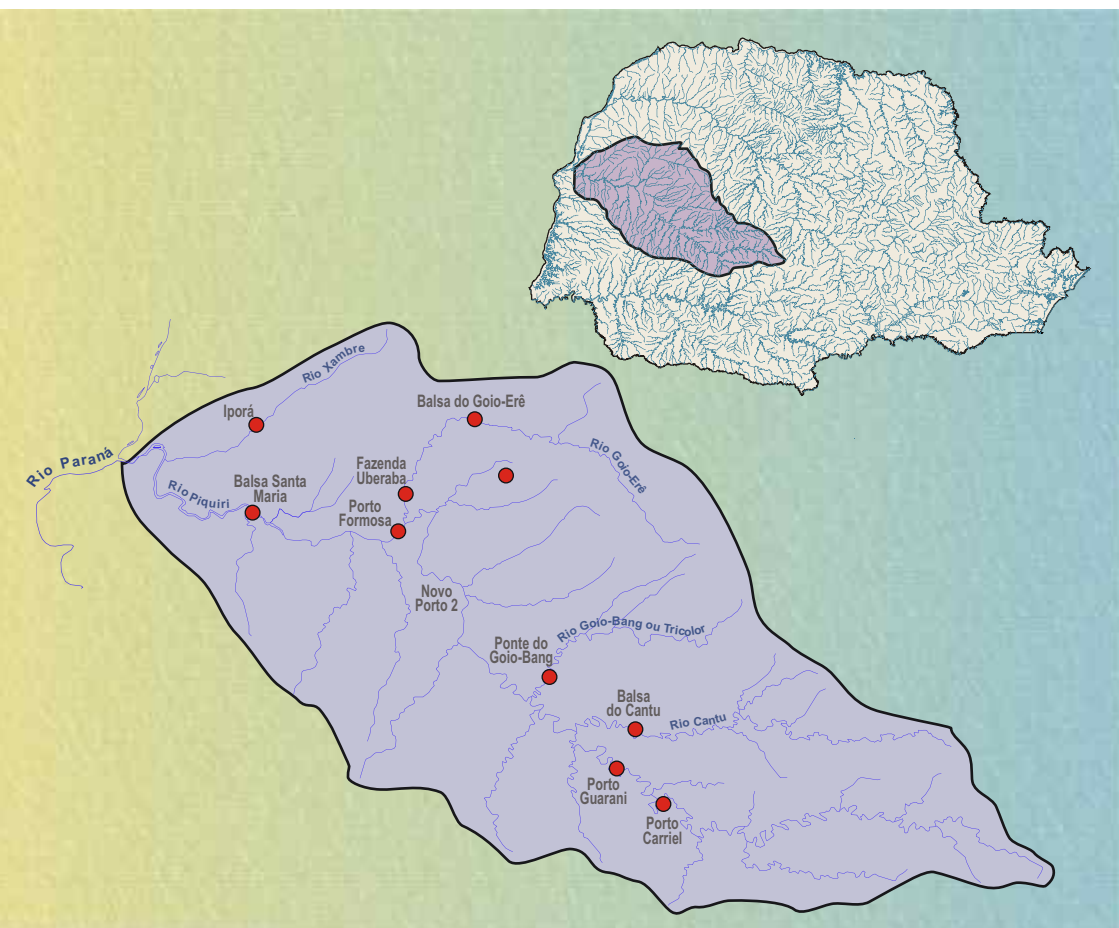


Diagnóstico Hidrossedimentológico da Bacia do Rio Piquiri





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1676-918X

Agosto, 2004

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 134

Diagnóstico Hidrossedimentológico da Bacia do Rio Piquiri

Jorge Enoch Furquim Werneck Lima
Walszon Terllizzie Araújo Lopes
Euzebio Medrado da Silva
Maurrem Ramon Vieira

Planaltina, DF
2004

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina - DF

Fone: (61) 388-9898

Fax: (61) 388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *Dimas Vital Siqueira Resck*

Editor Técnico: *Carlos Roberto Spehar*

Secretária-Executiva: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Maria Helena Gonçalves Teixeira*

Revisão de texto: *Maria Helena Gonçalves Teixeira*

Normalização bibliográfica: *Shirley da Luz Soares*

Tratamento de ilustrações: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Capa: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Editoração eletrônica: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Souza*

Jaime Arbués Carneiro

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

1ª edição

1ª impressão (2004): tiragem 100 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação na publicação.
Embrapa Cerrados.

D536 Diagnóstico hidrossedimentológico da Bacia do Rio Piquiri / Jorge Enoch Furquim Werneck Lima ... [et al.]. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2004.

25 p. — (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X ; 134)

1. Recursos hídricos. 2. Bacia hidrográfica - sedimentação. I. Lima, Jorge Enoch Furquim Werneck. II. Série.

551.354 - CDD 21

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução	7
Material e Métodos	9
Resultados e Discussão	12
Conclusões	24
Referências Bibliográficas	25

Diagnóstico Hidrossedimentológico da Bacia do Rio Piquiri

Jorge Enoch Furquim Werneck Lima¹

Walszon Terlizzie Araújo Lopes²

Euzebio Medrado da Silva³

Maurrem Ramon Vieira⁴

Resumo – O conhecimento do comportamento hidrossedimentológico de uma bacia hidrográfica é fundamental para a adequada gestão e uso de seus recursos hídricos. Este trabalho objetivou realizar, a partir dos dados hidrossedimentométricos da Bacia do Rio Piquiri, um diagnóstico sobre o seu comportamento hidrossedimentológico. Utilizando os dados fluviométricos e hidrossedimentométricos do banco de dados Hidro, sob gestão da Agência Nacional de Águas – ANA, foi estimado o potencial para produção ou deposição de sedimentos de cada trecho da bacia, aplicando o procedimento de balanço de massa. Foram identificados três trechos onde ocorre deposição de sedimentos na bacia: entre as estações Porto Carriel e Porto Guarani, no Rio Piquiri; entre as estações Porto Formosa e Balsa Santa Maria, também no Rio Piquiri; e entre as estações Balsa do Goio-Erê e Fazenda Uberaba, no Rio Goio-Erê. O Rio Piquiri despeja, em média, cerca de 5.000 t/dia de sedimentos em suspensão no Rio Paraná. A produção específica de sedimentos em suspensão ao longo da Bacia do Rio Piquiri foi classificada no intervalo de baixa a moderada, com valores entre 43 e 135 t/km²/ano e as concentrações de sedimentos, entre muito baixa e moderada, com valores de 46 a 140 mg/L.

Termos para indexação: qualidade de água, gestão de recursos hídricos, uso da água, erosão hídrica.

