

# ESTUDO DE UMA TUBULAÇÃO LATERAL DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO UTILIZANDO FERRAMENTAS CFD.

*Ivan Felipe Silva dos Santos<sup>1</sup>; Fernando das Graças Braga da Silva<sup>2</sup>*

**RESUMO** – No presente trabalho realizou-se a simulação, através de ferramentas CFD, do escoamento em uma tubulação lateral de um sistema de irrigação similar aos sistemas por aspersão emitindo um jato livre através de um orifício em um bocal cilíndrico externo instalado na tubulação. As análises realizadas mostraram que as ferramentas de fluidodinâmica computacional constituem uma poderosa fonte de recursos para o estudo de escoamentos em dispositivos hidráulicos.

**Palavras-Chave** – Simulação, CFD, Irrigação.

**ABSTRACT**– In the present work, a simulation by CFD tool, of the lateral flow in a pipe of a system similar to irrigation sprinkler systems, however issuing a free jet through an orifice in a nozzle outer cylindrical installed in the pipe, was done. The analyzes showed that the tools of computational fluid dynamics are a powerful resource for the study of flows in hydraulics.

**Keywords** – Simulation, CFD, Irrigation.

---

<sup>1</sup>) Universidade Federal de Itajubá: Av, BPS, 1303, CEP:37500-903, Pinheirinho, Itajubá-MG, 35-36291265, email:ffbraga.silva@gmail.com

<sup>2</sup>) Universidade Federal de Itajubá: Av, BPS, 1303, CEP:37500-903, Pinheirinho, Itajubá-MG, 35-36291265, email:ivanfelipedeice@hotmail.com

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo de sistemas hidráulicos é extremamente importante para o estudo dos recursos hídricos dado que as aplicações hidráulicas estão em toda parte: como no abastecimento de água para consumo humano, no tratamento e disposição final de esgotos, em instalações prediais, na utilização de bombas em sistemas elevatórios, no uso de turbinas em centrais de geração de energia elétrica, na implantação de sistemas de irrigação, etc.

Sistemas de irrigação são um conjunto de técnicas que visam distribuir água às plantas cultivadas em quantidade adequadas para promover um desenvolvimento vegetal adequado, com um mínimo de perdas de água. Estes sistemas podem ser basicamente divididos em: Captação, condução e aplicação. Os métodos mais comuns de irrigação são por aspersão ou gotejamento. Estes sistemas possuem o agente de aplicação (aspersores ou gotejadores) instalados em uma tubulação final, que se distribui ao longo das linhas de cultivo, chamada tubulação lateral.

A compreensão de processos hidráulicos pode se tornar complexa, devido ao grande número de parâmetros que podem se relacionar com o funcionamento adequado dos dispositivos hidráulicos. Neste sentido, freqüentemente são usadas ferramentas computacionais que auxiliem o estudo destes processos. Dentre estas ferramentas podemos citar a fluidodinâmica computacional (CFD). Termo que designa o grupo de técnicas matemáticas, numéricas e computacionais, usadas para obter, visualizar e interpretar soluções computacionais para as equações de conservação de grandezas físicas de interesse de um dado escoamento. Esta utiliza métodos numéricos como às equações de Euler e Navier-Stokes, responsáveis por discretizar o domínio de ação do escoamento, sendo para tal aplicado tanto o Método dos Elementos Finitos quanto o Método dos Volumes Finitos.

As ferramentas CFD nos fornecem muitas vantagens, como por exemplo, a simulação de escoamentos de difícil reprodução em laboratório computacional, permitindo o estudo de situações reais de forma mais barata, mais rápida e com maior número de detalhes.

