

### 23º Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore

Rio de Janeiro. 25 a 29 de Outubro de 2010

# Potencial de Aplicação de Simulação de Processos Industriais à Construção Naval

Floriano Carlos Martins Pires Junior Clarice Trevisani da Silva

Programa de Engenharia Oceânica - COPPE/UFRJ

#### Resumo:

A Simulação de Processos vem trazendo benefícios voltados para a análise de gargalos, otimização da produção e utilização eficiente de recursos para setores, como por exemplo, indústrias aeronáutica e automobilística. O presente estudo classifica os estaleiros brasileiros em grupos de empresas em fase de planejamento do arranjo físico (ou de ampliação de oficinas), e em fase de operação (funcionamento). Foram levantadas questões relativas a cada tipo de estaleiro, que poderiam ser analisadas através de simulação, e descritos os principais processos construtivos. Exemplos de aplicações nacionais e internacionais no setor naval foram destacados, assim como foram ressaltados a evolução da técnica, e os programas (simuladores) disponíveis. Uma estrutura hierárquica é apresentada, contendo os critérios relativos ao fornecedor, ao programa (simulador) e ao usuário, de forma a facilitar a escolha do programa mais adequado ao perfil do estaleiro. Finalmente, como exemplos de aplicação, são apresentados estudos de caso: Pátio de armazenagem aço, Linha de fabricação de painéis planos e Montagem e Pré-edificação de anéis.

#### 1 - Simulação - Estado da Arte

A Simulação de Processos da Construção Naval pode ser útil para avaliar, decidir e comunicar os planos de manufatura, permitindo a analise dinâmica e transparente da produção. A técnica pode atuar na definição do projeto das embarcações, ou na avaliação da produção, segundo diferentes tipos de navios (Kasemaker et al., 2006).

Banks (1999) acredita que quanto maior for o custo de mudanças no sistema, ou aplicação de novos projetos, mais vantajosa Processosa para Simulação de organizações se manterem competitivas. Diversas indústrias associam a técnica com ferramentas de planejamento aperfeiçoando o de tomada de Considerando o grande avanço tecnológico, cada vez mais as empresas estão buscando novas ferramentas para alcançar vantagem competitiva.

A utilização de técnicas avançadas como a Simulação de Processos ou a Manufatura Digital vem sendo observada em algumas empresas, principalmente dos setores automotivo e aeroespacial.

Exemplos de empresas que vêm utilizando a Manufatura Digital podem ser citados como a *Boeing*, que desenvolveu o modelo 777 totalmente digital antes de fazê-lo fisicamente e a *DaimlerChrysler* que modelou os processos de montagem de veículos específicos.

Estaleiros. centros de pesquisa universidades recentemente passaram utilizar a Simulação de Processos Construção Naval. O grupo SimCoMar Cooperation in the Maritime (Simulation Industries) é um exemplo de iniciativa para acelerar o desenvolvimento da simulação no setor, auxiliando estaleiros europeus americanos.

Participam do grupo os estaleiros Flensburger e o Nordseewerke Emden, a universidade alemã TUHH (Technische Universität Hamburg-Hamburg), a holandesa DUT (Delft University of Technology) e a belga ANAST (University of Liege), além do Centro de Tecnologia Marítima (Alemanha).

Além do *SimCoMar*, outras parcerias foram estabelecidas entre estaleiros e universidades. Nesse sentido, pode ser citada a universidade sul-coreana de Seul, a japonesa de *Kinki*, a norte-americana de *Michigan*, e a brasileira *UFRJ* a partir do laboratório de simulação *LABSEN*.

Nas últimas décadas a indústria naval holandesa e alemã vem procurando reduzir os tempos de entrega, os custos de produção e aumentar a qualidade dos produtos, com o uso da simulação de processos. Alguns estaleiros alemães estão muito avançados no uso da Simulação e na integração de soluções ao ambiente de planejamento de processos, como os estaleiros alemães *Flensburger* e o *Meyer Werft*.

Estaleiros europeus aplicam a simulação no planejamento estratégico, no estudo dos métodos de construção e das seqüências de processos. Já no planejamento tático, a ferramenta volta-se para a otimização dos planos de produção (diários e semanais) específicos para as estações de trabalho.

No planejamento operacional, a ferramenta atua na previsão do comportamento de estações de trabalho a partir de incertezas como paradas de equipamentos ou interrupções no suprimento de matéria prima. Nesse nível de planejamento a simulação auxilia o controle do desempenho dos sistemas modelados.

O projeto de simulação deve ser planejado estrategicamente para que forneça as informações requisitadas, pelos custos esperados. Diversas metodologias para projetos de simulação de eventos discretos foram desenvolvidas nas últimas décadas.

Shannon (1992) classifica o projeto de simulação em fases como: formulação do problema, planejamento do estudo, definição do sistema e do modelo conceitual, coleta de dados, construção do modelo, verificação e validação. Etapas como experimentação, interpretação de resultados e aplicação das soluções são comentadas por Carson (2003), além da documentação final do estudo.

Shannon (1992) faz referência à "regra de Pareto", afirmando que possivelmente oitenta por cento (80%) do comportamento do sistema pode ser representado por apenas vinte por cento (20%) dos componentes do modelo. A maior dificuldade é identificar os componentes realmente vitais para a simulação. A determinação de um nível apropriado de detalhes é uma decisão importante, pois muitos detalhes dificultam e consomem tempo de modelagem.

