

# Influência da sinuosidade e da rugosidade sobre o escoamento em rios com planície de inundação: implementação de um modelo de turbulência

Gabriel Villarinho van der Kouwe de Jong – UFRGS  
Edith Beatriz Camaño Schettini – IPH/UFRGS

## Introdução

Escoamentos a superfície livre em rios e canais são fortemente influenciados por diversos fatores, como sinuosidade do canal, rugosidade do fundo e paredes e turbulência. O objetivo final da pesquisa é estudar como os dois primeiros fatores afetam o desenvolvimento do escoamento. Assim, o primeiro passo consiste em incorporar ao código um modelo que descreva o comportamento turbulento do rio, sendo este o objetivo deste trabalho.

## Materiais e Métodos

As equações de Navier-Stokes, com as pressões hidrostática e dinâmicas segregadas, a equação da continuidade, aplicando a condição cinemática, são dadas por:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x_i} \vec{e}_z - \frac{\partial q}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \int_{-h}^{\eta} u dz \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \int_{-h}^{\eta} v dz \right] = 0$$

foram utilizadas no desenvolvimento do código.

Foi adicionada a equação de turbulência do modelo de Baldwin Lomax, que leva em consideração a viscosidade turbulenta, como:

$$\nu = \nu_{cin} + \nu_{tur_i}$$

$$\nu_{tur_i} = l_{mix}^2 |\omega|$$

As equações foram discretizadas no código desenvolvido por Monteiro (2014) utilizando diferenças finitas, com um esquema semi-implícito. O passo de tempo é dividido em dois sub-passos. No primeiro é calculado o desnível e o campo de velocidades, baseando-se na hipótese da aproximação hidrostática. No segundo, é calculada a pressão dinâmica e realizada uma correção do desnível e do campo de velocidade.

## Resultados

Foram realizadas simulações numéricas para verificar o modelo de turbulência utilizado no código. Para isso, utilizou-se dados de experimentos de recirculação em canais abertos, publicados em 1980 pelo Laboratório de Hidráulica de Delft.

Foram selecionados dois canais diferentes, um com declividade de fundo (figura 1) e outro com degrau (figura 2).

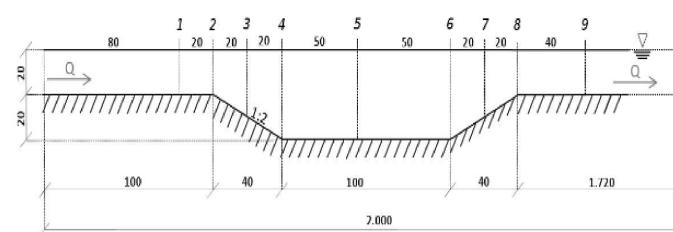


Figura 1: Canal com declividade de fundo 1:2

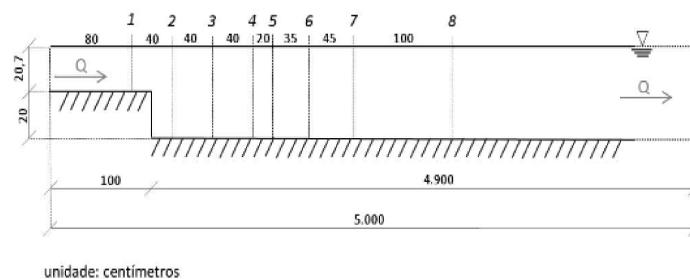


Figura 2: Canal com degrau

Foi feita a calibração do comprimento de mistura de Prandtl ( $l_{mix}$ ) utilizando o canal com declividade de fundo. Os melhores resultados obtidos foram para  $l_{mix} = 0,01 m$ .

Os resultados das verificações para o canal com declividade de fundo são referentes as seções 1 e 6 do mesmo (figuras 3 e 4), já para o canal com degrau, as seções avaliadas são as 1 e 5 (figuras 5 e 6).

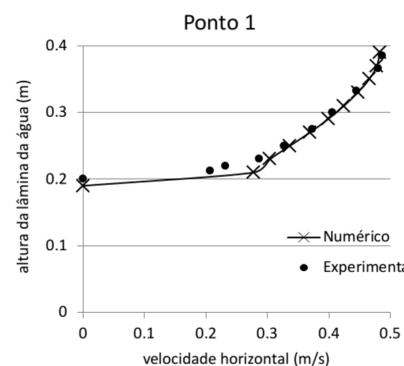


Figura 3: Perfil de velocidades canal com declividade – Seção 1

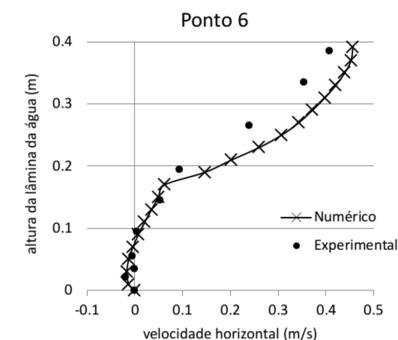


Figura 4: Perfil de velocidades canal com declividade – Seção 6

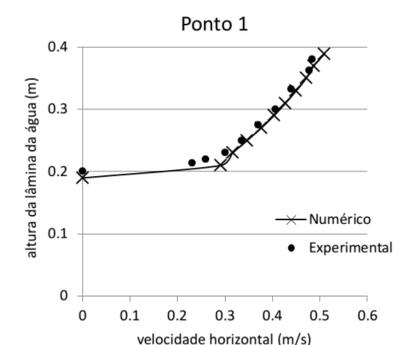


Figura 5: Perfil de velocidades canal com degrau – Seção 1

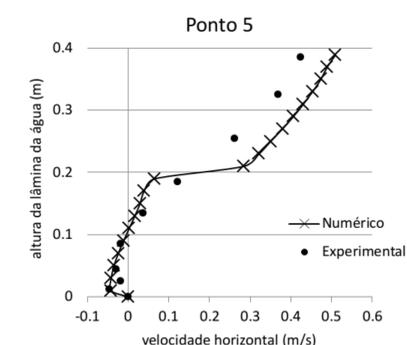


Figura 6: Perfil de velocidades canal com degrau – Seção 5

## Conclusões

Observa-se que o modelo de turbulência apresenta resultados coerentes em comparação aos dados experimentais. As áreas de recirculação ficaram bem representadas; porém o modelo apresenta dificuldades em representar as áreas de separação e a superfície livre, o que mostra que o modelo de turbulência possui ressalvas para sua utilização.

## Bibliografia

Delft Hydraulics Laboratory, 1980 . Computation of siltation in dredged trenches, semi-empirical model for the flow in dredged trenches. Technical Report R 1267-III/M 1536.

Monteiro, L. R. (2014). Simulação numérica de escoamentos com superfície livre com aproximação não-hidrostática. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.