

Laboratório TPN-USP e aplicações de Realidade Virtual em treinamento naval

Ana Paula Ferreira Ramos¹, Prof. Dr. Romero Tori², Camila Maldonado Huanca³

Resumo

É possível manobrar um navio estando em um laboratório de pesquisa universitário? Neste trabalho é apresentado o laboratório de pesquisa de desenvolvimento da Escola Politécnica da USP denominado “Tanque de Provas Numérico” (TPN), que é especializado em simulações voltadas para a área naval. São também analisados treinamentos com simuladores de embarcação realizados no TPN, que vistos os conceitos de Realidade Virtual é a principal contribuição deste trabalho, além do levantamento das produções científicas que apresentam os treinamentos já realizados. O laboratório possui projetos com várias instituições de pesquisa, parte deles voltados à Petrobrás e à Marinha brasileira. O TPN também tem um tanque físico com 900 mil litros de água, onde validam-se simulações numéricas.

Palavras-chave: Realidade virtual, treinamento, TPN-USP

Key-words: *virtual reality, naval training simulator, Numerical Offshore Tank - USP*

1. Introdução

O laboratório “Tanque de Provas Numérico” da Universidade de São Paulo (TPN-USP) desenvolve simuladores de embarcação, que possibilitam treinamentos na área naval. TANNURI (2019) descreve 135 simulações realizadas no TPN-USP, com a participação de 120 práticos. O laboratório possui projetos com várias instituições de pesquisa. Parte deles são voltados à Petrobrás e à Marinha brasileira. O TPN já desenvolveu seis simuladores de operações e manobras, que permitem a percepção de maior realidade a cada nova tecnologia acrescentada nos simuladores com Realidade Virtual (RV). Além das simulações numéricas, o TPN tem um tanque físico com 900 mil litros de água, que é importante para validar as simulações numéricas, o qual não será abordado neste artigo, cujo foco são os simuladores de realidade virtual.

1 Pós-Graduando(a) em Computação Aplicada à Educação, USP, <ramosapf@gmail.com>.

2 Orientador, Professor Associado - USP, <tori@usp.br>.

3 Co-Orientadora, USP, <camila.huanca@usp.br>.

Para a verificação das simulações numéricas realizam-se ensaios em escala reduzida nos seguintes laboratórios, além do tanque de ondas TPN-USP: modelo Baía de São Marcos (MA) FCTH USP, Túnel de Vento IPT-USP, Tanque de reboque IPT-USP, Laboceano COPPE-UFRJ.

Sobre o treinamento com simuladores de embarcação no TPN-USP (Figura 1), a navegação interior (*Inland Navigation*) foi pesquisada por PEREIRA JUNIOR *et al.* (2015); YUBA (2013, 2014); TANNURI (2013) e (2019).



Figura 1. Navegação interior. (Foto: TPN-USP)

Segundo TANNURI (2019), a simulação deve ter participação de autoridade marítima, autoridade portuária, práticos locais, comandantes de rebocadores locais, projetistas, instituto / universidade (simulador).

Usualmente, simuladores são utilizados para treinar operários que trabalham na perfuração de poços de petróleo e em operação de embarcações, como por exemplo, navios de apoio às plataformas petrolíferas. Inúmeros cursos são exigidos para trabalhar em plataformas de petróleo e gás offshore. Qualificações em simuladores são necessárias para determinados profissionais que necessitem dominar equipamentos específicos. Exemplos de cursos de simuladores exigidos em plataformas: Operador Geral em GMDSS, Operador em ECDIS, Gerenciamento de Passadiço, Operador de DP, Operador de Guindaste, Movimentação de Cargas, Operador de Lastro, Operador de ROV, Sondador (*Drilling*), Controle de Poço (*Well Control*) de acordo com SANTOS NETO, 2018.

Os simuladores de embarcação além do treinamento, também auxiliam na análise de risco como descrito em TANNURI (2019) e estão de acordo com a IALA (*International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities* - Associação Internacional de Sinalização Marítima), que é a instituição que regulamenta

a nível mundial as questões relativas à farolagem, balizagem e ajudas à navegação.

De acordo com IALA (2011, *apud* TANNURI, 2019) tem-se: "documento com definições de como um simulador de manobras pode ser usado no projeto de sinalização náutica. Escopo: - Requisitos que garantem acurácia e relevância à simulação; - Ferramentas de simulação disponíveis; - Documentação dos resultados."

A Petrobras tem parceria com a USP, vista a necessidade de pesquisas para desenvolvimento de simuladores de embarcação no Brasil, que possui condições ambientais diferentes de outros lugares do mundo (TPN-USP, 2020). O sistema *Dynasim*, TPN-USP e que será descrito na sequência, tem apoio da PUC e UFRJ. O *software* pode ser aperfeiçoado de acordo com as necessidades brasileiras e cria em RV condições ambientais, modelagem de portos do Brasil, simulador marítimo hidroviário e simulação de plataformas para manobras de navios.

Algumas empresas *spinoff* com tecnologia altamente competitivas criadas com a Agência USP inovação e tem parceria com o laboratório TPN-USP e as principais *spinoffs* (empresas que surgiram a partir de um grupo de pesquisa na universidade), que desenvolvem trabalhos no Tanque de Provas Numérico da USP são a Technomar, Adoca Informática e a Argonáutica.

3. Objetivos

Os objetivos deste trabalho são: descrever as características do TPN e discutir o impacto do TPN na área de treinamento imersivo com simuladores de embarcação. Essa discussão terá como base conceitos de realidade virtual (AZUMA, 2001) e de computação aplicada à educação conforme trazidos por CAROLEI & TORI (2014) e DALE (1969).

Os conceitos de ambientes imersivos presentes no TPN-USP, que permitem aplicações de realidade virtual no treinamento com simuladores de embarcações e a sua importância no mundo real são questões a serem discutidas neste artigo. Tem-se por exemplo, o acidente de Navio de cruzeiro no porto na Itália em junho de 2019, quando quatro pessoas ficaram feridas. A embarcação poderia ter sido simulada no TPN-USP? Se sim, acidentes seriam evitados com treinamentos com simuladores de embarcação? Os simuladores de embarcação levariam a soluções de problemas marítimos mais viáveis, como já aconteceu em situações reais? Também espera-se descrever o desenvolvimento da Realidade Virtual, que torna possível o treinamento com simuladores de embarcação de forma mais próxima da realidade a cada novo desenvolvimento no TPN-USP. Nesse caso tem-se o projeto náutico, simulação numérica e experimento.

Como a delimitação do tema é a realidade virtual para treinamento com simuladores de embarcação no TPN-USP espera-se, ainda que modestamente, contribuir com futuras pesquisas que abordem este tema.

2. Justificativas

No TPN-USP tem-se o treinamento com simuladores de embarcação com Realidade Virtual. Os treinamentos em embarcações reais seriam perigosos, caros e

contra-produtivos (TORI, 2017 e TORI & HOUNSELL 2018). Neste trabalho apresentam-se o que outros pesquisadores já publicaram sobre o TPN, caracterizando a Realidade Virtual de acordo com TORI(2019).

Os estudos realizados no TPN-USP são importantes para capacitação de profissionais brasileiros na área naval, e são desenvolvidos com tecnologia própria. Assim, a Petrobras investiu na universidade para formar mais pessoas, com conhecimento nesse tipo de estudo, com tecnologia nacional: onda, correnteza e os seus efeitos nas plataformas. Os ensaios feitos no tanque são utilizados também em trabalhos acadêmicos e são uma excelente oportunidade de aprendizado sobre como lidar com a natureza. Assim, justifica-se essa pesquisa sobre o Tanque de Provas Numérico da USP, destacando-se o treinamento com simuladores de embarcação e explicitando-se a Realidade Virtual encontrada no TPN, de acordo com os conceitos estudados na disciplina "Ambientes imersivos e aumentados na educação".

4. Metodologia

Neste trabalho buscou-se explicitar o treinamento com simuladores de embarcação no TPN-USP de acordo com os conceitos de realidade virtual. O trabalho envolveu levantamento bibliográfico das teses e dissertações USP, *web of science* e páginas do TPN-USP e *spin-offs*. Assim tem-se uma pesquisa bibliográfica, mas com o tema específico escolhido dificulta-se a obtenção de referenciais bibliográficos, o que limitou a pesquisa ao site e publicações do próprio laboratório TPN, seus pesquisadores e *spin-offs*.

A metodologia do trabalho foi a elaboração de mapas mentais com a Ferramenta *Coggle*. Os dados para montar mapas mentais foram obtidos a partir de pesquisa bibliográfica e informações e vídeos publicados nos sites TPN-USP e *spinoffs* parceiras do laboratório. Assim foi possível entender o TPN-USP como apresentado neste artigo, a sua abrangência e aplicações em treinamento com simuladores de embarcação. Os mapas mentais também contribuíram para a delimitação do tema.

Para o desenvolvimento deste trabalho sobre o Tanque de Provas Numérico USP e treinamento com os simuladores de embarcação, as referências bibliográficas foram os materiais das aulas do curso especialização em computação aplicada à Educação - ICMC-USP, artigos em periódicos científicos, livros, teses, dissertações, notícias (revistas e jornais), sites (TPN-USP, 2020-a,b) e *spinoffs* (TECHNOMAR, 2020; ADOCA, 2020 e ARGONÁUTICA, 2020). Selecionaram-se os artigos pelas seguintes Palavras-chave: Realidade virtual, treinamento, TPN-USP (*Key-words: virtual reality, naval training simulator, Numerical Offshore Tank - USP*). Os critérios de seleção de artigos foram aqueles trabalhos que descreviam treinamento com simuladores de embarcação e o TPN.