O presente trabalho tem como principal objetivo o estudo do escoamento em uma tubulação lateral de um sistema de irrigação similar aos sistemas por aspersão, no entanto sem conter aspersores, emitindo um jato livre através de um orifício em um bocal cilíndrico externo instalado

na tubulação. O comportamento do jato, bem como a distribuição dos campos de pressão e velocidade na tubulação serão analisados através de software de CFD.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

### 2.1. Fluidodinâmica computacional

Denomina-se Fluidodinâmica Computacional (CFD) ao conjunto de técnicas matemáticas, numéricas e computacionais empregadas na obtenção, visualização e interpretação de soluções computacionais para as equações de conservação de grandezas físicas pertinentes ao problema de um fluido em escoamento. Grande parte das ciências de que temos conhecimento envolvem, em algum momento, problemas envolvendo escoamento de fluidos (sejam estes líquidos ou gases). As equações que governam o problema do fluido em escoamento são complexas e muitas vezes não podem ser resolvidas analiticamente ao menos que sejam excessivamente simplificadas. Assim, as ferramentas CFD se tornam extremamente relevantes para a resolução destas equações e apresentação dos resultados de forma prática, apresentando aplicações em campos diversos, tais como: Aerodinâmica de veículos aeroespaciais ou terrestres, refrigeração de componentes industriais, hidrodinâmica, termodinâmica, indústria de petróleo, obras subterrâneas, previsão do tempo, dentre muitos outros.

De acordo com Hirsch (1994), as equações governantes para a solução numérica de problemas envolvendo escoamento de fluidos baseiam-se nas soluções de equações de conservação da continuidade, do movimento e da conservação da energia, desenvolvidas por modelos diferenciais aplicados aos fenômenos de transporte. Estes modelos diferenciais estão presentes na equação de Navier-Stokes, que parte da aplicação da 2ª Lei de Newton a um elemento infinitesimal de volume de um fluido real:

$$\Sigma \vec{F} = m \left( V_x \frac{\partial \vec{v}}{\partial x} + V_y \frac{\partial \vec{v}}{\partial y} + V_z \frac{\partial \vec{v}}{\partial z} + \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} \right) \quad (1)$$

Decompondo a equação vetorial (1) em três componentes obtemos:

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho B_x = \rho \left( V_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + V_z \frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_x}{\partial t} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \rho B_y = \rho \left( V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_y}{\partial z} + \frac{\partial V_y}{\partial t} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + \rho B_z = \rho \left( V_x \frac{\partial V_z}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_z}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial t} \right) \quad (4)$$

Onde B é a componente do campo considerado em determinada direção de um plano de coordenadas em três dimensões,  $\rho$  é a massa específica do fluido em estudo,  $m$  é a massa do fluido, e  $V_x$ ,  $V_y$  e  $V_z$  são as componentes do vetor velocidade do escoamento.

De grosso modo o CFD, Para cada elemento de fluido, aplica equações que governam o problema, tais como as equações de Navier-Stokes apresentadas acima, construindo sistemas algébricos a partir destas equações. Utilizando as condições de contorno estas equações são resolvidas e são encontradas as grandezas correspondentes ao problema. Lomax (1999) dividiu a utilização das ferramentas CFD em 4 etapas: Especificação do problema e sua geometria, seleção da estratégia de escolha de malhas e do método numérico, seleção das equações e condições de contorno e avaliação e interpretação dos resultados.

A fluidodinâmica computacional permite que sejam estudados todos os tipos de comportamento de um fluido no interior de uma geometria qualquer em ambiente virtual, o que proporciona agilidade e diminuição de custos em relação ao desenvolvimento de projetos (Gianelli, 2010). Assim esta tecnologia aparece como uma das mais viáveis formas para se desenvolver equipamentos relacionados a qualquer tipo de escoamento.

## 2.2. Sistemas de irrigação

A irrigação, que está dentro das varias aplicações da hidráulica, constitui uma importante área para pesquisas voltadas a otimização de sistemas e conseqüente diminuição do consumo de água, dado que é uma das campeãs mundiais do consumo de água. A Agência Nacional de Águas (ANA) aponta que a irrigação é responsável por 69% do consumo de água no Brasil. Além disso, a eficiência dos sistemas de irrigação está relacionada ao aumento da produção de alimentos, atingindo uma questão social de extrema relevância nos dias atuais.

