22º CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO, CONSTRUÇÃO NAVAL E OFFSHORE - SOBENA 2008

Uso da Simulação para Análise Integrada de Estratégias de Construção

Cassiano M. Souza[1], Clarice Trevisani d. S[1], Roberto M. Freire[2], Hugo Costermani[3], Yuri Mendes[2]
[1] Programa de Engenharia Oceânica – COPPE/UFRJ
[2] Departamento de Engenharia Naval e Oceânica – POLI/UFRJ
[3] Departamento de Engenharia Mecânica – POLI/UFRJ

Resumo

O trabalho desenvolvido apresenta a aplicação da simulação no planejamento e organização de estações de trabalho e na análise integrada de processos críticos como a montagem de blocos e edificação.

Os modelos representam oficinas de um estaleiro hipotético dedicado à fabricação de navios tanque *Suezmax*.

A metodologia desenvolvida pode fornecer suporte à tomada de decisões no que se refere ao planejamento da produção, dimensionamento de recursos e estabelecimento de regras de trabalho.

A estrutura do corpo paralelo de um navio *Suezmax* típico foi modelada tridimensionalmente. Para cada peça da estrutura foi determinada identificação própria, permitindo o entendimento de suas necessidades e processos inerentes.

Duas frentes de análise foram estabelecidas de forma independente. A primeira corresponde a modelos com diferentes configurações para a montagem de blocos e a segunda corresponde ao processo de edificação.

O modelo de montagem de blocos avalia problemas de agrupamento de blocos em estações de trabalho específicas e de dimensionamento de estações de trabalho.

No modelo de edificação foram avaliadas diferentes estratégias (anel, camada e piramidal), avaliando-se a utilização de recursos e tempos de produção.

Em seguida, os modelos foram integrados. A integração permitiu verificar como as interferências entre as duas áreas consideradas podem alterar de forma relevante os cenários de produção.

Introdução

O conceito de Tecnologia de Grupo aplicado à construção naval subdivide as embarcações em produtos intermediários ou famílias de produtos baseado nas características similares dos processos produtivos. Dessa forma, os processos podem ser racionalizados com a eliminação de atividades que não agregam valor.

As famílias de produtos classificadas a partir de processos similares precisam compartilhar as mesmas facilidades, o que pode gerar ineficiência, atrasos, estoques, e altos custos. Assim, o gerenciamento de operações precisa estar de acordo com as restrições de recursos, caminho críticos, marcos do contrato, prazos e especificações da demanda (Spicknall, 1995).

A formação de células de trabalho especializadas ou linhas de produção podem incrementar a utilização de recursos; gerar economias de escala; e reduzir o tempo total de ciclo de produção para diferentes famílias com a produção em paralelo.

A estratégia de edificação incorpora e comunica todo o planejamento da produção para uma embarcação específica, série de contratos ou específico estaleiro (Lamb, 1994).

São diversas as razões para o estudo de diferentes estratégias de edificação, entre elas: (a) assegurar que os processos irão respeitar as restrições e requisitos do estaleiro, do cliente final, e do ambiente de negócios; e (b) permitir o planejamento de operações táticas a partir de ordens de produção, fluxo de materiais, programação da produção.

A simulação é utilizada no presente estudo como ferramenta para avaliar diferentes agrupamentos de produtos intermediários e seqüências de produção adotadas em diferentes áreas de produção, com relação aos impactos no volume de produção e na produtividade de um estaleiro hipotético.

Após a definição da forma mais adequada de classificação de produtos foram estabelecidas diferentes alternativas de configurações de recursos.

O dimensionamento das estações de trabalho da oficina de montagem de blocos foi realizado em etapa posterior.

Os resultados obtidos indicam, para o estaleiro hipotético modelado, a melhor estratégia de classificação de produtos intermediários e as quantidades de cada tipo de estação de trabalho.

A edificação é o último estágio da produção de estruturas, mas é a primeira atividade a ser considerada para o planejamento e programação de atividades.

O processo de edificação também é considerado crítico uma vez que o ciclo de produção no berço de construção determina, normalmente, a capacidade de produção de um estaleiro.

No entanto, nem sempre a melhor seqüência de edificação é, também, a melhor seqüência a ser adotada em outras oficinas da área de estruturas de um estaleiro.

Uma vez avaliada a melhor estratégia de edificação, em função dos tempos de produção e utilização de recursos, pode-se avaliar a melhor seqüência de chegada dos blocos para atender à estratégia selecionada.

A infra-estrutura computacional disponível no LABSEN (Laboratório de Simulação de Processos para a Construção Naval, da COPPE/UFRJ) é utilizada para a modelagem da estrutura de produtos, processos e recursos de um estaleiro hipotético. Essa modelagem é feita com o sistema DPE (*Delmia Process Engineer*), que permite a definição de diferentes estratégias de agrupamento para os produtos intermediários.

Cada tipo de agrupamento corresponde a um conjunto de estações de trabalho, especializadas na produção de um grupo de produtos intermediários.

A árvore de produtos, processos e recursos definida no DPE foi exportada para o sistema QUEST (simulação de eventos discretos) para realização da simulação e avaliação dos volumes e tempos de produção.

Os modelos básicos para avaliação de estratégias de agrupamento possuem apenas uma estação de trabalho de cada tipo. Dessa forma, selecionou-se a estratégia de classificação que apresentou o melhor desempenho.