Todas as referências encontradas neste artigo, além das bases de dados já citadas são as páginas do TPN-USP e das *spinoffs* que promovem seus trabalhos no Tanque de Provas Numérico da USP. Assim, entende-se que ao longo do texto quando há a ausência de especificação de autor como referência, mas citou-se o TPN-USP ou alguma *spinoffs* (esse é o tema no parágrafo) esses respectivos sites são as referências,

além de vídeos por eles divulgados. Inclui-se nessas referências o vídeo (TORI, 2019) no qual o Prof. Romero Tori apresenta o TPN-USP e que foi motivação para este trabalho. Todas as fotos encontradas no presente trabalho pertencem às referências citadas anteriormente (TPN-USP e/ou *spinoffs*).

5. Resultados

Apresenta-se o desenvolvimento dos simuladores de embarcações, que possibilitam treinamentos ainda mais reais a cada nova tecnologia acrescentada ao TPN-USP. A equipe do Centro de Simulação de Manobras de Navios do TPN-USP é composta por Mestres, Doutores e pesquisadores em estágio de pós-doutorado. Eles trabalham em pesquisas sobre manobra e manutenção em embarcações, com o objetivo de desenvolver estas ações nos simuladores. Na sequência descreve-se a infraestrutura do TPN-USP.

Os resultados dos treinamentos com simuladores de embarcação também são importantes na fase de projeto náutico (desenvolvido pelo engenheiro naval). As seguintes informações são necessárias para o desenvolvimento de projetos náuticos de acordo com TANNURI (2019-a): definição do(s) tipo(s) de navio(s), localização, batimetria e caracterização ambiental: ondas, ventos, correntes e maré. O projeto náutico também considera as experiências dos práticos e usuários. São considerados ainda no projeto: Simulação de manobras, Cálculo de movimentos verticais, Cálculos de Amarração e Acostagem, Estudos Hidrodinâmicos, Ensaio em escala reduzida, Análise de risco. Assim tem-se no projeto: larguras e profundidades; sinalização náutica detalhada; concordâncias, curva, detalhes; regras operacionais (rebocadores, limites ambientais, porte máximo...).

5.1 Desenvolvimento dos Simuladores de embarcação TPN-USP

Para o treinamento com simuladores de embarcação, cada desenvolvimento do TPN-USP significa um modelo mais próximo do real e conseqüentemente uma maior imersão no treinamento com simuladores de embarcação. No Anexo B encontra-se uma tabela que descreve a infraestrutura atual do centro de simulação de manobras TPN-USP, de acordo com o site (TPN, 2020-a) e TANNURI & MARTINS (2018).

As informações sobre o desenvolvimento do TPN-USP também encontram-se em vídeos no Canal Youtube (TPN-USP, 2020-b). Desde 1993, a escola Politécnica da USP, em parceria com a Petrobras, atuou no desenvolvimento de uma ferramenta de simulação de navios e plataformas totalmente nacional. Assim surgiu o *Dynasim*, desenvolvido para analisar a movimentação dinâmica de navios em terminais de petróleo da Petrobras (TANNURI, 2009-a,b e NISHIMOTO & FUCATU, 2002). Na sua primeira versão, o programa não possuía interface gráfica e era executado em *mainframes*. Foi a origem do simulador aqui apresentado e que viria a se tornar os simuladores *Dynasim* e TPN. Devido aos bons resultados alcançados, o *Dynasim* foi adotado pela Petrobras e desde então tem recebido investimentos para seu contínuo desenvolvimento.

Em 1995 tem-se o desenvolvimento da versão *Dynasim* para microcomputadores com interfaces gráficas de pré e pós processamento em parceria com a TecGraf/PUC-RJ (TANNURI, 2009-a).

Em 2002 concluiu-se a primeira versão do simulador TPN/*Dynasim* de alto desempenho, executada em *cluster* de computadores. Permitindo análise acopladas entre flutuante e linha, com apoio da UFAL, UFRJ, PUC-RJ e a coordenação do CENPES/PETROBRAS. Desenvolveu-se um sistema de visualização 3D do ambiente *offshore*, com as mais modernas tecnologias em termos de realidade virtual e imersão. Contempla modelos elaborados como o Método dos Elementos Finitos para solução das linhas fenômeno de *sloshing* dos tanques, entre outros (MORISHITA *et al.* 2006-a; 2006-b). Um novo algoritmo de posicionamento dinâmico (*New DP algorithms*) foi desenvolvido por: IANAGUI, MELLO, TANNURI (2020); ARDITTI, DAALEN, TANNURI (2018); MIYAZAKI & TANNURI (2013); MIYAZAKI (2013); ARDITTI (2019).

Em 2003 o TPN/*Dynasim* passou a contar com modelos para simular os modernos navios da frota da Transpetro/PETROBRAS, dotados de Sistemas de Posicionamento Dinâmico (KATEBI *et al.* (1997), NAKAMURA & KAJIWARA (1997), DONHA & TANNURI (2001) e TANNURI & DONHA (2000)). Acrescenta-se ainda as pesquisas sobre embarcações DP (Posicionamento Dinâmico) cooperativas (*Cooperative DP Vessels*) realizadas por: IANAGUI & TANNURI (2019); IANAGUI (2019); QUEIROZ FILHO & TANNURI (2017); QUEIROZ (2016) ; TANNURI *et al.* (2012).

Em 2005, o simulador TPN/*Dynasim* em contínua melhoria, foi atualizado, contando com modelos para simulação de navios nas manobras em águas restritas, tais como em terminais portuários e águas interiores (TANNURI, MORISHITA & SOUZA (2006)). O simulador foi usado para estudos de navegação em portos nacionais, tais como Antonina, Rio Grande, Vitória e o Simulador Fluvial - Barra Bonita.

Em 2009, o *Dynasim* foi adotado pela Petrobras como simulador oficial do GIEN (Projeto de Gerenciamento Integrado de Engenharia Naval) e para o projeto de sistema de amarração de todas as novas plataformas. Foi inaugurado no mesmo ano o novo prédio do laboratório TPN, integrado à rede Galileu que reúne diversos laboratórios de instituições brasileiras voltados ao desenvolvimento de tecnologias para a exploração de petróleo. O laboratório conta com um *cluster* computacional de alto desempenho, um moderno tanque de ondas para a calibração e aferição dos modelos numéricos e tanque, e uma sala de visualização 4D, onde o usuário pode sentir o movimento dos navios e plataformas. Como exemplo de projeto de sucesso que utilizou o simulador, cita-se o desenvolvimento das plataformas monocoluna, GONÇALVES (2013).

Em 2011 devido à crescente demanda na área de treinamento e capacitação de pessoal, o simulador TPN foi adaptado e desenvolveu-se o primeiro simulador de manobras hidroviárias 100% nacional para a Transpetro, denominado Simco (Simulador de Comboios). Os principais trechos críticos da Hidrovia Tietê Paraná estão modelados. Os modelos são validados com ensaios no tanque IPT-SP.

Em 2012, uma nova versão do simulador foi desenvolvida para o treinamento de operações de atracação de navios em plataformas *offshore*, denominado Simulador *Offshore*. Este possui modelos de plataformas das Bacias de Campos e Santos, incluindo-se os campos pré-sal. As imagens são realistas no Simulador Marítimo Hidroviário. Em função da demanda da Petrobras, o simulador foi aplicado a simulações de portos e terminais operados pela Transpetro, tais como Suape, Itaqui e Pecém. Consolidou-se como uma importante ferramenta para estudos de viabilidade e análises de engenharia, relacionados às alternativas para escoamento de Petróleo pelo território nacional: Simulador Portuário - Itaqui.

Nos anos 2012 e 2013, o simulador em sua versão de 6 telas foi aplicado em diversos estudos portuários em conjunto com a Petrobras e outras empresas do setor, sempre contando com o apoio técnico da Praticagem: Ceará, Porto de Recém e Contratante: Ceará Portos.

No dia 28 de novembro de 2013 o TPN-USP, em parceria com a Transpetro/Petrobras inaugurou o Centro de Simulação de Manobras Navais, dotado de um simulador Full-Mission (Ponte Completa), primeiro simulador, com estas características e com tecnologia 100% nacional e sistema de visualização de 360°. Nesta ocasião o laboratório firmou um convênio técnico com o CONAPRA (Conselho Nacional de Praticagem), estreitando a relação entre as duas instituições em prol da maior qualidade dos estudos náuticos e portuários.

Nos anos 2014 e 2015, o Centro de Simulação do TPN-USP foi aplicado em um grande número de estudos náuticos e portuários, envolvendo avaliações de novas operações, aumento de limites operacionais e projeto de novos terminais: Ceará, Porto de Recém e Contratante: Ceará Portos.

Em 2015 o TPN-USP expandiu suas instalações para abrigar a nova infraestrutura do Centro de Simulações, que passou a contar com 3 novos simuladores e sala de controle e reunião.

Em 2016, o TPN-USP iniciou as operações do novo simulador *Full-Mission*, com inédito sistema de projeção em tela única de 12m de diâmetro e projeção no pavimento. Este equipamento foi finalista do Prêmio ANP 2016 de Inovação Tecnológica.

Nos anos 2016 e 2017, a nova infraestrutura do Centro de Simulações do TPN-USP foi utilizada para a realização de diversos estudos, buscando a otimização do uso da infraestrutura portuária nacional e com garantia à segurança da navegação. Em muitos casos, utilizaram-se cabine acessórias para rebocadores tripulados. Simulador com 21 telas de visualização e resolução 4k (sendo 2 delas sob o piso) e customizável, podendo simular Cabine de Comando de Guindaste Offshore ou Ponte de Comando de Rebocador. Assim, inaugura-se uma nova fase do Centro de Simulações, com maior capacitação para estudos de operações portuárias e marítimas com múltiplas embarcações ou equipamentos.

