JOFFRE VILLOTE

**UTILIZAÇÃO DE SIMULADOR MATEMÁTICO COMPARATIVAMENTE AO
ANALÓGICO NOS ESTUDOS DE MANOBRA PORTUÁRIA**

**São Paulo
2010**

JOFFRE VILLOTE

**UTILIZAÇÃO DE SIMULADOR MATEMÁTICO COMPARATIVAMENTE AO
ANALÓGICO NOS ESTUDOS DE MANOBRA PORTUÁRIA**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de mestre em
Engenharia Civil

Área de Concentração:

Engenharia Hidráulica

Orientador:

Prof. Dr. Paolo Alfredini

São Paulo

2010

RESUMO

O Simulador Híbrido, unindo um modelo Numérico a um modelo analógico proporcionará resultados bastantes realísticos alcançados em avaliação de risco pertinente a desenvolvimentos de projetos de Engenharia onde as manobras de navios de todos os portes, com aumento de fluxos de embarcações futuras se torna cada vez mais necessária.

A busca pela qualidade, a garantia e a sustentabilidade destes tipos de projetos, quase sempre de alto custo, faz deste Simulador a ferramenta mais importante neste desafio, pois poderá ser avaliado o somatório das vantagens e desvantagens que afetam ambas as ferramentas, chegando a um nível ideal de simulação, contendo critérios de amarração, com tipos de cabos dos navios adequados, sob quaisquer condições de maré e outras atipicidades dos terminais.

Este trabalho tem por objetivo mostrar que o Simulador Híbrido levará à otimização da operação portuária, garantindo o alto nível da segurança por elas efetuado, diminuindo custos inerentes substanciais para a empresa contratante, através da demonstração de “cases” apresentados e embasamento teórico.

ABSTRACT

The Hybrid Simulator, joining a mathematical model to an analogical model will provide results sufficiently realistic reached in evaluation of pertinent risk the developments of projects of Engineering where the maneuvers of ships of all the transports, with increase of flows of future boats if become each more necessary time.

The search for the quality, the guarantee and the support of these types of projects, almost always of high cost, makes of this Simulator the tool most important in this challenge, therefore the many of the advantages could be evaluated and disadvantages that affect both the tools, arriving in an ideal level of simulation, I contend knotting criteria, with types of handles of the adjusted ships, under any conditions of tide and other atipics of the terminals.

This work has for objective to show that the Hybrid Simulator will lead to the optimization of the port operation, guaranteeing the high level of the security for effected them, diminishing substantial inherent costs for the contracting company, through the demonstration of "you marry" presented and theoretical basement.

GLOSSÁRIO

- **APP:** Sigla de Análise Preliminar de Perigos.
- **ARQUEAÇÃO BRUTA:** é um valor adimensional, proporcional ao volume dos espaços fechados do navio. É principalmente utilizada para comparação entre navios mercantes.
- **BERÇO DE ATRACAÇÃO:** Divisões de um cais, píer ou atracadouro destinado à atracação dos navios.
- **BOCA:** largura da seção transversal a que se referir; quando expressa sem referências, significa a maior largura do casco.
- **BOCA MOLDADA:** é a maior largura do casco medida entre as faces exteriores da carena, ou seja, é a maior largura do casco entre as superfícies moldadas.
- **BOLLARD PULL:** Força de Tração Estática de uma embarcação, normalmente utilizada como medida de força aplicável de cada rebocador a ser utilizado em uma manobra (medida em toneladas força).
- **CALADO:** É para qualquer ponto que se tome a distância vertical entre a superfície da água e a parte mais baixa do navio naquele ponto.
- **CAVIRÃO:** pino que é preso na manilha da âncora (manilhão). Serve para reforçar.
- **DESLOCAMENTO:** é o peso da água deslocada pelo navio flutuando em águas tranquilas. Pelo princípio de Arquimedes, é igual ao peso do navio e tudo que ele contém na condição atual de flutuação.
- **DHN:** Diretoria de Hidrografia e Navegação (Unidade da Marinha do Brasil)
- **DPC:** Diretoria de Portos e Costas (Unidade da Marinha do Brasil).
- **DWT:** Abreviação de “Deadweight” – Tonelagem do Porte Bruto da embarcação.
- **IMO:** Sigla de “International Maritime Organization” – Organização Marítima Internacional.
- **ESPRINGUES:** São os cabos de amarração que, quando saindo da proa são orientados para ré, e ao saírem da popa, são orientados para vante.
- **FERRO PATENTE:** Tipo de ferro que não possui cepo, com haste articulada nos braços, geralmente por um pino que trabalha numa cavidade feita na cruz. Possuem a grande vantagem de serem manobradas e arrumadas a bordo com facilidade.

- **FILAME:** É o comprimento da amarra fora do escovém, com o navio fundeado.
- **GARRAR OU IR À GARRA:** Se diz quando um navio é levado pelo vento, maré ou corrente, arrastando no fundo sua âncora ou a amarra.
- **LANÇANTES:** São os cabos de amarração que, quando na proa estão orientados para vante, e quando na popa orientados para ré; quando a meia-nau, saindo de bordo de meia-nau para a proa, orientada para vante e quando saindo de bordo de meia-nau para a popa, orientada para ré. Concorrem com os espringues para evitar que o navio se mova ao longo do cais ou para fora.
- **“LINE-UP”:** Cronograma dos navios que irão atracar, normalmente informado pelos terminais de operação aos comandantes das embarcações que aguardam atracação nos fundeadouros dos portos.
- **MANILHÃO ou MANILHA DA ÂNCORA:** Manilha reforçada, mais larga que as manilhas dos quartéis. Liga a amarra ao anete da âncora, devendo ser colocada com a parte curva no elo da amarra e o cavirão no anete.
- **MARÉ DE SIZÍGIA:** Maré de grande amplitude, ocorrendo nas fases da lua cheia e lua nova. Nas marés de sizígia, ocorrem os máximos valores de preamar (maré alta) e mínimos valores de baixa-mar (maré baixa); correspondem às ocasiões onde ocorre um alinhamento SOL-TERRA-LUA, com a força gravitacional da LUA e do SOL sobre a TERRA somando-se contribuindo para a elevação do nível do mar.
- **MARÉ DE QUADRATURA:** Maré de menor amplitude, ocorrendo nas fases de quarto crescente e quarto minguante. Nas marés de quadratura, a posição relativa da LUA-TERRA-SOL faz um ângulo de 90 (noventa) graus, indicando que a força gravitacional resultante terá um efeito menor na elevação do nível do mar.
- **MORDENTE:** Aparelho fixado no convés e colocado na linha de trabalho da amarra, entre o cabrestante e o escovém. Tem a finalidade de sustar ou agüentar de pronto a amarra.
- **NÓ:** Unidade de velocidade empregada em navegação (equivalente a 1852 m / h ou 1.852 km/ h).
- **NORMAM:** Sigla de Normas da Autoridade Marítima (competência da Diretoria de Portos e Costas).
- **NPCP - MA:** Sigla das Normas e Procedimentos da Capitania dos Portos, emitidas pelo Capitão dos Portos do Maranhão.

- **QUARTÉIS DA AMARRA OU QUARTELADAS:** Seções desmontáveis de que se compõe a amarra de um navio. No Brasil e nos Estados Unidos, os quartéis comuns têm 15 braças (sendo cada braça com 1,83 metros) ou 27,45 metros.
- **TRAVESES:** São os cabos de amarração que saem perpendiculares ao cais, sem orientação nem para vante nem para ré. São utilizados para evitar que o navio se afaste do cais por efeito do vento ou da corrente.
- **TENÇA:** Tipo de fundo. Deve ser considerado no momento da manobra de fundeio, na decisão da quantidade de quarteladas a mergulhar.
- **TPC:** Sigla de Toneladas por centímetro de imersão (t/cm); ao acrescentar ou retirar um peso, há aumento (ou diminuição) do volume da água deslocada pelo navio; esta variação de volume é igual ao produto do aumento de calado pela área do plano de flutuação.
- **RIPEAM:** Sigla de Regulamento Internacional para Evitar Abalroamentos no Mar.
- **VTS:** Sigla de “Vessel Traffic Service”, tradução de Sistema de Gerenciamento de Tráfego Marítimo.
- **MBL:** Carga nominal mínima de ruptura.

LISTA DE SIMBOLOS

- C: coeficiente de Chézy ($m^{1/2}/s$)
- E: módulo de elasticidade volumétrica
- f: coeficiente de atrito de Darcy-Weissbach
- Fr: número de Froude
- Fn: número de Froude de profundidade
- g: aceleração da gravidade (m/s^2)
- i: declividade do leito (m/m)
- J: declividade global da linha de energia (m/m)
- L: dimensão linear (m);
- Ks: rugosidade equivalente do leito (m)
- p: pressão (kgf/m^2)
- Re: número de Reynolds
- t: tempo (s)
- Lpp: Comprimento entre perpendiculares (m)
- V: velocidade média do escoamento (m/s);
- W: número de Weber
- λ : escala do modelo-relação modelo (M): protótipo (P)
- μ : viscosidade dinâmica do fluido (kg/ms)
- ν : viscosidade cinemática do fluido (m^2/s)
- ρ : massa específica do fluido (kg/m^3)
- σ : Coeficiente de tensão superficial do fluido (N/m);
- Cb: Coeficiente de Bloco
- H: Profundidade em águas tranquilas (m)
- TPPM: Terminal Marítimo de Ponta da Madeira

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 Considerações Gerais e Motivação	9
1.2 Justificativa	13
1.3 Objetivo	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 Simuladores Físicos e Numéricos – Discretização dos cenários a serem comparados.	15
2.2 A importância do critério de semelhança de Froude em ambas as ferramentas.....	18
2.3 Aspectos técnicos da navegação em canais e águas restritas - Efeito “squat”	19
2.4 A importância da formação de ondas geradas pelas águas rasas na simulação	23
2.5 Classes de navios encontrados e usados para as simulações	26
2.6 Rebocadores Portuários aplicados nas simulações	28
3 METODOLOGIA - MODELOS FÍSICO E NUMÉRICO DOS TERMINAIS DE PONTA DA MADEIRA E ILHA GUAÍBA.....	35
3.1 Terminal Portuário de Ponta da Madeira.....	35
3.1.1 Estudo em modelo Físico - SIAMA – Simulador Analógico de manobras	41
3.1.1.1A importância do estudo de amarração e especificações de defensas 44	
3.1.2 Estudo em modelo Numérico (TPPM).....	55
3.2 Terminal Portuário da Ilha Guaíba (TIG).....	64
4 RESULTADOS E GANHOS OBTIDOS COM PRODUTIVIDADE NOS TRABALHOS REALIZADOS NOS MODELOS NUMÉRICOS E FÍSICOS DESENVOLVIDOS NO BRASIL	68
4.1 Terminal Portuário de Tubarão.....	68

4.2	Terminal Marítimo da Alunorte, Para Pigmentos e Rio Capim Caulim.....	70
4.3	Terminal Marítimo da Madre de Deus.....	75
4.4	Terminal Marítimo da COPENE em Aratu	80
4.5	Modelo Físico de Ponta da Madeira.....	87
5 VIRTUDES E DEFICIÊNCIAS CONSIDERADAS.....		89
6 DISCUSSÃO DE TRABALHOS FUTUROS E SUAS PROJEÇÕES DESEJADAS		96
7 CONCLUSÃO		103
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		104

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Gerais e Motivação

Na busca constante pelas melhorias operacionais, bem como simulações de situações emergenciais de contingência, os terminais portuários focam cada vez mais na segurança aquaviária, visando logicamente o lucro inerente. Com este objetivo os Simuladores Físicos e Numéricos vem desempenhando papel de vital importância.

Desde 1993 opera no LHEPUSP - Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica um Simulador Analógico de Manobras (SIAMA) em modelo físico reduzido com escala de tempos acelerados pela Lei de Semelhança de Froude, um dos únicos do gênero atualmente, que foi utilizado até hoje em estudos de manobras de atracação e desatracação em 13 berços de empresas ligadas às operações portuárias, conforme elencado em ordem cronológica abaixo:

- Sete berços no Terminal Privativo de Ponta da Madeira (CVRD – Companhia Vale do Rio Doce, hoje VALE) em todos os berços existentes e nos projetados: Berço do Píer I, Berço do Píer II, Berço Sul e Norte do Píer III, Berço Sul e Norte do Píer IV (em fase final de projeto), Berço 1 de Carvão do Terminal do Pólo Siderúrgico do Maranhão (em estudo conceitual para projeto básico).
- Dois berços no Porto Organizado de Itaqui - EMAP: Cais 108 (em fase final de projeto) e no Cais 100 (em estudo conceitual).
- Dois berços no Porto Privativo do Consórcio ALUMAR: Berço 1 e Berço 2 (em construção).
- Dois berços no Terminal Privativo da Ilha Guaíba (VALE): Berço Interno e Berço Externo.

O mais importante resultado obtido no SIAMA foi a evolução das manobras de atracação e desatracação de navios de grande porte (a partir do porte Capesize) no Terminal de Ponta da Madeira, que em menos de 5 anos tornar-se-á o maior terminal de movimentação de carga do Hemisfério Ocidental, com o aumento dos BP (Bollard Pull) dos rebocadores, proporcionando consideráveis ganhos na capacidade de embarque de minério, sem infringir a camada de segurança. Com reiteradas manobras, dezenas de vezes, até alcançar o desejado com os pilotos da Associação de Práticos Local (SERVPRAT e PRATIMAR), representantes da equipe operacional do terminal (na qual como Port Captain figurou este autor), representantes do Consórcio de Rebocadores, representantes da armadora DOCENAVE e o Capitão dos Portos.

Contemporaneamente a este desenvolvimento em simulação analógica, um simulador digital “full mission”, fundamentado em modelo Numérico, foi implantado no CIAGA (Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, na Escola de Formação de Oficiais da Marinha Mercante no Rio de Janeiro) também buscando, através de suas simulações, resultados que iriam garantir o sucesso da operação de outros terminais portuários, tais como o TEMADRE (Terminal Madre de Deus em Salvador, Bahia) o Terminal da Baía de Cotequipe (Salvador, Bahia), o Terminal de Tubarão (Vitória, Espírito Santo), o TECONDI (Terminal de Contêineres da Margem Direita do Porto de Santos, São Paulo), dentre outros. Estes estudos, realizados em escala de tempo real, deram as condições de tempo adequadas, permitindo adotar procedimentos apropriados. Além disso, este simulador constitui-se na instalação oficialmente utilizada pela Marinha do Brasil para a realização da Prova Prática nos Concursos Públicos para Práticos no Brasil.

Este autor, como Capitão de Longo Curso, foi elemento integrante da equipe técnica que implantou o simulador digital no CIAGA, bem como foi professor desta instituição durante mais de duas décadas. Desta forma, em mais de três décadas, teve a singular oportunidade de vivenciar o trinômio manobra real -

manobra simulada digitalmente em tempo real - manobra simulada fisicamente em tempo acelerado froudiano, vendo-se na obrigação de extrair desta experiência a motivação para consolidar sistematizadamente sua contribuição para o tema nesta Dissertação.

