



24º Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore

Rio de Janeiro, 15 a 19 de Outubro de 2012

Simulação de processos de construção naval para análise de estratégias alternativas de edificação-simultânea

Luiz Felipe Assis (Escola Politécnica/UFRJ)
Florianio C. M. Pires Junior (COPPE/UFRJ e Escola Politécnica/UFRJ)
Clarice Trevisani (COPPE/UFRJ)
Roberto Moreira Freire (Escola Politécnica/UFRJ)
Marcos Baptista (Escola Politécnica/UFRJ)
, Bruno Portugal (Escola Politécnica/UFRJ)

Resumo:

Os processos de montagem, pré-edificação e edificação de blocos podem ser considerados críticos para grande parte dos estaleiros de construção naval. Essas fases construtivas apresentam alta complexidade de programação, principalmente no caso de construção simultânea de navios com grande número de blocos de portes e conteúdos de trabalho diferentes. Além das restrições técnicas, que exigem que determinadas seqüências de atividades sejam respeitadas, o compartilhamento de recursos de movimentação é outro desafio para a gestão de processos. O presente trabalho apresenta um modelo de simulação de eventos discretos para facilitar a análise dos principais processos que ocorrem durante a construção simultânea de navios. O modelo desenvolvido proporciona ferramenta genérica de estudo do comportamento de sistemas, sendo possível adequá-lo a diferentes tipos de estaleiros, ou navios, bastando apenas alterar a base de dados acessados. O estudo pretende mostrar o potencial da técnica no suporte à tomada de decisões estratégicas, e no controle do desempenho de sistemas produtivos.

1 – Introdução

A simulação de eventos discretos pode ser uma importante ferramenta de auxílio na validação de estratégias construtivas, identificação de gargalos e verificação de planos de produção. Alguns estaleiros europeus, como o Flensburger, Meyer Werft e o Aker Ostsee já reconheceram o potencial da técnica e a utilizaram para estudar processos de construção naval complexos. Dentre os benefícios obtidos pelos estaleiros destaca-se a redução dos tempos de uso do dique e aumento da produtividade das estações de trabalho (Steinhauer et al., 2006). O estaleiro alemão Flensburger, por exemplo, além do planejamento de investimentos e concepção de processos, utiliza a simulação de processos para análise de variações no plano de produção de blocos, e no planejamento das operações diárias do chão de fábrica.

Banks (1999) acredita que quanto maior for o custo de mudanças no sistema, ou de

aplicação de novos projetos, mais vantajosa se torna a simulação discreta para as organizações se manterem competitivas. O presente estudo volta-se para estaleiros que pretendem ampliar as áreas de produção, instalar novas oficinas e/ou tomar decisões sobre o arranjo físico geral do estaleiro e o fluxo de materiais. Dessa forma, podem ser testadas diferentes configurações de equipamentos e arranjo físico de estações de trabalho.

O modelo desenvolvido apóia os estaleiros considerados em fase de planejamento e implantação de operações no estudo dos recursos e procedimentos necessários para a montagem de blocos ou super-blocos de diferentes tamanhos. A carga de trabalho para diferentes tipos de navios e os impactos da inclusão de processos como a adição de "outfitting" nas etapas de montagem de blocos podem ser facilmente visualizadas com o modelo. A configuração de estações de trabalho (especializadas ou flexíveis) assim como o planejamento de construções

simultâneas são outras questões importantes que o modelo aponta.

A partir do momento em que o estaleiro se encontra em operação, surgem novas aplicações para o modelo utilizado, como o teste de diferentes sequências de produção e verificação da capacidade e desempenho das áreas, linhas e estações de trabalho. O comportamento do sistema sob diferentes condições e níveis de incerteza (paradas de equipamentos, interrupções no suprimento de matéria prima, etc.) é avaliado permitindo o estabelecimento de planos contingenciais.

Os processos de montagem, pré-edificação, pintura e edificação foram representados em um mesmo modelo, assim como, os sistemas e equipamentos de movimentação. A montagem de blocos corresponde à soldagem de painéis e submontagens formando estruturas maiores. Essa etapa é considerada crítica devido à enorme quantidade de peças e elementos estruturais que são enviados pelas estações anteriores.

