
O Simulador Analógico de Manobras – SIAMA

Analogic Simulator of Maneuvers – SIAMA

José Carlos de Melo Bernardino¹; Paolo Alfredini²; Rafael Esferra³ e Jonathan Henrique de Amaral⁴

^{1,3,4}Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, Cidade Universitária, Butantã, São Paulo SP, Brasil

bernardino@fcth.br; rafael.esferra@fcth.br; jonathan.amaral@fcth.br

²Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Cidade Universitária, Butantã, São Paulo SP, Brasil

alfredin@usp.br

Recebido: 26/09/14 - Revisado: 14/11/14 - Aceito: 09/02/15

RESUMO

O uso do Simulador Analógico de Manobras (SIAMA) para testes de condução de navios em modelo físico é uma ferramenta útil para identificar possíveis melhorias em projetos portuários e determinação de regras de manobra. Quando aperfeiçoado através de estudos hidráulicos em escala froudiana, o SIAMA torna-se uma valiosa fonte de informações estatísticas para os estudos náuticos. A escala de tempo dos modelos físicos froudianos é determinada pela raiz quadrada da escala linear. No estudo de caso apresentado, a escala dos modelos físicos portuários disponíveis é de 1:170, assim o tempo no modelo é 13,04 vezes mais rápido do que no real. Mais de 1.500 testes oficiais foram realizados desde 1.993, por práticos profissionais em quatro portos distintos de duas Zonas de Praticagem do Brasil. Estes testes de manobras e otimizações de projetos abrangeram nove cais/piéres, com quatorze berços e navios mineiros de 75.000, 152.000, 276.000, 365.000, 400.000 e 615.000 tpb. A área portuária estudada abrange canais, bacias de evolução e berços de atracação. Os modelos reduzidos dos navios são controlados remotamente por sistema de rádio frequência e a ação dos rebocadores é reproduzida através da rotação das hélices de ventiladores fixados nas embarcações. As instalações do Laboratório onde são realizadas as simulações de manobras pertencem à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil, no âmbito do CENP – Centro de Estudos Náuticos Portuários.

Palavras Chave: Manobras de navios. Modelação física, Segurança da navegação

ABSTRACT:

The Analogic Simulator of Maneuvers (SIAMA) for conducting vessels in physical models is a useful tool to identify possible improvements in port projects and to define maneuvering rules. When improved by hydraulic studies in Froude scale models, the SIAMA becomes a valuable source of statistical information for nautical studies. The time scale of physical Froude models is determined by the square root of the linear scale. In the case presented, the scale of physical models is 1: 170, hence the time in the model is 13.04 faster than in reality. Since 1993 more than 1,500 official tests have been performed by Pilots from four ports of two distinct Pilotage zones in Brazil. These maneuvering tests and optimizations projects covered 9 piers with 14 berths and ore carriers of 75,000; 152,000; 276,000; 365,000; 400,000 and 615,000 dwt. The studied area covers port channels, harbor entrances, maneuvering and anchorage areas. The scale models of vessels are controlled remotely by radio frequency and the action of the tugs system is reproduced by rotating propeller fans fixed on the vessel. The facilities of the laboratory, where the simulations are performed, belong to the Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brazil, under the CENP – Center for Nautical Studies of Ports.

Keywords: Vessel maneuvers. Physical modeling. Navigation safety

INTRODUÇÃO

Na otimização de arranjos portuários, a relação entre a disposição das estruturas de atracação, alteração de mudanças de fluxo, padrão de ondas e o trajeto do navio, devem ser reproduzidos da maneira mais fidedigna possível. Em casos de projetos complexos, opta-se pela utilização de modelos físicos em escala reduzida que reproduzem as estruturas portuárias e as áreas adjacentes em estudo. A correnteza ou padrão de ondas é gerado para simular as condições locais da forma mais realista possível. Isto se aplica ao SIAMA (Simulador Analógico de Manobras), do Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - LHEPUSP, que está em operação desde Dezembro de 1993. Este centro brasileiro de estudos em hidráulica atende clientes de organizações governamentais e privadas, a Autoridade Marítima, representada pela Marinha do Brasil, Autoridades Portuárias e os práticos. Atualmente, o laboratório integra o Centro de Estudos Náuticos Portuários – CENP – conjuntamente com o Tanque de Provas Numérico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Infelizmente, os riscos envolvidos para medições em escala real, como técnica de pesquisa, dificulta uma investigação mais profunda sobre manobras perigosas em canais confinados e rasos. Excluindo-se os testes de campo, que são raros e representam elevados riscos e custos, modelos tripulados em lagos ou canais, mesmo que exijam grandes áreas de representação, são ideais para o treinamento de manobras de navios, especialmente no controle em baixa velocidade, sem ou com auxílio de rebocadores. Estudos de simulação de Engenharia em tempo real, por meio de ferramentas computacionais de navegação nos Simuladores de Ponte Completa (“Full Mission Bridge Simulator”) são de extrema importância durante o projeto náutico detalhado. Contudo, devido aos longos tempos de operação, forçosamente, a avaliação acaba restringindo-se apenas a escopos bem precisos do projeto, com base em testes das manobras mais promissoras feitos por piloto automático virtual comandado por modelos matemáticos de tomada de decisão em tempos acelerados (“Fast time tests”). Consequentemente, a experiência e conhecimento dos práticos são parcialmente aproveitados para avaliações destas gamas de opções, feitas sem o concurso humano.

