mm)	D84 (mm)	Coef. grad.
		Inf.(mm)	Sup.(mm)					
37	22/12/94	4,760	2,000	0,0402	0,370	0,71	1,6	2,086
		2,000	0,840	0,2155				
		0,840	0,420	0,4718				
		0,420	0,250	0,2052				
		0,250	0,149	0,0378				
		0,149	0,074	0,0105				
		5,660	4,760	0,048				
		4,760	2,000	0,0652				
		2,000	0,840	0,2896				
		0,840	0,420	0,3936				
38	1/5/95	0,420	0,250	0,1688	0,320	0,57	1,08	1,838
		0,250	0,149	0,0301				
		0,149	0,074	0,0048				
		5,660	4,760	0,0103				
		4,760	2,000	0,0424				
		2,000	0,840	0,1949				
		0,840	0,420	0,46				
		0,420	0,250	0,2329				
		0,250	0,149	0,0494				
		0,149	0,074	0,0101				
39	19/01/95	5,660	4,760	0,1044	0,270	0,57	4,17	4,713
		4,760	2,000	0,1309				
		2,000	0,840	0,1324				
		0,840	0,420	0,2625				
		0,420	0,250	0,2494				
		0,250	0,149	0,0906				
		0,149	0,074	0,0298				
		5,660	4,760	0,0104				
		4,760	2,000	0,0444				
		2,000	0,840	0,1736				
40	26/01/95	0,840	0,420	0,4945	0,340	0,57	1,02	1,733
		0,420	0,250	0,2333				
		0,250	0,149	0,0355				
		0,149	0,074	0,0083				
		5,660	4,760	0,0307				
		4,760	2,000	0,1048				
		2,000	0,840	0,2239				
		0,840	0,420	0,282				
		0,420	0,250	0,2043				
		0,250	0,149	0,144				
41	16/02/95	0,149	0,074	0,0103	0,260	0,59	1,79	2,652
		5,660	4,760	0,0307				
		4,760	2,000	0,1048				
		2,000	0,840	0,2239				
		0,840	0,420	0,282				
		0,420	0,250	0,2043				

Continua...

TABELA A2 -Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Posto Sousas/Campinas/SP)

Exp.	Data	Diâmetros		Fração no leito	D16 (mm)	D50 (mm)	D84 (mm)	Coef. grad.
		Inf.(mm)	Sup.(mm)					
42	8/3/95	5,660	4,760	0,013	0,200	0,41	1,2	2,488
		4,760	2,000	0,0796				
		2,000	0,840	0,1427				
		0,840	0,420	0,2608				
		0,420	0,250	0,2318				
		0,250	0,149	0,2396				
		0,149	0,074	0,0325				
43	24/03/95	5,660	4,760	0,0569	0,210	0,65	2,97	3,832
		4,760	2,000	0,17				
		2,000	0,840	0,2097				
		0,840	0,420	0,2055				
		0,420	0,250	0,1408				
		0,250	0,149	0,1621				
		0,149	0,074	0,0549				
44	4/7/95	5,660	4,760	0,0093	0,170	0,25	0,72	2,175
		4,760	2,000	0,0355				
		2,000	0,840	0,0935				
		0,840	0,420	0,1428				
		0,420	0,250	0,2189				
		0,250	0,149	0,4308				
		0,149	0,074	0,0693				
45	28/04/95	5,660	4,760	0,0155	0,170	0,24	0,91	2,602
		4,760	2,000	0,0519				
		2,000	0,840	0,1061				
		0,840	0,420	0,1168				
		0,420	0,250	0,1839				
		0,250	0,149	0,4527				
		0,149	0,074	0,0732				
46	5/12/95	5,660	4,760	0,0428	0,170	0,32	1,55	3,363
		4,760	2,000	0,0803				
		2,000	0,840	0,1737				
		0,840	0,420	0,1524				
		0,420	0,250	0,1392				
		0,250	0,149	0,3429				
		0,149	0,074	0,0687				
47	6/9/95	5,660	4,760	0,0072	0,190	0,33	1,09	2,520
		4,760	2,000	0,0632				
		2,000	0,840	0,1455				
		0,840	0,420	0,1808				
		0,420	0,250	0,2484				
		0,250	0,149	0,3292				

Continua...

