

## **ESTIMATIVA E REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA DE VAZÕES MÉDIAS E PRODUÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IVAÍ – ESTADO DO PARANÁ**

ESTIMATE AND HYDROLOGICAL REGIONALIZATION OF AVERAGE STREAMFLOW AND PRODUCTION OF SUSPENDED SOLIDS FOR IVAÍ WATERSHED – PARANÁ STATE

**Vanessa Cristina dos Santos**

Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente,  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas,  
Universidade Estadual Paulista - Campus de Rio Claro  
[vcsgeo@gmail.com](mailto:vcsgeo@gmail.com)

**José Cândido Stevaux**

Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente,  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas,  
Universidade Estadual Paulista - Campus de Rio Claro  
[josecstevaux@gmail.com](mailto:josecstevaux@gmail.com)

### **RESUMO**

Um vasto banco de dados sobre vazões e produção de sólidos suspensos é crucial para análise de bacias e hidrográficas e gestão de recursos hídricos. Porém, no Brasil há regiões em que estes dados são reduzidos ou mesmo inexistentes. A estimativa e regionalização destes dados é uma alternativa. Entretanto, esses métodos frequentemente apresentam erros na extrapolação hidrossedimentológica, devido à variabilidade das escalas dos processos, sendo assim, estes devem ser testados antes da aplicação. O objetivo deste trabalho foi estimar e regionalizar as vazões médias e a produção de sedimentos suspensos da bacia hidrográfica do rio Ivaí, e avaliar a coerência destes dados. Para avaliar a coerência da regionalização, foi analisado o coeficiente de determinação da regressão, o desvio padrão e o erro percentual entre os valores observados e os estimados. Também foi feita uma avaliação junto de outros trabalhos. Os resultados indicam que os modelos possuem boa relação com os dados observados, porém com erros percentuais elevados, principalmente para a estimação e regionalização de sedimentos suspensos.

**Palavras-chave:** Bacias hidrográficas, regionalização, vazões médias, produção de sólidos suspensos, bacia hidrográfica do rio Ivaí

## ABSTRACT

A large database over stream flow sand production of suspended solids is crucial for analysis of watersheds and water resources management. However, in Brazil there are regions in which these data are reduced or non-existent. The estimate and regionalization of this data is an alternative. But, these methods often have errors in the extrapolation hydrossedimentological due to variability of the scales of the processes, therefore these must be tested before application. The objective of this study was to estimate and regionalize the average stream flows and production of suspended solids of Ivaí watersheds, and evaluate the coherence of these data. To assess the coherence of regionalization were analyzed the determination coefficient of the regression, standard deviation and percentage errors between observed and estimated values. A examination was also made from others studies. The results indicate that the models have good relation with the observed data, but percentage errors were high, especially for the estimation and regionalization of production of suspended solids.

**Keywords:** watersheds, regionalization, average stream flow, production of suspended solids, Ivaí watersheds

## 1 – Introdução

A estimativa e regionalização são um conjunto de procedimentos e métodos estatísticos que visam transferir informações de um local para o outro dentro de uma área com comportamento hidrossedimentológico semelhante (TUCCI, 2002, BARBOSA et al., 2005). Porém, a regionalização não é um método confiável para a extrapolação hidrológica, ou mesmo hidrossedimentológica, devido à variabilidade das escalas dos processos hidrossedimentares, ou seja, o comportamento hidrológico e sedimentar de pequenas bacias é diferente de bacias maiores (TUCCI, 2002).

Todavia, muitas vezes há a necessidade de informações em zonas com ausência de dados. Uma rede hidrológica raramente cobre todas as regiões de interesse em uma bacia hidrográfica, o que gera lacunas espaciais. Nessas condições, é comum aplicação de estudos de regionalização. Em regiões com deficientes dados, é necessário estender as séries de vazões através de modelos hidrológicos chuva-vazão a fim de obter séries de vazões mais representativas para realização da regionalização (VENDRUSCOLO, 2005).

Na literatura, estimativa de vazões ou a produção de sedimentos em suspensão são comumente associadas às características fisiográficas da bacia hidrográfica, como: área de drenagem, comprimento do rio principal, declividade média do rio principal, densidade de drenagem e coeficiente de compacidade. Essa associação é utilizada para estudos de grande abrangência, pois permite estimar a vazão em locais em que não há registros de dados, ou estes são insuficientes (TUCCI, 2001).

No Brasil, a regionalização é um instrumento importante, visto que ainda há regiões em que os dados hidrológicos e sedimentológicos básicos são reduzidos ou inexistentes, devido a elevados custos de implantação, operação e manutenção de uma rede hidrométrica, principalmente em grandes bacias (CARVALHO 2008, TUCCI, 2002). Além disso, os modelos representam os processos hidrossedimentológicos, e buscam prognosticar as condições em que o meio estará sujeito para que seja possível mitigar seus impactos. Esses modelos são importantes para o planejamento e tomada de decisões dentro de uma complexa relação homem-natureza.

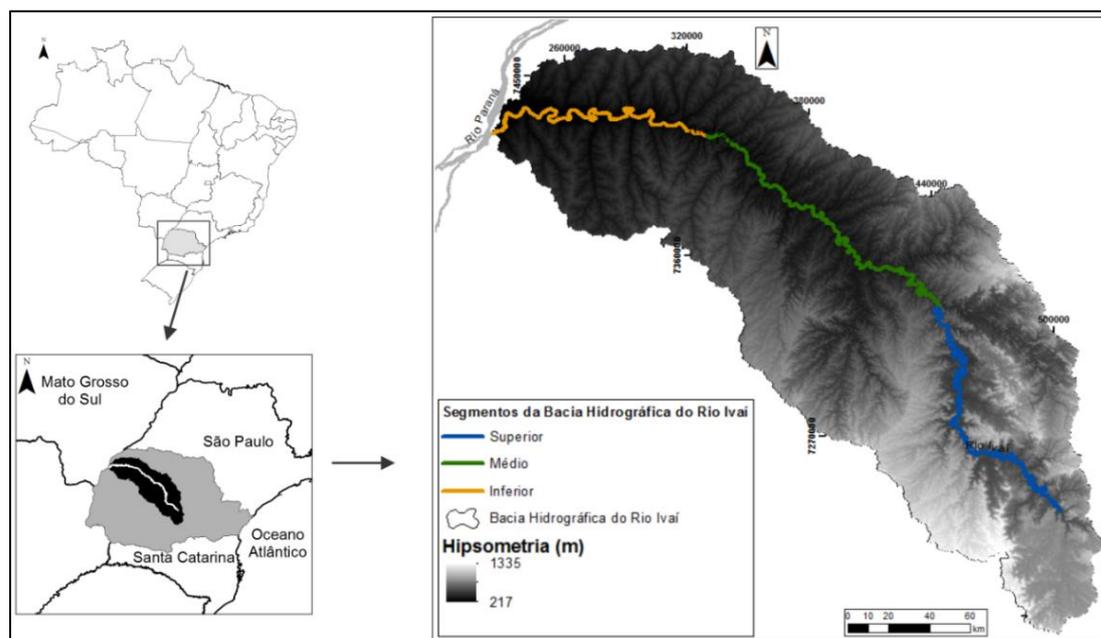
A bacia hidrográfica do rio Ivaí (Figura 1), localiza-se na região Sul do Brasil no Estado do Paraná e é a segunda maior bacia hidrográfica do estado, ocupando uma área de aproximadamente 36.553 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 18% do território paranaense. O rio

Ivaí é um importante tributário da margem esquerda do rio Paraná, e tem a sua origem na confluência dos rios Patos e São João (na Serra da Boa Esperança, município de Ivaí), a aproximadamente 480 m de altitude, e percorre 798 km até a sua foz no rio Paraná (Pontal do Tigre, município de Icaraíma), a 240 m de altitude (DESTEFANI, 2005; MEURER et al., 2011).

