

## ESTUDO DE UM MODELO DE ENTRADA E DESCIDA D'ÁGUA COM O CFD

*Alexson Caetano da Silva<sup>1\*</sup>; José Roberto Gonçalves de Azevedo<sup>2</sup>, Luciete Alves Bezerra<sup>3</sup>, Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral<sup>4</sup>, Edinilson de Castro Ferreira<sup>5</sup>*

**Resumo** – A fluidodinâmica computacional ou dinâmica dos fluidos computacional (*Computational Fluid Dynamics – CFD*), pode ser entendida de forma generalizada como a simulação numérica de todos os processos físicos ou físico-químicos que apresentam escoamento. Os softwares de fluidodinâmica computacional são amplamente utilizados em vários segmentos da engenharia, onde podem ser utilizados desde a fase conceitual de um projeto, auxiliando a determinar a viabilidade e qual a melhor solução em produto, até a etapa de produção, permitindo representar diversos cenários. Dentre as aplicações, com as ferramentas CFD, é possível simular o comportamento de dispositivos de drenagem, a fim de verificar parâmetros que viabilizem seu uso em projetos. Sendo assim, com uso do software comercial Ansys 15.0 em seu módulo de fluido dinâmico denominado CFX, este artigo analisa a simulação do fluxo hidráulico em dois dispositivos que geralmente trabalham em conjunto que são as entradas e descidas de água, sendo avaliada a velocidade de fluxo durante o processo. Os principais resultados encontrados foram a grande perturbação hidráulica que esses dispositivos sofrem com grandes variações na velocidade da água no meio da descida, além disso, as paredes opostas às rampas de entradas sofrem bem mais com a ação do fluxo hidráulico.

**Palavras-Chave** – Fluidodinâmica computacional, Ansys 15.0.

### STUDY OF A MODEL OF ENTRY AND WATER DESCENT WITH CFD

**Abstract** – Computational Fluid Dynamics (CFD) can be understood in a generalized way as the numerical simulation of all physical or physical-chemical processes that have flow. Computational fluid dynamics software is widely used in various segments of engineering, where it can be used from the conceptual phase of a project, helping to determine the feasibility and the best solution in product, to the stage of production, allowing to represent different scenarios. Among the applications, with the CFD tools, it is possible to simulate the behavior of drainage devices, in order to verify parameters that make feasible its use in projects. Thus, using commercial Ansys 15.0 software in its dynamic fluid module called CFX, this article analyzes the simulation of hydraulic flow in two devices that generally work together that are the inputs and descents of water, being evaluated the speed of flow During the process. The main results have been the great hydraulic disturbance that these devices suffer with great variations in the speed of the water in the middle of the descent, in addition the opposite walls the entrance ramps suffer much more with the action of the hydraulic flow.

**Keywords** – Computational Fluid Dynamics, Ansys 15.0.

<sup>1</sup> Mestrando da Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFPE, alexsoncaetano@hotmail.com.

<sup>2</sup> Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Civil, UFPE, jrga@ufpe.br

<sup>3</sup> Professor adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, UFPE, lucietebezerra@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Professor da UPE e Professor Titular da UFPE, jcabral@ufpe.br

<sup>5</sup> Mestrando da Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFPE, ednilsoncastro@hotmail.com.

## INTRODUÇÃO

Entradas d'água são dispositivos usados para conduzir as águas coletas pelos meios-fios lançando-as em descidas d'água. Já as descidas d'água têm como objetivo conduzir as águas captadas por outros dispositivos de drenagem, pelos taludes de corte e aterro seguindo as suas declividades. Esses dispositivos são padronizados nas rodovias federais pelo DNIT, segundo o Álbum de Projetos-Tipo de Dispositivos de Drenagem (2006), existem entradas d'água de rampa (EDA 01) e de ponto baixo (EDA 02), as descidas são classificadas em tipo rápidas (DAR) e em degraus (DAD e DCD).

