



Fundação Universidade Federal do ABC

Pró reitoria de pesquisa

Av. dos Estados, 5001, Santa Terezinha, Santo André/SP, CEP 09210-580

Bloco L, 3º Andar, Fone (11) 3356-7617

iniciacao@ufabc.edu.br

Projeto de Iniciação Científica submetido  
para avaliação no Edital: **(Nº 4/2022)**

**Título do projeto:** Captação de energia limpa a partir da vibração induzida por vórtices de dois cilindros circulares em tandem: um cilindro fixo e o outro livre

**Palavras-chave do projeto:** Vibração induzida por vórtices, cilindros dispostos em tandem, dinâmica dos fluidos computacional, coleta de energia limpa.

**Área do conhecimento do projeto:** Aeroelasticidade, Interação Fluido-Estrutura

## **Captação de energia limpa a partir da vibração induzida por vórtices de dois cilindros circulares em tandem: um cilindro fixo e o outro livre**

### **Resumo**

Quando um cilindro rígido suportado elasticamente está imerso em uma correnteza de água, ocorre que vórtices são desprendidos da superfície do cilindro, gerando-se forças hidrodinâmicas cíclicas sobre o corpo, produzindo-se a vibração do cilindro na direção transversal ao escoamento. Se a frequência de desprendimento de vórtices é próxima da frequência de vibração natural do cilindro, então entra-se em ressonância. Há uma faixa de velocidades intermediárias de correnteza na qual ocorre a ressonância, fora dessa faixa, para baixas e altas velocidades, o cilindro não vibra.

Ao adicionar um cilindro estacionário na frente do cilindro permitido a vibrar, a esteira à jusante do cilindro da frente afeta o escoamento que impacta o cilindro de trás interferindo na sua dinâmica.

Dependendo da distância de separação entre ambos os cilindros, da elasticidade e o amortecimento do suporte do cilindro de trás, e da massa do cilindro, a vibração natural do cilindro de trás pode mudar drasticamente. Como deseja-se maximizar a captação de energia vibracional do cilindro de trás e posteriormente convertê-la em energia elétrica, surge a necessidade de determinar o melhor grupo de valores desses parâmetros para maximizar a vibração e com isso a potência elétrica fornecida.

Dentro desse contexto, o presente projeto de pesquisa visa conduzir um estudo numérico da influência da esteira do cilindro da frente sobre a vibração induzida por vórtices do cilindro de trás, buscando maximizar a vibração deste último cilindro. O estudo aborda somente a vibração do cilindro de trás na direção transversal à correnteza. Uma análise bidimensional de interação fluido-estrutura é considerada, e as simulações numéricas serão conduzidas por Dinâmica de Fluidos Computacional usando o software ANSYS FLUENT.

**Palavras chaves:** Vibração induzida por vórtices, cilindros dispostos em tandem, dinâmica dos fluidos computacional, coleta de energia limpa.

## 1 Introdução

A Fig. 1(a) mostra o modelo físico de um cilindro rígido suportado elasticamente imerso em uma correnteza. O cilindro vibra na direção transversal à correnteza devido ao desprendimento de vórtices à jusante. A energia vibracional produzida pelo movimento do cilindro é convertida em energia elétrica através de um sistema conversor de energia. A Fig. 1(b) representa o respectivo modelo de análise onde  $U$ , é a velocidade da correnteza,  $K$  a rigidez do suporte elástico, e  $C$  o amortecimento total do sistema. A Fig. 2 mostra um parque desses cilindros rígidos elasticamente suportados para captação de energia limpa. Daqui surge a principal motivação desse projeto de pesquisa.