Devido à sua extensão, o rio Ivaí foi dividido em três segmentos (superior, médio e inferior) por Destefani (2005). Neste trabalho, esta classificação foi expandida para as áreas de drenagem correspondentes. Esses três segmentos possuem significativamente diferenças em termos fisiográficos (geologia, geomorfologia, pedologia, clima, vegetação, perfil longitudinal, entre outros), já descritas por Andrade e Nery (2002), Destefani (2005), Baldo (2006) Meurer (2008) e Fujita (2009) e Leli, (2010).

A bacia hidrográfica do rio Ivaí possui certa condição natural em termos hidrológicos, visto que seu curso principal é livre de barramentos, e somente alguns de seus afluentes os possuem. O rio Ivaí não possui período sazonal (cheia e vazante) definido. Isto se deve à pequena capacidade de armazenamento da bacia em relação ao comprimento do canal, induzindo a uma rápida resposta da vazão em relação à pluviosidade. As cheias ocorrem preferencialmente nos meses de janeiro, maio e junho, para a maioria das estações da bacia (DESTEFANI, 2005).

**Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica estudada**



Fonte: Autores

O presente trabalho teve o objetivo de estimar e regionalizar as vazões médias e a produção de sedimentos suspensos, tanto para o canal principal da bacia hidrográfica do rio Ivaí, quanto para os seus tributários, e avaliar a coerência dos modelos obtidos por meio de análises estatísticas e de outros trabalhos realizados nesta bacia.

## **2 - Métodos**

Para obtenção dos valores de vazões médias e da produção de sólidos suspensos para o rio Ivaí e seus afluentes (apenas os afluentes cuja área de drenagem  $>100 \text{ km}^2$ ), foram utilizados os métodos de regionalizações descritos por Eletrobras (1985), Carvalho (1994, 2008) e Carvalho et al. (2000).

### ***2.1 - Estimativa e regionalização hidrológica de vazões médias***

A estimativa e regionalização da vazão média ou vazão média de longo termo (Q<sub>mlt</sub>) descrita por Eletrobras (1985) foi realizada em duas etapas, que envolveram a identificação das regiões hidrologicamente homogêneas e o ajuste de equações de regressão regionais entre as variáveis vazão média e a área de drenagem. A área de drenagem foi a única característica física da bacia utilizada na obtenção das equações de regressão regionais, tendo em vista o fato de ser esta a variável obtida automaticamente através de dados orbitais.

Para definição das regiões hidrologicamente homogêneas foi, inicialmente, observada a distribuição geográfica das estações em relação às características físico-climatológicas da bacia, então, foram analisados o coeficiente de determinação da regressão ( $R^2$ ), o desvio padrão ( $\sigma$ ) e o erro percentual (EP) entre os valores das vazões observadas e as estimadas pelo modelo de regionalização obtido.

Para a obtenção das séries de vazões médias procurou-se coletar dados de estações fluviométricas situadas na bacia hidrográfica do rio Ivaí e em bacias vizinhas com as mesmas características físico-climatológicas.

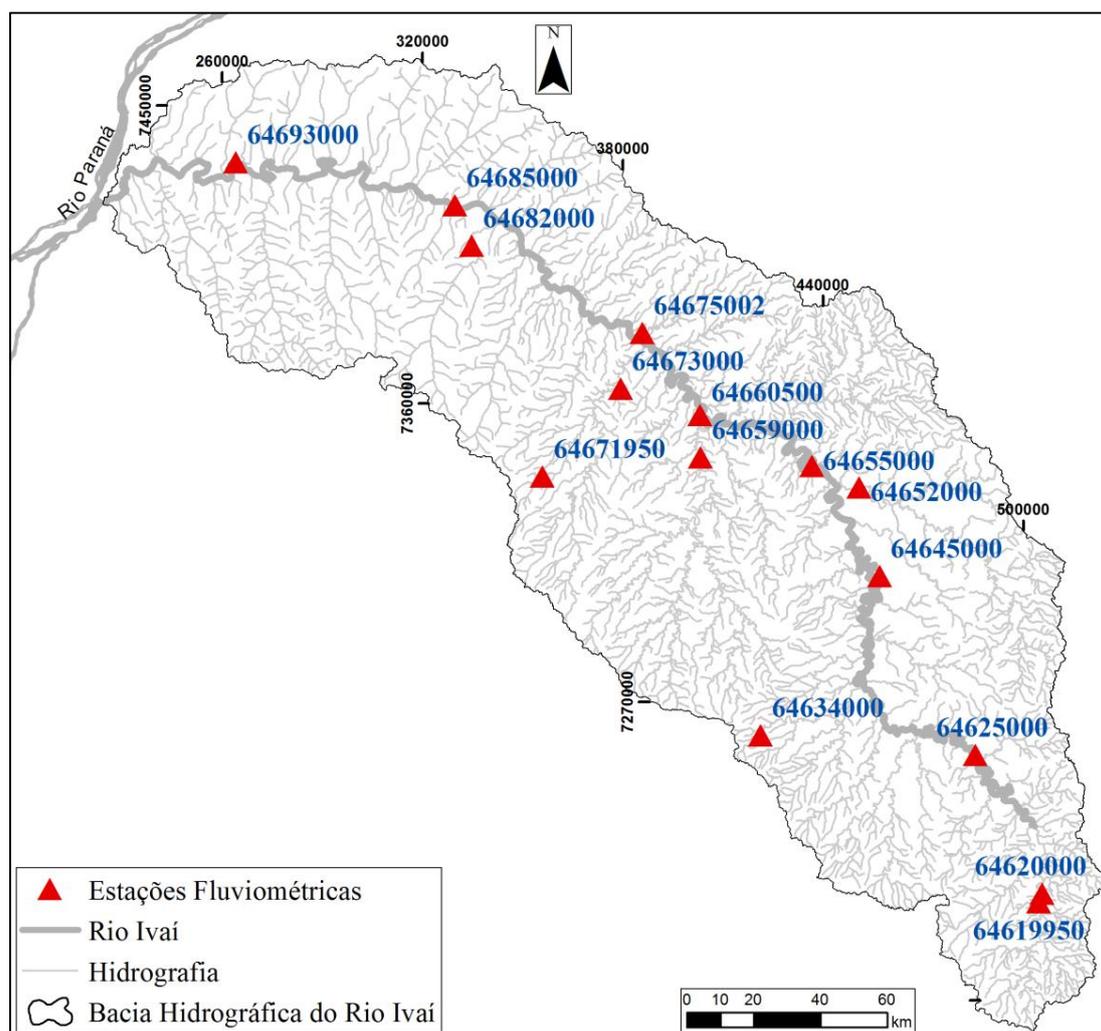
A bacia hidrográfica do rio Ivaí apresenta uma rede fluviométrica que contempla não só o canal principal, como também alguns de seus afluentes, sendo a maior parte dos dados disponíveis e processados localizados nos segmentos superior e médio da bacia. A tabela 1 apresenta as informações referentes às estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Ivaí e do seu entorno, cujos dados foram obtidos junto à Agência Nacional de Águas (ANA), e a figura 2 traz a localização destes.