Com o avanço da fluido dinâmica computacional pôde-se verificar e validar diversos diversas análises em dispositivos hidráulicos, Olsen (2012); Gandhi *et al.* (2016); Lee *et al.* (2012); Sinha *et al.* (2014). Este trabalho utiliza o software comercial Ansys 15.0 em seu módulo de fluido dinâmico denominado CFX, para analisar os principais parâmetros de projeto de uma entrada de água de rampa acoplada a uma descida de água tipo rápida.

## METODOLOGIA NUMÉRICA

### Modelo Numérico do CFD

As equações que regem a dinâmica dos fluidos e que são resolvidas no modelo CFD são: a equação da conservação da massa, a equação da quantidade de movimento e a equação da energia essas são dadas respectivamente por:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho \mathbf{u})}{\partial t} + \nabla \cdot \rho(\mathbf{u}\mathbf{u}) = -\nabla p + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \mathbf{F}_s \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \nabla \cdot [\mathbf{u}(\rho E + p)] = -\nabla \cdot (\kappa \nabla T) \quad (3)$$

As variáveis usadas nas equações 1, 2 e 3 são descritas como  $\mathbf{u}$ ,  $\rho$ ,  $p$ ,  $t$ ,  $\boldsymbol{\tau}$ ,  $\mathbf{F}_s$ ,  $E$ ,  $\kappa$ ,  $T$ , sendo respectivamente o vetor velocidade, densidade, pressão, tempo, tensor de força, termo de contribuição de tensão superficial, energia, condutividade efetiva e temperatura. Segundo Versteeg & Malalasekera (2007), líquidos e gases que possuem fluxo a baixas velocidades podem ser considerados como incompressíveis, logo o campo de escoamento na modelagem em CFD poderá ser obtido através da resolução das equações de continuidade e quantidade de movimento.

Como se trata de um escoamento multifásico, com a presença de ar e água, é usado o modelo multifásico de volumes finitos, logo a fração de volume é definida como:

$$\frac{\partial(\rho \alpha_q)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \alpha_q \mathbf{u}) = 0 \quad (4)$$

A restrição a seguir é necessária para a aplicação do modelo:

$$\alpha_i + \alpha_g = 1 \quad (5)$$

Onde  $\alpha_l$ ,  $\alpha_g$ ,  $\alpha_q$ , são respectivamente as frações de volume do líquido, de gás, e das fases líquidas e gás. O método usado para a discretização numérica das equações que governam o modelo é o método de volumes finitos. O modelo de turbulência escolhido é o k- $\epsilon$  padrão, desenvolvido por Launder & Spalding (1974), este é amplamente utilizado e validado em problemas de escoamento livre, conforme Faure *et al.* (2004), Lira (2014), Sinha *et al.* (2014). O esquema transiente usado foi o de Euler Backward de Segunda Ordem e passo de tempo igual a 0,10 segundos usado para reduzir o tempo de cálculo.

## Geometria e Geração da Malha

Sabendo que as descida d'água de aterro trabalham junto as entradas d'água foi modela uma geometria que acoplasse os dois dispositivos. Todas as dimensões escolhidas estão em conformidade ao álbum de dispositivos de drenagem do DNIT (2006). Outra importante etapa da modelagem é a geração da malha, que será base da discretização, logo a fim de embasar a geração da malha ideal foi avaliado dois parâmetros da qualidade dos elementos da malha o *orthogonal quality* e o *skewness*, esses dois parâmetros avaliam respectivamente a ortogonalidade dos elementos e a deformação dos mesmos, segundo Ansys (2007). O método *orthogonal quality* varia de zero a 1 (um) e quanto mais próximo desse último valor ,melhor é a qualidade. Já o *skewness* tem o seu valor com a mesma amplitude de variação do método de ortogonalidade, porém a melhor qualidade é o valor mais próximo a zero. A malha gerada possui 329236 elementos com valor médio obtido para o *orthogonal quality* de 0,865, segundo Ansys (2007), esse valor indica qualidade excelente e para o parâmetro *skewness* o valor médio obtido foi de 0,250, que segundo Ansys (2007) possui esse valor também evidencia qualidade excelente dos elementos para deformação.