¹ Eng. Agríc., M.Sc., Embrapa Cerrados, jorge@cpac.embrapa.br

² Eng. Civil, M.Sc. em Engenharia Civil e Ambiental, Área: Engenharia Hidráulica, Agência Nacional de Águas – ANA, Brasília, DF, walszon@ana.gov.br

³ Eng. Agríc., Ph.D., Embrapa Cerrados, euzebio@cpac.embrapa.br

⁴ Eng. Quím., Dr. em Engenharia Metalúrgica, Área: Tecnologia Mineral, Agência Nacional de Águas - ANA, Brasília, DF, maurrem@ana.gov.br

Hydrosedimentologic diagnosis of the Piquiri River Basin

Abstract – *The knowledge about the hydrosedimentologic behavior of a river basin is fundamental for the appropriate management and use of its water resources. This work had the objective to generate, based on the hydro-sedimentometric data of the Piquiri River Basin, a diagnosis about its hydro-sedimentologic behavior. Utilizing the hydro-sedimentologic database administrated by the Brazilian Agency of Waters – ANA, it was estimated the potential for sediments production or deposition in each part of the basin, applying mass balance method. There were identified three places where deposition of sediments happens: between the stations Porto Carriel and Porto Guarani, in Piquiri River; between the stations Porto Formosa and Balsa Santa Maria, also in Piquiri River; and between the stations Balsa do Goio-Erê and Fazenda Uberaba, in Goio-Erê River. Piquiri River discharges about 5.000 tons of sediments in suspension per day in the Paraná River. The specific production of sediments in suspension along Piquiri River Basin was classified in the interval from low to moderate, from 43 to 135 ton./km²/year, and the average concentrations of suspended sediments, between very low and moderate, with values from 46 to 140 mg/L.*

Index terms: water quality, water management, water use, water erosion.

Introdução

O conhecimento do comportamento hidrossedimentológico de uma bacia hidrográfica é fundamental para a adequada gestão de seus recursos hídricos, bem como para o suporte à decisão sobre o desenvolvimento de atividades antrópicas. O acompanhamento dos fluxos de sedimentos ocorridos em um dado local da bacia permite o diagnóstico de eventuais impactos em sua área de drenagem ao longo do tempo, podendo tornar-se importante indicador ambiental.

No caso das barragens construídas ao longo dos cursos d'água seja para fins de geração de energia hidrelétrica, seja para irrigação ou outro, estudos hidrossedimentológicos são importantes para avaliar a vida útil da obra, bem como a necessidade de medidas mitigadoras para otimizar o seu uso.

Para o setor hidroviário, a identificação de zonas de deposição de sedimentos é fundamental para a análise da viabilidade do projeto e para a minimização dos custos com reparos nos canais de navegação.

Para o setor de irrigação e aplicações congêneres que precisam bombear água dos rios, os sedimentos carregados no curso d'água, além de acelerar a degradação dos sistemas de bombeamento, ainda podem provocar entupimentos, principalmente nos sistemas de irrigação por gotejamento e microaspersão, que acabam dependendo de eficientes sistemas de filtragem. Quando a água apresenta elevadas concentrações de sedimentos, até o seu tratamento para o abastecimento humano pode ser interrompido.

Os sedimentos também exercem grande influência nos demais parâmetros de qualidade das águas, uma vez que, ao serem transportados para os cursos d'água, carregam consigo outros elementos que, dependendo da situação do rio, podem ser benéficos ou maléficos ao meio ambiente e a seus usuários.

Os sedimentos também são responsáveis pelas formações de praias de rios e zonas costeiras que, para algumas regiões, são fundamentais como opção de lazer e bem-estar social, bem como para a economia local.

O Rio Piquiri, afluente da margem esquerda do Rio Paraná, tem cerca de 485 km de extensão e a área de drenagem de toda a bacia é de aproximadamente 24.700 km². A bacia está localizada na região oeste do Estado do Paraná

(Figura 1), zona de intenso antropismo. Segundo dados do Plano Diretor para a Utilização dos Recursos Hídricos do Estado do Paraná ([SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL DO PARANÁ, 1995](#)), 42,8% da área da bacia é ocupada por culturas agrícolas, 34,1% por pastagens e cerca de 20,3% por vegetação secundária, restando menos de 5% da bacia de áreas naturais. Ainda segundo esse estudo, a Bacia do Rio Piquiri está entre as unidades hidrográficas do Estado do Paraná com maior suscetibilidade à erosão e à produção de sedimentos. Em relação ao aproveitamento hidrelétrico dessa bacia, o inventário realizado pela Copel, empresa de energia do estado, indica a possibilidade de construção de nove usinas nesta área, representando cerca de 700 MW de potência instalada ([PARANÁ, 1998](#)). Esses fatos, associados a alguns dos apresentados anteriormente sobre a importância de estudos hidrossedimentológicos para as atividades antrópicas e para o meio ambiente, reforçam a necessidade e a importância da realização deste estudo.

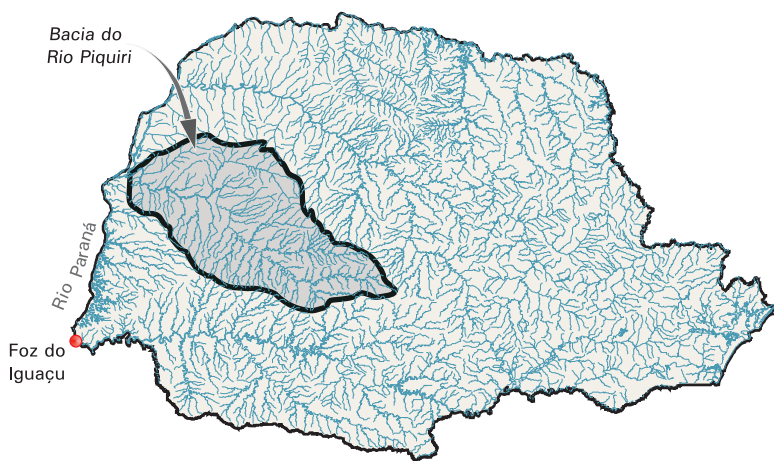


Figura 1. Mapa de localização da Bacia do Piquiri em relação aos limites e à hidrografia do Estado do Paraná.

Este trabalho objetivou, principalmente, realizar, baseado nos dados hidrossedimentométricos existentes na Bacia do Rio Piquiri, um diagnóstico sobre seu comportamento hidrossedimentológico, contribuindo para geração de informações úteis para a adequada gestão e o aproveitamento racional dos seus recursos hídricos superficiais. Os demais objetivos almejados foram: estimar a

descarga sólida em suspensão média dessa bacia para o Rio Paraná; determinar os trechos do rio com potencial para a ocorrência de deposição de sedimentos; avaliar a rede hidrossedimentométrica da bacia; e caracterizar o comportamento hidrossedimentológico da bacia.