Os dois principais tipos de sistemas de irrigação são por aspersão e gotejamento. No entanto existem inúmeras outras formas, mais rústicas (como por inundação ou por sulcos) ou mais

elaboradas. Gomes (1999) afirmou que o projeto de qualquer sistema de irrigação requer o conhecimento prévio da quantidade de água a fornecer ao conjunto solo-planta para satisfazer as necessidades hídricas da cultura. Para um sistema por aspersão, uma vez conhecida a área de plantio e determinada à necessidade hídrica da cultura, prossegue-se com a definição do traçado das redes e da forma em que as plantas serão dispostas. Por fim, efetuam-se os cálculos hidráulicos para dimensionamento das tubulações, escolha de aspersores, bombas, etc.

As tubulações de um sistema de irrigação por aspersão convencional podem ser divididas em dois grupos: Tubulações de distribuição e tubulações laterais; As primeiras conduzem água para as tubulações laterais, que por sua vez conduzem a água até os aspersores que aplicam a água do solo à planta. Gomes (1999) salientou ainda, que as redes hidráulicas dos sistemas de irrigação são dimensionadas seguindo o sentido inverso do fluxo d'água. Assim as tubulações laterais são as primeiras a serem dimensionadas.

### **2.3. Aplicações hidráulicas das ferramentas CFD**

Carneiro *et al.* (2009) aplicou a fluidodinâmica computacional para previsão da perda de carga em acidentes com válvulas. Para tal foram criadas quatro malhas, duas para uma válvula esfera e duas para uma válvula gaveta utilizando o software GAMBIT®. Os desvios, com relação aos valores empíricos, encontrados via CFD foram inferiores quando comparados com aqueles obtidos pela equação universal de perda de carga.

Cipolla (2009) (figura 1) avaliou o comportamento hidráulico de uma bomba centrífuga usando ferramentas de CFD. O modelo computacional usado foi criado através do programa de CFD, da bomba centrífuga TH 40-160. Verificou-se que, os resultados obtidos na simulação física e na virtual, foram muito próximos, com diferença média de 2%, e com diferença máxima de 4,6 %, comprovando a eficiência da ferramenta CFD para estudos de comportamento hidráulicos, permitindo analisar dados, como áreas vazias e áreas de recirculação formadas no rotor da turbina:

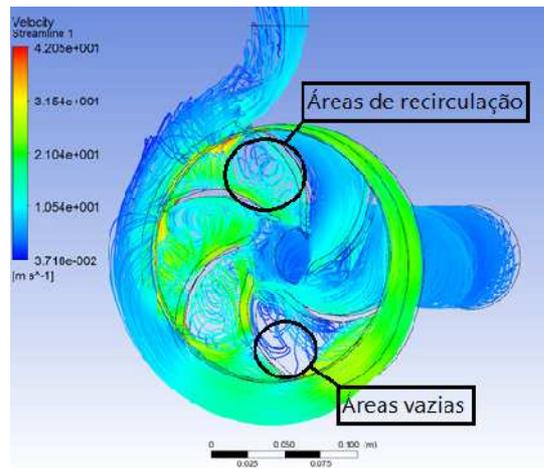


Figura 1 – Exemplo de aplicação da ferramenta CFD: Detalhe da parte posterior do rotor (Cipolla, 2009).

Bem-Mansour *et al.* (2012) estudou o comportamento de pequenos vazamentos em uma tubulação de 0,1 [m] de diâmetro utilizando um modelo de escoamentos turbulentos 3D por meio de ferramentas de fluidodinâmica computacional. Através das simulações foi possível observar as variações do gradiente de pressão ao longo da tubulação. A figura 2 apresenta os resultados iniciais previstos pela ferramenta CFD utilizada, para vários tamanhos de aberturas, onde a vazão nos vazamentos da tubulação varia em função da raiz quadrada da pressão nos locais de vazamento:

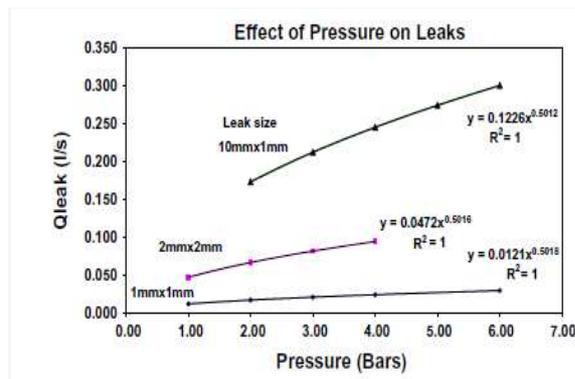


Figura 2 – Exemplo de aplicação da ferramenta CFD: Pressão X Vazão de vazamento (Bem-Mansour *et al.*, 2012)

Ferramentas de fluidodinâmica computacional ainda permitiram o estudo de importantes propriedades do escoamento como gradiente de pressão, campos de velocidade, vorticidade, e

distribuições de pressão em diversas posições da tubulação, inclusive nas vizinhanças dos vazamentos.

