



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

Rio de Janeiro, 25 a 29 de Outubro de 2010

Desenvolvimento de metodologia de projeto de estaleiro

Julio Vicente Rinaldi Favarin (Centro de Estudos em Gestão Naval)
Marcos Mendes de Oliveira Pinto (Centro de Estudos em Gestão Naval POLI – USP)
Caio Henrique Dias Requena (Centro de Estudos em Gestão Naval)
Luiz Fernando Soggia Soares da Silva (Centro de Estudos em Gestão Naval)

Resumo:

Este trabalho desenvolve uma metodologia genérica de projeto de estaleiro e a aplica para a concepção de um estaleiro de Embarcações de Apoio Marítimo (EAMs) de grande porte. Estudos¹ recentes apontam a existência de demanda latente para construção de EAMs. Grande parte dessa demanda origina-se da necessidade da Petrobras em apoiar os campos do pré-sal e outros recém adquiridos. Só o Plano de Expansão e Modernização da Frota de EAMs (PROREFAM) da empresa prevê a licitação de 146 embarcações nos próximos anos², das quais mais de 50% são particularmente complexas. Por outro lado, os estaleiros brasileiros atuantes neste segmento estão capacitados a construir apenas EAMs de pequeno e médio porte, havendo assim, oportunidade para novos estaleiros voltados à construção de EAMs de grande porte. É nesse contexto que o presente trabalho propõe uma metodologia de projeto de estaleiro, composta de duas etapas: a primeira dimensiona as etapas produtivas, definindo equipamentos necessários para a capacidade desejada e o layout de cada oficina; a segunda distribui as oficinas na área disponível, segundo um algoritmo que minimiza o fluxo de material. A aplicação do método a um estudo de caso gerou uma redução no fluxo de material dentro do estaleiro da ordem de 40%

¹ Comissão Especial de Petróleo e Gás do Governo de São Paulo (CESPEG) e Centro de Estudos em Gestão Naval (CEGN).

² Apenas um primeiro lote de 24 embarcações já teve o processo licitatório iniciado.

1 -Introdução

O cenário atual é bastante favorável à indústria nacional de construção naval.

O aquecimento do setor, decorrente das novas descobertas do Pré-sal, somado às políticas públicas de incentivo à indústria, abre espaço para o surgimento de novos players no mercado.

A Petrobras licitará, apenas através do PROREFAM, 146 embarcações de apoio marítimo (EAM), que deverão ser construídas em estaleiros nacionais. Desses, 50% possuem complexidade maior do que aquela suportada pelo perfil tecnológico nacional atual, o que torna este um nicho extremamente atrativo para novos entrantes.

Dado esse contexto, este trabalho propõe uma metodologia genérica para projeto de estaleiros aplicada ao caso da construção de EAMs de grande porte.

O trabalho é dividido em três etapas. A primeira lista sucintamente as atividades desempenhadas em cada oficina de um estaleiro. A segunda levanta quais e quantos equipamentos são utilizados, propondo, em seguida, um *layout* para a disposição dos mesmos. A terceira é responsável por determinar o *layout* do estaleiro segundo método proposto.

A última etapa subdivide-se em outras três. Primeiramente, enumera-se os princípios teóricos envolvidos no processo de arranjo físico e explicita-se a metodologia empregada. Em seguida, propõe-se *layouts* viáveis e avaliados segundo critérios julgados relevantes para o projeto. Por fim, define-se uma função objetiva e avalia-se as propostas em busca da melhor alternativa.

2 - Processos produtivos

A construção de embarcações é traduzida pelas atividades desenvolvidas em cada uma das oficinas. O mapeamento e o entendimento de tal dinâmica são determinantes no projeto de um estaleiro.

O levantamento de tais atividades foi feito através de revisão bibliográfica, informações de estaleiros brasileiros e conhecimento prévio adquirido em outros estudos do mesmo setor.

Dado o foco do estudo em projetar o estaleiro, menor atenção foi destinada à caracterização dos processos. Serão apenas mencionadas as atividades gerais de cada uma das oficinas, de forma a contextualizar o cenário em que o presente estudo se insere.

Um estaleiro pode ser dividido em sete oficinas ou áreas, mostradas a seguir.

1. Processamento de chapas e perfis;
2. Tubulação;
3. Pintura;
4. Mecânica;
5. Elétrica;
6. Sub-montagem e montagem;
7. Edificação.

2.1 - Processamento de chapas

O processo dessa oficina pode ser separado em três etapas: estoque, tratamento superficial e corte.

O estoque de aço (chapas e perfis) é feito ao ar livre em área próxima à entrada do estaleiro. Em seguida, essas chapas e perfis são encaminhados para o tratamento superficial.³

Posteriormente, o material é encaminhado para o corte. Lá, além dos cortes, são feitas a marcação, a seleção e a distribuição das peças.

2.2 - Tubulação

A oficina de tubulação é responsável pela fabricação das redes de distribuição de óleo hidráulico, óleo lubrificante, combate a incêndio e descarga de gases.

2.3 - Pintura

A oficina de pintura recebe os blocos⁴ montados e os submete ao tratamento abrasivo (jateamento) e pintura.

Após esse tratamento, os blocos são levados a uma área anexa ao dique, onde é feita a montagem das seções.

2.4 - Mecânica

A oficina mecânica é responsável pelas seguintes atividades: montagens mecânicas, pequenas usinagens, carpintaria e fabricação de peças e acessórios de aço.

