

# MOVIMIENTO DE LOS SEDIMENTOS EN LAS SUBCUENCAS: CASO DEL ARROYO HORÁCIO, BRASIL

Geraldo Wilson Júnior

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ  
Programa de Engenharia Oceânica, Centro de Tecnologia, Bloco C, Sala 209  
E-mails: gwj@peno.coppe.ufrj.br e gwj@predialnet.com.br

## Introducción

El desarrollo del Estado del Paraná (199.000 km<sup>2</sup>) fue considerable en la segunda mitad del siglo pasado, debido a su evolución agrícola y pecuaria (Wilson-Jr, Rodrigues, Santos, 1980). En la década de los setentas, se concentraba el 92% de las industrias brasileñas y el 89% de los establecimientos comerciales (Figura 1).



Figura 1.- Localización de la Cuenca del Río Ivai

Desde 1950 hasta el 1975, las grandes extensiones de florestas que cubrían el Noroeste del Paraná fueron desbastadas. En su lugar se establecieron la ganadería y la agricultura. En un inicio, el cultivo del café, fue el factor fundamental para la ocupación del suelo. En este período la población aumentó dos veces más que la media del país.

La devastación de la vegetación responsable por la fijación del suelo, así como la rápida concentración demográfica, y debido a que estos estaban localizados sobre una base geológica formada de basalto e arenito Caiuá, produjeron un desequilibrio ecológico caracterizado por un violento proceso de erosión, en las regiones urbanas y rurales.

## La Cuenca Hidrográfica del Río Ivai

El área de drenaje de la cuenca hidrográfica del Río Ivai (Figura 1) es de 36.673 km<sup>2</sup>, perteneciendo el 70% al Noroeste del Paraná. Por otro lado, 40% del área del Noroeste son drenadas por el Río Ivai, principal fuente de agua de la región. De esta forma, era razonable esperar que las cantidades y los tipos de materiales sólidos transportados hasta el Río Paraná tuviesen relación con los procesos erosivos presentes en la región.

## Objetivos

Con base en esta idea, se desarrolló una serie de estudios hidráulicos y sedimentológicos, cuyos objetivos fueron:

- Estimar la cantidad total de sedimentos transportados por el Río Ivai hasta el Paraná, durante un ciclo hidrológico, y,
- Estimar las cantidades totales de los sedimentos transportados en cuatro subcuencas, que caracterizan los diferentes tipos y condiciones de explotación del suelo.

En este trabajo se aborda la subcuenca del Arroyo Horácio situado en la margen derecha del Río Ivai (Figura 2), con una extensión de 8,5 km y una área de drenaje de 42 km<sup>2</sup>. Su suelo, del tipo arenito Caiuá, es utilizado básicamente en la agricultura.



Figura 2.- Subcuenca del Arroyo Horácio

## Metodología

Para la descripción del movimiento de los sedimentos en cursos de agua son necesarias tres etapas básicas (Wilson-Jr, 1999): (i) Conocimiento de la cuenca hidrográfica, (ii) Mediciones del movimiento sólido en un tramo representativo del flujo, y (iii) Determinación de las características hidrometeorológicas, hidráulicas y sedimentológicas en que estas mediciones fueron realizadas. De esta forma, los resultados podrán ser integrados a través del tiempo para el cálculo del movimiento sólido anual o estacional.

El conocimiento de una cuenca hidrográfica envuelve trabajos de gabinete, de campo, así como la interacción con especialistas de los Medios Físico, Biológico, Social y Económico. Se recomienda que las mediciones hidráulicas y sedimentológicas sean realizadas en un tramo cuyas características hidrodinámicas y morfológicas sean las más representativas dentro de una gran extensión del flujo. El tramo representativo del Arroyo Horácio está localizado a 5 km de distancia del Río Ivai. La longitud total del tramo es de 143 m, siendo su parte recta igual a 37 m.

Tres tipos de campañas de mediciones fueron realizadas en este tramo, durante un ciclo hidrológico completo (Nery, 2002): Mediciones Diarias, Periódicas y Intensivas.

Los resultados de las campañas de mediciones periódicas, realizadas por los hidrómetristas, permiten que sean deducidas las relaciones analíticas entre los parámetros hidráulicos y sedimentológicos. Los resultados de las campañas diarias permiten que estas relaciones sean aplicadas para los ciclos hidrológicos estudiados, mientras que las mediciones intensivas, realizadas durante el período de lluvia, permiten verificar y calibrar las expresiones y los modelos obtenidos. Las mediciones especiales de la campaña intensiva de medidas fueron realizadas en el tramo recto de 37 m, preparado para la realización simultánea de las mediciones clásicas y a través del uso de trazadores radioactivos (Figura 3).



