



XXXVII IBERIAN LATIN AMERICAN CONGRESS  
ON COMPUTATIONAL METHODS IN ENGINEERING  
BRASÍLIA - DF - BRAZIL

## ESTUDO NUMÉRICO E EXPERIMENTAL DA CAVITAÇÃO

**Marco Estevam Junior**

**Francisco Aurilo Azevedo Pinho**

**José Gustavo Coelho**

marcoestevam.mec@gmail.com

aurilopinho@icte.uftm.edu.br

josegustavo@icte.uftm.edu.br

Federal University of Triângulo Mineiro

Av. Randolfo Borges Junior, 1250, 38064200, Uberaba – MG, Brasil.

**Abstract.** *Em um escoamento confinado, se a pressão absoluta em qualquer ponto no sistema atinge igual ou menor valor do que a pressão de vapor do líquido, parte deste líquido irá vaporizar. Quando esta mistura atingir alguma região em que a pressão absoluta é ainda superior à pressão do vapor do líquido, haverá o colapso de bolhas com retorno à fase líquida. Este colapso das bolhas proporciona a ocorrência de ondas de choque, definida como a cavitação. Este fenômeno é um dos temas mais importantes no estudo de bombas e turbinas. Neste trabalho, será feito um estudo numérico e experimental da cavitação. No estudo experimental será utilizado uma bancada didática produzida para visualizar a cavitação por meio de um tubo de Venturi concebido especificamente para este propósito. A parte numérica será realizada utilizando a Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD), onde o software escolhido para a análise é o CFX 16. Diferentes modelos de turbulência e condições de contorno são usados para modelar o problema em questão. Os resultados numéricos mostraram boa concordância, quando comparados com dados experimentais.*

**Keywords:** *Cavitação, Dinâmica dos fluidos computacional, Experimental, CFX, Turbina*

## 1 INTRODUÇÃO

Se a pressão absoluta em qualquer ponto de um sistema de bombeamento atingir valor igual ou inferior à pressão de vapor do líquido, parte desse líquido se vaporizará. Supondo que as bolhas formadas continuem em trânsito com o líquido bombeado, temos que quando essa mistura atingir alguma região onde a pressão absoluta for novamente superior à pressão de vapor do líquido, haverá o colapso das bolhas com retorno à fase líquida. Como o volume específico do líquido é inferior ao volume específico do vapor, o colapso das bolhas implicará na existência de um vazio, proporcionando o aparecimento de onda de choque, que possuem efeito severo quando o colapso ocorre em local junto ou próximo à superfície metálica (Matos e Falco, 1998). Esse processo recebe o nome de cavitação e é vastamente estudado por fabricantes de bombas e turbinas.

Em (Koivula, 2000) uma revisão do tema é realizada. É mostrado de forma didática o processo da cavitação, exemplificando a sua ocorrência em orifícios e válvulas. Além disso é feito análise da detecção da cavitação. Em (Milan, et al 2008) é feito um estudo experimental e numérico da cavitação (analisando a erosão) em máquinas hidráulicas.

Também merecem destaque os trabalhos de (Terwisga, et al, 2009) onde uma revisão física do mecanismo da erosão por cavitação é apresentado. Além disso, estudo numérico é ilustrado mostrando boa concordância com os resultados experimentais; Dang et al, 2013, faz um estudo da performa de um sistema de jato de água e testes de modelo extrapolados de forma que a análise desses efeitos sejam analisados. E ainda, temos (Martynov et. al, 2005), que faz um estudo da cavitação em bocais usando um código próprio de análise numérica.

## 2 APARATO EXPERIMENTAL E NUMÉRICO

### 2.1 Aparato Experimental

A cavitação foi estudada inicialmente em uma bancada didática. Essa bancada é composta por um reservatório, uma bomba elétrica, uma válvula de controle de vazão, um medidor de vazão tipo rotâmetro e um venturi que foi projetado para que ocorra a cavitação. O venturi e o rotâmetro utilizados são mostrados na Fig. 1. Destaca-se que um termômetro é utilizado para medir a temperatura da água no reservatório.