### 3.METODOLOGIA

Lomax (1999) dividiu a utilização das ferramentas CFD em 4 passos: Especificação do problema e sua geometria, seleção da estratégia de escolha de malhas e do método numérico, seleção das equações e condições de contorno e avaliação e interpretação dos resultados. Para que se obtivessem os resultados do presente trabalho, foram respeitados os passos a seguir:

#### 3.1 Especificação do problema e sua geometria

O problema a ser estudado via CFD foi o de um escoamento em uma tubulação lateral de um sistema de irrigação similar aos sistemas por aspersão, no entanto sem conter aspersores. Assim a aplicação da água seria feita através do jato que estoura em um orifício no bocal final onde os aspersores deveriam ser acoplados a tubulação.

A geometria do problema foi criada no aplicativo *Design Modeller* do ambiente *ANSYS Workbench*, e consiste em uma tubulação horizontal de 0,1 m de diâmetro e comprimento de 2 m. Nesta tubulação foram inseridos 3 bocais cilíndricos externos de diâmetro igual a 0,025 m e altura igual a 0,05 m, espaçados entre si em 0,5m. Por fim, a geometria continha 3 orifícios dispostos sobre a tubulação vertical, cujo diâmetro era igual 0,016 m e altura igual 0,001 m. a altura atribuída ao orifício foi meramente representativa, dado se buscava que seu comportamento fosse o mais próximo possível do de um orifício, e a construção de um orifício em 2D não é reconhecido pelo software escolhido como uma saída para o escoamento. A extremidade final da tubulação funcionava como uma parede. **Escolha de malhas**

Neto *et al.* (2008) afirmou que é importante observar que deve-se refinar as malhas, isto é, aumentar o número de elementos na região de interesse, onde se deseja estudar mais profundamente o fenômeno (perda de carga, campo de pressão, perfil de velocidade etc). Assim, as malhas escolhidas foram mais rústicas ao longo da tubulação lateral e mais refinadas ao longo dos tubos e bocais verticais, conforme mostra a figura 4. A confecção das malhas foi realizada dentro do software de CFD.

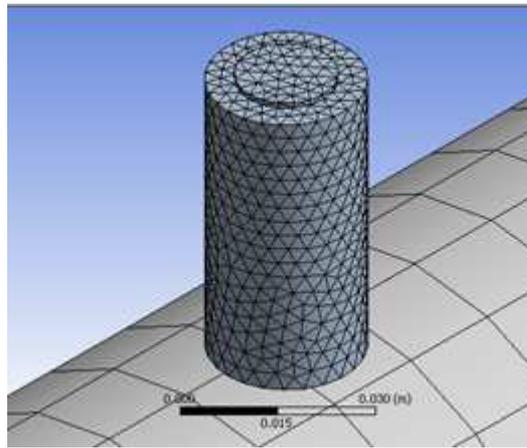


Figura 4 – Malhas selecionadas (mais rústicas ao longo da tubulação horizontal e mais refinadas nos locais de maior interesse).

### 3.2 Condições de contorno

As condições de contorno utilizadas para a simulação foram às velocidades de saída em cada orifício e a pressão na seção de entrada da tubulação lateral. Estas são escolhidas no aplicativo *Setup* dentro do software de CFD. A vazão de saída foi obtida através do cálculo das necessidades hídricas de uma cultura de batata em solo franco argiloso. Com isto, a velocidade de saída em cada bocal foi calculada dividindo-se a vazão de saída pela área da seção transversal do orifício (similar aos métodos usados em irrigação por aspersão):  $V_{saída} = 8 \text{ m/s}$ .