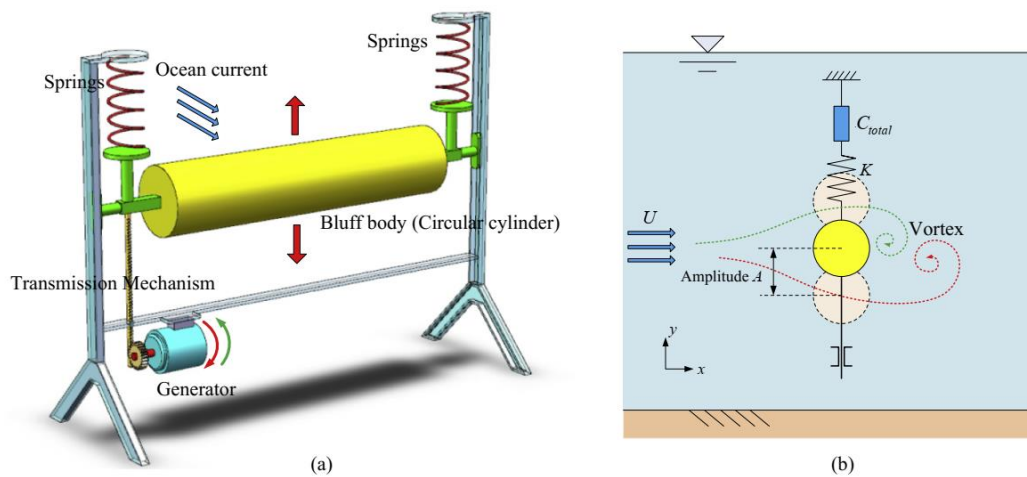


Figura 1. (a) Cilindro rígido suportado elasticamente imerso em uma correnteza oceânica. (b) Modelo de análise.

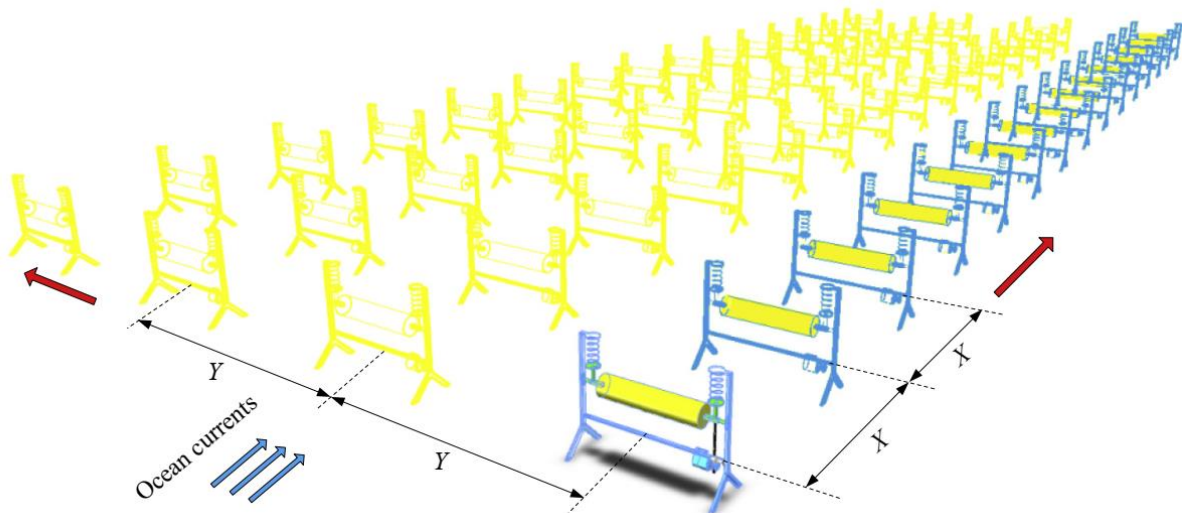


Figura 2. Parque de cilindros elasticamente suportados submersos em correnteza oceânica, para geração de energia limpa.

Um único cilindro imerso em correnteza vibra pelo desprendimento de vórtices. Há uma faixa de velocidades de correnteza na qual a frequência de desprendimento de vórtices é capturada pela frequência natural do cilindro, para a qual o cilindro está em ressonância possuindo maiores amplitudes de vibração. Tal estado do cilindro é chamado de sincronização ou de *locking*. Em baixas e altas velocidades de correnteza, o cilindro está fora da região de *locking* e sua amplitude de vibração diminui. A região de *locking* é definida pelos parâmetros do sistema: rigidez, amortecimento e massa do cilindro.

O ideal é que esse cilindro vibre com altas amplitudes e frequências de vibração em uma ampla faixa de velocidades de correnteza, para maximizar a disponibilidade de potência mecânica por períodos de tempo prolongados. Porém, isto não pode ocorrer com um único cilindro. Então, surge a necessidade de adicionar um cilindro livre ou estacionário na frente do primeiro, de forma que, a esteira do cilindro da frente interfira na dinâmica do cilindro de trás aumentando sua vibração.