Figure 1. Esquema do aparato experimental.

## 2.2 Aparato Numérico

Para o presente estudo foi utilizado um computador I5 com 16 GB de memória RAM. O software escolhido para se fazer as análises numéricas foi o CFX-16, que faz parte do software comercial ANSYS®. O CFX utiliza a metodologia dos volumes finitos para discretizar o escoamento e resolver as equações da quantidade da continuidade, quantidade de movimento e energia acopladas. (Ansys, 2009).

O volume de controle utilizado foi simplificado, de forma a estudar somente as redondezas do venturi. O volume de controle é ilustrado na Fig. 2. Para a discretização do domínio fez-se uma malha estruturada, com 139680 elementos e 162393 nós. Durante estudo de malha, foi também utilizada uma malha com 429660 elementos e 482544 nós e, como a diferença entre os resultados foi pequena, optou-se pela utilização da malha que apresentou um menor custo computacional.

As condições de contorno utilizadas foram: Escoamento bifásico com fração de volume inicial de 100% de água e 0% de vapor. Na condição de entrada foi utilizada a vazão mássica e na condição de saída, utilizou-se a pressão atmosférica. A temperatura utilizada foi a mesma obtida no dia do experimento, 25° C. As demais superfícies foram incluídas como parede.

Nesse estudo foram utilizados os modelos de turbulência  $\kappa$ - $\omega$ ,  $\kappa$ - $\epsilon$  e SSG Reynolds Stress. Para a análise da cavitação, utilizou-se como parâmetro o número de cavitação, Eq. 1.

$$C_a = \frac{p - p_v}{\frac{1}{2} \rho U^2} \quad (1)$$

onde  $p$  é a pressão de referência do escoamento,  $p_v$  é a pressão de vaporização e o denominador da equação é a pressão dinâmica, onde  $\rho$  é a massa específica e  $U$  a velocidade. A cavitação é tratada separadamente da mudança de fase térmica, uma vez que é um processo muito rápido para a assunção de equilíbrio térmico nas interfaces líquido/vapor. Nos modelos de cavitação mais simples, a transferência de massa é conduzida por efeitos puramente mecânicos, designadamente as diferenças de pressão de vapor de líquidos, em vez de efeitos térmicos. A pesquisa atual está voltada para modelos que levam ambos os efeitos em conta. (Ansys, 2009). O CFX utiliza o modelo Rayleigh Plesset para analisar as interfaces das fases. Esse modelo fornece uma equação descrevendo o crescimento de uma bolha de gás num líquido. Maiores informações podem ser encontradas em (Ansys, 2009).