Os desenvolvimentos sobre estimativa de onda com medições integradas (*Wave Estimation using onboard measurements*) encontram-se em: DE SOUZA *et al.* (2018); LAVIERI, TANNURI & MELLO (2000); DE SOUZA(2019); LAVIERI (2016).

Os modelos avançados para rebocadores vetoriais (*Advanced models for vector tugs*), foram desenvolvidos por: BARRERA & TANNURI (2018); BARRERA (2019).

O Piloto automático baseado em aprendizagem por reforço (*Autopilots based on Reinforcement Learning*) foi implementado por AMENDOLA *et al.* (2019).

A Seleção de condições ambientais para simulações de manobra com base em técnicas de agrupamento (*Selection of environmental conditions for maneuvering simulations based on clustering techniques*) foi pesquisada por: MORENO, SOUZA & TANNURI (2018).

Cita-se ainda, outros desenvolvimentos importantes do TPN-USP e que contribuem no treinamento com simuladores de embarcação são:

- Interações do navio com o fundo, margem e outros navios (*Ship Interactions with bottom, margin and other ships*) foram pesquisadas por WATAI *et al.* (2018); TANNURI (2019-a); SILVA, TANNURI & RUGGERI (2015).
- Novas estratégias para operação de descarregamento (*New strategies for offloading operation*) foram estudadas por HUANG *et al.* (2019); ORSOLINI *et al.* (2016); ORSOLINI (2017).

As capacitações mínimas do simulador segundo IALA *apud* TANNURI (2019) e encontradas no TPN-USP são:

- Ferramenta de planejamento da simulação: Permite entendimento da situação espacial antes de realizar modificações; e permite análise de diferentes tipos de AtoN (boias, faróis, alinhamento, AtoN virtual, racon).
- Permite análise de navios com diferentes particularidades: Manobrabilidade e formato do casco; Recursos de apoio a manobra (*thrusters*, tipo de leme, ...); Posição do passadiço.
- Simulação diurna, noturna, neblina: Ajuste do grau de iluminação e reflexão da água; Ajuste de distância de visibilidade em milhas e neblina; Ajuste refinado com fotos e opinião de práticos; Ajuste das características das luzes dos AtoNs (tempos, sincronismo, ...); Inclusão de poluição luminosa; Área Vélica e influência do vento ...
- Área no simulador baseada em dados batimétricos de precisão, dados do terreno e informações portuárias;
- Simulador de Radar e Simulador de ECDIS e PPU.
- Simulador de rebocadores , condições operacionais de controle e espaço de manobras
- Simulação multi-navios e efeitos de interação
- Compatibilidade com cartas náuticas raster e, onde possível, vetorial.
- Possibilidade de sobrescrever dados históricos de AIS

5.2 Modelos matemáticos tridimensionais no TPN

Nas simulações numéricas desenvolvidas no TPN-USP tem-se um problema de interação fluido-estrutura, no qual as ondas são modeladas pelo Método dos Elementos de Contorno (TPN-USP, MEC) e o navio pelo Método dos Elementos Finitos (TANNURI, 2009). O modelo matemático de manobras é a parte indispensável para o simulador, uma vez que o simulador TPN-USP é aplicado na engenharia e pesquisa, (Anexo C: Figura C2). O modelo TPN-USP 6DOF (6 graus de liberdade) é baseado em pesquisas de longo prazo sobre hidrodinâmica de navios e forças ambientais (ondulação, ondas do mar, vento, corrente), incluindo os efeitos de sombra quando vários navios que operam nas proximidades. Os efeitos de interação do navio com o fundo do mar (águas rasas) e o efeito de margem são levados em consideração, bem como as forças de interação navio-navio. O modelo inclui diferentes dispositivos de propulsão e manobra, bem como sua interação com o casco e arredores. Como a equipe do TPN-USP desenvolve o próprio modelo matemático e *software* de simulação, eles sempre aprimoram os modelos, agregando novos efeitos e trocando conhecimentos com a comunidade científica, o que proporciona aos práticos a sensação de estarem em um navio real, quando submetidos aos treinamentos com simuladores de embarcação. Os modelos matemáticos são baseados no arranjo do navio, teste de mar, livros de estabilidade, cálculos CFD, tanques de água e testes em túnel de vento. O TPN-USP segue o procedimento ITTC "7.5-02-06-03 Validação de modelos de simulação de manobra".

No Modelo 3D de Navios, a equipe de modelagem do TPN-USP pode construir diversos tipos de modelos de navios, além das 250 embarcações já disponíveis no banco de dados, desde barcos de pesca até grandes petroleiros. A construção de um modelo 3D de navio para um simulador de manobras não é uma tarefa de modelagem 3D convencional. Além da representação artística da embarcação e do equipamento, a equipe de modelagem considera o ponto de vista exato do piloto para fazer ajustes de escala / perspectiva de acordo com o sistema de projeção do simulador. Novos navios são constantemente incluídos no banco de dados, e navios específicos podem ser modelados de acordo com os requisitos do cliente.

O Modelo 3D de Portas é constituído por bancos de dados visuais 3D, que são desenvolvidos com ferramentas de última geração, com resolução e qualidade de imagem adequadas às telas 4K dos novos simuladores. Os bancos de dados visuais 3D incluem (mas não estão limitados a): Construções de terminais / berços; Bóias e faróis de navegação; Paisagens urbanas, urbanas e naturais (otimizadas para fins de simulação marinha). O banco de dados TPN-USP já possui mais de 100 terminais existentes ou em projeto ao longo da costa e rios brasileiros. Novos portos e terminais podem ser construídos de acordo com os requisitos do cliente.

5.3 Tanque de Provas e validação de modelos matemáticos

Os ensaios em escala reduzida são feitos no Tanque de Provas (experimentais, Anexo C: Figura C5) e são importantes para validar os resultados obtidos nas pesquisas dos modelos numéricos: TANNURI (2009-a, 2002). A validação de modelos de

manobra com base em testes de corrida livre (*Validation of maneuvering models based on free running tests*) foi realizada por: MASETTI *et al.* (2015, 2016). Já a Validação de modelos matemáticos com base em dados em escala real (*Validation of mathematical models based on full scale data*) foi feita por: TANNURI *et al.* (2020); TANNURI, SAAD, MORISHITA (2009-b).

5.4 Treinamento com simuladores de embarcação - TPN-USP

A resolução Nº 811, de 16 de março de 2020 (DOU, 2020) regulamenta a atividade de transporte a granel de petróleo, seus derivados, gás natural e biocombustíveis por meio aquaviário e as operações de transbordo entre embarcações (*ship to ship*). A avaliação da Operação STS (*Assessment of STS Operation*) foi pesquisada por TANNURI *et al.* (2016-a,b). Assim, o treinamento com simuladores para as embarcações descritas devem estar de acordo com a resolução Nº 811.

Simulação de manobra em tempo rápido / tempo real é um dos Estudos Técnicos Náuticos / marinhos realizados no TPN-USP, além das seguintes análises: *Layout* Náutico; movimento vertical e avaliação de UKC; amarração; Risco (em parceria com LabRisco - USP). As Simulações de Manobra encontram-se descritas em TANNURI (2019-b).

O TPN-USP pode executar todos os níveis de Simulações de Manobra:

- *Fast-Time* - Manobras Controladas por Computador
- Tempo real (*Single Player*) - Manobra controlada por piloto, rebocadores em modo de reboque vetorial
- Tempo real (*multi-player*) - Manobra controlada por piloto, um rebocador tripulado e os outros em modo de rebocador vetorial
- Tempo real (*Multi-player 2*) - Manobra controlada por piloto / capitão, mais de um rebocador tripulado, mestre de amarração e controle de cabo, *hardware* DP no circuito

Os procedimentos de simulação do TPN-USP atendem às recomendações do PIANC 2014 (*Approach Channels - a Guide for Design*) e da Diretriz IALA 1058 (O uso da simulação como ferramenta para o projeto hidroviário e planejamento AtoN).

As características das Simulações de manobra *Fast-Time* são:

- Algoritmos de auto-piloto representam o comportamento do piloto, controlando o navio e os rebocadores.
- Os pilotos locais participam da reunião inicial, definindo o procedimento de manobra que o algoritmo de controle deve imitar.
- As manobras funcionam em modo acelerado. Um grande número de execuções é possível.
- A análise estatística dos rastros do navio pode definir o *layout* ideal da área de manobra ou as condições limitantes.

- Ideal para os estágios iniciais do projeto do porto, seleção e otimização do *layout*, avaliação de condições críticas.



Figura 2. Simulação de manobras. Foto: TPN-USP)

Para as Simulações de manobras em tempo real (Figura 2) tem-se:

- Os pilotos locais controlam a manobra em um simulador de missão completa.
- Discussões de *briefing* / *debriefing* permitem a avaliação de riscos e a avaliação de aspectos náuticos.
- Rebocadores controlados pelo operador do simulador, com modelo vetorial de rebocador. É desejável o apoio de um rebocador local, para dar informações sobre as particularidades da área e dos rebocadores.
- Aproximadamente 8 ~ 10 execuções por dia.

Nas Simulações de manobra Multi Player em tempo real:

- Os pilotos locais controlam a manobra em um simulador de missão completa.
- O rebocador mais crítico é controlado por um *Tugmaster*, em uma estação de rebocador.
- A comunicação entre o Piloto e o *Tugmaster*, e as dificuldades associadas ao controle do rebocador, podem ser melhor avaliadas.

- Novas técnicas de reboque podem ser testadas (reboque indireto, parada transversal, modo tandem).
- Aproximadamente 8 execuções por dia.



