

## IX-027 - ESTIMATIVA DE DESCARGA MÁSSICA DE SEDIMENTAÇÃO NA BACIA EXPERIMENTAL DO RIO MOIRÃO, PR

### **Alexandre Rafael Kelnar**

Graduando em Engenharia Ambiental na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão.

### **Júlio Henrique Simoni**

Tecnólogo Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Campo Mourão.

### **Lina Kesi Gusmão**

Tecnóloga Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Campo Mourão. Mestre em Agronomia pela Universidade Estadual de Maringá.

### **Carlos Henrique de Graça**

Licenciado e Bacharel em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá. Mestre em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá.

### **Eudes José Arantes**<sup>(1)</sup>

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Mestre e Doutor em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor no curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Campus Campo Mourão.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Via Rosalina Maria dos Santos, 1233 – Campo Mourão - PR - CEP: 87301-899 - Brasil - Tel: (44) 3518-1400 - e-mail: eudesarantes@utfpr.edu.br

## RESUMO

Com o objetivo de avaliar o transporte de sedimento dos principais afluentes do alto da bacia hidrográfica do Rio do Mourão, foi utilizada modelagem com dados granulométricos e hidrométricos, (vazão, velocidade média, área molhada, perímetro molhado, raio hidráulico, declividade do fundo, tensão de cisalhamento), os quais foram utilizados no cálculo da estimativa da descarga mássica de sedimento; uma vez que a quantidade de sedimentos transportada, proveniente do leito do rio, é altamente dependente da composição do material do leito, do grau de decomposição desse material e das características geométricas e hidráulicas da seção. Os sedimentos de fundo das seções 4 (Rio Km 119 no Jardim Parque Verde) e 3 (Rio Mourão na antiga estrada Campo Mourão/Roncador), são argilosos com cerca de 55% e 43% de argila respectivamente, os das seções 1 (Rio do Campo a montante da Captação da SANEPAR), e 2 (Rio Sem Passo na estrada Luiziana/Campina do Amoral), em contrapartida são arenoso apresentando em torno de 89% de areia para a seção 1 e 50% para a seção 3. Avaliando a existência de erosão observou-se que os maiores valores de tensão de cisalhamento ocorreram nas seções 1 e 3, sendo respectivamente,  $1.406 \text{ N.m}^{-2}$  e  $0.955 \text{ N.m}^{-2}$  e os menores valores de tensão de cisalhamento nas seções 4 e 2, sendo respectivamente,  $0.563 \text{ N.m}^{-2}$  e  $0.756 \text{ N.m}^{-2}$ , em todas as seções verificou-se a ocorrência de erosão para as características. Os valores encontrados para as descargas mássicas nas quatro seções de estudo foram de  $0.207 \text{ kg.s}^{-1}$  para a seção 1,  $0.166 \text{ kg.s}^{-1}$  para a seção 2 e  $0.272 \text{ kg.s}^{-1}$  para a seção 3,  $0.052 \text{ kg.s}^{-1}$  para a seção 4. Com base nos dados obtidos foi possível estimar a erodibilidade dos pontos avaliados, dado esse de grande relevância uma vez que os processos de erosão transporte e deposição de sedimentos são os responsáveis pelo desenho dos leitos dos rios.

**PALAVRAS-CHAVE:** Transporte de sedimentos, Granulometria, Hidrometria, Descarga mássica de sedimentos.

## INTRODUÇÃO

Conhecer a dinâmica do transporte de sedimentos dentro das bacias hidrográficas tem ganhado cada dia mais importância, pois são vários os impactos que o acúmulo de sedimentos podem trazer, tais como: detrimento na qualidade da água dos rios, redução da vida útil de reservatórios, impedimentos na prática de navegação, aumento da ocorrência de enchentes, elevação nos custos de tratamento da água, cabendo ainda levar em consideração que os custos para desassorear leitos de rios e lagos é bastante elevado [1].

Os processos responsáveis pela movimentação dos sedimentos (erosão, transporte e deposição) são processos naturais, porém com a interferência do homem modificando as paisagens esses processos podem entrar em desequilíbrio, a principal intervenção antrópica nesse sentido o manejo inadequado do solo e vegetação próximo aos corpos hídricos.