Os anéis ou super-blocos são construídos segundo uma ordem previamente definida pelo departamento de projeto. Cada super-bloco possui uma quantidade específica de blocos e um tempo final de processo diferente por esse motivo (Kim, et. al., 2002). Para que a pré-edificação de blocos atenda os prazos estipulados é necessário que o processo de montagem desses blocos esteja operando em ritmo adequado.

A edificação corresponde ao último estágio de construção das embarcações. No início da maioria dos projetos de navais, os setores de planejamento do estaleiro definem toda a programação das atividades baseada nessa etapa. A estratégia de edificação interfere nas sequências de montagem, e no dimensionamento de estruturas (peso). Esse estágio também é considerado crítico, pois, normalmente, o ciclo de produção no berço de construção determina a capacidade de produção do estaleiro.

2 – Simulação da montagem, pintura, pré-edificação e edificação de blocos

O trabalho foi estruturado em etapas como o delineamento geral do problema e obtenção de dados de entrada para o modelo. A modelagem tridimensional de produtos e recursos foi realizada utilizando-se o programa DELMIA, e o modelo de simulação foi desenvolvido com o auxílio do programa QUEST, todos da DASSAULT SYSTEMES. O modelo foi verificado com ferramentas próprias do simulador e rotinas

computacionais foram desenvolvidas para representar o comportamento do sistema (de acordo com regras de operação), acessar a base de dados e gerar relatórios personalizados.

A simulação dos processos foi realizada para um estaleiro hipotético. As pistas das áreas de montagem de blocos planos e de blocos curvos foram dimensionadas em 220 metros de comprimento por 42 de largura e 220 metros de comprimento por 40 de largura, respectivamente. A área das cabines de pintura apresenta 35 m de comprimento e 210 m de largura, constituída de seis cabines. Foi definida uma área de estoque de blocos pintados de 60,5 m de largura e 220 m de comprimento. O espaço físico alocado para a pré-edificação permite que o processo seja realizado para até seis anéis simultaneamente. A figura 1 apresenta um esquema da planta modelada.

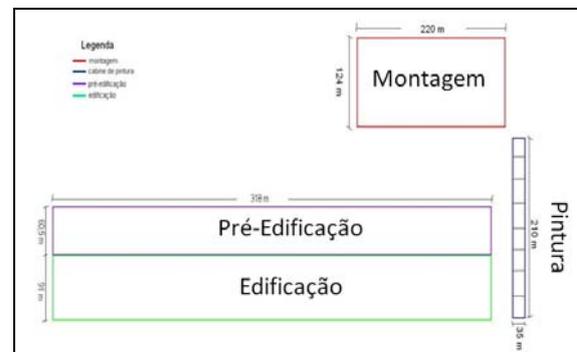


Figura 1: Esquema da planta modelada

Os navios selecionados são petroleiros do tipo Suezmax (270 metros de comprimento total, 260 metros entre perpendiculares, boca de 45,5 metros e 24 metros de pontal). Outros tipos de navios podem ser simulados, bastando apenas a alteração de arquivos externos que são acessados durante a sua execução do simulador.

Cada embarcação foi dividida em seis anéis, e cada anel foi dividido em seções contendo 21 ou 25 blocos (seções com anteparas).

A figura 2 mostra a embarcação modelada e uma seção (sem anteparas). O objetivo da modelagem tridimensional foi facilitar a visualização das características de cada elemento como dimensões, comprimentos de solda, posições de soldagem, etc. Em seguida, as informações levantadas sobre os produtos foram utilizadas para a realização do cálculo dos tempos dos processos.