Assim tem-se dois cilindros dispostos em tandem, como se vê na Fig. 3, o da frente fixo e de trás montado sobre base elástica livre para vibrar. Dentro desse contexto propõe-se analisar os efeitos de diferentes espaçamentos entre os cilindros e do amortecimento do suporte elástico, e da massa do cilindro, sobre a vibração do cilindro permitido a vibrar.

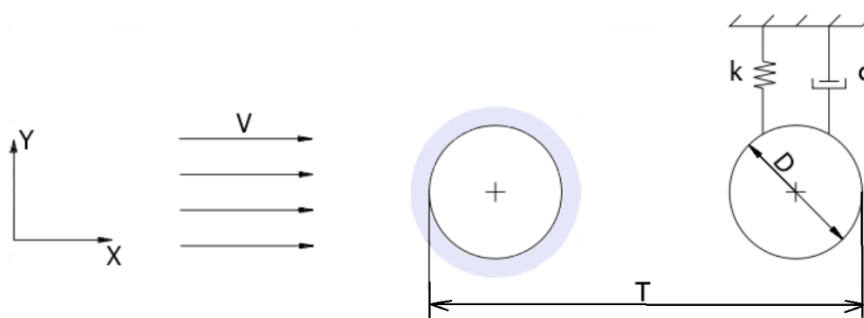


Figura 3. Cilindros dispostos em tandem

## 1.1 Objetivos

O principal objetivo deste projeto de iniciação científica é conduzir simulações bidimensionais por DFC (Dinâmica de Fluido Computacional) de dois cilindros em tandem imersos em correnteza de água, o cilindro da frente fixo e o de trás suportado elasticamente com liberdade para se mover na direção transversal à correnteza, para diferentes parâmetros do sistema, diga-se, espaçamento, amortecimento e massa.

## 2 Revisão Bibliográfica

A partir de simulações bidimensionais de DFC, Xu et al. (2021) investigaram a resposta de dois cilindros circulares idênticos em tandem com razões de massa iguais a 2.6, cada cilindro com dois graus de liberdade de movimento, para uma faixa de número de Reynolds de 1470–10320 e razões de espaçamento de  $3 \leq T/D \leq 8$ . No cilindro da frente foi observado que, para  $T/D = 3$ , a sua máxima amplitude de vibração na direção do escoamento aumenta ligeiramente, enquanto que a mesma, na direção transversal ao escoamento, diminuiu ligeiramente em comparação à vibração de um cilindro isolado. Para  $T/D > 3$ , a resposta desse cilindro se assemelha à de um cilindro isolado. Para todos os valores de  $T/D$  simulados, foi observado que o cilindro de trás apresenta múltiplos picos de amplitudes nas suas vibrações na direção do escoamento e transversal a este, o que indica uma forte influência da esteira do cilindro da frente no movimento do cilindro de trás para  $3 \leq T/D \leq 8$ . Apesar de trazer resultados interessantes sobre a interação dos cilindros de uma montagem tandem, esse trabalho não considera a captação de energia das vibrações dos cilindros, nem seções transversais não circulares.

Li e Ishihara (2021) estudaram os efeitos das variações das razões de massa e espaçamento nas vibrações induzidas por escoamento de dois cilindros circulares em tandem para duas razões de massas diferentes (1,8 e 200) e razões de espaçamento variando entre 4 e 12. O número de Reynolds variou entre 2400 e 12000. O cilindro da frente foi mantido fixo, enquanto o cilindro de trás estava livre para vibrar na direção transversal ao escoamento. Foi observado que o cilindro de trás experimenta uma combinação de VIV e VIE para uma razão de massa igual a 1,8 e uma razão de espaçamento igual a 4, e VIV e VIE separados para uma razão de massa igual a 200 e razões de espaçamentos entre 4 e 12.

