

DEZ ANOS DE DESENVOLVIMENTO DA TÉCNICA DE MODELO FÍSICO DE NAVIO RÁDIO-CONTROLADO MANOBRADO POR PILOTO REAL NO LHEPUSP

Paolo Alfredini¹; Ricardo Roberto da Costa Gonçalves¹.

¹Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Av. Professor Lúcio Martins Rodrigues 120, CEP 05508-900 – Cidade Universitária, São Paulo (SP)

Fone: +55 11 3091-5735 e-mail: alfredin@usp.br, paolo.alfredini@poli.usp.br

RESUMO

Em 1992 o Laboratório de Hidráulica da EPUSP – LHEPUSP - tornou-se pioneiro no Brasil na simulação interativa com piloto real de manobras portuárias em modelo físico com modelo rádio-controlado, calibrado com as provas de mar do navio e rebocadores. Desde então, o aprimoramento da metodologia tem-se constituído em consagrada ferramenta de planejamento operacional portuário e de segurança da navegação, através do treinamento de praticos, mestres de rebocadores e operadores portuários. O controle da manobra pelo piloto a partir de uma sala isolada do modelo, em que se vislumbra um verossímil cenário das instalações portuárias por micro-câmara giratória no passadiço do modelo de navio, fornece realística visão da manobra.

ABSTRACT

In 1992 the Hydraulics Laboratory of EPUSP – LHEPUSP - became pioneer in Brazil in radio-controlled interactive simulation with real pilot in physical model calibrated according to sea tests of the ship and tugs. From then, the methodology improvement leads to a reliable harbor operational planning and safety navigation tool, by the pilots and harbor operators training. The pilot manoeuvre control from an isolated from the model room, viewing a similar scenario of the real harbor facilities by a rotating micro camera in the ship model bridge, gives a realistic manoeuvre view.

Palavras-Chave: engenharia portuária, navegação, modelação física

1. INTRODUÇÃO

Em 1992 a Área de Hidráulica Marítima do Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – LHEPUSP - tornou-se pioneira no Brasil na simulação interativa com piloto real de manobras de atracação e desatracação portuária em modelo físico com modelo rádio-controlado calibrado com as provas de mar do navio e rebocadores. Desde então, o aprimoramento da metodologia tem-se constituído em consagrada ferramenta de planejamento operacional portuário e de segurança da navegação, através do treinamento de praticos, mestres de rebocadores e operadores portuários. Este modelo é do Complexo Portuário de Ponta da Madeira – CPPM - em São Luís (MA) da CVRD (ver Figura 1).

A simulação do comportamento de navios em manobras na escala real é indispensável para distinguir os fenômenos mais relevantes e analisar os resultados com a técnica de avaliação, entretanto não é possível variar as condições de uma maneira sistemática pois somente podem ser realizadas dentro das condições existentes e os riscos envolvidos não permitem a realização de manobras aparentemente mais difíceis (PIANC, 1997).

Atualmente o controle da manobra pelo piloto no laboratório é efetuado a partir de uma sala isolada do modelo, em que se vislumbra um verossímil cenário das instalações portuárias por micro-câmara giratória no passadiço do modelo de navio, fornecendo realística visão da manobra (ver Figura 5).

Com pontuação e ponderação de quesitos sobre cada manobra pelo pessoal envolvido estabelece-se objetivamente o grau de segurança e operacionalidade, contemplando: atitude do navio, número de partidas da máquina, intervalo temporal entre as ordens do piloto, tempo total, dificuldades de giro, atuação da hidrodinâmica sobre o navio, riscos de acidentes (encalhe e/ou choques com

estruturas e/ou outros navios atracados), rotações da máquina e espaço disponível.

Com o objetivo de estudar e validar a possibilidade de atracação simultânea de um navio de 125000 TPB no Berço Sul do projetado Pier III do Complexo Portuário de Ponta da Madeira e de um navio de 75000 TPB no Berço Norte do Pier III, simultaneamente à atracação de um navio de porte superior a 250000 TPB no Pier I (ver Figuras 2 e 4), foram propostos ensaios no modelo físico com a técnica operacional de modelo rádio-controlado para avaliação das manobras de atracação e desatracação dos navios (FCTH, 2001). As manobras foram analisadas, através de pareceres isolados, por representantes da praticagem, que comandaram as manobras alternadamente, pelo Capitão do Porto e pela consultoria de navegação da CVRD, para subsidiar a adoção dos procedimentos necessários junto ao pessoal envolvido nas manobras e a obter-se um consenso técnico objetivo sobre as questões das manobras e segurança da navegação.