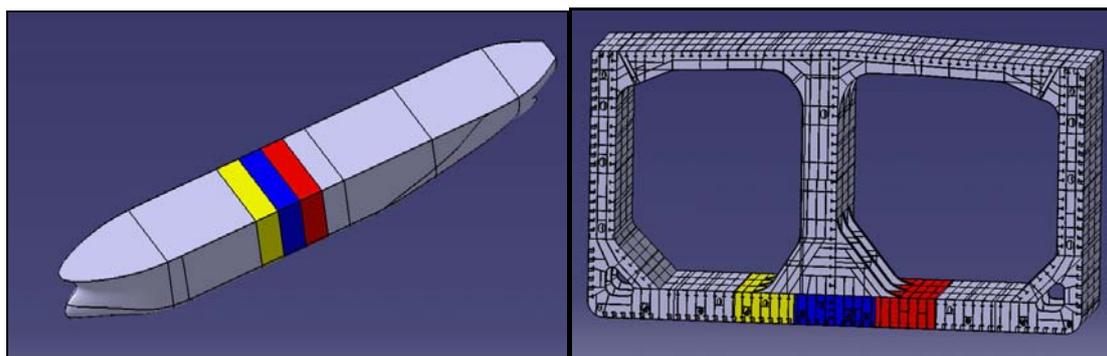


Figura 2: Embarcação e seção modelada em 3D (DELMIA)

Os arquivos externos criados para cada produto contêm suas principais características. Para os blocos e super-blocos (anéis) foram consideradas as dimensões, os comprimentos e posições de solda (vertical, horizontal, sobre-cabeça), o tipo de solda, complexidade de montagem, volume, peso e a quantidade de elementos. As seqüências de produção também foram organizadas em arquivos que podem ser alterados ou substituídos permitindo a simulação de diferentes planos de produção. As lógicas internas dos elementos do modelo que representam as estações de trabalho foram editadas para que se pudesse acessar certas informações e calcular as funções de tempo dos processos.

Alguns estaleiros incorporam o conceito de Tecnologia de Grupo e classificam seus produtos de acordo com as características ou atributos semelhantes. Quanto maior a padronização de produtos e processos, maior a economia de escala, e mais fácil torna-se a aplicação de técnicas para balanceamento das estações de trabalho, e redução de estoques (Lamb, 1998). As semelhanças entre certos blocos são mais facilmente identificadas. Devido a esse fato, muitos estaleiros já operam suas estações de montagem de blocos em linha de produção. Os blocos com complexidade maior de montagem, usualmente, são montados em galpões e necessitam de instrumentos como pontaletes reguláveis para serem posicionados.

No modelo, foi considerado que os blocos mais simples são montados em uma linha e blocos mais complexos (com curvatura acentuada, como os blocos da área de proa e popa) em outra. O processo de acabamento avançado foi representado com a adição de uma função de tempo nos processos de montagem dependendo de cada tipo de bloco. As velocidades do carro hidráulico, das pontes rolantes e dos pórticos foram obtidas por

fabricantes de equipamentos, e em todos os cenários simulados esses parâmetros foram representados por funções determinísticas.

O tempo do processo de pintura foi estimado com base em dados de um estaleiro em funcionamento. Esse processo ocorre em cabines onde é realizada a preparação de superfície dos blocos (jateamento por granalha de aço, por exemplo) para a retirada da possível camada de ferrugem e para garantir uma boa aderência da tinta protetora (Storch, et al, 1995). Em seguida, é realizada a limpeza de todo o bloco removendo a granalha existente em seu interior. O bloco recebe duas camadas de uma tinta especial que evita corrosão por um período longo de serviço.

3 – Desenvolvimento do modelo de simulação

A entrada de peças (inputs) para as estações e linha de montagem se dá a partir de um elemento chamado “fonte” que fornece conjuntos de peças e componentes de cada bloco do navio. A taxa de fornecimento desses conjuntos foi estimada de acordo com a capacidade de processamento de um estaleiro semelhante ao modelado.

Processos como montagem, pintura, a pré-edificação e edificação de blocos foram representadas por elementos do simulador conhecidos como “machines” e “conveyors” ou esteira (linha de montagem de blocos simples). A velocidade da linha foi definida considerando os tempos médios de montagem de cada bloco.

As áreas de montagem de blocos e a linha de produção possuem duas pontes rolantes e nas áreas de pré-edificação e edificação foram posicionados dois pórticos. Após serem montados os blocos são retirados pelas pontes rolantes e direcionados por carros hidráulicos para as cabines de pintura e em seguida, são deixados em áreas (“buffers”) até que sejam requisitados pelo processo de pré-edificação.