Para análise da melhor estratégia de edificação fixou-se, inicialmente, uma seqüência de chegada dos blocos na área de edificação. Definida essa seqüência, os processos de edificação foram modelados considerando-se as restrições específicas associadas a cada estratégia de edificação.

Metodologia

Os modelos desenvolvidos são baseados em uma estrutura que relaciona estações de trabalho, produtos, processos e recursos. Os produtos, processos e recursos necessários para a realização de atividades específicas são reunidos em estações de trabalho destinadas a essas atividades.

Os modelos têm característica modular baseada nas estações de trabalho, que poderão ser incluídas, retiradas ou modificadas no sentido de considerar alternativas de processos e recursos disponíveis.

Os modelos têm capacidade para avaliar diferentes estratégias de construção (considerando o *mix* de produção e as instalações), e os respectivos tempos de produção, produtividade global e ocupação das estações de trabalho.

Também é possível identificar gargalos e avaliar o impacto de mudanças no fluxo de materiais e no aumento da produtividade de processos específicos.

Como parte do delineamento geral do problema, selecionou-se um tipo de embarcação, e definiu-se o mapeamento e classificação de todos os elementos estruturais.

A embarcação selecionada foi do tipo *Suezmax* e todos os elementos do corpo paralelo, proa e popa foram levantados.

No entanto, nesta primeira fase, devido a dificuldades de modelagem 3D das seções do navio com curvaturas complexas, optou-se por considerar apenas o corpo paralelo da embarcação.

As dificuldades referentes às partes curvas do casco da embarcação já foram identificadas, e alternativas para que tais partes sejam incluídas nos modelos futuros já estão sendo planejadas.

Também faz parte do delineamento do problema a obtenção de informações sobre processos e recursos. Com relação aos processos foram definidas áreas do estaleiro, e associados os respectivos produtos intermediários.

Informações referentes ao conteúdo de trabalho necessário para processar cada um dos produtos intermediários foram levantadas e armazenadas em banco de dados.

Com as informações de produto e de conteúdos de trabalho foram obtidos os tempos de processos.

Desenvolveu-se uma metodologia para o cálculo dos tempos, uma vez que dados reais de produção não estavam disponíveis. O cálculo dos tempos de ciclo de processos exigiu esforço considerável devido ao nível de detalhamento de processos adotado.

Com relação aos recursos foi realizado um levantamento de facilidades e especialidades de trabalhadores normalmente requisitadas para os processos de construção naval.

Os modelos demonstram o potencial da ferramenta de simulação, tanto em relação à visualização do produto, como em relação à capacidade de geração de informações e realização de análises.

Os dados referentes aos produtos, processos e recursos alimentaram modelos no DPE para análise de tempos de ciclo de processos e para preparar o modelo a ser construído no simulador de eventos discretos QUEST.

O DPE permite que a estrutura de produtos seja modelada de forma simples e intuitiva, ampliando o conhecimento do produto a ser fabricado e facilitando a análise de processos e de dimensionamento dos recursos necessários para a produção eficiente.

Ao longo do trabalho de implantação do modelo na plataforma Delmia, foram estabelecidos: os fluxos de materiais, as lógicas de processos e de roteamento, detalhes de visualização e posicionamento de elementos, e configurações para sistemas de movimentação de partes e componentes encontrados em um estaleiro.

Definição da embarcação-tipo

Pode-se destacar como uma das dificuldades encontradas no processo de modelagem do produto a falta de dados e informações.

O LABSEN não dispunha de um projeto de navio contendo os desenhos de produção com detalhes que seriam necessários para fazer o desenvolvimento completo do modelo de simulação. O primeiro passo foi, portanto, definir uma embarcação-tipo que pudesse ser modelada levando em consideração a escassez de dados.

A embarcação escolhida foi um navio *Suezmax*, com as seguintes características:

Comprimento total – 270,0 m
Boca – 45,5 m
Pontal – 24,0 m
Capacidade – 145.000 tpb

Foi utilizado um modelo de seção-mestra com detalhes dos elementos estruturais do navio em estudo, suficientes para elaborar o protótipo de áreas de um estaleiro.

A partir da seção mestra disponível foi possível realizar a contagem e a identificação de cada elemento estrutural para o corpo paralelo da embarcação.

Para visualização preliminar do produto a ser modelado, foi gerado plano de linhas respeitando as características principais citadas anteriormente.

O plano de linhas foi exportado para o sistema Delmia de modelagem 3D de produtos. A figura 1 apresenta uma representação das linhas da embarcação modelada. E a figura 2 apresenta imagens retiradas do sistema Delmia com a modelagem de elementos. Os blocos que formam um anel definido a partir da seção-mestra são apresentados na figura 3.