2.5 - Elétrica

A oficina elétrica é responsável pelas atividades de fabricação de painéis elétricos,

³ Tratamento utilizado para retirar impurezas e imperfeições da superfície dos materiais.

⁴ A embarcação pode ser dividida em diversas unidades. Bloco é a menor delas. São caracterizadas por representarem unidades completas e acabadas.

demarradores⁵, passagem do caminho mecânico dos cabos, lançamento dos cabos no navio, instalação de equipamentos, ligação das fiações, teste dos equipamentos e componentes elétricos, entre outros.

2.6 - Submontagem e montagem

Fechando o ciclo de construção estrutural da embarcação, tem-se os processos de submontagem e montagem, responsáveis pela construção dos painéis (planos e curvos) e pela montagem dos blocos e seções finais, respectivamente.

O processo global pode ser descrito como:

1. Junção das placas;
2. Solda ponto para fixação das mesmas;
3. Soldagem completa da junção;
4. Marcação dos furos e da localização dos diversos perfis;
5. Dobragem das placas e perfis, no caso de painéis curvos;
6. Colocação dos perfis e solda ponto para fixação;
7. Soldagem dos perfis;
8. Armazenagem dos painéis;
9. Junção dos painéis;
10. Formação dos blocos.

Depois, os blocos são enviados para a pintura e, em seguida, para regiões anexas ao dique para montagem dos blocos e seções.

Trata-se de um processo de montagem cujas características podem variar de estaleiro para estaleiro, em quesitos como grau de automação, terceirização de/para outros estaleiros e grau de pré-outfitting⁶ embutido.

2.7 - Edificação

É o processo de montagem final da embarcação onde os blocos são juntados e soldados, segundo uma sequência pré-definida. Ele ocorre no dique ou na carreira e pode contar com pôrticos de até 100t para movimentação dos blocos ou seções.

3 - Dimensionamento das oficinas

O dimensionamento das oficinas partiu da divisão das embarcações em subcomponentes e a consequente estimativa de seus pesos. Com estes dados calculou-se

⁵ Chave de partida para motores elétricos.

⁶ Trata-se do processo de acabamento (instalação da tubulação, pisos, parte elétrica, etc) no bloco em vez da embarcação, reduzindo tempo de ocupação do dique e cais para esse processo.

a quantidade de equipamentos necessária e propõe-se um arranjo para os mesmos em cada estação de trabalho.

3.1 - Parâmetros do projeto

Estudos de mercado recentes⁷ apontaram que existe uma demanda latente para a construção de EAMs. Grande parte dessa demanda origina-se na necessidade da Petrobras em desenvolver os campos do pré-sal e outros recém adquiridos.

A capacidade de produção dos atuais estaleiros brasileiros de EAMs é de duas a três embarcações por ano. Alguns estaleiros internacionais, com maior escala e mais modernos, chegam a produzir até 7 EAMs por ano, de diversos tipos. Definiu-se como premissa para este projeto a concepção de um estaleiro moderno para padrões brasileiros, com capacidade de produção de 4 EAMs de grande porte por ano (equivalente em conteúdo de trabalho a 6 EAMs de menor complexidade).

As características principais da embarcação a ser produzida no estaleiro projetado foram baseadas em um "ROV Supply Vessel (RSV)", com dimensões principais similares a de um AHTS de grande porte. ROVs são sistemas oceânicos não tripulados responsáveis por realizar tarefas a profundidades impróprias para o homem. Os RSVs são embarcações complexas que acomodam esses sistemas não tripulados, servindo como base de apoio⁸.

A partir do projeto de uma embarcação desse tipo apresentado em Maues e Dias (2009), adotou-se os seguintes valores: 100m de comprimento, 20m de boca, 6m de calado e 3.000t de peso leve.

O passo seguinte consistiu em definir o número de máquinas necessárias para a construção de quatro AHTS por ano. Mostrou-se necessário realizar duas quebras do peso do navio: por tipos de painel e por componentes. As quebras são apresentadas na Tabela 1 e na

Tabela 2 respectivamente. Esses dados foram utilizados para a estimativa do número de equipamentos.

⁷ Como aqueles contidos no Prospecto definitivo da OSX (disponível em www.osx.com.br) e nos resultados da Comissão Especial de Petróleo e Gás do Estado de São Paulo – CESPEG.

⁸ As informações sobre RSVs foram obtidas no trabalho de Maues e Dias (2009).

Tabela 1 -Peso do navio por tipo de painel

Tipos de Painéis	%	Massa (t)
Micro painéis	15%	315
Painéis planos	60%	1260
Painéis curvos	25%	525

Tabela 2 -Peso do navio por componente

Componente	% do peso total	Massa (t)
Chapa	60%	1.800
Perfil	10%	300
Equipamentos	20%	600
Acessórios	5%	150
Tubulação	3%	90
Pisos	1%	30
Cabos e outros	1%	30

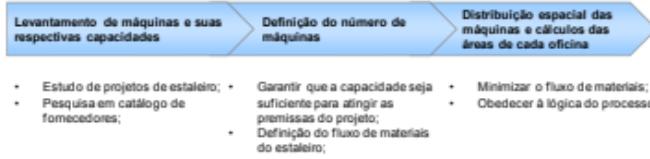


Figura 1 -Metodologia de definição do Layout das oficinas

É necessário o uso de tecnologias compatíveis com um nível tecnológico⁴ 4 como requisito para garantir a equivalência de custos de mão-de-obra entre estaleiros brasileiros e estaleiros coreanos. O único estaleiro de nível 4 no Brasil é o Atlântico Sul, projetado para produzir anualmente quatro navios petroleiros Suezmax de 45.000 toneladas de peso leve e que conta com uma capacidade de içamento na edificação de 1.500 toneladas. Calcula-se que a quantidade de blocos é de 30 por embarcação, valor adotado neste projeto.