Material e Métodos

Para a realização deste estudo foram utilizados os dados fluviométricos e hidrossedimentométricos do banco de dados Hidro ([HIDROWEB, 2002](#)) que dispõe de dados provenientes da rede hidrométrica nacional, sob gestão da Agência Nacional de Águas – ANA. No cronograma normal de operação dessa rede, são previstas pelo menos quatro medições anuais em cada estação. Nas estações hidrossedimentométricas, são auferidos apenas dados de concentração de sedimentos em suspensão, a cota e a vazão no momento da coleta das amostras. O método utilizado para a amostragem da mistura água-sedimento é o de integração na vertical e a definição dos locais de coleta ao longo da seção transversal do rio é feita pelo método do Igual Incremento de Largura (IIL). Na Tabela 1, é apresentado o resultado do levantamento de dados hidrossedimentométricos da Bacia do Rio Piquiri existentes no banco de dados sob gestão da ANA.

Tabela 1. Levantamento de estações e dados hidrossedimentométricos da Bacia do Rio Piquiri.

Código	Nome	Rio	Intervalo de dados	N. de medições
64767000	Porto Carriel	Piquiri	90-98	40
64771500	Porto Guarani	Piquiri	82-84;93-94;96-02	(9;2;33) 44
64775000	Balsa do Cantu	Cantu	82;93-02	(3;32) 35
64785000	Ponte do Goio-Bang	Goio-Bang ou Tricolor	82;93-02	(3;42) 45
64799500	Novo Porto 2	Piquiri	78-82;84;94;96-01	(12;1;4;24) 41
64800000	Porto 2	Piquiri	77	2
64810000	Balsa do Goio-Erê	Goio-Erê	82;84;93-02	(2;1;30) 33
64815000	Fazenda Uberaba	Goio-Erê	82-96;98-02	(51;16) 67
64820000	Porto Formosa	Piquiri	90-91;93-98	(10;31) 41
64830000	Balsa Santa Maria (PCD)	Piquiri	76-82;84;88-01	(18;1;46) 65
64833000	Iporá	Xambre	84-85;94;98-02	(16;4;16) 36

De modo geral, as estações listadas na [Tabela 1](#) apresentam uma quantidade de dados adequada ao estudo proposto. A única exceção é a estação Porto 2 que apresenta apenas duas medições registradas no banco de dados e, por isso, não foi analisada.

Com base nos dados de vazão e da concentração de sedimentos em suspensão disponíveis no banco de dados da ANA (HIDRO 1.0), resultantes de medições realizadas no decorrer de vários anos, foram obtidos os valores de descarga sólida em suspensão de cada medição, com o uso da seguinte equação:

$$Q_{ss} = 0,0864 Q \cdot C_{ss} \quad (1)$$

em que:

Q_{ss} = descarga sólida ou fluxo de sedimentos em suspensão (t/dia);

Q = descarga líquida ou vazão (m³/s);

C_{ss} = concentração de sedimentos em suspensão (mg/L).

Uma vez determinados os valores de descarga sólida em suspensão de cada medição, foram traçadas as curvas-chave de sedimentos das estações segundo metodologia apresentada por [Carvalho \(1994\)](#) e [Carvalho et al. \(2000\)](#). As curvas-chave têm, geralmente, a forma de potência, como apresentado a seguir:

$$Q_{ss} = a \cdot Q^b \quad (2)$$

em que:

a e b = constantes de ajuste.

O valor do coeficiente “ b ”, para estações que abrangem grandes áreas de contribuição, a exemplo das bacias estudadas neste trabalho, geralmente, está entre 1 e 3. Quanto maior ele for, mais rápida é a resposta do fluxo de sedimentos em suspensão em relação às variações de vazão. Caso esse parâmetro não esteja bem dimensionado, erros significativos podem ocorrer nos fluxos de sedimentos estimados, principalmente, nas maiores vazões.

Há casos em que são necessárias diversas curvas para representar adequadamente a correlação entre os dados de vazão e descarga sólida de uma

estação. Normalmente, as curvas-chave podem variar de acordo com o período ou com a vazão. Quando há variações em função do período, pode-se obter, por exemplo, uma curva-chave de sedimentos até determinado ano e, a partir deste, uma segunda correlação. O mesmo vale para a diferenciação das curvas em função da vazão.

Para avaliar a necessidade de gerar mais de uma curva-chave de sedimentos para uma dada estação, foram utilizados dois critérios: o primeiro foi valor do R-quadrado que, de forma arbitrária, teve o seu limite mínimo aceitável igual a 60%; e o segundo consistiu na análise visual da curva gerada em relação aos pontos medidos.

Com base nas curvas-chave de sedimentos em suspensão geradas, as séries de vazões médias diárias de cada estação foram transformadas em séries de fluxo de sedimentos em suspensão e, a partir dessa série, foram obtidos os valores médios mensais e anual do fluxo de sedimentos em suspensão em cada uma das estações hidrossedimentométricas da bacia. As curvas-chave obtidas foram aplicadas a toda a série de dados de vazão e não apenas à série correspondente ao período de realização das medições hidrossedimentométricas.

Depois da análise individualizada do fluxo médio de sólidos em suspensão de cada estação, efetuou-se o balanço da descarga sólida entre postos consecutivos para a identificação de áreas com potencial para produção ou deposição de sedimentos. Para a análise conjunta dos dados, o período de estudo foi homogeneizado, ou seja, foi definido o período mais propício para a comparação entre os dados das estações dessa bacia. No caso das estações em que a série de dados não coincidiu com o período definido, o preenchimento da série foi efetuado por meio da correlação entre as descargas sólidas em suspensão médias mensais da estação com falha e o posto de medição mais próximo, preferencialmente, no mesmo curso d'água.

Para possibilitar a análise integrada dos resultados obtidos em cada estação e melhor compreensão sobre o comportamento do fluxo de sedimentos em suspensão ao longo de toda a Bacia do Rio Piquiri, foi elaborado um mapa da bacia onde os locais das estações foram georreferenciados ([Figura 2](#)).