O conceito do SIAMA, que utiliza navios e rebocadores não tripulados fisicamente, é um dos meios confiáveis para mesclar análises náuticas e práticas usuais da hidráulica, através de projetos de estudos portuários em escala reduzida. Pelo fato do tempo no modelo ser forçosamente mais rápido do que o real na escala de Froude é possível a execução de um grande número de testes e variações. Diversas condições ambientais, tais como visibilidade (condições diurna e noturna), batimetria, ventos, ondas, marés e correntes, para diferentes navios, condições de rebocadores (número, tração estática e tipo de propulsão) e cenários náuticos (obras fixas e dragagens), durante um período limitado de tempo, criam uma vasta base estatística. As simulações são fisicamente realizadas oficialmente por práticos habilitados pela Marinha em sua respectiva Zona de Praticagem, da qual são conhecedores por excelência.

OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo destacar e consolidar a utilidade do SIAMA, com base em mais de 1.500 testes oficiais, realizados por práticos habilitados, documentados em 22 anos de utilização em diferentes estudos de caso. De fato, a sistematização do uso desta ferramenta, quando já existe um modelo físico de um estudo portuário para outras finalidades, permite extrair informações de melhor qualidade do que os “fast time tests” feitos por um piloto automático virtual. Da mesma forma, o número de simulações de manobras de navios em Full Mission Bridge Simulator fica reduzido às manobras mais promissoras, já triadas pelos práticos.

CONDIÇÕES AMBIENTAIS

No LHEPUSP, as instalações dos SIAMAs estudam, ou já estudaram, as seguintes regiões portuárias:

(1) Baía de São Marcos (MA):

- Terminal Marítimo VALE Ponta da Madeira (PDM), maior da América Latina em taxa de carregamento anual, com quatro píeres e seis berços de atracação estudados.
- Porto de Itaqui da EMAP com um berço estudado.
- Porto da ALUMAR com dois berços estudados.
- Polo Siderúrgico do Maranhão da chinesa Baosteel, com dois píeres e três berços de atracação estudados.

(2) Baía de Sepetiba (RJ):

- Terminal Portuário VALE de Ilha Guaíba (TIG) com um píer e dois berços de atracação.

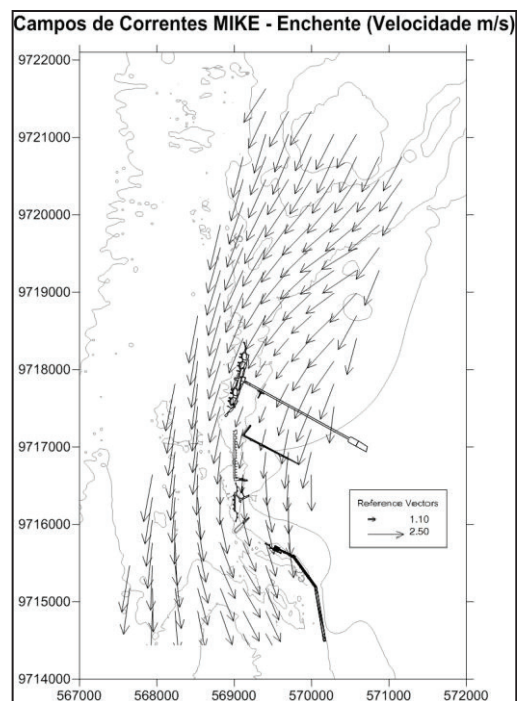


Figura 1 – Campos de corrente de maré enchente na Baía de São Marcos, São Luís, MA. Saída do modelo computacional MIKE3®

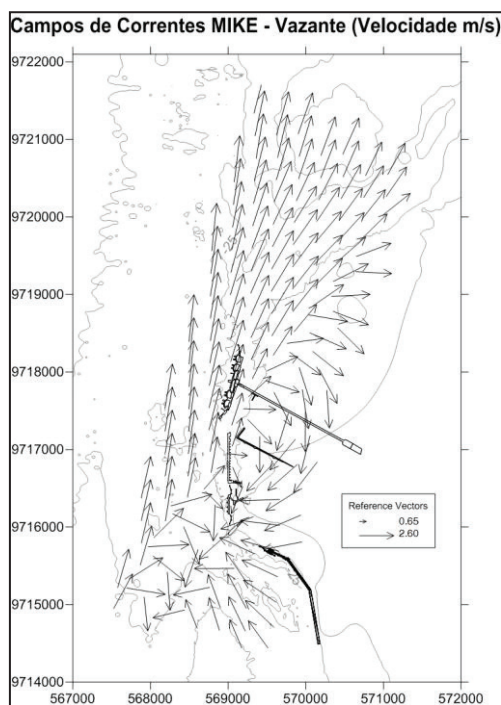


Figura 2 – Campos de corrente de maré vazante na Baía de São Marcos, São Luís, MA. Saída do modelo computacional MIKE3®