Para cada oficina, foram listadas as máquinas relevantes para a definição de seu layout e calculada a área ocupada pelo arranjo sugerido. Máquinas portáteis não

Outra informação necessária para a estimativa de capacidade das máquinas e áreas de armazenagem intermediárias é a quantidade de blocos para a edificação. Usualmente, esse número depende da configuração produtiva do estaleiro e é calculado a partir de simulações numéricas que avaliam aspectos operacionais e financeiros. Entretanto, esse processo iterativo e longo, em busca de uma solução ótima, é incompatível com um projeto conceitual, a não ser que já se tenha um modelo que possa ser adaptado para o estaleiro em questão.

Na metodologia proposta neste trabalho, desenvolveu-se um procedimento mais simples, em que, baseado em um projeto já existente, se estima a ordem de grandeza para o número de blocos da embarcação a ser produzida. Ao se fazer isso, assumiu-se implicitamente que o procedimento de dimensionamento foi corretamente executado para aquele projeto e, portanto, representava uma boa estimativa inicial.

serão consideradas, pois não ocupam área significativa.

3.2 - Metodologia

A

Figura 1 apresenta a metodologia utilizada para dimensionar as oficinas.

A definição do maquinário necessário em cada oficina baseou-se em dois projetos de estaleiros, informações disponíveis de catálogos de fabricantes e dois livros de referência: *Ship Design and Construction* e *Ship Production*.

A definição do número de máquinas e a distribuição espacial das mesmas, com os respectivos cálculos das oficinas, são apresentados no item 3.3.

3.3 - Layout das oficinas

Neste item são apresentados os equipamentos utilizados em cada oficina, sua quantidade, o layout proposto para cada uma

³ O nível tecnológico de um estaleiro é definido pelo conjunto de ativos e sistemas de informação disponíveis, e varia de 1 (sistemas arcaicos) a 5 (sistemas modernos e extremamente automatizados).

delas e as premissas direcionadoras desse arranjo.

3.3.1 - Processamento de chapas

Na Tabela 3 estão listadas as máquinas necessárias para a oficina de tratamento de chapas.

Tabela 3 -Equipamentos da oficina de processamento de chapas

Item	#	Área unitária (m ²)	Área ocupada (m ²)
Mesa para corte em plasma e oxi-corte	2	182	364
Máquina de corte para pequenas peças	2	36	72
Máquina jateamento e pintura automática	1	288	288

A partir dessa lista, foi estabelecido o layout apresentado na Figura 2.

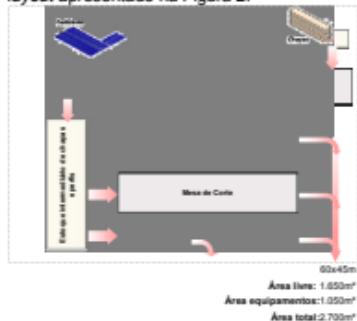


Figura 2 -Layout da oficina de processamento de chapas

Esse layout foi definido considerando as seguintes premissas:

- As máquinas de jateamento e de pintura deveriam ser instaladas próximas ao estoque intermédio de chapas;
- As máquinas de corte devem ficar na saída da máquina de jateamento e pintura, e após marcação e corte, as

chapas são encaminhadas para a área de submontagem;

- As capacidades consideradas para a máquina de jateamento e para cada máquina de corte foram, respectivamente, de 15 chapas/turno e de aproximadamente 7 chapas/turno; e
- A máquina para pequenos cortes foi dimensionada a partir do tamanho máximo admissível de chapa (4m x 2m), levando em conta suas características e sua semelhança com as máquinas de corte para chapas de 12m x 3m.

A área total dessa oficina é de 2.600m².

3.3.2 - Tubulação

As máquinas utilizadas nessa oficina são listadas na Tabela 4.

Tabela 4 -Equipamentos da oficina de tubulação

Item	#	Área unitária (m ²)	Área ocupada (m ²)
Armazenagem inicial	1	36	36
Armazenagem paletes	1	150	150
Chanfro	1	27	27
Corte	1	27	27
Decapagem	1	225	225
Dobragem	2	18	36
Estoques intermediários	2	6	12
Flange/Solda	2	27	54
Pátio de tubos	1	200	200
Pintura	1	75	75

O layout proposto para essa oficina é mostrado na Figura 3.

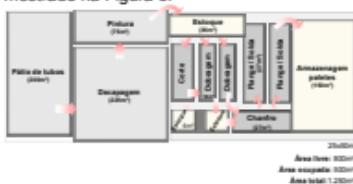


Figura 3 -Layout da oficina de tubulação

As premissas adotadas para a concepção desse layout foram:

- A área do pátio de armazenagem de tubos não precisa ser abrigada;
- As oficinas de decapagem e pintura se localizam fora das dependências da oficina por questões ambientais e de segurança do ambiente de trabalho;
- Adota-se máquinas de dobra para diferentes diâmetros a fim de garantir maior fluxo para o processo; Os estoques intermediários servem como zona de espera¹⁰ para uso do equipamento seguinte;
- A armazenagem final separa os tubos em paletes de acordo com os blocos aos quais serão destinados no outfitting;
- A quantidade de equipamentos foi baseada em uma oficina de um estaleiro de grande porte com produção de 1 petroleiro Suezmax a cada 16 meses.