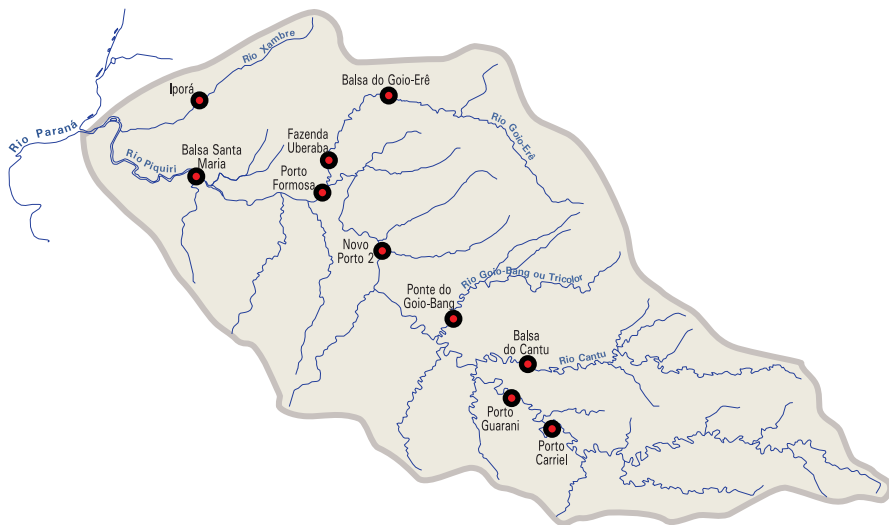


Figura 2. Mapa de localização das estações hidrossedimentométricas ao longo da Bacia do Rio Piquiri.

Resultados e Discussão

Da análise da Figura 2, pode-se notar que não existem estações hidrossedimentométricas na margem esquerda do Rio Piquiri, impossibilitando qualquer estudo hidrossedimentológico nessa parte da bacia. Além disso, nos Rios Xambre, Goio-Erê e Cantu, apesar de serem monitorados quanto ao fluxo de sedimentos em suspensão, apresentam apenas uma estação cada um impossibilitando a identificação de zonas de deposição de sedimentos segundo o método proposto neste trabalho.

As curvas-chave de sedimentos geradas para a representação da correlação entre a vazão líquida e o fluxo de sedimentos em suspensão em cada estação são apresentadas na [Tabela 2](#).

Quando o item intervalo de validade estiver em branco significa que a equação foi utilizada para todo o intervalo de dados existente. Como se pode observar na [Tabela 2](#), nenhuma estação teve as curvas-chave separadas por períodos. Em todos os casos em que foi necessário gerar mais de uma equação para a estação, estas foram definidas em função das vazões. Assim, nesses casos, até uma determinada vazão, utilizou-se uma curva-chave e, quando este valor foi superado, utilizou-se outra.

Tabela 2. Curvas-chave de sedimentos em suspensão geradas.

Código	Nome	Curva-chave	R ²	Intervalo de validade
64767000	Porto Carriel	$Q_{ss} = 1,3603.Q^{1,1648}$	0,79	$Q < 150 \text{ m}^3/\text{s}$
		$Q_{ss} = 0,0302.Q^2 - 1,5562.Q + 81,579$	0,94	$150 < Q < 300 \text{ m}^3/\text{s}$
		$Q_{ss} = 13,928.Q - 1814$	0,98	$Q > 300 \text{ m}^3/\text{s}$
64771500	Porto Guarani	$Q_{ss} = 3,2996.Q^{0,8941}$	0,76	$Q < 170 \text{ m}^3/\text{s}$
		$Q_{ss} = 0,5566.Q^{1,353}$	0,93	$Q > 170 \text{ m}^3/\text{s}$
64775000	Balsa do Cantu	$Q_{ss} = 1,894.Q^{1,0871}$	0,83	$Q < 250 \text{ m}^3/\text{s}$
		$Q_{ss} = 0,8941.Q^{1,4127}$	1,00	$Q > 250 \text{ m}^3/\text{s}$
64785000	Ponte do Goio-Bang	$Q_{ss} = 0,3132.Q^{1,7922}$	0,79	$Q < 70 \text{ m}^3/\text{s}$
		$Q_{ss} = 0,000007.Q^{4,4352}$	0,95	$Q > 70 \text{ m}^3/\text{s}$
64799500	Novo Porto 2	$Q_{ss} = 0,2662.Q^{1,4799}$	0,82	
64810000	Balsa do Goio-Erê	$Q_{ss} = 0,2599.Q^{1,8273}$	0,77	$Q < 90 \text{ m}^3/\text{s}$
		$Q_{ss} = 0,1158.Q^{2,0778}$	0,80	$Q > 90 \text{ m}^3/\text{s}$
64815000	Fazenda Uberaba	$Q_{ss} = 0,0404.Q^{2,2123}$	0,81	$Q < 100 \text{ m}^3/\text{s}$
		$Q_{ss} = 0,0152.Q^{2,4556}$	0,86	$100 < Q < 150 \text{ m}^3/\text{s}$
		$Q_{ss} = 37,333.Q - 2248,3$	0,75	$Q > 150 \text{ m}^3/\text{s}$
64820000	Porto Formosa	$Q_{ss} = 0,0114.Q^{2,0182}$	0,92	
64830000	Balsa Santa Maria (PCD)	$Q_{ss} = 0,0427.Q^{1,752}$	0,77	$Q < 900 \text{ m}^3/\text{s}$
		$Q_{ss} = 0,0156.Q^{1,9278}$	0,87	$Q > 900 \text{ m}^3/\text{s}$
64833000	Iporá	$Q_{ss} = 0,6113.Q^{1,8815}$	0,62	

Na Tabela 2, pode-se observar que, conforme esperado, o valor da constante “b” das curvas-chave com o formato típico (Equação 2), foi, na maioria das vezes, entre 1 e 3. Apenas nas estações Porto Guarani e Ponte do Goio-Bang ocorreram valores de “b” fora dessa faixa, o que pode explicar a necessidade de mais de uma curva para representar a correlação entre os dados de vazão e de descarga sólida de sedimentos em suspensão nesses locais. Nas estações Porto Carriel e Fazenda Uberaba, a parte mais alta da curva-chave, ou seja, nas maiores vazões, não foi possível a obtenção de uma curva do formato da Equação 2 que representasse adequadamente os pontos medidos. Nesses casos, a melhor representação da curva-chave referente às maiores vazões foi obtida por meio de equações polinomiais do primeiro e do segundo grau.

Quanto aos valores de R-quadrado apresentados na [Tabela 2](#), nos casos em que foi necessário o traçado de mais de uma curva para a representação da correlação entre o fluxo de sedimentos em suspensão e a vazão, algumas vezes, estes foram elevados devido à pequena quantidade de pontos utilizados no ajuste de cada uma delas, principalmente, nas partes referentes às maiores vazões medidas na estação. Sendo assim, nesses casos, os dados de R-quadrado não podem ser analisados de forma independente, sob o risco de concederem uma idéia equivocada sobre a representatividade das curvas-chave de sedimentos em suspensão. A tentativa de obtenção de curvas-chave mais detalhadas para as vazões mais altas deve-se à relevância dessas em relação aos fluxos médios de sedimentos em dado local. Os elevados valores de R-quadrado, ocasionados pela pequena quantidade de pontos utilizados, indicam a necessidade de mais medições nos períodos de cheia nessas localidades.