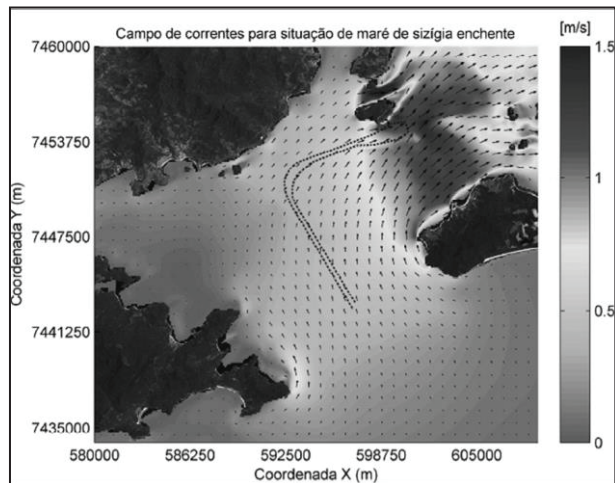


Figura 3 – Campos de corrente de maré enchente na Baía de Sepetiba, RJ. Saída do modelo computacional DELFT3D®

A adequada reprodução das condições ambientais, como a hidrodinâmica de correntes e ondas, é fundamental para obtenção de bons resultados no SIAMA. Nas Figuras 1 e 2 é possível visualizar padrões de correntes de maré enchente e vazante, respectivamente, na Baía de São Marcos, calibrados e validados no SIAMA através de resultados de modelação matemática em nível tridimensional no modelo computacional MIKE3® (versão 2011). Estas são condições críticas para manobras de aproximação aos terminais portuários nesta região. De acordo com Alfredini e Arasaki (2014), correntes de maré associadas a amplitudes de até 7,0 m no local do porto estudado

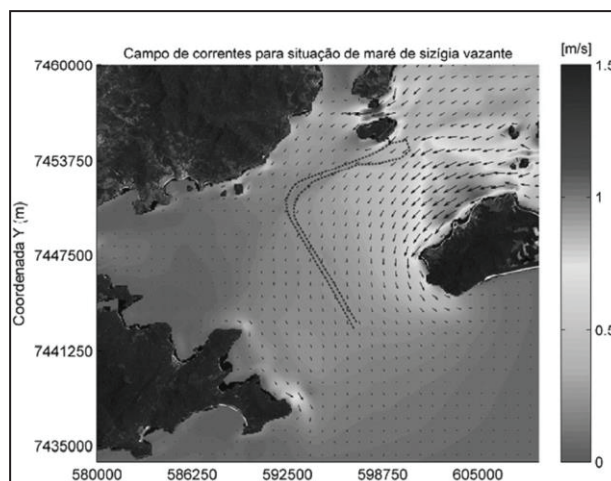


Figura 4 – Campos de corrente de maré vazante na Baía de Sepetiba, RJ. Saída do modelo computacional DELFT3D®

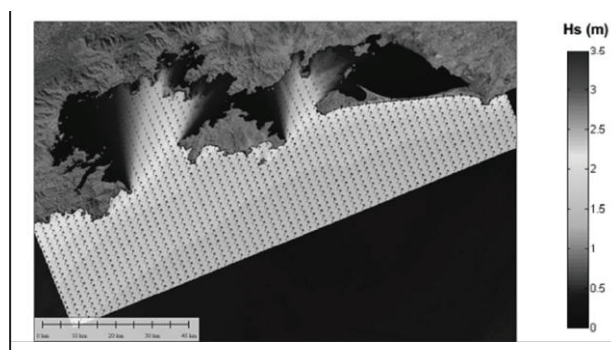


Figura 5 – Mapa de altura significativa de ondas e direções de propagação na Baía de Sepetiba, RJ. Saída do modelo computacional DELFT3D®

podem ocorrer com recorrência de 50 anos. A ondulação é de menor importância na região, com alturas máximas de 1,0 m.

Analogamente, na Baía de Sepetiba, o SIAMA foi calibrado com base nos resultados de estudos de modelagem computacional. Neste caso, o Terminal Portuário de Ilha Guaíba, localizado no interior desta baía, é apenas parcialmente abrigado da ação de ondas, e o modelo físico foi preparado para simular tanto as correntes de marés, quanto trens de ondas através de um sistema gerador eletromecânico. As Figuras 3 a 5 mostram os resultados de padrões de correntes e ondas na Baía de Sepetiba obtidos a partir do modelo computacional DELFT3D® (versão 3.28.50.01).

MATERIAIS E MÉTODOS

O SIAMA da Baía de São Marcos utiliza-se de um modelo hidráulico com redução geométrica sem distorções em escala de 1:170, ocupando no LHEPUSP uma área de aproximadamente 1.700 m², onde estão reproduzidas as áreas de interesse do estuário próximas aos principais terminais portuários. Na Figura 6, há uma vista aérea dos píeres I e III (Berços Norte e Sul) da VALE PDM.



Figura 6 – Vista aérea dos Píeres I e III da VALE (Berços Sul e Norte)

O modelo hidráulico foi construído para estudar as condições de abrigo dos berços de atracação, os movimentos e correspondentes esforços de amarração nos cabos dos navios e os padrões do transporte de sedimentos para a otimização dos processos de dragagem.

A simulação de correntes marítimas é realizada por sistema hidráulico constituído de tubulações de alimentação, comportas, distribuidores e direcionadores de fluxo.