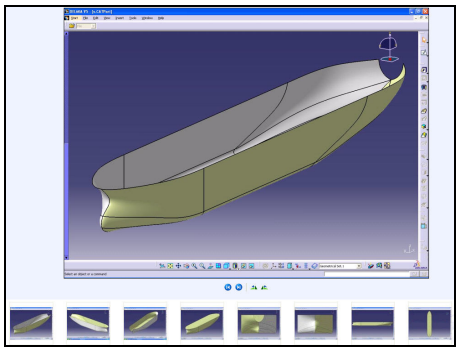

Figura 1 – Representação das linhas da embarcação modelada

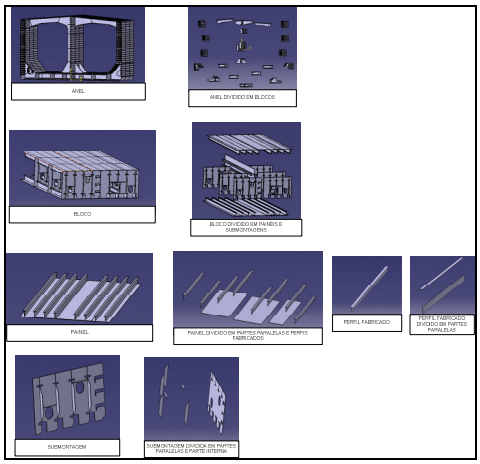

Figure 2 – Modelo 3D orientado à produtos.

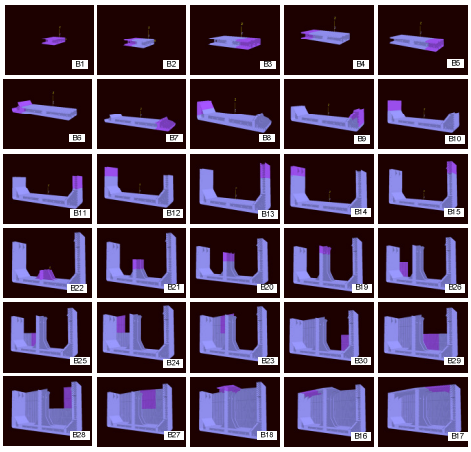

Figura 3– Modelagem do anel dividido em blocos.

Estratégias de Edificação

As Figuras 4, 5 e 6 a seguir ilustram cada uma das estratégias de edificação adotadas neste trabalho.

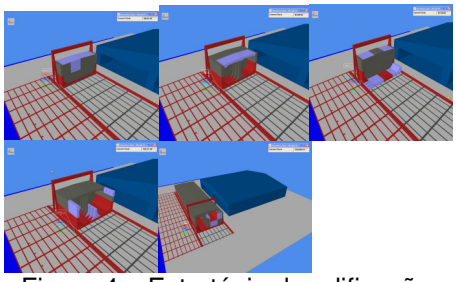

Figura 4 – Estratégia de edificação por anéis

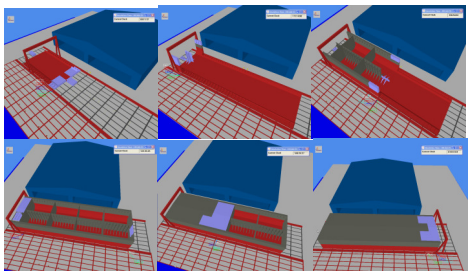

Figura 5 – Estratégia de edificação por camadas

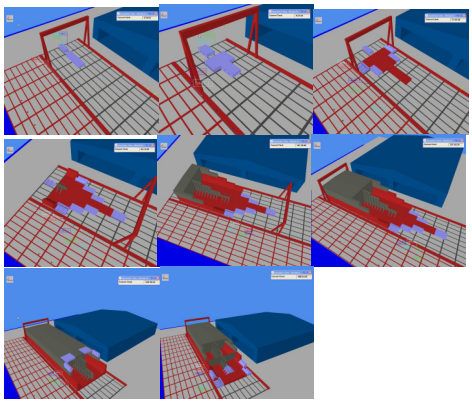

Figura 6 – Estratégia de edificação piramidal

Agrupamento de Blocos

Cada configuração adotada, segundo a estratégia de agrupamento, corresponde a um conjunto de estações de trabalho especializadas na produção de cada grupo de produtos intermediários assumidos.

Para cada agrupamento foi gerado um modelo DPE o qual, posteriormente, foi exportado para o sistema QUEST para simulação e avaliação dos volumes e tempos de produção.

Na Figura 7 são apresentadas imagens dos blocos utilizados no modelo de oficina de montagem de blocos e na área de edificação.

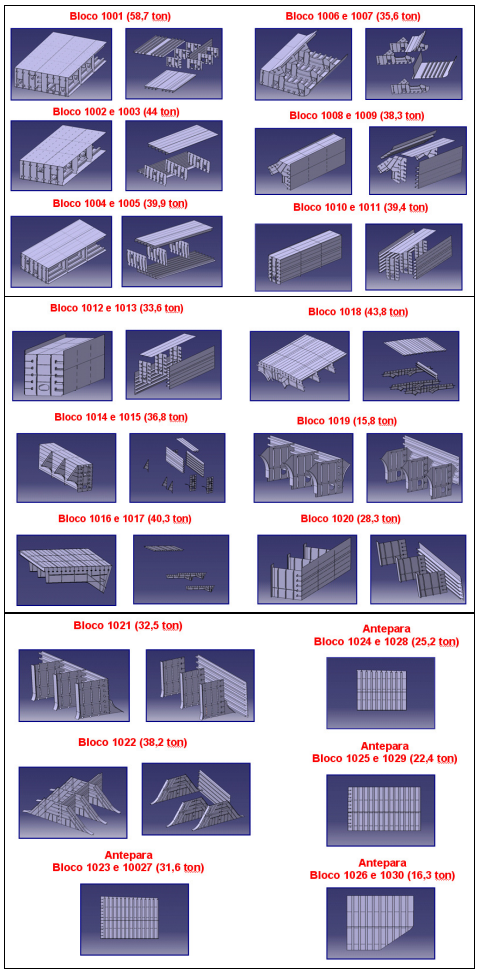

Figura 7 – Blocos modelados

Inicialmente, foram identificadas e classificadas as famílias de produtos intermediários (blocos planos) a partir de determinados atributos como: características físicas, comprimentos de solda na posição horizontal (*flat*), peso dos blocos e número de elementos (submontagens e painéis).