## Condições de Contorno

Foram definidas condições de contorno para o modelo a fim de garantir uma simulação que se aproxime da realidade, logo para as faces laterais e do fundo do dispositivo foi considerado como *wall*, já para as faces superiores e de saída foram definidas como superfície livre, dando a água e ao ar a liberdade de escoar para dentro ou fora do domínio, já a face de entrada foi definida como *inlet* onde se especifica um fluido e sua velocidade de entrada a fim de simular o escoamento (Figura 1).

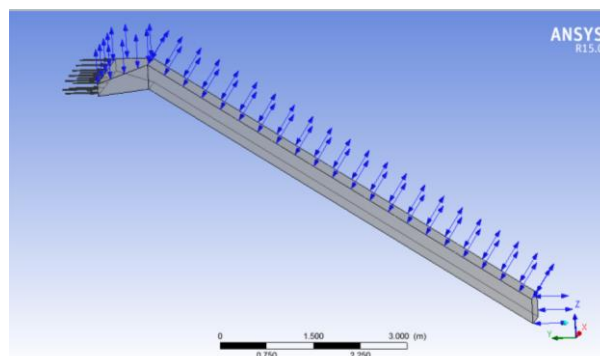


Figura 1 – Estrutura modelada e indicações de contorno da entrada e descida d'água.

## Verificação da Solução

Segundo Ven Te Chow (1973) a altura do fluxo hidráulico na seção de passagem de uma rampa fraca para uma rampa forte é uma seção de controle, ou seja, é conhecida a altura do fluxo hidráulico, que será igual a altura crítica. Logo, foi verificada a altura hidráulica na seção de controle da geometria modela (Figura 2) e plotado o gradiente da fração de volume de água em uma linha no meio da seção, segundo (Gráfico 1), a altura de água foi considerada onde há o maior valor do gradiente, essa foi comparada a altura do fluxo crítico para a descarga de  $0,180 \text{ m}^3/\text{s}$  em uma descida d'água de mesmas dimensões, que corresponde ao valor de  $0,1876\text{m}$ , assim obteve-se um erro de 5%. Isso indica que os resultados das simulações possuem razoabilidade para explanar o fenômeno.

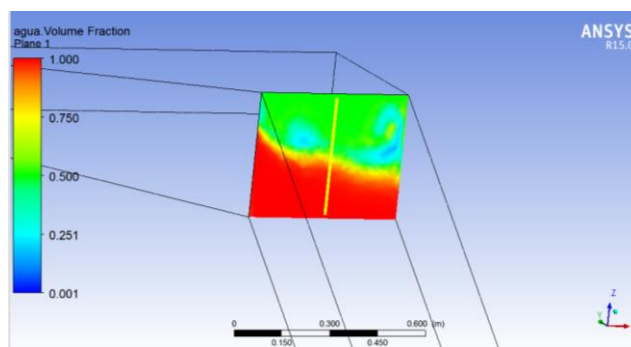


Figura 2 – Distribuição da velocidade da água na seção de controle e linha do meio da seção de controle..