Por meio do simulador são realizadas tentativas de conduzir um modelo de navio controlado por rádio desde o canal de navegação, passando pelas áreas de acesso à bacia portuária, áreas de manobra e berços de atracação, com um cenário semelhante ao real (Figura 7). No modelo os equipamentos portuários notáveis (carregadores de navios), os auxílios à navegação (boias e faróletes), bem como as condições ambientais de correntes e nível da maré são reproduzidos em escala. Se necessário, efeitos de vento podem ser simulados por ventiladores propulsores e efeitos de ondas podem ser reproduzidos por sistema de geradores eletromecânicos.



Figura 7 – SIAMA utilizando assistência de rebocadores para atracação por boreste do navio graneleiro classe Panamax (75.000 tpb) em lastro no Píer III de PDM

Outra possibilidade interessante é estudar as condições de manobras noturnas, uma vez que todos os auxílios luminosos à navegação estão representados em escala, de modo a reproduzir as cores dos sinalizadores, luzes de advertência, faróis, luzes de navios e luzes do porto.

A força dos rebocadores (Figura 8) é simulada pelo impulso de pequenos ventiladores em dutos de ar. Nos modelos de navios maiores são utilizados geralmente quatro ventiladores de velocidade e angulação variáveis, fixados sobre o convés do modelo do navio, que sopram com intensidade, direção e sentido controlados (Figura 9). Estes estão localizados na proa e na popa (forças longitudinais), proa por boreste e bombordo

(forças transversais de vante) e popa por boreste e bombordo (forças transversais de ré). Cada ventilador possui um controle de velocidade independente, sendo possível selecionar os valores de tração estática (bollard pull) desejados.



Figura 8 – Manobra real com auxílio de rebocadores para o navio classe Capesize no PDM Píer III, em lastro por boreste

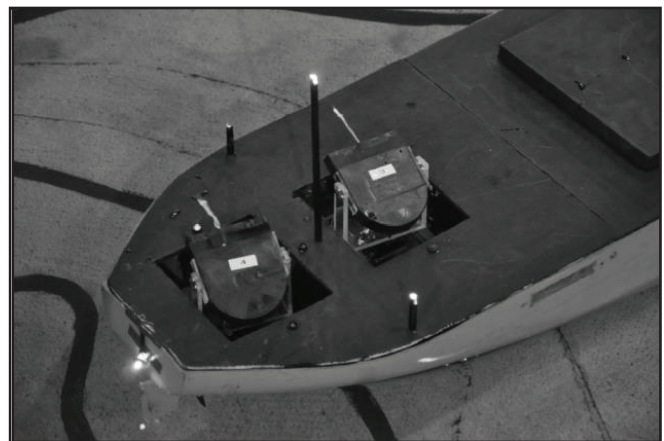


Figura 9 – Rebocadores simulados por ventiladores para um navio graneleiro classe Capesize

Durante um teste no SIAMA, o prático manobra o navio em diversos cursos, utilizando qualquer combinação disponível de forças. O prático pode manobrar o navio de cima do modelo hidráulico, como se estivesse no real a vôo de pássaro, com uma visão privilegiada, o que é interessante que seja feito nas primeiras manobras de ambientação e ajustes para os testes definitivos.

Para os testes definitivos é interessante que o prático realize a manobra a partir de uma sala isolada da vista geral do modelo hidráulico, de tal forma que seja possível visualizar a manobra somente por meio de micro câmeras instaladas no passadiço da embarcação, uma a bombordo e outra a boreste (Figura 10). Estas micro câmeras são controladas pelo prático de dentro da sala por meio de controle remoto, que permite girar as câmeras 180°, simulando a visão real de campo.

As ordens do prático são transmitidas por comunicação via rádio (Figura 11) para uma equipe de apoio que controla os rebocadores, velocidade do motor e o leme (Figuras 12 e 13). Simultaneamente, vídeos e fotografias são adquiridas por uma vista superior da área (Figura 14). Além disso, todos os

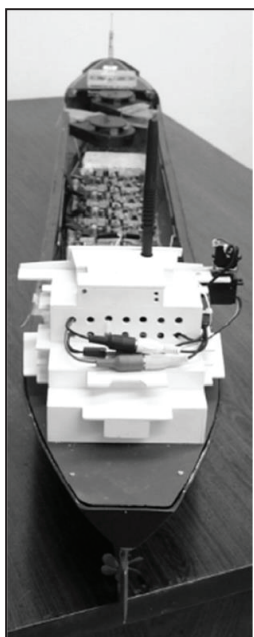


Figura 10 – Instalação da micro câmera de boreste no passadiço do modelo de navio



Figura 11 – Prático realizando atracação utilizando o SIAMA através do sistema de imagem com câmeras instaladas no passadiço do navio

comandos dados pelo prático são registrados por sistema eletrônico, permitindo ao final de cada manobra uma análise da posição e orientação do navio no espaço/tempo, bem como a configuração e atuação de todos os controles (motor, leme e rebocadores) em cada instante. As análises posteriores destes registros revelam, por exemplo, como os rebocadores atuaram para ajudar a atracação do navio, ou se as forças aplicadas têm excedido as conhecidas na prática. Filmes produzidos de fenômenos que ocorrem em modelos hidráulicos são mostrados em velocidade reduzida para permitir uma verdadeira comparação com o objeto em escala real.