As Figuras 8, 9, 10 e 11, com as classificações citadas, são apresentadas a seguir.

CLASSE 1 Blocos Complexos	1001, 1006, 1007, 1008, 1009, 1022
CLASSE 2 Blocos Fechados	1002, 1003, 1004, 1010, 1011, 1012, 1013, 1014, 1015
CLASSE 3 Blocos Abertos	1021, 1020, 1019, 1026, 1025, 1024, 1023, 1030, 1029, 1028, 1027, 1018, 1016, 1017

Figura 8 – Agrupamentos 1 (Características Físicas)

CLASSE 1 Comprimento de Solda Flat: **de 70 à 141,8 m.**	1001, 1010, 1012, 1013, 1014, 1015, 1018
CLASSE 2 Comprimento de Solda Flat: **de 35,3 à 64,5 m.**	1002, 1003, 1004, 1005, 1008, 1009, 1011, 1016, 1017, 1021
CLASSE 3 Comprimento de Solda Flat: **de 8,4 à 26,6 m.**	1006, 1007, 1019, 1020, 1022, 1023, 1024, 1025, 1026, 1027, 1028, 1029, 1030

Figura 9 – Agrupamentos 2 (Comprimento de solda na posição horizontal)

CLASSE 1 Peso dos Blocos: de 38,3 à 58,7 toneladas.	1001, 1002, 1003, 1004, 1005, 1008, 1009, 1010, 1011, 1016, 1017, 1018
CLASSE 2 Peso dos Blocos: de 33,6 à 38,2 toneladas.	1006, 1007, 1012, 1013, 1014, 1015, 1022
CLASSE 3 Peso dos Blocos: de 15,8 à 32,5 toneladas.	1019, 1020, 1021, 1023, 1024, 1025, 1026, 1027, 1028, 1029, 1030

Figura 10– Agrupamentos 3 (Peso dos Blocos)

CLASSE 1 – Conjunto de elementos Blocos formados por: 3 Painéis e 6 Submontagens, 4 Painéis e 6 Submontagens	1001, 1006, 1007, 1014, 1015, 1018
CLASSE 2 – Conjunto de elementos Blocos formados por: 2 Painéis e 3 Submontagens, 3 Painéis e 3 Submontagens	1002, 1003, 1004, 1005, 1008, 1009, 1010, 1011, 1012, 1013
CLASSE 3 – Conjunto de elementos Blocos formados por: 1 Painéis e 3 Submontagens, 1 Painéis e 6 Submontagens, 1 Painéis e 0 Submontagens,	1016, 1017, 1019, 1020, 1021, 1022, 1023, 1024, 1025, 1026, 1027, 1028, 1029, 1030

Figura 11 – Agrupamento 4 (Número de Painéis e Submontagens)

Procedimento Geral de Análise

O processo de análise se inicia com a consideração de uma estratégia de edificação que define uma seqüência. Essa seqüência passa a ser adotada também na fase de montagem de blocos.

A partir da seqüência de edificação e de montagem de blocos são testados diferentes agrupamentos de estações de trabalho na oficina de montagem de blocos, e é realizado um dimensionamento de estações de trabalho nessa mesma oficina onde são levantadas informações sobre a produção e estoques.

Em seguida o modelo de edificação usa essas informações para calcular o tempo integrado de produção, considerando-se as atividades na oficina de montagem de blocos e na área de edificação. Para cada uma das três estratégias de edificação um ciclo de análise como o descrito é realizado.

A Figura 12 apresenta um esquema do procedimento geral da análise.