Figura 3. Simulações de manobra *multi-player 2*. Foto: TPN-USP)

As características das Simulações de manobra *multi-player* em tempo real (2), Figura 3 são:

- Mais alto nível de realismo, com vários navios / rebocadores controlados por operadores humanos
- Piloto / Capitão Manobra Controlada, até 4 rebocadores tripulados, *Mooring Master* e *Cable Control* (no caso de STS), *DP Hardware no loop* (no caso de operação DP)
- Ideal para operações *offshore* de várias embarcações, STS ancorado ou em andamento
- Aproximadamente 6 execuções por dia.

Na Análise de *Layout* Náutico tem-se:

- Análise conceitual baseada em referências técnicas: PIANC 2014 (*Approach Channels - a Guide for Design*), ROM, IALA, *Tug Use in Ports*, etc.
- Os seguintes aspectos da área de navegação podem ser avaliados: largura / profundidade do canal, raio de curvatura, área de parada, entrada do porto, diâmetro da bacia de manobra, posição / tamanho das áreas de fundeio, layout do berço, distância dos navios atracados, etc.

- Usado nos estágios iniciais do projeto da porta, seleção e otimização do *layout*. Pode ser integrado com Simulações de Manobra *Fast-Time*.

Modelos matemáticos de última geração para a Análise de movimento vertical e avaliação detalhada do UKC, considerando:

- Velocidade de agachamento e navio
- *Wind Heeling / Dynamic Heeling*
- Resposta de onda de navio e propagação de onda em áreas rasas / protegidas

A análise do movimento vertical considera os fatores relacionados ao navio, água e fundo, de acordo com PIANC (2014). Os resultados do estudo são profundidade mínima / calado máximo para navegação segura, janela de maré / tempo de inatividade para canais dependentes da maré, custos de dragagem, etc.

Na Análise de amarração, descrita na apresentação TANNURI (2019), o TPN-USP aplica um código interno ou pacotes comerciais para executar Análise de Amarração Dinâmica ou Estática nas várias situações: Embarcação única no cais, Navio a navio em andamento, atracado ou fundeado. A análise considera efeitos hidrodinâmicos complexos, como Movimentos de Ondas, Quebra-mar, Navios em Passagem e Interação Navio a Navio, validados por experimentos no Tanque de Ondas TPN-USP. O estudo é usado para avaliar as cargas máximas nos cabos, amarrações e defensas, para otimizar / projetar os equipamentos de amarração e atracamento, para estimar as condições operacionais limitantes e para maximizar o uso de um atracamento existente (aumentar o tamanho do navio).

Quanto às reuniões tem-se:

- Reunião de planejamento, segundo TANNURI (2019): Prévia à simulação (aprox. 1 mês antes), Objetivos da simulação, Arranjos náuticos a serem estudados (presente e futuro), Condições ambientais e de visibilidade, Condições de Emergência, Tipo de simulador a ser utilizado e Necessidade da Participação de Comandantes de Rebocadores.
- Reunião de *Briefing*, de acordo com TANNURI (2019) tem-se Análise de risco preliminar no 1o dia identificando: Objetivos, Restrições geográficas e Perigos locais, Navios tipo, Condições ambientais, Densidade de tráfego e Interação com outros navios, Requisitos de visibilidade, Condições de Emergência e Rebocadores.

5.5 Treinamento com simuladores de embarcação - *spinoff* Argonauta

A Argonáutica é uma *spinoffs* (ARGONAUTICA, 2020) que realiza trabalhos com o TPN-USP, que tem mais de 140 projetos implementados, e trabalha com operações portuárias, e no setor de óleo e gás. Foi fundada em 2012, por uma equipe de pesquisadores do laboratório Tanque de Provas Numérico (TPN), filiado ao Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da USP. Esta é reconhecida como uma Empresa de Base Tecnológica (EBT) pela agência de inovação da USP na área de óleo e gás e portuária. No ano de 2017, ganhou o prêmio ANTAQ de Inovação Tecnológica pela implantação do sistema de calado dinâmico ReDRAFT® no Porto de Santos

(RUGGERI *et al.*, 2018), estando atualmente em funcionamento em mais cinco portos da costa brasileira (Porto de Suape-PE, Porto de Salvador-BA, Portocel-ES, Porto do Rio de Janeiro-RJ e Porto de Santos).

O sistema Medusa da Argonautica aumenta a segurança e eficiência de suas operações com o que há de mais moderno no monitoramento e previsão de esforços em sistemas de amarração TANNURI *et al.* (2016), RUGGERI *et al.* (2016) e LAVIERI, 2016; LAVIERI, TANNURI, MELLO, 2020. Quanto à análise de manobras cita-se (BANDEIRA *et al.*, 2014).

5.6 Desenvolvimento de Simuladores de embarcação - *spinoff* ADOCA

A ADOCA Tecnologia é uma das únicas empresas brasileiras que participou do desenvolvimento de 2 simuladores (marítimo e hidroviário realizado pelo laboratório Tanque de Provas Numérico da USP) que hoje são referência no Brasil (ADOCA, 2020): simulador de locomotivas da Vale, hoje utilizado para treinamento de maquinistas no Brasil e exterior; simulador marítimo hidroviário da Petrobras, atualmente utilizado no treinamento de oficiais de náutica na Transpetro. Ambos os projetos foram frutos de convênios das empresas com a Universidade de São Paulo.

5.7 Treinamento com simuladores de embarcação - *spinoff* - Technomar

Uma das áreas de atuação da Technomar são os treinamentos marítimos. A Technomar também realiza pesquisas e inovações. Um dos temas de pesquisa é o desenvolvimento de ferramentas de engenharia. Assim, a Technomar desenvolve novas ferramentas para simulação de diversas unidades flutuantes acopladas com linhas de ancoragem, sistema de posicionamento dinâmico e outros fenômenos de interação (THECHNOMAR, 2020).

A Technomar realiza Projetos de pesquisas junto a instituições nacionais e internacionais de pesquisa como Universidade de São Paulo (laboratórios TPN, LMO e RCGI), NTNU/Noruega (ShipLab) e Universidade de Tóquio (*Ocean Space Planning Laboratory*).

As pesquisas (Technomar) são aplicadas nos simuladores de operações portuárias e marítimas utilizando as mais modernas tecnologias de realidade virtual e realidade aumentada. Os simuladores podem ser montados de formas e tamanhos distintos (Figura 4).

A Technomar analisa o comportamento no mar através de simulações numéricas para prever a resposta dos sistemas flutuantes, avaliar os seus movimentos e acelerações, os quais impactam no conforto da tripulação, limites operacionais de equipamentos, carregamento nas estruturas e viabilidade de operações (*uptime* e *downtime*). As simulações de manobra de embarcações atendem a NORMAM-11 da Marinha do Brasil. Possui um Centro de Simulação com simuladores *full-mission* e *part-task* no bairro de Pinheiros - São Paulo e também executa projetos em centros de simulação de parceiros. Possui equipe especializada nas várias fases do projeto: criação do cenário virtual e modelagem das embarcações, desenvolvimento e calibração

hidrodinâmica, montagem das condições meteoceanográficas e definição do plano de simulações. O centro de treinamento Technomar é credenciada pela Marinha do Brasil para ministrar curso do EPM – Ensino Profissional Marítimo.

Os treinamentos em simulador de embarcação (TECHNOMAR, 2020) são:

- Liderança em manobras: para aprimorar equipes de oficiais em manobras envolvendo as operações de determinada empresa.
- Gerenciamento de passadiço para oficiais
- Manobrabilidade de navios (*ship handling*)
- Canais de acesso portuários (PIANC)
- Mooring master/capitão de manobras: treinamento e seleção de operadores de amarração e embarcações em ambiente *offshore*.
- Operações *ship to ship*: treinamento que reproduz o comportamento de duas embarcações manobrando uma próxima à outra.
- Análise de acidentes marítimos: Treinamento para situações de acidentes marítimos.
- Praticantes de prático
- Treinamentos customizados

6. Discussão

Nas subseções seguintes serão discutidas:

- a influência da mídia no aprendizado, cujas referências são os conceitos apresentados por CAROLEI & TORI (2014) e DALE (1969).
- a Realidade Virtual no TPN, os ambientes imersivos, que permitem aplicações de RV no treinamento com simuladores de embarcações (TPN-USP, 2020 e AZUMA, 2001).
- a prevenção de acidentes, possível quando tem-se treinamento imersivo com simuladores de embarcação (TPN-USP, 2020). E nesta seção discute-se o acidente de Navio de cruzeiro no porto na Itália, que aconteceu em junho de 2019. Assim como a simulação posterior feita no TPN-USP. E a importância do treinamento com simuladores de embarcação na prevenção de acidentes.
- o desenvolvimento da Realidade Virtual no TPN, que torna possível o treinamento com simuladores de embarcação de forma mais próxima da realidade a cada novo desenvolvimento (TPN-USP, 2020).

6.1 Mídia no aprendizado

Vistos os resultados apresentados neste artigo tem-se a seguinte questão discutida com esta pesquisa: A Realidade Virtual (RV) influencia o aprendizado? Questionar sobre a influência da mídia no aprendizado, já foi polêmica entre cientistas. Por exemplo, para CLARK (1983), a mídia não influencia o aprendizado. KOZMA (1991) mostra o contrário em seu artigo e ilustra o aprendizado com diferentes meios:

livros, televisão, computadores e multimídia. Outras perguntas discutidas com esta pesquisa são: - Vistos os conceitos e as aplicações de realidade virtual, quais são as características do TPN?, - Quais são as aplicações do TPN?, - Quais são as contribuições do TPN?

