

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Simulação Numérica da Troca da Água de Lastro de um Navio Petroleiro pelo Método Brasileiro de Diluição

AUTORES:

Flávio S. Francisco¹, Ricardo A. Medronho²

¹flaviosfrancisco@gmail.com , ²medronho@eq.ufrj.br

INSTITUIÇÃO:

Escola de Química – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 6º PDPETRO, realizado pela a Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 09 a 13 de outubro de 2011, em Florianópolis-SC. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 6ºPDPETRO.

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA TROCA DA ÁGUA DE LASTRO DE UM NAVIO PETROLEIRO PELO MÉTODO BRASILEIRO DE DILUIÇÃO

Abstract

When a tanker unloads its cargo, pumps sea water for their ballast tanks. This water is known as ballast water. Its aim is ensure that vessels operate under safe conditions. Ballast water can transfer non-indigenous species from one place to another. This transfers of eventually harmful organisms may lead to alteration of ecosystems, and may have negative impacts on human health. That is why it has raised considerable attention especially in the last years.

One of the technical management of ballast water available today is the dilution method developed by Petrobras, which involves the loading of ballast water through the top of the ballast tanks and, simultaneously, the discharge of water through the bottom of the tank, at the same flow rate.

In this work, Computational Fluid Dynamics – CFD – was used for examining the flow behavior inside ballast tanks during through ballast water exchange (BWE). The results showed the occurrence of dead zones, which hinder the cleaning of the tanks, avoiding achieving 95% efficiency of cleaning described by guidelines and regulations. However, it reached a 90% efficiency, which demonstrates that the dilution method for ballast water is a promising technique.

Introdução

Um navio petroleiro, à medida que descarrega sua carga, bombeia água do mar para seus tanques de lastro. Esta água, conhecida como água de lastro, tem por objetivo garantir às embarcações operarem em condições seguras no tocante à estabilidade, manobra (imersão da hélice), governo (direção) e distribuição de tensões (ação de forças internas e externas) no casco do navio (Oliveira e Medronho, 2004a). A água de lastro pode causar um grande dano ambiental, pois ela pode introduzir espécies aquáticas invasoras em novos ambientes. Por isso ela é considerada, pela IMO (*International Maritime Organization*), como uma das quatro maiores ameaças aos oceanos do mundo.

O transporte marítimo transporta anualmente cerca de dez bilhões de toneladas de água de lastro e provoca a circulação diária de cerca de três mil espécies de organismos em todo o mundo por essa via. No Brasil, a situação é ainda mais ameaçadora, devido à extensa costa e ao fato de 95% de todo comércio exterior do país ser realizado por via marítima (Peterson e Colgan, 1998, Silva *et al.*, 2002).

A transferência de espécies exóticas pode gerar uma mudança na condição aquática da região invadida e pode levar à extinção de espécies nativas, bem como ocasionar prejuízo à comunidade local e à população como um todo, por poder causar doenças de transmissão hídrica (Ruiz *et al.*, 2000).

Um esforço considerável tem sido aplicado ao gerenciamento da água de lastro, e várias pesquisas tecnológicas para o tratamento dessa água têm sido realizadas (Oliveira e Medronho, 2004b; Bastos e Medronho, 2004), todavia, nenhuma tecnologia hoje disponível para tratamento de água mostra-se prontamente aplicável a bordo de navios.

Uma das técnicas existentes hoje é o método de diluição brasileiro desenvolvido pela Petrobras, que envolve o carregamento da água de lastro (lastreamento) através do topo do tanque e, simultaneamente, a descarga dessa água (deslastreamento) através do fundo do tanque, à mesma vazão, de tal forma que o nível de água no tanque de lastro seja controlado para ser mantido constante (Mauro, 2002).

Metodologia

Neste trabalho, o comportamento hidrodinâmico do processo de troca das águas de lastro foi estudado através de CFD - fluidodinâmica computacional- quando utilizando o método de diluição desenvolvido pela Petrobras. A fluidodinâmica computacional é uma ferramenta que emprega as equações de conservação para a análise de escoamentos de fluidos, transferência de calor e fenômenos associados, tais como reações químicas, por meio de simulações baseadas em processamento computacional (Versteeg e Malalasekera, 1995).