Após a obtenção das curvas-chave das estações, estas foram utilizadas para converter as séries de dados diários de vazão em séries de dados diários de descarga sólida em suspensão. Na [Tabela 3](#), são apresentados os períodos cobertos pelas séries de dados de vazão de cada uma das estações.

Baseando-se nos dados apresentados na [Tabela 3](#), determinou-se que o período compreendido entre 1980 e 2001 é o mais apropriado para a realização da análise conjunta dos dados hidrossedimentométricos da bacia. O ano 2002 não foi incluído devido ao fato de a maioria das estações não terem a série completa nesse período.

Na [Tabela 3](#), pode-se observar que as estações Porto Carriel, Porto Formosa e Iporá possuem falhas em suas séries no período de 1980 a 2001. Os dados de descarga sólida em suspensão média mensal determinados na estação Porto Carriel apresentaram correlação com os de Porto Guarani, resultando em um R-quadrado igual a 0,97. Entre os dados das estações Porto Formosa e Balsa Santa Maria, o R-quadrado da correlação foi 0,92. Em ambos os casos, foram necessárias duas curvas de correlação, uma para as menores vazões e outra para as maiores. Já os dados da estação Iporá, em menor número, não apresentaram boa correlação com os de outras estações, assim, a sua série não pôde ser preenchida e, no restante do trabalho, os dados desse posto referem-se à média dos seus dados existentes. Portanto, apenas as estações Porto Carriel e Porto Formosa tiveram suas séries preenchidas para homogeneização do período de análise.

Tabela 3. Período coberto pelas séries históricas de dados de vazão das estações analisadas.

Código	Nome	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	
64767000	Porto Carriel																																									
64771500	Porto Guarani																																									
64775000	Balsa do Cantu																																									
64785000	Ponte do Goio-Bang																																									
64799500	Novo Porto 2																																									
64810000	Balsa do Goio-Erê																																									
64815000	Fazenda Uberaba																																									
64820000	Porto Formosa																																									
64830000	Balsa Santa Maria																																									
64833000	Iporá																																									

Com base nos resultados individuais obtidos em cada estação para o período de 1980 a 2001, efetuou-se a análise integrada do fluxo de sedimentos em suspensão ao longo da bacia. Em princípio, a relação entre os dados obtidos nas estações Porto Carriel e Porto Guarani, no Rio Piquiri, bem como entre os postos Balsa do Goio-Erê e Fazenda Uberaba, no Rio Goio-Erê, apresentaram incoerências, ou seja, grandes variações na descarga sólida em suspensão em relação ao comprimento do trecho de rio. Esse fato indicou a necessidade de revisão minuciosa das curvas-chave de sedimentos dessas estações. Essas inconsistências são oriundas, principalmente, da falta de dados hidrossedimentométricos no período das cheias. Para a correção dessas curvas, analisaram-se todas as correlações possíveis entre os dados medidos de vazão e concentração nessas estações e entre elas. Como esses postos de medição são próximos, há coletas de dados efetuadas em ambos num mesmo período, o que fornece importante referência durante a análise. As equações apresentadas na [Tabela 2](#) representam as curvas-chave já corrigidas.

Na Tabela 4, são apresentados os resultados médios finais obtidos da análise dos dados dos postos hidrossedimentométricos da Bacia do Rio Piquiri.

Tabela 4. Resumo dos resultados hidrossedimentológicos médios obtidos da análise dos dados das estações da Bacia do Rio Piquiri no período entre 1980 e 2001.

Código	Estação	Rio	A.Dren. (km²)	Q (m³/s)	Q esp. (L/s/km²)	Qss (t/dia)	Qss esp. (t/km²/ano)	Css (mg/L)
64767000	Porto Carriel	Piquiri	3620	115,8	32,0	760	76,7	76
64771500	Porto Guarani	Piquiri	4223	125,4	29,7	497	43,0	46
64775000	Balsa do Cantu	Cantu	2513	74,4	29,6	422	61,3	66
64785000	Ponte do Goio-Bang	Goio-Bang ou Tricolor	1350	32,1	23,8	295	79,8	106
64799500	Novo Porto 2	Piquiri	12124	384,7	31,7	2447	73,7	74
64810000	Balsa do Goio-Erê	Goio-Erê	2424	51,6	21,3	502	75,6	113
64815000	Fazenda Uberaba	Goio-Erê	2941	59,1	20,1	483	59,9	95
64820000	Porto Formosa	Piquiri	17500	508,4	29,1	5400	112,6	123
64830000	Balsa Santa Maria	Piquiri	20982	546,2	26,0	4668	81,2	99
64833000	Iporá	Xambre	1075	33,0*	30,7*	399*	135,4*	140*

em que: A. Dren = área de drenagem da estação; Q = vazão líquida média; Q esp. = vazão líquida específica média; Qss = descarga sólida em suspensão média; Qss esp. = produção específica de sedimentos em suspensão média; Css = Concentração de sólidos em suspensão média.
* dados referentes ao período de 1996 a 2001.

Na [Tabela 4](#), pode-se observar que a vazão líquida média durante o período, em um mesmo curso d'água, variou com a área de drenagem, conforme esperado (Figura 3). A vazão líquida específica média das estações apresentou pequena variação ao longo do Rio Piquiri (Figura 4), sendo encontrado o maior valor na sua estação mais a montante (32,0 L/s/km²), a Porto Carriel, e o menor valor, mais próximo à sua foz, no posto Balsa Santa Maria (26,0 L/s/km²). Analisando a bacia como um todo, à exceção das Sub-Bacias dos Rios Goio-Bang e Goio-Erê que apresentaram produção hídrica superficial específica mais baixa, em torno de 24 L/s/km² e 20 L/s/km², respectivamente, os resultados obtidos nos demais locais circundaram o valor de 30 L/s/km².