A pressão de entrada na linha lateral foi calculada somando-se a perda de carga ao longo da linha lateral (adotou-se as perdas singulares como sendo igual a 20% das perdas distribuídas) com a pressão definida para o fim da linha lateral (20 mca),  $P_{entrada} = 218,2 \text{ kPa}$ .

Para as simulações adotou-se que o escoamento era isotérmico (sem variações de temperatura) com temperatura igual a  $25^{\circ}\text{C}$ .

Ainda no aplicativo *Setup* do software de CFD foram selecionados as características do solucionador (solver). O número máximo de iterações escolhido foi 100. O critério de convergência foi um resíduo menor que  $10^{-4}$ . Após isto o aplicativo Solver no software de CFD foi acionado e os resultados obtidos.

#### 4. RESULTADOS

A análise dos resultados foi efetuada. O campo de pressão obtido para a geometria analisada está apresentado na figura 5 e 6.

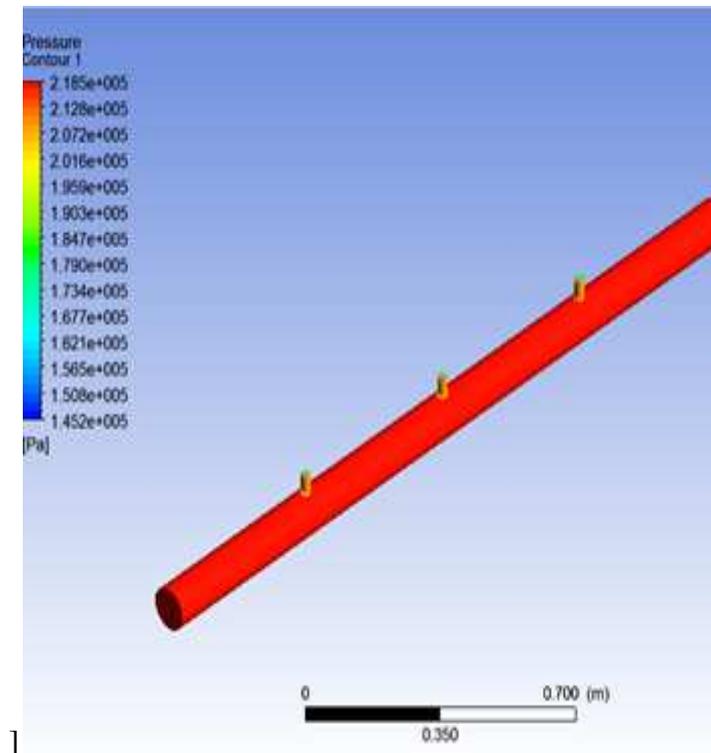


Figura 5 – Distribuição de pressões na tubulação lateral.