De fato percebeu este autor que, por mais que se dedicasse a um resultado final em ambas as ferramentas de simulação havia a carência de determinadas afinidades, ora na velocidade de aproximação dos navios à linha de atracação, ora no ponto de vista dos práticos. Em suma, há carência de fidelidades, que somente na realidade pode-se concluir de aperfeiçoar, corrigindo certos efeitos de escala inerentes aos modelos físicos reduzidos, bem como as simplificações adotadas nas equações diferenciais que regem a hidrodinâmica do navio. Esta constatação aumenta de certa forma, o risco inerente à operação com relação a uma simulação perfeitamente fiel, no entanto, no limite, esta somente é possível no real. Pode-se concluir desta tríplice experiência do autor, que as ferramentas de simulação são mandatórias para os aprimoramentos de projeto de Engenharia e operacionais de Náutica.

Por esta razão nasceu há mais de cinco anos a idéia de conceber a proposta de um Simulador Híbrido, o SIDAMA – Simulador Digital e Analógico de Manobras - capaz de lançar mão de ambas as simulações no que elas têm de vantagem específica, vindo a complementar mutuamente as falhas encontradas de per si em cada ferramenta, criando condições de uma modelação praticamente ideal, em que as pequenas diferenças encontradas na realidade fossem absorvidas e transformadas em resultados positivos, criando a sinergia tão desejada ao vulto do empreendimento aplicado. Esta idéia é coerente com os avanços contemporâneos da modelação física e da modelação matemática, consistindo num pragmático e profissional reconhecimento de que nenhuma das ferramentas será hegemônica, dependendo uma da outra, diferentemente de concepções retrógradas costumeiramente externadas por pseudo-especialistas que valorizam excessivamente uma em detrimento da outra.

Uma instalação de simulação híbrida para estudos de estruturas de plataformas oceânicas está sendo inaugurada na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Trata-se do Tanque de Provas Numérico patrocinado pela PETROBRÁS.

A Autoridade Marítima e toda a comunidade aquaviária esperam por esta realidade, a fim de garantir a Lei do Tráfego Aquaviário (LESTA) e proporcionar os benefícios dos resultados deste investimento, como preconizado e adotado por países mais evoluídos, que fazem desta possibilidade sua realidade operacional, reduzindo os riscos do empirismo da não simulação, dos efeitos de escala dos modelos físicos reduzidos e das imprecisões das simplificações das equações diferenciais nos modelos Numéricos.

1.2 Justificativa

As técnicas empregadas para avaliação de manobras dos navios são duas, o modelo Numérico numérico e o modelo físico analógico.

Tanto no modelo analógico rádio-controlado por piloto real (Gonçalves, 2005 e Gerent, 2010), quanto no modelo Numérico, as manobras podem ser simuladas para avaliar novos projetos de Engenharia Portuária para atenuar risco de acidentes.

A justificativa desta Dissertação é demonstrar que as simulações de manobra são fundamentais para diminuir a quantidade de erros e executar a manobra com alto nível de segurança. Através da sinergia do modelo híbrido entre o modelo físico e o Numérico podem-se unir suas respectivas vantagens, formando uma envoltória que isso minimiza as desvantagens das duas ferramentas, de modo a otimizar a simulação, viabilizando ou não a realização de projetos aquaviários como concebidos conceitualmente.

1.3 Objetivo

Tem-se como objetivo, comparar os tipos de simulação de manobras de navios existentes e propor conceitualmente as bases para um simulador quase-ideal fundamentado num modelo híbrido físico-Numérico. Assim, demonstrar-se-á que o uso destas duas simulações, com a utilização de modelo hidráulico físico reduzido e um modelo Numérico hidrodinâmico são indispensáveis para que novos projetos de terminais tenham em sua Engenharia as conclusões definidas de manobrabilidade dos navios, garantindo a camada de segurança indispensável às suas realizações e a sustentabilidade destes dispendiosos empreendimentos.

Estabelecer possibilidades de ganhos de cada modalidade de simulador para otimizar suas vantagens individuais e minorar suas desvantagens inerentes. Esta complementaridade foi focada no projeto da área portuária abrigada, como obra da engenharia civil, utilizando a avaliação náutica como ferramenta de otimização de diferentes variantes de projeto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Simuladores Físicos e Matemáticos – Discretização dos cenários a serem comparados.

A escolha das escalas e seus efeitos têm por objetivo a discretização dos cenários. Nestes estudos define-se que esta discretização é mais pertinente ao modelo analógico, visto que normalmente este tipo de modelagem é utilizada para complementar os cálculos dos modelos numéricos ao longo de um projeto muito grande e complexo. Assim, no modelo físico pode-se estudar em tempo acelerado, em escala reduzida, diversos fenômenos físicos.

Além dos modelos meramente conceituais, que facilitam e norteiam a compreensão e a visualização dos fenômenos naturais intervenientes, os dois métodos de simulação podem servir de instrumento para o estudo de fenômenos físicos na natureza: simulação física e simulação matemática.

A aplicação de um método não exclui o emprego do outro, muito pelo contrário é o objetivo deste projeto provar que um precisa ser cada vez mais, parte integrante do outro, a fim de mitigar mutuamente as deficiências inerentes, garantindo de forma segura a sustentabilidade da simulação para conclusão do projeto, seja ele qual for (PIANC, 1992).

O modelo físico pode servir de referência para a calibração do modelo numérico como, por exemplo, nos estudos de jatos (modelos semi-empíricos). Já no modelo numérico os estudos representam os fenômenos da natureza por meio de equações. Estas equações matemáticas dos fenômenos físicos são, em alguns casos, de difícil representação e solução. Além disso, necessitam seguidamente do uso de coeficientes desconhecidos, que deverão ser medidos na natureza ou em modelos físicos. Como a resolução das equações completas de navier-stokes nem sempre é possível, faz-se necessário desprezar certos termos e ainda formular hipóteses sobre a distribuição espacial de certas grandezas (modelos integrais), ou discretizar o espaço e o

tempo (modelos numéricos). Estes modelos podem ser uni, bi e tridimensionais. A escolha das hipóteses simplificadoras e do tipo de modelo é fundamental para a validade dos resultados obtidos (HIRANO et al, 1985).

Os modelos físicos têm a vantagem de não apresentarem uma discretização do fenômeno, pois este é contínuo e pode ter uma representação geométrica tridimensional sem dificuldades. Os modelos híbridos, apesar de possuírem custos iniciais elevados, apresentam-se como solução para reduzir os custos de operações, devido à sua grande flexibilidade, pois permitem a realização de vários ensaios em pouco tempo. São fundamentalmente modelos comandados por computadores, ou como no caso do LHEPUSP em que a manobra do navio é comandada via rádio por Piloto Real da Praticagem do local do porto, além do que existe também a possibilidade de num modelo físico embarcar o Prático, dependendo da escala. Já num modelo numérico a simulação pode ser executada em um passadiço totalmente equipado (full mission) de 360 graus de visibilidade, ou através de computadores pessoais.

O avanço tecnológico da ciência da computação, principalmente nas últimas três décadas, o rápido desenvolvimento dos computadores e de algoritmos numéricos eficientes vêm tornando viável a obtenção de soluções aproximadas para o problema, até então pouco tratável, do escoamento real em torno de formas arbitrárias. Os êxitos já obtidos têm incentivado os esforços simultâneos de vários grupos no sentido de desenvolver cada vez mais aplicações e sistemas de resoluções numéricas combinadas com soluções analíticas especiais, que confirmem aos códigos para cálculos de escoamento de fluidos o grau de confiabilidade necessário, de modo a fornecer resultados satisfatórios que possam ser utilizados em aplicações de Engenharia. O tanque de provas numérico portuário, fundamentado em modelo físico e numérico está cada vez mais próximo da realidade à medida que aumentam a velocidade do processamento e a memória dos computadores.

A solução teórica define o movimento do fluido, em cada condição tempo – espaço, através de sua descrição cinemática, geralmente da velocidade (vetorial) das partículas de fluido. A função desconhecida da velocidade relaciona-se com a força que age sobre o fluido, através das Leis de Newton que, portanto, geram um sistema de equações diferenciais parciais, chamadas equações Navier–Stokes, no caso de fluidos newtonianos. A esta equação se junta a equação da continuidade, expressando a conservação da massa fluida.

Numa concepção ideal da união de dois modelos, físico e numérico, pode-se, por exemplo, avaliar a influência de ventos críticos sobre as formas vélicas dos navios em lastro, principalmente em modelo numérico.

Para tal, a primeira geração de métodos numéricos utilizados tentou eliminar ou reduzir a influência das simplificações impostas pelos métodos tradicionais, para que se pudessem tentar soluções específicas. Algumas destas limitações são:

Considerar fracas as interações entre as forças viscosas e gravitacionais.

Considerar pequenas as amplitudes das ondas de superfície livre, de modo que as condições de fronteiras não lineares possam ser substituídas pelas condições linearizadas.

Aproximar a forma do casco, em vez de satisfazer exatamente às condições de contorno sobre o mesmo (teoria do corpo esbelto, teoria do corpo fino, etc.)

2.2 A importância do critério de semelhança de Froude em ambas as ferramentas

A utilização de testes de reboque de modelos reduzidos de embarcações por W. Froude, na Inglaterra (1864) marca, talvez, o início da moderna arquitetura naval. Até então, a definição da geometria dos cascos fundamentava-se nos já construídos e bem sucedidos e na experiência acumulada pelos projetistas navais da época. A partir dos primeiros testes de reboque realizados por W. Froude, a tecnologia baseada nos ensaios de modelos reduzidos se disseminou e desenvolveu rapidamente.

Os escoamentos em torno de embarcações que avançam com velocidade constante e com geometrias similares, porém com valores diferentes relativos aos parâmetros físicos relevantes, são ditos dinamicamente semelhantes se os parâmetros adimensionais número de Froude e número de Reynolds forem iguais no modelo e no protótipo. Neste caso os efeitos hidrodinâmicos resultantes, incluindo a velocidade do escoamento, a pressão e as forças hidrodinâmicas agindo nas fronteiras do fluido, podem ser analisados por meio de relações de semelhança entre os dois escoamentos. No entanto, não é possível na prática, a semelhança dinâmica definida pelas igualdades simultâneas entre os números de Froude e Reynolds, devido às condições físicas do fluido. Portanto, a utilização dos resultados obtidos com modelos reduzidos em aplicações reais requer aproximações. Assim, as previsões originais somente puderam ser verificadas quando os resultados experimentais e a teoria de suporte foram suplementadas por observações de campo em escala real (INOUE, 1966).

Entre os códigos para cálculo do escoamento dos fluidos que já estão disponíveis comercialmente shipflow, representando um destes códigos, computa o escoamento potencial sobre o casco incluindo o efeito da superfície livre, satisfazendo de forma exata a condição de contorno do casco (ver figura 1)

Figura1- Método zonal do shipflow para solução do escoamento em torno do casco de uma embarcação. (Fonte: INOE et al, 2003)

As equações gerais utilizadas na solução do escoamento são a da conservação da massa, (continuidade) e a de “Navier – Stokes” que estão subordinadas ainda as condições de contorno e aproximações pertinentes, tais como viscosidade, massa específica, incompressibilidade do fluido, etc.

2.3 Aspectos técnicos da navegação em canais e águas restritas - Efeito “squat”

O efeito “squat” é a tendência de um navio a afundar e adquirir trim quando navegando, tanto em águas rasas, quanto em águas profundas, sendo que no primeiro caso o valor do “squat” é muito maior, e com seguimento avante, devido à diferença de pressões entre o fundo náutico e a quilha do navio, havendo uma sucção do casco em direção ao fundo, reduzindo a lâmina d’água sob a quilha (ROWE, 1996), ver Figura 2 e 3.

O “squat” é o somatório de um afundamento vertical, denominado “sinkage”, com um movimento rotacional da proa, denominado “trim”. Este último é um

movimento da proa do navio para cima ou para baixo, de acordo com o coeficiente de bloco (C_b), como se segue:

Aos navios que quando parados estão em águas parelhas (“even keel”):

Com velocidade a diante, embicam (trim pela proa), se seu C_b é maior que 0,70; e derrabam (trim pela popa), se seu C_b é menor que 0,70.

Navios com C_b igual a 0,70 não possuem tal movimento rotacional da proa, sendo o “squat” somente compreendido do afundamento vertical (“sinkage”).

Deve ser enfatizado que para qualquer valor de calado, o “squat” não é a diferença de leituras de calado quando o navio está parado para quando o navio tem movimento (BECK, et al, 1985).

$C_b = \text{Volume de carena} / \text{Comprimento} \times \text{boca} \times \text{calado}$

Figura 2 Esquema de Squat - afundamento pela proa. (Fonte: PNA, 1993)

Figura 3 - Afundamento devido ao efeito “squat” em navio com $C_b > 0,7$. (Fonte Nautical Institute, 1994)

Pode-se estimar o “squat” com várias fórmulas, como pelas expressões utilizadas por Tuck (1967), entretanto optou-se por utilizar primeiramente a expressão sugerida em PIANC (1997):

$$\text{Squat} = 2,4 \times \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \times \frac{Fr^2}{\sqrt{(1-Fr^2)}}$$

sendo:

$$\nabla = C_B \times L_{pp} \times B \times T : \text{Deslocamento}$$

L_{pp} : comprimento entre perpendiculares da embarcação

B: boca

T: calado estático

C_B : coeficiente de bloco

sendo:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \times h}}$$

V: velocidade da embarcação (m/s)

h: profundidade em águas tranqüilas do canal (m)

g: aceleração da gravidade local (m/s²)

Também foi utilizada a Fórmula de Barass (PIANC, 1997), utilizada em águas abertas, assim como em águas rasas:

$$\text{Squat} = \frac{C_B}{30} \cdot S_2^{2/3} \cdot V_k^2$$

sendo:

- S_2 : fator de velocidade de retorno, que pode ser calculado da seguinte maneira:

$$S_2 = S_1 / (1 - S_1)$$

em que S_1 é o fator de bloco do canal = Área da seção mestra do navio / Área da seção mestra do canal.

Ambas as fórmulas serão posteriormente consideradas e tratadas neste trabalho.

- O número de Froude de Profundidade (Fr) é um número adimensional muito utilizado na hidrodinâmica, que mede a relação entre as forças inerciais e as gravitacionais.

A maioria das fórmulas para cálculo do efeito “squat” é destinada a navios se movendo em curso retilíneo e no centro do canal. Assim, devem-se aplicar ajustes quando estas não forem as condições inerentes ao caso.

Há aumento do “squat” (Figura 4) nas seguintes condições:

- Curso descentralizado em relação à linha de centro do canal

Figura 4 - Navio fora da linha de centro do canal e efeitos de interação. (Fonte: Nautical Institute, 1992)

- Assoreamentos e águas rasas transientes
- Fundos de lama em que haja interação entre a quilha e a interface lama-água

- Deriva devida a forças ambientais – ventos, ondas e correntes – e guinadas.

Como não há métodos precisos de cálculos de “squat” fora das condições acima, pode-se atenuar o efeito diminuindo-se a velocidade do navio.