**Tabela 1** – Estações fluviométricas selecionadas da bacia hidrográfica do rio Ivaí e nas bacias vizinhas.

Estações	Nome	Curso D'água	AD (km <sup>2</sup> )	Q <sub>mlt</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>específica</sub> [m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> ]	Trecho	Período de Dados
64619950	São Pedro	rio dos Patos	1050	28,3	0,02	Superior	1983-2010
64620000	rio dos Patos	rio dos Patos	1090	20,8	0,01	Superior	1930-2010
64634000	ETA-Pitanga	rio Ernesto	9	0,3	0,03	Superior	2002-2010
64625000	Tereza Cristina	rio Ivaí	3560	75,7	0,02	Superior	1956-2010
64645000	Porto Espanhol	rio Ivaí	8540	1207,2	0,14	Superior	1977-2010
64652000	Porto Monteiro	rio Alonso	2610	52,5	0,02	Superior	1974-2010
64655000	Ubá do Sul	rio Ivaí	12700	283,5	0,02	Superior	1971-2010
64659000	Barbosa Ferraz	rio Corumbataí	3290	77,1	0,02	Superior/Médio	1974-2010
64660500	Vila Rica	rio Ivaí	19400	506,2	0,02	Médio	1985-2010
64675002	Porto Bananeiras	rio Ivaí	23100	1291,2	0,05	Médio	1974-2010
64673000	Quinta do Sol	rio Mourão	1530	33,9	0,02	Médio	1974-2010
64671950	ETA - Campo Mourão	rio do Campo	79	1,7	0,02	Médio	2001-2010
64682000	Japurá	rio dos Índios	818	16,1	0,02	Médio/Inferior	1977-2010
64685000	Porto Paraíso	rio Ivaí	28400	550,1	0,01	Médio/Inferior	1953-2010
64693000	Novo Porto Taquara	rio Ivaí	34400	676,3	0,02	Inferior	1974-2010
64717000	Naviraí	rio Amambaí	8970	141,3	0,01	Inferior/Externo	1984-2005
64720000	Colônia Bom Jesus	rio Maracaí	833	15,7	0,01	Inferior/Externo	1984-2005
64810000	Balsa do Goio-Ere	rio Goio-Ere	2040	44,9	0,02	Inferior/Externo	1963-2010
64550000	Vila Silva Jardim	ribeirão Pirapó	4490	68,5	0,01	Inferior/Externo	1967-2010
64717000	Naviraí	rio Amambaí	8970	141,3	0,01	Inferior/Externo	1984-2005

Fonte: Hidroweb

**Figura 2-** Localização das estações fluviométricas no contexto das sub-bacias contribuintes do rio Ivaí.



Fonte: Autores

## 2.2 - Estimativa e regionalização Produção de sólidos suspensos

Segundo Carvalho et al. (2000), a estimativa e regionalização da produção de sedimentos pode ser realizada em função das características físicas e/ou hidrológicas da bacia hidrográfica. Para estimativas da produção de sólidos suspensos foram utilizados dois métodos, descritos por Carvalho (1994, 2008) e Carvalho et al. (2000), sendo estes métodos comumente utilizados no Brasil e no exterior. O primeiro, utiliza o deflúvio anual (Dst) em função área de drenagem (característica física); o segundo método utiliza a descarga sólida em suspensão em função da vazão média (característica hidrológica). Esta segunda relação é também chamada de curva-chave, e é muito utilizada na literatura para obtenção de valores médios de produção de sólidos suspensos quando não é possível a medição *in loco*.

Com base nos dados de vazão e concentração de sedimentos em suspensão ( $C_{ss}$ ) disponibilizados pela ANA (Tabela 2), foram obtidos os valores de descarga sólida em suspensão ( $Q_{ss}$ ) pela seguinte equação:

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

Uma vez determinados os valores  $Q_{ss}$ , foi calculado o deflúvio anual utilizando a seguinte equação:

$$Da = 365 * Q_{ss} \quad (2)$$

A partir dos valores de descarga sólida em suspensão e do deflúvio anual, foram obtidas as equações de regressões para os dois métodos mencionados. Para tanto, traçou-se uma curva adimensional de probabilidade em funções variáveis e, após, houve o ajuste da equação de regressão em função das variáveis. Para estes dois métodos também foram analisados o coeficiente de determinação da regressão ( $R^2$ ), desvio padrão ( $\sigma$ ) e o erro percentual (EP) entre os valores observados e as estimadas pelos modelos obtidos.

A exemplo dos dados utilizados para regionalização da vazão líquida, a maior parte dos registros sólidos suspensos disponíveis e processados, encontra-se nos segmentos superior e médio da bacia hidrográfica do rio Ivaí (Figura 2).

**Tabela 2 --** Estações fluviométricas selecionadas na bacia do rio Ivaí.

Estações	Nome	Curso D'água	AD (km <sup>2</sup> )	Produção Específica de Sedimentos (t/km <sup>2</sup> .ano)	Trecho	Período de Dados
64619950	São Pedro	rio dos Patos	1050	33,2	Superior	1990-2001
64620000	rio dos Patos	rio dos Patos	1090	113	Superior	1982-2012
64634000	ETA-Pitanga	rio Ernesto	9	11,8	Superior	2002-2003
64625000	Tereza Cristina	rio Ivaí	3560	90,3	Superior	1982-2012
64655000	Ubá do Sul	rio Ivaí	12700	69,7	Superior	1982-2012
64659000	Barbosa Ferraz	rio Corumbataí	3290	38	Superior/Médio	1982-2012
64660500	Vila rica	rio Ivaí	19400	41,8	Médio	1990-2012
64675002	Porto Bananeiras	rio Ivaí	23100	109,7	Médio	1980-2008
64673000	Quinta do Sol	rio Mourão	1530	38,5	Médio	1977-2012
64671950	ETA - Campo Mourão	rio Campo	79	10,3	Médio	2002-2003
64682000	Japurá	rio dos Índios	818	27,5	Médio/Inferior	1982-2012
64685000	Porto Paraíso do Norte	rio Ivaí	28400	59,8	Inferior	1977-2012
64693000	Novo Porto Taquara	rio Ivaí	34400	69,3	Inferior	1974-2012

**Fonte:** Hidroweb

### 3 - Resultados e discussões

#### 3.1 - Estimativa e regionalização hidrológica de vazões médias

Dois estudos sobre regime hidrológico foram realizados na bacia hidrográfica do rio Ivaí, Destefani (2005) e Leli (2010), em que foram obtidos modelos de regionalização utilizando as variáveis vazão média e a área de drenagem. No primeiro estudo, o modelo de regionalização foi obtido utilizando dados de estações fluviométricas localizadas apenas no canal do rio Ivaí, já no segundo trabalho o modelo foi obtido com dados de estações localizadas nos afluentes e no canal do rio Ivaí (Tabela 3).

**Tabela 3**– Equações de regionalização hidrológica para a bacia hidrográfica do rio Ivaí obtidas por Destefani (2005) e Leli (2010).

Equação	R <sup>2</sup>	Autor	Observação
$Q_{mlt} = 0,021 * AD + 7,7647$	0,9986	Destefani (2005)	Estações utilizadas localizadas somente no rio Ivaí
$Q_{mlt} = 0,02 * AD + 2,767$	0,993	Leli (2010)	Estações utilizadas localizadas na por toda Bacia do rio Ivaí