2. METODOLOGIA

Na simulação interativa com piloto real a potência propulsiva, associada ao número de revoluções do hélice, a posição do leme e a assistência dos rebocadores são impostas por pilotos que comandam as manobras, sendo estas registradas em vídeo e áudio para posterior reunião de avaliação das partes envolvidas. Esta técnica aumenta em muito o conhecimento do problema.

Existem no LHEPUSP três modelos de navios que já foram instrumentados para a reprodução de manobras conduzidas via rádio-controle. São os modelos dos mineraleiros NM Doc Canyon (270000 TPB), classe CAPESIZE (150000 TPB) e classe PANAMAX (75000 TPB), os quais foram equipados visando o seu emprego no modelo físico do TPM. Nos ensaios procedeu-se à calibração dos modelos de navio de 150000

e de 75000 TPB, de acordo com a prova de mar fornecida pela DOCENAVE: giros por boreste e bombordo em lastro e carregado com máximo ângulo do leme, tempo e distância até parar, velocidade em diferentes condições de máquina e carregamento; e de acordo com o bollard-pull dos rebocadores. Estes foram os modelos de navio utilizados nos ensaios de manobras para o Pier III.

O console de comando do controle remoto via rádio consiste num painel com escalas desenhadas sobre o mesmo para os canais: posição do leme, rotação do hélice acoplado à máquina do navio, rotação dos hélices de ventiladores entubados para reproduzir a ação dos rebocadores que manobram o navio (ver Figura 3).

O sinal de rádio-controle captado no modelo atua nos servo-mecanismos instalados no navio, onde também se encontram as baterias. O efeito combinado de qualquer número de rebocadores pode ser sempre decomposto em três forças: uma que pode ser considerada agindo longitudinalmente e é representada pelo efeito segundo o eixo longitudinal do modelo (ver Figura 2), de modo a ser capaz de exercer uma força ao longo do eixo do navio em ambos os sentidos; as outras duas forças podem ser consideradas agindo transversalmente ao eixo do navio, uma próxima à proa e outra próxima à popa, sendo representadas por ventiladores nestas duas posições, podendo exercer forças em ambos os sentidos.

A visualização da manobra pelo práctico é feita por micro-câmaras, que reproduzem o campo da visão humana, nas extremidades das asas da ponte de comando do modelo, de modo a simular a posição do práctico no navio durante as manobras (ver Figura 5). O práctico conduz as manobras via rádio de uma sala, contando somente com a visão da manobra provinda da micro-câmara e projetada num telão, apresentando a imagem aproximada que o práctico observaria nesta mesma posição durante as manobras, bem como com um relógio que apresenta o tempo real da manobra. As lentes utilizadas nas câmeras têm um campo visual que é próximo ao da visão humana. O acionamento da câmara é feito por um segundo controle remoto, que é comandado manualmente pelo piloto. A câmara associada a um pivô giratório foi fixada a um servo e este ao convés.

Os ventiladores transversais estão embutidos no interior do casco, abaixo do convés principal, com o ponto de aplicação do empuxo próximo da linha d'água, como na realidade (ver Figuras 2 e 4). O efeito longitudinal situa-se em área de sombra para a visão da câmara (ver Figuras 2 e 4).

A visão da manobra a partir da asa da ponte de comando foi registrada em vídeo-cassete para ser estudada posteriormente. A mesma imagem, além da filmagem efetuada zenitalmente sobre o modelo com micro-câmara, da filmagem feita de terra para a zona de aproximação com micro-câmara e da imagem de duplo cronômetro (com tempos em segundos do modelo e real) com placa de informações do ensaio foram gravadas num quad de quatro imagens. Além disso foram efetuadas fotografias zenitais da manobra. As imagens das quatro câmaras são gravadas em fita de vídeo juntamente com as instruções dadas pelo práctico via rádio.

O conjunto de defensas do cais, associado aos cabeços do Pier III, foi modelado e instrumentado para fornecer o valor do esforço de impacto de atracação. Também foram reproduzidos esquematicamente os Carregadores de Navios dos pieres, as bóias de sinalização, e os faroletes. Os extremos do modelo do CPPM foram cercados por lonas, visando encobrir à visual do práctico objetos estranhos à manobra real e reflexos espúrios (ver Figura 1).

Os pareceres sobre as manobras foram apresentados de forma isolada, após a manobra, por cada um dos participantes da avaliação.