Tendo em vista a relevância do assunto existem hoje vários modelos e métodos matemáticos desenvolvidos para trabalhar com transporte de sedimentos utilizando dados hidrométricos, uma das variáveis possíveis de se calcular é a descarga mássica de sedimento pelo método de Einstein [3].

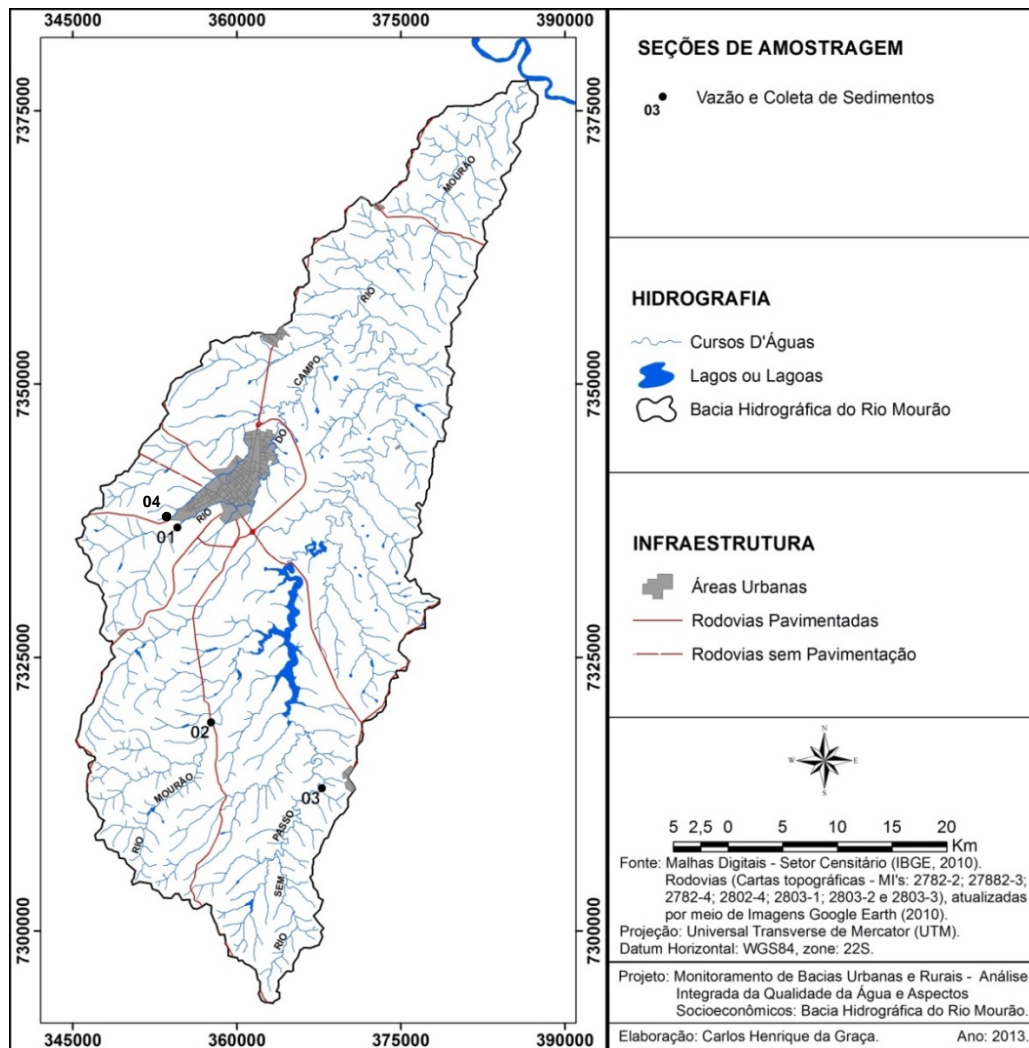
A coleta de dados hidrométricos utilizados nos modelos e métodos de estimativa de movimentação de sedimentos se mostram mais viáveis, do que o monitoramento da quantidade de sedimentos nos corpos hídricos que apresentam custos operacionais bastante elevados, nesse contexto os trabalhos utilizando esses dados vem ganhando espaço.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Mourão no estado do Paraná que ocupa área de aproximadamente 1534 km<sup>2</sup>, sendo contempladas áreas no município de Campo Mourão, Peabiru Engenheiro Beltrão, Luiziana, Mamborê. Quinta do Sol. Apresenta orientação sudoeste nordeste e faz parte da bacia hidrográfica do rio Ivaí. Localizada na região sul do Brasil, a bacia hidrográfica do rio Ivaí é a segunda maior bacia do estado do Paraná. Com uma área de 36.587 km<sup>2</sup> e um percurso de 680 km, o rio Ivaí é afluente da margem esquerda do curso superior do rio Paraná e apresenta uma vazão média de 363 m<sup>3</sup>/s [2].