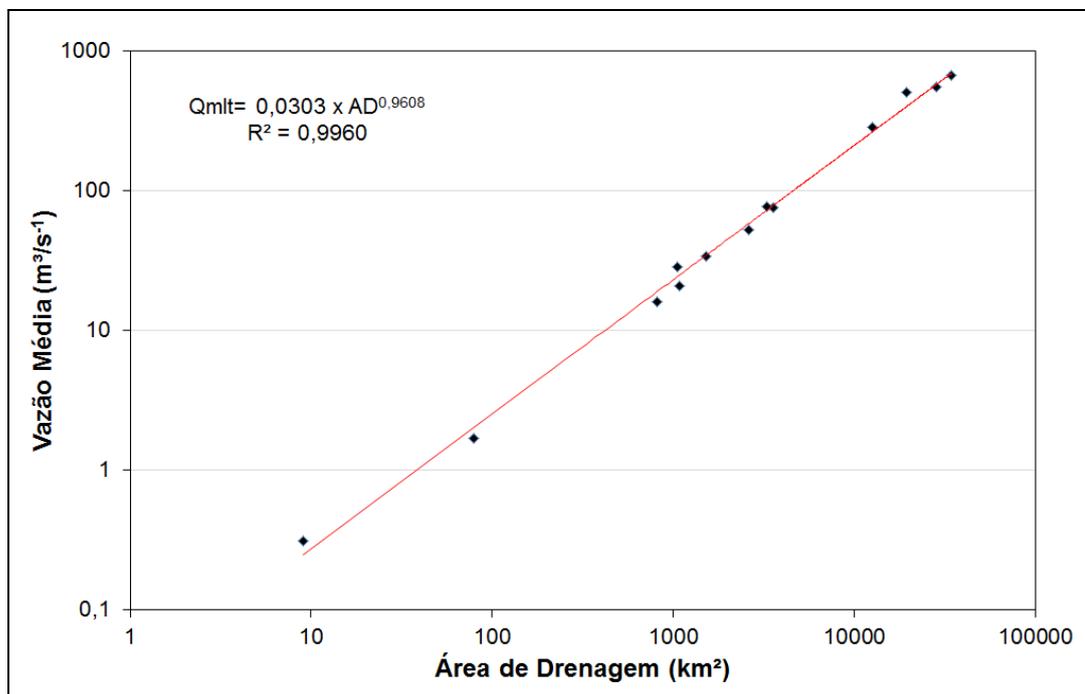
**Fonte:** Destefani (2005) e Leli (2010)

Neste estudo, foram utilizados os dados da tabela 1 para regionalização vazão média de longo termo ( $Q_{mlt}$ ), porém foram excluídas as estações Porto Espanhol (64645000) e Porto Bananeiras (64675002), visto que estas estações possuem vazões superiores à estação a jusante. Por esta razão, a fim de garantir a continuidade das vazões para posterior aplicação do método, estas estações foram desconsideradas da análise.

A bacia hidrográfica do rio Ivaí possui três segmentos ou regiões de características físico-climatológicas distintas. Devido a este fato, os dados hidrológicos foram analisados de duas formas: para a bacia (Figura ) e por segmento (superior, médio e inferior) (Figuras

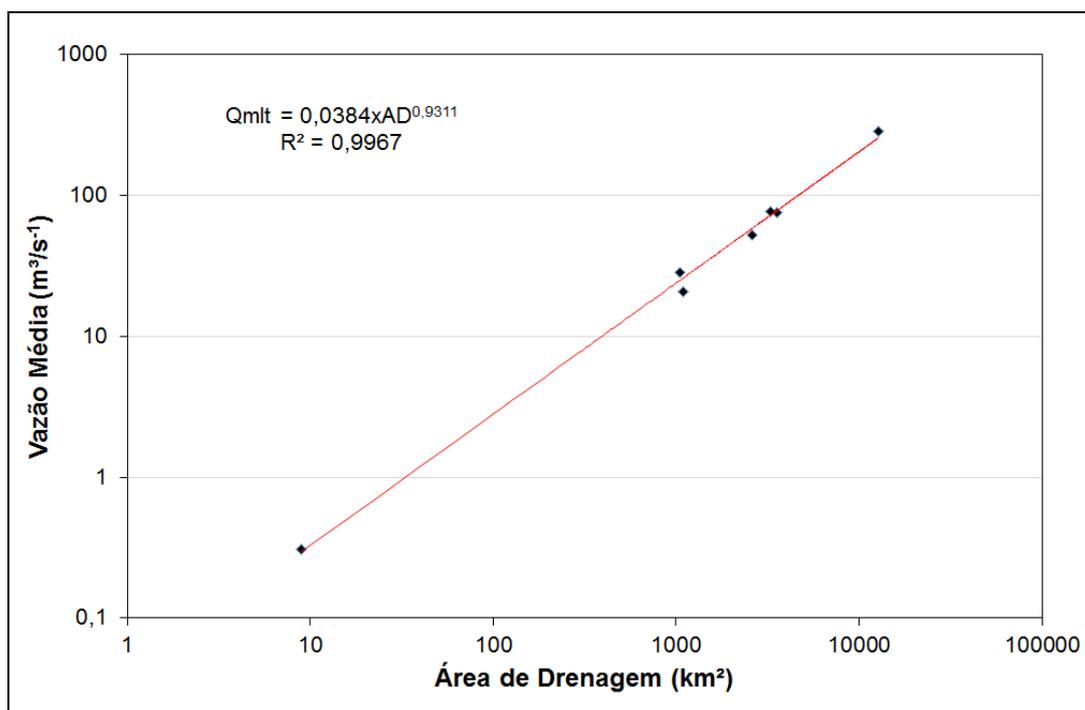
**Figura a Erro! Fonte de referência não encontrada.).**

**Figura 3 -** Modelo de regionalização para estimativa das vazões médias de longo período para a bacia hidrográfica do rio Ivaí.



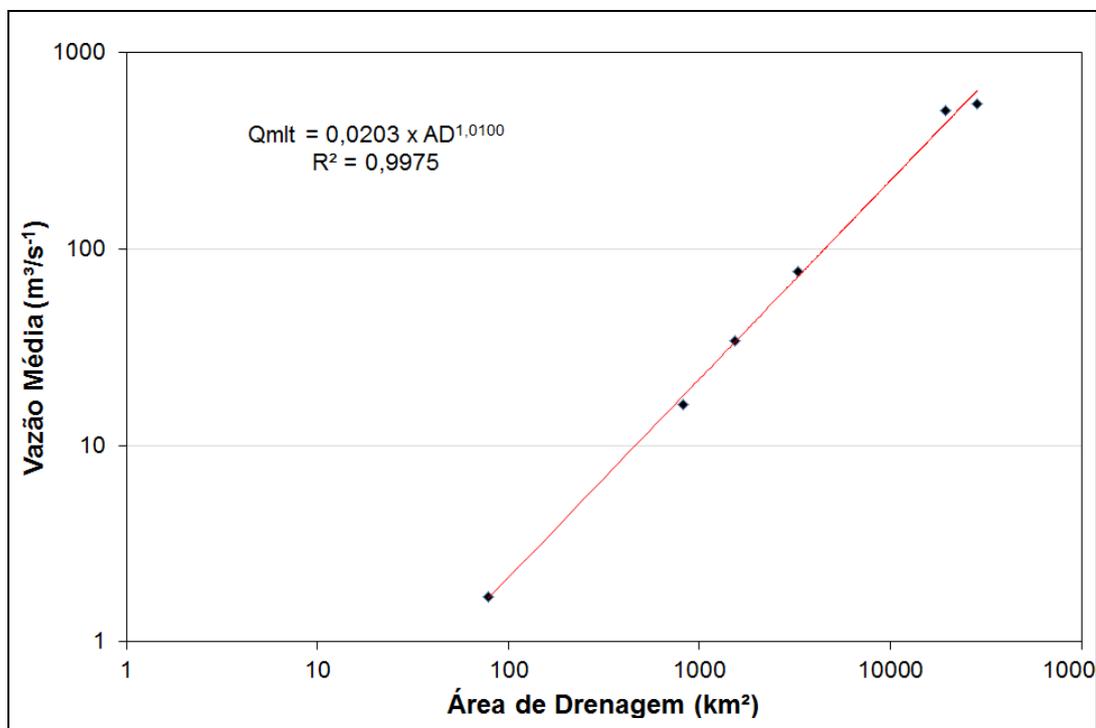
**Fonte:** Autores

**Figura 4** - Modelo de regionalização para estimativa das vazões médias de longo período para o segmento superior da bacia hidrográfica do rio Ivaí.