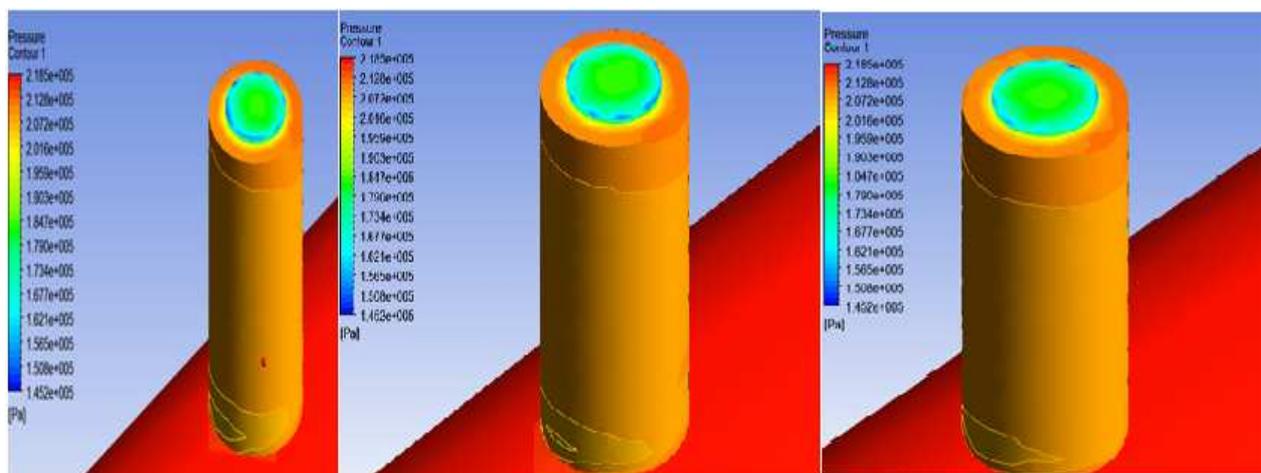


Figura 6 – Campo de pressões. Zoom sobre o 1º, 2º e 3º bocais respectivamente.

A análise da figura 5 permitiu a observação de que a perda de carga distribuída ao longo da tubulação lateral foi desprezível, o que era de se esperar devido seu pequeno comprimento (2 m).

No entanto, na figura 6, se observa que nos pontos em que ocorre a ascensão do fluido para a tubulação vertical se verifica uma queda de pressão, que se torna ainda mais acentuada nos orifícios de saída (principalmente nas bordas). Isto se verifica devido às perdas de carga singulares do fluido ao transitar de um tubo para outro de menor diâmetro.

A distribuição dos vetores de velocidade ao longo da tubulação está apresentada na figura 7, 8,9 e 10.

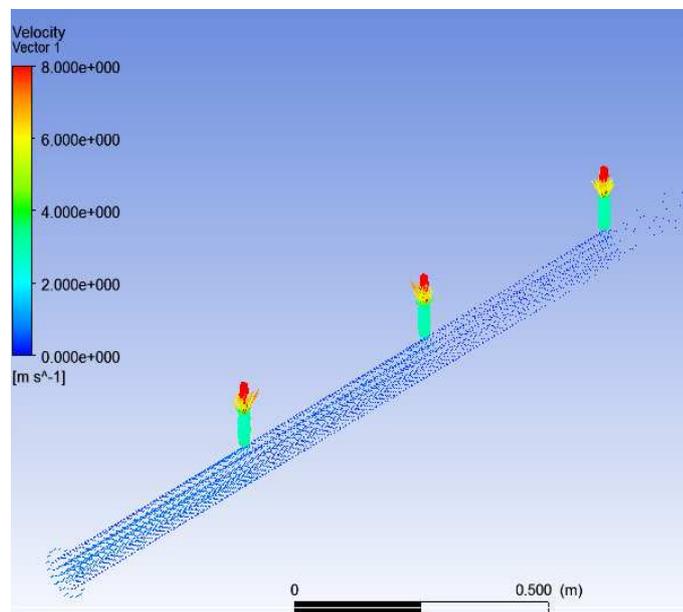


Figura 7 – Distribuição dos vetores de velocidade na tubulação lateral.

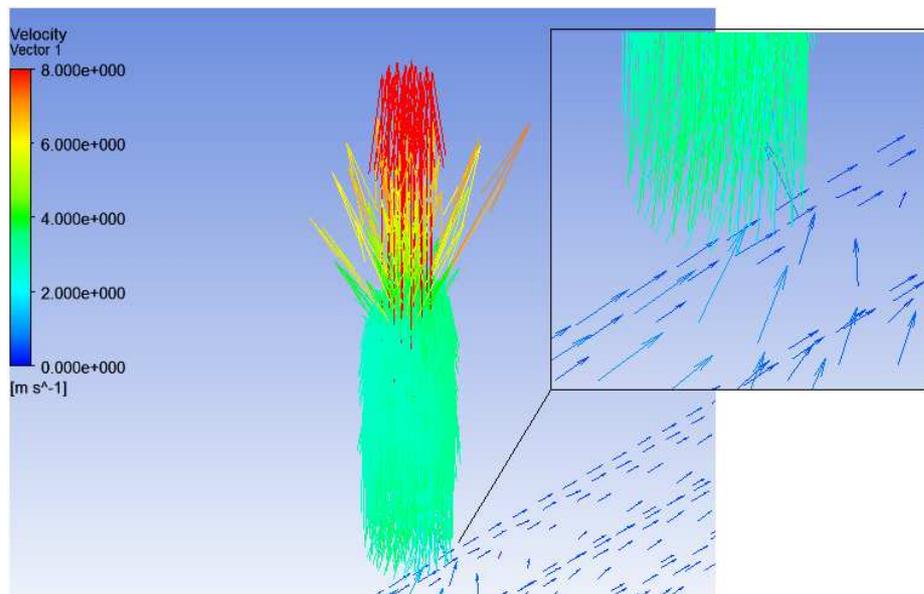


Figura 8 – Distribuição dos vetores de velocidade no 1º bocal.