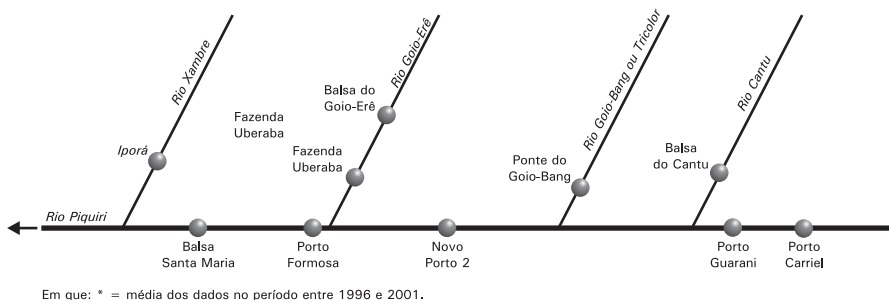


Figura 3. Visualização esquemática das vazões médias (m³/s) nas estações hidrossedimentométricas da Bacia do Rio Piquiri no período de 1981 a 2001.

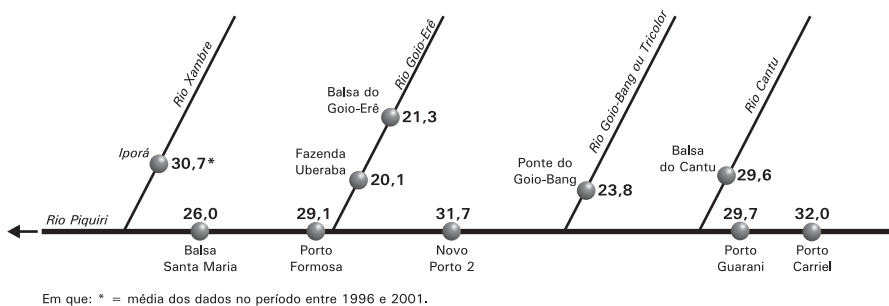


Figura 4. Visualização esquemática das vazões específicas médias (L/s/km²) nas estações hidrossedimentométricas da Bacia do Rio Piquiri no período de 1981 a 2001.

De forma a tornar mais clara a interpretação dos resultados referentes ao fluxo de sedimentos em suspensão na bacia, principal objetivo deste trabalho, confeccionaram-se as Figuras 5, 6 e 7, a seguir, com base nos dados apresentados na Tabela 4.

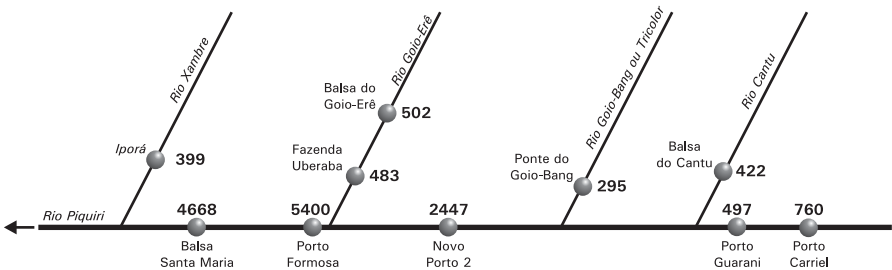


Figura 5. Visualização esquemática das descargas sólidas em suspensão médias (t/dia) nas estações hidrossedimentométricas da Bacia do Rio Piquiri no período de 1981 a 2001.

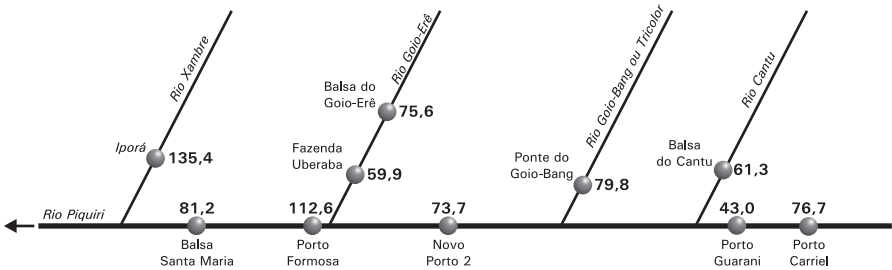


Figura 6. Visualização esquemática das descargas sólidas em suspensão específicas médias (t/km²/ano) nas estações hidrossedimentométricas da Bacia do Rio Piquiri no período de 1981 a 2001.

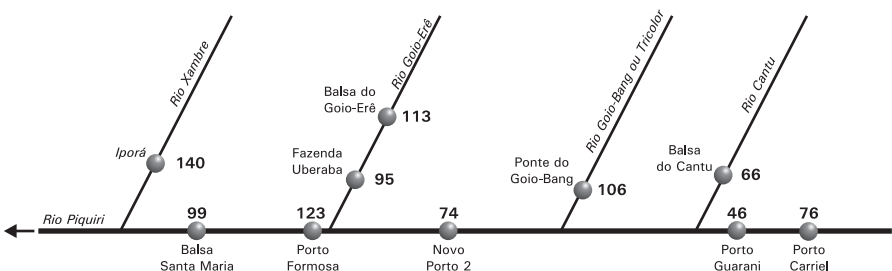


Figura 7. Visualização esquemática das concentrações de sedimentos em suspensão médias (mg/L) nas estações hidrossedimentométricas da Bacia do Rio Piquiri no período de 1981 a 2001.

Analizando a [Figura 5](#), podem-se identificar três trechos onde, em termos médios, ocorre deposição de sedimentos, são eles: entre as estações Porto Carriel e Porto Guarani, no Rio Piquiri; entre as estações Porto Formosa e Balsa Santa Maria, também no Rio Piquiri; e entre as estações Balsa do Goio-Erê e Fazenda Uberaba, no Rio Goio-Erê. Cabe ressaltar que a deposição de sedimentos é evidenciada quando há redução no fluxo de sedimentos de montante para jusante. Nos demais rios, por apresentarem apenas uma estação hidrossedimentométrica, não foi possível a identificação de zonas de deposição. Quanto à produção de sedimentos em suspensão da bacia, o Rio Piquiri é responsável pelo aporte médio de cerca de 5.000 t/dia no Rio Paraná, a montante do reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu. Segundo [Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral do Paraná \(1995\)](#), a produção média total de sedimentos em suspensão da Bacia do Rio Piquiri é de aproximadamente 7.000 t/dia, entretanto, como o desenvolvimento desse estudo não é apresentado no documento citado, a análise dos motivos que levaram a essa diferença de resultados foi impossibilitada.

Os dados de descargas sólidas em suspensão específicas médias ([Figura 6](#)) são importantes indicadores para determinar o potencial de produção de sedimentos de uma bacia. Segundo [Lima et al. \(2001, 2003\)](#), quando esse índice é inferior a 70 t/km²/ano, a produção de sedimentos da área de drenagem pode ser considerada baixa, entre 70 e 175 t/km²/ano, moderada, entre 175 e 300 t/km²/ano, alta, e maior que 300 t/km²/ano, muito alta. Considerando essa classificação, a produção específica de sedimentos em suspensão na Bacia do Rio Piquiri varia de baixa a moderada.