Outra consideração relevante é a de que a aplicação da lei de Froude para determinar os fatores de escala do modelo hidráulico, implica em que o fator de escala de tempo é igual à raiz quadrada do fator linear da escala geométrica. Assim sendo, no modelo, o tempo passará mais rápido do que no real (cerca de treze vezes mais rápido neste caso). Dependendo do grau de

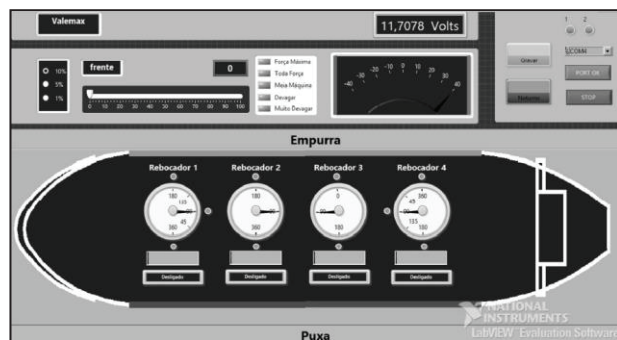


Figura 12 – Central de controle SIAMA com operadores recebendo comandos do prático via rádio.



Figura 13 – Tela de controle dos comandos do navio e rebocadores do SIAMA

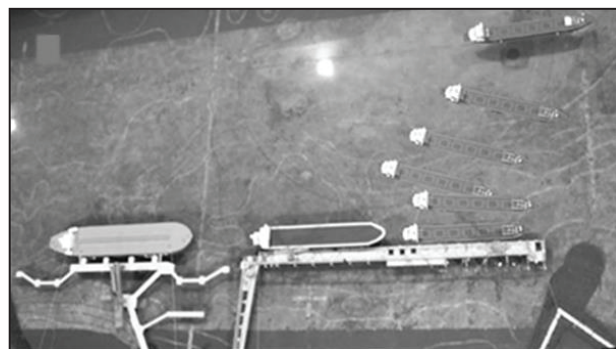


Figura 14 – Sequência de fotos sobrepostas em posição zenital demonstrando atracação do navio Panamax (75.000 tpb) no Píer III berço Norte da VALE PDM

dificuldade e rapidez da manobra real, o controle operacional e tomadas de decisões tendem a ser mais difíceis no SIAMA do que no real. Assim, faz-se necessário um estágio de adaptação para o usuário, findo o qual o prático está habilitado a realizar as manobras, as quais, de qualquer forma, são realizadas numa condição de tempo mais adversa do que no real, pela rapidez, o que torna estes testes a favor da segurança, em termos de conclusão sobre as manobras mais promissoras.

Para que a ferramenta tenha aplicação prática e sirva efetivamente como um simulador de manobras, é fundamental a etapa de calibração dos controles do navio. Motor e leme do

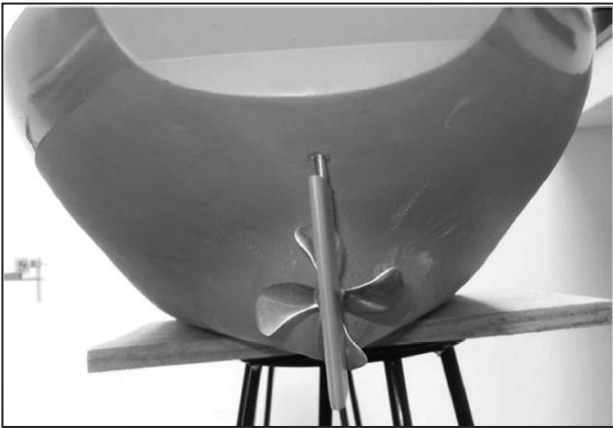


Figura 15 – Detalhe do leme e hélice para um modelo de navio

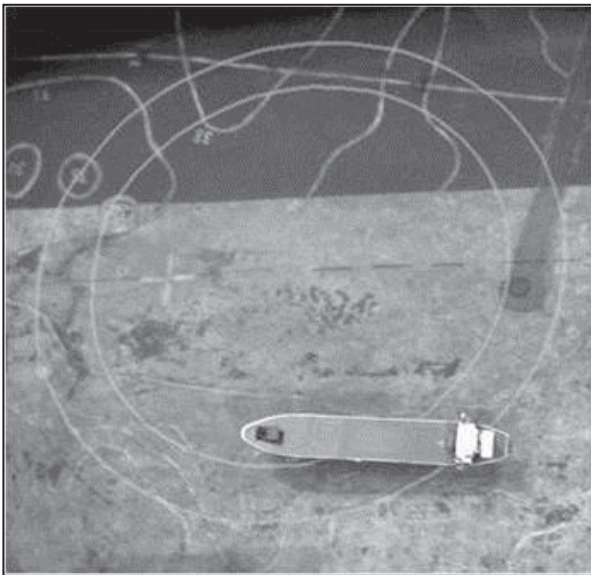


Figura 16 – Calibração de manobra de giro para o navio graneleiro classe Panamax (75.000 tpb)

modelo do navio (Figura 15) são calibrados de acordo com dados de prova de mar de cada embarcação (Figura 16) e os rebocadores têm sua força de atuação calibrada em bancada de registro de esforços, de acordo com a especificação de potência de cada rebocador.