TABELA A2-Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Posto Sosas/Campinas/SP)

Exp.	Data	Diâmetros		Fração no leito	D16 (mm)	D50 (mm)	D84 (mm)	Coef. grad.
		Inf.(mm)	Sup.(mm)					
48	23/06/95	0,149	0,074	0,0257	0,190	0,50	2,04	3,356
		5,660	4,760	0,0248				
		4,760	2,000	0,1396				
		2,000	0,840	0,2074				
		0,840	0,420	0,178				
		0,420	0,250	0,1424				
		0,250	0,149	0,2594				
49	7/5/95	0,149	0,074	0,0483	0,180	0,37	0,91	2,258
		5,660	4,760	0,0059				
		4,760	2,000	0,0436				
		2,000	0,840	0,1299				
		0,840	0,420	0,2757				
		0,420	0,250	0,2186				
		0,250	0,149	0,2734				
50	7/12/95	0,149	0,074	0,0528	0,150	0,20	0,50	1,917
		5,660	4,760	0,0203				
		4,760	2,000	0,0296				
		2,000	0,840	0,0619				
		0,840	0,420	0,0666				
		0,420	0,250	0,1011				
		0,250	0,149	0,5797				
51	19/07/95	0,149	0,074	0,1407	0,160	0,24	0,60	2,000
		5,660	4,760	0,0008				
		4,760	2,000	0,0196				
		2,000	0,840	0,0828				
		0,840	0,420	0,146				
		0,420	0,250	0,2078				
		0,250	0,149	0,4367				
52	26/07/95	0,149	0,074	0,1063	0,170	0,35	1,39	3,015
		5,660	4,760	0,0224				
		4,760	2,000	0,0735				
		2,000	0,840	0,1924				
		0,840	0,420	0,1821				
		0,420	0,250	0,1426				
		0,250	0,149	0,3188				
53	8/10/95	0,149	0,074	0,0683	0,190	0,32	0,71	1,951
		5,660	4,760	0,02				
		4,760	2,000	0,0223				
		2,000	0,840	0,0819				
		0,840	0,420	0,2199				
		0,420	0,250	0,3169				

Continua....

TABELA A2-Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Posto Sousas/Campinas/SP)

Exp.	Data	Diâmetros		Fração no leito	D16 (mm)	D50 (mm)	D84 (mm)	Coef. grad.
		Inf.(mm)	Sup.(mm)					
54	31/08/95	0,250	0,149	0,3019	0,160	0,23	1,46	3,893
		0,149	0,074	0,0371				
		5,660	4,760	0,0958				
		4,760	2,000	0,0645				
		2,000	0,840	0,0495				
		0,840	0,420	0,06				
		0,420	0,250	0,1502				
		0,250	0,149	0,481				
55	21/09/95	0,149	0,074	0,0989	0,180	0,29	0,75	2,099
		5,660	4,760	0,0068				
		4,760	2,000	0,0456				
		2,000	0,840	0,0929				
		0,840	0,420	0,1739				
		0,420	0,250	0,2836				
		0,250	0,149	0,3479				
		0,149	0,074	0,0493				
56	28/09/95	5,660	4,760	0,0334	0,190	0,40	1,66	3,128
		4,760	2,000	0,0924				
		2,000	0,840	0,2056				
		0,840	0,420	0,1557				
		0,420	0,250	0,1913				
		0,250	0,149	0,2894				
		0,149	0,074	0,0323				
		5,660	4,760	0,0043				
4,760	2,000	0,0613						
2,000	0,840	0,1958						
0,840	0,420	0,1843						
0,420	0,250	0,2363						
0,250	0,149	0,2885						
0,149	0,074	0,0294						
58	19/10/95	5,660	4,760	0,0412	0,210	0,82	3,06	3,818
		4,760	2,000	0,2412				
		2,000	0,840	0,2178				
		0,840	0,420	0,1281				
		0,420	0,250	0,1325				
		0,250	0,149	0,2095				
		0,149	0,074	0,0298				
		59	23/11/95	5,660				
4,760	2,000			0,052				
2,000	0,840			0,2971				
0,840	0,420			0,2332				

Continua.....

TABELA A2-Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Posto Sousas/Campinas/SP)

Exp.	Data	Diâmetros		Fração no leito	D16 (mm)	D50 (mm)	D84 (mm)	Coef. grad.
		Inf.(mm)	Sup.(mm)					
60	12/7/95	0,420	0,250	0,1569	0,180	0,63	1,56	2,988
		0,250	0,149	0,2153				
		0,149	0,074	0,0438				
		5,660	4,760	9,25E-05				
		4,760	2,000	0,0808				
		2,000	0,840	0,3497				
		0,840	0,420	0,2068				
		0,420	0,250	0,1168				
61	1/10/96	0,250	0,149	0,1913	0,190	0,38	1,18	2,553
		0,149	0,074	0,0544				
		5,660	4,760	0,0301				
		4,760	2,000	0,0577				
		2,000	0,840	0,1527				
		0,840	0,420	0,2373				
		0,420	0,250	0,1759				
		0,250	0,149	0,3077				
62	31/01/96	0,149	0,074	0,0386	0,180	0,26	0,41	1,511
		5,660	4,760	0,0056				
		4,760	2,000	0,0164				
		2,000	0,840	0,0362				
		0,840	0,420	0,075				
		0,420	0,250	0,3946				
		0,250	0,149	0,4572				
		0,149	0,074	0,0151				
63	2/7/96	5,660	4,760	0,0071	0,190	0,32	1,19	2,701
		4,760	2,000	0,0667				
		2,000	0,840	0,155				
		0,840	0,420	0,1353				
		0,420	0,250	0,2849				
		0,250	0,149	0,3381				
		0,149	0,074	0,0129				
		5,660	4,760	0,0226				
64	3/6/96	4,760	2,000	0,0259	0,180	0,27	0,43	1,546
		2,000	0,840	0,0464				
		0,840	0,420	0,0702				
		0,420	0,250	0,3866				
		0,250	0,149	0,4312				
		0,149	0,074	0,0171				
		5,660	4,760	0,0346				
		4,760	2,000	0,0551				
65	20/03/96	2,000	0,840	0,0609	0,190	0,30	0,57	1,739