Os modelos, ao invés de imitaram exatamente o sistema real, devem conter

apenas os elementos que contribuam para as questões em estudo. O nível de detalhes também pode estar associado à precisão exigida dos resultados. Em um extremo, uma estação de trabalho pode ser modelada como uma operação "caixa preta", com entradas, saídas e tempos definidos. Em outro extremo pode ser simulado o movimento detalhado de certa máquina, correspondente a cada uma de suas operações.

### 2 - Programas de Simulação

Com a popularização do sistema operacional *Windows* e das tecnologias da informação impulsionadas pelo advento da internet foi possível uma maior difusão da simulação na década de noventa, além do desenvolvimento de modelos mais complexos com tempos de execução mais curtos.

Nessa década algumas empresas passaram a comercializar simuladores de baixo custo (menos de € 1.000,00) como o SIMUL8, Extend e ShowFlow, mostrando a tendência dos fabricantes de reduzir preços e formar parcerias com esse objetivo. Apesar de mais baratos esses pacotes não foram massivamente aceitos pelo mercado.

De acordo com Robinson (2005) a primeira hipótese que justifica o comportamento do mercado frente aos sistemas de baixo custo se refere ao fato de que os simuladores de baixo custo atuaram em mercados completamente diferentes dos mercados dos sistemas mais caros. Os programas mais dispendiosos foram voltados para atender problemas mais complexos, e fornecer um nível de suporte maior, normalmente, exigido por grandes corporações.

A segunda hipótese, levantada é a de que muitas empresas passaram a usar os simuladores, motivadas pelos preços mais baixos, e a partir de mudanças em seus processos (aumento da complexidade das análises) migraram para outros simuladores.

Atualmente dezenas de simuladores estão disponíveis comercialmente. Para facilitar a simulador escolha do mais adequado Nikoukaran, et. al. (1999) propuseram uma metodologia de seleção a partir de uma estrutura hierárquica dividida em: fornecedor (reputação da empresa e serviços), programa (modelagem, geração de relatórios, visualização), e usuário (custos de aquisição, requisitos de equipamentos e de experiência prévia do modelador).

Os simuladores *Arena*, *Promodel*, *Flexsim*, *eM-Plant* e *Quest* foram comparados a partir de informações obtidas por fabricantes, por usuários (grupos de discussão na *Internet*), por artigos publicados em congressos de

simulação e por manuais e livros didáticos. A tabela 1 cita algumas características de cada programa como as principais aplicações, alguns dos clientes, ferramentas e animação (visualização dos modelos).

Tabela 1: Características dos programas estudados.

Programas	Aplicações	Clientes	Ferramentas	Animação
Arena	Manufatura; Telemarketing; Logística	Bayer Corporation's; Danish Steel Works	Análise de dados e Módulo de Otimização	Bidimensional Icônica (bitmaps 2 e
Promodel	Manufatura; Logística; Six Sigma	Johnson & Johnson; Ford; UPS; General Motors	Análise de dados e Módulo de Otimização	Bidimensional Icônica (bitmaps 2 e
Flexsim	Manufatura; Operações Portuárias; Sistemas de estocagem	Volkswagen; Fedex; Michelin; Petrobrás; VALE	Módulo de Otimização	Tridimensional
eM-Plant	Manufatura; Balanceament o de linhas	Bosh; BMW; Allied Aerospace; Renault	Análise de dados, de fluxo e de gargalos e Módulo de Otimização	Tridimensional
Quest	Manufatura e Automação	Yantai Raffles Shipyard (YRS); EMBRAER	Módulo de Otimização e de Cinemática	Tridimensional

Todos os simuladores comentados utilizam o contato telefônico ou correio eletrônico para realizar o suporte técnico. Quanto à documentação, o programa *Arena* possui tutoriais, artigos e teses disponibilizados na Internet. O fato de que alguns livros didáticos fornecem versão acadêmica (com limitações), é outro ponto positivo para a divulgação e teste do programa.

O simulador *Promodel* possui também grande quantidade de material divulgado e grupos virtuais de discussão na Internet. As versões gratuitas de teste e o treinamento gratuito são oferecidos atraindo usuários. O fabricante do simulador *Flexsim* utiliza seu sítio para oferecer manuais, apoio à modelagem, atualizações e bibliotecas de componentes. Nesse *site*, demonstrações do sistema são apresentadas, e os usuários podem compartilhar informações, além de participarem do grupo de discussão.

No programa eM-Plant as dúvidas podem ser reportadas no site da empresa e atualizações também podem ser acessadas. Os grupos de discussão, conferências e acesso à documentação são oferecidos apenas para os clientes. As demonstrações do simulador são possíveis mediante a visita de representantes e não são disponibilizadas versões de teste.

O simulador *Quest* disponibiliza (virtualmente) para os clientes a documentação com funções, comandos e tutoriais. Os grupos de discussão não são muito representativos comparados aos outros simuladores. As demonstrações do programa podem ser agendadas com o fabricante (ou representante).

No critério de animação, o programa *Arena* possui representação bidimensional e o usuário deve adquirir um módulo específico além do simulador, caso queira ter a visualização tridimensional. No simulador Promodel a representação mais comum também é a bidimensional, e de acordo com grupos de discussão a visualização tridimensional pode ser configurada mas é consideravelmente mais complexa que a bidimensional.

Os programas *Flexsim*, *eM-Plant* e *Quest* apresentam visualização tridimensional. O primeiro e o segundo importam geometrias em diversos formatos. O terceiro (*Quest*) além de importar arquivos de diferentes programas de modelagem de elementos possui integração com o sistema Catia/Delmia V5, permitindo que a simulação do projeto do produto seja integrada com a simulação de eventos discretos.