A área coberta do processo de fabricação da tubulação tem 700m². Já a parte externa, que contém o pátio de tubo e as estações de decapagem e pintura, tem 550m², totalizando 1.250m² para essa oficina.

3.3.3 - Pintura

As máquinas necessárias à oficina de pintura são listadas na Tabela 5.

Tabela 5 -Equipamentos da cabine de pintura

Item	#	Área unitária (m ²)	Área ocupada (m ²)
Área de Espera	1	600	600
Cabine de Jateamento	1	405	405
Cabine de pintura	1	405	405

O layout é apresentado na Figura 4.

¹⁰ Pode servir como armazenagem de partes sobressalentes para eventual uso posterior.

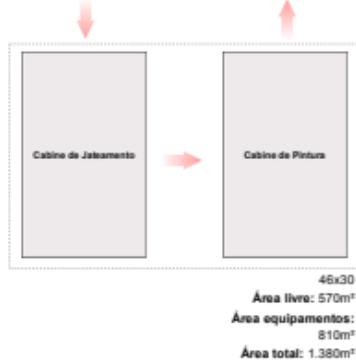


Figura 4 -Layout da oficina de pintura

Esse layout foi concebido levando em consideração as seguintes premissas:

- A oficina de pintura foi designada pelo tamanho padrão das cabines de jateamento e pintura, com tamanho suficiente para abrigar um bloco de 27m x 15m x 12m; e
- Foram consideradas as seguintes capacidades: cabine de jateamento - 350m²/dia; cabine de pintura - 2.500m²/dia, sendo 700m²/dia para a pintura de tinta prime e 1.800m²/dia para acabamento.

A área total dessa oficina é de 1.410m².

3.3.4 - Mecânica

As máquinas utilizadas são listadas na Tabela 6.

Tabela 6 -Equipamentos da oficina mecânica

Item	#	Área unitária (m ²)	Área ocupada (m ²)
Armazenagem paletes	1	50	50
Armazém	1	150	150
Bancadas para trabalho	6	10	60
Dobradeira de tubos	3	15	45
Estoque intermediário	5	8	40
Fresadora universal	3	1	3
Furadeira radial	3	1	3

Guilhotina	6	9	54
Máquina de cortar	1	1	1
Máquinas de prensar hidráulicas	2	1	2
Torno universal	5	3	15

O layout dessa oficina é apresentado na Figura 5.

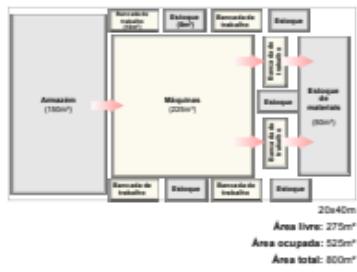


Figura 5 -Layout oficina mecânica

As premissas adotadas para a concepção do layout foram:

- O armazém é destinado para armazenagem de chapas, tubos e outras peças de aço utilizadas nesta oficina;
- Foi adotada uma razão de 70% entre a área ocupada pelo maquinário e a área total (máquinas mais área de circulação e recuo);
- Os estoques intermediários servem como zona de espera para a utilização da bancada; e
- O estoque de materiais armazena os acessórios de aço em paletes de acordo com o bloco ao qual pertencem.

A área da oficina mecânica é de aproximadamente 800m².

3.3.5 - Elétrica

Os equipamentos utilizados nessa oficina estão listados na Tabela 7.

Tabela 7 -Equipamentos da oficina elétrica

Item	#	Área unitária (m ²)	Área ocupada (m ²)
Área armazenagem final	1	50	50
Área para corte dos cabos	1	60	60
Área para estocagem dos materiais	1	70	70
Bancada de trabalho	3	8	24
Bancada para testes	1	8	8
Fresa	1	3	3
Guilhotina	1	9	9
Máquina para corte	1	14	14
Máquinas de enrolar e cortar cabos elétricos	2	5	10
Torno	1	5	5

O layout da oficina é apresentado Figura 6.

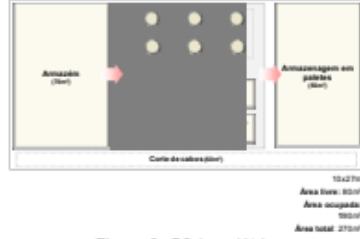


Figura 6 -Oficina elétrica

As premissas adotadas para o layout dessa oficina foram:

- A primeira área de armazenagem é destinada aos painéis elétricos, componentes eletrônicos, cabos elétricos e outras peças;
- Foi adotada uma razão de 70% entre a área ocupada pelo maquinário e a área total (máquinas mais área de circulação e recuo);
- A área de corte de cabos permite comprimentos de até 25m de fio; A bancada de testes contém aparelhagem para avaliação dos equipamentos montados na oficina; e

- A armazenagem em paletes mantém os equipamentos separados de acordo com o bloco ao qual pertencem.

A área total prevista para essa oficina é de 270m².

3.3.6 - Submontagem e montagem

As máquinas aqui utilizadas são listadas na Tabela 8.

Tabela 8 -Equipamentos da oficina de submontagem e montagem

Item	#	Área unitária (m ²)	Área ocupada (m ²)
Solda chapa	3	150	450
Marcação	3	150	450
Solda perfil leve	2	150	300
Solda perfil pesado	2	150	300
Conformação	1	150	150
Armazenagem materiais	1	400	400
Armazenagem sub-blocos	1	4.300	4.300
Montagem e armazenagem de blocos	1	2.000	2.000

O layout proposto é apresentado na Figura 7.