3. CRITÉRIOS UTILIZADOS NOS ENSAIOS EM MODELO

3.1. Modelos de navios utilizados

As características dos modelos de navio usados nas manobras são as seguintes: CAPEIZE de comprimento total de 276 m, boca de 46,2 m e calado de 17,6 m; PANAMAX de comprimento total de 242 m, boca de 32,2 m e calado de 13,6 m. Considerando o fato dos rebocadores não estarem fisicamente representados, mas tendo o seu efeito reproduzido por empuxos dos ventiladores, tornou-se necessário reduzir a eficiência de empuxo dos mesmos com relação à prova estática, uma vez que parte do desempenho é perdido no posicionamento contra as correntes de maré. Assim, seguindo-se sugestão da praticagem, procedeu-se a uma redução na tonelagem de empuxo da prova de mar para todas as calibrações.

3.2. Pontuação das manobras

Visando tornar mais objetiva a avaliação de cada manobra, às questões apresentadas após cada manobra foram atribuídos pesos para cada pontuação, que resultaram de consenso entre a CVRD e a praticagem. Somente o práctico que conduziu o navio visualizou a manobra a partir da câmara do navio, enquanto os outros peritos observaram a manobra da posição que julgaram mais propícia.

4. DESCRIÇÃO DAS CONDIÇÕES EM QUE OS ENSAIOS FORAM REALIZADOS

4.1. Descrição geral

Dispondo-se do modelo de navio instrumentado e calibrado foram efetuados mais de uma centena de ensaios de manobras, na presença dos prácticos e de representantes da CVRD, incluindo a sua consultoria de navegação. Por ocasião dos ensaios foi discutida, além da melhor estratégia de manobra perante diferentes condições de maré, os diferenciados aspectos que implicam na segurança da navegação sob as considerações de procurar atingir-se a produtividade com segurança.

As manobras efetuadas pelos prácticos foram objetivamente avaliadas por meio das respostas e comentários preenchendo o questionário. Os prácticos tiveram no primeiro dia de ensaios uma explanação sobre a resposta do modelo na reprodução da hidrodinâmica das correntes de maré e quanto à nova metodologia de condução do navio. Após esta apresentação tiveram a oportunidade de se familiarizar com a técnica modelística utilizada e na qual se inseriram. Foram efetuados testes sem registro, avaliando o campo de correntes com auxílio de confetes, dadas sugestões sobre a coloca-

ção de auxílios à navegação e efetuadas manobras com visão direta e por meio da câmara giratória no passadiço.

4.2. Ensaios efetuados

Durante os dias de testes e ensaios a praticagem pode reiterar diversas manobras, aprimorando a sequência de comandos dada aos rebocadores, máquina e leme do navio, de modo a torná-los o mais próximos ao procedimento real.

Os ensaios de manobras de atracação foram conduzidos nas condições de maré enchente com amplitudes de até 6,0 m, equivalentes a amplitudes médias de marés de sizígia e no período usual de manobra.

5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Foi selecionada para apresentação um ensaio cuja fotografia (Figuras 6), mostrando a trajetória seguida pelo navio está apresentada a seguir.

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Pelas condições verificadas em modelo, as manobras de atracação e desatracação por correntes nos berços do Pier III são viáveis, considerando os critérios de segurança de folgas com navios atracados no Pier I e no próprio Pier III e estruturas portuárias, bem como velocidades de aproximação ao cais.

As manobras de atracação foram efetuadas em condições estacionárias de maré enchente equivalente a 1 hora e 30 minutos antes da preamar, sendo que por sua duração média o navio encontrou-se atracado cerca de 30 minutos antes da preamar. Assim, no real, os instantes finais da atracação ocorrem em período de correntes de maré bem mais fracas do que no modelo, o que facilita e aumenta a segurança da manobra real.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os ensaios realizados permitiram obter as seguintes conclusões:

- O aprimoramento da original metodologia da FCTH na realização de ensaios de manobras de navios com auxílio de rebocadores em modelo físico permite ao piloto real efetuar interativamente a manobra usando um modelo físico hidráulico adequadamente calibrado, como o do Complexo Portuário de Ponta da Madeira, constituindo-se em consagrada ferramenta de planejamento operacional portuário. Diferentemente dos simuladores fundamentados nos equacionamentos matemáticos, a simulação fundamentada nas leis da semelhança mecânica permite ao prático a visualização física tridimensional da interação entre o escoamento líquido e o casco do navio em manobra.

- Com a passagem do controle da manobra pelo prático para uma sala isolada do modelo, em que o piloto vislumbra um verossímil cenário das instalações portuárias por meio de uma micro-câmara giratória na posição do passadiço do modelo de navio (ver Figura 5), consegue-se tornar mais realística a condição de manobra no laboratório.