2.4 A importância da formação de ondas geradas pelas águas rasas na simulação

Define-se a condição de operação da embarcação em “águas rasas” quando o sistema de ondas geradas pelo deslocamento do casco começa a ser afetado pela presença do fundo. A alteração afeta a resistência de ondas experimentada pela embarcação. Por outro lado, o aumento da velocidade do escoamento sobre o fluido da embarcação produz uma redução na pressão, aumentando o afundamento e o trim. O sistema de ondas se torna mais aberto quando a profundidade do canal diminui, analisando um ponto de pressão se deslocando na superfície livre a tal ponto que no caso limite quando a velocidade do ponto de pressão tende ao valor limite (Raiz quadrada de $g.h$) o sistema de ondas degenera numa onda transversal, portanto, a velocidade crítica se define por:

$$V_c = \sqrt{g.h}$$

Quando o Fr se aproxima ou se iguala à unidade, a resistência ao movimento atinge valores muito altos, devido ao aumento da resistência formada pelas ondas irradiadas pelo navio (MC CARTNEY, 1980).

Em águas profundas, o sistema de ondas irradiadas pelo navio é formado por dois sistemas: um na proa, chamado de divergente e, outro na popa, chamado de transversal, no qual todo o conjunto forma com o plano diametral do navio um ângulo comum de $19^{\circ}28'$ (ondas de Kelvin - ver figuras 5 e 6)

Figura 5 - Ondas de Kelvin geradas em águas rasas (Fonte Ship Handling, 1993)

Figura 6 - Ondas de Kelvin em águas profundas. (Fonte Ship Handling, 1993)

O padrão de onda para o ponto de pressão, se deslocando em presença da superfície livre, passa por crítica mudança ao atingir este valor de velocidade (ver figura 7).

Figura 7 – Comparação de padrões de onda em águas profundas e rasas. (Fonte Ship Handling, 1993)

Para valores inferiores ao valor crítico, o sistema de ondas ainda é semelhante ao gerado em águas profundas (ondas transversais e divergentes). À medida que aumenta a velocidade, a abertura das ondas divergentes aumenta, até atingir a condição crítica. Na situação limite a perturbação se propaga à mesma velocidade da embarcação e todo o efeito de irradiação de onda fica

concentrado em uma única crista transversal. Toda energia então é transmitida para esta onda, sendo a mesma chamada de “onda de translação”. Para velocidades superiores crítica não se formam mais ondas transversais e a abertura das ondas começa a diminuir novamente, limitando a propagação da frente de ondas ao espaço definido pelas linhas, pela lei da dispersão, no caso de águas rasas se $V_s > \sqrt{g.h}$, então sempre:

$$\cos^2 \theta = \sqrt{(g.h)/v^2} < 1$$

Ou seja, a direção de propagação θ não inclui mais ondas transversais, nesse caso apenas componentes divergentes poderão estar presentes. Uma marcante diferença em relação à forma das ondas divergentes geradas em águas rasas e águas profundas é que, em águas rasas as ondas divergentes possuem linhas de cristas côncavas em relação à linha de avanço, enquanto que em águas profundas, elas são convexas. Velocidades inferiores à crítica são chamadas “subcríticas”, e as superiores “supercríticas”. Quase todas as embarcações operam na primeira condição, com exceção de “destroyers” e alguns tipos de “ferries”, quando operando em regiões pouco profundas (TUCK, 1967).

2.5 Classes de navios encontrados e usados para as simulações

Alguns modelos numéricos gerados pelo software da Transas Mariner (modelo hidrodinâmico - FHM) estão apresentados na figura 8.

NTPRO NEW MODELS

HTPro Name	HTPro Version	Restriction	Status of Validation	Suitability	Ice Class	Engine	Design Power (kW)	Bowthrusters (kW)	Stemthrusters (kW)	Propeller	Speed (knt)
ASD tug 3 (bp 70t)	4.61, 4.62	Restricted ZAO Transas, PRISCO	Validated	Open ocean	LU4	Diesel	2 x 2400	None	None	Z-drive	14,3
Crude oil Tanker 4.61, 3 (Dis.55759t) bl. 4.62	4.61, 4.62	Restricted ZAO Transas, PRISCO	Validated	Open ocean	LU4	Diesel	1 x 16660	None	None	FPP	16,5
Crude oil Tanker 3 (Dis.126325t)											
Hopper Dredger 4.62 2 (Dis.11600t)	4.62	Unrestricted	Raw	Open ocean			2 x 5500	1 x 650	None	CPP	13

[Back to the menu](#)

Figura 8 – Modelos de navios gerados. (Fonte: Biblioteca do Simulador numérico, FHM 2009)

Estes Navios apresentam os seis graus de liberdade (figura 9) da equação dos movimentos dependentes entre si, como determinado na figura 9, também conhecidos como surge (deslocamento eixo x), sway (afastamento/abatimento eixo y), heave (arfagem eixo z), rolling, (balanço ângulo ϕ), Pitching (cabeceio/caturro ângulo θ) e yaw (guinada/cabeceio ângulo ψ).

Figura 9 - Graus de liberdade do movimento de um navio. (Fonte PNA, 1995)

2.6 Rebocadores Portuários aplicados nas simulações

A Figura 10 ilustra rebocadores portuários, que face à falta de espaço necessário para que um navio de grande porte possa executar sua manobra de aproximação para atracação nos Terminais, é no presente e será sempre no futuro uma ferramenta indispensável para manter a camada de segurança das operações portuárias (LEWIS, 2001).

Figura 10 – Utilização de rebocadores em operações portuárias. (Fonte Tug Use in Ports, 1994)

Existem vários tipos de rebocadores que operam em portos e terminais do mundo, chamados de “on shore”, assim como os que operam em Bacias de Petróleo ou Oceânicos, chamados de “off shore”, que variam em ambos os casos pela capacidade (Bollard Pull) ou pelas suas características de manobrabilidade. Estes rebocadores variam quanto ao tipo de propulsão e capacidade de tração, podendo ser mais ou menos capazes de serem utilizados nas manobras de atracação e desatracação dos navios de grande porte e condições atmosféricas adversas (ver Figura 11).

Figura 11 – Esquema de classificação de rebocadores. (Fonte: Tug use in ports 1997)

PROPULSÃO AVANTE DO PLANO DIAMETRAL

O rebocador com propulsão avante do plano diametral trabalha melhor de “push-pull”, devido à distância que existe entre a força da descarga provocada pelo propulsor e o casco dos navios. O “Tractor Tug” com “azimuth propeller” (propulsor azimutal) independe de leme, podendo aplicar sua força em qualquer direção (360 graus), perdendo capacidade de través (ABS, 1999), como mostra a Figura 12.

Figura 12 – Rebocadores de push-pull. (Fonte: Tug Use in Ports, 1995)

PROPULSÃO À RÉ DO PLANO DIAMETRAL

O rebocador com propulsão à ré do plano diametral trabalha melhor com cabo pela buzina do centro, tendo como exemplos: tipos convencionais, ASD (Azimuth Stern Driver), multi tug, reverse–Tractor type, Combi–Tug.

O importante é que, através destas hábeis ferramentas, navios de até 400.000 dwt possam ser conduzidos com segurança aos berços para operação dos Terminais e vice-versa. Veja a otimização alcançada e diferenciada pelos rebocadores, conforme figura 13.

Figura13: Diagrama dos vetores do Propulsor (Fonte: Tug Use in Ports, 1994)

Legenda: A) Rebocador trator; b) Propulsor azimuthal dentro do eixo; c) Rebocador com propulsor à ré do plano diametral d) Rebocador convencional com dois propulsores de passo controlado entubado dentro do eixo e impelidor de proa e) Rebocador convencional simples (um propulsor e um leme)

Propulsion aft (Propulsão a ré do Plano Diametral) Tem sua propulsão a ré do Plano Diametral trabalhando melhor com cabo pela buzina do centro, exemplos; Coventional Type, ASD (Azimuth Stern Driver) – Mult tug, Reverse – Tractor type, Combi – Tugs

É comum se observar em uma manobra vários tipos de rebocadores operando com o mesmo navio (ver figura 14), onde um rebocador Voith Schneider e um convencional atuam no mesmo navio.

Figura 14 – Um rebocador Voith Schneider de push-pull (boreste) um convencional (cabo longo proa) manobrando um navio (Fonte Tug Use in Ports, 1995)

Em um Simulador Numérico alguns destes rebocadores tem seus coeficientes determinados, podendo fazer parte da biblioteca disponível e podem ser usados também como ferramentas de ensino aprimorando o desempenho dos Mestres de rebocadores que operam em nossos Terminais dando otimização a operação sem afetar a camada de segurança.

A Vale e a Petrobrás buscam de forma singular nos dias de hoje Simuladores Numéricos para avaliar e melhorar as atividades marítimas de seus

Terminais posto que reconhecem o valor do empreendimento e precisam medir seus investimentos.

Recentemente, em uma Análise de Risco estudada pela FHM em seu modelo numérico da Transas Maríner a Companhia VALE percebeu a importância em investir na compra de rebocadores mais potentes e mais operacionais (Azimutais) para que pudesse atingir as suas metas em capacidade de embarque, adquirindo rebocadores de 75 tons de BP (Bollard Pull) em detrimento dos de 50 TBP ainda existentes para garantir o desempenho desejado.

3 METODOLOGIA - MODELOS FÍSICO E NUMÉRICO DOS TERMINAIS DE PONTA DA MADEIRA E ILHA GUAÍBA

3.1 Terminal Portuário de Ponta da Madeira

As condições de navegabilidade para a acessibilidade ao Terminal Marítimo de Ponta da Madeira - TPPM (figuras 15, 16,17) são boas com cotas batimétricas (DHN) de 23,0 m no mínimo, mais a altura da maré. Tanto a profundidade, quanto a largura do canal de acesso, que varia aproximadamente entre 500 e 2200 m, fazem dele o mais longo e profundo do Brasil.

Figura 15 - Localização geoestratégica de Ponta da Madeira. (Fonte CVRD, 1990)

Figura 16 – Localização geográfica da Baía de São Marcos. (Fonte CVRD, 2005)

Figura 17 – Imagem de satélite dos píeres I e III do TPPM. (Fonte Google maps, 2010)

CANAL DE ACESSO

O canal de acesso ao TPPM inicia-se a cerca de 12 milhas ao sul das coordenadas geográficas datum Córrego Alegre Latitude: 01° 34,9' S e Longitude: 043° 50,8' W, possuindo 55 milhas de extensão com alinhamento NNE – SSW. (Figuras 18 e 19).

Figura 18 – Canal de Acesso ao TPPM. (Fonte: CVRD, 1990)

Sua largura, em quase toda a extensão, é de 1000m, exceto nos trechos mais estreitos descritos a seguir, em que a largura mínima é de 500 metros.

Área de fundeio exterior

Na eventualidade de todas as áreas de fundeio (as de Espera Internas e a de Espera Externa) estarem ocupadas, os navios deverão fundear na Área Exterior, situada a NNE da Bóia n.º 2, da entrada no canal.

Áreas de fundeio externas

Área 1

Esta área está entre o través das Bóias n.º 6 e n.º 10. É reservada aos navios destinados ao TPPM com carga parcial, que estejam com calado superior a 11,0m. É reservada também aos navios em litígio e àqueles que estejam efetuando grandes reparos.

Áreas de espera de maré

Área 2

Esta área, afastada da margem leste do canal, entre as bóias de n.º 16 e n.º 18 destina-se aos navios de grande porte carregados, com calado superior a 20,00m, que aguardam maré para passar pelas bóias n.º 14 e n.º 10, e pelas bóias n.º 4 e n.º 2.

Área 3

Também situada próxima da margem leste do canal, entre as bóias n.º 18 e n.º 15 destina-se ao fundeio de navios de grande porte carregados, com calado superior a 20,00m, que aguardam maré para passar pelas bóias n.º 10 e n.º 14, e n.º 2 e n.º 4, quando a área estiver ocupada.

Áreas de fundeio internas

Área 4

Destinada ao fundeio de navios aguardando atracação e com calado máximo de 11,00m. Ao norte, esta área fica afastada da margem leste do canal no través das bóias de n.º 20 e 22. Ao sul, esta área fica situada entre a bóia de n.º 22 e os faróis de São Marcos e Araçagi.

Ao norte, o fundo desta área é constituído de lama e areia fina com profundidade de 11,30 a 16,00m.

Ao sul, o fundo desta área é constituído de areia fina com profundidades de 15,00 a 27,00m

Área 5

Destinada ao fundeio de navios aguardando atracação e com calado máximo de 11,00m. Situada a oeste do canal, na altura do par de bóias de n.º 17 e n.º 22.

O fundo é constituído de pedregulho e areia grossa com profundidade de 14,50 a 34,00m.

Área 6

Destinada ao fundeio de navios com deslocamento de até 80.000 tpb e calado menor que 11,00 m. O fundeio nesta área necessita de autorização expressa da Capitania dos Portos e precauções adicionais que serão determinadas quando da solicitação.

Área 7

Destinada ao fundeio de navios com deslocamento de até 80.000 tpb e calado menor que 11 metros. O fundeio nesta área necessita de autorização expressa da Capitania dos Portos e precauções adicionais que serão determinadas quando da solicitação.

Área 8

Esta área é determinada para carga/descarga de explosivos e combustíveis. Sua utilização deverá ser autorizada pelo Capitão dos Portos.

BACIAS DE EVOLUÇÃO

Pier I

A bacia de evolução do Píer 1 está limitada a leste pela linha de atracação; ao sul pelo paralelo de 02º 34,5' S e a oeste pelas bóias de luz n.º 23 e 25, com 0,8 milhas de largura e aproximadamente 3 milhas de comprimento. As profundidades encontradas variam de 23,00m, na linha de atracação, a 35,00m próximo da bóia n.º 25.

Píer II

A bacia de evolução do Píer II (Figura 7) é uma extensão da do Píer I, ficando limitada ao sul pelo paralelo da bóia de luz Cardinal Norte; a leste pela linha de atracação. Na enseada, a largura é de 200m e extensão de 720m.

Figura 19– Localização do Píer II entre a Ponta da Madeira e o Porto de Itaqui. (Fonte CVRD, 2004)

Píer III

A bacia de evolução do Píer III engloba a do Píer I, estando limitada a leste pela linha de atracação; ao sul pelo paralelo de 02º 34 5' S e a oeste pelas bóias de luz n.º 23 e 25, com 0,8 milhas de largura e aproximadamente 6 milhas de comprimento. As profundidades encontradas variam de 21,00m, na linha de atracação, a 35m próximo da bóia n.º 25.

3.1.1 Estudo em modelo Físico - SIAMA – Simulador Analógico de manobras

Há trinta anos a AMZA MINERAÇÃO, sucedida em 1981 pela VALE DO RIO DOCE, atualmente VALE, fez uma parceria com o Laboratório de Hidráulica do CTH na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo a fim de otimizar seu Terminal da Ponta da Madeira, que veio a iniciar operações em 1986, no modelo Físico/Simulador Analógico do Terminal de Ponta da Madeira. O método utilizado na técnica de modelação física inicia-se com a escolha da região de uma área Portuária a ser estudada em modelo, e em função da área que se têm disponível para construção, deve ser feito o estudo baseado nos critérios de semelhança de Froude previamente para estabelecimento da escala geométrica. Sendo necessária a representação fiel, na escala estabelecida, de toda a topografia e topobatimetria da respectiva região. Suas particularidades de construção são detalhadamente apresentadas em Gerent (2010).