O pacote computacional *ANSYS Workbench 2.0 Versão 12.1* foi empregado na realização deste trabalho. A geometria do tanque de lastro foi confeccionada no *Design Modeler*, com base em Mauro *et al.* (2002). A geometria (Figura 1) possui três regiões de entrada de água do mar localizada no topo e uma região de saída da água de lastro localizada no fundo.

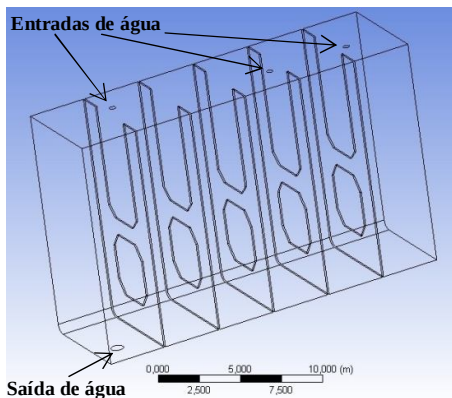


Figura 1 – Geometria do Tanque de Água de Lastro

A malha de elementos tetraédricos utilizada nesta simulação foi construída empregando-se o *CFX-Mesh*. Foram realizados testes de malhas, para obter o número de elementos mínimos necessários para o desenvolvimento da simulação. Na etapa de construção da malha, as regiões de entrada e saída de água foram refinadas. As paredes do tanque foram refinadas com uma camada de elementos prismáticos, através de um recurso chamado *inflation*, disponível no *CFX-Mesh*.

Após a geração da malha, empregou-se o *CFX-Pre* para a modelagem do problema, o *CFX-Solver* para obter-se a solução numérica e o *CFX-Post* para a visualização e análise dos resultados.

A simulação foi realizada em regime transiente. O tempo total de simulação corresponde ao tempo necessário para ocorrer a troca de três volumes do tanque. A vazão de entrada empregada foi a de Mauro *et al.* (2002), o que gerou velocidades médias iguais a $0,236 \text{ m s}^{-1}$ para as entradas e $0,708 \text{ m s}^{-1}$ para a saída. O tempo de enchimento de um volume de tanque foi de 7 horas, perfazendo um total de 21 horas para completar a troca de três volumes.

O modelo de turbulência utilizado foi o RNG k- ϵ (Yakhot e Orszag, 1986), como sugerido por Wilson *et al.* (2006) para este tipo de problema. O modelo de escoamento homogêneo foi empregado. Este modelo pode ser entendido como um caso limite de escoamento multifásico euleriano-euleriano, em que a taxa de transferência interfases é muito grande. Isso resulta em todos os fluidos partilham de um campo de escoamento e de turbulência comuns.

Para estudar-se o efeito da diluição, foi considerado que, inicialmente, o tanque estava cheio com lastro contaminado, sendo injetado lastro novo com o desenrolar da simulação.

Resultados e Discussão

A Figura 2 mostra a fração volumétrica do lastro limpo, após a troca de 3 volumes de tanque de lastro, em um plano transversal localizado na região central do tanque e, na Figura 3, pode-se observar esta mesma fração volumétrica na parede frontal do tanque. Na Figura 2, a região localizada no topo à esquerda, acima da saída, não apresenta uma boa diluição. Nesta região, a água de lastro tem ainda uma fração volumétrica de cerca de 25% de lastro original, enquanto que no topo à direita, esta fração é de apenas 6%. É possível observar, na Figura 3, que nas paredes as frações volumétricas de lastro original são ainda maiores do que no centro. Isto ocorre devido à condição de aderência na parede que dificulta o efeito de diluição.

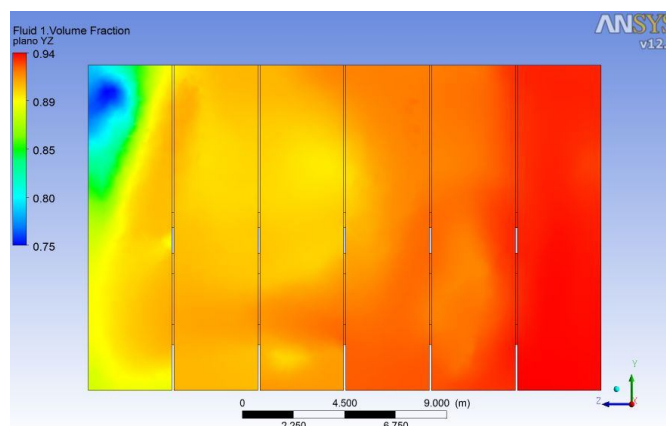


Figura 2 – Fração volumétrica de lastro limpo na região central do tanque.