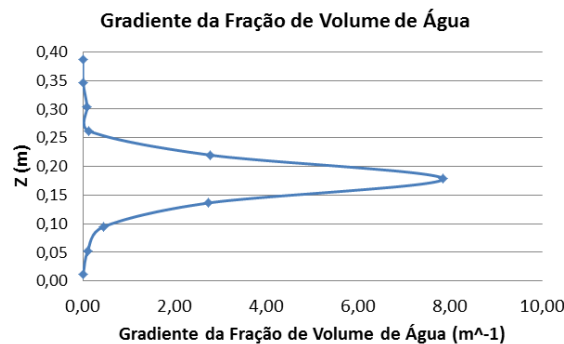


Gráfico 1 – Gradiente da fração de volume de água ao longo de uma linha no meio da seção de controle.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo mostrou um grande ganho de velocidade do fluxo hidráulico, houve um aumento do valor de  $0,5 \text{ m/s}$ , na seção de entrada da estrutura, para  $8,42 \text{ m/s}$ , na região mais afastada da entrada da estrutura [Figura 3 (c)]. No instante  $0,5 \text{ s}$  o fluxo hidráulico tende a ser mais uniforme em toda seção da estrutura com velocidade em torno de  $2,00 \text{ m/s}$  [Figura 3 (a)]. No instante  $3,00 \text{ s}$  o fluxo hidráulico já chega ao valor máximo obtido na simulação que é  $8,42 \text{ m/s}$  e esse valor é mais presente no fluxo mais próximo a saída da estrutura [Figura 3 (b)]. Ao analisar o comportamento da velocidade da água no instante  $9,50 \text{ s}$  nota-se que os maiores valores se concentram na região mais afastada da entrada de água e mais próximo da parede direita, como destacado na [Figura 3 (c)], essa região tende a ser mais danificadas nesse tipo de estrutura.

O modelo também mostra a fração de volume de água nas paredes da estrutura, pode se constatar no instante 3,50 s que o nível de água é bem maior na parede oposta a rampa da entrada d'água [Figura 4 (a)], esse fato também pode ser observado no instante 8,50 s [Figura 4 (b)], isso mostra que essa região sofre com um maior fluxo hidráulico, devendo ao ser construída atentar para um maior cuidado e reforço na sua parede, podendo degradar mais rapidamente que a parede oposta.