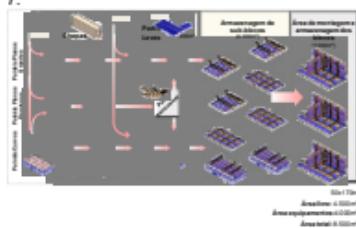


Figura 7 -Layout da oficina de submontagem e montagem

As premissas adotadas para a concepção desse layout foram:

- As linhas de montagem dos painéis e dos perfis transversais são paralelas;
- A linha de montagem dos perfis transversais se encontra ao lado da área de armazenagem de materiais para redução dos caminhos percorridos;
- A fim de reduzir a movimentação de grandes partes do navio, a área para montagem dos blocos encontra-se ao final da linha dos painéis;

- Foi adotado um tamanho padrão de 4 chapas 12x3m para dimensionar as estações das máquinas;

- Considera-se, no dimensionamento da área para armazenagem dos painéis, uma produção de 3 painéis/dia, 1 bloco a cada 3 dias, 3 painéis por bloco em um horizonte de 20 dias;
- A oficina é capaz de montar um bloco a cada dois dias e tem capacidade de armazenar até 10 blocos;

A oficina possui aproximadamente 8.500m².

3.3.7 - Edificação

Em estaleiros internacionais de médio porte, são usados diques ou carreiras na edificação. Entretanto, em estaleiros de nível tecnológico 4 e com produtividade superior a 4 navios/ano, verifica-se necessariamente o uso de dique, de modo que foi esse o tipo de estrutura adotado nesse projeto.

Outro fator determinante é o peso do bloco, que dita quais equipamentos devem ser utilizados na área de edificação e suas respectivas capacidades. Como visto no item "Parâmetros do projeto", cada embarcação será composta por 30 blocos de 100t de peso.

Os equipamentos e principais áreas estão descritas na Tabela 9.

Tabela 9 -Equipamentos de edificação

Equipamento	#	Área unitária (m ²)	Área ocupada (m ²)
Área do dique	1	3.680	3.680
Área para cais de acabamento	2	1.800	3.600
Carro hidráulico	3	90	270
Guindaste	2	30	60

O layout para essa região é apresentado na Figura 8.

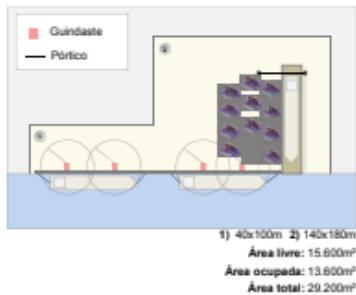


Figura 8 -Layout da área de edificação

As premissas adotadas para a concepção dessa região foram:

- O comprimento do dique é maior que o da embarcação padrão. A diferença existe para permitir o início concomitante da construção da praça de máquinas de um segundo navio, que é a parte mais lenta do processo de edificação, e tem 1/3 do comprimento da embarcação tomada como base para o projeto;
- Com base em um cronograma de construção de um estaleiro, foram tomados os tempos para construção das embarcações e estimou-se dois cais de acabamento para a entrega de quatro EAMs por ano. Segundo esse cronograma, o outfitting pode perdurar tanto tempo quanto a edificação;
- A quantidade de guindastes foi estimada de forma a atender aos cais de acabamento;
- A região ao redor do dique e fora do alcance do pórtico possibilita o trânsito e o fornecimento de materiais diversos ao dique através de guindastes móveis e outros equipamentos; e
- Estima-se que para a edificação e acabamento das embarcações são necessários aproximadamente 29.200m².

3.3.8 – Áreas necessárias a cada oficina

Na Tabela 10 estão consolidados os valores das áreas de cada oficina e a área total ocupada por elas.

Tabela 10 -Áreas consolidadas

Oficina	Área (m ²)
Processamento de chapas	2.600
Mecânica	800
Elétrica	270
Tubulação	1.250
Submontagem e montagem	8.500
Pintura	1.410
Edificação	29.200
Total	44.030

Estes valores alimentam a próxima etapa da metodologia, de definição do layout do estaleiro, detalhada na próxima seção.

4 - Layout do estaleiro

4.1 - Revisão teórica e metodologia

A definição do arranjo físico consiste em alocar as oficinas e as áreas de fabricação no espaço disponível, identificando o fluxo de materiais e de pessoas, pontos de estoque, estações de trabalho e as rotas de produção. Deve-se seguir uma lógica de distribuição que conte com os seguintes princípios:

- A minimização dos custos de movimentação, que dependem do peso da carga transportada, de sua geometria e da distância percorrida;
- Redução do tráfego de materiais e pessoas, que pode gerar atrasos na produção;
- Aumento da segurança e da comunicação entre as partes produtivas; e
- Flexibilização, com layouts passíveis de alterações para readequação em caso de surgimento de novas necessidades.

Com base nas diretrizes e princípios citados, obter um layout otimizado exige criar arranjos possíveis e melhorar sucessivamente até a obtenção de um resultado ótimo.

Primeiramente, fez-se necessária a definição da orientação do sistema de produção do estaleiro, do tipo de arranjo físico, de suas características e de suas consequências para o layout.