No critério que se refere às ferramentas, todos os programas possuem módulos de otimização. Alguns programas como *Arena*, *Promodel* e *eM-Plant* possuem módulos acoplados de tratamento de dados. Módulos de verificação de erros e rastreadores são comuns a todos os simuladores comentados.

Artifícios de identificação de gargalos e fluxos são oferecidos pelo *eM-Plant*. O programa Quest possui um módulo de cinemática que permite a edição de movimentos de máquinas e equipamentos tornando a visualização do modelo mais realista.

A maior parte dos simuladores estudados apresenta boa compatibilidade com programas da plataforma da *Microsoft Windows*. A tecnologia denominada *Active X*, presente em alguns simuladores, permite a integração dos modelos com dados de planilhas eletrônicas, de arquivos de texto, e apresentações.

# 3 – Potencial de utilização da simulação na construção naval brasileira

A Construção Naval no Brasil vive atualmente o seu momento mais próspero desde a década de 70, quando o país chegou a ser um dos principais construtores navais do mundo. Um dos desafios dos estaleiros nacionais para se inserirem efetivamente no

mercado mundial é a superação da defasagem tecnológica (Pires, 1999).

A modernização de equipamentos e instalações, a produção em linha e aperfeiçoamento de processos, são exemplos de atividades que podem minimizar os efeitos da recuperação tardia da indústria naval no país.

Nesse contexto, a Simulação de Processos pode auxiliar os estaleiros brasileiros a obterem um perfil responsivo, estando mais preparados às mudanças em termos de variedade de produtos (navios) ou de volume de produção.

Em mercados cada vez mais competitivos simulação pode ser uma alternativa importante para a gestão dos estaleiros brasileiros. No setor naval, o uso da simulação acelerador do processo aprendizagem. por exemplo. é pouco abordado na literatura técnica, contudo, o tema apresenta grande potencial de desenvolvimento conhecendo-se dificuldades encontradas com a capacitação de mão de obra especializada.

Os estaleiros brasileiros podem ser divididos em organizações em fase de planejamento do arranjo geral ou ampliação de oficinas, e organizações já em operação. A simulação para estaleiros em fase de planejamento de instalações pode auxiliar a avaliação dos investimentos e estratégias de longo prazo, permitindo um dimensionamento adequado de recursos.

No processo de armazenagem de aço, por exemplo, a modelagem permite o teste de diferentes arranjos de pilhas e estratégias de estocagem. Os estaleiros sem restrição de espaço podem ter custos menores com a pavimentação, uma vez que essa não precisa suportar grandes quantidades de peso localizado.

A altura ideal de pilhas de chapas ou os níveis de estoque desejados podem ser estudados, além de formas de organização do material (separação por dimensões, fornecedor, obra de destino, etc.). Freqüências e tamanhos dos pedidos de chapas, para abastecer o pátio, podem ser verificados quanto aos níveis de estoque, ocorrências, e durações de interrupções do atendimento da produção, devido às faltas de material.

A quantidade e tipos de sistemas de movimentação (e de tratamento) podem ser estudados para atender a produtividade desejada, assim como atividades para o balanceamento das áreas e recursos.

A vantagem da simulação nas etapas de corte ou fabricação de painéis planos em linha é a possibilidade de teste de diferentes equipamentos, representando diferentes fornecedores e custos (aquisição, instalação, etc.). A produtividade obtida e as formas de operação podem ser visualizadas antes da concretização da compra.

Diferentes processos (automáticos, semiautomáticos ou manuais) podem ser estudados quanto aos impactos na organização da produção. A produção em linhas e a integração de processos (corte e fabricação de painéis planos, por exemplo) podem ser planejadas reduzindo os custos e tempos de integração.

O teste de diferentes posicionamentos de máquinas e do fluxo de materiais permite a definição de uma configuração que minimize as distancias e a movimentação antes que as máquinas sejam instaladas. Após a instalação de certos equipamentos, o respectivo reposicionamento poderia ser inviável.

A localização das sobras de material e dos estoques que alimentam as estações de trabalho pode ser investigada. A simulação pode auxiliar a determinação dos níveis de estoques de produtos que alimentam as oficinas, para que seja evitada a parada da produção por falta de insumos.

A montagem de blocos pode ser analisada virtualmente e de acordo com diferentes estratégias de edificação. Diferentes métodos podem ser investigados considerando a inclusão do acabamento avançado. Estações dedicadas à montagem de tipos específicos de blocos podem ser comparadas quanto à produtividade de estações genéricas (que produzem qualquer tipo de blocos).

O compartilhamento de recursos como pórticos, pontes rolantes e carros hidráulicos também pode ser verificado, além da quantidade e tipos de equipamentos. A produtividade e os tempos considerando de diferentes demandas podem ser estimados mais adequadamente, fornecendo um maior suporte aos gestores.

Na pré-edificação, diferentes tamanhos de grandes blocos podem ser modelados. O espaço físico e recursos necessários podem ser definidos dependendo do tamanho dos grandes blocos.

A carga de trabalho de acordo com diferentes tipos de embarcações pode ser avaliada quanto às implicações operacionais, como a adequação dos níveis de estoque de produtos intermediários, e dos parâmetros dos equipamentos (velocidades, etc.).

A simulação da edificação pode fornecer informações importantes para que o estaleiro defina a melhor estratégia e escolha os mais adequados recursos. A edificação simultânea é outra questão que pode ser abordada, para

que os tempos de uso do dique sejam reduzidos.

O grupo dos estaleiros em operação, para atender diferentes demandas e estabelecer diferencial competitivo, precisam constantemente aperfeiçoar seus processos e técnicas. Diante de mercados exigentes, esses estaleiros precisam adequar suas estratégias operacionais de forma a obter menores custos e tempos de produção.