A concentração de sedimentos em suspensão transmite importante informação de um curso d'água. Um rio com alta concentração de sedimentos é normalmente um rio "barrento". Como os sedimentos carregam outros elementos para o curso d'água, é comum a ocorrência de contaminação quando sua concentração é elevada. Além disso, rios com alta concentração de sedimentos podem trazer problemas aos sistemas de captação e tratamento de água. De acordo com [Lima et al. \(2003\)](#), concentrações de sedimentos em suspensão inferiores a 50 mg/L podem ser classificadas como muito baixas, de 50 a 100 mg/L, baixas, de 100 a 150 mg/L, moderadas, de 150 a 300 mg/L, altas, e, acima de 300 mg/L, muito altas. Assim, as concentrações de sedimentos em suspensão nas estações avaliadas variaram de muito baixa a moderada ([Figura 7](#)).

Avaliando de forma conjunta os dados apresentados nas [Figuras 5, 6 e 7](#), observa-se que a redução do fluxo de sedimentos em suspensão nos trechos em que ocorre deposição se deu de forma rápida, principalmente, entre as estações Porto Carriel e Porto Guarani. Portanto, para comparar os resultados obtidos, são apresentados a seguir ([Tabelas 5, 6 e 7](#)) os dados originais de campo coletados em períodos coincidentes nas estações envolvidas na indicação de deposição de sedimentos na bacia.

Tabela 5. Dados hidrossedimentométricos originais de campo, medidos em períodos próximos, nas estações Porto Guarani e Porto Carriel.

Estações							
Porto Guarani				Porto Carriel			
Data da medição	Q (m³/s)	Css (mg/L)	Qss (t/dia)	Data da medição	Q (m³/s)	Css (mg/L)	Qss (t/dia)
18/8/1996	20,6	30,3	54	16/8/1996	17,7	71,9	110
14/9/1996	40,8	16,5	58	12/9/1996	50,6	31,5	138
9/11/1996	81,3	16,8	118	7/11/1996	65,2	34,3	193
10/12/1996	39,4	27,4	93	11/12/1996	36,2	34,3	107
18/4/1997	26,4	19,5	44	16/4/1997	13,8	28,5	34
15/8/1997	66,7	21,0	121	20/8/1997	43,1	33,5	125

Tabela 6. Dados hidrossedimentométricos originais de campo, medidos em períodos próximos, nas estações Balsa Santa Maria e Porto Formosa.

Estações							
Balsa Santa Maria				Porto Formosa			
Data da medição	Q (m³/s)	Css (mg/L)	Qss (t/dia)	Data da medição	Q (m³/s)	Css (mg/L)	Qss (t/dia)
20/9/1991	161,3	10,5	146	19/9/1991	97,2	25,3	212
17/11/1995	593,1	77,2	3,955	16/11/1995	548,1	50,3	2,382
24/6/1996	213,4	16,4	301	23/6/1996	214,4	10,9	202
18/10/1996	607,8	141,6	7,439	17/10/1996	690,1	114,0	6,796
6/11/1997	1585,2	160,3	21,949	5/11/1997	1618,9	172,8	24,172

Tabela 7. Dados hidrossedimentométricos originais de campo, medidos em períodos próximos, nas estações Fazenda Uberaba e Balsa do Goio-Erê.

Estações							
Fazenda Uberaba				Balsa do Goio-Erê			
Data da medição	Q (m³/s)	Css (mg/L)	Qss (t/dia)	Data da medição	Q (m³/s)	Css (mg/L)	Qss (t/dia)
19/3/1984	49,3	67,93	289	20/3/1984	40,2	67,3	234
11/8/1993	46,4	27,6	111	10/8/1993	44,1	40,2	153
10/5/1994	33,5	44,275	128	11/5/1994	30,3	59,1	155
29/5/1996	42,4	34,104	125	29/5/1996	32,4	65,1	182
25/7/1996	30,1	25,07	65	24/7/1996	22,9	33,6	67
31/8/1998	61,5	38,232	203	1/9/1998	51,3	49,2	218
2/12/1998	78,7	72,905	496	3/12/1998	68,3	55,4	327
2/5/1999	42,4	18,238	67	3/5/1999	34,1	40,3	119
28/8/1999	48,3	29,893	125	28/8/1999	38,9	68,2	229
31/10/1999	33,1	19,22	55	30/10/1999	26,9	49,0	114
26/4/2000	22,4	32,094	62	25/4/2000	19,2	23,8	39
5/7/2000	26,5	19,531	45	5/7/2000	20,8	29,8	54
22/8/2000	34,6	38,411	115	22/8/2000	27,9	55,8	135
13/6/2001	45,0	28,846	112	15/6/2001	33,4	40,9	118
5/9/2001	33,9	41,168	121	5/9/2001	28,3	108,0	264
27/8/2002	37,2	28,62	92	15/8/2002	34,0	45,4	133

Analisando os dados apresentados nas [Tabelas 5](#) e [7](#), pode-se observar que existe tendência à deposição de sedimentos nos trechos do rio entre essas estações. Normalmente, quando as vazões estão menores, os fluxos de sedimentos nas estações são próximos. As maiores diferenças ocorrem nas maiores vazões que, como têm grande importância no fluxo de sedimentos total ao longo do tempo, acabam influenciando significativamente as médias. No caso da comparação dos dados medidos nas estações Balsa Santa Maria e Porto Formosa ([Tabela 6](#)), como os dados medidos em período próximo são poucos, não ficou evidenciada a tendência à deposição de sedimentos entre elas. Entretanto, esse processo pode ser explicado pelos coeficientes (b) das curvas-chave de sedimentos dessas duas estações, em que o da estação Porto Formosa é maior que o da estação Balsa Santa Maria, indicando que seu fluxo de sedimentos em suspensão responde de forma mais rápida ao aumento da vazão.

Para melhor compreensão do comportamento hidrossedimentológico da bacia em estudo, são apresentados a seguir as descargas sólidas em suspensão médias mensais de cada estação analisada ([Tabela 8](#)).

Tabela 8. Descarga sólida em suspensão média mensal e anual nos postos hidrossedimentométricos da Bacia do Rio Piquiri no período entre 1980 e 2001.