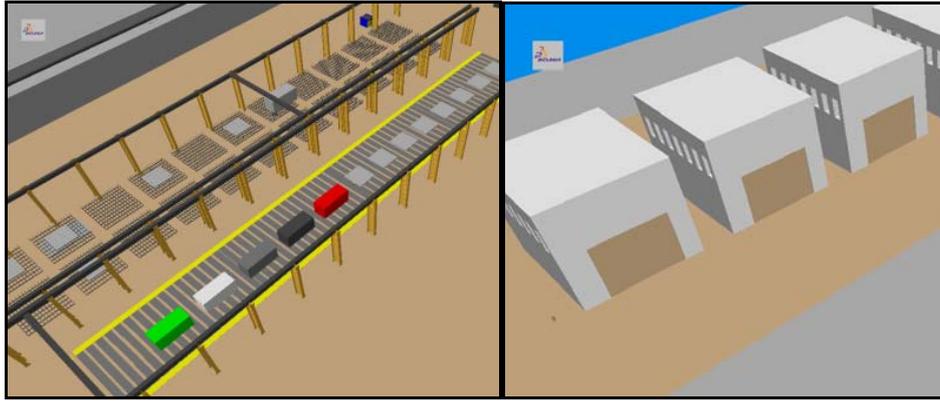


Figura 3: Estação e linha de montagem de blocos e cabines de jateamento e pintura

As áreas de pré-edificação que podem montar qualquer tipo de anel de qualquer tipo de navio. A estação que fizer a primeira solicitação de blocos, para montar seu respectivo anel ou super-bloco, obtém prioridade de recebimento dos blocos pintados contidos no estoque. Os blocos são movimentados por um dos pórticos. O equipamento de transferência dos anéis normalmente restringe o peso desses produtos.

A montagem de blocos, tanto na linha como nas áreas é feita de forma “empurrada”, ou seja, assim que os blocos ficam prontos são direcionados para a estação de pintura. Os processos de jateamento e pintura também funcionam de forma “empurrada”, fazendo com que os blocos pintados sejam direcionados para o estoque com capacidade física limitada. A figura 3 apresenta a linha, as áreas de montagem e as cabines de pintura dos blocos.

O processo de pré-edificação é realizado de forma “puxada”, sendo que apenas os blocos necessários são solicitados pelas áreas de montagem dos anéis. Foi criado um elemento para controlar o estoque de blocos pintados e verificar a necessidade das áreas de pré-edificação além da disponibilidade do estoque. A figura 4 apresenta o fluxo de materiais e a figura 5 mostra uma imagem do modelo em execução.

A lista de pedidos feita pelas áreas de pré-edificação é dinâmica e contém uma ordem de prioridade (fila de atendimento) e o tipo de bloco requisitado. Devido ao desbalanceamento provocado por diferentes conteúdos de trabalho, blocos com menor tempo de montagem podem ser enviados antes de serem requisitados pelos processos posteriores. Nesse caso, os blocos permanecem no estoque aguardando a solicitação da pré-edificação.

O desbalanceamento do processo de montagem de blocos é crítico, pois dependendo da quantidade de blocos que são enviados para o estoque, a capacidade de armazenagem torna-se insuficiente e o sistema entra em colapso. Assim, devido à restrição física, a questão do planejamento da produção pode comprometer seriamente a liberação de novos blocos para as áreas de montagem.

No modelo, quando o estoque atinge sua capacidade máxima e não possui o bloco solicitado pela pré-edificação foi criada uma alternativa que representa a priorização da montagem de um determinado bloco seja pela alocação em caráter emergencial de uma área, ou seja, pela subcontratação do produto. Essa alternativa se deu pela criação de um elemento controlador que aciona uma máquina especial, chamada conserto, para a produção do bloco solicitado.

A subcontratação é uma alternativa que deve ser sempre evitada, contudo, devido a erros no planejamento e incertezas do processo, pode ser uma opção necessária para que os prazos de construção sejam cumpridos. O funcionamento da máquina “conserto”, que produz os blocos a partir das condições citadas, evidencia o desbalanceamento das etapas de montagem dos blocos.

A figura 6 mostra fases da pré-edificação e a figura 7 mostra o fluxograma dos processos modelados. Os conjuntos de peças são enviados para as áreas de montagem de blocos curvos ou planos, em seguida os blocos são direcionados para as cabines de pintura. Caso o estoque esteja lotado a máquina conserto é acionada permitindo a alimentação das estações de pré-edificação. As estações de pré-edificação transferem os anéis para a área de edificação até que seja construído o navio.

