

## **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA RUGOSIDADE EM ESCOAMENTOS DE SUPERFÍCIES LIVRE <sup>1</sup>**

Mariana de Cesaro<sup>2</sup>, Leonardo Romero Monteiro<sup>3</sup>, Bruna Fernandes Soares<sup>4</sup>

1 Vinculado ao projeto “Estudo da concepção e dinâmica de enxurradas”

2 Acadêmico (a) do Curso de Engenharia Civil – CCT – Bolsista PROBIC/UDESC

3 Orientador, Departamento de Engenharia Civil – CCT - leonardo.monteiro@udesc.br

4 Mestranda do Curso de Engenharia Civil – CCT.

As mudanças climáticas intensificam os eventos extremos e, dependendo da região, podem aumentar as precipitações que são responsáveis pelas enxurradas (JESUS; DIEZ-SIERRA, 2023). Assim, para reduzir consequências negativas evidencia-se a importância do estudo de enxurradas por meio do desenvolvimento de métodos de engenharia sobre os comportamentos hidrodinâmicos. Atualmente, a modelagem hidrodinâmica 2D predomina para analisar planícies de inundações graduais e bruscas. As simulações realizadas em *softwares* como o HEC-RAS utilizam de coeficientes como Manning e Chezy para adicionar a influência da rugosidade no escoamento. No entanto, estudos consolidados evidenciam que esses dados são erroneamente usados nas simulações 2D, afinal a maneira correta da aplicação seria em escoamentos 1D. Dessa maneira, a ciência busca desenvolver modelagens 3D com a finalidade de melhorar a representação e compreensão dos comportamentos dos escoamentos. Assim, o objetivo do estudo foi entender a influência da rugosidade em escoamentos de superfície livre por meio da procura em referências bibliográficas e realização de simulações em *software* de código aberto SuLi (Monteiro et al., 2020).

O avanço da pesquisa foi caracterizado pela melhoria do código aberto (SuLi), baseando-se no artigo de Zampiron, Cameron, Stewart, Marusic e Nikora (2022) o qual evidencia um experimento realizado no canal de um laboratório com a adição de rugosidade de fundo. Os dados apresentados no artigo serviram de base para analisar a veracidade do código ao se realizarem as simulações. Assim, foram implementadas sondas virtuais ao longo do canal simulado para medir as velocidades do escoamento em diferentes regiões, e verificar se havia convergência dos dados com o experimento relatado no artigo. Além disso, houve a busca em periódicos científicos para melhor compreensão dos diversos métodos 3D existentes para representar escoamentos turbulentos e escolheu-se o mais adequado para a finalidade proposta, assim, conforme o artigo de Heinz (2020), o método escolhido foi o *Detached Eddy Simulation* (DES), pois o caso abordado é a respeito de um escoamento turbulento de água com vórtices de elevado tamanho, dessa forma, não necessitava-se de uma malha tão refinada como é o caso de escoamentos em ar, mas também não poderia ser utilizada uma malha grosseira a ponto de não se representar a adequadamente a turbulência.

Nesse sentido, para representar a rugosidade no código, houve o estudo do comportamento do fluido em escoamento com a presença de fundo, assim a busca por uma melhor compreensão foi realizada através de bibliografias consolidadas. O estudo possibilitou um melhor entendimento do comportamento da camada limite em diferentes tipos de fundo (liso e rugoso) e de escoamento (laminar, de transição e turbulento). Em um escoamento laminar, podemos dividi-lo em duas regiões, fora e dentro da camada limite, na parte interna, há a

predominância da viscosidade e a velocidade na parede é nula, já na parte externa, não há influência da viscosidade, podendo-se ignorar os termos viscosos nas equações de Navier-Stokes. Nessa perspectiva, no escoamento turbulento, a camada limite se ramifica em duas camadas: camada turbulenta e subcamada viscosa. Esta subcamada apresenta comportamento laminar e sua espessura é determinada pela fórmula a seguir:  $\delta_v = \frac{v}{\mu_\tau}$ . Essa fórmula é representada como um adimensional  $y^+$ , possibilitando subdividir o escoamento em regiões com base no valor de  $y^+$ : subcamada viscosa, camada de transição e camada mista. A camada mista é a de maior tamanho, e abrange a Lei da sobreposição logarítmica, possibilitando representar o perfil de velocidade para  $y^+ > 70$ , utilizando a seguinte fórmula:

$$\lim_{y^+ \rightarrow \infty} u^+(y^+) = \frac{1}{\kappa} \ln y^+ + C^+$$

Esse conceitos são aplicados a escoamentos de fundo liso, e em escoamentos de fundo rugoso a constante proveniente da Lei da sobreposição logarítmica é utilizada, sendo uma função apenas do adimensional da altura da rugosidade padrão, a da areia ( $ks^+$ ). Dessa forma, o escoamento pode ser classificado em hidraulicamente liso ( $0 \leq ks^+ \leq 5$ ), transitório ( $5 \leq ks^+ \leq 70$ ) e rugosos ( $70 \leq ks^+$ ).

Assim, após o estudo bibliográfico, realizou-se uma apresentação de aula sobre esse tópico que foi apresentada em uma aula de Mecânica dos Fluidos com o intuito de agregar conhecimento para os alunos e também registrar para caso seja necessário revisitar esses conceitos no futuro. Atualmente a pesquisa e o aperfeiçoamento do código continuam em andamento com a finalidade de estudar a concepção e a dinâmica em enxurradas. Estes conceitos aprofundados foram úteis para nortear o desenvolvimento da pesquisa.

**Palavras-chave:** Simulação numérica. Escoamentos turbulentos. Rugosidade.

## REFERÊNCIAS:

JESUS, Manuel del; DIEZ-SIERRA, Javier. Climate change effects on sub-daily precipitation in Spain. **Hydrological Sciences Journal**, [S.L.], v. 68, n. 8, p. 1065-1077, 9 jun. 2023. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2023.2215931>.

HEINZ, Stefan. A review of hybrid RANS-LES methods for turbulent flows: concepts and applications. **Progress In Aerospace Sciences**, [S.L.], v. 114, p. 100597, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.paerosci.2019.100597>.

ZAMPIRON, Andrea; CAMERON, Stuart M.; STEWART, Mark T.; MARUSIC, Ivan; NIKORA, Vladimir I. Flow development in rough-bed open channels: mean velocities, turbulence statistics, velocity spectra, and secondary currents. **Journal Of Hydraulic Research**, [S.L.], v. 61, n. 1, p. 133-144, 20 dez. 2022. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00221686.2022.2132311>.

L. R. Monteiro, L. V. Lucchese, E. B. C. Schettini, Comparison between hydrostatic and total pressure simulations of dam-break flows, *Journal of Hydraulic Research* 58 (5) (2020) 725–737. doi:10.1080/00221686.