



REVISTA

Naval e Oceânica

<https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/rno>

ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE VIBRAÇÕES EM EMBARCAÇÕES: MANUTENÇÃO DE PROPULSORES COM OPENFOAM

*Analysis and Simulation of Vibration in Vessels: Propeller Maintenance
with OpenFOAM*

Erika Dias Cabral^{a,*} & George Conceição de Abreu^b.

Recebido em: 15 abr. 2024 | Aceito em: 20 abr. 2024

RESUMO

Uma embarcação, quando está em seu processo de fabricação, necessita de diversos cálculos para que a mesma possa navegar em segurança. Sendo um deles o cálculo de vibrações, existem muitos fatores internos e externos que afetam esses sistemas. Destacam-se nesse artigo, o atrito do casco com o fluido durante a navegação, o sistema de propulsão, os sistemas auxiliares e o tipo de viga utilizada na construção da embarcação. Nesse conceito a manutenção do sistema de propulsão é extremamente necessária, a fim de evitar desgastes de peças que podem gerar um excesso de vibração. Assim como o comportamento do fluido onde está se navegando, ou ainda a vibração gerada pelo atrito casco e da rotação do hélice nos fluidos no qual a embarcação está navegando. Esses problemas podem ser minimizados utilizando softwares de Dinâmica de Fluido Computacional – *Computational Fluid Dynamics* (CFD), como o OpenFOAM, que é gratuito na plataforma Linux e possui diversos tipos de *solvers* já prontos para utilizar ou podendo criar um na linguagem de programação C++, de acordo com o problema desejado, seja em fluidos newtonianos e não-newtonianos. Com ele é possível diminuir o número de experimentos praticados, reduzindo os custos dos testes feitos em laboratórios, facilitando e agilizando o estudo do comportamento do fluido, devido a necessidade principalmente de empresas de pequeno e médio porte.

Palavras-chave: Vibrações, Navio, Manutenção, OpenFOAM, Vigas.

ABSTRACT

A vessel, during its manufacturing process, requires various calculations in order to navigate safely. One of these calculations is the vibration analysis, as there are many internal and external factors that affect these systems. This article highlights the friction between the hull and the fluid during navigation, the propulsion system, auxiliary systems, and the type of beam used in the construction of the vessel. In this context, maintenance of the propulsion system is

^aUniversidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

^bUniversidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

*Autor correspondente: erika.cabral@uerj.br.



extremely necessary to prevent wear on parts that can generate excessive vibration. Additionally, the behavior of the fluid in which the vessel is navigating or the vibration generated by the friction between the hull and the rotation of the propeller in the fluid can also be significant factors. These issues can be minimized by using Computational Fluid Dynamics (CFD) software, such as OpenFOAM, which is free on the Linux platform and offers various pre-built solvers or the option to create custom solvers using the C++ programming language, depending on the desired problem, whether it involves Newtonian or non-Newtonian fluids. With OpenFOAM, it is possible to reduce the number of experiments conducted, thereby reducing the costs of laboratory testing, and facilitating and expediting the study of fluid behavior, especially for small and medium-sized companies.

Keywords: Vibrations, Ship, Maintenance, OpenFOAM, Beams.

1 INTRODUÇÃO

O porta-aviões NAe São Paulo (A-12) foi desativado em 2017 devido a vários problemas, incluindo vibrações causadas pelo empeno do eixo de propulsão. Isso levou à compreensão da importância do estudo das vibrações durante a construção de embarcações. As vibrações ocorrem devido a vários fatores: como atrito com a água, o do sistema de propulsão e máquinas auxiliares. A manutenção é crucial para uma análise precisa afim de evitar vibrações indesejadas. A escolha adequada das vigas na construção é importante, pois a força aplicada está diretamente ligada à vibração gerada. A manutenção do sistema de propulsão é essencial para evitar vibrações excessivas.