Os dados de determinação das características hidrométricas foram realizados em quatro seções de estudo, como pode se evidenciar na (Figura 1), sendo elas: (P4) seção 04: Rio Km 119 no Jardim Parque Verde; (P1) seção 01: Rio do Campo a montante da Captação da Sanepar; (P2) seção 02: Rio Mourão na antiga estrada Campo Mourão/Roncador; (P3) seção 03: Rio Sem Passo na estrada Luiziana/Campina do Amoral.

Os dados hidrométricos utilizados para caracterização foram: Vazão, velocidade média, área molhada, perímetro molhado, raio hidráulico, declividade do fundo, tensão de cisalhamento. Estes dados foram utilizados no cálculo da estimativa da descarga mássica de sedimento pelo método de Einstein [3] com Peter Meyer [3], e o equipamento utilizado para a medição da vazão foi o Flow Tracker da marca SonTek/YSI.



**Figura 1: Localização das seções de estudo da bacia do rio Mourão.**

A carga de sedimentos de fundo, na condição de equilíbrio permanente de transporte e deposição de sedimentos no canal, pode ser avaliada por um dos diversos métodos existentes.

Apoiado em fundamentos físicos e análises, Einstein [3] obteve uma expressão para a carga de fundo, relacionando duas variáveis adimensionais,  $\psi$  e  $\phi$ , definidas por:

$$\psi = \frac{(\gamma_s - \gamma) D_s}{\tau_0} \quad (1)$$

e

$$\phi = \frac{Q_s / B}{w_s \cdot D_s} \quad (2)$$

Sendo,  $B$  a largura do canal,  $Q_s$ , a descarga sólida em suspensão,  $\gamma_s$  o peso específico do sólido,  $\gamma$  o peso específico da água e  $w_s$  a velocidade de queda das partículas estimada pela seguinte relação de equilíbrio das forças de gravidade e de resistência:

$$\frac{\pi \cdot D_s^3}{6} \cdot \gamma_s (-\gamma) = 3\pi \cdot D_s \cdot \rho \cdot v \cdot w_s + \left( \frac{\pi \cdot D_s^2}{4} \right) \cdot \rho \cdot w_s^2 \quad (3)$$

ou

$$w_s \cdot \frac{2}{D_s} = -3\nu + \sqrt{\frac{9\nu^2 + g \cdot \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) \cdot D_s^3}{6}} \quad (4)$$

ou, aproximadamente:

$$w_s = \sqrt{\frac{2}{3} g \cdot \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) \cdot D_s} \quad (5)$$

Sendo,  $\nu$  a viscosidade cinemática da água.