No TPN-USP realiza-se o cálculo de movimentos verticais das embarcações, a partir de informações reais, como as ondas em Santos em Agosto de 2017, o que permite treinamento com simuladores de embarcação. Assim, no TPN-USP simula-se numericamente o comportamento náutico (TANNURI, 2019-c). Os resultados das simulações numéricas são validados com experimentos em escala reduzida realizados no Tanque de Ondas TPN-USP TANNURI (2009, 2002).



Figura 5. Simulador Full Mission (Fonte: TPN-USP)

O TPN-USP é importante academicamente, já que no seu Centro de Simulações foram estudadas aproximadamente cem novas operações portuárias e marítimas na costa brasileira TANNURI (2019-a). O TPN-USP é credenciado no "International Towing Tank Conference" e no "International Marine Simulator Forum". O laboratório tem convênio com o CONAPRA (Conselho Nacional de Praticagem) e até 2019 foram realizadas 135 simulações com a presença de 120 práticos. O TPN tem o apoio da Marinha do Brasil. Acrescenta-se ainda que os resultados dos desenvolvimentos do Tanque de Provas Numérico - USP foram apresentados no *World Conference PIANC* (TANNURI & MARTINS, 2018).

Nos treinamentos com simuladores de embarcação no TPN-USP, inúmeras situações são encontradas em um ambiente imersivo e vivenciadas como se fossem reais pelos práticos e comandantes, como por exemplo: as distâncias com as margens ou navios atracados (ou talude), faixas de velocidades de passagem para evitar interação (TANNURI, 2019-a). Com as simulações de manobras em embarcação realizadas no TPN-USP é possível analisar várias possibilidades de situações reais, em um

treinamento com Realidade Virtual, o que poderia ter permitido evitar acidentes reais que já aconteceram.

Um relatório registra como a embarcação reage às manobras feitas no simulador. A marinha realiza relatórios para atestar a segurança das operações. Os navios são cada vez maiores e os portos não crescem necessariamente na mesma proporção, porque os canais de acesso são limitados e muitas vezes pela própria geografia. Assim, com as aplicações de realidade virtual presentes no TPN-USP, situações como o acidente de Navio de cruzeiro no porto na Itália em junho de 2019 poderiam ser evitadas, com as análises de riscos possíveis, já descritas neste artigo. E com os treinamentos com simuladores de embarcação tem-se soluções de problemas marítimos mais viáveis, como já aconteceu em situações reais.

Com o Simulador Full Mission é possível manobrar um navio no TPN-USP. O laboratório possui projetos com várias instituições de pesquisa. Parte deles são voltados à Petrobrás e à Marinha brasileira. O TPN tem um tanque físico com 900 mil litros de água, importante para validar os modelos numéricos. E já desenvolveu seis simuladores de operações e manobras, com a vantagem de não ter restrições de tamanho como no tanque físico. O Simulador *Full Mission* é uma parceria da USP com a Petrobras: sua tecnologia reproduz o clima e a geografia dos portos brasileiros. E pode ajudar a desenvolver grandes desafios da indústria petrolífera. A visualização é imersiva: simula-se desde um petroleiro até um navio patrulha da marinha e tem todos os equipamentos de um navio: manetes, telas, instrumentos e o som ambientado igual ao navio real. É o primeiro centro de simulação desenvolvido inteiramente no Brasil. A confiabilidade e acurácia dos modelos matemáticos é elevado, nos quais os comandantes e práticos operam efetivamente as embarcações como se estivessem em um navio real.

As características e infraestrutura do TPN-USP irão influenciar o treinamento de práticos e comandantes, porque com os simuladores eles têm a prática de situações como se fossem reais. Além das operações poderem ser repetidas, o que proporcionará maior habilidade nas operações reais ao serem treinados com simuladores de embarcação.

6.2 A Realidade Virtual no TPN

O conceito de realidade virtual encontra-se em TORI (2018), JERALD (2016) e LÉVY (2003).

"Realidade Virtual é um ambiente digital gerado por computador que pode ser experimentado de forma interativa como se fosse real" (JERALD, 2016).

TORI (2018) afirma:

"o uso de Realidade Virtual ou Realidade Aumentada é especialmente indicado para simular situações que no ambiente real seriam perigosas, muito caras, impossíveis ou contra-produtivas."

Baseando-se nas definições encontradas nas referências citadas, o TPN-USP é uma realidade virtual, pelos seguintes três fatores:

6.2.1 - trata-se de um ambiente digital gerado por computador:

Dentro do prédio TPN existem vários ambientes de simulação com Realidade Virtual. E seis simuladores integrados (dois *Full-Mission*) são encontrados no Centro de Simulações de Manobras.

O Simulador Marítimo Hidroviário (SMH) é o modelo matemático e *software* de simulação, que os pesquisadores do TPN-USP desenvolveram em parceria com a Petrobrás/ Transpetro. Simulam-se vários tipos de navios, desde um petroleiro (só um comando na frente), como também rebocadores e navios de suporte e as plataformas com comandos tanto na frente quanto atrás.

6.2.2 - que pode ser experimentado de forma interativa:

No DOMO, a projeção é feita em uma tela ao fundo e existe uma distância entre as janelas e as projeções, que são geradas na própria janela 2D. No Domo (270 graus) utiliza-se 32 projetores full HD (projetando inclusive no chão). É o simulador mais utilizado (exceto para simulações de rebocadores e navios com padrões diferentes), porque é o mais próximo de uma cabine real, inclusive em relação ao espaço. O operador sente situações reais como se estivesse no mar, em uma imersão total por causa do software de realidade virtual. Para visualizar o berço de atracação, o DOMO é satisfatório e a sua tela com 12 metros de diâmetro faz com que o realismo seja ainda maior. Além das características de visualização e imersão, os simuladores apresentam capacidade de interação no treinamento, porque tem todos os equipamentos de um navio real, por exemplo, os manetes.

Quando um sistema automático ou um rebocador, com controle de ré ou simulação com mais de um navio utiliza-se o DOMO e outra sala, na mesma simulação. Cada sala, controla um navio na mesma simulação, em tempo real.

6.2.3 - como se esse ambiente fosse físico e tridimensional, como a nossa realidade:

Possui sistema de automação do navio, que é o mesmo sistema comercial encontrado e 100% integrados no simulador. Assim, é possível operar o sistema como se fosse um navio real, ou seja, permite o treinamento dos práticos e comandantes de forma satisfatória.

Para o treinamento da exploração de petróleo do país tem-se o tanque simulador dos efeitos das ondas de embarcações e plataformas. Já o tanque de provas físico ou calibrador hidrodinâmico (dimensões: 14m de lado e 4m de profundidade) permite a validação dos modelos numéricos. A escala do tanque é 1:100. O volume de água é 1.000.000 L. São 148 placas articuladas a sua volta, que movem a água. Podem ser geradas ondas em todas as direções, de diferentes tipos, como por exemplo ondas que formam a bandeira do Brasil. As simulações feitas no laboratório permitem testar a resistência dos materiais de embarcações e plataformas, a estabilidade e seu comportamento diante das condições do mar. Os resultados dos testes podem provocar mudanças na engenharia das plataformas ou mostrar a necessidade de um reforço na ancoragem. Esses estudos tiveram maior investimento com o início da exploração de petróleo da camada do pré-sal. As condições ambientais no Brasil são muito amenas se comparado com as outras regiões produtoras de petróleo, e a avaliação do impacto de

fenômenos marítimos é fundamental para evitar qualquer tipo de acidente em tempos de mudanças climáticas.

6.3 Prevenção de acidentes

Um exemplo de acidente, que poderia ter sido evitado com o treinamento com simuladores de embarcação aconteceu em Veneza com o navio “MSC Opera”, que tem 275 metros de comprimento e aproximadamente 54 metros de altura. Em 2019, no caminho do navio tinha um barco ancorado, com 130 turistas a bordo. Mesmo acompanhado de dois rebocadores conforme exigido pelos procedimentos de segurança, o navio sofreu uma falha no motor e não foi possível pará-lo imediatamente. As consequências foram estragos no cais, quatro pessoas feridas e o navio estragou nas laterais e proa. No TPN-USP, a simulação foi feita (depois que o acidente já tinha acontecido) com o Porto de Santos. Tem-se os práticos, que são os conhecedores de determinada região, eles sabem as condições como o navio costuma se comportar na região. Assim, os práticos sobem a bordo do navio e passam os comandos de atuação para o comandante, que segue as orientações sobre a atuação de máquina, leme e rebocadores. Na simulação mostrou-se o navio, com o rebocador passado pela popa e o rebocador passado pela proa. Embora pequeno, o rebocador tem força para guiar o navio. O rebocador de trás atua para frear o navio. O rebocador da frente puxa o navio para abrir lateralmente. O navio não atendeu o comando para parar, por causa de algum problema: o motor pode ter travado ou engatado ou em ponto morto. É um navio de 66 mil toneladas. E aqui aplica-se a primeira lei de Newton: a inércia. Se o navio está em movimento, a tendência é continuar em movimento. A inércia do navio só permitiria que ele parasse em cerca de 700 metros, ou por volta de 8 minutos. Devido também à inércia, mesmo que o comandante tenha imediatamente realizado todos os procedimentos necessários, mas o navio permaneceu em rota de colisão. O acidente não é usual, visto que comandantes e práticos recebem um rigoroso treinamento e com simuladores de embarcação que atendem requisitos mínimos, de acordo com resoluções e normas específicas, que foram descritas nos itens anteriores. Mas esse não foi evitado, o navio MSC Opera colidiu com o cais em San Basilio. Isso também causou uma colisão com um barco, o River Countess, que estava atracado lá. O acidente também reabriu uma antiga polêmica: "Não aos grande navios em frente ao *Giudecca!*" Além de poluir a água, os motores dos transatlânticos destroem a fauna que vive no fundo dos canais e as ondas que produzem estragam os pilares de madeira que sustentam a cidade.