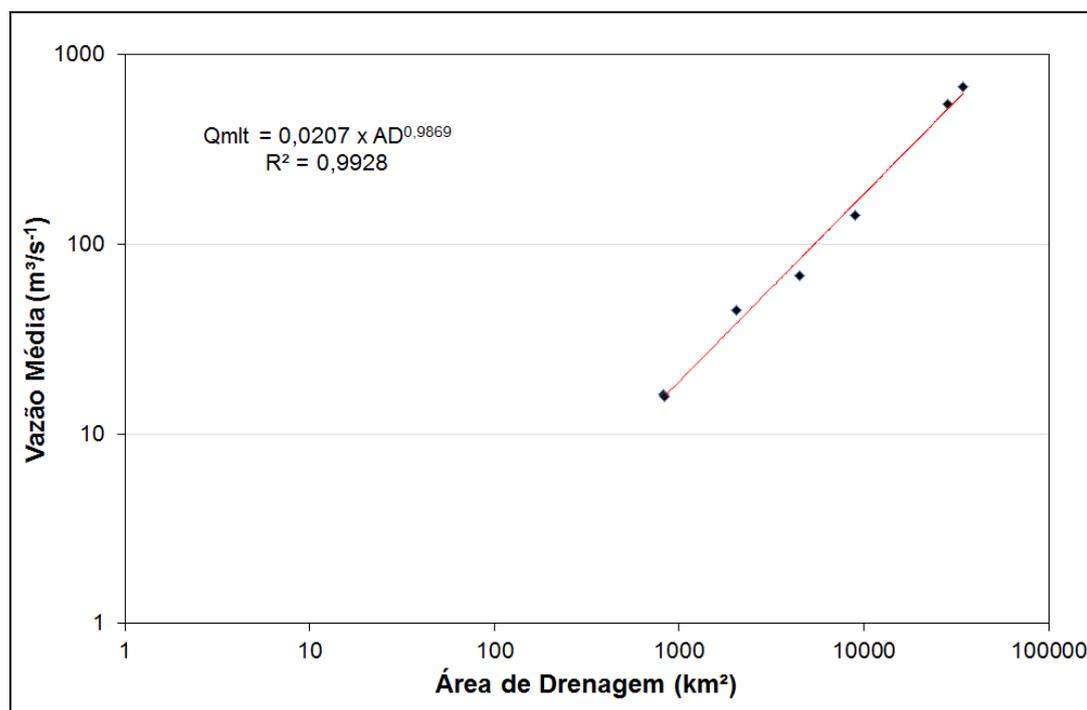
Fonte: Autores

**Figura 5** - Modelo de regionalização para estimativa das vazões médias de longo período para o segmento médio da bacia hidrográfica do rio Ivaí



Fonte: Autores

**Figura 6** - Modelo de regionalização para estimativa das vazões médias de longo período para o segmento inferior da bacia hidrográfica do rio Ivaí.



**Fonte:** Autores

Os modelos de regressão anteriormente expostos possuem coeficiente de determinação ( $R^2$ ) próximo a 1, comprovando o bom ajuste aos dados para todas as formas avaliadas. Entretanto, quando avaliados os valores das vazões médias observadas e estimadas pelas equações de regressão (Tabela 4), constata-se que, em geral, a equação da bacia se ajusta melhor para os segmentos médio (EP (%) -21,1 a 18,6) e inferior (EP (%) 2,3 a 18,4). Para o segmento superior, o modelo de regressão que melhor o representa é o do próprio trecho.

Foi verificado também que os maiores erros percentuais ocorridos nos segmentos médio e inferior foram nas estações com menor área de drenagem quando utilizados os modelos de regressão por trecho. Já no segmento superior, esse fato se deu ao contrário, pois para as áreas de drenagem menores, o modelo de regressão da bacia obteve os maiores erros.

**Tabela 4** - Valores da vazão observados e estimados pelos modelos de regressão por trecho e para a bacia, e seus respectivos desvios padrão médio e erros percentuais entre os valores observados e estimados para as estações fluviométricas utilizadas neste estudo.

Localização	Estações	Qmlt obs. (m <sup>3</sup> /s <sup>-1</sup> )	Qmlt Trecho (m <sup>3</sup> /s <sup>-1</sup> )	Qmlt Bacia (m <sup>3</sup> /s <sup>-1</sup> )	$\sigma$ Trecho	$\sigma$ Bacia	EP Trecho (%)	EP Bacia (%)
Superior	64619950	28,3	25,0	24,2	1,7	2,0	-11,8	-14,4
	64620000	20,8	25,9	25,1	2,5	2,2	24,3	20,7
	64634000	0,3	0,3	0,3	0,0	0,0	-1,0	-16,6
	64625000	75,7	77,8	78,3	1,1	1,3	2,8	3,4
	64652000	52,5	58,3	58,1	2,9	2,8	11,0	10,7
	64655000	283,5	254,3	265,7	14,6	8,9	-10,3	-6,3
Superior e Médio	64659000	77,1	72,3	72,6	2,4	2,3	-6,2	-5,9
Médio	64660500	506,2	377,3	399,2	64,4	53,5	-25,5	-21,1
	64673000	33,9	35,4	34,8	0,8	0,4	4,6	2,6
	64671950	1,7	2,2	2,0	0,3	0,2	32,1	18,6
Médio e Inferior	64682000	16,1	19,8	19,1	1,8	1,5	22,9	18,4
Inferior	64685000	550,1	538,0	575,7	6,0	12,8	-2,2	4,7
	64693000	676,3	643,2	692,1	16,6	7,9	-4,9	2,3
Externas	64717000	141,3	184,0	-	21,3	-	30,2	-
	64720000	15,7	20,1	-	2,2	-	28,2	-
	64810000	44,9	46,3	-	0,7	-	3,2	-
	64550000	68,5	96,6	-	14,0	-	41,0	-
	64717000	141,3	184,0	-	21,3	-	30,2	-

**Fonte:** Autores

Os segmentos médio e inferior da bacia do rio Ivaí possuem poucas estações fluviométricas (5 e 3 respectivamente), sendo a grande maioria localizada no canal do rio Ivaí, de forma que essa ausência de estações aumenta os erros de estimativas por trecho. Segundo Obregon et al. (1999) e Novaes et al. (2007), quando uma bacia hidrográfica ou trecho apresenta poucos dados (série histórica curta) e/ou pequena representatividade espacial (estações), a regionalização de vazões por métodos tradicionais apresenta grandes incertezas. Outro fator que pode aumentar os erros de estimativas por trecho, no caso, para o segmento inferior é a utilização de estações exteriores. O segmento inferior da bacia hidrográfica do rio Ivaí apresenta uma dinâmica de utilização do solo diferente das áreas em que estão localizadas as estações exteriores. Para o segmento superior, que possui 7 estações, os erros percentuais entre as vazões médias observadas e estimadas são menores, principalmente para estações localizadas nos afluentes do rio Ivaí.

Comparando os dados obtidos por Destefani (2005) e Leli (2010) e pelo presente estudo (Tabela 5), verifica-se que as vazões estimadas pelas equações de regressão da bacia obtidas por Leli (2010) e por este estudo não possuem grandes variações entre si. Cabe ressaltar que o modelo obtido por Destefani (2005) utilizou somente estações fluviométricas localizadas no rio Ivaí.

**Tabela 5**– Valores da vazão estimados pelos modelos de regressão obtidos por Destefani (2005), Leli (2010) e por este estudo, e seus respectivos erros percentuais entre os valores observados e estimados para as estações fluviométricas utilizadas neste estudo.