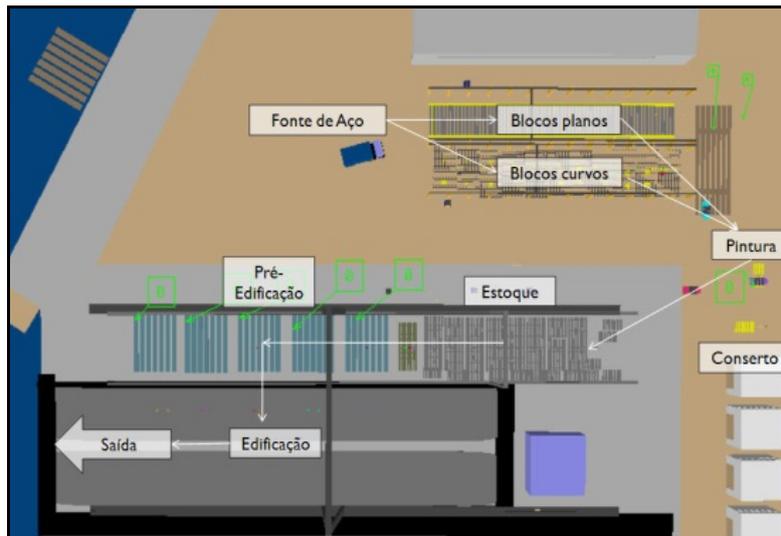


Figura 4: Fluxo de materiais



Figura 5: Modelo em execução

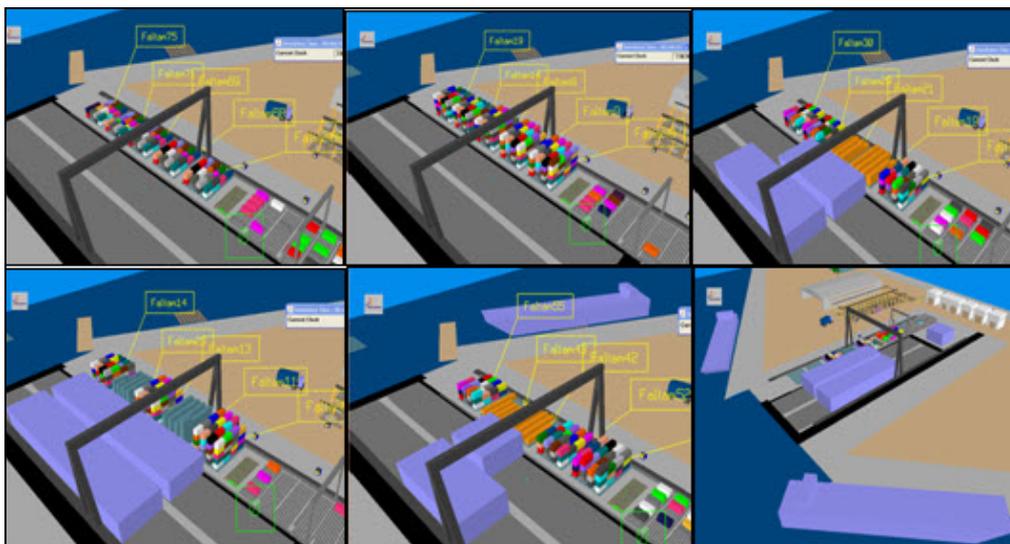


Figura 6: Fases da pré-edificação

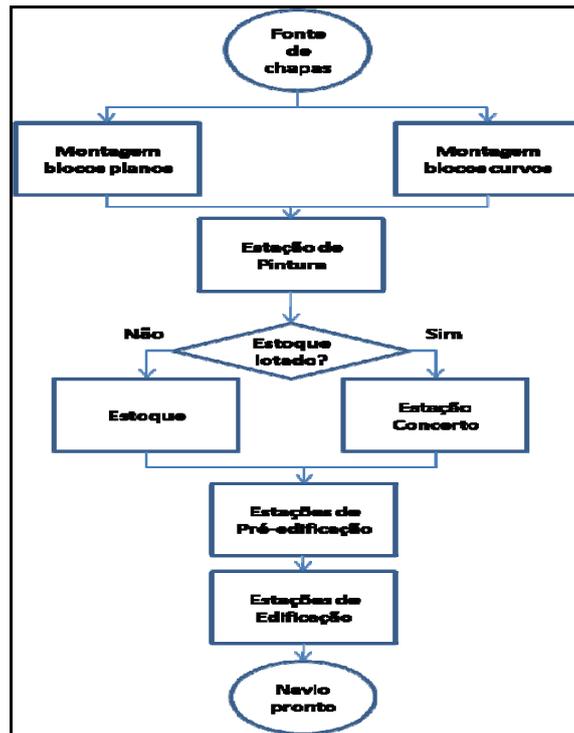


Figura 7: Fluxograma de processos do modelo

O modelo inicial representou os produtos de forma simplificada, e a versão atual em desenvolvimento já considera as geometrias dos produtos modeladas em 3D. Na versão inicial procurou-se testar as lógicas desenvolvidas para representar comportamento do sistema e objetivos específicos como associar geometrias, criar conexões entre elementos, etc.

No início da simulação é executado um procedimento que acessa todos os arquivos, e armazena as informações necessárias à produção, como os dados para o cálculo dos tempos do processo, os componentes dos produtos e a programação da produção. Esse artifício evita o acesso constante desses arquivos, o que tornaria lenta a execução do modelo. A ordem de edificação dos anéis para cada embarcação também deve ser informada antes da execução do modelo.

Um código escrito em linguagem SCL é executado no início da simulação e verifica a lista de tipos de blocos existentes, as propriedades de cada tipo de bloco, as propriedades de cada anel, a lista dos blocos que compõem cada anel, a seqüência de anéis, a seqüência de blocos a serem produzidos pelas estações de montagem, entre outros. O usuário deve fornecer a programação de blocos baseada na necessidade da pré-edificação. Como o modelo representa a construção de embarcações simultaneamente, a

programação deve conter a necessidade de todos os navios em um único arquivo.

4 – Descrição dos cenários