E aqui tem-se a sugestão para futuros trabalhos: análise do impacto das "ondas que produzem estragam os pilares de madeira que sustentam a cidade". CHRISTAN (2012) cita como exemplo de carga horizontal na estaca: impactos de navios durante a atracação, ação das ondas em estruturas *offshore*:

"A estaca é um tipo de fundação profunda, muito utilizada para transferir grandes cargas da superestrutura para um solo resistente. Além de cargas verticais, este tipo de fundação pode ser submetido a cargas horizontais.

Essas forças horizontais, podem ser provenientes, por exemplo, de impactos de navios durante a atracação, ação das ondas em estruturas offshore, entre outras. O

grande problema de estacas submetidas a cargas horizontais é a complexa análise da interação solo-estaca." (CHORE et al, 2012).

7. Conclusões

Os simuladores navais são equipamentos importantes na capacitação de operadores, técnicos e engenheiros em diversos tipos de operações portuárias e *offshore*. As aplicações de realidade virtual em treinamento de embarcações tem custos menores do que se esse aprendizado fosse em situações reais, além da redução dos riscos de acidentes e operações mais precisas, conclusões sobre Realidade Virtual que estão descritas em TORI (2018). No TPN-USP tem-se simuladores que reproduzem as condições dos portos e do mar em um ambiente virtual. Mesmo com outros simuladores, tanto no Brasil quanto internacionais, utilizados para treinamento de embarcações, o TPN tem a vantagem de ter tecnologia nacional e ser desenvolvido na USP, o que permite alterações de acordo com o problema analisado.

Outras possibilidades de treinamento em embarcação seriam, por exemplo: (a) situações reais, o que representaria maior risco para os envolvidos, além de não ser econômico; (b) teórico, o que provavelmente não faria com que a maioria dos práticos se sentirem seguros quando estivessem em situações reais, visto a total ausência da prática das operações. Assim conclui-se que para o treinamento com simuladores de embarcação a mídia influencia no aprendizado, já que a Realidade Virtual e Ambientes Imersivos presentes no TPN-USP são ferramentas que aumentam a realidade no treinamento em embarcação e a segurança dessas operações para evitar acidentes, além da economia. Com este trabalho contribui-se modestamente com pesquisas sobre treinamento com simuladores de embarcação vistos os conceitos de Realidade Virtual, porque descreveu-se o laboratório TPN-USP, características e contribuições nos treinamentos navais, resultado da pesquisa das referências bibliográficas já apresentadas. As pesquisas desenvolvidas no TPN são aplicadas nos treinamentos com simuladores de embarcação, que favorecem o crescimento das operações marítimas, portuárias e a infra-estrutura do Brasil.

8. Referências

AMENDOLA, J. ; TANNURI, E. A. ; COZMAN, F. G. ; COSTA, A. H. R. . Port Channel Navigation Subjected to Environmental Conditions Using Reinforcement Learning. In: 38th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (ASME-OMAE 2019), 2019, Glasgow. Proceedings of ASME 2019 38th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2019, 2019. p. 1-10.

ARDITTI, F. Thrust allocation algorithm considering hydrodynamic interactions and actuator physical limitations. 2019. 120 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, São Paulo, 2019.

ARDITTI, F. ; Cozijn, H. ; van DAALEN, E. ; TANNURI, E. A. . Robust thrust allocation algorithm considering hydrodynamic interactions and actuator physical limitations. Journal of Marine Science and Technology, v. 1, p. 1-14, 2018.

ADOCA. Adoca Tecnologia. Disponível em: <http://www.adoca.com.br> . Acesso em: 25 agosto de 2020.

ARGONÁUTICA. Argonáutica Engenharia e Pesquisas. Disponível em: <https://argonautica.com.br> . Acesso em: 25 agosto de 2020.

AZUMA, Ronald *et al.* Recent advances in augmented reality . IEEE computer graphics and applications , v. 21, n. 6, p. 34-47, 2001.

Bandeira, F.L., Ruggeri, F., Lavieri, R.S., Tannuri, E.A. Algoritmo fast-time e indicadores gráficos para análise de trajetórias assistidas por rebocadores em águas restritas e condições ambientais diversas. Em: Ata do VI Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica. Rio Grande, 2014.

BARRERA, R. D. ; TANNURI, E. A. . Offline Vector Tugs Actuation Model (An Efficiency Analysis of Towage Forces during Pull Operations). In: The International Marine Simulator Forum (MARSIM 2018), 2018, Halifax, Nova Scotia. Proceeding of The International Marine Simulator Forum (MARSIM 2018), 2018.

BARRERA, R. D. Vector tugs actuation modeling for ship maneuvering simulators. 2019. 174 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica, São Paulo, 2019.

CAROLEI, P.; TORI, R. Gamificação aumentada: explorando a realidade aumentada em atividades lúdicas de aprendizagem. Teccogs, v. 9, p. 14-35, 2014.

CLARK, Richard E. A mídia nunca influenciará o aprendizado . Traduzido de Media will never influence learning . Educational technology research and development , v. 42, n. 2, p. 21-29, 1994. (tradução: Alexandre Nascimento, Anna Queiroz e Romero Tori).

CHRISTAN, P. Estudo da interação solo-estaca sujeito a carregamento horizontal em ambientes submersos. 2012. 194 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012.

DALE, E. (1969). Audio-Visual Methods in Teaching (3rd ed.). The Dryden Press.

DONHA, D.C. ; TANNURI, E. A. . Non-linear semi-submersible positioning system using an H-infinity controller. In: IFAC Conference on Control Applications in Marine Systems CAMS 2001, 2001, Glasgow. Proceedings of IFAC-CAMS2001, 2001.

DE BARROS ORSOLINI, ANA LUISA ; Tannuri, Eduardo Aoun ; SANTANA CASTELPOGGI, FELIPE ; TAKASHI YUBA, DOUGLAS GUSTAVO . Methodology for Definition of New Sectors for DP Assisted Offloading Operations in Spread Moored Platforms. In: ASME 2016 35th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, 2016, Busan. Volume 7: Ocean Engineering. p. V007T06A022.

DE SOUZA, FELIPE LOPES ; TANNURI, E. A. ; DE MELLO, PEDRO CARDOZO ; FRANZINI, GUILHERME ; MAS-SOLER, JORDI ; SIMOS, A. N. . Bayesian Estimation of Directional Wave-Spectrum Using Vessel Motions and Wave-Probes: Proposal and Preliminary Experimental Validation. JOURNAL OF OFFSHORE MECHANICS AND ARCTIC ENGINEERING-TRANSACTIONS OF THE ASME, v. 140, p. 041102, 2018.

DE SOUZA, F. L. BAYESIAN ESTIMATION OF DIRECTIONAL WAVE SPECTRUM USING VESSEL MOVEMENTS AND WAVE-PROBES. 2019. 254 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, São Paulo, 2019.

GONÇALVES, R. T. Vibrações induzidas pela emissão de vórtices em cilindros com baixa razão de aspecto. 2013. 246 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, São Paulo, 2013.

HUANG, ALEX S. ; MORENO, FELIPE M. ; Tannuri, Eduardo Aoun ; CÂMARA, JOSELITO G.A. . EQUILIBRIUM POSITION ANALYSIS FOR OFFLOADING OPERATIONS WITH TURRET-MOORED FPSO. JOURNAL OF OFFSHORE MECHANICS AND ARCTIC ENGINEERING-TRANSACTIONS OF THE ASME, v. 141, p. 051102-1-051102-9, 2019.

IANAGUI, A. S.S. ROBUST SYSTEM DESIGN FOR CONSENSUS CONTROL IN DYNAMICALLY POSITIONED VESSEL FLEET. 2019. 236 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, São Paulo, 2019.