A Dinâmica de Fluido Computacional (CFD) é uma técnica usada para melhorar o desempenho das embarcações, permitindo uma redução significativa no número de experimentos e uma exploração mais ampla de fenômenos. O software OpenFOAM é mencionado como uma opção gratuita e versátil para simulações de fluidos, oferecendo *solvers* padrões e a possibilidade de desenvolver *solvers* específicos.

O objetivo deste artigo é ressaltar a importância das vibrações na construção de embarcações para garantir a segurança durante a navegação. Destaca-se a manutenção adequada do sistema propulsivo como uma causa significativa de vibrações quando negligenciada. Além disso, a simulação computacional é utilizada para analisar o comportamento do fluido, seguindo as etapas de pré-processamento, resolução e pós-processamento.

De acordo com Fortuna (2000), os fenômenos gerados pelos fluidos em movimento são complexos e nem sempre compreendidos pelas análises teóricas, sendo necessárias alternativas, como métodos experimentais ou simulação numérica. O desenvolvimento da CFD busca reduzir a quantidade de experimentos e investigar fenômenos de forma mais prática, resultando em economia nos processos de produção.

A simulação numérica permite avaliar diversos parâmetros importantes para o problema em questão. Os resultados obtidos por essa técnica permitem ao usuário modificar facilmente parâmetros geométricos, térmicos e de velocidade, embora sejam limitados ao parâmetro considerado na simulação.

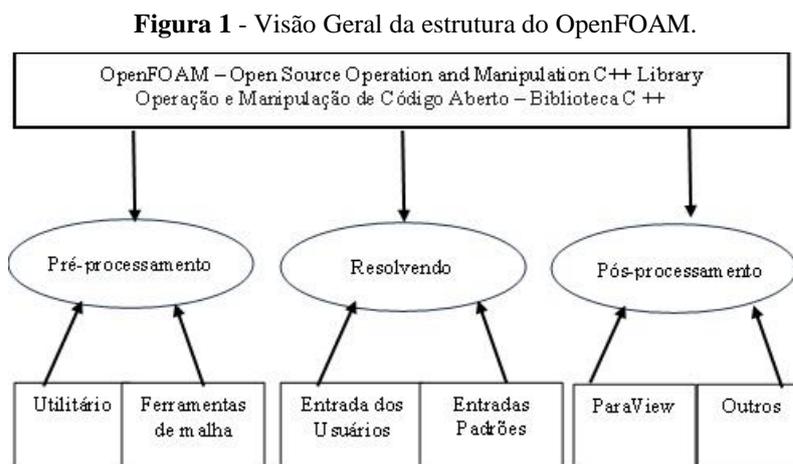
2 METODOLOGIA

O OpenFOAM é um software de Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) com código aberto, usado para solucionadores numéricos e para pré ou pós-processamento em problemas que envolvem meios contínuos. Ele utiliza equações diferenciais parciais discretizadas em equações algébricas para as variáveis do sistema.

Existem diferentes métodos de discretização de equações diferenciais, como o Método das Diferenças Finitas (MDF), Método dos Volumes Finitos (MVF) e Método dos Elementos Finitos (MEF). O MVF é adequado para problemas com pelo menos uma coordenada espacial e é utilizado para resolver problemas de valor de contorno. Também pode ser aplicado em problemas de valor inicial, que são resolvidos através de sucessivos problemas de valor de contorno em diferentes instantes de tempo. A abordagem de volumes finitos é útil quando a malha não é uniforme, principalmente em duas e três dimensões.

O OpenFOAM utiliza o método de integração de Gauss como padrão para discretização de volumes finitos. Esse método consiste na soma dos fluxos das variáveis nas faces do volume, que são interpolados a partir do centro dos volumes. A aproximação discreta das equações diferenciais é feita dividindo o domínio de cálculo em subdomínios nos quais as leis de conservação se aplicam.

O OpenFOAM possui uma metodologia de programação baseada em código aberto e pode ser resumida na Figura 1.