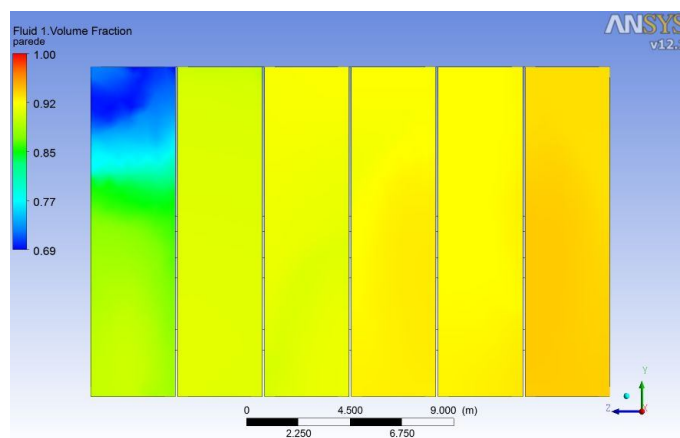


Figura 3 – Fração volumétrica de lastro limpo na parede frontal do tanque.

A fração volumétrica média de lastro original na região central (Figura 2) é de 10%, ou seja, obteve-se 90% de eficiência de limpeza. Este valor mesmo valor foi observado por Mauro *et al.* (2002) ao simular numericamente problema semelhante. Entretanto, este nível de limpeza não estaria de acordo com as orientações e regulamentações da IMO, que exigem que seja alcançada uma eficiência maior ou igual a 95%. Este resultado sugere que, para tanques semelhantes ao simulado, seria

necessário diluir-se a água de lastro original com volumes superiores a 3 volumes de tanque. Outra opção seria reposicionar e/ou aumentar o número de entradas e saídas de águas de lastro.

O perfil mostrado, na Figura 2, indica a existência de regiões de recirculação, o que é confirmado pela Figura 4.

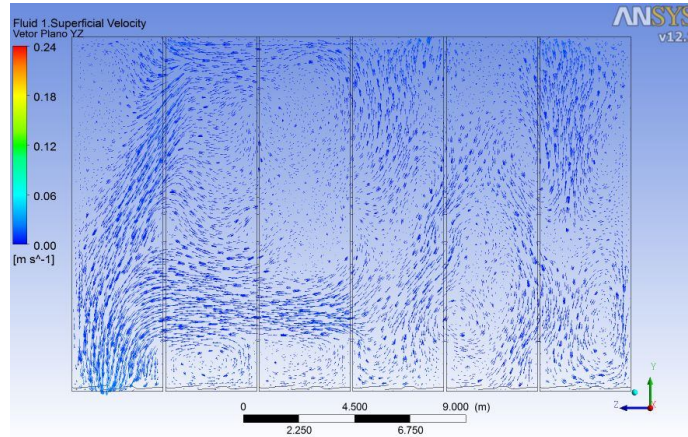


Figura 4 – Vetores velocidade na região central do tanque

A Figura 5 mostra as linhas de corrente no interior do tanque. É possível notar que o fluido que entra pelas entradas 1 e 2 gera grandes recirculações, enquanto que o fluido que entra pela entrada 3 flui direto para a saída do tanque. Isso explica porque se observa uma melhor limpeza nas regiões próximas as entradas 1 e 2. Uma possível solução para alcançar a eficiência necessária de limpeza, poderia ser uma alteração nas regiões de entrada do fluido. Possivelmente, a adição de mais uma entrada próxima à região da saída de fluido já seria suficiente para se alcançar a referida eficiência. A configuração ideal de entradas e saídas de águas de lastro é a próxima etapa deste trabalho.