Neste modelo foi determinante o estudo da amarração de todos os píeres existentes, que sujeitos à força das correntes de marés exacerbadas do local, submetiam os navios a muitos riscos, provocando desatracações espontâneas e sérios problemas ao terminal, que passou a não ser considerado seguro, e ao meio ambiente, como diversas vezes aconteceu.

Estas amarrações determinadas pelo simulador, baseadas em estudos de análise de resistência dos cabos com pré-tensões determinadas nas piores condições de corrente de maré, impunha aos armadores uma responsabilidade no momento da atracação e durante a estadia, a fim de garantir a embarcação atracada no Terminal fundamentada pelo estado de seus cabos de amarração, como preconiza a PIANC, que é referência bibliográfica da IMO.

O Simulador Analógico estabeleceu critérios de segurança e possibilitou ao terminal enviar aos navios via telex /fax /e-mail na regra de aceite, uma

amarração sugerida com a quantidade e a qualidade dos cabos de amarração partindo de pontos pré-determinados de bordo e suas colocações nos respectivos guinchos a fim de sustentar esses navios ao píer, de acordo com as suas curvas de rigidez (tensão x alongação), como preconizado pelo BLUE CODE (Book loading and unloading code).

Estas avaliações são pertinentes a todos os píeres, incluindo o estudo de um projeto futuro, denominado Píer IV, em desenvolvimento neste simulador.

Além destes estudos de amarração, o Laboratório de Hidráulica do CTH na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo permitiu, através de ensaios de mais de mil e trezentas manobras, de 2005 a 2009, realizadas por práticos do local (São Luís do Maranhão – Ponta da Madeira - TPPM) a quebra de um paradigma de trinta anos, aonde as janelas de Maré eram de apenas seis horas e atualmente puderam ser ampliadas para quatorze (Figura 20), aumentando a capacidade de embarque em dez milhões de toneladas de minério. Foi um trabalho árduo, exaustivo aonde os critérios de segurança estabelecidos garantiam a sustentabilidade da operação (ver figura 20 a e 20 b abaixo).

Atualmente as manobras são realizadas em janela de tempo restrita, um total de 06 horas em 24 horas/dia;

Figura 20 – Ilustração esquemática da regra de manobra antiga e da nova. (Fonte: Gerent, 2010)

Figura 20a - Ensaio de manobras em modelo físico (Fonte: FCTH, 2008)

Figura 20b – Modelo físico do TPM (Fonte: FCTH, 2007)

Usando critérios da OCIMF (Oil Company International Maritime Fórum) e PIANC (Permanent International Association Maritime Concil) além de normas brasileiras e atendendo as necessidades de operação segura do terminal de Ponta da Madeira, o LHEPUSP foi pioneiro em avaliar também a amarração ideal para garantir a sustentação na operação de carregamento dos navios nos Píeres nº 1 e 3, sob a influência das correntes de maré exacerbadas existentes na Baía de São Marcos provando a capacidade de avaliação que este tipo de ensaios, pode oferecer.

As simulações das desatracações espontâneas também vieram a contribuir com a comprovação da necessidade de procedimentos da Inspetoria de Embarque, que opera os navios do TPPM, não permitindo que os cabos de amarração dos navios ficassem solecados, principalmente nos horários críticos de maré. Além disto, a necessidade de se manter rebocadores no costado, empurrando o navio contra o píer, aumentando o coeficiente friccional das defensas, provou ser, através de vários ensaios, a única solução, em situações de contingência excepcionais, viável economicamente, em detrimento de proteções físicas como diques e espigões, ou outra qualquer obra portuária.

3.1.1.1 A importância do estudo de amarração e especificações de defensas

Nos modelos físicos do LHEPUSP, os planos de amarração são elaborados a partir do arranjo geral do navio, levando-se em conta a disposição dos gatos de desengate rápido e guinchos de terra dos berços, bem como das buzinas, guinchos e cabeços dos navios, procurando-se obter uma ocupação máxima dos elementos, menores comprimentos de cabos de amarração e eficientes amarrações para que os traveses (condição necessária primária) atuam o mais ortogonalmente possível à linha de atracação, visando conter o “sway”, sendo

desejável, na medida do possível, um balanceamento entre linhas transversais e longitudinais.

Os parâmetros controlados e medidos nos ensaios de amarração em modelo são basicamente os deslocamentos e as forças induzidas por eles nos sistemas de amarração do navio, em função da circulação de correntes de maré reinante no entorno dos berços.

As defensas em cada paramento dos Berços são modeladas seguindo a especificação das defensas nele existente.

O pré-tensionamento padrão das linhas no início de cada ensaio foi feito com os valores 10 % MBL, sendo esta operação sempre feita com o modelo fixo na posição de referência no berço. Esta operação visa garantir uma padronização que confere na posição de referência um esforço que tira o brando das linhas através da pré-tensão correspondente a cabos passados nos guinchos.

Estes ensaios têm a duração de 90 minutos cada um, período este que foi definido nos estudos das etapas anteriores visando contemplar de forma estatisticamente representativa a atuação das correntes sobre o navio, sem ter-se que usar um tempo excessivo desnecessariamente. Este período pode ser associado aproximadamente à duração contínua das mais desfavoráveis condições de meia-maré, vazante ou enchente, por 20 horas.

Estes ensaios, por terem sido efetuados em várias etapas do estudo em modelo (nos anos de 1986/1987, 1988, 1989/1990, 1992, 1993, 1999/2003, 2004, 2006, 2007 e 2008) têm níveis de esforços bastante conhecidos, e confiáveis em escala real no Píer I para a condição de referência do modelo do navio Docecanyon (270.000 tpb). Assim, tem-se a possibilidade de dispor de um padrão de comparação com os resultados que foram obtidos nos vários berços.

Os resultados obtidos nestes ensaios podem ser sintetizados em termos dos deslocamentos máximos de “sway” dos pontos de vante e ré do costado do navio, bem como do “surge” de seu espelho de popa em termos de envoltória entre máximos; bem como máximos do “sway”, “surge” e “yaw” da meia-nau (critério PIANC), considerando deslocamentos sucessivos; e dos esforços máximos por cabo. Para os esforços, são considerados três valores: Força Máxima absoluta do Ensaio, Força Significativa (média dos 33% maiores picos de Forças Máximas) e Força Média dos picos de Forças Máximas.

Quanto à carga máxima de trabalho, segue-se a recomendação da OCIMF de 55 % do MBL para cabos de aço (52 tf por cabo de aço com carga de ruptura de 95tf e 79tf por cabo de aço com carga de ruptura de 144tf, ambos com bitola de 44 mm), como demonstram as figuras 21a e 21b abaixo.

Figuras 21a e 21b - Ensaio de amarração em modelo Físico (Fonte: FCTH, 2003)

A importância de um estudo de amarração e especificação de defensas de qualquer Terminal faz de um modelo físico analógico a ferramenta mais importante para o desenvolvimento de projetos de engenharia em conjunção a um modelo numérico, posto que pode avaliar as influências dos efeitos Astronômicos, Meteorológicos e Morfológicos que existe no cenário a ser projetado, de forma satisfatória, determinando através de células de carga especialmente reduzidas e adaptadas no Píer, como detalhado acima o estresse nos cabos de amarração e que sob estes, efeitos, avaliar necessariamente a quantidade/posição e o tipo mais adequado dos cabos de ligação navio x terra, a fim de manter um navio tipo atracado sob quaisquer circunstâncias de influências externas ou limitar a operação a uma amplitude de maré previamente determinada com guinchos de terra ou até em última instância a necessidade de um tipo de abrigo para garantir sua operação segura de carga ou descarga sem inferir na camada de segurança.

Muitos testes de avaliação foram executados no futuro Píer 4, onde pode se perceber quais seriam os cabos mais afetados na amarração, diante de situações mais críticas, ou seja, em meia maré de uma sizígia equinocial. reforçando-os com guinchos de terra, (amarração mista), ou seja, para garantir sua permanência atracado e carregado sob severas influências Astronômicas precisar dividir os esforços com cabos proveniente de terra (Guinchos de Terra) e também cabos vindos de bordo (guinchos de bordo) na mesma tensão solidária, provocando nesta condição de amarração única existente no mundo, navio x Terminal, adaptando de certa maneira uma concepção moderna de possibilidades seguras e novos procedimentos de adaptação e conhecimento na influência direta desta tecnologia, dando a segurança necessária para sua operação. Ver figura abaixo

Través = cabos de amarração com posição aproximadas de 90 graus entre navios x Terminal

Lançantes – cabos de amarração que se posicionam saindo do navio para vante saindo da proa e para ré saindo da popa.

Espringues = Cabos de amarração que se posicionam saindo de vante para ré (Espringues de vante) e saindo de ré para vante (Espringues de ré) no sentido longitudinal (figura 22).

Figura 22 - Amarração executada no Píer IV (Fonte: FCTH, 2010)

Em relação às defensas, primeiro precisamos enfatizar suas necessidades:

Uma vez foi dito, anos atrás, que “há uma simples razão para se usar defensas: apenas porque é muito caro não usá-las”. Embora seja uma visão bem pragmática e parcial, certamente há um quê de verdade nesta afirmação. Além do aspecto financeiro, a segurança é provavelmente uma razão ainda maior para se instalar defensas.

Atualmente é prática comum aplicar estruturas de defensas com elementos de borracha que absorvem energia em portos que recebem navios grandes. Entretanto, autoridades portuárias usam uma abordagem que é ao mesmo tempo comercial e prática; assim, se as condições permitirem (navios relativamente pequenos, condições ambientais não agressivas), os portos

podem optar pela instalação de defensas de baixo custo e/ou aplicar materiais disponíveis a nível local. Defensas de madeira, pneus de borracha ou afins são então ainda regularmente encontrados por todo o mundo, mesmo nos maiores portos.

O aumento da necessidade e as razões econômicas para se utilizar defensas derivam de diversas fontes:

a) O uso de defensas contribui para minimizar os custos de operação e construção da vida útil do Terminal.

b) Mudanças nos navios:

A construção e a operação de navios estão ficando cada vez mais caros. Isto implica que o uso de material para construir um navio está sendo economizado, sem sacrificar sua navegabilidade, mas os riscos de danos aos navios nos portos aumentaram;

Os custos de “demurrage” de um navio em caso de reparos ou no caso de tempo parado quando um navio não puder atracar aumentaram demasiadamente;

A área exposta à ação do vento dos navios aumentou substancialmente (navios porta-contêiner e cruzeiros);

Navios maiores carregando grandes cargas de produtos perigosos.

c) As águas mais profundas necessárias para os navios modernos resultam em berços menos protegidos, e assim um aumento na energia gerada por um navio atracado, decorrente de ondas, ventos e correntes. O uso de um sistema moderno de defensas cuidadosamente projetado pode permitir que um berço seja localizado em um lugar sem a proteção de dispendiosos quebra-mares;

d) Defensas, geralmente combinadas com um arranjo de cabos de amarração compatível, podem ser usadas para reduzir os movimentos dos navios causados por operações de descarga;

e) Um fator importante que favorece o uso de defensas é a segurança: isto é relativo não somente à segurança das pessoas que trabalham no porto ou adjacências, mas também à prevenção de danos à infra-estrutura portuária e ao navio e, não menos importante, à proteção ao meio ambiente. Danos aos navios e principalmente em navios que carregam cargas perigosas, resultantes de um indesejável impacto entre o navio e o cais ou píer, podem resultar em uma calamidade principalmente quando não há a proteção de defensas.

As defensas também podem ser usadas para manter um navio a uma determinada distância do cais ou píer o que pode ser de suma importância no caso de estacas inclinadas sob um píer ou em uma área rasa em frente a um cais.

Como princípio as Defensas até de certa forma usadas para garantir as amarrações, são basicamente a interface entre um navio e o berço. Este meio serve para absorver certa porção da energia cinética de um navio sem danificar o mesmo e a estrutura no lado de mar. No caso de defensas de borracha, que são geralmente relativamente macias, a maior parte da energia é absorvida através da deflexão elástica da defesa. Mas possivelmente a deflexão do berço e/ou do casco do navio irá contribuir para a absorção da energia cinética. Por outro lado, quando um navio atraca contra uma simples estaca vertical a maior parte da energia será absorvida pela deflexão da estaca relativamente flexível (ATTC, 1997)

A deflexão multiplicada pela força de reação que é gerada e um determinado fator de eficiência equivale à energia cinética.

Para uma defesa de borracha esta relação pode ser matematicamente expressa como segue, considerando que se presume que apenas a defesa de borracha irá absorver a energia cinética (portanto desconsiderando a energia de absorção através da deformação da estrutura do berço e do casco do navio)

$$E_f = f \times R_m \times D_m$$

Onde:

E_f = a energia cinética do navio a ser absorvida pela defesa (em kNm)

f = fator que representa a eficiência de absorção de energia do sistema de defesa (entre 0 e 1)

R_m = máxima força de reação da defesa (em kN)

d_m = máxima deflexão da defesa (em m)

O fator f depende completamente das características da defesa, ou seja, a relação entre deflexão e força de reação.

A razão R/E_f (fator da defesa) proporciona o conhecimento sobre um sistema de defensas, onde os valores de R e E_f deverão ser usados (ou determinados) na deflexão de projeto da defesa. Uma razão de R/E_f baixa indica que pequenas forças de reação são geradas para absorver a energia o que geralmente é tido como favorável. Em alguns casos, entretanto, não se exige que as defensas absorvam energia e então uma alta R/E_f é uma vantagem para, por exemplo, defensas de proteção de superfícies. (ver Tabela 3.2)

A energia que é absorvida pelo sistema de defensas durante a compressão retorna parcialmente ao navio (o navio é empurrado de volta) e parcialmente dissipada na forma de calor dentro do material (histerese), ver figuras 23 e 24.

Figura 23 - Representando deflexão e força de reação. (Fonte: Trelleborg, 2009)

Figura 24 - Compressão de defesa (Fonte: Trolleborg, 2009)

A escolha de uma defesa ou sistema de defensas deve estar sintonizada nas seguintes etapas de uso:

a) Durante o processo de atracação (contato inicial entre o navio e o berço);

O processo de atracação consiste em um navio aproximando-se do berço, geralmente sob um ângulo com uma determinada velocidade de aproximação definida como a velocidade perpendicular à face do berço. O impacto do navio em movimento no berço deve ser absorvido de tal modo que nenhum dano ocorra ao navio ou ao berço.

b) Enquanto o navio está amarrado;

No que diz respeito à situação de um navio atracado no berço, uma distinção pode ser feita entre o regime operacional e o regime de segurança.

O regime operacional é o regime no qual ainda é possível carregar e descarregar o navio, e o regime de segurança é o regime no qual ainda é possível permitir ao navio ficar atracado no berço sem por em risco o navio, o berço e as defensas.

Em ambos os regimes a defesa deve ser capaz de absorver a energia gerada pelo navio. A energia é parcialmente transformada pela defesa, através de deformação elástica, em calor e em uma força de reação. A força de reação age em duas direções, levando a uma carga concentrada no berço e a uma carga no casco do navio. Esta força de reação é de suma importância principalmente quando:

O berço é suscetível a forças horizontais (estrutura sobre estacas);

O navio está amarrado e se move devido a ondas.