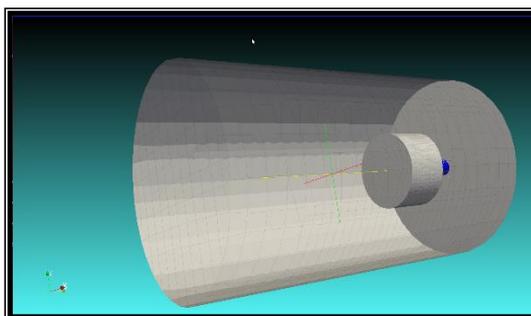


Fonte: OpenFOAM Guide 2008 (Adaptada pelo autor).

Para a simulação realizada, utilizou-se uma geometria cilíndrica com uma hélice no interior, como mostrado nas Figuras 2 e 3 que apresenta a visão lateral e frontal do duto. Utilizando o *Mashing Propeller*, foi possível utilizar essa condição inicial de contorno, no qual consiste em uma hélice dentro de um cilindro, simulando um sistema de propulsão azimuthal.

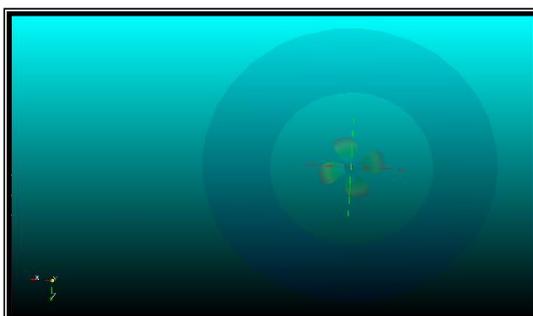
Os *Mashings* são os pontos utilizados para elaboração do modelo da superfície na qual a fluido se encontra.

Figura 2 - Estrutura cilíndrica com a hélice, vista lateral.



Fonte: O autor (2024)

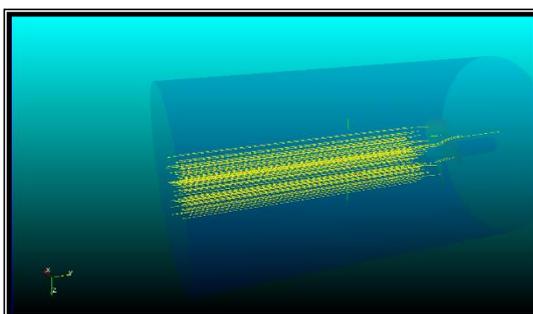
Figura 3 - Hélice dentro do cilindro, vista frontal.



Fonte: O autor (2024)

Em sequência foi utilizado a ferramenta StreamTracer, demonstrando o fluido (Neste caso, a água) sendo deslocado pelo movimento da hélice como mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Fluido sendo movimentado pela hélice.



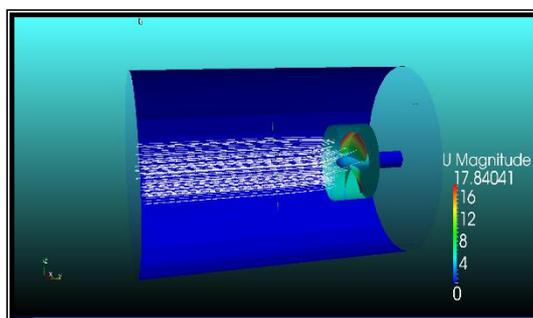
Fonte: O autor (2024)

De acordo com o modelo usado no tutorial OpenFOAM, foi considerado um valor fixo da velocidade de entrada de -5m/s . O gradiente de pressão de entrada é zero.

3 RESULTADOS

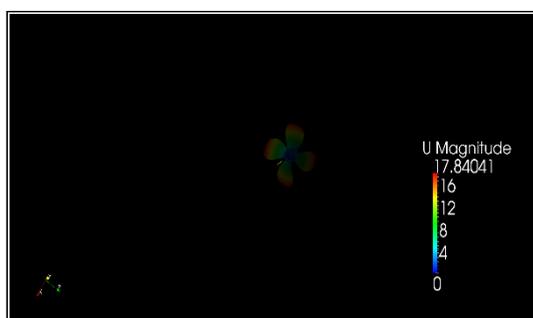
Foi realizada uma simulação numérica, utilizando o programa OpenFOAM, para demonstrar o comportamento do fluido (água) e como os parâmetros de pressão e velocidade se comportam nesse sistema. Foram obtidos através do programa ParaView, o perfil de velocidade e um cilindro com uma hélice de um sistema propulsor, como mostrado nas Figuras 5 e 6.