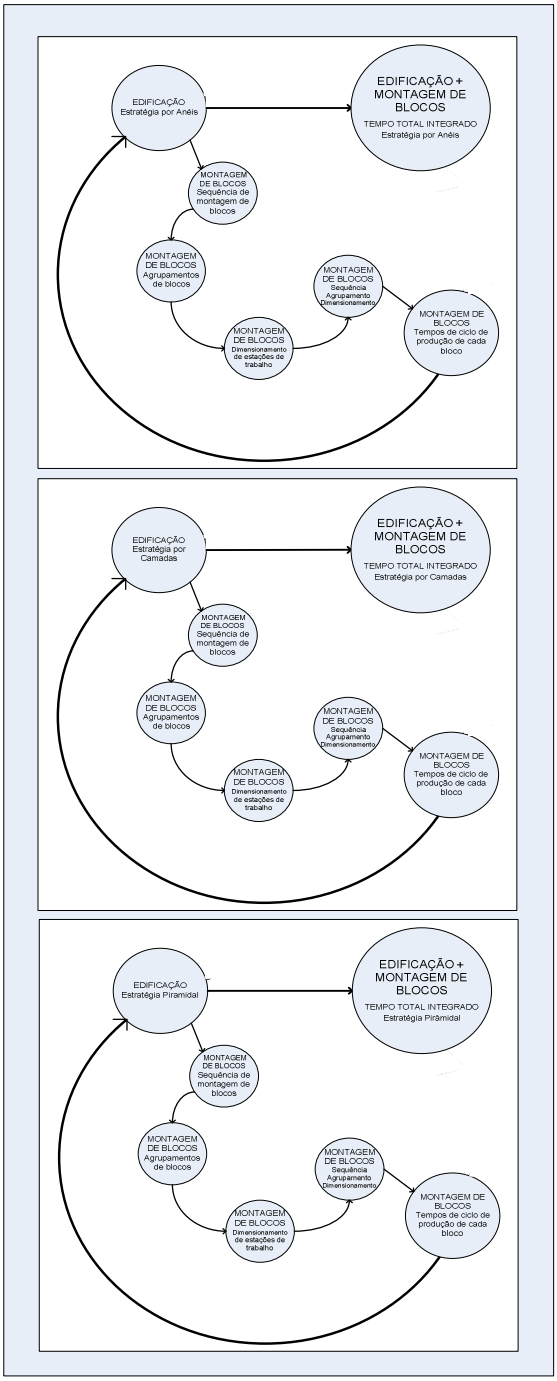

Figura 12 – Procedimento geral de análise

Descrição geral dos modelos de montagem de blocos

Os modelos foram configurados para a produção do corpo paralelo de um navio tipo *Suezmax*. Considerou-se para a simulação o tempo de 2086 horas que correspondem a 40 horas semanais de trabalho.

Devido ao fato de não haver dados operacionais disponíveis que pudessem representar falhas no modelo, foram adicionadas taxas de falhas a todas as estações de trabalho estimadas com uma distribuição normal ocorrendo de 8 em 8 horas (desvio padrão de 2 horas) e tempo de reparo/retrabalho de 20 minutos, apenas para fins ilustrativos.

Os tempos de montagem de blocos apresentam distribuição triangular e foram calculados segundo o comprimento de solda e ao fator de complexidade de cada tipo de bloco.

O modelo desenvolvido para a oficina de montagem de blocos é apresentado na Figura 13.

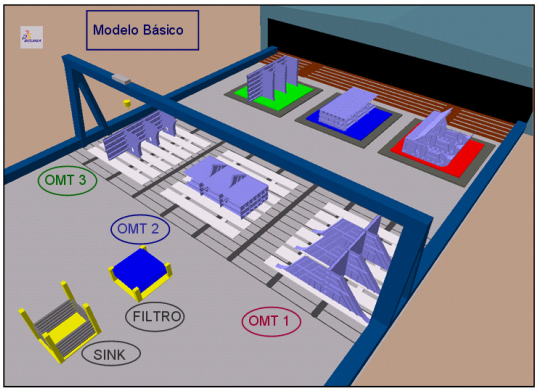

Figura 13 – Modelo da oficina de montagem de blocos

O processo se inicia com uma fonte que realiza a leitura de uma tabela com peças (componentes dos blocos) e com seus respectivos roteiros, ou seja, define-se para quais oficinas o grupo de componentes deve ser encaminhado.

A lógica de roteamento utilizada na fonte impede que peças de um mesmo bloco sejam distribuídas aleatoriamente pelas estações, garantindo que as estações recebam sempre as peças necessárias para a montagem de um determinado bloco.

Realizada a etapa de montagem, os blocos são movimentados por uma única ponte

rolante que os deixa em áreas de acumulação (*buffers)* específicas para cada classe de bloco.

Dos *buffers* os blocos são enviados para uma máquina filtro. Essa máquina permite que os blocos montados sejam requisitados na ordem adequada de forma a considerar a estratégia de edificação previamente escolhida.

A máquina filtro envia os blocos na seqüência correta para um *sink* (dissipador). O *sink* possui uma lógica de processo, onde os tipos de blocos e seus tempos de chegada são armazenados em uma tabela que será usada na integração do modelo de edificação. Essa tabela representa a disponibilidade dos blocos produzidos para aproveitamento na análise da edificação integrada.

Análise de agrupamentos

Os modelos de simulação desenvolvidos de acordo com a estratégia de edificação foram testados para cada tipo de agrupamento. O tempo de simulação foi de 2086 horas. Realizaram-se diversas replicações (20) e efetuou-se o cálculo das médias dos valores encontrados.

A produção foi avaliada no seu estado de equilíbrio (contínuo), estabelecendo-se tempo de aquecimento do sistema (*warm up*) de 600 horas.

Os resultados do modelo de simulação são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Foram avaliadas as utilizações de cada oficina de montagem de blocos presente nos modelos de simulação onde cada agrupamento apresentou diferentes taxas de utilização dependendo da estação (OMT) avaliada, como observado no Gráfico 1.

Tabela 1 – Estoques para seqüência de montagem por anéis

Agrupa-mento	Cascos produzidos	Nº. de Blocos para edificação	Total de blocos produzidos
1	1,27	414,25	490,50
2	1,28	416,00	524,95
3	1,06	345,10	415,55
4	1,56	507,00	604,00

Tabela 2 – Estoques para seqüência de montagem por anéis

Agrupa-mento	Estoques			
	OMT 1	OMT 2	OMT 3	TOTAL
1	8,60	36,65	31,00	76,25
2	8,10	54,00	46,85	108,95
3	10,90	31,65	27,90	70,45
4	36,00	10,00	51,00	97,00

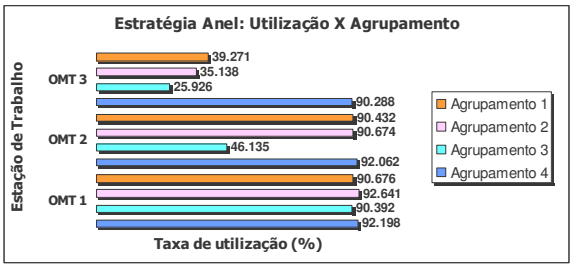

Gráfico 1 – Agrupamentos (Anel) – Taxas de utilização x Estações de trabalho (OMT).