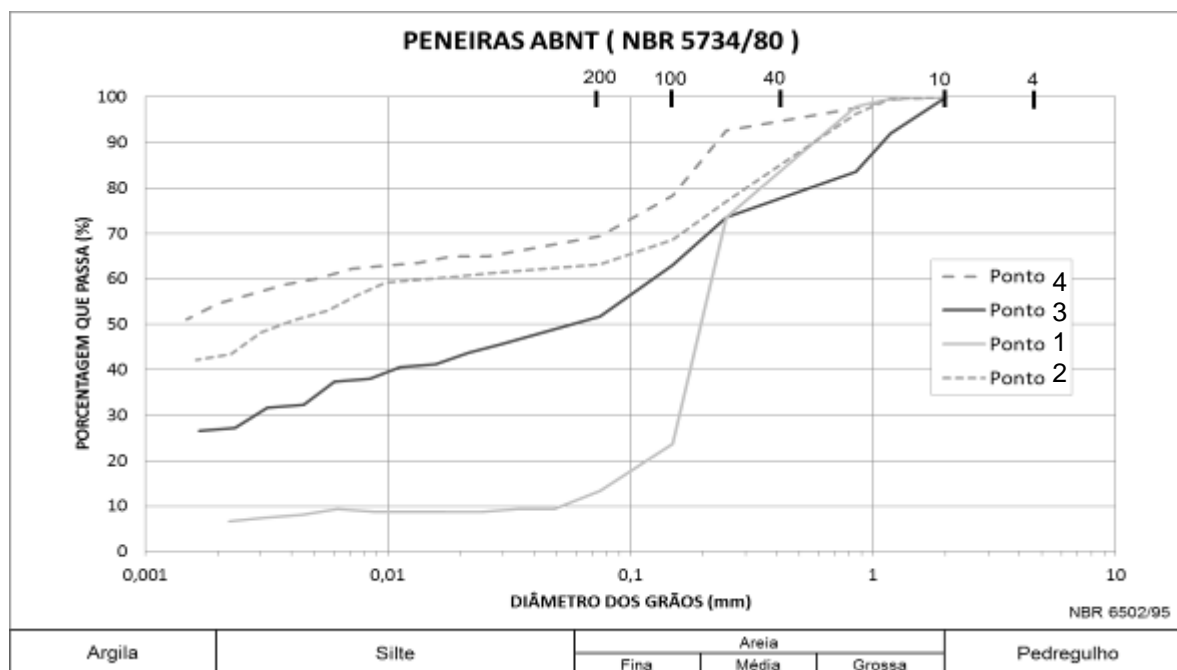
## RESULTADOS E DISCUSSÕES

As características hidrométricas das seções de estudo foram determinadas para o dia 21 de agosto de 2012. A tabela 1 é apresentado o resultado para o dia 21 de agosto de 2012, onde foi registrada a maior vazão no P3 aproximadamente 2,92 m³/s e a menor no P4 cerca de 0,17 m³/s.

**Tabela 1: Resultados da Vazão para o dia 21-08-2012**

Seções	Vazão (m³ /s)	Velocidade Média	Profundidade Média	Área (m²)	Largura (m)	Perímetro (m)	$\frac{A}{P}$ Rh=
01	1,6477	0,4449	0,756	3,704	4,90	5,716	0,627
02	2,5005	0,3368	0,844	7,423	8,80	9,630	0,770
03	2,9168	0,3687	0,719	7,910	11,00	11,876	0,569
04	0,1752	0,2246	0,181	0,780	4,30	4,705	0,165

A análise granulométrica foi realizada de acordo com a NBR – 6502/95 [5] (Figura 2). A tabela 3 mostra que o sedimento de fundo das seções 4 e 2 são argilosos com cerca de 55% e 43% de argila respectivamente. As seções 1 e 3 em contrapartida apresentaram o sedimento arenoso em torno de 89% de areia para a seção 1 e 50% para a seção 3.



Para a estimativa das descargas mássica no fundo do canal foram utilizados os dados hidrométricos nas seções de estudo. Na planilha da tabela 4 são apresentados os valores das características hidráulicas nas seções de estudo de forma a verificar a existência de erosão em cada seção. Verifica-se que os maiores valores de tensão de cisalhamento ocorreram nas seções 1 e 3, sendo respectivamente,  $1.406 \text{ N.m}^{-2}$  e  $0.955 \text{ N.m}^{-2}$ . Os menores valores de tensão de cisalhamento ocorreram nas seções 4 e 2, sendo respectivamente,  $0.563 \text{ N.m}^{-2}$  e  $0.756 \text{ N.m}^{-2}$ . Em todas as seções verificou-se a ocorrência de erosão para as características hidrométricas nos dias de coleta nas seções de estudo.

Utilizando-se o modelo de transporte de sedimento de fundo proposto por Einstein [3] utilizando-se as equações proposta por Peter e Meyer [4] foi calculado o transporte de fundo no canal para as quatro seções de estudo. Os valores encontrados para as descargas mássicas nas quatro seções de estudo foram de  $0.052 \text{ kg.s}^{-1}$  para a seção 4,  $0.207 \text{ kg.s}^{-1}$  para a seção 1,  $0.166 \text{ kg.s}^{-1}$  para a seção 2 e  $0.272 \text{ kg.s}^{-1}$  para a seção 3.