Os sistemas de movimentação do pátio de aço podem ser testados sob diferentes parâmetros. No corte e fabricação de painéis planos, diferentes seqüências e planos de corte podem ser avaliados, reduzindo os tempos de preparação dos equipamentos e permitindo um maior aproveitamento dos recursos.

A fabricação de painéis curvos e de submontagens pode ser balanceada, e diferentes métodos de montagem dessas estruturas e de blocos podem ser estudados. As seqüências de produção (diárias ou semanais) podem ser planejadas de forma a otimizar a produção. Na montagem, préedificação e edificação, as restrições e conflitos entre os sistemas de movimentação podem ser previstos e as estimativas de tempo de construção podem considerar riscos e incertezas.

# 4 - Aplicações da Simulação de Processos na Construção Naval

Os principais processos da Construção Naval são citados como: Armazenamento e Tratamento de chapas Processamento do aço (corte e conformação); Fabricação de estruturas (painéis submontagens); Montagem e Pintura de blocos: Pré-edificação e Edificação. atividades de acabamento avançado são usualmente realizadas nas etapas montagem de blocos.

A Simulação de Processos e a Manufatura Digital vêm contribuindo de maneira decisiva para a elevação dos índices de produtividade dos estaleiros mais competitivos. Todavia, a construção naval brasileira, que se encontra em fase de retomada, apresenta uma grande defasagem em termos de ferramentas de planejamento e desenvolvimento tecnológico.

A dificuldade é agravada pela falta de investimentos dos estaleiros nacionais em P&D. O desenvolvimento de redes de inovação que estabeleçam parcerias entre centros de pesquisa e o setor produtivo é uma alternativa para os estaleiros nacionais aprimorarem seus processos, reduzindo tempos de construção.

Esses fatores reforçam a necessidade do uso de ferramentas como a simulação para atuar no estudo dos sistemas e processos provendo maior eficiência e confiabilidade à gestão da produção. As parcerias entre organizações, a troca de experiência e publicações de casos de sucesso estão encorajando novos usuários a aderirem ao método (Krause, 2004). Os tópicos a seguir apresentam casos de aplicações da simulação relativas a processos específicos do setor naval.

#### 4.1. - Simulação do Pátio de aço

estaleiro coreano Hyundai Heavy Industries (HHI), apoiado pelo seu Instituto de Pesquisa Industrial, desenvolveu um modelo de simulação da armazenagem e tratamento do aço utilizando um simulador criado pelo próprio Instituto de Pesquisa (Park et al., 2006). O estaleiro procurou reduzir a longa permanência de chapas no pátio, causada por grande dispersão do tempo fornecimento. e por mudancas programação da produção (que alteram a organização das pilhas).

As constantes mudanças no plano de produção evidenciam o problema de re-arranjo do pátio, além da complexa gestão das pilhas contendo chapas com diferentes atributos de chapas devido às restrições físicas do pátio. A simulação forneceu indicadores dos níveis de estocagem, da taxa de atendimento da produção, e da ocorrência e duração de atrasos no atendimento das estações de processamento.

### 4.2. - Simulação do Processamento de aço

A modelagem do processamento de aço incluindo operações logísticas foi realizada pelo estaleiro alemão *Flensburger*. O objetivo do estudo foi avaliar o arranjo físico da estação antes da mesma ser construída. O estaleiro desenvolveu um modelo integrando a estação de corte de chapas com a linha de fabricação de painéis planos. Posteriormente o modelo auxiliou a análise da produção de diferentes navios considerando horas-extras e subcontratação.

No caso do estaleiro holandês *IHC*, é subcontratado o processamento do aço. Para reduzir os custos de aquisição do material e (simultaneamente) reduzir os custos de produção da empresa contratada, o estaleiro modelou o processamento de aço e as operações logísticas dos lotes de peças processadas (Kasemaker et al., 2006).

O estaleiro Samsung Heavy Industries teve também seu processamento modelado,

com o intuito de avaliar o desempenho do sistema e a definição do posicionamento ideal dos recursos considerando a circulação de produtos e a interação com outros recursos (colisões) (Shin et at., 2004).

# 4.3. - Simulação das Linhas de Painéis Planos e Estações de Submontagens

Greenwood e Hill (2005) desenvolveram um modelo de linha de fabricação de painéis planos do estaleiro *Northrop Grumman Ship Systems Pascagoula Operations* (*NGSS*), avaliando diferentes sequências de produção. Após a modelagem foi realizada a otimização de seqüências por ferramentas específicas, gerando dados de entrada (seqüências) para novas simulações.

A universidade de *Liege* modelou a linha de painéis planos em conjunto com o estaleiro francês *Chantiers de L' Atlantic*. As taxas de ocupação dos recursos, os esquemas de produção e as seqüências de pedidos foram avaliados quanto à produtividade oferecida por diferentes estratégias de operação (Bair et al., 2005).

O laboratório pesquisa acadêmica da universidade da Coréia, em parceria com o estaleiro *Samsung* desenvolveu um modelo de estações de submontagens. O objetivo foi simular o funcionamento de robôs de soldagem já existentes, para obtenção de tempos de ciclo de produção sob diferentes cenários (Shin, et al.,2002).

Williams et al. (2001) desenvolveram um modelo visando reduzir os custos associados aos processos de submontagens. O fluxo de materiais, os gargalos e os impactos na inclusão de novos processos foram visualizados. Outro benefício do estudo foi a investigação de formas de armazenagem (localização e empilhamento) dos conjuntos de peças que fazem parte das submontagens, buscando a redução de estoques, e o aproveitamento do espaço físico.