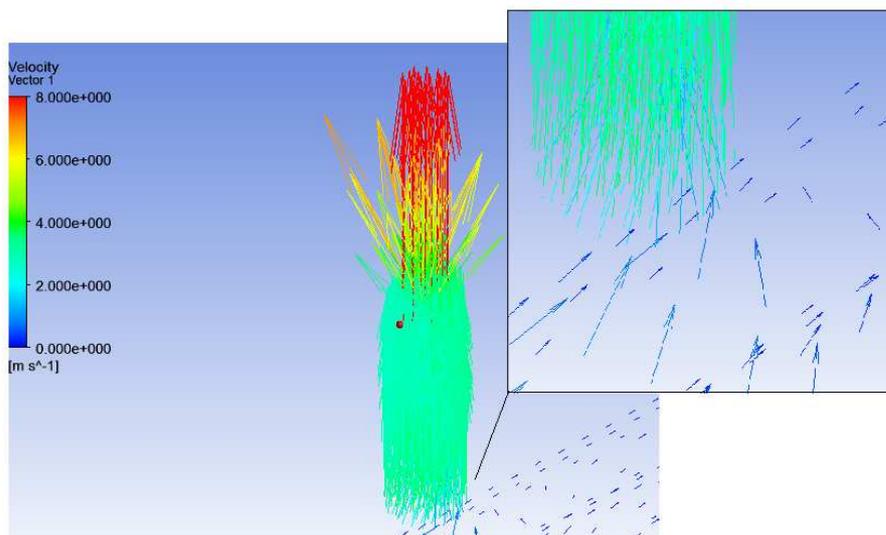


Figura 9 – Distribuição dos vetores de velocidade no 2º bocal.

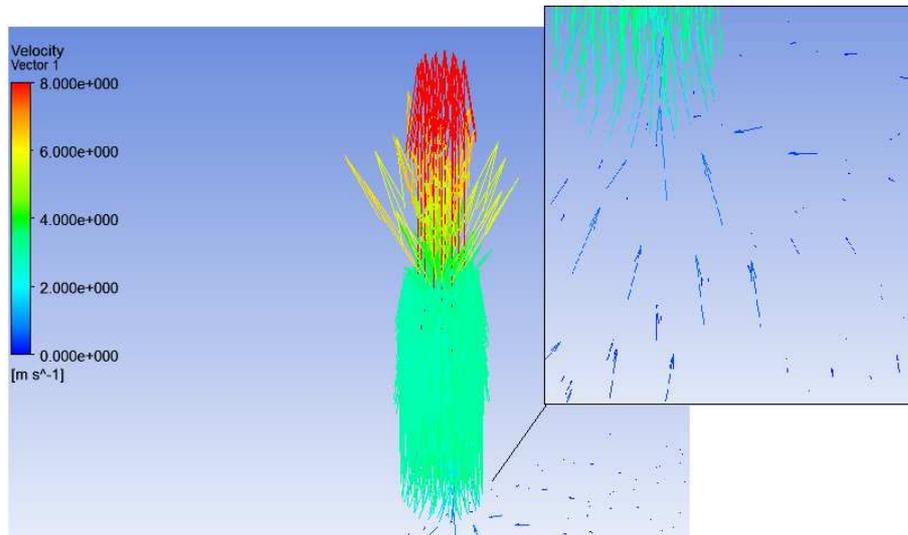


Figura 10 – Distribuição dos vetores de velocidade no 3º bocal.