Existem dois tipos tradicionais de produção: orientada a processos ou a produtos. O estaleiro se encaixa no primeiro caso. Este é caracterizado pelo baixo número de unidades produzidas (em comparação com uma linha de

produção continua), alta variedade dos produtos (diferentes tipos de projetos), fluxo de materiais intermitente (picos e sazonalidades próprias do processo construtivo), emprego de máquinas universais¹¹ e mão-de-obra intensiva.

Dentro dessa classificação, existem três tipos possíveis de arranjos físicos: posicional, funcional e celular (Figura 9). No **primeiro**, os recursos transformados não se movem entre os recursos transformadores. No **segundo**, os processos similares se localizam juntos um ao outro. No **terceiro**, os recursos transformados são movimentados até uma área específica da operação na qual todos os recursos transformadores necessários se encontram. Já no caso do arranjo linear, geralmente usado em processos orientados a produtos, a sequência de atividades coincide com a sequência em que os processos foram arranjados fisicamente.

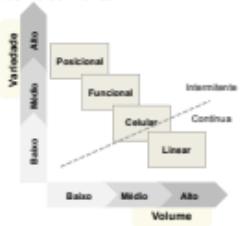


Figura 9 - Tipo de arranjo físico em função do volume e da variedade

A natureza da atividade de construção naval exige um arranjo físico do estaleiro do tipo posicional. Conclui-se isso pelo fato da construção da embarcação ocorrer em um lugar específico (dique) e das oficinas estarem distribuídas ao seu redor, seguindo a definição de que o objeto transformado não percorre por entre os meios transformadores (produto final, navio, fica fixo no dique).

No entanto, esse tipo de arranjo não se aplica a cada oficina. Elas devem ser analisadas independentemente quanto aos produtos fabricados e à dinâmica de trabalho individual. As oficinas foram classificadas segundo apresenta a Tabela 11.

Tabela 11 - Tipo de arranjo das oficinas

¹¹ Tornos, fresas, furadeiras, etc.

Oficinas	Layout
Edificação	Posicional
Elétrica	Celular
Mecânica	Celular
Pré-outfitting	Posicional
Pintura	Linha
Processamento de chapas	Linha
Submontagem e montagem	Linha e posicional
Tubulação	Funcional

A **metodologia** empregada para a obtenção de layouts divide-se em duas etapas: geração de soluções (heurística construtiva), e refinamento (heurística de melhoramento)¹². A Figura 10 ilustra essa metodologia.

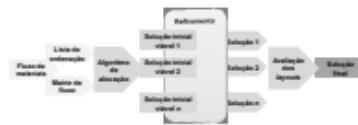


Figura 10 - Fluxograma da metodologia

A primeira consiste em gerar desenhos iniciais dos layouts através da análise do fluxo de material seguida pelo estabelecimento de uma ordem para alocação das oficinas e da aplicação do algoritmo de alocação.

A segunda etapa consiste no melhoramento dessas soluções iniciais com base em critérios quanto a fluxo de materiais, pessoas e processos, compatibilidade das áreas edificadas e aprendizados anteriores.

4.2 - Mapeamento do fluxo de material

Mapear o fluxo de material permite avaliar o grau de relação e dependência entre as oficinas. Os volumes de material em trânsito foram obtidos a partir da sequência produtiva do estaleiro e dos outputs de cada oficina.

As premissas adotadas para a definição dos fluxos se encontram na Tabela 12.

¹² Vale ressaltar que a heurística de melhoramento não é otimizante.

Tabela 12 -Premissas para o fluxo gerado pelas oficinas elétrica, mecânica e de tubulações

Fluxo	% de material
Tubulação para cais de acabamento	20%
Tubulação para pré-outfitting	80%
Acessórios e equipamentos mecânicos para cais de acabamento	20%
Acessórios e equipamentos mecânicos para pré-outfitting	80%
Equipamentos elétricos e cabos para pré-outfitting	50%
Equipamentos elétricos e cabos para cais de acabamento	50%

Com base nessas premissas e nas proporções obtidas para cada um dos componentes de um AHTS, obteve-se os fluxos referentes à produção de uma embarcação de apoio representados na Tabela 13.

Tabela 13 -Fluxo de material no estaleiro

Partida	Chegada	Fluxo (t)
Pré-Outfitting	Edificação	2.373
Pintura	Pré-outfitting	2.100
Submontagem e montagem	Pintura,	2.100
Processamento	Submontagem e chapas	2.100
Tubulação	Cais de acabamento	18
Tubulação	Pré-outfitting	72
Mecânica	Cais de acabamento	504
Mecânica	Pré-outfitting	126
Elétrica	Cais de acabamento	75
Elétrica	Pré-outfitting	75
Almoxarifado	Mecânica	480
Almoxarifado	Elétrica	120
Almoxarifado	Cais de acabamento	30

4.3 - Ordenação

A ordenação consiste em definir a sequência de alocação das oficinas e principais áreas no espaço disponível do estaleiro. O procedimento é apresentado a seguir.

- A primeira posição da lista é ocupada pela oficina de maior área. Isto decorre da posterior dificuldade de alocação de grandes áreas no espaço disponível;
- A posição seguinte é ocupada pela oficina de maior relacionamento com a anterior, ou seja, com a qual há maior fluxo de material;
- Caso dentro das oficinas restantes não haja alguma que se relacione com a anterior da lista, a próxima a entrar será a de maior área; e
- Repete-se o procedimento para as oficinas restantes.