Figura 3.- Tramo de Mediciones del Arroyo Horácio

### Mediciones Clásicas y con Radioisotopos

Las mediciones clásicas realizadas en el tramo representativo del Arroyo Horácio agrupan: las lecturas del nivel del agua, mediciones de velocidad y cálculo del caudal líquido, muestras de sedimentos del fondo, así como de los movimientos por arrastre y en suspensión. El uso de trazadores radioactivos provee resultados seguros sobre las cantidades transportadas y dispersas en el tramo de medidas, a través del tiempo. Un ejemplo de estos resultados está presentado en la Figura 4.

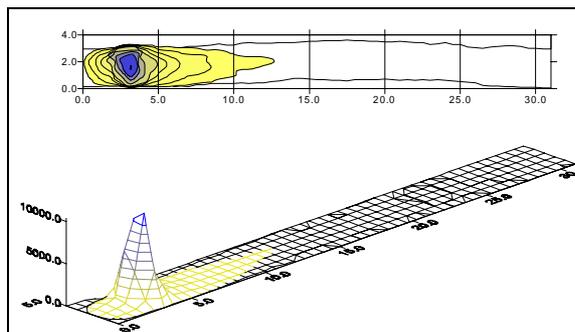


Figura 4.- Representación de la Nube de Sedimentos Radioactivos para un Instante Fijo (Nery, 2002)

Fueron realizadas tres experimentos con radioisotopos. En los dos primeros fueron utilizadas muestras del lecho arenoso, marcadas con  $Au^{198}$ . En el tercero fue utilizado vidrio molido conteniendo  $Ir^{192}$ , con la misma densidad específica y granulometría del material del fondo. El principal motivo para el uso del Iridio fue estudiar la distribución de los sedimentos en profundidad, y el cálculo del ancho de la camada móvil. De esta forma, después del tercer experimento, se colectaron muestras indeformables del sedimento de esa camada, las cuales fueron cortadas en porciones de 1 cm, para se determinar las leyes de repartición de los sedimentos en profundidad.

### Registro de las Configuraciones del Fondo

Durante los trabajos con los trazadores se realizaron, continuamente, registros longitudinales de las formas del fondo, Lagrangeanos, y registros temporales en secciones transversales fijadas, Eulerianos. A partir de los gráficos digitalizados se obtuvieron los valores de las longitudes, de las alturas y de los tiempos de pasaje de las formas del fondo a través de las secciones transversales. Por medio del análisis estadístico de esas variables se determinaron sus valores medios, así como la velocidad de desplazamiento de las configuraciones del fondo.

### Las Descargas Sólidas por Arrastre

Cuatro métodos fueron utilizados para el Cálculo de la Descarga Sólida por Arrastre: (i) Método del Balance de las Tasas de Contage (Nery, 2002), (ii) La Teoría de los Procesos Aleatorios (Monteiro e Wilson-Jr, 2002), (iii) Generalización del método de Vukmirovic' y Vukotic' (Nery, 2002), (iv) La Ecuación de las Dunas (Wilson-Jr e Paiva, 2003). Los resultados fueron convergentes.

### Conclusiones

Los daños que los movimientos de los sedimentos y de los contaminantes fijos a estos sedimentos provocan a las obras de Ingeniería Civil y al Medio Ambiente son muy onerosos. Por consiguiente, no se debe esperar que esos fenómenos ejerzan sus efectos nocivos para que, entonces, sean investigados. La metodología presentada y aplicada en el Arroyo Horácio tiene como base los estudios analíticos y científicos, donde las mediciones especiales pueden, también, ser realizadas por métodos clásicos topográficos y morfológicos. Ella há llevado a resultados convergentes y precisos, como los obtenidos en el Arroyo Horácio, presentados en este trabajo.

### Referencias

- Monteiro, C. S. G. e Wilson-Jr, G. (2002); "Cálculo da Descarga Sólida com Uso da Teoria dos Processos Aleatórios: Aplicação no Córrego Horácio", V Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. CES/ABRH, pp. 295-312. São Paulo, SP, Brasil
- Nery, R. A. (2002); *Estimativa do Transporte e Dispersão de Sedimentos com Uso de Métodos Clássicos e Radioativos: Aplicação na Sub-bacia do Córrego Horácio /Noroeste do Paraná*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. COPPE/ UFRJ. 214 p., Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Wilson-Jr, G. (1999); "Estudo do Movimento Sedimentar em Escoamentos com Superfície Livre". In: *XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. ABRH, 28/11 a 02/12, Belo Horizonte, MG, Brasil.
- Wilson-Jr, G. e Paiva, L. E. D. (2003); "Estimativa da Descarga Sólida por Arraste a Partir do Registro das Configurações de Fundo: Aplicação ao Córrego Horácio, Noroeste do Estado do Paraná", In: *XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. ABRH. 23 a 27/11, Curitiba / PR, Brasil. (Trabalho Aceito).
- Wilson-Jr, G.; Rodrigues, H. T., Santos, J. S. (1980); *Estudos Hidráulico-Sedimentológicos Realizados no Trecho Inferior do Rio Ivai*. OEA: Projeto Hidrologia. ARH/SVOP/Estado do Paraná. CBTN/NUCLEBRÁS. 179 p., F. A3, Belo Horizonte / MG. Brasil.