Observamos na figura 7 que o escoamento ocorre com baixa velocidade na tubulação lateral, e esta cresce em direção aos tubos verticais e bocais. Fato que é facilmente explicado através da equação de Bernoulli, que relaciona a quantidade de energia entre duas seções de escoamento:

$$\left( \frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_a^2}{2g} + z_a \right) = \left( \frac{P_b}{\gamma} + \frac{V_b^2}{2g} + z_b \right) \quad (5)$$

Como o desnível ao longo da geometria é baixo, se houve uma diminuição de pressão entre a tubulação lateral e as seções mais altas, isso acarretará em um aumento da velocidade. Além disso, a vazão é constante e a redução dos diâmetros deve aumentar a velocidade para que se mantenha a equação da continuidade. Ainda através da análise da figura 7, vemos que o trecho de tubulação horizontal após os tubos verticais, possui uma pequena parcela de água de se desloca até a extremidade fechada e retorna até que encontre uma saída.

As figuras 8,9 e 10 nos permitem observar ainda que o jato ‘explode’ em várias direções após o escoamento passar pelo orifício rumo à atmosfera. Verifica-se ainda que nas zonas de entrada no bocal ocorre uma mudança na direção dos vetores de velocidade para que a ascensão do fluido se torne possível. Na figura 10 verificamos uma zona de maior turbulência na entrada do 3º bocal. Isto se deve ao fato de que os vetores de velocidade do fluxo que se direciona ao bocal se encontram com os vetores do fluido que retorna da extremidade fechada.

## **5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Foi realizado o estudo do escoamento em uma tubulação lateral de um sistema de irrigação similar aos sistemas por aspersão, no entanto sem conter aspersores, emitindo um jato livre através de um orifício em um bocal cilíndrico externo instalado na tubulação. Ao observar os resultados apresentados pela simulação computacional com o auxílio de programa de CFD, verifica-se este proporciona uma análise visual e detalhada de alta qualidade, na medida em que é possível visualizar os fenômenos que ocorrem durante o escoamento dos fluidos e os resultados finais. Sendo assim, as ferramentas CFD se mostram ferramentas poderosas para análises hidráulicas.

Algumas recomendações são deixadas para futuros trabalhos que complementam o estudo realizado, como por exemplo, aumento do espaçamento entre os bocais, aproximando o estudo realizado de uma situação real, simulação do sistema contendo os aspersores e comparação com resultados de um sistema de irrigação real.

**AGRADECIMENTOS** – Os autores do trabalho agradecem a FAPEMIG pelo apoio aos estudos através de bolsa de pesquisador mineiro.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- BEN-MANSOUR, R. *et al.* (2012). “*Computational fluid dynamic simulation of small leaks in water pipelines for direct leak pressure transduction*” in *Comput Fluids*.
- CARNEIRO, A. C. S., *et al.* (2009) “*Uso da técnica de fluidodinâmica computacional na estimativa da perda de carga em acidentes*” in VIII Congresso brasileiro de engenharia química, Uberlândia, Minas Gerais. pp.6-7.
- CIPOLLA, E. Z. (2010). “*Avaliação do comportamento hidráulico de uma bomba centrífuga utilizando ferramentas CFD*”. Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá MG, 100p. Tese (monografia).
- GIANELLI, R. C. (2010) “*Modelagem e simulação computacional de medidor Venturi com diversas tomadas de pressão*”. Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá MG, 2010, 83p. Tese (monografia).
- GOMES, H, P. (1999) *Engenharia de Irrigação: Hidráulica dos sistemas pressurizados aspersão e gotejamento*. 3. Ed. Campina Grande, Universidade Federal do Paraíba, 412p.
- HIRSCH, C. (1998). “*Numerical computation of internal and external flows*”. New York: John Wiley & Sons, v. 1.
- NETO, H., J., *et al.*, (2008). “*Modelagem e simulação do comportamento de uma válvula de fluxo hidráulica com o uso de ferramenta de hidroinformática*”. *Revista Tecnol. Fortaleza*, v. 29, n. 2, p.224-232.
- LOMAX, H., *et al.* (1999), *Fundamentals of Computational Fluid Dynamics*. University of Toronto: Institute for Aerospace Studies, 274p.
- PORTO, R.M. (1998). *Hidráulica Básica*. EESC/USP São Carlos- SP, 540 p.