### 4.4. - Simulação da Montagem de blocos

Steinhauer et al., (2006) acreditam que a representação das estações de montagem é relevante visto que é uma área onde grupos de trabalhadores com diferentes habilidades ser gerenciados (soldadores. eletricistas, técnicos, entre outros). Além desse fato, atrasos nesse processo (falta de estações. insumos para as erros planejamento, etc.) podem comprometer seriamente as estações posteriores e os prazos da construção.

O estaleiro *Flensburger* desenvolveu um modelo de montagem de blocos com o

objetivo de analisar variações no plano de produção. O modelo serviu de suporte para o planejamento das operações diárias do chão de fábrica. Questões como os custos de soldagem e a melhor alocação de trabalhadores, considerando diferentes qualificações puderam ser ainda verificados, assim como o compartilhamento de recursos de movimentação.

O laboratório *LABSEN* desenvolveu uma ferramenta de análise do impacto de diferentes classificações de blocos, e especialização de oficinas. Esse impacto foi medido na produtividade de um estaleiro hipotético, segundo a estratégia de edificação por anel. Em seguida, foram testados diferentes números de oficinas considerando o volume de produção, a ocupação dos recursos e as taxas de atendimento das estações posteriores (Souza, et al., 2008).

### 4.5. - Simulação da Fabricação de módulos de tubulação

A análise do local de fabricação de módulos de tubulação no estaleiro japonês *IHI Marine United* mostrou que além de visualizar o desenho bidimensional, o trabalhador verifica se todas as peças necessárias estão disponíveis e após a instalação, são comparados o desenho e a estrutura montada (Okumoto, et al., 2005).

A complexidade do processo se dá por razões como a formação e experiência necessárias ao entendimento do desenho (e planejamento das atividades), e pelo fato de que o procedimento operacional (baseado na experiência) nem sempre é ótimo. Muitos erros de projeto são descobertos apenas no momento da produção, e um trabalhador inexperiente sem o auxílio de supervisores não conseque realizar a montagem.

Considerando ainda que a falta de experiência gere erros e re-trabalho foi desenvolvido um modelo de simulação para amenizar esse tipo de problema. Os resultados do modelo foram exibidos em um computador conectado em rede sem fio no pátio do estaleiro, que mostrava a a árvore de componentes estruturais para montagem e permitia uma visão panorâmica do módulo de simulação que foi desenvolvido pelo próprio estaleiro.

O estudo promoveu uma redução de 15% para 11% do tempo dedicado à interpretação de desenhos (para trabalhadores inexperientes), e de 35% para 19% do tempo gasto com a movimentação do local de montagem ao local onde o desenho era fixado.

## 4.6. - Simulação da Pré-edificação e Edificação de blocos

A falta de espaço é um problema para alguns estaleiros e a simulação pode auxiliar o melhor aproveitamento das áreas. Os estaleiros alemães *Flensburger*, *Meyer Werft* e o *Aker Ostsee* desenvolveram modelos de simulação para otimizar os tempos de uso de seus diques e oficinas. O processo de edificação também foi modelado por Kim, H. et al. (2002) para a avaliação das seqüências de atividades, e os impactos de diferentes estratégias.

O LABSEN desenvolveu um modelo para avaliar diferentes estratégias de construção, sob aspectos como o tempo de produção, a produtividade global e a taxa de ocupação das estações de trabalho. A modelagem buscou a identificação dos gargalos, e dos impactos gerados por mudanças no fluxo de materiais (Souza, et al., 2008).

#### 5 - Exemplos de Modelos de Simulação

Para exemplificar a modelagem de processos da Construção Naval, foram selecionados alguns dos modelos desenvolvidos pelo *LABSEN*. O simulador *QUEST* foi utilizado em todos os casos, devido à disponibilidade do programa e potencial de visualização da ferramenta.

### 5.1 - Modelo do Pátio de aço

O modelo foi desenvolvido a partir de duas versões. A primeira conteve uma simplificação maior no tratamento dos produtos (produtos padronizados), já a segunda versão, em desenvolvimento, diferencia os produtos a partir de critérios pré-definidos.

A simulação da armazenagem e tratamento do aço atende os **estaleiros em fase operação** no sentido de representar o sistema vigente mostrando seu desempenho de acordo com diferentes regras de operação, freqüência e tamanho de lotes de suprimento de chapas, e incertezas (atraso no fornecimento, quebra de equipamentos, etc.).

Para esses estaleiros, o modelo oferece possibilidade de minimizar os riscos de paradas na produção por falta de material, auxiliando a definição dos estoques de segurança mais adequados. A avaliação de planos contingenciais, e do uso de diferentes turnos, e horas extras pode ser beneficiada com o modelo, assim como as decisões sobre a realocação de áreas de estocagem caso estas estejam subutilizadas.

O modelo, para estaleiros em fase de planejamento, auxilia as decisões sobre a aquisição de equipamentos, e definição de

sistemas de transporte e de tratamento do aço, podendo este ser químico ou mecânico. Estaleiros com esse perfil podem ainda utilizar o modelo para testar diferentes arranjos físicos. As áreas de estocagem necessárias a estratégia de construção do estaleiro são verificadas e dimensionadas com a simulação. O teste de diferentes estratégias de empilhamento e estocagem favorece decisões sobre os níveis de pavimentação.

Os indicadores fornecidos com a modelagem se referem aos níveis médios de estoque, o tempo de permanência de chapas, o percentual de paradas da produção por falta de aço tratado, etc. Inicialmente foi desenvolvida uma versão mais simples do modelo, considerando chapas iguais.