- Com a resposta a quesitos sobre cada manobra é possível estabelecer o grau de segurança e operacionalidade de cada condição. Assim, foi possível estabelecer a avaliação, por meio de conceitos em combinação com a análise do

curso para cada condição de manobra, contemplando aspectos como:

- Número de comandos
- Intervalo de tempo entre as ordens do piloto
- Tempo total das manobras
- Dificuldades de giro
- Atuação da corrente sobre o navio
- Riscos de acidentes por encalhe e/ou choques com estruturas e/ou outros navios atracados
- Níveis de potência da máquina do navio e rebocadores
- Espaço disponível para a manobra, incluindo a posição dos rebocadores

- Em modelo foi possível verificar a viabilidade de realizar a atracação dos navios nos berços do Pier III. Deve-se considerar as condições em modelo mais conservativas do que no real considerando somente as correntes de maré (o vento não está reproduzido) pelo fato dos comandos serem dados de forma 13 vezes mais rápidos no modelo com relação ao real (a escala de tempos hidráulicos na semelhança de Froude corresponde a 1:13,04), pela manobra ser por correntes constantes com um part-cargo e pelo fato do prático dispor de menos recursos informativos do que no real (velocidade do navio e referência de posicionamento).

- As avaliações de manobras desenvolvidas permitiram reduzir o empirismo e os riscos envolvidos na execução de testes em escala real, contribuindo para que o pessoal que será envolvido na execução das manobras reais detinham previamente um conhecimento mais abrangente sobre a dinâmica das manobra em diferentes condições, traduzindo-se em economias operacionais e quanto ao aspecto da segurança da navegação.

- Recomenda-se o acompanhamento detalhado das condições de atracação dos navios no Pier III, conforme proposta de monitoramento em estudo pela CVRD, incrementando gradativamente a complexidade da manobra (da estofa para a manobra por correntes e aumentando a tonelagem do navio) de modo a poder comparar os resultados deste estudo com os que verificar-se-ão no real, permitindo a consolidação de procedimentos definitivos para a operação portuária com fundamento num período suficientemente representativo quanto a:

- Condições de maré, particularmente para amplitudes superiores a 5,0 m.
- Condições de vento.
- Diversidade de navios.

Nos cinquenta anos da Área de Hidráulica Marítima do LHEPUSP, em 2003, comemoram-se os vinte cinco anos de parceria tecnológica de sucesso com a CVRD na implantação do CPPM, tendo-se editado um Cdrom comemorativo destes estudos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Companhia Vale do Rio Doce - CVRD – Complexo Portuário de Ponta da Madeira / Informações Portuárias. São Luís, 1997.
- Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica – FCTH - Estudos de manobras de navios no Berço Sul do Pier III. Relatório Final do Estudo do Pier III do TPM. São Paulo, março de 2001.

- Permanent International Association of Navigation Congresses – PIANC – Approach Channels: A guide for Design. Supplement to Bulletin n.º 95, June 1997



Figura 1 – Vista do modelo físico do Complexo Portuário de Ponta da Madeira.



Figura 2 – Vista de manobra do modelo de CAPESIZE rádio-controlado no Berço Sul do Pier III.



Figura 3 – Console de comando do modelo com recepção das ordens do piloto via rádio.

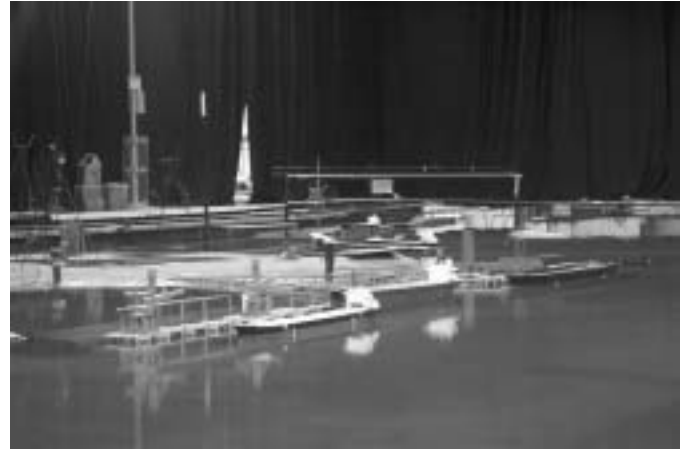


Figura 4 – Vista de manobra de atracação do modelo de PANAMAX no Berço Norte do Pier III.



Figura 5 - Visualização da manobra de atracação do CAPESIZE no Berço Sul do Pier III.



Figura 6 – Atracação CAPESIZE no Berço Sul do Pier III em enchente com 6,0 m de amplitude.