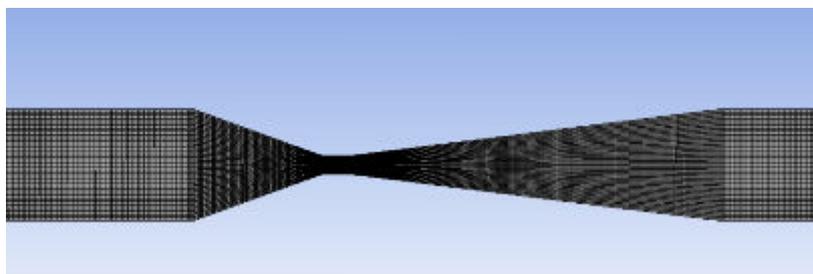
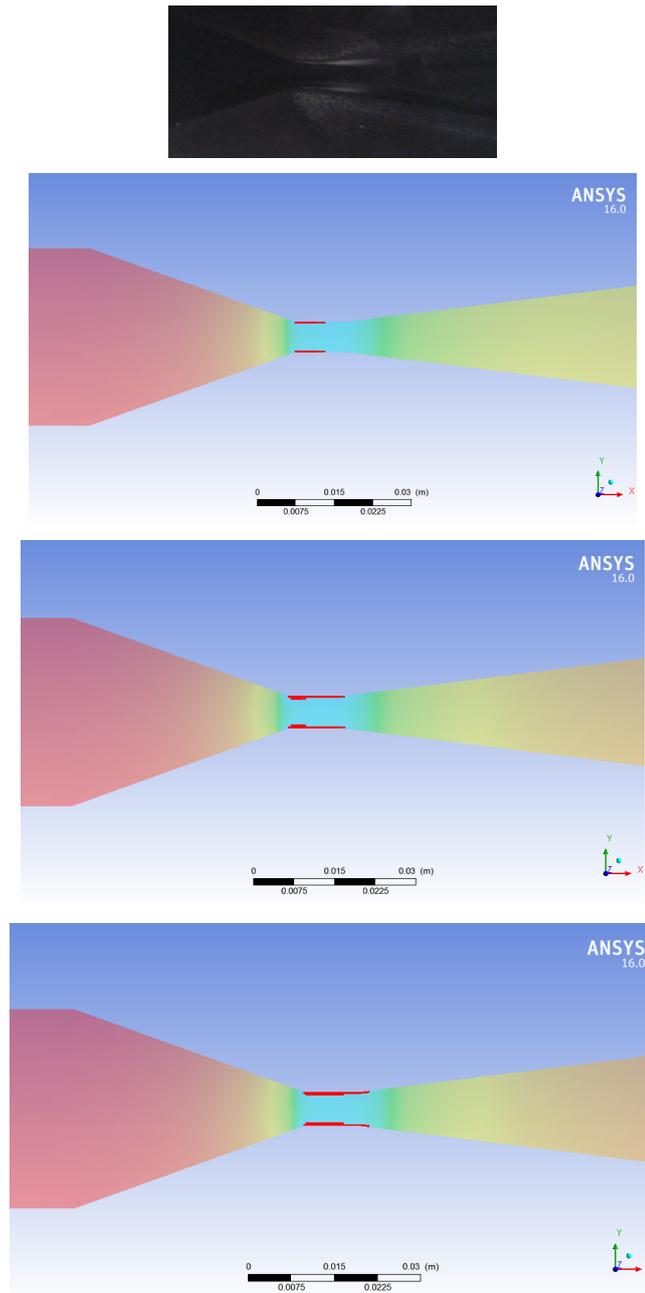