- IANAGUI, ANDRÉ S.S. ; TANNURI, EDUARDO A. . Automatic load maneuvering and hold-back with multiple coordinated DP vessels. *OCEAN ENGINEERING*, v. 178, p. 357-374, 2019.
- IANAGUI, ANDRÉ S. S. ; de MELLO, P. C. ; TANNURI, E. A. . Robust Output-Feedback Control in a Dynamic Positioning System via High Order Sliding Modes: Theoretical Framework and Experimental Evaluation. *IEEE Access*, v. 1, p. 1-1, 2020.
- JERALD, Jason. *The VR book: Human-centered design for virtual reality*. Morgan & Claypool, 2016.
- KATEBI, M.R., GRIMBLE, M.J., ZHANG, Y.H. ROBUST CONTROL DESIGN FOR DYNAMIC SHIP POSITIONING. *IEE Proc. Control Theory Appl*, Vol. 144, N. 2, pp. 110-120, 1997.
- KOZMA, R.B. (1991). " Learning with media ." *Review of Educational Research*, 61(2), 179-212.
- LAVIERI, R. S. Image-Based wave feed forward for dynamic positioning system. 2016. 175 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de sistemas mecânicos, São Paulo, 2016.
- LAVIERI, R. S., TANNURI, E. A., MELLO, P. C.. Image-based measurement system for regular waves in an offshore basin. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, May 2020.
- LÉVY, Pierre. *Que é o Virtual?* O. Editora 34, 2003.
- MASETTI, FELIPE RIBOLLA ; TANNURI, EDUARDO A. ; DE MELLO, PEDRO CARDOSO . Validation of a Modular Mathematical Model for Low-Speed Maneuvering Using Small Scale Tests With an Oceanographic Research Vessel. In: *ASME 2015 34th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*, 2015, St. John's. Volume 7: Ocean Engineering. p. V007T06A025.
- MASETTI, F. R. ; DE MELLO, P. C. ; ROSETTI, G. F. ; TANNURI, E. A. . Deep and Shallow Water Low-Speed Maneuvering Tests: Comparison Between Experimental and Simulation Results. In: *ASME 2016 35th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*, 2016, Busan. Volume 7: Ocean Engineering. p. V007T06A021.
- MORENO, F. M. ; SOUZA, F. L. ; TANNURI, E. A. . Metocean Data Clustering for Real-Time Maneuvering Simulations. In: *The International Marine Simulator Forum (MARSIM 2018)*, 2018, Halifax, Nova Scotia. *Proceeding of The International Marine Simulator Forum (MARSIM 2018)*, 2018. p. 1-10.
- MORISHITA, H. M.; TANNURI, Eduardo Aoun ; LAGO, Glenan Assis . Experimental set-up for experiments with dynamic positioning system. In: *7th IFAC Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft*, 2006, Lisboa. *MCMC 2006 Lisboa : IFAC, 2006*, 2006-a.
- MORISHITA, H. M.; TANNURI, Eduardo Aoun ; MORATELLI JÚNIOR, L. . Experimental and numerical facilities for analysis and design of dynamic positioning systems. In: *Rio Oil Gas Expo and Conference*, 2006, Rio de Janeiro. *Abstracts Rio Oil @ Gas Expo and Conferece*, 2006-b.
- MIYAZAKI, M. R. Desenvolvimento de sistema de posicionamento dinâmico com apontamento automático. 2013. 108 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecatrônica, São Paulo, 2013.
- MIYAZAKI, MICHEL R. ; TANNURI, EDUARDO A. . A General Approach for Dynamic Positioning Weathervane Control. *Marine Technology Society Journal*, v. 47, p. 31-42, 2013.
- NAKAMURA, M.; KAJIWARA, H. Control system design and model experiments on thruster assisted mooring system. In: *Proc. Seventh International Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE)*, pp. 641-648, EUA, 1997.
- NISHIMOTO, K.; FUCATU, Carlos H . Dynasim - a time domain simulator of anchored FPSOL. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, Estados Unidos da America, v. 124, n.4, p. 203-211, 2002.

ORSOLINI, A. L. B. Methodology for definition of new operating sectors for DP assisted offloading operations in spread-moored platforms. 2017. 142 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, São Paulo, 2017.

PEREIRA JUNIOR, J. C. ; CAMARA, J. G. A. ; TANNURI, E. A. ; HARANAKA, F. ; RATEIRO, F. ; SANTOS, E. M. . Estudo de manobras de navios tanques no Terminal Miramar (Belém-PA) utilizando simulações em tempo real. In: 9º Seminário de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior, SOBENA HIDROVIÁRIO 2015, 2015, Manaus. Anais do 9º Seminário de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior, SOBENA HIDROVIÁRIO 2015, 2015.

QUEIROZ FILHO, A. N. Controle Cooperativo Aplicado a Sistemas de Posicionamento Dinâmico. 2016. 188 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, São Paulo, 2016.

QUEIROZ FILHO, A. N., TANNURI, E. A. Cooperative consensus control applied to multi-vessel DP operations. OCEAN ENGINEERING, v. 142, p. 388-410, 2017.

RUGGERI, F., LAVIERI, R. S., WATAI, R. A., ROSETTI, G. F., TANNURI, E. A., NISHIMOTO, K. A Methodology for the Analysis of Anchored Ship-to-Ship Operation in the Brazilian Coast Regarding Underkeel Clearance and Mooring Integrity. Marine Operations Specialty Symposium (MOSS 2016), September 2016, Singapore.

RUGGERI, F., WATAI R. A., ROSETTI, G., TANNURI, E. A., NISHIMOTO, K. The Development of ReDRAFT System in Brazilian Ports for Safe Underkeel Clearance Computation. PIANC-World Congress Panama City, Panama 2018.

SANTOS NETO, M. P. (2018). Manual de Direito do Petróleo: Uma Visão Jurídica do Ouro Negro no Brasil. Paco Editorial. Jundiaí-SP, 2018.

SILVA, G. O. ; TANNURI, E. A. ; RUGGERI, F. Real-Time Prediction of Ship Interaction Forces Using Simplified Models. In: ASME 2015 34th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, 2015, St. John's. Volume 1: Offshore Technology; Offshore Geotechnics. p. V001T01A017.

TANNURI, E. A.. New developments on DP systems. Marine Systems & Ocean Technology, v. 8, p. 47-59, 2013.

TANNURI, E. A.; DONHA, D.C. . Hinfinitly controller design for dynamic positioning of a turret moored FPSO. In: 5th Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft (MCMC 2000), 2000, Aalborg. Proceedings of MCMC2000, 2000.

TANNURI, E. A. Desenvolvimento de metodologia de projeto de sistema de posicionamento dinâmico aplicado a operações em alto mar. 2002. 273 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica, São Paulo, 2002.

TANNURI, E. A.; MORISHITA, H.M. ; SOUZA JR., J. A. R. . Desenvolvimento de simulador dinâmico de navegação em canais com águas rasas e estreitas. In: 21º Congresso Nacional de Transportes Marítimos, Construção Naval e Offshore, SOBENA 2006, 2006, Rio de Janeiro. Anais do SOBENA 2006, 2006.

TANNURI, E. A. Sistema de posicionamento dinâmico: projeto, análise e novos desenvolvimentos. 2009. 97 p. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica, São Paulo, 2009-a.

TANNURI, E. A.; SAAD, A. C. ; MORISHITA, H.M. . Offloading Operation with a DP Shuttle Tanker: Comparison Between Full Scale Measurements and Numerical Simulation Results. In: 8th Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft (MCMC'2009), 2009, Guarujá. Proceedings of 8th Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft (MCMC'2009), 2009-b.

TANNURI, E. A.; MAKIYAMA, H. S. ; PEREIRA, F. R. ; FUCATU, C.H. ; TANIGUCHI, D. ; MASETTI, I. Q. . Development of an Innovative Real-Time Simulator for DP-Shuttle Tanker / FPSO Offshore Connection Operation. In: ASME 31th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic

Engineering OMAE2012, 2012, Rio de Janeiro. Proceedings of the ASME 31th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2012, 2012. v. 1. p. 561-568.

TANNURI, E.A.; CAMARA, J. G. A. ; SILVA, D. S. ; RUGGERI, FELIPE ; LAVIERI, RODRIGO S. ; RATEIRO, F. ; MASETTI, F. R. ; HARANAKA, F. ; CLAUZET, G. . Assessment of new port operations using integrated analysis: a case study in Port of Mucuripe (CE, Brazil). In: Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries (PIANC ? COPEDEC IX), 2016, Rio de Janeiro. Proceeding of PIANC ? COPEDEC IX, 2016-a.

TANNURI, E. A. ; PEREIRA JR, J. C. ; RUGGERI, F. ; LAVIERI, R. S. ; RATEIRO, F. ; IANAGUI, A. S. S. ; HARANAKA, F. ; WATAI, R. A. Anchored vessel ship-to-ship operations: environmental limits considering mooring equipments and ship maneuver. In: IX PIANC-COPEDEC, 2016, Rio de Janeiro. Ninth International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, 2016-b.

TANNURI, E. A.; MARTINS, G. H. A. Application of a maneuvering simulation center and pilots expertise to the design of new ports and terminals and infrastructure optimization in Brazil. PIANC-World Congress Panama City, Panama 2018.

TANNURI, E. A. (2019-a). Uso de Simuladores de Manobras em Análises de Risco. CONAPRA, TPN, 2019. Apresentação.

TANNURI, EDUARDO A.. On the assessment of ship squat and vertical wave motions for DTC container carrier in shallow water in a real time maneuvering simulator. In: 5th International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water with non-exclusive focus on manoeuvring in waves, wind and current (MASHCON), 2019-b, Ostend. 5th International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water with non-exclusive focus on manoeuvring in waves, wind and current (MASHCON) Proceedings, 2019-b. v. 1. p. 404-410.

TANNURI, E. A. (2019-c). Seminário sobre os Aspectos Gerais da Navegação em Lama Fluida e sua aplicabilidade no Arco Lamoso da Região da Barra Norte do Rio Amazonas, Marinha do Brasil, Diretoria de Portos e Costas. Emprego de Simuladores para Verificação de Navegação em Lama Fluida (parâmetros de Navegação). 2019. (Seminário).

TANNURI, E. A.; de MELLO, P. C. ; DOTTA, RAUL ; OSHIRO, ANDERSON T. ; DIEDERICHS, GUSTAVO R. ; CRUZ, DANIEL F. ; FERREIRA, MARCOS D. ; NUNES, LUIZ MANOEL P. ; MAEDA, KATSUYA . Drift-off study in drilling vessels comparing numerical model and full scale field measurements. Journal of offshore mechanics and arctic engineering-transactions of the ASME, v. 1, p. 1-12, 2020.

TECHNOMAR. Technomar engenharia oceânica. Disponível em: <https://www.technomar.com.br> . Acesso em: 25 agosto 2020.

TORI, Romero. Educação sem distância: as tecnologias interativas na redução de distâncias em ensino e aprendizagem . Artesanato Educacional LTDA, 2017.

TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva (org.). Introdução a Realidade Virtual e Aumentada . Porto Alegre: Editora SBC, 2018.

TORI, Romero. Visita ao TPN USP - AIE2019. 2019. (20m47s). Disponível em: <<https://youtu.be/mpPzIqZF4Qo>>. Acesso em: 24 set. 2020 (QR Code, Anexo A).

TPN-USP. Tanque de Provas Numérico - Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://tpn.usp.br> . Acesso em: 25 agosto 2020-a.