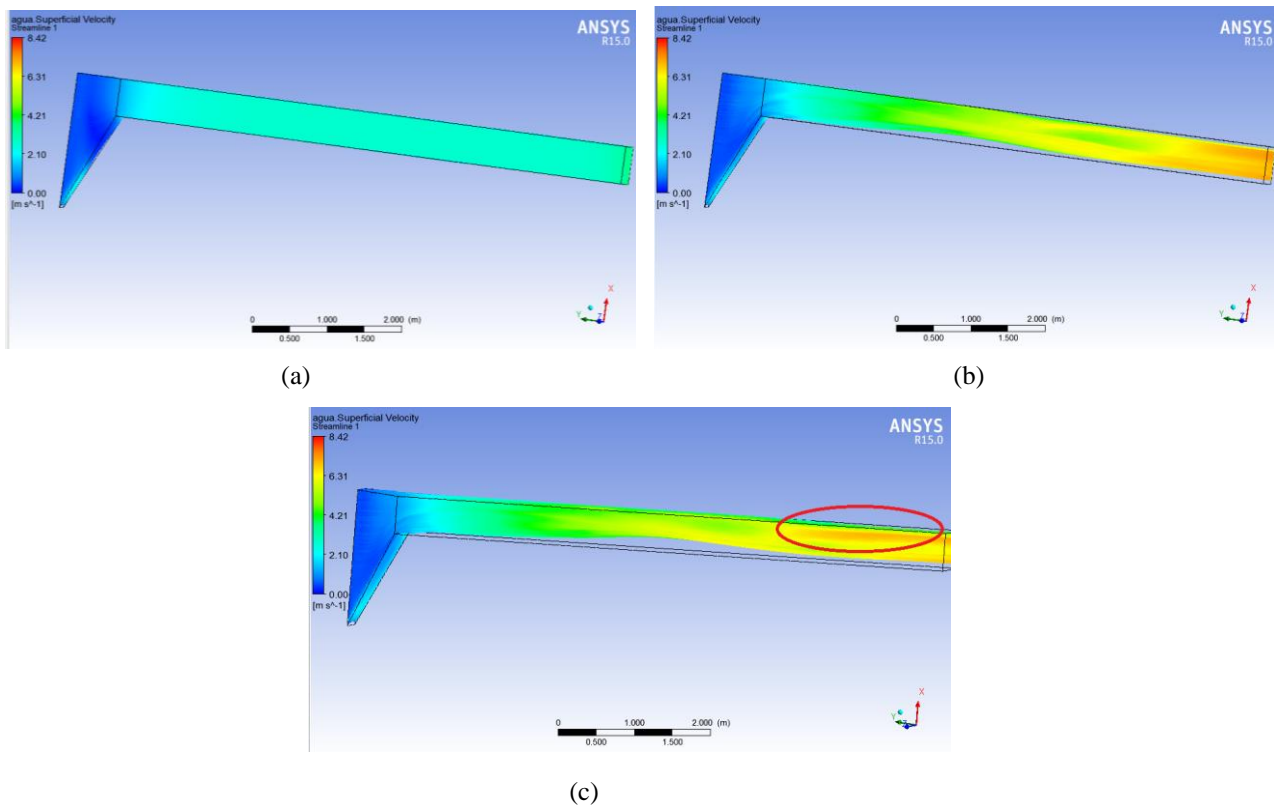


Figura 3 – Distribuição da velocidade da água ao longo do modelo nos instantes 0,50 s (a), 3,00 s (b) e 9,00 s (c).

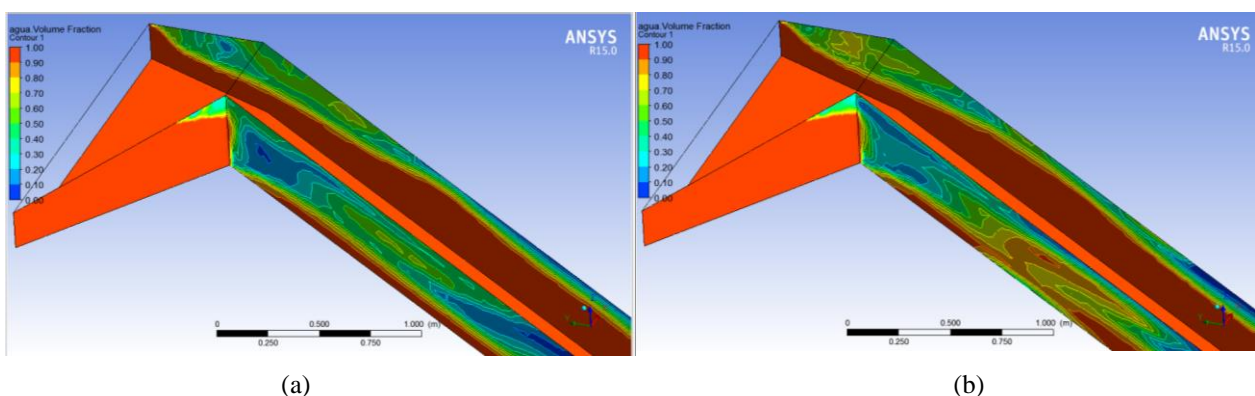


Figura 4 – Fração de volume de água nas paredes da estrutura no instante 3,50 s (a) e no instante 8,50 s (b).

Também foi analisado, através do Gráfico 2, o valor da velocidade da água ao longo do tempo em três pontos da descida d'água, conforme Figura 5. A partir constatado que o ponto 1 possui o valor em torno de 0,50 m/s praticamente permanente ao longo de todo o tempo. O ponto 2 que é o do meio da rampa da descida d'água é o que dispõe de maior oscilação dos valores da

velocidade da água, variando de 1,80 m/s a 5,55 m/s ao longo do tempo, isso mostra a grande perturbação do escoamento nessa região. Já o ponto 3, que é o mais a jusante da entrada de água de todos os pontos, possui um grande aumento em seu valor inicialmente, porém ao longo do tempo há uma estabilização da velocidade do fluxo hidráulico em torno de 7,00 m/s, apresentando o maior valor de velocidade dos três pontos analisados.