Uma importante questão em relação à eficiência da manobra de atracação é a força do impacto ou a equivalente deformação das defensas, que é medida por sensores de deslocamento com precisão de 0,01 mm, rigidamente montados no deck do píer (Figura 17). A elasticidade das defensas é representada em escala reduzida por lâminas de aço calibradas de acordo com as especificações reais. A avaliação da força de impacto pelo SIAMA é usada como um dado de entrada e auxílio para projetos de defensas, ou para fins de treinamento de práticos. Um gráfico que ilustra a deformação em quatro defensas em um teste de atracação é mostrado na Figura 18.

Todos os testes foram realizados por práticos da Zona de Praticagem da Baía de São Marcos, com a cooperação e auxílio de membros seniores dos departamentos da Marinha do Brasil e de empresas envolvidas.

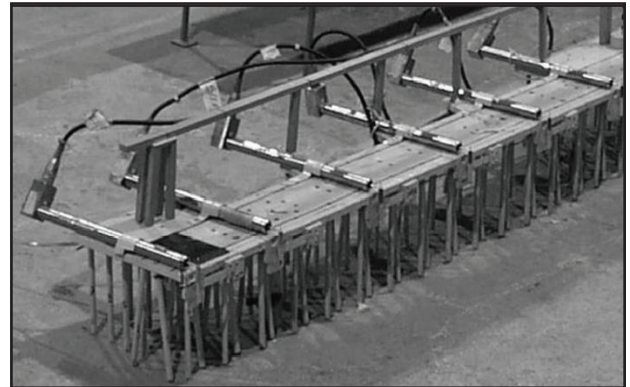


Figura 17 – Detalhe dos sensores para medição dos esforços sobre as defensas no berço Norte do Píer III

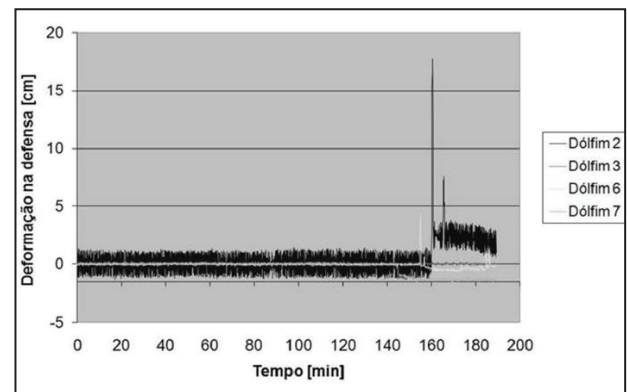


Figura 18 – SIAMA registrando as condições de atracação para o berço Norte do Píer III, apresentando deformações nas defensas (cm) versus tempo de manobra (min), ambos em escala de protótipo para o Píer III da VALE

Analogamente ao modelo da Baía de São Marcos, o SIAMA da Baía de Sepetiba passou pelos mesmos procedimentos de calibração do modelo e navios para os ensaios de manobra com participação da praticagem, conforme ilustrado nas Figuras 19 e 20.

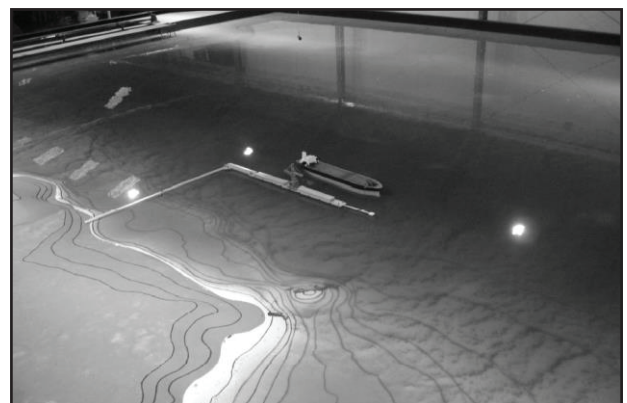


Figura 19 – Manobra de atracação no berço externo do TIG com navio graneleiro da classe Ore Bayovar (180.000 tpb)



Figura 20 – Manobra comandada por prático via rádio para atracação de navio graneleiro da classe Ore Bayovar (180.000 tpb) no berço interno do TIG

As instalações do SIAMA possuem modelos de navios transportadores de minério de 75.000, 152.000, 180.000, 276.000, 365.000, 400.000 e 615.000 tpb.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de alguns estudos de caso com o SIAMA da Baía de São Marcos são apresentados a seguir em detalhes.