Além disto, por ser um local considerado desprotegido de alta concentração de silte ou limo que significa qualquer fragmento de mineral ou rocha menor do que areia fina e maior do que argila e que na escala de Wentworth de amplos usos em geologia corresponde ao diâmetro compreendido entre 0,004 mm a

0,064mm, pode dificultar consideravelmente uma dragagem (figura 25) de manutenção prejudicando o andamento das operações portuárias necessária haja vista por questões contratuais o navio sempre permanecer flutuando e o UKC (Under Kell Clereance) sempre equivalente ao maior navio por lá atracado, influenciando também a amarração estudada anteriormente. Anexo um exemplo de Draga de manutenção existente em PDM a fim de manter o pé de piloto operacional necessário.

Figura 25 - Draga Hopper (Fonte: Type of Drugs Nautical Institute, 1999)

3.1.2 Estudo em modelo numérico (TPPM)

Na simulação marítima, o termo “navio tipo” é usado para descrever o programa de computador necessário para simular o comportamento do navio. O banco de dados do navio tipo contém os parâmetros e os coeficientes hidrodinâmicos e Aerodinâmicos necessários para calcular o comportamento

do navio em um ambiente dinâmico. A origem dos dados são as informações geradas em um modelo físico primeiramente e depois checadas nas provas de mar para então só depois passadas para os modelos numéricos somando também como fator muito importante à adesão de experientes comandantes e práticos, nas fainas a serem exploradas no projeto a fim de consolidar o conhecimento tácito e o explícito nesta experiência de projeto a fim de consolidar e sustentar o empreendimento. Evidentemente, quanto mais precisos forem os dados fornecidos pelo cliente, mais preciso será o modelo na simulação.

As imagens são geradas por meio de programa que faz uso do AutoCAD® (Fundação Homem do Mar). As imagens são então “conectadas” ao modelo hidrodinâmico do navio tipo dentro do simulador. As imagens são o que o aluno/operador “vê” na simulação. Todavia, o comportamento está baseado no modelo hidrodinâmico.

O modelo do navio tipo leva em conta os seguintes efeitos:

- Propulsão Principal (turbinas a vapor, turbinas a gás e motores diesel/elétricos).
- RPM para cada motor variável entre toda - força adiante e toda - força atrás.
- Efeito de vibração.
- Propulsor (Passo fixo ou controlável, Voith-Schneider, tubulão Kort, Azipods, Jets, Z-drives, etc.).
- Impelidores laterais de diferentes tipos (múltiplos na proa e na popa).
- Leme (simples, gêmeos, quádruplos e de alta abertura).
- Piloto Automático.
- Varada e encalhe.
- Squat (afundamento vertical).
- Efeito de interação com bancos de areia e proximidades.
- Efeito de interação com a passagem de navio.

- Efeito de interação com colisão/abalroamento (navio tipo contra navio tipo).
- Efeito de interação elástica com o cais.
- Efeito de lançamento da âncora e de seu arraste no fundo.
- Vento.
- Cabos.
- Efeito dos cabos de amarração e dos guinchos.
- Efeito de rebocar e empurrar.
- Hidrodinâmica do casco (efeitos de águas rasas e de banco).

O “movimento” experimentado dentro de um exercício de simulação está baseado na computação contínua de diversas entradas de dados no modelo do navio tipo.

CÁLCULOS DO MODELO DO NAVIO TIPO

O NTPRO 4000 da TRANSAS usa as equações diferenciais dos seis graus de liberdade (“degrees of freedom” - DoF) para calcular o comportamento do navio tipo. Todos os momentos e forças hidrodinâmicas são calculados em termos de coeficientes. Estas equações formulam o movimento do modelo com base no seguinte:

- Equilíbrio da força longitudinal no navio tipo.
- Equilíbrio da força transversal no navio tipo.
- Equilíbrio da força horizontal no navio tipo.
- Momento de balanço no navio tipo.
- Forças e momentos de arfagem/cabeceio introduzidos pelas ondas.
- Momento de guinada.

Todas as forças e/ou momentos estão associadas às correspondentes acelerações. A integração das acelerações fornece as componentes da velocidade. A integração dupla destes valores dá a posição momentânea e o rumo do navio tipo. O movimento do modelo é calculado a partir do equilíbrio

de todas as forças e momentos que atuam no casco do navio. As forças resultantes, X e Y, e os momentos, N e K, dependerão da situação em que o modelo se encontra. Desta forma, um sistema de equações diferenciais não-lineares de ordem superior descreve a dinâmica do navio tipo. Este sistema de equações diferenciais é numericamente integrado em etapas “Euler-Cauchy” até que a trajetória do modelo no fundo seja determinada.

Os valores dos limites do movimento do navio tipo são os seguintes:

Velocidade Máxima	100 nós
Giro Máximo	120 graus/minuto

A resposta do navio tipo dentro do exercício de simulação depende das componentes da força que são inseridas dentro do modelo do navio tipo. O banco de dados do exercício provê dados da profundidade, da corrente marinha, do vento/onda e dos objetos. Os dados de interação do navio são fornecidos por outros alvos e navios tipo dentro do exercício (HENSEN, 1997).

O sistema de coordenadas que se segue é usado para descrever o movimento do navio a ser simulado (Todas as referências usadas são cartesianas)

Xo Yo Zo. com a Terra fixa em forma de moldura referência um ponto absoluto determinado como sendo o original

Xo será um eixo em direção ao norte e sua linha em um plano paralelo a superfície da água,

Yo será um eixo em direção ao leste e sua linha em um plano paralelo a superfície das águas tranquilas

Z0 será em direção abaixo em um angulo reto até a superfície das águas tranquilas.

XYZ corpos fixados na moldura com o original no navio no centro de gravidade CG:

X este eixo esta direcionado para ré e para fora da linha de centro e lateral ao plano e paralela AP plano d'água (eixo longitudinal).

Y este eixo esta direcionado para boreste do plano perpendicular para o centro lateral do plano e paralelo a linha d'água (eixo transversal)

Z eixo direcionado para o topo e ângulo reto do plano de linha d'água (eixo normal).

X1Y1Z1 local do desenho com o 0 original no navio no centro de gravidade CG eixo obtido pelo traslado X0Y0Z0 com o norte fixado nas coordenadas do sistema paralelo ele mesmo enquanto o sistema original coincidir com o sistema original fixado:

X1 este eixo esta direcionado a vante para o norte e sua linha de plano paralela a superfície das águas tranqüilas,

Y1 este eixo esta direcionado a vante e a leste e a sua linha de plano paralela a superfície da linha d'águas tranqüilas

Z1 este eixo esta está direcionado abaixo e forma um angulo reto a superfície da linha d águas tranqüilas

Estas coordenadas são usadas como demonstra a figura 26.

FORÇAS DAS ONDAS

As forças das ondas são computadas com precisão para todos os 6 DoF (degrees of freedom). A computação precisa da força da onda é um ponto crítico para o posicionamento na modelagem dinâmica (junto com as forças do vento e da corrente).

CORRENTE

Os efeitos da corrente são modelados nos coeficientes do perfil submerso e empírico (derivados de modelos de teste) para cada componente da força.

FUNDO

As forças do efeito no fundo são modeladas por meio de coeficientes empíricos (dados de testes) como uma fração da relação profundidade/calado multiplicada pelo valor da lâmina d'água.

INTERAÇÃO COM BANCOS E NAVIO-NAVIO

Os efeitos da interação são modelados utilizando doze (ou mais) pontos dos vetores da força/pressão distribuídos ao longo de todo o casco com a mudança de seus valores se a configuração do canal ou do banco se altera durante a trajetória da embarcação (o que pode provocar novos valores para as forças). Esta é uma das mais avançadas metodologias utilizadas atualmente em simulação.

MISCELÂNEA

As forças da âncora e da amarra, da amarração e das defensas, os efeitos de puxar/empurrar e as colisões/abalroamentos do navio são todos modelados como unidades com 6 DoF, com suas componentes da força/momento

definidos por sua localização e pelos parâmetros de movimento, em função dos comandos do navio com 6 DoF.

EDIÇÃO DO MODELO DO NAVIO

Os modelos numéricos dos navios e do seu equipamento podem ser editados utilizando-se a Ferramenta de Edição do Model Wizard® e do Virtual Shipyard®. O programa permite que o usuário ajuste o modelo numérico e crie modelos individuais de acordo com a necessidade.

No entanto, em um modelo numérico existe uma grande dificuldade de se avaliar as condições de amarração de um navio expostas pelo modelo físico, Primeiro que, na computação gráfica, os aparelhos de laborar de bordo não estão determinados e desta forma a demonstrar a força de aplicação dos cabos haja vista não partirem de forma verdadeira, não fornecendo os valores adequados da aplicação e resistência dos mbl dos cabos em referência. Segundo que muito embora o fluido esteja alinhado na semelhança de Froude em ambos os simuladores, os movimentos dos navios (ship Motion) nem sempre representarão os seis graus de liberdade computacionados corretamente haja vista terem sido extrapolados em muitos dos casos e da mesma forma não representando valores reais de tensão x enlogamento admitidas dos cabos avaliados

Além disto no modelo numérico, como podemos observar na figura 27 os pontos de aplicação das forças tanto no que diz respeito aos aparelhos de laborar de bordo dos navios como os gatos e guinchos de terra não representam a realidade necessária para mensuração avaliada e especificada nesta fase do projeto, como no modelo físico, a computação gráfica dos modelos numéricos, ainda não conseguem miitigar este esforços com o mbl (maximun breaking load) requerido segundo a posição geográfica do Terminal e as influências Meteorológicas, Astronômicas e até morfológicas existentes

adversas de acordo com as literatura existente e compulsórias pela IMO (Organização Marítima Internacional).

Nas figuras 27 e 28, observam-se, em modelo numérico os ângulos de ataque e velocidade de aproximação provocados por uma atracação de um navio do tipo Valemax (400 mil tons de DWT) demonstrando que a resistência de uma defesa como, também avaliado no modelo físico, precisa ao ser projetada levar em consideração resistências longitudinais e as absorções de energia por este ângulo exposto além das consideradas velocidades. As condições de janelas de maré nem sempre são facilitadas e as manobras têm que ser avaliadas na pior condição até se avaliar o limite de operação.

Figura 27 - Simulador Numérico de Ponta da Madeira (Fonte: FHM, 2009)

Figura 28 - Ângulo de ataque na atracação vista do Zênite. (Fonte: Transas Simulador numérico, 2009)

3.2 Terminal Portuário da Ilha Guaíba (TIG)

No modelo numérico da Ilha Guaíba localizado no Rio de Janeiro, Baía de Sepetiba (figura 29), esta sendo executado um trabalho, de análise de risco no Simulador Numérico da FHM semelhante ao que foi realizado em Ponta da Madeira revendo procedimentos e analisando a Navegabilidade do canal de acesso (canal comunitário entre o Terminal privado da VALE e acesso ao porto organizado de Itaguaí), assim como todos os critérios de segurança a serem incrementados, citando no caso face ao número de navios aportados a necessidade de um VTS. Abaixo a planta geográfica da carta de navegação do Terminal.

Figura 29 - Baía de Sepetiba, com a Ilha Guaíba ao centro. (Fonte carta náutica 1202, 1995)

Figura 30 - Planta do terminal em mais detalhe demonstrando seus 2 berços de atracação (externo e interno) para navios menores. (Fonte: CVRD, 2010)

O Terminal fica alinhado com as coordenadas Leste e Oeste aproximadamente, e como podemos observar recebe diretamente as influências de entrada de frentes frias, com rajadas de vento de cerca de 80 km /hora e cuja pista de sopro favorece ainda mais a formação de swell vindo de Sul/ SW, quebrando violentamente os cabos de amarração dos navios atracados principalmente no berço interno deste Terminal (ver figura 30).

Esta refração provocada pela redução da profundidade a que a onda se desloca e conseqüentemente da diminuição de sua celeridade não alivia suas energias, quando do aparecimento da entrada de um frente fria muito comum no inverno provocando com estas energias, somada ao efeito de corrente, constantes quebras de cabos dos navios atracados no berço norte (Interno) principalmente os de grande porte (180 mil tons de DWT). Em Julho de 2008 o terminal sofreu uma colisão do navio Pierre LD completamente carregado com 179.000 tons de DWT, de minério de ferro que desatracou espontaneamente com quebras de cabos simultâneos, veio sob a influência da corrente e ondas na mesma direção causar o dano em referência ao Terminal que não sendo planejada em seus investimentos e custeios, provocou inquéritos marítimos, comercial e com paralisação da produção em mais de uma semana (ver figura 31).

Figura 31 - Acidente no Píer norte do TIG provocado pelo navio Pierre LD. (Fonte CVRD, 2009)

A Celeridade de grupo em tempo é determinada pelo termo n ($c_g = c/n$) que pela teoria linear de ondas e que são dados por: $C_g = c/2 (1 + 2kh/\sinh 2kh)$ sendo em águas profundas $c_g = c/2$ logo $n = 0.5$ Em águas rasas $C_g = c$ donde $n=1$. Por este fato somado as condições meteorológicas de ventos no momento mais as condições astronômicas, a celeridade de grupo foi um dos fatores mais importantes posto que foi com esta velocidade que a energia de ondas se propagou causando a avaria.

Tudo isto posto a procura de solução para que os problemas não viessem a se repetir, a LHEPUSP foi acionada para avaliar a referida amarração cientificamente, haja visto ainda não ter sido levantada esta necessidade e mais uma vez a comparação dos dois modelos na criação de um modelo híbrido se fez necessário como veremos mais adiante nesta dissertação.

4 RESULTADOS E GANHOS OBTIDOS COM PRODUTIVIDADE NOS TRABALHOS REALIZADOS NOS MODELOS NUMÉRICOS E FÍSICOS DESENVOLVIDOS NO BRASIL

Tudo começou com a introdução no Brasil pelo CIAGA do simulador digital de modelo numérico, da “Ship Analytics”, para fins de pesquisa de Engenharia de projetos das comunidades marítimas afins e, principalmente, treinamento de navegação e manobrabilidade para tripulações dos navios, atendendo as premissas internacionais do STCW (Service Training Crew Work) data de 1995.

Os trabalhos foram desenvolvidos nas pesquisas para garantir a sustentabilidade do empreendimento e retirar as não conformidades por falta de treinamento, como preconizado pela IMO (International Maritime Organization). Os trabalhos realizados neste modelo numérico “Full Mission” que se seguem, tinham as seguintes características:

4.1 Terminal Portuário de Tubarão

Terminal da Vale, Localizado no Estado do Espírito Santo, 1998, estava em expansão e havia necessidade de se saber se um Terminal (TPD) Terminal de produtos diversos poderia ser validado ao Sul do Píer n 2. A distância entre os dois Píeres paralelamente era de cerca de 84 metros e as manobras de atracação entrando na gaveta de popa, condição “sine qua non” imposta nas regras de manobra local, era muito arriscada. Foram executadas neste Simulador cerca de 500 manobras com a Praticagem local até serem criados métodos seguros de operação tais como rebocadores azimutais interagindo, condições de mar e vento ideais (ver figura 32).