Com base nos resultados obtidos, optou-se pelo agrupamento 4 para a estratégia de edificação por Anel . Esse agrupamento apresentou maior produção de cascos em um ano (1,56), produziu mais blocos e teve produção mais adequada à estratégia escolhida.

O agrupamento mais adequado para estratégia de edificação por Camada também foi o agrupamento 4, ou seja, com blocos agrupados por número de painéis e submontagens (Os resultados são apresentados nas Tabelas 3 e 4 e no Gráfico 2. Neste caso, o agrupamento do tipo 4 apresentou maior produção de cascos em um ano (1,61), produziu mais blocos e teve produção mais adequada a estratégia escolhida. A média das taxas de utilização por estações de trabalho também obtiveram melhor desempenho.

Tabela 3 – Produção para seqüência de montagem por camadas

Agrupa-mento	Cascos produzidos	Nº. de Blocos para edificação	Total de blocos produzidos
1	0,92	301,00	301,00
2	1,40	456,85	488,80
3	1,14	372,60	386,90
4	1,61	526,00	564,00

Tabela 4 – Estoques para seqüência de montagem por camadas

Agrupa-mento	Estoques			
	OMT 1	OMT 2	OMT 3	TOTAL
1	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,05	17,15	14,75	31,95
3	0,05	13,50	0,75	14,30
4	10,00	0,00	28,00	38,00

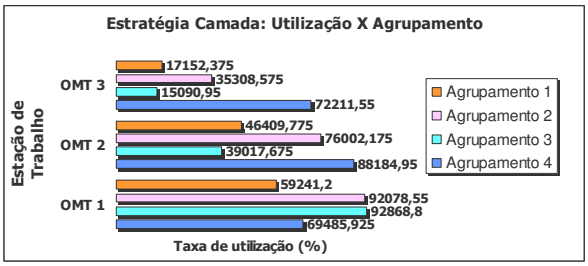

Gráfico 2 – Agrupamentos (Camada) - Taxas de utilização x Estações de trabalho (OMT).

Em relação à estratégia de edificação por pirâmide (ver Tabelas 5 e 6 e Gráfico 3), o agrupamento 4 também mostrou-se como o mais adequado. Apresentou melhores resultados com relação à produção de cascos número de blocos produzidos e nivelamento das taxas de utilização de cada oficina.

Tabela 5 – Produção para seqüência de montagem piramidal

Agrupa-mento	Cascos produzidos	Nº. de Blocos para edificação	Total de blocos produzidos
1	1,46	477,00	523,00
2	1,49	487,00	544,00
3	1,18	384,85	421,75
4	1,68	547,00	597,00

Tabela 6 – Estoques para seqüência de montagem piramidal

Agrupa-mento	Estoques			
	OMT 1	OMT 2	OMT 3	TOTAL
1	0,00	29,00	17,00	46,00
2	0,00	30,00	27,00	57,00
3	0,10	20,20	16,60	36,90
4	18,00	0,00	32,00	50,00

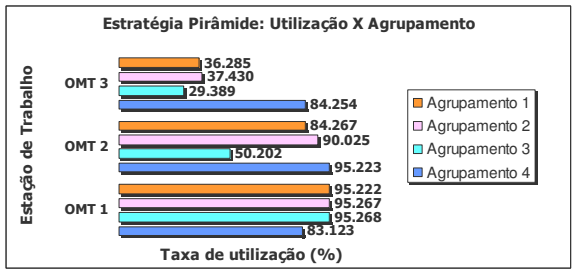

Gráfico 3 – Agrupamentos (Pirâmide) - Taxas de utilização x Estações de trabalho (OMT).

Dimensionamentos de estações de trabalho

Como visto anteriormente, os modelos foram desenvolvidos de acordo com cada estratégia de edificação e selecionados a partir do melhor agrupamento. No caso, o agrupamento 4, blocos foram classificados por número de elementos, foi o melhor para todas as estratégias.

Posteriormente os modelos para cada uma das estratégias de edificação, considerando-se o agrupamento de melhor desempenho, foram dimensionados para fazer a comparação entre níveis de produtividade e de estoques.

Nesse sentido, foram testadas algumas configurações de dimensionamento tendo em vista o volume de produção, a utilização das estações de trabalho e a capacidade de absorção dos blocos produzidos pelo modelo de edificação.

O tempo de simulação foi novamente considerado como 2086 horas. Realizaram-se 20 replicações e calcularam-se as médias de todos os valores encontrados. A produção foi avaliada em estado de equilíbrio (adotou-se tempo de *warm up* de 600 horas).