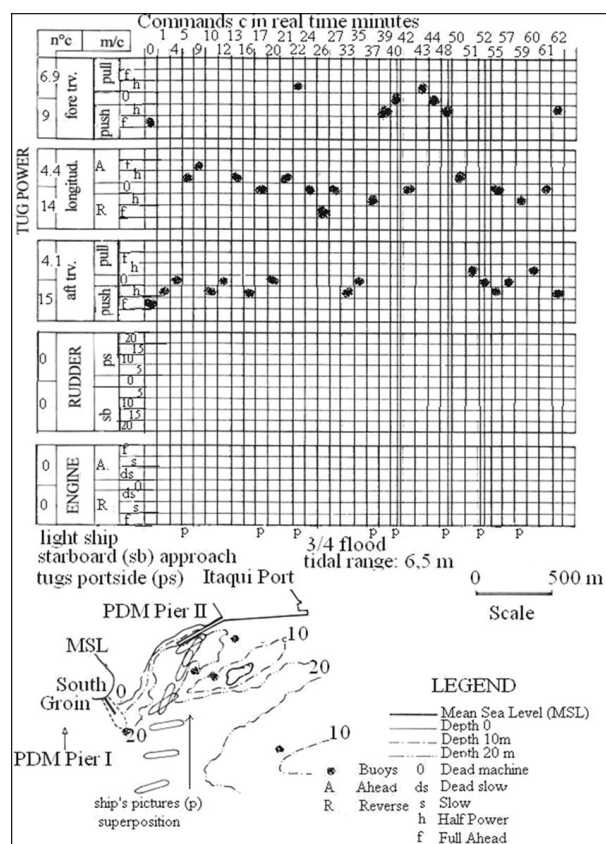


Figura 21 – Descrição detalhada de um ensaio de manobra realizado no SIAMA para um navio tipo Capesize (mineraleiro de 152.000 tpb) em manobra de aproximação ao PDM Pier II somente com auxílio de rebocadores, simulando a perda de motor e leme

As condições excepcionais, de elevado risco, devem ser abordadas. Um dos principais riscos existentes para as manobras de navios diz respeito às condições ambientais adversas, tais como: intensas correntes de maré, ventos fortes e ondas. Outros riscos estão relacionados a falhas de procedimentos e de comunicação (mal-entendidos, erros de cálculo e falta de atenção), além de problemas técnicos (falhas de motor, leme, ou rebocadores). Problemas durante a execução de manobras podem resultar em graves acidentes (colisão, naufrágio, etc.), perda de vidas, impactos ambientais, entre outros.

A Figura 21 contém uma descrição detalhada de um ensaio de manobras realizado com um Capezise (152.000 toneladas), com aproximação e atracação no Píer II de PDM, apenas com auxílio de rebocadores, simulando assim, a ausência de motores e leme do navio.

Ainda na figura 21 é possível observar, ao longo do tempo real (tempo de ensaio de modelo físico convertido para unidade de tempo real), o registro de todos os comandos solicitados pelo prático via rádio. No caso deste ensaio específico, como estava sendo simulada uma situação crítica de ausência de motor (ENGINE) e leme (RUDDER), só é possível observar o registro da ação de rebocadores (TUG POWER) puxando ou empurrando a embarcação em relação ao terminal. Nesta região ocorrem dificuldades relativas às intensas velocidades das correntes de maré, pois o canal de navegação é significativamente confinado pelo Espigão Sul e por bancos de areia localizados ao largo do mesmo, próximos à Ilha Guarapirá. Este ensaio é um exemplo da utilidade da avaliação de riscos de choques e encalhes, causados por falhas nos motores, leme ou rebocadores, sendo que neste caso foi testada a falha de motores e leme.

Como descrito por Alfredini et al. (2011) e Gerent (2010), para cada conjunto de ensaios, no debriefing a equipe preencheu uma lista (check-list) baseada nas recomendações do PIANC et al. (1997), contemplando os seguintes aspectos:

Rebocadores: número e sua ordenação, bem como a tração estática empregada;

Movimentos de motor: frequência, número (nesta simulação de falha não foi considerado);

Avaliação da manutenção da trajetória e posição: habilidade de manter a embarcação no trajeto desejado;

Posição: em relação ao píer e às demais embarcações;

Controle e segurança: sentimento de segurança

As seguintes pontuações foram atribuídas para cada item:

10 – Praticável adequadamente e com facilidade

5 – Praticável sob determinadas dificuldades

0 – Minimamente praticável ou não praticável

Procede-se, então, a uma comparação das situações ensaiadas duas a duas, classificando os diferentes cenários em “muito mais fácil”, “mais fácil”, “tão difícil quanto”, “mais difícil que” e “muito mais difícil que”.

A Figura 22 indica uma ideia quantitativa do impacto econômico de um estudo de manobras. No primeiro gráfico desta figura, é apresentada a condição de operação do porto utilizada entre 1986 e 2007, onde existia uma restrição para manobra de até 14 horas ao longo do dia (7 horas após cada estofa de baixa-mar). Após os estudos realizados de manobra no SIAMA