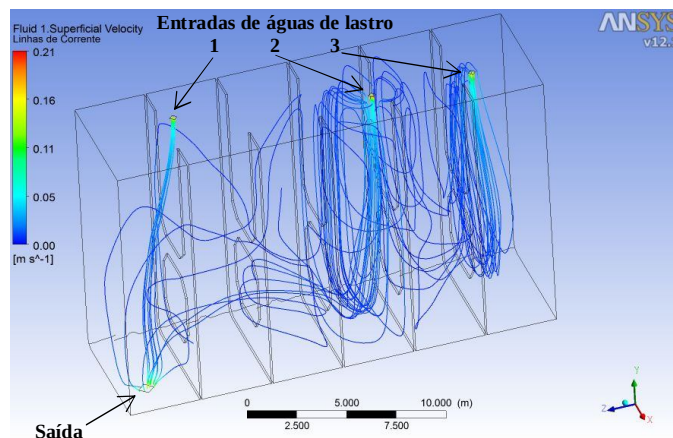


Figura 5 – Linhas de corrente a partir das entradas

Conclusões

O processo de diluição estudado, que consistiu na troca de água de lastro em um volume igual a três tanques de lastro, não foi capaz de gerar, no tanque empregado, uma limpeza de, segundo recomendação da IMO, no mínimo, 95%. A eficiência obtida com a troca de 3 volumes foi de 90%, o que sugere novos estudos para reposicionamento das entradas e saídas de água de lastro ou, ainda, aumento no número de trocas.

Agradecimentos

Ao apoio da Agência Nacional do Petróleo – ANP – e da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP – através do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor de Petróleo e Gás – PRH-ANP. Agradecemos, em particular, ao PRH-13 da Escola de Química – Processamento, Gestão e Meio Ambiente na Indústria do Petróleo e Gás Natural.

Ao apoio dos integrantes do Laboratório de Fluidodinâmica Computacional – LabCFD, da Escola de Química/UFRJ.

Referências Bibliográficas

BASTOS, D. C., MEDRONHO, R. A. Tratamento de águas de lastro com hidrociclones, **Anais do COBEQ 2006 - XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, ABEQ- Associação Brasileira de Engenharia Química, Santos, 2006.

MAURO, C.A. et al., O Método de Diluição Brasileiro para Troca de Água de Lastro, **Boletim Técnico da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 45, n. 3/4, p. 310-329, 2002.

OLIVEIRA, A. G., MEDRONHO, R. A. Otimização da Geometria de Hidrociclones para o Tratamento de Águas de Lastro de Navios Petroleiros, **Anais do Rio Oil & Gas Expo and Conference 2004**, IBP - Instituto Brasileiro do Petróleo, Rio de Janeiro, 2004a.

OLIVEIRA, A. G., MEDRONHO, R. A. Simulação Numérica de um Hidrociclone para o Tratamento de Águas de Lastro de Navios Petroleiros, **Anais do XV COBEQ 2004 - Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, ABEQ- Associação Brasileira de Engenharia Química, 2004b.

PETERSON, D. E, COLGAN, K. Invasive marine species – an international problem requiring international solutions, **Australian Quarantine and Inspection Service (AQIS)**, 1998.

RUIZ, G.M., RAWLINGS, T.K., DOBBS, F.C., DRAKE, L.A., MULLADY, T., HUQ, A., COLWELL, R.R., Global spread of microorganisms by ships, **Nature**, v. 408, p. 49-50, 2000.

SILVA, J.S.V., FERNANDES, F.C., LARSEN, K.T.S., SOUZA, R.C.C.L., Água de Lastro, **Revista Ciência Hoje**, v. 32, p. 38-43, 2002.

WILSON, W. P. CHANG, S. VEROSTO, P. ATSAVAPRANEE, D.F. REID e P.T. JENKINS. Computational and Experimental Analysis of Ballast Water Exchange. Proceedings, ASNE Marine Environmental Engineering Technical Symposium (MEETS), Jan 23-24, 2006, Arlington, VA, 2006.

YAKHOT, V. e ORSZAG, S. A. Renormalization Group Analysis of Turbulence I. Basic theory. **Journal of Scientific Computing**, v. 1, p. 3-51, 1986.