Nesse caso, a lógica criada para gerenciar a colocação e retirada de chapas no pátio avaliou critérios relacionados à quantidade de chapas no pátio (em cada pista ou pilha) e seu posicionamento. Dessa forma, priorizou-se a entrada ou saída de chapas de áreas mais próximas da estação de tratamento com pilhas mais cheias ou mais vazias, por exemplo.

Foram definidas três pistas de armazenagem com а capacidade de aproximadamente dois navios Suezmax (capacidade arbitrada para atender produção do estaleiro modelado). O processo de carregamento representou a chegada de chapas (por uma balsa), a movimentação das chapas até o início das pistas (por carros hidráulicos), e a entrada de chapas na pista para o seu empilhamento (por pontes rolantes).

As pontes rolantes (uma para cada pista) ficaram encarregadas de transportar as chapas empilhadas para a esteira da linha de tratamento, no processo de descarregamento do Pátio. A figura 1 mostra o fluxo de materiais representado pelo modelo e a figura 2 mostra a tela do simulador com o modelo.

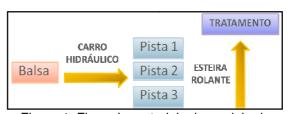


Figura 1: Fluxo de materiais do modelo do Pátio de aço.

A segunda versão do modelo considera chapas diferenciadas por critérios como as dimensões, a obra, o armador, o tipo de aço, entre outros. Uma das análises dessa última versão é sobre o aproveitamento do espaço físico e das atividades necessárias a recuperação de chapas que compartilham a

mesma pilha de chapas com atributos diferentes.



Figura 2: Tela com o modelo do Pátio de aço.

#### 5.2 - Modelo de Linha de Painéis

O modelo desenvolvido atende estaleiros que pretendem instalar **novas linhas**, modernizar linhas existentes, ou acoplar a fabricação de painéis com outros processos, como o processamento de aço ou a montagem de blocos.

A utilização da técnica se dá através do teste de diversas alternativas evidenciando o comportamento da produção, antes que os investimentos em maquinário, por exemplo, sejam realizados. O modelo permite a avaliação de propostas de fornecedores de equipamentos.

O arranjo da linha pode ser avaliado e os estoques intermediários (chapas e perfis) podem ser definidos. A modelagem beneficia o estudo dos locais dos estoques de produtos acabados (painéis), e a verificação dos recursos quanto ao atendimento da produção de diferentes tipos de embarcações.

Caso o modelo utilize dados de uma **linha em funcionamento** são fornecidos indicadores de desempenho, como a utilização das estações, e os tempos de produção. Atividades e movimentações desnecessárias podem ser evitadas e as seqüências dos painéis podem ser estudadas para que os tempos de preparação dos equipamentos (conhecido como "set-up") sejam reduzidos determinando ganhos na produção.

O estudo de caso da linha apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta genérica de controle da fabricação de painéis. A generalidade ocorre devido ao fato de ter sido desenvolvida uma lógica que pode representar diferentes tipos de produtos, processos e recursos.

A simulação de uma linha em particular ou de painéis específicos, por exemplo, demandaria apenas a alteração dos arquivos externos (em formato de planilha ou arquivo texto), que devem ser lidos pela lógica no início da simulação.

A linha modelada representa quatro estações que possuem processos como ponteamento, soldagem, preparação dos equipamentos, acabamento e inspeção. A entrada de chapas e perfis foi realizada por conexões diretas, uma vez que as taxas de alimentação de peças consideraram os tempos de movimentação. A figura 3 apresenta o fluxo de materiais.

A **primeira estação** representa as atividades de recebimento, preparação, ponteamento e limpeza das chapas. As chapas são recebidas por conexão direta com um *pallet* posicionado no início da linha. O processo de ponteamento utiliza a solda do tipo MIG (*Metal Inert Gas*) e para cada cordão de solda (bainha) são aplicados dois passos de solda manual.

Na segunda estação são representadas as atividades de preparação do equipamento automático de solda, soldagem das chapas e marcação dos locais onde os reforçadores serão soldados. O preenchimento do cordão de solda é realizado por passes de solda do tipo Arco Submerso.

A linha simulada possui o equipamento de solda (carrinho) acoplado a um sistema de movimentação (semelhante a um pórtico). Após a soldagem é realizada a limpeza do cordão de solda e inspeção. Em seguida, é realizada a marcação com as posições onde serão soldados os reforçadores (primários e secundários).

Cortes ou aparos de arestas das chapas podem ser realizados nessa estação, para que o painel esteja adequado a montagem posterior dos blocos. Atividades de inspeção são realizadas com equipamentos de ultrasom, e podem ser aplicadas nas camadas de tintas protetoras dos cordões de solda.

Na terceira estação são inseridos e ponteados os reforçadores primários. Esses elementos são armazenados próximo à linha em suportes que os mantêm na posição adequada para sua retirada por equipamentos de movimentação. Os equipamentos que retiram os reforços utilizam ímãs para posicioná-los nas linhas onde serão ponteados.

A quarta estação representa a preparação do equipamento de solda, o processo de soldagem por filete duplo (soldagem simultânea dos dois lados dos reforçadores), limpeza e inspeção do cordão de solda. Além das quatro estações, foram criadas fontes de chapas e perfis. A taxa de fornecimento dessas fontes foi calculada para atender a

necessidade das estações da linha. A figura 3 apresenta o fluxo de materiais.

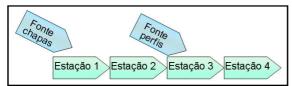


Figura 3: Fluxo de materiais nas estações da Linha de Painéis Planos.