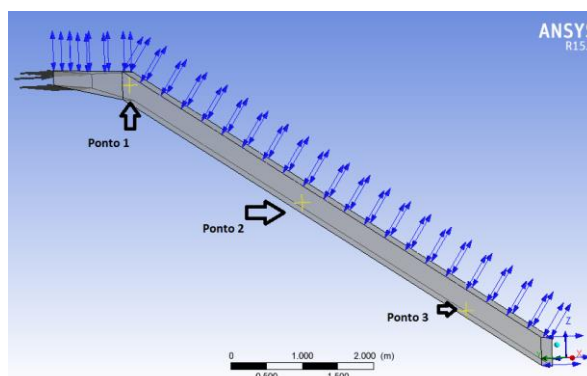


Figura 5 – Indicação da localização dos pontos de monitoramento da velocidade da água.

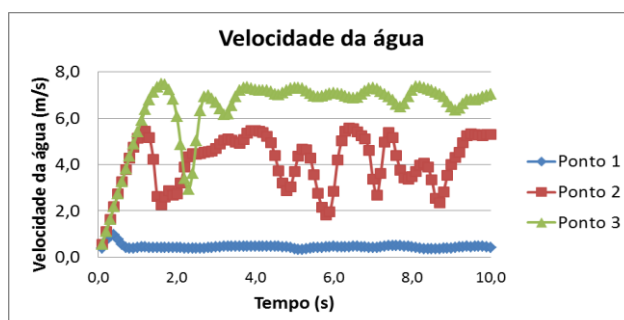


Gráfico 2 – Velocidade da água ao longo do tempo nos pontos 1, 2 e 3.

## CONCLUSÕES

Os softwares de fluidodinâmica computacional são amplamente utilizados em vários segmentos da engenharia, onde podem ser utilizados desde a fase conceitual de um projeto, auxiliando a determinar a viabilidade e qual a melhor solução em produto, até a etapa de produção, permitindo representar diversos cenários. Nesse trabalho foi utilizado na modelagem do escoamento transiente de dois dispositivos de drenagem que trabalham geralmente em conjunto, esses são as entradas e descidas de água. As maiores velocidade se desenvolvem nas regiões mais próximas da do final da rampa da descida de água com velocidades próximas a 8,20 m/s, mesmo partindo de uma velocidade na de 0,50 m/s na face de saída. Também foi observada grande perturbação do escoamento na região do meio da rampa da descida de água que compromete a estrutura nessa região. Logo, mais uma vez o uso do CFD obteve resultados satisfatórios que servem de auxílio para o projetista de dispositivos de drenagem.

## REFERÊNCIAS

### a) Livro

CHOW, V.T., 1959, Open-channel hydraulics: New York, McGraw-Hill, 236 p.

VERSTEEG, H. K.; MALALASEKERA, W. (2007). An introduction to computational fluid dynamics - the finite volume method. Second. ed. Essex: Pearson Prentice Hall.

### b) Artigo em revista

FAURE, J.-B.; BUIL, N.; & GAY, B. 3-D. Modeling of unsteady free-surface flow in open channel/Modélisation tridimensionnelle d'un écoulement instationnaire à surface libre en rivière, Journal of Hydraulic Research, 42:3, 263-272, DOI: 10.1080/00221686.2004.9641194, 2004

LAUNDER, B. E.; SPALDING, D. B. (1974). The numerical computation of turbulent flows. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, v. 3, n. 2, p. 269-289.

LEE, A. K.; PARK, N. S.; KIM, N. Physical modifications to improve a channel's flow distribution. Korean J. Chem. Eng., 29(2), p. 201-208, 2012.

OLSEN, N. R. B. Three-dimensional CFD modeling os self-forming meandering channel. Journal of Hydraulics Engineering. ASCE, may 2003, p. 366-372, 2003.

### c) Tese e dissertação

MOHANTA, A. Flow modelling of a non prismatic compound channel by using C.F.D. Master's thesis of Technology in Civil Engineering, Department of civil engineering, National Institute of Technolgy, Rourkela, 2014.

LIRA, Numerical modeling of a 90° open-channel confluence using Openfoam CFD. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

### d) Álbum e manual

ANSYS 2007. Training Manual. Ansys, Incorporation.

DNIT 2006. Manual de Drenagem de Rodovias. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes.

DNIT 2006. Álbum de Projetos-Tipo de Dispositivos de Drenagem. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes.