



ANÁLISE VISUAL E NUMÉRICA DA INFLUÊNCIA DE SUPRESSORES PASSIVOS DE VIBRAÇÕES INDUZIDAS POR VÓRTICES - VIV

Pedro Henrique de Carvalho de Mattos, phmattos97@gmail.com¹
Henrique Freitas Martins, henriquefreitasmartins@hotmail.com¹
Lucas Henrique Vieira Dias, lucas_henriquevd@hotmail.com¹
José Leandro Cardoso Rivera Vila, jl.vila@hotmail.com¹
Tiago de Melo, Tiago.melomec@gmail.com²

¹Centro Universitário do Distrito Federal, Brasília, 70.390-045, Brasil

²Universidade de Brasília, Gama, 72.405-601, Brasil

Resumo. O fenômeno de vibrações induzidas por vórtices (VIV) é extremamente prejudicial para as estruturas de extração de petróleo uma vez que estas são encontradas, em sua grande maioria, inseridas no mar e, conseqüentemente, submetidas a condições ambientais adversas. Uma das maneiras de amenizar os efeitos produzidos pela emissão de vórtices é a instalação de supressores, pois eles alteram o escoamento em torno da superfície possibilitando a redução das vibrações. Este trabalho estuda os mecanismos de desprendimento de vórtices e a formação da esteira com o intuito de realizar uma análise visual e numérica sobre supressores VIV fairing e splitter e verificar sua eficiência ao variar as relações de comprimento. Os testes foram conduzidos em uma bancada hidráulica com um número fixo de Reynolds, igual a 1.5×10^3 e os supressores tiveram suas relações de comprimento L/D variadas em 2, 3 e 4 e foram dotadas de rasgos de $0,2D$ de comprimento e $0,05D$ de profundidade em sua superfície. Após os testes experimentais, foram realizadas análises numéricas a fim de comparação e validação das estruturas. Os resultados mostram que o supressor fairing 4D se mostrou mais eficiente.

Palavras chave: Vibrações Induzidas por Vórtices, Desprendimento de Vórtices, Supressores VIV, Fairing, Splitter.

1. INTRODUÇÃO

O escoamento em torno de corpos rombudos tem sido alvo de constantes estudos dentro das diversas áreas científicas visando soluções e melhorias para as aplicações de interação fluido-estrutura. O grande destaque é identificado no escoamento incidente sob os tubos de prospecção e transporte de petróleo, onde há o desenvolvimento de vibrações induzidas por vórtices (VIV) pela ação de correntes marítimas e fluviais, Pinto (2012).

O procedimento de extração do petróleo é feito por plataformas flutuantes equipadas com risers, dutos que transportam o óleo do leito marítimo até as plataformas. Todavia, sua operação não é tão simples, uma vez que grande parte dos setores de extração estão inseridos no mar e, conseqüentemente, submetidos a extremas condições ambientais, ondas, correntes marinhas e vento, Mansur (2011). Tais condições são responsáveis por causarem interferências originadoras de VIV. Para Cicolin (2014), esse fenômeno é causado pela interação entre fluido e estrutura, originando vibrações geradas pelo desprendimento de vórtices ao redor do corpo rombudo. Segundo o autor é necessário que haja um constante desenvolvimento na área de extração de petróleo de plataformas Offshore, o complexo método de atividade requer diversos cuidados.

O surgimento do fenômeno de vibrações é um agente potencial causador de debilidades estruturais, tornando os custos ainda mais elevados, Trim et al. (2005). Como forma de diminuir esses efeitos destrutivos causado pela vibração, Blevins (1990) propôs que a amplitude da ressonância da VIV pode ser reduzida através da instalação de supressores em torno do corpo. A atenuação de VIV é um grande problema para toda a engenharia, tal método é capaz de reduzir o fenômeno de vibração em até 80%, Kumar et al. (2008). Esses supressores são estruturas que alteram o escoamento em volta dos dutos, possibilitando a redução das vibrações originadas pela emissão de vórtices. Em síntese, são dispositivos que alteram de maneira contrária o desenvolvimento da camada cisalhante embargando a criação de vórtices e seu descolamento, De Araújo et al. (2016).

Tomando como base as degradações estruturais causadas por VIV, o seguinte trabalho tem como objetivo explorar o fenômeno de desprendimento da camada limite e a formação de vórtices em um escoamento transversal sobre corpos rombudos, realizar um estudo experimental sobre supressores VIV, estudar a eficiência do dispositivo variando suas relações de comprimento observando o efeito na esteira de vórtices e analisar os fatores aerodinâmicos do cilindro liso e compara-los aos encontrados nos supressores, buscando orientar o aprimoramento da geometria para proporcionar supressores mais eficientes.

2. METODOLOGIA

Este trabalho busca realizar um estudo experimental em um canal hidráulico. Seu objetivo é obter a representação visual do escoamento ao redor de cilindros, o desprendimento e formação de vórtices, empregando um circuito fechado de circulação de água a temperatura ambiente.

Para a simulação das análises comparativas, utilizou-se o *software* Ansys™ programa para modelagem e simulações abrangentes.

2.1. Canal Hidráulico

Para realizar o estudo qualitativo do desprendimento de vórtices foi utilizado o método de visualização em canal hidráulico. O canal hidráulico usufruído pertence ao Centro Universitário do Distrito Federal – UDF e dispõem de um comprimento de 2,5 m com seção retangular e paredes de policarbonato transparente permitindo a visualização.

O sistema de alimentação do tanque de entrada passa por uma placa perfurada e suas paredes são perfiladas com contração suave na direção da seção de trabalho com a intenção de reduzir a turbulência de água no canal. O fluido de trabalho escoar por uma seção de teste de 70 x 250 mm em um sistema fechado. O fluido é inserido no canal por meio de uma bomba centrífuga de aço inox com 0,6 Kw de potência e uma vazão máxima de 4,8 m³/h. O sistema hidráulico pode ser observado na Fig. 1.

Figura 1. Bancada Hidráulica do Centro Universitário do Distrito Federal – UDF
FONTE: Elaborada pelo autor.

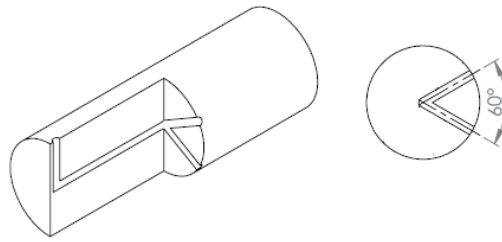


- | |
|---|
| 1. Bomba Centrífuga |
| 2. Reservatório de armazenamento |
| 3. Tanque de entrada de água |
| 4. Seção retangular de policarbonato transparente (seção de testes) |
| 5. Tanque de saída de água |

2.2. Cilindro Liso e Supressores

Para a visualização do fenômeno de desprendimento de vórtices ao longo do escoamento em um cilindro foi utilizada a tinta nanquim preta a base de resina acrílica. A tinta foi introduzida por meio de um capilar de cobre de 2mm de diâmetro em um canal projetado na peça, que leva à duas saídas simétricas defasadas em um ângulo 60° uma da outra e localizadas a montante do escoamento principal, a fim de evitar o ponto de estagnação, Destefani (2016). Na Fig. 2. Observa-se o canal projetado na peça.

Figura 2. Canal projetado para passagem da tinta.
Fonte: Elaborada pelo autor.

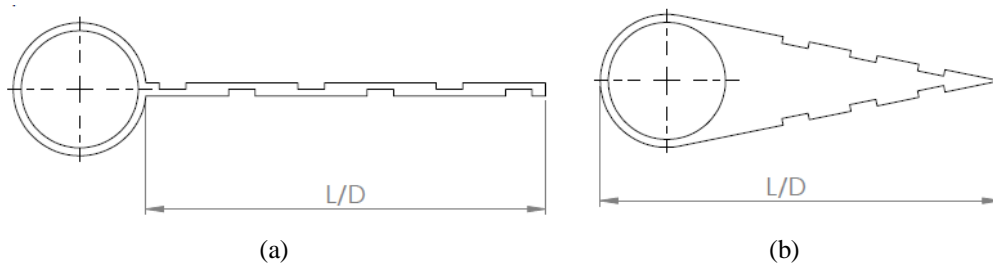


Para os testes em cilindro liso foi utilizado um cilindro de alumínio de 25 mm de diâmetro externo e 71 mm de comprimento localizado a dez diâmetros hidráulicos da entrada do escoamento e a inserção da tinta no capilar de cobre foi feita, assim como em, Vila *et al.* (2018), utilizando uma seringa e uma agulha de 0,8 mm de diâmetro.

A confecção de ambos os supressores foi feita tomando como base um cilindro com o 22 mm de diâmetro externo, com os mesmos canais e furos do cilindro liso. Os dispositivos são encaixados nesse cilindro e possuem um diâmetro interior e exterior de, respectivamente, 22 e 25 mm, ambas com um comprimento de 71 mm. Os parâmetros geométricos dos supressores variaram suas relações de comprimento L/D em 2.0, 3.0 e 4.0 e os dispositivos foram feitos por meio de impressão 3D.

Além das relações de comprimentos, também foi adicionado seis rasgos em cada peça a fim de verificar a influência dos mesmos na redução da esteira de vórtices. Os rasgos foram confeccionados utilizando os parâmetros de Law (2018) cada rasgo tem 0,05D de profundidade e 0,2D de comprimento. Os rasgos podem ser observados na Fig. 3.

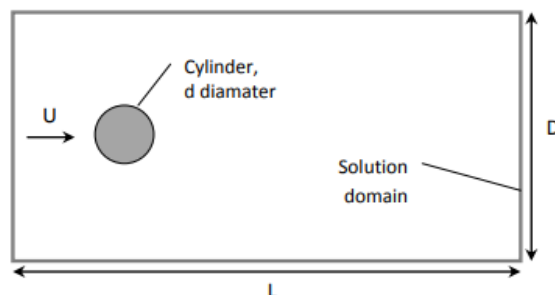
Figura 3. Parâmetros das relações de comprimento L/D dos supressores com rasgos. (a) *Splitter* (b) *Fairing*
Fonte: Elaborada pelo autor.



2.3. Análise Numérica

A análise numérica foi feita utilizando do software Ansys™, utilizando da ferramenta *Fluent* para fazer as simulações numéricas. O domínio de solução define o desenvolvimento da simulação calculada. O formato dele pode ser retangular ou circular. Geralmente, as simulações utilizam o retangular em formato de caixa como visto na Fig. 4.

Figura 4. Formato retangular de um domínio de solução ($L \times D$). (Asyikin, 2012).



A escolha do formato do domínio de solução pode afetar no resultado do problema. Quanto menor o tamanho é preciso de menos interações para resolver o problema, enquanto que os grandes domínios precisam de mais tempo para a solução. O domínio de solução criado para a simulação seguiu o padrão da bancada hidráulica, $L = 500$ mm, $D = 150$ mm e o cilindro foi posicionado a 100 mm da entrada *inlet*.

A malha criada para efetuar a simulação foi em sua grande maioria do tipo triangular com um tamanho máximo de $2,5 \times 10^{-3}$ m. Porém, ao redor das estruturas foi feita uma malha quadrada para ficar mais uniforme com um tamanho de $2,5 \times 10^{-4}$ m e 20 camadas com um crescimento de 1.5 de uma camada para a outra.

3. EQUAÇÕES GOVERNANTES

O começo do processo de desprendimento de vórtices se estabelece com desaceleração do fluido de trabalho devido a gradientes de pressão adversos. O fluido é retardado até seu encontro na camada limite, onde sofre uma inversão, acarretando na separação do escoamento. São formadas, então, duas camadas cisalhantes que possuem vorticidades opostas, dando origem à geração de vórtices, Zdravkovich (1997).

O escoamento ao redor de cilindros e o desprendimento de vórtices são relacionados em função do número de Reynolds, definido como na Eq. 1.

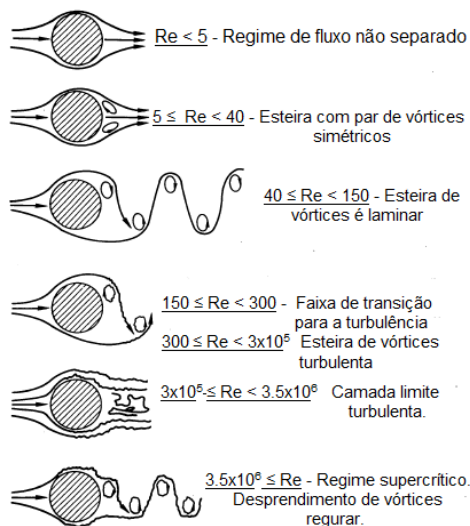
$$Re = \frac{UD}{\nu} \quad (1)$$

Onde U é a velocidade do escoamento ao longe, D é o diâmetro do cilindro e ν é a velocidade cinemática do fluido.

Segundo Lienhard (1966), os regimes de desprendimento de vórtices se relacionam com o número de Reynolds, Fig. 5, e são classificados como:

- $Re < 5$, não apresenta descolamento da camada limite, fazendo com que o escoamento siga o contorno do cilindro;
- $5 \leq Re < 40$, formação de um par de vórtices simétricos devido a separação da camada limite;
- $40 \leq Re < 150$, Instabilidades na camada cisalhante provocam oscilações na esteira de vórtices;
- $150 \leq Re < 300$, Apesar da camada limite sobre o cilindro seja laminar, o desprendimento de vórtices se torna turbulento;
- $300 \leq Re < 3 \times 10^5$, Regime subcrítico, desprendimento de vórtices periódico e camada limite laminar a superfície do corpo. Transição para turbulência ocorre antes da formação dos vórtices.
- $3 \times 10^5 \leq Re < 3.5 \times 10^6$, Regime de transição, onde a camada limite se torna turbulenta. O ponto de transição a turbulência se aproxima do descolamento laminar. Camadas cisalhantes tendem a colar novamente ao corpo;
- $3.5 \times 10^6 \leq Re$, Regime supercrítico, onde o desprendimento de vórtices é regular devido à camada limite turbulenta no cilindro, uma vez que esta resiste mais aos gradientes adversos de pressão.

Figura 5. Regime de fluido em torno de um cilindro circular. Adaptado de Lienhard (1966).

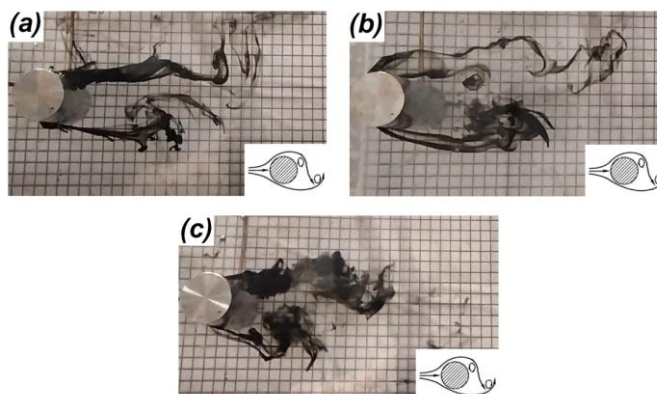


4. RESULTADOS

4.1. Validação do Canal Hidráulico

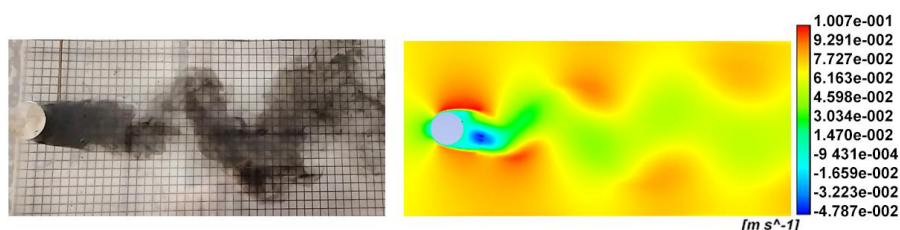
Para averiguar se o método de visualização do escoamento proposto apresenta resultados válidos, alguns testes preliminares foram executados. Os testes abrangeram a visualização do escoamento sobre um único cilindro disposto na horizontal, sendo estes analisados para diferentes números de Reynolds. Os resultados obtidos foram comparados com os regimes de desprendimento de vórtices apresentados por Lienhard (1966), Fig. .6. As comparações feitas apresentam consonância entre as estruturas, validando o método de visualização efetuado. Todavia, por limitações de recurso instrumental, apenas foi possível apresentar dados referentes ao regime onde a esteira de vórtices é turbulenta, $300 \leq Re < 1,5 \times 10^5$.

Figura 6. Visualizações do escoamento ao redor de um cilindro comparados com os regimes de desprendimento de vórtices apresentados por (Lienhard, 1996). (a) $Re= 350$; (b) $Re= 1,5 \times 10^3$; (c) $Re=2,7 \times 10^3$.



As visualizações e simulações em cilindro liso foram realizadas anteriormente, com o intuito de obter um entendimento das características do escoamento. Os dados foram coletados com o cilindro na posição horizontal em relação ao escoamento. Analisou-se o desprendimento de vórtices assim como sua amplitude da esteira, mantendo o número de Reynolds fixo em $Re= 1,5 \times 10^3$, Fig. 7. O número de Reynolds foi obtido conforme a equação 1.

Figura 7. Comparação entre as esteiras geradas em um cilindro fixo.
Fonte: Elaborada pelo autor.



O escoamento a montante ao chegar em volta do cilindro sofre uma redução em sua velocidade ao redor da superfície, originando dois vórtices que se orientam de maneira contrária. Esses vórtices crescem e instabilizam a camada cisalhante, iniciando um processo de desprendimento de vórtices que culmina na formação da esteira. A esteira é alternada entre os dois vórtices que se movem em sentidos opostos, elevando sua amplitude.

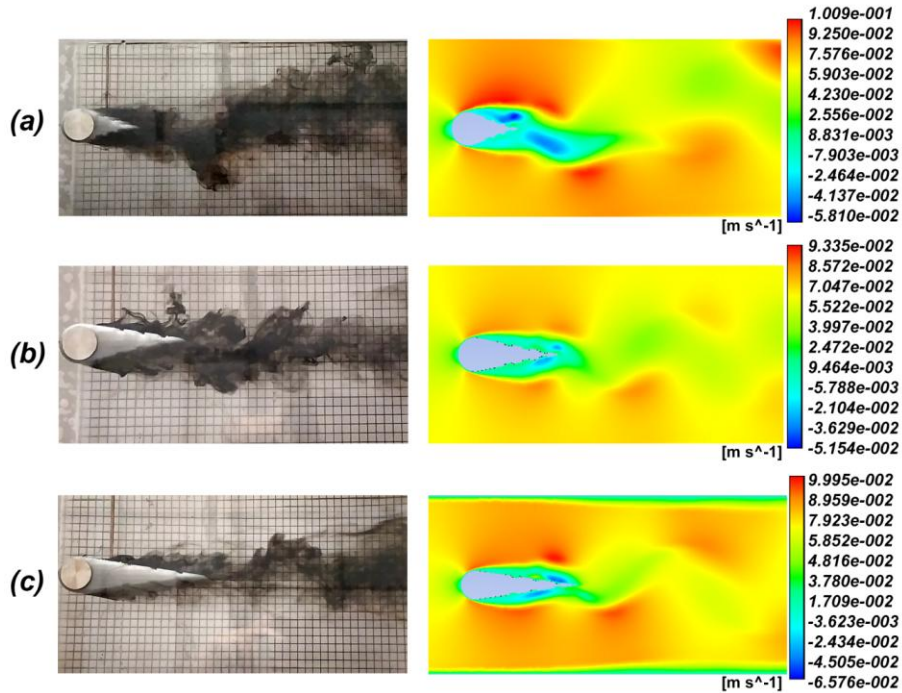
Na Tab. 2, apresentam-se valores dos coeficientes de sustentação (CL) e arrasto (CD). Pode-se observar que eles apresentam concordância com os resultados dos trabalhos de autores como Bono *et al* (2012), Franke *et al* (1990) e a Asyinkin (2012).

Tabela 2 – Comparação entre os coeficientes aerodinâmicos.
Fonte: Elaborada pelo autor.

Referências	CD	CL
Presente trabalho	1.71	1.54
Bono <i>et al</i> (2012)	1.515	1.63
Franke <i>et al</i> (1990)	1.47	1.36
Asyinkin (2012)	1.40	1.22

Na Fig. 8, mostra-se a distribuição da amplitude da esteira para o supressor com rasgos do tipo *fairing* à medida que sua relação de comprimento L/D aumenta. Para uma melhor compreensão de suas estruturas, também foram incluídas as visualizações numéricas.

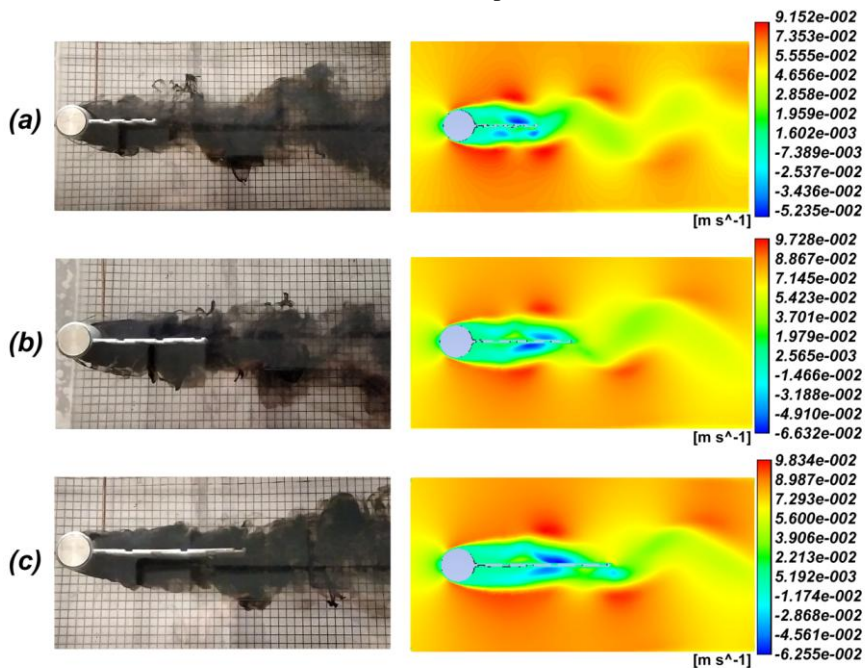
Figura 8. Comparação entre as esteiras geradas em supressor tipo *fairing* com rasgos. (a)L/D= 2.0 (b)L/D=3.0 (c)L/D=4.0.
 Fonte: Elaborada pelo autor.



Analisando a figura, pode-se verificar que, quando comparados com o cilindro fixo, os dispositivos resultaram em uma redução das estruturas formadas na esteira, fazendo com que o ponto de separação fosse deslocado para jusante e a distância entre os vórtices fosse elevada.

Após estudar o escoamento em torno do supressor *fairing*, foi analisado o escoamento com a inserção de placas com sulcos a jusante do cilindro. A presença dos dispositivos *splitter* com sulcos faz com que os vórtices originados na camada cisalhante do cilindro percam sua intensidade. Isso se dá devido à formação de um vórtice na superfície da placa, Fig .9.

Figura 9. Comparação entre as esteiras geradas em supressor tipo *splitter* com rasgos. (a)L/D= 2.0 (b)L/D=3.0 (c)L/D=4.0.
 Fonte: Elaborada pelo autor.



Conforme a placa aumenta, a configuração dos vórtices é alterada. As placas são longas o suficiente e isso faz com que formação de vórtices ocorra durante o comprimento da mesma. Na medida em que a superfície aumenta, nestes casos, ocorre um afastamento do vórtice da esteira em relação ao cilindro. Na Tabela 03, são apresentados dos coeficientes de sustentação (CL) e arrasto (CD) produzidos pelos supressores.

Tabela 03 – Coeficientes aerodinâmicos dos supressores.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Supressores		CD	CL
Fairing	2D	1.1353	1.2207
	3D	1.051	1.371
	4D	1.0099	1.051
Splitter	2D	1.3522	1.8879
	3D	1.3113	1.6617
	4D	1.345	1.408

5. CONCLUSÃO

Este trabalho desenvolveu um estudo acerca do mecanismo de desprendimento de vórtices e a formação da esteira em um escoamento transversal sobre um cilindro, objetivando realizar uma análise comparativa sobre supressores VIV e verificar a influência destes em diminuir as estruturas na esteira e ao variar suas relações de comprimento. O estudo abrangeu supressores do tipo *fairing* e *splitter* com rasgos e os dispositivos variaram suas razões de comprimento L/D em 2.0, 3.0 e 4.0.

Os testes mostraram que os dispositivos diminuíram as amplitudes dos vórtices presentes na esteira, os coeficientes de arrasto e, nos dispositivos *fairing*, de sustentação. Apesar de todos os dispositivos se mostrarem eficazes, o supressor do tipo *fairing* com L/D igual a 4.0 se mostrou mais eficiente, diminuindo os coeficientes de arrasto e sustentação em, respectivamente, 41% e 32 %.

As análises visuais e numéricas das estruturas presentes na esteira em um cilindro ou dos supressores verificam que a metodologia desenvolvida permite investigar a eficiência dos dispositivos em suprimir os vórtices indutores de vibrações. Os resultados preliminares demonstram que a presença dos supressores é capaz de minimizar os efeitos instáveis presentes na esteira e diminuir as forças de arrasto e sustentação

6. REFERÊNCIAS

- Akilli, H., Karakus, C., Akar, A., Sahin, B., Tumen, N.F., 2008. "Control of Vortex Shedding of Circular Cylinder in Shallow Water Flow Using an Attached Splitter Plate". *Journal of Fluids Engineering*, v. 130.
- Allen, D.W., Lee, L., Henning, D., 2008. "Fairings vs. Helical Strakes for Suppression of Vortex-Induced Vibration: Technical Comparisons". *Offshore Technology Conference, Texas. Journal of Fluids and Structures*.
- Assis, G.R.S., 2005. "Estudo experimental do efeito de interferência no escoamento ao redor de cilindros alinhados". *Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Mecânica, São Paulo*.
- Asyikin, M.T., 2012. *CFD simulation of vortex induced vibration of a cylindrical structure*. MS thesis. Norwegian University of science and Technology, NTNU, Trondheim, Noruega.
- Bearman, P.W., 2011. "Circular cylinder wakes and vortex-induced vibrations". In: *Journal of Fluids and Structures*, 2011, London. *Journal of Fluids and Structures* 27.
- Blevins, R.D., 1990. "Flow-Induced Vibrations". 254 p. Van Nostrand Reinhold. New York, United States of America.
- Blevins, R.D., 2001. "Flow-Induced Vibration". 2 ed. [S.I]: Krieger Publishing Company.
- Bono, G., Cabral, D.N., Bono, G.F., 2012. "Estudo numérico de atenuadores e supressores de vibrações induzidas por vórtices em cilindros circulares". In: *II Congresso Latinoamericano de Ingeniería Del Viento, 2012, La Plata. Universidad Nacional de La Plata*.
- Cicolin, M.M., 2014. "Supressão da vibração induzida por vórtices de cilindros com malha permeável". 105 f. *Dissertação (Mestre em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo*.
- De Araújo, L.A., Schettini, E.B.C., Silvestrini, J., 2016. "Análise da eficiência de supressores de vibração induzida por vórtices no regime laminar". *I Congresso Brasileiro de Fluidodinâmica Computacional, 2016, Campo Grande: CBCFD*.

- Destefani, B.V., 2016. “Visualização da biestabilidade em dois cilindros circulares dispostos lado a lado em um canal hidráulico posicionados na horizontal e na vertical”. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Franke, R. et al., 1990. “Numerical Calculation of Laminar Vortex Shedding Flow Past Cylinders”. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Elsevier. Amsterdam..
- Gerrard, J., 1966. “The mechanism of the formation region of vortex behind bluff bodies”. Journal of fluid mechanics, v.25, p. 401-413.
- Huera-huarte, F.J., 2014. “On splitter plate coverage for suppression of vortex-induced vibrations of flexible cylinders”. Applied Ocean Research, v. 48, p. 244-249.
- Kumar, R.A., Gowda, C.S., e Bangalore H.L., 2008. “Passive Control of Vortex-Induced Vibrations: An Overview”. School of Mechanical Engineering, Kyungpook National University. Korea.
- Law, Y.Z., Jaiman, R.K., 2018. “Passive control of vortex-induced vibration by spanwise grooves”. Journal of Fluids and Structures, v.83, Canada.
- Lienhard, J.H., 1966. “Synopsis of lift, drag and vortex frequency data for rigid circular cylinders”. Washington State University, College of Engineering, Research Division Bulletin 300.
- Mansur, A.L., 2011. “Análise dinâmica não linear de viga esbelta semi-infinita sob flexão composta com contato unilateral em apoio elástico: Uma aplicação ao estudo de vibrações de risers em catenária”. 142 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Pinto, L.C., 2012. “Análise por simulação numérica direta do escoamento ao redor de um cilindro submetido a vibração induzida por vórtices”. 2012. 141 f. Tese (Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.
- Trim, A.D. et al., 2005. “Experimental investigation of vortex-induced vibration of long marine risers”. Journal of Fluids and Structures.
- Vila, J.L.C.R., Almeida, P.P.S., Melo, T., 2018. “Experimental analysis of the vortex breakdown Formation in draft tubes”. In: 11th Spring School on Transition and Turbulence, Uberlândia, MG. Uberlândia: ETT-2018.
- Wang, J. et al., 2010. “Numerical simulation of flow control on marine riser with attached splitter plate”. In: ASME 2010 29th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering. American Society of Mechanical Engineers. p. 489-498.
- Zdravkovich, M., 1997. “Flow around circular cylinders”. 1. ed. Vol 1. Oxford Science Publications

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.