Os modelos de dimensionamento foram, inicialmente, definidos por 4 estações de trabalho contendo:

- Uma estação de montagens de blocos do tipo 1 (OMT 1)
- Duas estações de montagem de bloco do tipo 2 (OMT 2)
- Uma estação de montagem de bloco do tipo 3 (OMT 3)

A segunda configuração de dimensionamento com 7 estações de trabalho foi definida contendo:

- Duas estações de montagens de blocos do tipo 1 (OMT 1)
- Três estações de montagens de blocos do tipo 2 (OMT 2)

- Duas estações de montagens de blocos do tipo 3 (OMT 3)

A seguir serão apresentados gráficos com os resultados das simulações para configurações com 4 estações de trabalho (dimensionamento 1) e com 7 estações de trabalho (dimensionamento 2), e para cada seqüência de montagem.

Gráfico 4 – Estratégia Anel - Nº. de blocos Produzidos vs. Dimensionamentos (1 e 2)

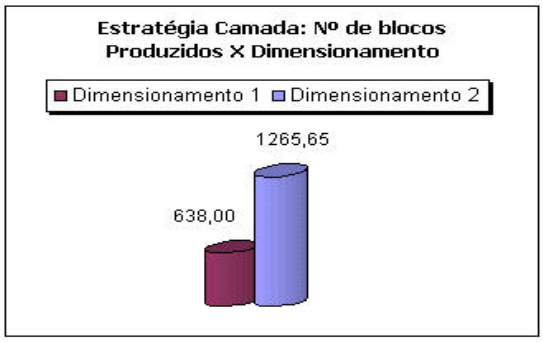

Gráfico 5 – Estratégia Camada - Nº. de blocos Produzidos vs. Dimensionamentos (1 e 2)

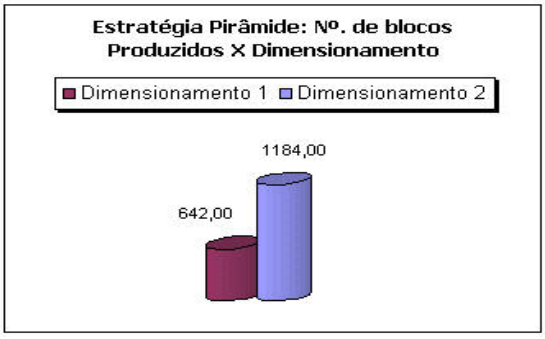

Gráfico 6 – Estratégia Pirâmide - Nº. de blocos Produzidos vs. Dimensionamentos (1 e 2)

Nos modelos que continham apenas uma estação de trabalho de cada tipo (OMT 1, OMT 2, e OMT 3), o agrupamento por número de elementos apresentou melhor desempenho nos modelos de simulação desenvolvidos para todas as estratégias de edificação.

Vale ressaltar que o agrupamento por número de elementos utilizou uma classificação de blocos a serem produzidos por estações de trabalho básicas. Assim cada estação de trabalho (OMT 1, OMT 2, e OMT 3) produziu um grupo específico de blocos.

As configurações com o tipo de agrupamento escolhido (agrupamento 4) demonstraram maior volume de produção (porcentagem de casco de uma embarcação tipo *Suezmax* produzidos), maior número de blocos montados, e taxas de utilização niveladas.

O dimensionamento dos modelos selecionados para cada estratégia de edificação foi estabelecido determinando o incremento de uma estação de trabalho do tipo OMT 2, tornando assim, o modelo com o total de quatro estações. E em seguida o modelo foi configurado para conter duas estações do tipo OMT 1 e OMT 3 e três estações do tipo OMT 2.

Foram testadas outras configurações de dimensionamento (maior número de estações de trabalho) em função do fato de que o espaço reservado para a área de montagem de blocos comporta mais estações, contudo houve o acúmulo considerável de estoques de blocos, já que os equipamentos de movimentação não suportariam a maior demanda.

Análise de estratégias de edificação

Os modelos de edificação foram inicialmente avaliados de forma independente, ou seja, sem integração com o modelo de montagem de blocos.

O objetivo principal foi identificar diferenças entre as estratégias consideradas e o impacto da mudança da velocidade do guindaste de pórtico em cada estratégia.

Assumiu-se, neste caso, que há sempre blocos no estoque pronto para serem edificados, implicando que não há esperas para o processo de edificação.

Os tempos de soldagem foram calculados a partir do comprimento de solda. Para efeito da análise realizada considerou-se que quanto maior o número de interfaces, maior variação dos tempos de solda. Assim, adotou-se uma distribuição triangular simétrica para o tempo de solda, com variações de 10%, 20% e 30% em relação à moda dependendo do tipo de bloco.

Foram consideras duas velocidades para o guindaste de pórtico da área de edificação: 360 m/h (dado padrão do sistema Quest) e 1800 m/h (Kim et. al., 2002).

O número de trabalhadores (onde cada trabalhador representa, no modelo, equipes de trabalho), foi alterado de 1 até 10.

Observou-se que em todas as estratégias, o tempo de edificação se estabiliza a partir de 5 grupos de soldadores (Gráficos 7 e 8).