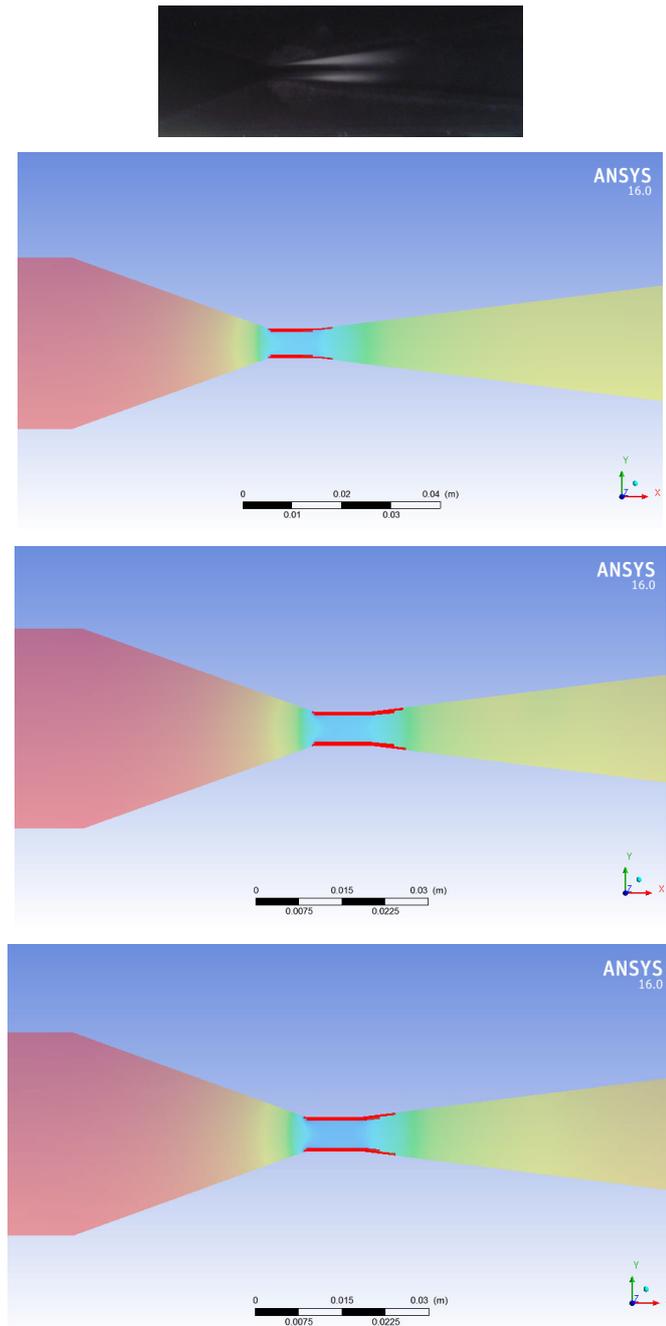