TPN-USP. Tanque de Provas Numérico da USP. Disponível em: <<https://www.youtube.com/channel/UC0pYfDUlXhU7K6uE1v7mNfw>>. Acesso em: 9 maio de 2020-b. Youtube Canal.

TPN-USP, MEC. Método dos Elementos de Contorno no domínio do tempo, TPN - USP. Disponível em: <http://tpn.usp.br/metodo-de-elementos-de-contorno-no-dominio-do-tempo/> . Acesso em: 7 de outubro de 2020.

WATAI, R.A.; RUGGERI, F.; TANNURI, E.A. ; SANTOS, N.F. ; TAVARES, B.R. ; DOS SANTOS, J.M.G . An analysis methodology for the passing ship problem considering real-time simulations and moored ship dynamics: Application to the Port of Santos, in Brazil. *APPLIED OCEAN RESEARCH*, v. 80, p. 148-165, 2018.

YUBA, DOUGLAS T. G. ; TANNURI, EDUARDO A. . Analysis of Pusher-Barge System With Different Maneuvering and Propulsion Devices. In: *ASME 2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*, 2013, Nantes. Volume 5: Ocean Engineering. p. V005T06A036.

YUBA, D. G. T. ANÁLISE DE SISTEMAS DE PROPULSÃO E MANOBRA ALTERNATIVOS PARA AUMENTO DA MANOBRABILIDADE DE COMBOIOS FLUVIAIS. 2014. 106 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecatrônica e Sistemas Mecânicos, São Paulo, 2014.

Anexos

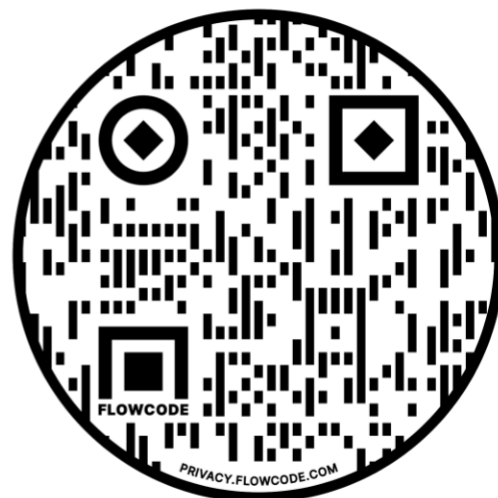
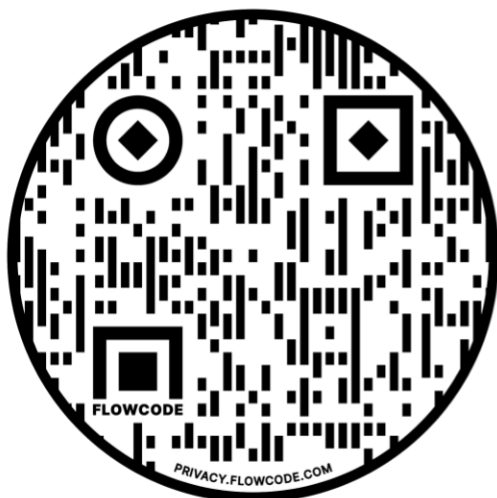
Anexo A

QR Code - Referências Bibliográficas

TORI, Romero. Visita ao TPN USP - AIE2019. 2019. (20m47s). Disponível em: <<https://youtu.be/mpPzlqZF4Qo>>. Acesso em: 24 set. 2020.




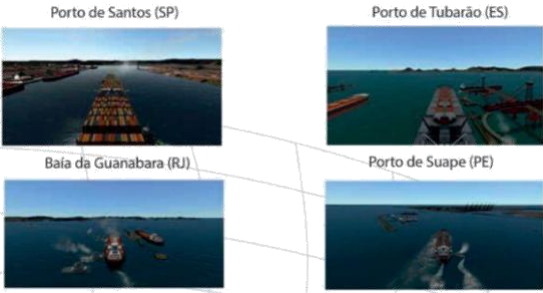
TPN-USP. Tanque de Provas Numérico da USP. Disponível em: <<https://www.youtube.com/channel/UC0pYfDUlXhU7K6uE1v7mNfw>>. Acesso em: 9 maio de 2020-b. Youtube Canal.








Anexo B

A infraestrutura do centro de simulação de manobras TPN-USP encontra-se na Tabela A1, e estas informações também estão no site TPN (2020) e em TANNURI & MARTINS (2018).

Tabela A1: Centro de Simulações de Manobras Marítimas e Fluviais. Fonte: TPN-USP (2020) e TANNURI & MARTINS (2018)

<p>Modelo matemático dos simuladores TPN-USP</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Cálculo de movimentos em 6 graus de Liberdade - Hidrodinâmica da embarcação em águas abertas considerando forças de vento, onda e correnteza - Efeito de águas rasas (fundo batimétrico) nos esforços hidrodinâmicos potenciais e viscosos e no sistema de propulsão e manobras - Efeitos de margens e interação com demais embarcações - Modelagem de campos de correnteza e onda variável - Interação com diferentes tipos rebocadores - Diferentes modelos de propulsores, lemes e thrusters (passo fixo ou variável) - Piloto automático e sistema de posicionamento dinâmico (DP) - Defensas, âncora e cabos de amarração e reboque
<p>Aplicações em Pesquisa e Engenharia</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Avaliação de novas infraestruturas portuárias - Simulações em portos já existentes com embarcações de maior porte ou características diferentes das aprovadas - Avaliação de operações especiais - Determinação do arranjo e bollard-pull mínimo de rebocadores - Estudo de janela operacional, tendo em vista condições ambientais típicas das localidades - Determinação de dimensões mínimas de canais e bacias de evolução - Determinação da profundidade mínima admissível e/ou calado máximo de operação - Auxílio na determinação de balizamento e solução náutica - Análise de riscos, consequências e perigos

<p>Simulador Full Mission 1 (Sistema de Projeção)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Tela única com diâmetro 12m, 32 projetores, 270° de campo de visão, projeção no pavimento - 10 painéis de comandos e instrumentos, 4 telas gerais - Comandos para leme e hélices de passo fixo ou controláveis - Manetes para propulsores em túnel ou azimutais - Sistema DP e Piloto Automático - GPS, Anemômetro, Rate of turn, Bússola, Log Doppler, Sonar, Radar, ECDIS, Eco Souder, Speed Log - Portable Pilot Unit (PPU) - Repetidora de leme e Girocompasso, Binóculos - Interface RIPEAM - Comunicação por rádio com outros simuladores - Estação de controle de alarmes, âncora, cabos de amarração e reboque e controle de rebocadores - Integrado com os outros simuladores (multi-player)
<p>Simulador Full Mission 2 (Sistema com telas)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - 35 telas de visualização, 360° campo de visão - 7 painéis de comandos e instrumentos, 3 telas gerais (overhead) - Ponte de comando traseira para PSV ou Rebocador Portuário - Comandos para leme e hélices de passo fixo ou controláveis - Manetes para propulsores em túnel ou azimutais - Sistema DP e Piloto Automático - GPS, Anemômetro, Rate of Turn, Bússola, Log Doppler, Sonar, Radar, ECDIS, Eco Souder, Speed Log - Repetidora de Leme e Girocompasso, Binóculos - Interface RIPEAM - Comunicação por rádio com outros simuladores - Estação de controle de alarmes, âncora, cabos de amarração e reboque e controle de rebocadores - Integrado com outros simuladores (multi-player)
<p>Simuladores Part Task (2 unidades)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - 6 a 8 telas de visualização - 5 painéis de comandos e instrumentos - Comandos para leme e hélices de passo fixo ou controláveis - Manetes para propulsores em túnel ou azimutais - Sistema DP e Piloto Automático - Telas de instrumentos: GPS, anemômetro, Rate of Turn, Bússola, Doppler-Log - Radar, ECDIS - Comunicação por rádio com outros simuladores - Estação de controle de alarmes, âncora, cabos de amarração e reboque - Integrado com outros simuladores (multi-player)

<p>Simulador Guindaste/ Rebocador (Sistema de Telas 4k)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - 21 telas de visualização com resolução 4k (sendo 2 delas sob o piso) - 2 painéis de comandos e instrumentos - Customizável: pode simular Cabine de Comando de Guindaste Offshore ou Ponte de Comando de Rebocador - Comunicações rádio com outros simuladores - Integrado com outros simuladores (multiplayer) <p>Modo Guindaste:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Manete de comando. - Tipo pedestal Offshore (versão atual), Telescópicos e Articulados <p>Modo Rebocador:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Manetes dos propulsores azimutais - Telas de instrumentos: GPS, anemômetro, Rate-of turn, bússola, Doppler-log - Radar, ECDIS
<p>SMH-4D Simulador 4D</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Tela de visualização grande com visão estéreo - Plataforma móvel 6DOF para imersão completa - 2 painéis de comandos e instrumentos - Comandos para leme e hélices de passo fixo ou controláveis - Manetes para propulsores em túnel ou azimutais - Sistema DP e piloto automático - Telas de instrumentos, GPS, anemômetro, Rate of Turn, bússola, Doppler-Log - Radar, ECDIS - Comunicações rádio com outros simuladores - Estação controle de alarmes, âncora, cabos de amarração e reboque. - Integrado com os outros simuladores (multi-player)
<p>Sala de Briefing</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Centro multimídia com controle CCTV - Visão do helicóptero da simulação (tempo real) e painel com as informações técnicas da manobra (velocidades, comandos rebocadores, leme / ação da hélice) - Sistema proporciona uma descrição completa da manobra 5 minutos após o término da simulação - Pode comportar até 12 pessoas

Anexo C



Figura C5. Embarcações DP cooperativas - Tanque de provas (Foto: TPN - USP)