Estações	Qmlt obs. (m <sup>3</sup> /s <sup>-1</sup> )	Qmlt Est. (m <sup>3</sup> /s <sup>-1</sup> ) Destefani (2005)	Qmlt Est. (m <sup>3</sup> /s <sup>-1</sup> ) Leli (2010)	Qmlt Est. (m <sup>3</sup> /s <sup>-1</sup> ) (Presente estudo)	EP (%) Destefani (2005)	EP (%) Leli (2010)	EP (%) (Presente estudo)
64619950	28,3	29,8	23,7	24,2	5,4	-16,0	-14,4
64620000	20,8	30,6	24,5	25,1	47,4	18,1	20,7
64634000	0,3	7,9	2,9	0,3	2551,2	882,3	-16,6
64625000	75,7	82,5	73,9	78,3	9,0	-2,3	3,4
64652000	52,5	62,5	54,9	58,1	19,2	4,7	10,7
64655000	283,5	274,4	256,7	265,7	-3,2	-9,4	-6,3
64659000	77,1	76,8	68,5	72,6	-0,3	-11,1	-5,9
64660500	506,2	415,1	390,7	399,2	-18,0	-22,8	-21,1
64673000	33,9	39,8	33,3	34,8	17,7	-1,6	2,6
64671950	1,7	9,4	4,3	2	454,3	155,7	18,6
64682000	16,1	24,9	19,1	19,1	54,9	18,8	18,4
64685000	550,1	604,1	570,7	575,7	9,8	3,8	4,7
64693000	676,3	730,1	690,7	692,1	8,0	2,1	2,3

**Fonte:** Autores

### 3.2 - Estimativa e regionalização produção de sedimentos em suspensão

Para estimativa da vazão sólida suspensa, foram utilizadas as estações fluviométricas da tabela 2, porém foram excluídas da análise as estações São Pedro (64619950), Ubá do Sul (64655000) e Porto Bananeiras (64675002). Como já mencionado no item sobre regionalização de vazões, estas estações possuem valores superiores à estação a jusante e para garantir a continuidade dos dados para aplicação dos métodos, estas estações foram excluídas da análise. No caso da estação São Pedro (estação mais a montante da bacia hidrográfica), esta foi descartada, pois em relação à próxima estação rio dos Patos (64620000) que está a 40 km de distância e se localiza no mesmo curso d'água, há uma discrepância nos dados. Enquanto, a estação São Pedro produz 95,6 t/dia de sedimentos, a estação rio dos Patos produz 337,6 t/dia, um aumento no aporte de sedimentos de 70%

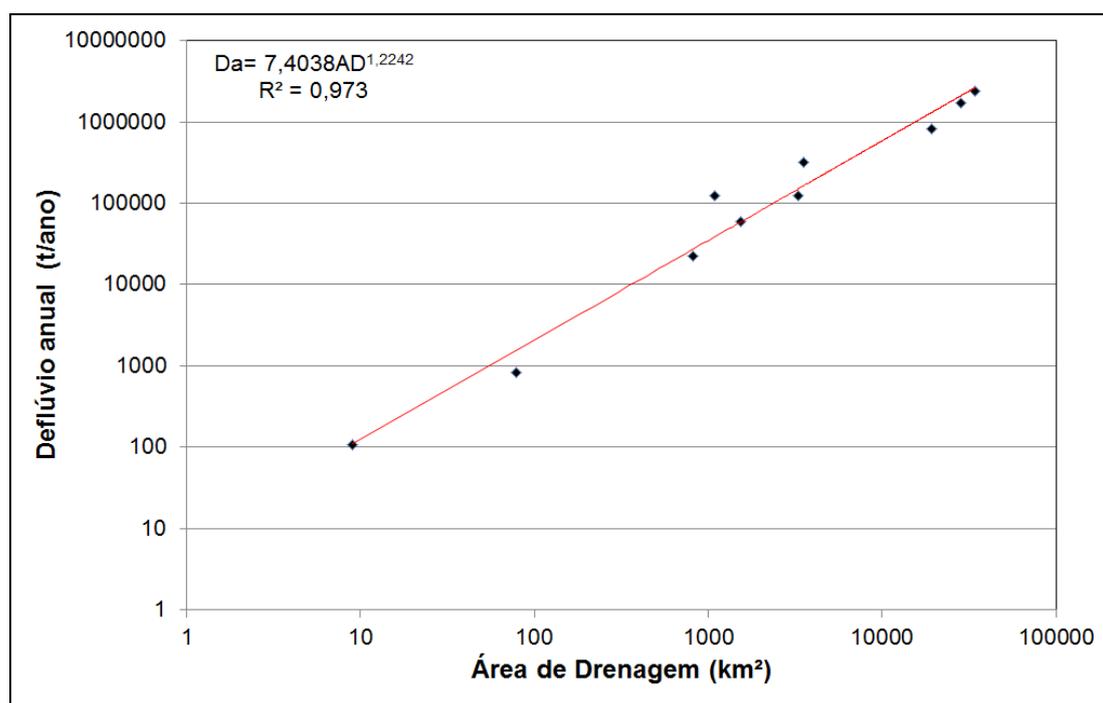
em apenas 40km. Como os dados não são consistidos nas duas estações, optou-se pela que tivesse maior período de dados, neste caso, a estação São Pedro foi desconsiderada por haver apenas 11 anos de registro de dados.

Ao contrário da regionalização de vazão líquida, os dados descarga de sólidos suspensos não foram avaliados por segmento, pois a bacia apresenta poucas estações com coletas de dados de descarga sólida (13 estações fluviométricas), e muita estações, apresentam uma série de dados pequena. A utilização de bacias exteriores neste caso é inviável, visto que a bacia hidrográfica do rio Ivaí apresenta intensa utilização do solo para o cultivo de lavouras, o que contribui para o aumento da vazão de sólidos, enquanto nas estações exteriores próximas o uso do solo é mais ameno, possuindo grandes extensões de área preservada.

A figura 7, a seguir, mostra o modelo obtido utilizando o deflúvio anual (Da) em função da área de drenagem (AD) (característica física). Este modelo obteve um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,9947, significando que 99% da variação do deflúvio em função da área de drenagem pode ser explicada por este. No entanto, quando avaliados os valores de deflúvio anual observados e estimados pela equação de regressão obtida (Tabela 6), verifica-se que erros percentuais são altos, principalmente nos segmentos superior e médio.

Conforme Butzer (1984) e Cardoso (2013), alguns fatores podem justificar a relação incerta entre o deflúvio e área de drenagem. São eles: bacias hidrográficas menores possuem declividade média maior, o que facilitaria o processo erosivo e aumentaria a produção de sólidos; o segundo fator é a pluviosidade. Chuvas simples podem cobrir uma bacia pequena, o que não acontece em bacias maiores; e o último fator refere-se às áreas de planícies. Quando há o aumento da área de drenagem, há também o aumento da planície, ou seja, há mais locais para a deposição dos sedimentos.

**Figura 7 -** Modelo de regionalização para estimativa de deflúvio anual para a bacia hidrográfica do rio Ivaí.



**Fonte:** Autores

**Tabela 6-** Valores de deflúvio anual e estimados pelo modelo de regressão para a bacia, e seus respectivos desvios padrão e erros percentuais entre os valores observados e estimados para as estações fluviométricas utilizadas neste estudo.