He et al. (2020) estudaram por DFC a captação de energia do cilindro de trás de uma montagem tandem, onde tal cilindro foi livre a se mover somente na direção transversal ao escoamento, enquanto o cilindro da frente permaneceu fixo. A faixa de número de Reynolds simulada foi de 3750–18750, com  $T/D = 4$ . Foi observado que o cilindro de trás, que experimenta VIE, absorveu mais energia do que o mesmo cilindro isolado nas mesmas condições. Ademais, um maior valor de razão de amortecimento para o cilindro de trás conduziu a um aumento da eficiência do sistema em captar energia, apesar de diminuir sua máxima amplitude de vibração. O estudo, porém, não considerou o caso em que os dois cilindros estão livres para vibrar.

### **3. Metodologia**

O aluno usará o software comercial ANSYS FLUENT para conduzir as simulações bidimensionais de DFC. Inicialmente estudará a vibração induzida por vórtices de um único cilindro, um fenômeno bem estudado pela comunidade científica. Terá que programar no ANSYS FLUENT o oscilador clássico massa-mola-amortecedor para simular as forças elásticas, de amortecimento e de inércia do cilindro.

Em seguida adicionará o outro cilindro e fará novas simulações para estudar o efeito da esteira desse cilindro sobre a dinâmica do cilindro de trás.

Conduzirá diversas simulações e em cada simulação o espaçamento entre os cilindros, o amortecimento e a massa serão alterados.

A fim de conduzir simulações eficientes computacionalmente será implementado no ANSYS FLUENT o conceito de malha dinâmica para acompanhar o movimento do cilindro.

O aluno cursará um grupo de três disciplinas ministradas no curso de Engenharia Aeroespacial da UFABC para abordar o problema: Dinâmica de Fluidos Computacional, Vibrações e Interação Fluido-Estrutura.

Seguem duas referências chaves para esta pesquisa, o livro de Blevins (1990) e o artigo de Zhang, et al, (2017).

#### **4 Resultados esperados**

O aluno abordará um problema atual de interesse para a sociedade, sobre geração e coleta de energia limpa a partir das vibrações naturais de cilindros imersos em correntezas oceânicas. Aperfeiçoamento do aluno na condução de simulações de interação fluido-estrutura por DFC. Participará do congresso COBEM 2023 com publicação de trabalho científico. Desenvolverá conhecimento em uma linha de pesquisa do grupo coordenado pelo seu orientador que tem como foco, geração e captação de energia limpa das vibrações induzidas por correnteza de corpos rombudos.

#### **5 Cronograma**

O projeto de pesquisa será desenvolvido em duas etapas de seis meses cada uma.

Na primeira etapa, o aluno cursará as três disciplinas citadas acima fortemente relacionadas como o tema da pesquisa. Fará a revisão bibliográfica da vibração induzida por vórtices de um único cilindro. Implementará o modelo computacional no ANSYS e conduzirá diversas simulações para uma análise paramétrica. Os resultados obtidos serão apresentados no primeiro relatório.

Na segunda etapa, será adicionado o outro cilindro na frente do primeiro, e será restringido de movimento. Esta nova condição de contorno será implementada no ANSYS. Diversas simulações serão conduzidas com diferentes velocidades de correnteza e espaçamentos entre os cilindros para quantificar os efeitos na vibração do cilindro de trás. A massa e o amortecimento do sistema também serão alterados. A potência mecânica fornecida pelo sistema será avaliada em cada simulação. Será identificado o melhor grupo de valores de parâmetros e espaçamentos que maximizem a potência fornecida. Edição de artigo científico a ser apresentado no congresso COBEM 2023. Escrita do relatório final.

## 6 Referências Bibliográficas

Xu, W., Wu, H., Jia, K., and Wang, E. (2021). Numerical investigation into the effect of spacing on the flow-induced vibrations of two tandem circular cylinders at subcritical reynolds numbers. *Ocean Engineering*, 236:109521

Li, T. and Ishihara, T. (2021). Numerical study on wake galloping of tandem circular cylinders considering the effects of mass and spacing ratios. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 210:104536.

He, X., Ai, S., and Jing, H. (2020). Energy transmission at subcritical reynolds numbers for the wake-induced vibration of cylinders in a tandem arrangement. *Ocean Engineering*, 211:107572.

Zhang, B., Song, B., Mao, Z., Tian, W., and Li, B. (2017). Numerical investigation on viv energy harvesting of bluff bodies with different cross sections in tandem arrangement. *Energy*, 133:723–736

Blevins, R., *Flow Induced Vibration*, 2nd Ed.. Van Nostrand Reinhold, 1990.