Continua....

TABELA A2-Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Posto Sousas/Campinas/SP)

Exp.	Data	Diâmetros		Fração no leito	D16 (mm)	D50 (mm)	D84 (mm)	Coef. grad.
		Inf.(mm)	Sup.(mm)					
66	4/3/96	0,840	0,420	0,0911	0,260	0,43	1,41	2,466
		0,420	0,250	0,4175				
		0,250	0,149	0,3095				
		0,149	0,074	0,0313				
		5,660	4,760	0,0192				
		4,760	2,000	0,0837				
		2,000	0,840	0,1713				
		0,840	0,420	0,2303				
		0,420	0,250	0,3577				
		0,250	0,149	0,1278				
67	4/16/96	0,149	0,074	0,0101	0,250	0,37	0,74	1,740
		5,660	4,760	0,0157				
		4,760	2,000	0,0382				
		2,000	0,840	0,0927				
		0,840	0,420	0,2227				
		0,420	0,250	0,4785				
		0,250	0,149	0,1428				
		0,149	0,074	0,0093				
		5,660	4,760	0,0203				
		4,760	2,000	0,0923				
68	15/05/96	2,000	0,840	0,1739	0,260	0,44	1,50	2,551
		0,840	0,420	0,2328				
		0,420	0,250	0,3562				
		0,250	0,149	0,1158				
		0,149	0,074	0,0087				
		5,660	4,760	0,0377				
		4,760	2,000	0,0979				
		2,000	0,840	0,1449				
		0,840	0,420	0,2015				
		0,420	0,250	0,3197				
69	22/05/96	0,250	0,149	0,1667	0,230	0,41	1,63	2,879
		0,149	0,074	0,0317				
		5,660	4,760	0,0071				
		4,760	2,000	0,0451				
		2,000	0,840	0,1509				
		0,840	0,420	0,2892				
		0,420	0,250	0,4033				
		0,250	0,149	0,1009				
		0,149	0,074	0,0035				
		5,660	4,760	0,0504				
70	19/06/96	4,760	2,000	0,1456	0,270	0,42	0,99	1,956
		2,000	0,840	0,1509				
		0,840	0,420	0,2892				
71	6/3/96	0,420	0,250	0,4033	0,250	0,64	2,52	3,249
		0,250	0,149	0,1009				
		0,149	0,074	0,0035				
71	6/3/96	5,660	4,760	0,0504	0,250	0,64	2,52	3,249
		4,760	2,000	0,1456				

Continua....

TABELA A2-Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Posto Sousas/Campinas/SP)