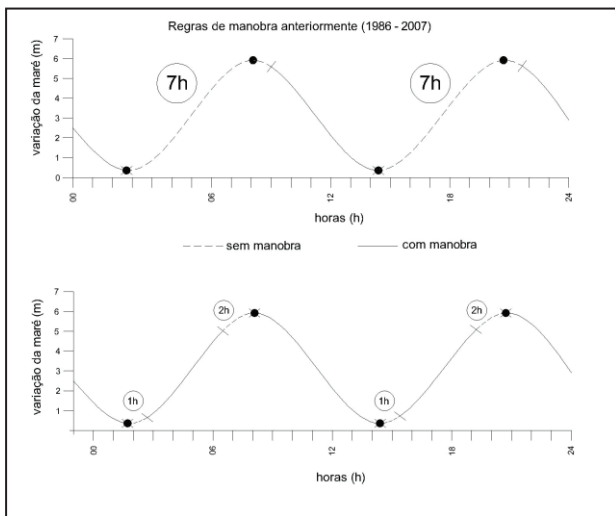


Figura 22 – Ampliações das janelas de maré obtidas através do SIAMA para PDM, píeres I e III

com participação de engenheiros, práticos e autoridades navais brasileiras, estas restrições foram reduzidas para 6 horas diárias (1 hora após cada estofo de baixa-mar e 2 horas antes de cada estofo de preamar), resultando em um significativo aumento da janela de maré para manobras. Este estudo envolveu todos os 13 práticos da Zona de Praticagem do Maranhão, o Capitão dos Portos e oficiais navais. Com as melhorias obtidas, agora é possível realizar manobras combinadas (aproximação e atracação de uma embarcação e desatracação de outra embarcação coordenadas), com a utilização de dois rebocadores mais potentes (bollard pull de 750 kN) que os utilizados à época (bollard pull de 500 kN). A consequência imediata desta otimização foi um aumento de 15% no carregamento anual do terminal, levando à movimentação de 10 milhões de toneladas de minério de ferro a mais.

Resumindo, o SIAMA da Baía de São Marcos realizou mais de 400 testes de simulação para PDM Píer III, mais de 350 para PDM Píer I, mais de 300 para o PDM Píer IV, mais de 200 para PDM Píer II, mais de 100 para o Porto da ALUMAR e mais de 50 simulações para o Porto de Itaqui. Fato importante para obtenção destas estatísticas foi a adaptação dos práticos, resultante da familiarização com a utilização desta ferramenta. Deve-se destacar também que o fato da escala de tempo ser aproximadamente 13 vezes mais rápida do que o real também possibilitou a realização de um grande número de manobras, sendo que cada prático realizou mais de 100 manobras em média. Sob estas condições foi possível obter alterações nas regras de manobras oficiais das autoridades navais para região.

CONCLUSÕES

Modelos hidráulicos em escala têm uma extensa gama de aplicações. É provável que modelos portuários ou fluviais tenham sido construídos para prever os padrões hidrodinâmicos, dispersão de poluentes, condições de amarração, assoreamento, arranjo geral de obras de abrigo, quebra-mares entre outros. A

partir de tais conclusões, se faz necessário o questionamento sobre a eficácia e utilização de modelos hidráulicos existentes para manobras de investigação e conceituais (conceito SIAMA).

Um aspecto importante no projeto é a disposição e dimensões do porto em estudo, bem como as dos canais de acesso e bacias de evolução. A eficiência e segurança de um porto são definidas pela sua acessibilidade e capacidade náutica. O dimensionamento estratégico do layout e disposição das janelas de entrada operacionais na fase inicial do projeto podem ser otimizados por meio de simulações em tempo acelerado, utilizando o conceito analógico SIAMA. No exemplo apresentado na Figura 22 foi possível observar o aumento expressivo na janela de maré para manobras após os estudos desenvolvidos em modelo físico. Esta abordagem está de acordo com a premissa do relatório PIANC et al. (2014) que indica a importância da utilização de modelos físicos no desenvolvimento dos projetos portuários.

Além de sua aplicação como ferramenta de treinamento, o SIAMA também facilita a análise de risco de forma comparativa, como uma ferramenta para projetos portuários. Situações de emergência como falhas de motor e leme podem ser simuladas, como apresentado no exemplo de ensaio apresentado na Figura 21. Além disso, a ferramenta pode ser utilizada também para simulação de outras condições severas, como manobras noturnas, influência sobre navios atracados durante a passagem do navio em manobra, falhas totais ou parciais em rebocadores, entre outros.

Assim, a principal razão para o uso do SIAMA é o auxílio em simular o comportamento real dos procedimentos operacionais de manobrabilidade realizadas pelos profissionais (práticos e mestres de rebocadores), item extremamente difícil para simular em modelos descritivos, matemáticos, entre outros. Além disso, os resultados obtidos em experiências de simulador de tempo acelerado podem ser incorporados na concepção probabilística.

Portanto, os resultados apresentados confirmam a possibilidade e a importância de utilizar o conceito SIAMA como uma ferramenta eficaz no aperfeiçoamento de projetos portuários.

REFERÊNCIAS

- ALFREDINI P.; ARASAKI E. Engenharia Portuária. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2014.
- ALFREDINI P.; GERENT J.P.; ARASAKI E. Analogical Manoeuvring Simulator with Remote Pilot Control for Port Design and Operation Improvement. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, v. 5, n. 3, p. 315-322, 2011.

GERENT, J. P. A simulação de manobras não tripuladas de navios na otimização de projetos e operações portuárias. 2010. Dissertation (MSc) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses, IMPA – International Maritime Pilots Association & IALA - International Association of Lighthouse Authorities. Harbour Approach Channels Design Guidelines, 2014. PIANC Report n° 121-2014.

PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses, IMPA – International Maritime Pilots Association & IALA - International Association of Lighthouse Authorities. Approach channels – A guide for design. Tokyo: Joint PIANC Working Group II-30 in cooperation with IMPA and IALA, 1997.