Figura 32 – Terminal Portuário de Tubarão (Fonte: CVRD, 2005)

A conclusão do trabalho executado foi que seria viável o projeto analisado e as manobras poderiam ser realizadas se atendessem os seguintes parâmetro de segurança:

A - Os navios a serem manobrados não poderiam ter mais de 32 metros de boca;

B - Ventos locais não poderiam ter sua intensidade superior a 20 nós;

C - As ondas provocadas pelo Swell não poderiam ser superiores a 1,5 metros;

D - Os rebocadores empregados na manobra de atracação deveriam possuir no mínimo 50 T de BP e seriam quatro usados simultaneamente

4.2 Terminal Marítimo da Alunorte, Para Pigmentos e Rio Capim Caulim

Figura 33 – Terminal de Vila do Conde (Fonte: CIAGA, 1997)

O porto de Vila do Conde (figura 33) foi inaugurado em 24 de outubro de 1985, como resultado dos acordos de cooperação econômica firmados entre o Brasil e o Japão, em setembro de 1976, nos quais o governo brasileiro assumiu a responsabilidade pela implantação da infra-estrutura portuária, rodoviária e urbana, para o escoamento de alumínio produzido no complexo industrial da Albras/Alunorte (PA).

ADMINISTRAÇÃO

O porto é administrado pela Companhia Docas do Pará (CDP).

LOCALIZAÇÃO

Situa-se no município de Barcarena (PA), na margem direita do rio Pará, no local denominado Ponta Grossa, confluência dos rios Amazonas, Tocantins, Guamá e Capim.

ÁREA DE INFLUÊNCIA

É representada pelos municípios de Barcarena, onde se localizam as indústrias Albras e Alunorte, razão de ser do porto, de Oriximiná e Paragominas, também no Pará.

ÁREA DO PORTO ORGANIZADO

Conforme a Portaria-MT nº 1.024, de 20/12/93 (D.O.U. de 22/12/93), a área do porto organizado de Vila do Conde, no estado do Pará, é constituída:

a) pelas instalações portuárias terrestres existentes no município de Barcarena, na baía de Marajó, tendo como limites extremos a foz do rio Arienga e a do Furo do Arrozal, ambos desaguando na baía de Marajó, abrangendo todos os cais, docas, pontes e píeres de atracação e de acostagem, armazéns, edificações em geral e vias internas de circulação rodoviária e ferroviária e ainda os terrenos ao longo dessas áreas e em suas adjacências pertencentes à União, incorporados ou não ao patrimônio do porto de Vila do Conde ou sob sua guarda e responsabilidade;

b) pela infra-estrutura de proteção e acessos aquaviários, compreendendo as áreas de fundeio, bacias de evolução, canal de acesso e áreas adjacentes a esse até as margens das instalações terrestres do porto organizado, conforme definido no item "a" acima, existentes ou que venham a ser construídas e mantidas pela Administração do Porto ou por outro órgão do poder público.

INSTALAÇÕES

O cais acostável construído em forma de "T", em que no travessão, estão localizados 4 berços de atracação, alinhados com a correnteza do rio Pará, está ligado ao continente por uma ponte de acesso de 378m. Nesse cais acostável estão localizados os cais de granéis sólidos e carga geral com 292m e 2 berços, sendo um externo (101) exclusivo para a movimentação de bauxita e coque na importação e para exportação de alumina do pólo aluminífero, da Alunorte S.A. e Albras S.A., e outro berço interno (102), de uso público; além do cais de granel líquido com 127m de comprimento e 2 berços, sendo um externo (201) e outro interno (202) para descarregamento de soda cáustica e óleo combustível, que dão o perfil graneleiro ao porto de Vila do Conde. Dispõe de um armazém de carga geral, com 7.500m², e de um pátio descoberto com 13.000m², destinado a estocagem de lingotes de alumínio.

O cenário de Vila do Conde acima exposto foi usado no Simulador numérico a fim de avaliar possibilidades de manobras em ambas as condições de maré enchendo e vazando chegando às seguintes conclusões:

As manobras realizadas no Simulador para o terminal de Vila do Conde, ocorreram com correntes de meia maré, em condições de vazante e enchente, com ventos entrando pelas direções N (norte), NE (nordeste) e E (leste), com velocidades de até 20 nós, tanto durante o dia quanto durante a noite. Os seguintes quadros foram apresentados:

1 - Em relação as manobras de atracação de enchente, em condições de meia maré, com vento predominante N, NE e E, em qualquer destes píeres, o Simulador retratou e constatou o que a praticagem local normalmente executa, no seu dia a dia, sem maiores comentários, como ficou patente nas descrições detalhadas das manobras.

2 - Durante as manobras de atracação, com a corrente vazando na velocidade media em torno de 1,4 nós, com vento N, NE ou E, no píer interno n.o 102, ficou claramente demonstrado que sem rebocadores, apresentaram condições inseguras e completamente adversas, principalmente em razão do espaço limitado e disponível para o giro e entrada de popa para atracação. A corrente entra pela amura de BE, e o vento pelo quadrante NE, pela popa, impossibilitando a aproximação, portanto fato que torna esse tipo de manobra desaconselhável.

3 - A bacia de evolução, restrita para manobras no píer supracitado, em função do contorno da isobática de 10 metros adjacente, mesmo com corrente de enchente, estabelece um limite a navios de 210 metros de comprimento sem auxilio de rebocadores, para se evitar o risco de se encalhar no momento do giro sobre a inércia em direção ao leito do rio, sobretudo na desatracação.

4 - Quanto às manobras de atracação com a corrente vazando em meia maré, no píer externo (101) sem rebocadores, constatou-se um alto índice de dificuldade, já que se opera com duas variáveis simultâneas a saber, as (correntes e ventos) e o navio depende apenas de suas próprias qualidades de manobra, como ferro, maquina e leme. No entanto, a habilidade dos profissionais de manobra existentes nessa atalaia poderá provar que as manobras são exeqüíveis, desde que respeitadas algumas restrições, tais como:

a) Não deverá existir qualquer outra embarcação atracada no píer 201 (TGL) no momento da manobra no píer 101, pois o ferro dizendo de través poderá comprometer perigosamente o abatimento da popa para cima da mesma, ainda que a posição de atracação no 101 seja bem avante;

b) O vento entrando pelo quadrante NE e o único que permite tal faina. Experiências demonstradas no Simulador provaram que, se o vento for N, a aproximação da popa ocorrera com muita violência para cima do píer e, para

evitá-la, demandará tempo e desgaste emocional de quem estiver manobrando, sendo mesmo possível a perda do controle do navio, combinando-se sua atuação com o efeito principal da corrente; se o vento for E, o sucesso da manobra dependerá muito da habilidade de quem estiver manobrando e de fatores humanos inerentes à tripulação e ao pessoal de apoio envolvidos na faina;

c) A velocidade desse vento que ora entra pela alheta de BB ora entra pela alheta de BE, dependendo da angulação que a proa estiver em relação ao píer, não devesse ser superior a 10 nós, 5 metros por segundo aproximadamente, com o risco de a máquina e o leme não poderem corrigir a tempo o abatimento lateral para cima do píer;

d) Mesmo que a manobra de atracação tenha sido realizada com sucesso, com maré de vazante, vento nordeste 10 nós, a desatracação poderá ficar comprometida em virtude do efeito do vento, que poderá prender o navio no cais devido a maior área vélica. Somente um vento leste então permitiria sua desatracação, até que sua intensidade seja reduzida;

e) As futuras manobras de vazante nos píeres 101 e 201 deverão ser limitadas a embarcações de até 30 000 T de deadweight (respeitadas as limitações devidas ao efeito do vento, e a baixa intensidade da corrente nos períodos de "quartinho", que reduzem a manobrabilidade), até que se tenha em mãos os resultados da correntometria sugerida anteriormente, e até que todos os Práticos envolvidos tenham sido exaustivamente treinados para tal.

Reconhecemos que existem diferenças individuais entre quaisquer profissionais, porém, nesse caso de manobras delicadas, essas diferenças devem ser equalizadas para o nível mais alto possível, ou seja, TODOS os práticos devem manobrar igualmente em vazante, em todos os terminais da área. Se possível, o treinamento deverá ocorrer primeiramente em nosso Centro de Simuladores, antes que ocorram da realidade, quando então deverá

se tomar o cuidado fazê-lo com embarcações de porte crescente, até o limite máximo estipulado. Seria interessante que pelo menos um rebocador compatível ficasse de stand-by para auxílio, quando um práctico fosse executar uma manobra real com embarcação daquele porte pela primeira vez. Os profissionais que apresentassem melhor rendimento deveriam ser escalados para ajudar na instrução, treinamento e manobras realizadas pelos demais.

TODOS os prácticos devem manobrar igualmente em vazante, em todos os terminais da área. Se possível, o treinamento deveria ocorrer primeiramente em nosso Centro de Simuladores, antes que ocorram da realidade, quando então deveria se tomar o cuidado em executá-lo com embarcações de porte crescente, até o limite máximo estipulado. Seria interessante que pelo menos um rebocador compatível ficasse de stand-by para auxílio, quando um práctico fosse executar uma manobra real com embarcação daquele porte pela primeira vez. Os profissionais que apresentassem melhor rendimento deveriam ser escalados para ajudar na instrução, treinamento e manobras realizadas pelos demais.

4.3 Terminal Marítimo da Madre de Deus

Madre de Deus é um município brasileiro do E da Bahia. Possui uma área de 11, 141 km², com uma população recenseada em 2007 de 15.432 habitantes. Seu antigo nome era Ilha dos Cururupebas, em virtude do cacique tupinambá Cururupeba que habitava nessa ilha e que após anos de resistência, sucumbiu às investidas dos colonizadores portugueses.

O município é localizado em uma ilha. Sua ligação com o continente é através dos municípios de Candeias e São Francisco do Conde. Apenas 100 metros a separam do continente e uma ponte foi construída no fim dos anos cinqüenta com a criação do terminal marítimo da Petrobrás. Com a maré baixa é possível atravessar a pé de um lado para outro. A ilha situa-se na Baía de Todos os Santos, a maior do Brasil. O município antes pertencia a Salvador e

emancipou-se no fim dos anos oitenta. Além do terminal marítimo da PETROBRÁS, outras atividades são a pesca artesanal e o turismo, pois se trata da praia mais próxima da região. É uma região marcada por fortes agressões ecológicas, oriundas da indústria petrolífera, sendo marcantes na História do Município os derramamentos de petróleo de 1992 e 1999.

O Terminal de Madre de Deus destina-se ao recebimento de petróleo e ao embarque de derivados de petróleo processados pela Refinaria Landulfo Alves, está localizado na ponta Mirim, ao Sul da ilha de Madre de Deus, tem a denominação oficial de “Terminal Marítimo Almirante Alves Câmara”, pertence à PETROBRAS e é por ela administrado.

O Terminal e seus acessos constam das cartas 1110, 1104, 1105 e 1101

Figura 34 – Manobra no Terminal Marítimo de Madre de Deus. (Fonte: CIAGA, 1999)

Para este Terminal de Madre de Deus (figura 34) o Simulador Numérico de manobras do CIAGA foi solicitado para estudar o aumento da calha no canal e respectiva largura a fim de adequar um navio de 277 m de LOA e 130 mil tons de TPB, Chegando às seguintes conclusões:

As análises são relativas às condições de manobrabilidade dividida em duas partes, definidas considerando um navio de comprimento total de 277 metros, boca de 43,5 metros: deslocamento correspondente a um calado de 14 metros e outra para o mesmo navio, com 15 metros de calado.

1ª PARTE - A calha dentro do canal de acesso a Madre de Deus foi dragada a 15 metros na referência das baixas - mares de sizígia, que somada à amplitude média de maré de 2 metros permite atingir profundidade abaixo da superfície livre de aproximadamente 17,0 metros; sua largura é de 200 metros. O navio, sob o efeito de maré de enchente, navegando com corrente de até 1,1 nós de velocidade entrando pelas alhetas, na altura das balizas n.º 5 / 6, tem suas características de governo bastante prejudicadas, sofrendo abatimento para cima da margem esquerda, impondo a necessidade de se navegar com rumo de deriva, praticamente obrigando ao desenvolvimento de uma maior velocidade, e logicamente, gerando um maior afundamento em função da forma do casco do navio em questão. Foram observadas então os seguintes fatos:

A - A partir das balizas 5 / 6, a velocidade mínima na qual o navio ainda tem governo com a lamina d'água preestabelecida abaixo da quilha, é de 4,0 nós.

B - O afundamento observado com a velocidade de 6,0 nós dentro da calha foi de 0,5 metros e com a devida proporção determinada pela hora da maré na qual o navio se encontrava, isto é, uma hora antes do estófo da preamar, definia um rumo de deriva de 4 graus.

C - O arrasto em "surge" (coasting), imposto ao navio pela necessidade de se navegar com a velocidade correspondente 4,0 nós, mesmo com máquina toda força à ré e ainda sob o efeito de pouquíssima quantidade de água em baixo da quilha, foi de cerca de 4 comprimentos do navio manobrado.

D - No giro para BB, na entrada do canal de acesso a bacia de evolução ainda com a maré de enchente correndo para o estofo da preamar, tem-se a corrente atuando em toda a obra viva do costado por BB.

Por tudo isto, no Simulador de Manobras, para evitar a ocorrência de um encalhe por falta de área de escape durante quase todo o percurso dentro da calha (ou outra qualquer eventualidade emergencial - devida a erro de governo, ou falha de máquinas, ou mesmo falha humana) estabeleceu-se que deverá existir um rebocador, a partir da bóia nº 07, com cabo passado na proa, para orientar o navio de volta ao centro da calha, sempre que assim se fizer necessário. Este rebocador deverá ter cerca de 40 toneladas de "B.P" e o cabo devera ser passado com um seguimento de ate 6,0 nós. Igualmente, as manobras noturnas não poderão ser realizadas, principalmente nas atracações por BB no PP4, em função da impossibilidade de se avaliar com precisão o espaço limitado à ré da embarcação, durante 0 giro na bacia de evolução.

2ª PARTE - Quanto às manobras na mesma calha, agora com o navio com 15 metros de calado, chegamos as seguintes conclusões:

A - Ao se entrar na calha na altura das balizas 5 / 6, a dificuldade de se governar tornou-se mais crítica, determinando necessidade da assistência de dois rebocadores, um na proa e um na popa, chegando-se a baliza 7 já com os cabos passados. Justifica-se esse procedimento, primeiro porque existe a possibilidade de se executar a manobra por BE no início da vazante, sendo assim necessário um rebocador de popa com cabo passado para ajudar a segurar o seguimento adiante e facilitar o governo com pouquíssima velocidade.

B - Devido ao fato de apresentar um maior arrasto, embora sofrendo os efeitos de uma corrente mais suave ainda pela popa, com a mesma velocidade de 4 nós, a embarcação percorreria cerca de cinco comprimentos ate parar,

justificando mais ainda a necessidade de se ter 0 rebocador de popa com cabo passado.

C - Se a manobra de atracação for realizada com a maré correndo no início da vazante, próxima ainda ao estofo da preamar, todos os rebocadores deverão estar com cabos passados nas proximidades da baliza 14, o que demanda a faina de se passar esses cabos com o navio em seguimento.

D - Desaconselhamos tal faina com a corrente próxima a meia maré de vazante, mesmo com os rebocadores já de cabos passados, pois o esforço destas embarcações em manter o navio sob controle, provavelmente provocaria rupturas nos respectivos cabos.