O modelo simulou a fabricação de painéis planos de um tipo de embarcação segundo quatro diferentes estratégias de montagem de blocos. A figura 4 apresenta a tela do simulados com o modelo comentado. Abaixo da tela do simulador podem ser definidas telas com gráficos dinâmicos de utilização dos recursos.



Figura 4: Tela com o modelo de Linha de Painéis Planos.

A visualização do modelo representou os equipamentos e produtos, modelados em escala real. A representação tridimensional permite a análise dos espaços físicos ocupados, e facilita o acompanhamento da produção, no modelo, de forma intuitiva, uma vez que os tipos de painéis e estações podem ser rapidamente reconhecidos

Os equipamentos de soldagem das estações foram modelados com o programa DELMIA e importados para o simulador QUEST. As figuras a seguir apresentam a primeira estação (figura 5), o estoque de perfis posicionado ao lado da estação de ponteamento (figura 6) e o equipamento de soldagem da quarta estação (figura 7).

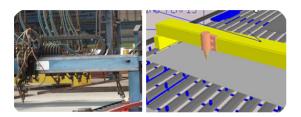


Figura 5: Modelagem da primeira estação de Linha de Painéis.



Figura 6: Armazenagem de perfis laterais à Linha de Painéis.



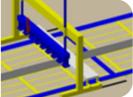


Figura 7: Modelagem da quarta estação da Linha de Painéis.

### 5.3 - Modelo de Montagem e Pré-edificação de blocos

O modelo desenvolvido auxilia estaleiros em funcionamento, e estaleiros que pretendem ampliar as áreas de produção ou instalar oficinas. Estaleiros em funcionamento podem utilizar a simulação como ferramenta adicional às práticas de controle da produção, e melhoria contínua dos processos. A capacidade real do sistema é verificada, auxiliando a validação de cronogramas com custos e prazos de entrega de navios.

No caso de estaleiros em fase planejamento, o modelo beneficia as decisões sobre o arranjo físico das áreas, considerando os espaços físicos ocupados por produtos (blocos ou anéis), e por recursos de movimentação (guindastes, pórticos, etc.). Os equipamentos e sistemas de transporte podem testados no modelo, além do compartilhamento desses recursos em diferentes processos.

A primeira versão do modelo teve o objetivo de apresentar a simulação como ferramenta de validação de um cronograma de produção agregada de um estaleiro em funcionamento. Nesse sentido, os produtos e processos modelados puderam ser representados com o mesmo nível de detalhamento do plano da produção.

Os blocos foram padronizados com peso médio de 40,3 toneladas de aço. Lotes de aço são direcionados para as estações de montagem e os blocos prontos são direcionados para as áreas de pré-edificação. Os anéis formados são movimentados para a edificação por macacos hidráulicos. A figura 8 apresenta o fluxo de materiais do modelo.



Figura 8: Fluxograma de materiais (Modelo de Montagem e Pré-edificação).

Os tempos relativos a pintura de blocos e a movimentação (de blocos e anéis) no estaleiro hipotético modelado foram considerados nas funções de tempo dos processos principais. Os blocos foram dimensionados em 144 m<sup>2</sup>; considerando uma área para estoque das submontagens e circulação. Os espaços montagem disponíveis para а foram dimensionados em 230 m<sup>2</sup>. A sequência de edificação e a quantidade de blocos que compõem os anéis são informações acessadas por arquivos externos que podem ser facilmente alteradas.

De acordo com o plano de produção, a montagem dos anéis de super estrutura foi considerada em áreas diferentes dos anéis que dividem a embarcação. Os blocos de superestrutura são fornecidos por uma segunda fonte, pois de acordo com o planejamento inicial esses blocos não seriam montados no mesmo local que os demais.

As embarcações prontas são enviadas para um elemento denominado *sink* que retira as peças do sistema e registra os tempos de término dos navios. A figura 9 apresenta a tela do simulador, com vistas específicas para áreas como a montagem (indicação 4), modelo geral (indicação 2), pré-edificação (indicação 3) e gráficos dinâmicos de utilização (indicação 1).

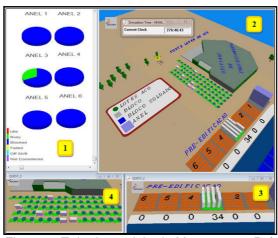


Figura 9: Tela do modelo de Montagem e Préedificação.

A figura 10 mostra o avanço do processo de pré-edificação. Na indicação 1 pode ser visto os blocos (elementos brancos) sendo pré-edificados. Em cada área de recebimento desses blocos existe um contador indicando a quantidade recebida por cada estação. Na indicação 2 o anel aparece formado (elemento azul), e na indicação 3 o anel foi direcionado para a área de edificação. Na indicação 4 é mostrada a embarcação pronta e um área préedificando o anel do segundo navio.

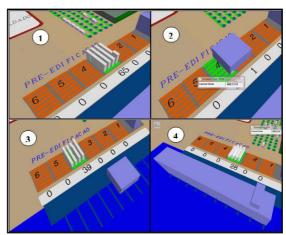


Figura 10: Telas do simulador com a Préedificação e Edificação dos blocos.

# 6 - Conclusões e Sugestões para trabalhos futuros

A gestão estratégica, apoiado pela simulação, possibilita a análise do ambiente em que o estaleiro está inserido e as conseqüências que as alterações nesse ambiente possam ocasionar na estratégia. Os ajustes no planejamento operacional, devido à mudanças na estratégia de médio e longo prazo também podem ser estudados com a ferramenta.