Com relação aos dados de entrada do modelo, algumas variáveis foram fixadas como o arranjo físico, as funções que representam os tempos dos processos, a velocidade dos sistemas de transporte, e a seqüência de edificação de embarcações simultaneamente construídas. No presente estudo foram alteradas a seqüência de montagem e pintura de blocos e a composição dos blocos (maiores ou menores dependendo da divisão estabelecida).

Como saída do modelo foram gerados indicadores como: gargalos, tempo de construção, tempo de permanência dos blocos pintados no estoque, fila na cabine de pintura, entre outros. Todos os cenários foram simulados considerando meses com 22 dias e dois turnos de trabalho. Foram realizadas 200 execuções para cada cenário e cada rodada foi interrompida após a construção da segunda embarcação. Foi definido ainda um tempo de aquecimento (“warm up”) para o sistema permitindo a tomada das estatísticas no momento onde o sistema atingiu seu ritmo padrão de produção. Os processos de montagem, pintura e pré-edificação foram representados pela distribuição Beta e o processo de edificação foi representado de forma determinística. A figura 8 mostra um

exemplo da curva de tempo apresentada pelo processo de pré-edificação.

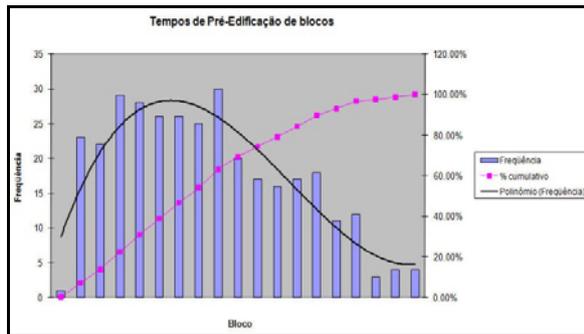


Figura 8: Distribuição dos tempos de pré-edificação dos blocos

O primeiro cenário simulado (modelo 1) considerou a montagem de blocos com peso médio de 40 toneladas de aço. Nesse cenário a colocação de acessórios (“outfitting”) foi estabelecida apenas nas etapas de pré-edificação. Diferentes seqüências de montagem e pintura de blocos foram testadas no modelo 2. O objetivo do primeiro cenário foi calibrar o modelo com um sistema semelhante em funcionamento.