Figura 5 - Variação de velocidade da hélice vista lateral.



Fonte: O autor (2024)

Figura 6 - Variação de velocidade da hélice.

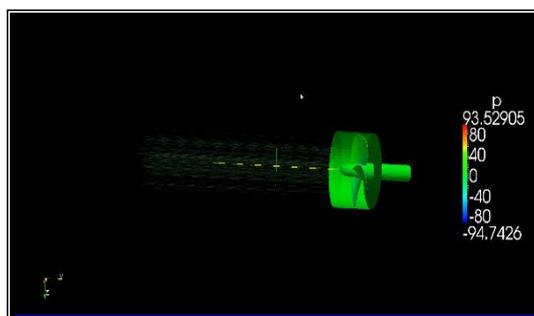


Fonte: O autor (2024)

Na Figura 6, é possível observar a variação de velocidade, em pontos distintos da hélice, já na extremidade das pás a velocidade é maior se aproximando de 18 m/s , enquanto no centro da hélice a velocidade é menor tendendo 0 m/s . Quanto maior a velocidade da hélice, maior será o seu coeficiente de cavitação. Em seguida observamos o comportamento da pressão ao

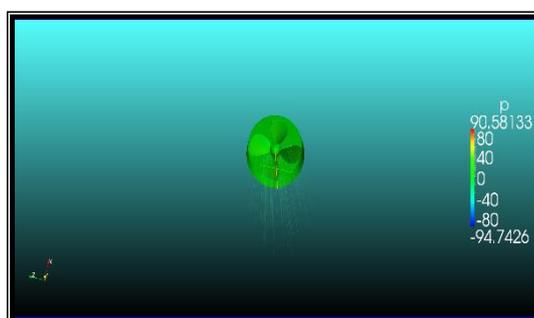
redor da hélice, gerada pelo fluido (água), tendo a variação de 0 a 40 Pa como demonstrado nas Figuras 7 e 8.

Figura 7 - Variação de pressão na hélice.



Fonte: O autor (2024)

Figura 8 - Variação de pressão da hélice vista frontal.



Fonte: O autor (2024)

A variação de velocidade e pressão está diretamente ligada ao coeficiente de cavitação, que é um determinante na intensidade da vibração que será gerada pela hélice durante seu movimento.

4 CONCLUSÃO

Conclui-se que a importância do estudo das vibrações na construção de uma embarcação, considerando agentes internos, externos e estruturais, mostrando também como a manutenção de um sistema de propulsão pode contribuir para esse atual estudo. A utilização do programa OpenFOAM, facilita e agiliza a compreensão do comportamento de um fluido, submetido a um tipo de escoamento, indicando variação de velocidade e pressão. Proporcionando um experimento anteriormente feito apenas de forma prática, se aproximando da realidade enfrentada na prática, gerando economia às empresas relacionadas a diversas áreas

como a Naval. Então, por fim, há de se concluir a relevância do estudo e dos softwares como uma ferramenta que auxilia na criação e exemplificação durante o projeto de uma embarcação.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).

REFERÊNCIAS

- Adrian, R. J. (1998). Particle-imaging techniques for experimental fluid mechanics. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 23(1), 261-304.
- Brondani, W. M. (2007). Simulação numérica do escoamento de um fluido viscoelástico através de um tubo anular concêntrico. Curitiba: UFTPR.
- Fortuna, A. de Oliveira. (2000). Técnicas computacionais para dinâmica dos fluidos – Conceitos básicos e aplicações. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.
- OpenFOAM. (2008). OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox – User Guide.
- Nielson, G. M., Hagen, H., & Müller, H. (1997). *Scientific visualization*. Los Alamitos: IEEE Computer Society.