E - A calha definida nas plantas entregues pela PETROBRAS foi, em primeiro lugar, discretizada dentro do canal de acesso nos arquivos de Environment. A seguir, foram efetuadas várias corridas para que se pudesse definir as melhores opções de manobras, incluindo-se opções com e sem enfiamentos. Os melhores resultados foram obtidos com dois ALINHAMENTOS, um para o trecho da calha entre as balizas 5 e 7, no rumo 335°, e outro até a baliza 9, no rumo 324°. Plotou-se então a calha em uma Carta N.º 1004, transportando-se os seus pontos diretamente das plantas fornecidas. Finalmente, foram definidos quatro pontos para os dois enfiamentos, cujas coordenadas sugerimos na tabela abaixo:

ALINHAMENTO:	PONTO:	LATITUDE:	LONGITUDE:
	A11	12° 45.64' S	038° 35.63' W
A1 (335°)	A12	12° 46.08' S	038° 35.43' W
A2 (324°)	A21	12° 45.05' S	038° 36.47' W
	A12	12° 45.35' S	038° 36.23' W

F - Da mesma forma que na primeira parte, aconselhamos a não se manobrar, à noite, em função do pouco espaço disponível para navios deste porte e da dificuldade de se avaliar as distâncias necessárias.

4.4 Terminal Marítimo da COPENE em Aratu

Em 11 de abril de 1966, foi criado o Centro Industrial de Aratu e, em 17 de dezembro de 1968, o governo federal autorizou à Usina Siderúrgica da Bahia S.A. (Usiba) a construção de um terminal de uso privativo na Ponta da Sapoca, na Baía de Todos os Santos.

Figura 35 – Terminal de Aratu (fonte: Copene, 2008)

Decorridos cerca de três anos, foi aprovado, em 1º de outubro de 1971, pelo Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis do Ministério dos Transportes, o projeto de implantação do porto de Aratu (figura 35) e foram iniciadas, na mesma data, as obras a cargo do governo estadual. A

inauguração das primeiras instalações de acostagem e depósitos ocorreu em 26 de fevereiro de 1975, com a atracação do navio Guanabara.

Atualmente o porto está vinculado à Companhia Docas do Estado da Bahia (Codeba).

ADMINISTRAÇÃO E LOCALIZAÇÃO

O porto é administrado pela Companhia das Docas do Estado da Bahia (Codeba) e está localizado na Baía de Todos os Santos, próximo à entrada do canal de Cotegipe, em frente à costa leste da Ilha da Maré.

ÁREA DO PORTO ORGANIZADO

Conforme a Portaria-MT nº 1.032, de 20/12/93 (D.O.U. de 22/12/93), a área do porto organizado de Aratu, no estado da Bahia, é constituída:

- a) pelas instalações portuárias terrestres delimitadas pela poligonal definida pelos vértices de coordenadas geográficas a seguir indicadas. Ponto A: latitude 12°45'30"S, longitude 38°30'10"W; Ponto B: latitude 12°45'30"S, longitude 38°29'15"W; Ponto C: latitude 12°47'30"S, longitude 38°29'15"W; e Ponto D: latitude 12°47'30"S, longitude 38°30'10"W, abrangendo todos os cais, docas, pontes e píeres de atracação e de acostagem, armazéns, edificações em geral e vias internas de circulação rodoviária e ferroviária e ainda os terrenos ao longo dessas áreas e em suas adjacências pertencentes à União, incorporados ou não ao patrimônio do porto de Aratu ou sob sua guarda e responsabilidade;
- b) pela infra-estrutura de proteção e acessos aquaviários, compreendendo as áreas de fundeio, bacias de evolução, canal de acesso e áreas adjacentes a esse até as margens das instalações terrestres do porto organizado, conforme definido no item "a" acima, existentes ou que venham a ser construídas e mantidas pela Administração do Porto ou por outro órgão do poder público.

INSTALAÇÕES

O Terminal de Granéis Sólidos (TGS) é composto de 2 píeres: píer I possui 02 berços, sendo um destinado à exportação (magnesita e uréia) com 153 m de extensão, e o outro para importação (concentrado de cobre, alumina, carvão, enxofre, fertilizantes, manganês e rocha fosfática) com 202 m de extensão; o píer II, com um único berço de 210 m de comprimento, atende, de forma complementar, ao píer I nas importações dos granéis sólidos.

O TGS conta no píer I com sistemas de embarque e desembarque de granéis sólidos constituído de 1 descarregador de navios com 970 t/h de capacidade, e 2 carregadores de navios 1200 t/h e 700 t/h de capacidade. Esses equipamentos estão ligados às respectivas áreas de estocagem através de sistemas de correias transportadoras. No píer II há um guindaste tipo canguru de 16 t operando com grabs.

O terminal de Granéis Líquidos (TGL) é constituído de um píer com atracação em ambos os lados (2 berços), através dos quais é feita a movimentação, mediante bombeamento de/para navios, dos seguintes produtos líquidos: soda cáustica, dicloretano, MEG, estireno, MTBE, benzeno, etc.

O Terminal de Produtos Gasosos (TPG) é composto de 1 píer com apenas 1 berço, onde atualmente é realizado o bombeamento dos seguintes produtos: amônia, butadieno, propeno, etc. Este píer para atendimento a navios de grande porte visa atender a movimentação de matérias primas (nafta) para a Copene.

Em termos de armazenagem, o Porto de Aratu dispõe de um pátio para granéis sólidos com 475.000 t de capacidade estática, além das instalações particulares (silos da Alcan e Cimex e armazéns da Petrobrás/Fafen, Caraíba Metais e Magnesita). Os granéis líquidos e os produtos gasosos são

armazenados em tanques da Tequimar, Brasterminais, Tegal e Petrobrás/Fafen.

Os terminais privados da Cimento Aratu e da Usiba dispõem, cada um, de um silo vertical com, respectivamente, 25.000 t e 50.000 t de capacidade estática.

FACILIDADES

Toda a movimentação de carga dentro da área do porto organizado é realizada por 13 Operadores Portuários privados.

Os granéis líquidos e gasosos são movimentados exclusivamente pelos operadores Tequimar e Brasterminais.

Figura 36 - Terminal da COPENE Baía de Aratu (Fonte: CIAGA 1999)

Este Trabalho teve como objetivo no Simulador numérico avaliar as possibilidades futuras de manobras de atracação e desatracação para a empresa TRANSPETRO (figura 36) subsidiária da Petrobrás de um futuro Terminal, localizado na Baía de Aratu em Salvador Bahia, como acima exposto levando em consideração dois tipos de navio um de 84 mil tons de DWT 252 metros de LOA e 38 m de boca e 12 metros de calado e outro de 135 mil tons de DWT com 277 metros de LOA, 43 de boca e 14 m de calado dentro das possibilidades de navegação e as aproximações dos navios no seu berço de atracação levando em consideração corrente , vento e profundidade existente no local chegando às seguintes conclusões:

As manobras realizadas no Simulador Numérico, com os dois tipos de navio já mencionados, em todas as condições de corrente e vento, de dia e à noite, para o novo píer da Copene, apresentaram os seguintes resultados:

A – PARA NAVIOS DE 84K DE TPB

As manobras de atracação com o navio de 12 metros de calado, ou seja, de 84 K de TPB, devem ser executadas por BB, com a corrente próxima ao estofo da preamar, de dia ou de noite, por serem consideradas plenamente viáveis.

As manobras de atracação executadas com este tipo de navio, carregado, em condição de meia maré (de enchente ou vazante) são desaconselhadas.

Qualquer manobra de atracação, executada por BE, implica em girar-se o navio, ou na Bacia de Evolução, ou em frente ao píer. Essas manobras para este tipo de navio, quando em plena carga, são bastante arriscadas.

As desatracações podem ser executadas com um navio de 252 metros, com maré parada, em frente ao píer ou na Bacia de Evolução, pois ambas são consideradas bastantes seguras, sendo que, com qualquer corrente, este navio em lastro só deve girar na Bacia de Evolução.

Dos rebocadores definidos para manobras com o navio de 12 metros de calado, além dos que já existem atuando no local, pelo menos um deve ser de 32 T de BP, azimuthal.

A interação de navios no Canal de Aratu só deve ser executada para navios de 12 metros de calado durante o dia, devendo ser evitada para navios de 14 metros.

B – PARA NAVIOS DE 135K DE TPB

O alinhamento para se entrar no Canal de Aratu, com o navio de 135 K TPB (ou seja, os 23 graus verdadeiros), deverá ser executado, principalmente, após se mudar a bóia n° 2 de posição, chegando-a para cerca de 100 metros em direção ao banco a seu bombordo. O segundo alinhamento, de 010.5 graus verdadeiros no meio do canal será feito no mesmo alinhamento do farol do Caboto, permitindo melhor visualização durante o dia.

A manobra de atracação do navio de 135 mil com 14 metros de calado só pode ser executada por BB e com a maré parada, e mesmo assim com restrições, pois nesta condição batimétrica, ou seja, com cerca de um pé abaixo da quilha, contraria-se a Norma do Tráfego de Permanência. Porém, a mesma pode ser realizada de dia ou à noite, exigindo-se apenas mais um rebocador de 32 T BP, ou seja, um total de dois rebocadores azimuthais de 32T B.P e um convencional de 25 T de BP.

A manobra de desatracação deste mesmo navio, agora em lastro, ou seja, com 9,5 metros de calado, somente deve ser planejada na Bacia de Evolução. Desaconselha-se seu giro em frente ao píer, em função de seu comprimento total que é de 277 metros, mesmo com maré parada.

Os rebocadores acima definidos para manobrar esse navio devem passar cabos entre as bóias de nº 05 e nº 07, a fim de que possam auxiliar no giro, depois que o navio montar a bóia de nº 10.

Se fosse executada uma dragagem no posicionamento do novo píer para 14 metros, esta manobra seria plenamente viável, na condição de estofo de preamar, de dia ou à noite, salvo situações de manobra "in extremis", identificadas pela Praticagem local.

Com relação à observação feita na análise da manobra, enfatizamos a necessidade de um estudo de resistência estrutural do píer e suas defensas, em função do porte dos navios que lá manobrarão. A instalação de um equipamento Doppler (com painel) para monitorar a aproximação lateral dos navios seria muito importante para a segurança do futuro terminal.

Além deste cenário de (Ponta da Madeira), Vila do Conde e outros para os mesmos fins, foram também executadas neste novo Simulador Numérico tendo como principais tarefas a discretização dos terminais de Tubarão (Vitória, Espírito Santo), Rio de Janeiro (Baía de Guanabara, Rio de Janeiro) e Santos, com os terminais da Bungue e Terminal do TECONDI, próximo ao canal de Piaçaguera.

Outro Simulador numérico também foi Inaugurado e administrado desde novembro de 2006 pela Fundação Homem do Mar, chamado de Centro de Simulação Aquaviária, fruto de uma parceria entre o Sindicato Nacional dos Oficiais da Marinha Mercante (SINDMAR) e a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), possui diversas finalidades , e dentre elas simular manobras de forma "full-mission", fornecido pela empresa "TRANSAS MARINER"

4.5 Modelo Físico de Ponta da Madeira

Vários trabalhos foram desenvolvidos, tanto num simulador, quanto noutro, seja para desenvolvimento da Engenharia de projetos, assim como para garantir a camada de segurança tão exigida nos dias de hoje pelo meio ambiente e minimizar a probabilidade de impactos ambientais. Por Exemplo, o modelo físico de Ponta da Madeira sempre foi e será ferramenta importante para desenvolvimento de novas obras portuárias e procedimentos operacionais, como foi concluído em 2007, quando foram embarcados 10 MTPA de minério, graças às modificações nas regras de manobra conquistadas através de viabilizações de simulações executadas no modelo com os Práticos locais (ver Gerent, 2010).

O Pier IV do Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, figura 37, é um desafio por ser obra desabrigada das fortes correntes de maré locais, foi completamente desenvolvido no modelo físico, no qual a amarração e as manobras de atracação e desatracação mostraram-se viáveis dentro de algumas premissas a serem seguidas, como guinchos de terra e horários de maré pré-determinados.

Figura 37 – Características e posicionamento do Píer IV. (Fonte: CVRD, 2009)

5 VIRTUDES E DEFICIÊNCIAS CONSIDERADAS

O modelo híbrido físico e numérico tem como objetivo unir as duas ferramentas num só propósito e num só objetivo, para atingir um nível de credibilidade e perfeição que possibilitará a definição de conclusões mais concretas para projetos de Engenharia e análise de risco de terminais que, quer seja por complexidades de marés astronômicas ou meteorológicas, possam contribuir com fracassos ou riscos catastróficos ao meio ambiente, hoje em dia fazendo parte de avaliação dos Impactos Ambientais. A união destes dois modelos, físico/análogo e numérico/digital, possibilitará a extração de resultados mais condizentes com a realidade.

AÇÕES DESENVOLVIDAS NOS SIMULADORES

QUADRO 1 - USO DA FERRAMENTA DE APOIO ÀS MANOBRAS - REBOCADORES

MODELO NUMÉRICO		MODELO FÍSICO	
VIRTUDES	DEFICIÊNCIAS	VIRTUDES	DEFICIÊNCIAS
Têm características de manobrabilidade mais próximas à realidade.	São manobrados sem levar em consideração o risco da passagem de cabos interação com o casco do navio.	São ajustados com facilidade e por rádio controle facilmente manobrados.	Dependendo da escala, suas forças são reproduzidas por ventiladores (abertura no costado) que não interagem bem com o casco.

QUADRO 2 - MANOBRABILIDADE SOB INFLUÊNCIA DE CORRENTE DE MARÉ, E EFEITOS DE ONDAS

MODELO NUMÉRICO		MODELO FÍSICO	
VIRTUDES	DEFICIÊNCIAS	VIRTUDES	DEFICIÊNCIAS
Dependendo da capacidade do software, absorve nitidamente a corrente de maré aplicada ao casco do navio se a correntometria do local for bem definida.	Sofre influência do tipo de tença expressando apenas aproximadamente a realidade do local (vórtices).	Por ser uma obra civil, através de nivelamento topográfico referenciado, estabelece-se o relevo de fundo com a batimetria informada e gerando-se uma situação mais simplificada	O custo, devido ao porte do projeto a ser contratado, torna-se uma obra dispendiosa.