Em todos os layouts, as áreas de cais, dique e pré-outfitting possuem a mesma disposição no estaleiro. A área em frente à água foi determinada de forma a acomodar dois cais de acabamento e uma saída de dique, totalizando 280m de extensão, tomada como padrão para a determinação dos layouts.

A disposição contínua de cais foi assumida para permitir a acomodação de embarcações de comprimento variável, em torno da média de 120m. Por exemplo, o cais pode acomodar uma embarcação de 100m e outra de 130m.

Para se evitar a descontinuidade das áreas disponíveis para alocação ao longo do estaleiro, o que implicaria em restrições para o problema de arranjo físico, foi priorizada a alocação do dique nas extremidades da área disponível junto à mar. A região de pré-outfitting dos blocos foi alocada na área adjacente à disposição longitudinal do dique, a fim de reduzir os movimentos dos blocos na área de edificação. Adotou-se o arranjo representado na Figura 11 como padrão para todos os layouts.



Figura 11 -Configuração cais/edificação e pré-outfitting padrão

Há também no estaleiro outras áreas que se fazem necessárias e compõem a lista de alocação. Essas áreas estão listadas na Tabela 14.

Tabela 14 -Espaços do estaleiro e respectivas áreas

Espaços comuns	Área (m ²)
Pátio de chapas e perfis	5.000
Estacionamento	3.500
Vestiário / restaurante	2.500
Prédio administrativo	2.000
Portaria	400
Manobra de caminhões	3.000
Almoxarifado	4.500

Para todas elas foi estabelecido um racional para seu dimensionamento.

O **pátio de chapas e perfis** foi dimensionado para abrigar a quantia anual necessária para produção de quatro embarcações, considerando a possibilidade de importação desses insumos em grandes volumes. O cálculo levou em conta a quantidade de chapas utilizadas em um ano, suas dimensões e o máximo empilhamento. Cálculo similar foi feito para o pátio de perfis, levando em conta a proporção entre chapas e perfis em uma embarcação.

O **estacionamento** é destinado aos funcionários da administração, com exceção à diretoria, que tem um estacionamento privativo. Esse número, tendo como base estaleiros do mesmo porte, foi estimado considerando um efetivo de 200 empregados (25% do número total de funcionários, sendo que o restante utiliza transporte coletivo). As dimensões das vagas adotadas foram de 2,5m x 5m e, à área total, foi acrescida 50% para circulação dos automóveis.

Vestiário e restaurante foram situados num mesmo galpão. Considerando 800 funcionários por turno, o dimensionamento do refeitório assumiu a razão de 1m² por funcionário e o do vestiário, 1,5m². A definição da área para cozinha considerou 35% da área do refeitório e a área de depósito de gêneros alimentícios, 20%.

Para a área do **prédio administrativo** foi utilizado o racional de 10m² por pessoa para um total de 300 pessoas. Note-se que esse número de funcionários difere daquele utilizado para a estimativa do estacionamento, que excluiu funcionários de elevados cargos

administrativos. Foi considerado um edifício de dois andares.

A área prevista para a **portaria** leva em conta duas cancelas de entrada e duas cancelas de saída de veículos, guarita, área para administrativa e vestiário para seguranças.

A área para **manobra e estacionamento de caminhões** levou em conta um espaço mínimo para manobra de caminhões de até 30m, sendo a área restante destinada ao estacionamento.

A área do **almoxarifado** foi estimada a partir de outros estaleiros de capacidade similar ao projeto em questão.

Com base no procedimento para listagem e nas premissas anteriormente explicitadas, a lista de alocação para o arranjo físico do estaleiro segue na Tabela 15.

Tabela 15 -Lista para alocação

Posição	Oficina/área
1º	Pintura
2º	Submontagem e montagem
3º	Processamento de chapas e perfis
4º	Almoxarifado
5º	Tubulação
6º	Mecânica
7º	Elétrica
8º	Estacionamento
9º	Manobra e estacionamento de caminhões
10º	Pátio de chapas e perfis
11º	Administração
12º	Restaurante e vestiário
13º	Portaria

4.4 - Alocação das oficinas

O algoritmo de alocação faz parte do método para arranjo físico de instalações diversas, gerando soluções iniciais viáveis para problemas de layout.

O algoritmo baseia-se na lista de ordenação e através do seguinte procedimento faz a alocação das oficinas:

1. Estabelece-se um par de eixos ordenados na extremidade superior esquerda da área

- disponível, orientando-os no sentido de crescimento da mesma;
2. A primeira oficina é alocada a partir da primeira área disponível da esquerda para a direita e de cima para baixo;
 3. O próximo elemento da lista é alocado à direita do anteriormente alocado;
 4. Se não for possível alocar à direita, alocase abaixo;
 5. Se não for possível, alocase à esquerda;
 6. Se não for possível, alocase acima;
 7. Caso não haja espaço para alocação, uma nova lista de ordenação é feita colocando-se o 2º maior elemento em área na 2ª posição da lista. Com essa nova lista, aplica-se o algoritmo de alocação novamente;
 8. Repete-se a etapa 3.

As possíveis soluções iniciais decorrem das diferentes possibilidades de alocação das oficinas. Foram descartados os posicionamentos incoerentes das mesmas segundo as restrições listadas a seguir:

- Comprimento longitudinal do estaleiro: delimitado pelo comprimento dimensionado para o dique e o cais, de 280 metros. A dimensão transversal foi mantida livre;
- Portaria: a entrada para o estaleiro foi imposta no lado inverso ao dique em um ponto não fixo, podendo ser alocada em qualquer região dessa extremidade;
- Pátio de chapas e perfis: foram considerados como área única, com espaçamento de 8m, para passagem dos caminhões a serem descarregados. Foi sempre imposta a contiguidade à oficina de processamento de chapas, pois já se tinha conhecimento pelo estudo de outros estaleiros que não há necessidade de espaçamento entre o pátio e essa oficina; e
- Oficina de submontagem e montagem: foi considerada contígua à oficina de processamento de chapas.