O segundo cenário (modelo 3) simulou a montagem de blocos com peso médio de 100 toneladas de aço. A colocação de “outfitting” foi definida já na fase de montagem dos blocos. Para avaliar uma nova divisão de blocos foi necessária apenas a alteração dos arquivos das seqüências de produção e dos produtos. As velocidades dos sistemas de movimentação também foram adequadas ao transporte de blocos mais pesados. No segundo cenários procurou-se exemplificar o uso do modelo como suporte a análise de estratégias de construção considerando-se diferentes divisões de blocos, ou seja, blocos com diferentes pesos e características. A tabela a seguir apresenta as principais características do modelo 1 e 2 (cenário 1) e do modelo 3 (cenário 2).

Tabela 1 - Características dos modelos

Modelos	Características
1	Seqüência (I) de montagem e pintura de blocos
2	Seqüência (II) de montagem e pintura de blocos
3	Sistema com nova divisão de blocos (blocos com 100 t)

5 – Análise dos resultados

No primeiro cenário, o modelo 1 apresentou falta de blocos específicos para a pré-edificação, mesmo com o estoque lotado, além de maior tempo para a construção dos navios em comparação com o sistema em funcionamento semelhante ao modelado. O tempo médio de construção do primeiro navio foi de 8,92 meses e do segundo foi de 8,97 meses. A partir desse modelo foram testadas algumas seqüências de montagem até a escolha de uma que proporcionasse menor tempo de construção (aproximadamente sete meses) e menor período de espera por blocos pintados para os processos posteriores. A figura abaixo mostra a diferença de tempos do modelo 1 e do modelo 2.

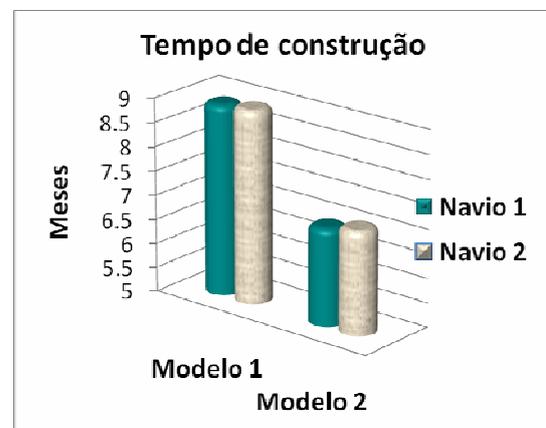


Figura 9: Tempo de construção de navios (modelo 1 x modelo 2)

No modelo 3 (segundo cenário) foi simulada uma nova divisão de blocos (blocos com 100 toneladas). Nesse modelo foi adicionado na montagem de blocos um percentual de tempo correspondendo à realização do processo conhecido como “pré-outfitting”. Os modelos 2 e 3 apresentaram como gargalo a fase de pré-edificação. Fato evidenciado pelo acúmulo de blocos pintados no estoque. Assim, a redução das atividades de colocação de acessórios na pré-edificação, uma vez que foram iniciadas na etapa de montagem permitiu uma melhora nos tempos médios de construção dos navios e nos tempos de uso do dique como mostra a figura 10.

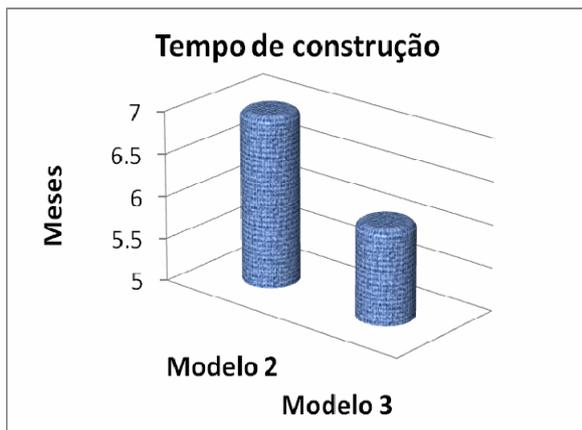


Figura 10: Tempo de construção de navios (modelo 2 x modelo 3)

Quando os gargalos são identificados devem ser estudadas suas causas como, por exemplo, o ritmo mais acelerado ou mais lento de algum processo, seja por falta ou excesso de recursos ou ineficiência da gestão. Para que o sistema seja balanceado é importante adequar o ritmo de produção. No caso do modelo 2 e 3 a alimentação das estações de montagem poderia ser desacelerada, reduzindo, dessa forma os níveis de estoque de blocos.