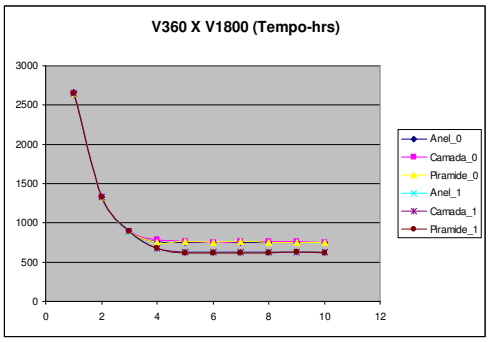

Gráfico 7 – Tempo de edificação vs. Número de trabalhadores

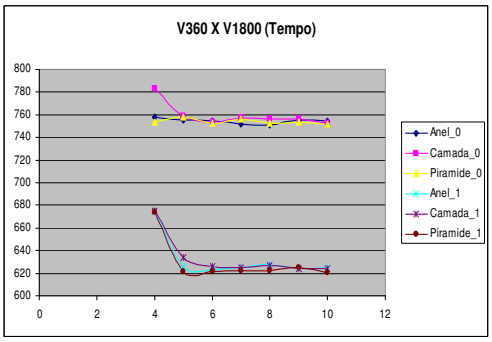

Gráfico 8 – Tempo de edificação vs. Número de trabalhadores (Detalhe)

As quantidades ótimas de trabalhadores, quatro para a velocidade 360 m/h, e cinco para a velocidade de 1800 m/h, (conforme ilustrado nos Gráficos 7 e 8), são observadas quando a utilização do pórtico fica maior que a dos trabalhadores.

Além disso, quando se diminui a quantidade de trabalhadores, a utilização do pórtico também é reduzida, pois os processos de solda são interrompidos por mais tempo.

A segunda etapa do modelo foi realizada utilizando os dados de saída do modelo de montagem de blocos. Esses dados de saída consideraram o melhor agrupamento e dimensionamento.

Nesse estudo, a simulação foi realizada considerando-se apenas a quantidade ótima de trabalhadores para a velocidade de 1800 m/h. Os tempos totais de edificação, utilização das equipes de solda e utilização do pórtico foram obtidos para 20 replicações do modelo integrado.

Os Gráficos 9 e 10 mostram os resultados obtidos.

Observa-se que o dimensionamento das estações de trabalho da oficina de montagem de blocos e a seqüência de montagem de blocos influenciam diretamente os resultados do modelo integrado.

Da análise do modelo integrado pode-se concluir que a estratégia de edificação por anéis é a mais eficiente em termos de tempo total de produção para quatro estações de montagem de blocos. No entanto, se o número de estações aumenta, a melhor estratégia passa a ser a piramidal.

Observou-se também que a melhor seqüência de edificação não é a melhor seqüência a ser disparada na oficina de montagem de blocos. Devido às diferenças de tempo de ciclo de produção entre os blocos considerados, a seqüência disparada para montagem de blocos é diferente da seqüência de chegada dos blocos na área de edificação.

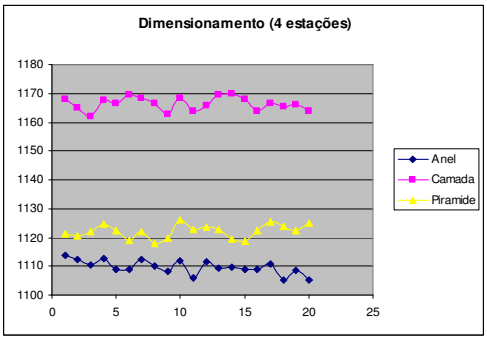

Gráfico 9 – Tempo total integrado com quatro estações de montagem de blocos

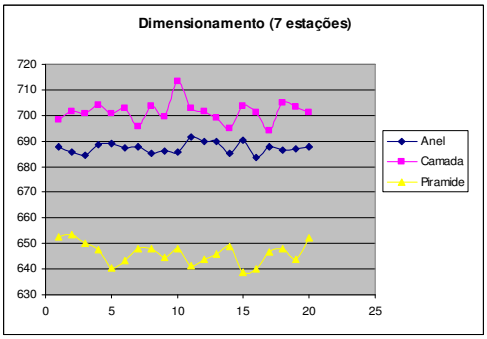

Gráfico 10 – Tempo total integrado com sete estações de montagem de blocos

Conclusões

A simulação mostrou-se uma ferramenta útil para avaliar problemas de programação da produção na construção naval.

O planejamento nesse setor desenvolve métodos para minimizar os efeitos de mudanças no design de produtos e atrasos, além de melhorar a utilização de recursos e tomadas de decisão.

Através dos modelos desenvolvidos foi possível analisar o comportamento de diferentes áreas da produção em um estaleiro de forma independente e também integrada.

Os resultados finais indicam que conclusões relevantes podem ser alcançadas e que a ferramenta de simulação pode ser aplicada com sucesso na construção naval brasileira.

Como sugestão para trabalhos futuros considera-se a utilização de dados reais de um estaleiro e a inclusão de blocos de proa e a popa da embarcação-tipo, bem como a consideração de processos de *outfitting* nos modelos de simulação de montagem de blocos.

Bibliografia

Kim, H., Lee, J.K., and Jang, D.S., Applying digital manufacturing technology to ship production and maritime environment. Integ. Manuf. Syst., 2002, 13 (5), 295-305.

Lamb T., H. Chung, M. Spicknall, J. Shin, J. Woo, and P. Koenig. “Simulation-Based Performance Improvement For Shipbuilding Processes”, *Proceedings of the World MaritimeTechnology Conference and Exposition (Annual Meeting of the Society of Naval Architects and Marine Engineers),* San Francisco, CA, October17-20. 2003.

Spicknall, M., UMTRI Marine Systems Division Final Report: Evolution of Shipbuilding Simulation Tools Using Realistic Shipyard and Product Constraints, NSWC-CD and Westinghouse Machinery Technology Division, January 1995.