Exp.	Data	Diâmetros		Fração no leito	D16 (mm)	D50 (mm)	D84 (mm)	Coef. grad.
		Inf.(mm)	Sup.(mm)					
72	17/07/96	2,000	0,840	0,2402	0,210	0,46	2,82	4,160
		0,840	0,420	0,1841				
		0,420	0,250	0,2223				
		0,250	0,149	0,1299				
		0,149	0,074	0,0274				
		5,660	4,760	0,0614				
		4,760	2,000	0,1396				
		2,000	0,840	0,1685				
		0,840	0,420	0,1646				
		0,420	0,250	0,2525				
73	31/07/96	0,250	0,149	0,166	0,270	0,56	1,34	2,233
		0,149	0,074	0,0473				
		5,660	4,760	0,0013				
		4,760	2,000	0,0586				
		2,000	0,840	0,2744				
		0,840	0,420	0,3022				
		0,420	0,250	0,2501				
		0,250	0,149	0,0947				
		0,149	0,074	0,0187				
		5,660	4,760	0,0334				
74	8/7/96	4,760	2,000	0,1281	0,220	0,45	1,98	3,223
		2,000	0,840	0,1764				
		0,840	0,420	0,1917				
		0,420	0,250	0,2864				
		0,250	0,149	0,1477				
		0,149	0,074	0,0363				
		5,660	4,760	0,0462				
		4,760	2,000	0,1692				
		2,000	0,840	0,1868				
		0,840	0,420	0,1776				
75	14/08/96	0,420	0,250	0,2432	0,230	0,54	2,70	3,674
		0,250	0,149	0,1394				
		0,149	0,074	0,0375				
		5,660	4,760	0,0715				
		4,760	2,000	0,1403				
		2,000	0,840	0,1673				
		0,840	0,420	0,1833				
		0,420	0,250	0,2777				
		0,250	0,149	0,1359				
		0,149	0,074	0,024				
76	21/08/96	5,660	4,760	0,0891	0,240	0,50	3,27	4,312
		4,760	2,000	0,1403				
		2,000	0,840	0,1673				
		0,840	0,420	0,1833				
		0,420	0,250	0,2777				
		0,250	0,149	0,1359				
		0,149	0,074	0,024				
		5,660	4,760	0,0891				
		4,760	2,000	0,1403				
		2,000	0,840	0,1673				
77	28/08/96	0,840	0,420	0,1833	0,230	0,52	3,85	4,832
		0,420	0,250	0,2777				
		0,250	0,149	0,1359				
		0,149	0,074	0,024				
		5,660	4,760	0,0891				
		4,760	2,000	0,1403				
		2,000	0,840	0,1673				
		0,840	0,420	0,1833				
		0,420	0,250	0,2777				
		0,250	0,149	0,1359				

Continua.....

TABELA A2-Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Posto Sousas/Campinas/SP)

Exp.	Data	Diâmetros		Fração no leito	D16 (mm)	D50 (mm)	D84 (mm)	Coef. grad.
		Inf.(mm)	Sup.(mm)					
78	9/4/96	4,760	2,000	0,1472	0,270	0,53	1,95	2,821
		2,000	0,840	0,1745				
		0,840	0,420	0,1534				
		0,420	0,250	0,2567				
		0,250	0,149	0,1478				
		0,149	0,074	0,0314				
		5,660	4,760	0,0301				
		4,760	2,000	0,1254				
		2,000	0,840	0,2115				
		0,840	0,420	0,227				
79	9/11/96	0,420	0,250	0,2879	0,270	0,64	4,19	4,459
		0,250	0,149	0,1024				
		0,149	0,074	0,0156				
		5,660	4,760	0,1043				
		4,760	2,000	0,1695				
		2,000	0,840	0,1783				
		0,840	0,420	0,1656				
		0,420	0,250	0,2657				
		0,250	0,149	0,105				
		0,149	0,074	0,0117				
80	10/2/96	5,660	4,760	0,0041	0,240	0,42	1,82	3,042
		4,760	2,000	0,134				
		2,000	0,840	0,2016				
		0,840	0,420	0,1444				
		0,420	0,250	0,3404				
		0,250	0,149	0,1667				
		0,149	0,074	0,0088				
		5,660	4,760	0,0931				
		4,760	2,000	0,2245				
		2,000	0,840	0,1538				
81	16/10/96	0,840	0,420	0,1384	0,270	0,67	4,07	4,278
		0,420	0,250	0,2655				
		0,250	0,149	0,1134				
		0,149	0,074	0,0113				
		5,660	4,760	0,0617				
		4,760	2,000	0,146				
		2,000	0,840	0,1313				
		0,840	0,420	0,1504				
		0,420	0,250	0,3344				
		0,250	0,149	0,1632				
82	11/6/96	0,149	0,074	0,013	0,240	0,42	3,00	4,446
		5,660	4,760	0,0617				
		4,760	2,000	0,146				
		2,000	0,840	0,1313				
		0,840	0,420	0,1504				
		0,420	0,250	0,3344				

Continua....

TABELA A2-Análise granulométrica do material do leito da seção transversal em estudo (Posto Sousas/Campinas/SP)

Exp.	Data	Diâmetros		Fração no leito	D16 (mm)	D50 (mm)	D84 (mm)	Coef. grad.
		Inf.(mm)	Sup.(mm)					
83	20/11/96	5,660	4,760	0,073	0,250	0,50	3,50	4,500
		4,760	2,000	0,171				
		2,000	0,840	0,1603				
		0,840	0,420	0,1461				
		0,420	0,250	0,2942				
		0,250	0,149	0,1344				
		0,149	0,074	0,0211				
84	12/6/96	5,660	4,760	0,0172	0,240	0,38	0,93	2,015
		4,760	2,000	0,0473				
		2,000	0,840	0,1186				
		0,840	0,420	0,2349				
		0,420	0,250	0,4155				
		0,250	0,149	0,162				
		0,149	0,074	0,0045				