Segmentos	Estações	Deflúvio Anual obs. (t/ano)	Deflúvio Anual est. (t/ano)	$\sigma$	EP (%)
Superior	64620000	123243	38709	42266,72	68,59
	64634000	107	109	1,09	-2,03
	64625000	321539	164847	78345,98	48,73
Superior/Médio	64659000	125179	149674	12247,71	-19,57
Médio	64660500	811354	1313781	251213,35	-61,92
	64673000	58925	58627	149,35	0,51
	64671950	819	1558	369,4	-90,22
Médio/Inferior	64682000	22514	27239	2362,28	-20,98
Inferior	64685000	1698244	2094828	198292,1	-23,35
	64693000	2386758	2648810	131025,97	-10,98

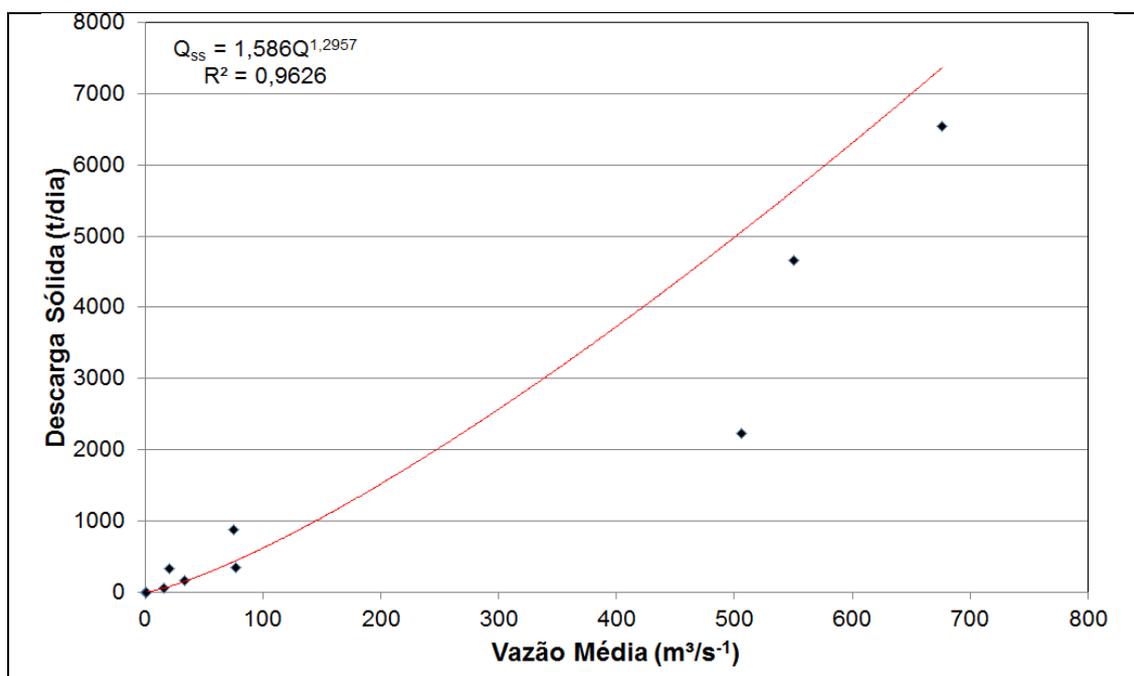
**Fonte:** Autores

No caso da bacia hidrográfica em questão, os segmentos superior e médio, possuem as áreas com grandes declividades quando comparados ao segmento inferior, e as maiores taxas de pluviosidade (média anual de 2900 mm) ocorrem no segmento superior. Já o segmento inferior possui menor declividade e menor taxa de pluviosidade, e uma grande planície margeando o canal principal. Todos esses fatores contribuem para uma grande

variabilidade nos resultados estimados. De acordo com Cardoso (2013), para bons resultados em relação ao deflúvio e à área de drenagem é necessária uma análise que leve em consideração as regiões com similaridades fisiográficas. No caso da bacia hidrográfica do rio Ivaí, isto é inviável devido ao pequeno número de estações e a localização destas.

A figura 8 mostra o modelo obtido utilizando a descarga sólida em suspensão ( $Q_{ss}$ ) em função da vazão média ( $Q$ ) (característica hidrológica). Apesar do bom ajuste do modelo de regressão  $R^2=0,9626$ , os erros percentuais dos valores estimados são altos (Tabela 7).

**Figura 8** – Curva - chave de sedimentos para a bacia hidrográfica do rio Ivaí



Fonte: Autores

**Tabela 7** - Valores descarga sólida em suspensão estimada pelo modelo de regressão para a bacia, e seus respectivos desvio padrão e erros percentuais entre os valores observados e estimados para as estações fluviométricas utilizadas neste estudo.

Segmentos	Estações	Vazão	Qss (t/dia)	Qss Est. (t/dia)	$\sigma$	EP(%)
Superior	6462000	20,8	337,6	80,93	128,33	-76,03
	6463400	0,3	0,2	0,33	0,07	66,64
	6462500	75,7	880,9	431,57	224,67	-51,01
Superior/Médio	6465900	77,1	342,9	441,94	49,52	28,88
Médio	6466050	506,2	2222,8	5061,66	1419,43	127,72
	6467300	33,9	161,4	152,4	4,5	-5,58
	6467195	1,7	2,2	3,15	0,48	43,37
Médio/Inferior	6468200	16,1	61,6	58,07	1,76	-5,72
Inferior	6468500	550,1	4652,7	5637,59	492,44	21,17
	6469300	676,3	6539	7367,41	414,2	12,67

**Fonte:** Autores

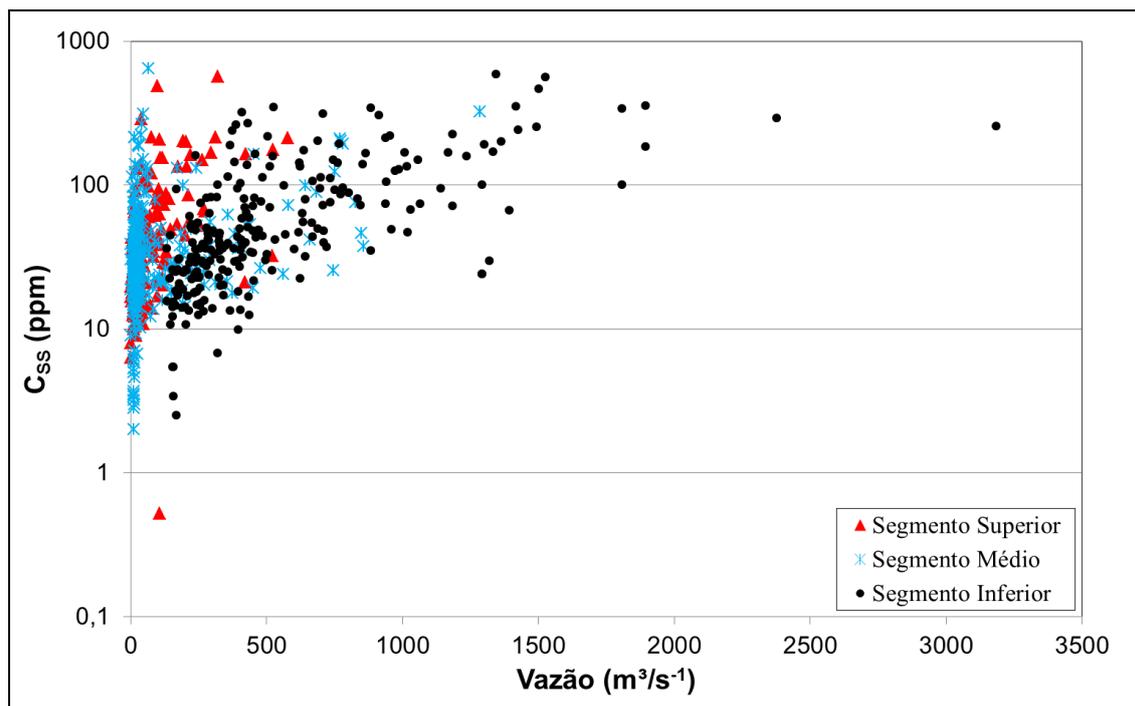
Segundo Merten et al. (2007) as incertezas entre os valores estimados e observados podem ser derivados de vários fatores, mas o mais importante deles, é que, apesar de existir uma relação entre as duas variáveis, a variabilidade da concentração de sedimentos suspensos (C<sub>ss</sub>) depende de outros fatores além da vazão e, conseqüentemente, a relação Q<sub>ss</sub> x Q não é totalmente adequada. No caso da bacia hidrográfica do rio Ivaí, há muitos aspectos que interferem na concentração de sedimentos suspensos, mas o principal deles é o uso do solo (LELI, 2010).