Outra análise que pode ser feita se refere ao processo de pré-edificação que por ser crítico para a construção dos navios deve ser controlado visando o levantamento de alternativas que otimizem sua realização. A colocação de outfitting, por exemplo, na fase de montagem de blocos permite uma redução do tempo de pré-edificação e edificação. Todavia possíveis riscos de retrabalho devido à deformação de estruturas sendo essas mais pesadas e maiores devem ser estudados. Cabe ao estaleiro avaliar os pontos positivos e negativos relacionados às estratégias de construção da melhor forma possível e utilizando as ferramentas adequadas. A simulação é uma das técnicas que auxilia esse tipo de tomada de decisões apresentando indicadores de desempenho do sistema sob diferentes cenários e circunstâncias.

6 – Conclusões e trabalhos futuros

Os modelos desenvolvidos são voltados para estaleiros em fase de projeto e planejamento que estão definindo seus equipamentos e arranjo físico das estações e áreas de trabalho. A construção de blocos maiores oferece a oportunidade de antecipação do processo de colocação de “outfitting” que é, em caso de blocos menores, somente iniciado a partir da etapa de pré-

edificação. Essa estratégia exige, normalmente, equipamentos de movimentação de maior porte além de maiores áreas para a montagem e estocagem.

A simulação suporta a análise de custo-benefício sobre a aquisição de equipamentos, e implementação de diferentes estratégias de construção, fluxo de materiais, entre outros. Outra vantagem que deve ser destacada se refere aos modelos que podem ser reaproveitados pelos estaleiros, uma vez que estes já estejam em funcionamento. Dessa maneira, os modelos servem como ferramenta de controle das operações e validação de planos de produção.

Os modelos apresentados são flexíveis e permitem a caracterização de diferentes produtos, recursos e processos a partir da leitura de arquivos externos, que podem ser facilmente alterados.

A modelagem das regras operacionais e edição de lógicas computacionais foram as etapas mais crítica do estudo devido a complexidade de desdobramentos que são visualizados apenas após a execução do modelo.

Como desenvolvimento futuro, pretende-se ampliar o modelo, integrando etapas como processamento, tratamento e a armazenagem do aço. Outro recurso a ser implementado é o desenvolvimento de um modelo paramétrico onde as rotinas sejam executadas e alteradas de forma mais rápida e o usuário final possa criar modelos de forma mais automatizada. Nesse caso os modelos poderiam representar sistemas mais complexos com alto nível de detalhamento e aproximação com a realidade, contando com tempo reduzido de desenvolvimento.

7 – Referências bibliográficas

- BANKS, J. *Introduction to Simulation*. In: Proceedings of the Simulation Conference, pp7-13, 1999.
- KIM, H., LEE, J.K.; JANG, D.S. *Applying digital manufacturing technology to ship production and maritime environment*. Integrated Manufacturing Systems, Vol. 13 no. 5, 2002.
- KRAUSE, M. et. al. *Discrete Event Simulation: An Efficient Tool to Assist Shipyard Investment and Production Planning*. Journal of Ship Production, vol. 20, no. 3, 2004.
- LAMB, T. *Group Technology in Shipbuilding*. Journal of Ship Production, 1988.
- SOUZA, C. M. et. al.,. *Uso da Simulação para Análise Integrada de Estratégias de*

Construção Naval. 22º Congresso, Sociedade Brasileira de Engenharia Naval, Rio de Janeiro, 2008.

STEINHAEUER, D.; KONIG M. *Simulation Aided Production Planning in Block Assembly. COMPIT - Conference on Computer Applications and Information, Technology in the Maritime Industries, 2006.*

STORCH, R. L. et., al. *Ship Production. Centreville, Maryland: Cornell Maritime Press, 1995.*