Figure 2. Volume de controle e malha utilizada no estudo numérico.



**Figure 3. Comparação entre dados experimentais e numéricos para 27,5 l/min, onde de cima para baixo temos a visualização experimental, modelos  $\kappa$ - $\epsilon$  (volume de cavitação =  $2.27602e-008$  m<sup>3</sup>),  $\kappa$ - $\omega$  (volume de cavitação =  $5.17955e-008$  m<sup>3</sup>) e SSG Reynolds Stress (volume de cavitação =  $6.09552e-008$  m<sup>3</sup>.)**

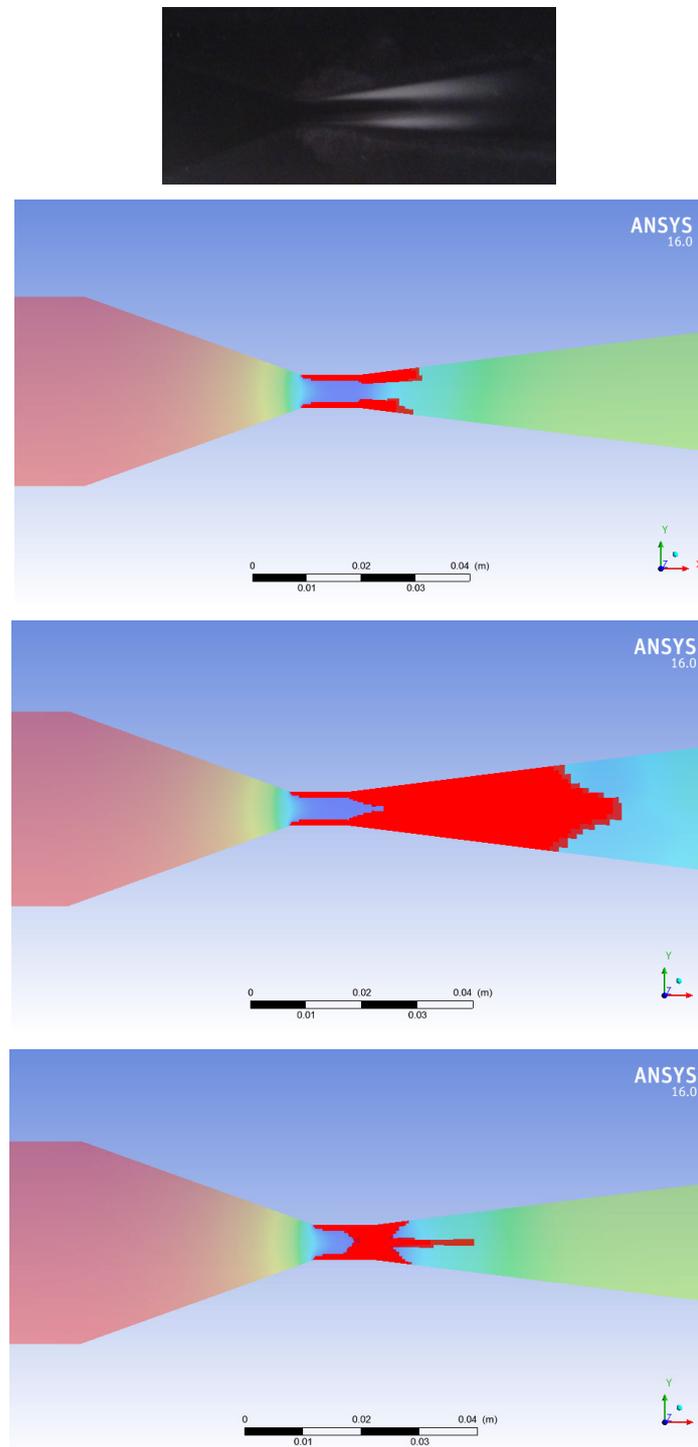


**Figure 4. Comparação entre dados experimentais e numéricos para 30 l/min, onde de cima para baixo temos a visualização experimental, modelos  $\kappa$ - $\epsilon$  (volume de cavitação =  $7.75294e-008 \text{ m}^3$ ),  $\kappa$ - $\omega$  (volume de cavitação =  $1.14298e-007 \text{ m}^3$ ) e SSG Reynolds Stress (volume de cavitação =  $1.03171e-007 \text{ m}^3$ ).**

### 3 RESULTADOS

Foram comparados diferentes vazões de forma a verificar a acurácia dos modelos de turbulência testados em detectar o início do fenômeno cavitação. No aparato experimental, a cavitação teve início com 27,5 l/min. O modelo que apresentou melhor resultado foi o  $\kappa$ - $\epsilon$  que teve início da cavitação na vazão de 27,5 l/min. O SSG Reynolds Stress apresentou cavitação

com 25 l/min enquanto que o  $\kappa\text{-}\omega$ , mostrou o primeiro sinal de cavitação na vazão de 26 l/min. A forma utilizada para mensurar a cavitação foi o “volume de cavitação”, que é uma ferramenta do CFX que mede o volume da região que apresenta bolhas de vapor. Na Fig. 3



**Figure 5. Comparação entre dados experimentais e numéricos para 35 l/min, onde de cima para baixo temos a visualização experimental, modelos  $\kappa\text{-}\epsilon$  (volume de cavitação =  $3.52808\text{e-}007$  m<sup>3</sup>),  $\kappa\text{-}\omega$  (volume de cavitação =  $2.95109\text{e-}006$  m<sup>3</sup>) e SSG Reynolds Stress (volume de cavitação =  $3.88518\text{e-}007$  m<sup>3</sup>).**

é mostrada uma comparação do modelo experimental e das três simulações para a vazão de 27,5 l/min. Na Fig. 3 temos ainda a ilustração do volume de cavitação para os três modelos de turbulência analisados. Qualitativamente, temos que o modelo que mais se assemelha ao aparato experimental foi o modelo de turbulência  $\kappa$ - $\epsilon$ . Os valores do volume de cavitação encontrados foram  $2.27602e-008 \text{ m}^3$  para o  $\kappa$ - $\epsilon$ ,  $5.17955e-008 \text{ m}^3$  para o  $\kappa$ - $\omega$  e  $6.09552e-008 \text{ m}^3$  para o SSG Reynolds Stress.