Além disso, os dados disponibilizados para a bacia em questão são pouco representativos, devido a forma aleatória e com baixa frequência de amostragem, sendo que na maioria das estações há apenas algumas medidas em período de vazões altas, o que compromete a extrapolação da curva-chave, pois o princípio fundamental deste método é que este seja capaz de representar as variações de vazões e da concentração de sedimentos suspensos que ocorrem em diferentes épocas do ano (MERTEN et al., 2007).

A figura 9 traz a relação entre a concentração de sedimentos suspensos e a vazão (C<sub>ss</sub> x Q) para todas as estações analisadas dentro da bacia hidrográfica. Através desta relação foi possível verificar que há uma grande dispersão de valores, principalmente para a estação, em que a área de drenagem é pequena. Para Walling e Webb (1988) a relação

Css x Q apresenta grande dispersão devido aos efeitos de histerese (para uma mesma vazão há vários valores de C<sub>ss</sub>). Leli et al. (2011), estudaram o efeito histerese na bacia hidrográfica do rio Ivaí e constataram que as maiores concentrações de sedimentos suspensos ocorrem no período de ascensão do pico de cheia, o que significa que ocorrem vazões médias com grandes concentrações de sedimentos suspensos.

**Figura 9** - Dados brutos de concentração de sedimentos suspensos (C<sub>ss</sub>) e vazão utilizados neste estudo



Fonte: Autores

#### 4 - Considerações Finais

Os modelos de regionalização de vazões médias apresentaram bom resultados, porém este estudo optou pela utilização da equação de regressão obtida com os dados do segmento superior para estimar as vazões médias dos afluentes deste mesmo segmento. Por outro lado, a equação de regressão da bacia foi utilizada para estimar vazões médias do canal principal do rio Ivaí e dos afluentes dos segmentos médio e inferior, haja vista que esta equação possui menor erro percentual quando comparado às vazões estimadas pelas equações de regressão dos dados dos segmentos médio e inferior.

Para estimativa e regionalização de produção de sólidos suspensos, verificou-se que os dois modelos não apresentaram resultados satisfatórios, principalmente o modelo curva-chave. A relação Q<sub>ss</sub> x Q é muito complexa: mesmo em rios com abundância de dados alguns estudos não conseguem chegar ao estabelecimento de uma curva-chave satisfatória

que relacione estes dois parâmetros. Nesse sentido, na bacia hidrográfica do rio Ivaí, a escassez de dados impossibilita bons resultados quanto à estimativa de produção de sólidos suspensos, principalmente através da relação  $Q_{ss} \times Q$ .

Por fim, é importante frisar que a quantidade e qualidade dos dados utilizados (Tabelas 1 e 2) neste trabalho, obtidos junto à rede de monitoramento hidrossedimentológico oficial, não foram ideais, impossibilitando a análise de algumas estações e gerando subjetividade. Portanto, as informações obtidas na regionalização tanto das vazões médias como da produção de sólidos suspensos deste estudo devem ser usadas com ressalvas, face à quantidade e qualidade dos dados.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. R., NERY, J. T. Análise da precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica do Rio Ivaí. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia., 2002, Foz do Iguaçu, **Anais**. Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2002. CD-ROM.
- BALDO, M. C. **Variabilidade pluviométrica e a dinâmica climática na bacia hidrográfica do rio Ivaí – PR**. 2006. 153f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2006.
- BARBOSA, S. E. S.; BARBOSA JÚNIOR, A. R.; SILVA, G. Q.; CAMPOS, E. N. B.; RODRIGUES, V.C. Geração de modelos de regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas de sete dias para a Bacia do Rio do Carmo, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.10, n.1, p.64-71, 2005.
- BUTZER, K. W. Book reviews. In: **Geomorphology: Progress in Physical Geography**. London: Methuen, 1984, v. 10, n. 2, p. 292-293.
- CARDOSO, A.T. Estudo hidrossedimentológico em três bacias embutidas no município de Rio Negrinho – SC. 2013. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2013.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. Interciência: Rio de Janeiro, 2008, 600p.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. CPRM/Eletróbrás: Rio de Janeiro, 1994, 384p.
- CARVALHO, N. O.; FILIZOLA, N.P.; SANTOS, P.M.; LIMA, J.E.F.W. **Guia de práticas sedimentométricas**. ANEEL: Brasília, 2000, 116p.
- DESTEFANI, E. V. **Regime Hidrológico do Rio Ivaí – PR**. 2005. 95f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2005.
- ELETRÓBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Metodologia para regionalização de vazões**. Rio de Janeiro. v.1, 1985.

FUGITA, R.H. **O Perfil Longitudinal do Rio Ivaí e sua Relação com a Dinâmica de Fluxos**. 2009, 98f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Estadual de Maringá-UEM. Maringá, 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). **HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>.

LELI, I.T. **Variação Espacial e Temporal da Carga Suspensa do Rio Ivaí**. 2010, 74f. Dissertação (Mestrado em Geografia Universidade Estadual de Maringá - UEM. Maringá, 2010.

LELI, I.T., STEVAUX, J.C., NOBREGA, M.T., SOUZA FILHO, E. E. Variabilidade temporal no transporte de sedimentos no rio Ivaí – Paraná (1977-2007). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 41, n.4, p.619-628, 2011.

MERTEN, G. H.; HOROWITZ, A. J. ; MINELLA, J.P.G.; ROBIN T. CLARKE, R. T.; RIBEIRO, G. S. Estimativa do fluxo de sedimentos em suspensão utilizando a curva-chave aplicada a vazões mensais e diárias. In: XVII Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos. **Anais...** São Paulo: ABRH, 2007. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/>>. Acesso em: 30/11/2013.

MEURER, M. **De l'hydro-écorégion au tronçon fluvial: recherche méthodologique. Le cas du bassin versant de l'Ivaí, Etat du Paraná, Brésil**. 2008, 307f. Tese (Doutorado em Géographie). Université Lumière Lyon 2, Lyon – França, 2008.

MEURER, M.; BRAVARD, J. P.; STEVAUX, J. C. Granulometria dos sedimentos marginais do rio Ivaí com vistas à compreensão da dinâmica hidrossedimentar montante-justante. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, nº 1 2011.

NOVAES, L. F.; PRUSKI, F. F.; QUEIROZ, D. O.; RODRIGUEZ, R. G.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. Avaliação de desempenho de cinco metodologias de regionalização de vazões. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.12, p.51-61, 2007.

OBREGON, E.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. Regionalização de vazões com base em séries estendidas: bacias afluentes à lagoa Mirim, RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 4, n. 1, p. 57-75, 1999.

TUCCI, C.E.M. Regionalização de Vazões. . In: Tucci, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. São Paulo: ABRH, EDUSP, 2001, p.573- 619.

TUCCI, C.E.M. **Regionalização de Vazões**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 256p.

VENDRUSCOLO, J. **Regionalização dos parâmetros de um modelo chuva-vazão para estimativa de vazões em bacias sem monitoramento sistemático**.2005, 93f. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2005.

WALLING, D.E.; WEBB, B.W. The reability of rating curve estimates of suspended sediment yield: some further comments. In: **Sediment Budgets**, Wallingford: IAHS Publications, 1988, n. 174, pp. 337-350.