Os estudos de caso exemplificam a utilização de modelos para atender determinados objetivos, de acordo com as características dos processos e dos estaleiros.

No estudo do Pátio de aço a proposta para trabalhos futuros volta-se para a diferenciação de pilhas de chapas segundo "n" variáveis (obra, armador, dimensões, espessura, tipo de aço, etc.), o que permitiria o estudo das restrições de armazenagem na definição do arranjo físico.

No modelo de Linha de Fabricação de Painéis Planos podem ser simulados outros métodos de fabricação, que provoquem menor ocorrência de deformações nos painéis, como acontece quando os reforçadores secundários são soldados após a soldagem dos reforçadores primários.

O modelo de simulação da Montagem e Pré-edificação pode ser analisado incluindo a diferenciação de blocos, o que permitiria o estudo mais detalhado dos espaços ocupados por esses elementos e das atividades necessárias a movimentação dos mesmos. A inclusão dos sistemas de transporte de peças e produtos pode favorecer a análise das interferências e do compartilhamento desses recursos.

A integração de modelos existentes é uma questão que merece ser analisada, pois facilita a análise global produção, e as atividades de balanceamento dos ritmos produtivos. O simulador QUEST, escolhido para o desenvolvimento dos estudos de caso, possui ferramentas que automatizam o processo de integração de modelos, todavia, ainda são necessários testes para se definir a melhor forma de reaproveitamento dos modelos e bibliotecas de elementos.

Um dos desafios dos estaleiros nacionais para se inserir efetivamente no mercado mundial é a superação da defasagem tecnológica, particularmente na engenharia de processos. Nesse sentido, a simulação pode ter papel importante no suporte a decisões relacionadas com projetos de instalações, modernização de equipamentos e aperfeiçoamento instalações, e o processos, reduzindo tempos de construção e custos.

A aplicação efetiva da ferramenta demanda o conhecimento: da metodologia, dos processos específicos envolvidos, e das características da organização.

#### Referências Bibliográficas

BANKS, J., *Introduction to Simulation*. In: Proceedings of the Simulation Conference, pp. 7-13, 1999.

BAIR, F., LANGER, Y., CAPRACE, J.D., RIGO, P., Modelling, Simulation and Optimization of a Shipbuilding Workshop. COMPIT -Conference on Computer Applications and Information, Technology in the Maritime Industries, Hamburg, 2005.

CARSON, J. S. Introduction to simulation: Introduction to modeling and simulation. In: Proceedings of the Winter Simulation Conference, pp. 7–13, 2003.

GREENWOOD, A.G., VANGURI, S., EKSIOGLU, B., JAIN, P., HILL, T.W., MILLER, J.W., WALDEN, C.T., Simulation Optimization Decision Support System For Ship Panel Shop Operations. Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2005.

KASEMAKER,J., NIENHUIS, U., STEINHAUER, D., SACHER, C., The Benefits of Applying Simulation in Ship Production: Arguments Based on Examples from Industry. Hamburg, 2006.

KIM, H., LEE, J.K., PARK, J.H., PARK, B.J., JANG, D.S., Applying digital manufacturing technology to ship production and the maritime environment. Integ. Manuf. Syst., 2002.

KRAUSE, M., ROLAND, F., STEINHAUER, D., HEINEMANN, M., *Discrete Event Simulation: An Efficient Tool to Assist Shipyard Investment and Production Planning*, Journal of Ship Production, vol. 20, no. 3, 2004.

NIKOUKARAN, J., HLUPIC, V., PAUL, R.J., Criteria for Simulation Software Evaluation. Proceedings of the Winter Simulation Conference, 1998.

OKUMOTO, Y., HIYOKU, K., *Digital Manufacturing of Pipe Unit Assembly*. Journal of Ship Production, Vol.21, No.3, 141-145, 2005.

PARK, C., PARK, J., BYEON, G. KIM, H., KIM, J., Steel stock management on the stockyard operations in shipbuilding: a case of Hyundai heavy Industries. Production Planning & Control, Volume 17, Issue 1 January 2006.

PIRES Jr, F.C.M., An assessment of the Brazilian shipbuilding industry competitive potential. Journal of Ship Production, 15 (2); 114-125, 1999.

ROBINSON, S., *Discrete-Event Simulation:* From the Pioneers to the Present, What Next? Journal of the Operational Research Society, 2005.

SHANNON, E. R. *Introduction to simulation*. Proceedings of Winter Simulation Conference, 1992.

SHIN, J. G., LEE, K.K., WOO, J.H., KIM, W.D, LEE, J.H., KIM, S.H., PARK, J.Y., A Modeling and Simulation of Production Process in Subassembly Lines at a Shipyard. Journal of Ship Production, vol. 20, no. 2, 2004.

SHIN, J.G., WON, S., RYU, C.H., YIM, H., LEE, J.H., Object-Oriented Development of an Integrated System for Manufacturing Information of Roll Bending Process, In: Journal of Ship Production, vol. 18, no. 23, 2002.

SOUZA, C. M., SILVA, C.T., FREIRE, R.M., COSTERMANI, H., MENDES, Y., Uso da Simulação para a Análise Integrada de Estratégias de Construção. 22º Congresso, Sociedade Brasileira de Engenharia Naval, Rio de Janeiro. 2008.

STEINHAUER, D., KÖNIG, S.M., Simulation Aided Production Planning in Block Assembly, COMPIT -Conference on Computer Applications and Information, Technology in the Maritime Industries, 2006.

WILLIAMS, D., FINKE, D.A., Discrete for a Proposed shipyard steel Processing Facility. Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2001.