Outras vazões são ilustradas nas Fig. 4 e Fig. 5. Observa-se mais uma vez que os valores do volume de cavitação são menores para o modelo  $\kappa$ - $\epsilon$ . Qualitativamente temos que os dados estão coerentes e para essas vazões (30 e 35 l/min) o modelo  $\kappa$ - $\epsilon$  apresenta resultados mais acurados. Os valores encontrados foram  $7.75294e-008 \text{ m}^3$  para o modelo de turbulência  $\kappa$ - $\epsilon$ ,  $1.14298e-007 \text{ m}^3$  para o  $\kappa$ - $\omega$  e  $1.03171e-007 \text{ m}^3$  para o SSG Reynolds Stress com a vazão de 30 l/min. Para a vazão de 35 l/min, encontramos  $3.52808e-007 \text{ m}^3$ , de volume de cavitação para o modelo  $\kappa$ - $\epsilon$ ,  $2.95109e-006 \text{ m}^3$  para o  $\kappa$ - $\omega$  e  $3.88518e-007 \text{ m}^3$  e para o SSG Reynolds Stress.

## 4 CONCLUSÃO

Foi feito um estudo numérico e experimental sobre a cavitação induzida em um venturi. Foram testados diferentes modelos de turbulência e distintas vazões. A primeira análise se deu no sentido de determinar qual o modelo detectaria com melhor precisão o início da cavitação. Nesse teste inicial, o  $\kappa$ - $\epsilon$  apresentou melhores resultados, uma vez que iniciou a cavitação na mesma vazão que no aparato experimental. Outras análises foram feitas no sentido de determinar qualitativamente qual modelo se mostraria mais real na comparação com os dados experimentais. Foram analisadas as vazões de 30 e 35 l/min. Mais uma vez o modelo  $\kappa$ - $\epsilon$  apresentou os melhores resultados. Dessa forma, podemos concluir que para a geometria e condições analisadas o modelo mais realista foi o modelo de turbulência  $\kappa$ - $\epsilon$ .

Este é um estudo em fase inicial e, para sua continuidade, pretende-se analisar de forma mais quantitativa os valores encontrados na bancada experimental, além de produzir mais resultados numéricos, estudando o tamanho da bolhas, editar constantes do modelo de Rayleigh Plesset e fazer a simulação transiente.

## ACKNOWLEDGEMENTS

Os autores gostariam de agradecer à FAPEMIG (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais) por suporte durante esse trabalho.

## REFERENCES

- Ansys CFX-Solver Theory Guide, 2009, Ansys, Inc. Sourpoint
- Dang, L. Liu r. & Pouw, C. P., 2013, *Waterjet System Performance and Cavitation Test Procedures*, Third International Symposium on Marine Propulsors, Launceston, Tasmania.

Koivula, T. 2000, *On Cavitation in Fluid Power*, Proc, of 1º FPNI-PhD Symposium, Hamburgo, pp 371-382.

Martynov S. B. Mason D. J. & Heikal M. R., 2006, *Numerical Simulation on Cavitation flows based on Their hydrodynamics Similarity*, International Journal of Engine Research, June 1, vol 7, n. 3, 283-296.

Mattos, E. E. & Falco R., 1998, *Bombas Industriais*, Editora Interciência.

Milan, S. Patrik Z. Tomás N. & Frantisek M. 2008, Analysis of Cavitation Phenomena in Water and its Application to Prediction of Cavitation Erosion in Hydraulic Machinery, ICPWS XVm Berlin, September 8-11,

Terwisga, T. J. C. Fiszsimmons P. Ziru L. & Foeth E. J, 2009, *Cavitation Erosion – A review of Physical Mechanism and Erosion Risk Models*, Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Symposium on Cavitation, CAV2009 – Paper n 41, August 17-22, Ann Arbor, Michigan, USA.