**Tabela 3: Planilha de cálculo das características Hidráulica nas seções de Estudo.**

	Seções	4	1	2	3
	Datas	21/08/12	21/08/12	21/08/12	21/08/12
Características Hidráulicas	$d \text{ (m)}$	1,50E-06	1,50E-04	2,50E-06	6,50E-05
	Vazão, $Q \text{ (m}^3\text{s}^{-1}\text{)}$	0,175	1,6477	2,5005	2,9168
	Rugosidade de Manning, $n$	0,025	0,025	0,025	0,025
	Largura, $B \text{ (m)}$	4,3	4,9	8,8	11
	Area, $A \text{ (m}^2\text{)}$	0,78	3,704	7,423	7,91
	Perímetro, $P \text{ (m)}$	4,71	5,76	9,63	11,88
	$So = \left( \frac{n \cdot Q}{A^{5/3} P^{-2/3}} \right)^2$ , Teórica (Manning) ( $\text{m.m}^{-1}$ )	3,462E-04	2,228E-04	1,003E-04	1,461E-04
	$U \text{ (m.s}^{-1}\text{)}$	0,225	0,445	0,337	0,369
	$q \text{ (m}^3\text{s}^{-1}\text{m}^{-1}\text{)}$	0,041	0,336	0,284	0,265
	$Rh \text{ (m)}$	0,166	0,643	0,771	0,666
	$\tau_o = \gamma \cdot Rh \cdot So \text{ (N.m}^{-2}\text{)}$	0,563	1,406	0,759	0,955
	$\frac{\tau_o}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d}$	24,53	0,61	19,83	0,96
	$u^* \text{ (m.s}^{-1}\text{)}$	0,0237	0,0375	0,0275	0,0309
	$Re^* = \frac{u^* \cdot d}{\nu}$	0,4	56,2	0,7	20,1
	Ocor. Erosão	Sim	Sim	Sim	Sim

**Tabela 4: Planilha de Cálculo das Descargas Mássica.**

	Seções	4	1	2	3
	$\Psi = \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\tau_o} \right) \cdot d_m$	0,041	1,633	0,050	1,042
Einstein (1942) com Peter-Meyer	$\phi = \left( \frac{4}{\Psi} - 0,188 \right)^{3/2}$	969,143	3,401	704,098	6,976
	$w_s = \sqrt{\frac{3}{2} \cdot g \cdot \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) \cdot d_m}$	0,008	0,083	0,011	0,055
	$q_s = \phi \cdot \rho \cdot w_s$ ( $\text{kg.s}^{-1}\text{m}^{-1}$ )	0,012	0,042	0,019	0,025
	$Qs = q_s \cdot L \text{ (kg.s}^{-1}\text{)}$	0,052	0,207	0,166	0,272

## CONCLUSÕES

O estudo do transporte de sedimento em corpos hídricos vem ganhando espaço pela sua relevância no cenário atual, uma vez que essa movimentação quando se encontra em desequilíbrio pode causar diversos impactos ambientais.



O estudo permitiu a estimativa da massa carregada do fundo de canais em bacia experimental de forma a permitir estimar da capacidade de erodibilidade dos sedimentos do fundo nos trechos em estudo; conhecer a erodibilidade dos pontos avaliados tem grande relevância uma vez que os processos de erosão transporte e deposição de sedimentos são os responsáveis pelo desenho dos leitos dos rios.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa, a FINEP e aos integrantes do Projeto: Monitoramento de Bacias Urbanas e Rurais - Análise da qualidade da água e aspectos socioeconômicos: Bacia Hidrográfica do Rio Mourão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CARVALHO, N. O.; SALGADO, J. C. M.; ROSS, J.; RUIZ, N. C. P.; SILVA, L. F. A.; MESQUITA, J. B.; GOULART NETTO, A. A.; SILVA, L. P. “*Revisão dos estudos sedimentológicos do rio Madeira e Mamoré, RO*”. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa/PB, n 439. ABRH. 2005.
2. DESTEFANI, Edilaine Valéria. REGIME HIDROLÓGICO DO RIO IVAÍ – PR. 2005. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Uem - Universidade Estadual de Maringá, Maringá - Pr, 2005.
3. EINSTEIN EINSTEIN, H. A. Formulas for the Transportation of Bed-Load, Trans. AM. SOC. CIVIL ENGRS., vol. 107. 1942.
4. MEYER-PETER, E.; FAVRE, H.; EINSTEIN, A. NEUERE VERSUCHSRESULTATE ÜBER DEN GESCHIEBETRIEB, Schweiz. Bauzeitung, vol 103, no 13. 1934.
5. NBR 6502 – ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rochas e solos - 1995.