QUADRO 3 - INFLUÊNCIA DO VENTO SOBRE AS OBRAS VIVAS NA EMBARCAÇÃO

MODELO NUMÉRICO		MODELO FÍSICO	
VIRTUDES	DEFICIÊNCIAS	VIRTUDES	DEFICIÊNCIAS
Pode demonstrar a deriva provocada pela forma vélica, inclusive a possibilidade de orçar ou arribar.	Se o modelo tiver a sensibilidade de outros movimentos aleatórios e contrários perturbando, perde cerca de 20 % de sua influência.	Podem ser reproduzidos com uso de ventiladores calibrados	Grande dificuldade de simulação de ventos com variação de direção ao longo dos ensaios

QUADRO 4 - INFLUÊNCIA DO PONTO DE VISTA DO PILOTO REAL NA EMBARCAÇÃO E CENÁRIOS SIMULADOS

MODELO NUMÉRICO		MODELO FISICO	
VIRTUDES	DEFICIÊNCIAS	VIRTUDES	DEFICIÊNCIAS
Pode demonstrar as suas habilidades de dentro do passadiço, dependendo da sua capacidade de simulação em seu interior. (full mission).	Como lateralmente não se consegue enxergar a massa fluida, perde-se o sentido da distância em uma aproximação lateral, assim como o sentido de distância da proa ao horizonte.	O Piloto real pode manobrar de fora do navio com rádio controle, o que lhe permite avaliar o ambiente com mais segurança	Dependendo da escala a velocidade de simulação requer algum tempo para que o Piloto real possa se ambientar e transferir para a realidade o objetivo

QUADRO 5 – Avaliação da amarração dos navios atracados e a sustentabilidade da segurança operacional do terminal

MODELO NUMÉRICO		MODELO FÍSICO	
VIRTUDES	DEFICIÊNCIAS	VIRTUDES	DEFICIÊNCIAS
Pode representar a influência do posicionamento dos cabos de amarração do navio e ou Terminal, avaliando o tempo necessário para desamarra-los e incluí-los nas janelas de maré determinada para as manobras	Não é aplicado a projetos face a dificuldade de escalonar os esforços cabo a cabo de amarração com seus MBL pré estabelecidos e garantir de forma sustentável a atracação do navio até o término da operação de carregamento sob fortes condições meteorológicas e astronômicas de mares locais.	Trata-se da ferramenta mais importante para análise de ensaios de amarração em novos projetos de Terminal haja vista Através de calibração eletro-mecânica do conjunto, reproduzindo-se em escala a rigidez da linha, e cálculo via computador, obtêm-se os esforços sobre o sistema de amarração.	Dependendo da escala adotada, quando muito reduzida não permite a medição de esforços por unidade de cabo e sim por um conjunto de cabos, obtendo-se uma média dos esforços por cabo.

QUADRO 6 – Avaliação da influência dos instrumentos de Navegação nas manobras simuladas para desenvolvimento de projetos navais

MODELO NUMÉRICO		MODELO FÍSICO	
VIRTUDES	DEFICIÊNCIAS	VIRTUDES	DEFICIÊNCIAS
Como em um Simulador Full Mission possui além da visão de 360 graus um passadiço integrado com todos os instrumentos de navegação existentes interagindo com o Ambiente e a ferramenta mais importante para este fim	Sensação de profundidade em relação a realidade ainda não conseguiu seu nivelamento maior independente do tipo de tela, prejudicando de certa forma o melhor desempenho de certas ferramentas	As manobras podem ser realizadas sem instrumentos de navegação	Não é possível manobrar somente por instrumentos

QUADRO 7 - Avaliação de energias de defensas a serem Simuladas para desenvolvimentos de projetos de Terminais adequando-as manobras de atracação dos navios tipos

MODELO NUMÉRICO		MODELO FISICO	
VIRTUDES	DEFICIÊNCIAS	VIRTUDES	DEFICIÊNCIAS
São facilmente implantadas no programa numérico.	Não permite o monitoramento de deformação decorrente da atracação	As defensas são reproduzidas por lâminas em balanço com rigidez calibrada e fixadas convenientemente no paramento dos píeres para reproduzir os conjuntos reais.	A angulação de ataque nas manobras de atracação não é bem reproduzida

6 DISCUSSÃO DE TRABALHOS FUTUROS E SUAS PROJEÇÕES DESEJADAS

Foi através do resultado alcançado com o estudo de amarração a fim de manter a camada de segurança desejada e a ganho de otimização na manobrabilidade da janela de maré sem inferir na mesma camada de Ponta da Madeira, estudo este executado pelo modelo físico da LHEPUSP e do estudo da análise de risco de Ponta da Madeira face o aumento do número de navios e seus portes brutos, esperados para 2011 que a companhia VALE buscou os mesmos fundamentos para o Terminal da Ilha Guaíba que ainda se encontram em desenvolvimento.

Este modelo Físico do TIG na ilha Guaíba no município de Mangaratiba no Rio de Janeiro, por tudo isto também está sendo desenvolvido no LHEPUSP com o propósito de desenvolver estudos de amarração a ser determinado planos de amarração para fins de garantir a segurança operacional dos navios que por lá aportam a despeito de todas as características Meteorológicas e Astronômicas adversas e para tal está sendo avaliado e determinado o número de cabos, necessários com seus MBL característicos com seus respectivos posicionamentos em relação ao Terminal e suas características necessárias em seus aparelhos de laborar etc. O maior desafio será que desta vez a amarração será estudada incluindo os 6 graus de liberdade e não somente 3 com foi até então em outros cenários. (ver figuras 38 e 39)

Figura 38 - Modelo físico do TIG (Fonte FCTH, 2010)

Figura 39 - Modelo físico do TIG (Fonte: FCTH, 2010)

Neste terminal existirá como incremento necessário para reproduzir as características de ondas (Swell) existentes no local provocadas pela existência natural de entrada de frentes frias, um batedor de ondas a fim de simular ondas com sua dispersão e velocidade de grupo e suas energias cinéticas e potencial, provenientes do quadrante Sul, melhor adequados pela pista de sopro (fetch).

No modelo numérico como abaixo determinado está sendo estudada a Análise de Risco a fim de enquadrar todas as possibilidades de possíveis acidentes portuários e de navegação no canal de acesso ao porto que um navio pode sofrer e como consequência fechar o Terminal. Para tanto está sendo discretizado um cenário com informações de corrente e vento além das amplitudes de maré existentes no local. As figuras 40 e 41 são imagens retiradas do Simulador numérico de dia e a noite.

Figura 40 - Simulação diurna do TIG do modelo numérico. (Fonte: FHM, 2010)

Figura 41 - Simulação noturna do Terminal do TIG em simulador numérico. (Fonte: FHM, 2010)

Por todos estes desenvolvimentos e como projeção desejada precisamos ficar focados em um modelo híbrido, principalmente em função da impossibilidade da reprodução física dos rebocadores portuários em escalas muito reduzidas, então propõe-se recorrer ao uso de modelos numéricos, funcionando sincronizadamente ao simulador físico, para correção desta deficiência – criação do modelo híbrido – SIDAMA (Simulador digital-analógico de manobras).

Conceito do SIDAMA:

Enquanto a manobra é realizada no modelo físico, as operações de reboque são realizadas pelos mestres de rebocadores no modelo numérico, que ligado ao modelo físico, transmite as informações de ângulo e potência ao simulador

analógico, que por sua vez repassa as coordenadas de posicionamento do navio em função da atuação conjunta dos rebocadores, máquina e leme.

Desenvolvimentos:

A - Modelo numérico desenvolvido com as mesmas condições de contorno do modelo físico, reprodução de todos os estágios, para as diversas alturas, de maré em condições estáticas.

B - Calibração das velocidades e direções das correntes, em diversos pontos ao longo do modelo e validação pelas trajetórias de derivadores de acordo com levantamento dos dados obtidos no modelo físico.

C - Modelação matemática dos contornos do mesmo navio que é manobrado no simulador físico.

D - Ambos modelos funcionando com a mesma escala de tempo / velocidade.

E - Software de localização de pontos de destaque do navio e cálculo das coordenadas a partir de referências externas e dos pontos localizados nos extremos da popa e proa do navio.

F - As correntes do modelo numérico (vetores de velocidade) não exercem influência no navio, mas este exerce nas correntes (navio é interpretado como um objeto móvel que se desloca em função dos dados de seu posicionamento, enviado pelo modelo físico em tempo real).

G - Rebocadores azimutais, com seus trusters representados por dois vetores de velocidade, inseridos no modelo numérico, e que interagem com o escoamento. Podendo-se controlá-los e alterar suas direções e intensidades por comandos computacionais transmitidos via consoles/joysticks, operados pelos mestres.

H - Produção de arte gráfica das embarcações rebocadores em substituição ao vetor velocidade resultante dos thrusters do rebocador.

I - Produção de arte gráfica dos navios em substituição aos pontos de posicionamento que representam os extremos do navio (limite da popa e proa).

J - Produção de arte gráfica do cenário, bóias, obras e píeres.

L - A informação referente a resultante de velocidade dos dois vetores (para cada rebocador) é calculada e processada pelo programa computacional e transmitida para o controle dos ventiladores do navio no momento em que há contato dos vetores com o navio numérico.

M - O rebocador numérico (vetor) não interage com o navio (não o movimenta, a resposta do movimento vem do modelo físico). No instante do contato do mesmo com o navio o vetor é congelado.

N - A posição dos rebocadores poderá ser visualizada pelos práticos, através da projeção da simulação matemática em local próximo ao piloto real.

O - Retroalimentação contínua entre os dois modelos (taxa de transferência de dados em altíssima velocidade – clusters de alta capacidade).

O conceito de modelo híbrido teoricamente proposto, denominado SIDAMA, poderá produzir uma ferramenta bastante sofisticada que trará melhores resultados finais em termos de manobras de navios, porém por se tratar de um conceito apenas, e nunca ter sido concebido para estudos de manobras (em 2009 foi desenvolvido um simulador híbrido denominado TPN – Tanque de provas numérico – utilizado para estudos de plataformas de petróleo em águas ultra-profundas, localizado na Universidade de São Paulo, onde são extraídos do dados do modelo físico que alimentam o modelo numérico em tempo real), terá de ser mais bem detalhado e estudado para seu real desenvolvimento.

Existem alguns pontos, dentro do conceito, ainda um pouco incertos, como por exemplo, o grau de definição ou precisão do software de localização dos pontos de destaque do navio para cálculo das coordenadas a partir de referências externas e dos pontos localizados nos extremos da popa e proa do navio, pois em função de escala bastante reduzida, haverá necessidade de uma precisão da ordem de décimos de milímetros. Há também a dificuldade de que haja sincronismo do escoamento entre ambos modelos (físico e numérico), principalmente em Terminais sujeitos a passagem de vórtices, que terão de ocorrer simultaneamente em ambos no mesmo intervalo de tempo, mesma posição e amplitude. A modelação do rebocador no modelo numérico é outro ponto que precisará ser melhor estudada, já que há necessidade de representá-lo mergulhado e não somente como uma resultante dos vetores relativos aos thrusters, para que interaja de maneira adequada com o escoamento.

7 CONCLUSÃO

Na medida em que se descobrem as inúmeras possibilidades que modelos de simulação integrados analógico e digital podem oferecer, e que seus resultados podem trazer desempenhos operacionais exponencialmente mais lucrativos e seguros, com relação aos custos de implantação destes simuladores, nenhuma obra de Engenharia de projetos portuários, face ao seu alto custo envolvido e que precise garantir o sucesso do empreendimento, pode abrir mão destas ferramentas tão importantes.

Portanto, um simulador híbrido, que possa reproduzir todas as variáveis independentes que se apresentam neste escopo de serviços, é, sem dúvida nenhuma, um desafio que precisa ser encarado.

Suas metas são desejáveis e seus resultados plenamente alcançáveis, podendo fazer de um sonho uma realidade, garantindo seus resultados, se cumpridos forem os procedimentos necessários de capacitação. No entanto, face ao desconhecimento, ou à falta/miopia de planejamento com investimentos, algumas empresas preferem descobrir as falhas depois de acidentes acontecidos, afastando planos de ações que poderiam ter sido evitados se antes tivessem sido alertados de modo convincente para os riscos catastróficos que insistem em ocorrer a despeito de todo o avanço tecnológico.

Desta forma vê-se com muita segurança a afirmação de que se num estudo de impactos ambientais, por força de lei, as empresas fossem obrigadas em seus empreendimentos a procurar simuladores híbridos, com associação dos dois modelos, o físico e o numérico, para analisar os riscos inerentes aos seus projetos e aos resultados, quanto à garantia de manter a camada de segurança, o que seria o interesse maior de todos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABKOWITZ, 1970. International effects on ships operating in the proximity in deep and shallow water. .
- ABNT - Associação Brasileira de Normas e Técnicas, 1995. Planejamento portuário - aspectos náuticos. NBR 13246, 9p. Originada da NB 1509, Rio de Janeiro.
- _____ Análise de riscos em atividades industriais, comerciais e ambientais. NBR 15662, Rio de Janeiro.
- ABS - American Bureau of Shipping Consulting. Análise qualitativa de riscos das operações de rebocadores do Consórcio de Rebocadores da Baía de São Marcos (CRBSM).
- ALFREDINI, P. & ARASAKI, E, 2009. Obras e gestão de portos e costas: a técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental. Editora Edgard Blücher, 2ª edição, São Paulo.
- ATTC, 1997. American Towing Tank Conference.
- BECK; TUCK E. O.; NEWMAN J.N., 1975. Computation of shallow water ship motions, Ninth Symposium of Naval Architecture.
- BRASIL/MARINHA/DHN - Roteiro Costa Norte. Da Baía do Oiapoque ao Cabo Calcanhar e Rios Amazonas, Jari e Trombetas.
- BROWN, A.. Análise de risco em atividades industriais, comerciais e ambientais – Técnicas de identificação de perigos e riscos. ABNT cursos.
- GERENT, J. P., 2009. A simulação analógica de manobras de navios na otimização de operações e projetos portuários. Exame de Qualificação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Obras Hidráulicas Marítimas. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Obras Hidráulicas Marítimas.

- GONÇALVES, R. R. C, 2005. A criação de um simulador para otimização de manobras de navios com a técnica de modelo radio-controlado conduzido por piloto real em modelo físico. São Paulo..
- MC CARTNEY, B. L. Ship channel design and operation. ASCE - American Society of Civil Engineers manuals and reports on Engineering practice.
- HENSEN, H., 1997. – “Tug use in Port – A practical guide”. The Nautical Institute, London.
- HIRANO & TAKASHIMA, 1985. An experimental study on manoeuvring hydrodynamic forces in shallow waters. Transactions, n.º 69.
- INOUE, S.; NOMOTO, K.; TANI, H.; MOTORA, S.; OKADA, S. & YAMANOUCHI, Y., 1966. Researches on the manoeuvrability of ships in Japan. The Society of Naval Architects of Japan, Tokyo.
- LEWIS, E. V. – Principles of Naval Architecture, SNAME - Society of Naval Architects and Marine Engineers, Volumes II e III.
- PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses, 1992. Capacity of ship manoeuvring simulation models for approach channels and fairways in harbours. Supplement of Bulletin nº 77, 49 p.
- _____ - Permanent International Association of Navigation Congress, 1997. Approach channels: a guide for design. Final Report of the Joint Working Group II-30 PIANC-IAPH in cooperation with IMPA and IALA, Brussels (Belgium) and Tokyo (Japan).
- ROWE, R. W., 1996. The shiphandler's guide. The Nautical Institute, 171 p.
- SANCHEZ, L. E., 2006. Avaliação de Impacto Ambiental. Editora Oficina de Texto, São Paulo.
- SCHILICHTING, O. Ship resistance in water of limited depth – Resistance of seagoing vessels in shallow waters. Jahrbuch der STG, vol 35.
- THE SOCIETY OF NAVAL ARCHITECTS AND MARINE ENGINEERS, 1993. Principles of Naval Architecture. Vol I, Second Revision.

- TUCK, E. O., 1967. Sinkage and trim in shallow water of finite width. Schiffstechnik, Bd. 14.
- VALE - Companhia Vale. Informações do Porto – Terminal Marítimo de Ponta da Madeira.
- _____ - Normas para manobras.