Código	Nome	Rio	Qss (t/dia)												
			Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
64767000	Porto Carriel	Piquiri	792	732	314	639	1270	991	770	359	878	1112	653	614	760
64771500	Porto Guarani	Piquiri	481	519	275	424	690	659	542	292	562	707	391	426	497
64775000	Balsa do Cantu	Cantu	433	375	237	390	708	524	508	173	511	523	306	378	422
64785000	Ponte do Goio-Bang	Goio-Bang ou Tricolor	170	163	177	238	674	358	291	146	225	589	263	247	295
64799500	Novo Porto 2	Piquiri	2461	2241	1508	2094	3932	3508	2311	1426	2701	3341	2070	1774	2447
64810000	Balsa do Goio-Erê	Goio-Erê	447	451	415	427	683	578	432	292	598	650	480	573	502
64815000	Fazenda Uberaba	Goio-Erê	444	429	498	389	608	549	420	306	594	546	414	596	483
64820000	Porto Formosa	Piquiri	5139	4733	3090	5299	9218	7940	5632	2775	7666	8173	4871	5601	5845
64830000	Balsa Santa Maria	Piquiri	4161	4033	2873	3960	7065	6130	4719	2644	5591	6546	3979	4315	4668
64833000	Iporá	Xambre	634	496	245	688	381	177	746	322	393	363	120	219	399

De forma a facilitar a interpretação dos dados apresentados na [Tabela 8](#), os dados referentes aos Rios Piquiri e Goio-Erê, que têm mais de uma estação hidrossedimentométrica em seus cursos, são dispostos nas [Figuras 8 e 9](#) respectivamente.

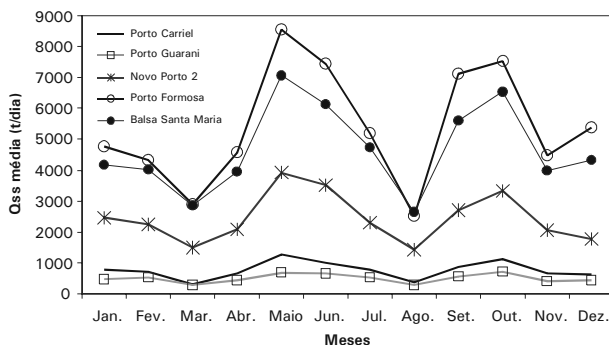


Figura 8. Descargas sólidas em suspensão médias mensais do período de 1980 a 2001 das estações hidrossedimentométricas do Rio Piquiri.

Como se pode observar na Figura 8, o gráfico gerado com os dados da estação Porto Carriel apresenta valores superiores aos da estação Porto Guarani que está a jusante. Isso é um indicador de que ocorre deposição de sedimentos entre elas. Nos períodos de menores vazões e, conseqüentemente, de menor fluxo de sedimentos, os gráficos dessas estações se aproximam, o que indica redução no processo de deposição que é intensificado no período de maiores vazões. Pelos resultados encontrados, em termos médios, a deposição de sedimentos entre essas estações ocorre durante todo o ano. O mesmo vale para a relação entre as estações Balsa Santa Maria e Porto Formosa.

Segundo os gráficos apresentados na [Figura 9](#), não é no decorrer do ano que, em termos médios, há deposição de sedimentos entre as estações Balsa do Goio-Erê e Fazenda Uberaba, como é evidenciado no mês de março. Há outros períodos em que quase não houve variação no fluxo de sedimentos em suspensão entre as estações, o que não quer dizer, obrigatoriamente, que não houve depósito no período, pois, na área de drenagem compreendida entre as estações, há produção de sedimentos. Portanto, se os fluxos são iguais, é um indicativo de que tudo aquilo que foi produzido no trecho foi depositado nele.

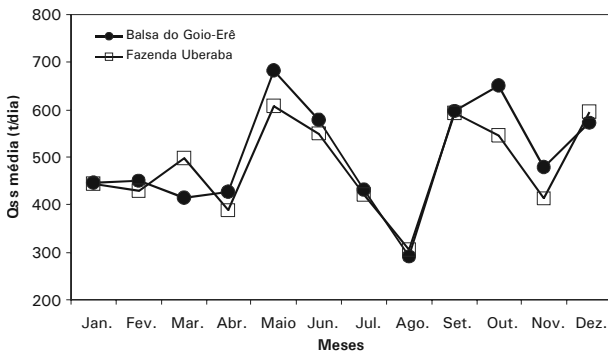


Figura 9. Descargas sólidas em suspensão médias mensais do período de 1980 a 2001 das estações hidrossedimentométricas do Rio Goio-Erê.

Conclusões

1. O Rio Piquiri despeja no Rio Paraná, em média, cerca de 5.000 t/dia de sedimentos em suspensão.
2. Foram identificados três trechos onde ocorre deposição de sedimentos na bacia, são eles: entre as estações Porto Carriel e Porto Guarani, no Rio Piquiri; entre as estações Porto Formosa e Balsa Santa Maria, também no Rio Piquiri; e entre as estações Balsa do Goio-Erê e Fazenda Uberaba, no Rio Goio-Erê.
3. A produção específica de sedimentos em suspensão ao longo da Bacia do Rio Piquiri foi classificada no intervalo de baixa e moderada, com valores entre 43 e 135 t/km²/ano.
4. As concentrações de sedimentos em suspensão médias nas estações hidrossedimentométricas avaliadas ao longo da Bacia do Rio Piquiri variaram entre as classificações muito baixa e moderada, com valores entre 46 e 140 mg/L.
5. Precisam ser instaladas estações hidrossedimentométricas nos rios da margem esquerda do Rio Piquiri.
6. Para minimizar a subjetividade existente na confecção das curvas-chave de sedimentos em suspensão, são necessárias mais medições hidrossedimentométricas no período de cheia dos rios dessa bacia.

Referências Bibliográficas

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM; Eletrobrás, 1994. 372 p.

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília, DF: ANEEL, 2000. 154 p.

HIDROWEB. **Dados hidrológicos**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 10 set. 2002.

LIMA, J. E. F. W.; SANTOS, P. M. C.; CARVALHO, N. O.; SILVA, E. M. da. **Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na Bacia Araguaia-Tocantins**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados; Brasília, DF: ANA; ANEEL, 2003. 116 p.

LIMA, J. E. F. W.; SANTOS, P. M. C.; CHAVES, A. M. G.; SCILEWSKI, L. R. **Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na Bacia do Rio São Francisco**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados; Brasília, DF: ANA ; ANEEL, 2001. 108 p.

PARANÁ. Superintendência de desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Atlas de recursos hídricos do Estado do Paraná**. Curitiba, 1998. 32 p.

SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL DO PARANÁ. **Plano diretor para a utilização dos recursos hídricos do Estado do Paraná – relatório executivo**. 1995. Disponível em: <<http://www.hidricos.mg.gov.br/in-mi.htm>>. Acesso em: 06 ago. 2004.