As demais possibilidades de layout validadas foram consideradas nas etapas seguintes de refinamento e comparação final.

4.5 - Refinamento das soluções

O refinamento das soluções consiste em realizar mudanças nos layouts propostos em quesitos não contemplados pelo método.

O algoritmo considera, por ordem crescente de prioridade, as áreas e o fluxo de materiais, como se pode perceber pelo

método de listagem para alocação das oficinas. Caso fossem consideradas apenas essas premissas, surgiriam gaps no momento da alocação de oficinas, ou áreas sem vínculos com as anteriormente alocadas.

Foi necessário avaliar o problema quanto às restrições impostas pelo fluxo de material, pessoas e processos, compatibilidade entre áreas edificadas, entre outros. O fluxo de material considerado foi detalhado na Tabela 13. O fluxo de processos segue a lógica mostrada na Figura 12.

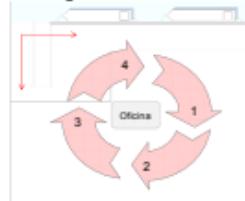


Figura 12 -Exemplificação das possibilidades de alocação

Os trajetos dos funcionários são entre a portaria, administração e vestiário, entre este último e as oficinas, e entre estas e o restaurante. Os caminhos e áreas de circulação previstos foram contemplados por calçadas e/ou pavimentação adequada.

Quanto às áreas edificadas, a verificação da compatibilidade entre elas resultou em uma lista de recomendações de alocação. É preferível, por exemplo, manter o prédio da administração a uma certa distância das áreas de circulação de material e das principais linhas do processo construtivo, como das oficinas de processamento de chapas e perfis, e submontagem e montagem. Outro exemplo é a alocação da portaria próxima às áreas de circulação de caminhões, pátios e almoxarifado, a fim de diminuir o fluxo no estaleiro.

Com base na experiência dos autores, fez-se também ajustes como: alocação da administração em área em frente à edificação; inclusão de uma área de estacionamento para caminhões, de onde se prevê congestionamentos decorrentes de variáveis externas ao estaleiro; alocação do estacionamento próximo à administração; e alocação contígua de galpões a fim de reduzir custos de construção através do compartilhamento de infraestrutura.

Outros parâmetros de refinamento considerados foram:

- Tamanho mínimo de faixa para passagem de caminhões de 7m;
- Largura mínima de 1,5m para as calçadas;
- Distância mínima entre as oficinas de pintura e de submontagem de 50m, levando em conta o transporte de blocos;
- Alocação da administração próxima à edificação e/ou com vista para a mesma; e
- Arranjo das oficinas de forma a evitar fluxos cruzados.

Os layouts obtidos através do processo de refinamento foram quatro, apresentados na Figura 12.

4.6 - Avaliação

A função objetivo para avaliação dos layouts consistiu no produto entre os fluxos de materiais, em toneladas (F), e as respectivas distâncias percorridas, em metros (d)¹³. O layout escolhido foi aquele que apresentou o menor valor desta medida.

A distância entre as oficinas foi estimada pelo seguinte método: caso a oficina possuisse um lugar de saída fixo (único), a distância era medida a partir do centro da saída. Caso contrário, era medida a partir do centro de sua área. O mesmo método foi estipulado para o local de entrada.

A área total do estaleiro não foi restringida neste projeto. Caso os layouts apresentassem valores de ($F \times d$) muito próximos, a escolha da melhor solução se baseria na utilização da menor área total como critério de desempate.

A partir dessa metodologia, foram obtidos os resultados, ilustrados na Figura 13 e presentes na Tabela 16.

5 - Conclusão

O Layout 1 se mostrou a melhor alternativa de projeto para o estaleiro, apresentando o menor valor de ' $F \times d$ ' e também a menor área, embora a ordem de grandeza tenha sido a mesma em todos os layouts propostos. A implantação do estaleiro necessitará de uma área de cerca de 92.000 m² (280m x ~330m).

A redução do fluxo de material entre o melhor e o pior layout, resultante do algoritmo

de geração e refinamento de soluções iniciais utilizado neste estudo, alcançou 40%, como visto no Gráfico 1.

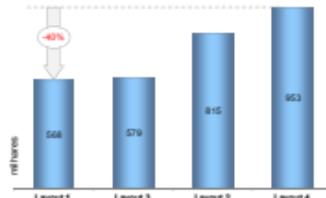


Gráfico 1 -Comparação dos valores de fluxo de materiais (F_{xd})

O fator preponderante para esta disparidade de resultados é o transporte de material entre a oficina de pintura e a região de outfitting. Caso a função objetivo levasse em conta os custos de transporte, essa diferença se mostraria ainda mais acentuada, devido à complexidade na movimentação dos blocos.

Vale lembrar que a metodologia proposta neste trabalho é genérica e também pode ser aplicada caso haja outras restrições de espaço ou peculiaridades diferentes das mencionadas nesse estudo.

As soluções obtidas através desse método alinham-se com o princípio de redução de custos e otimização do espaço, assim como outros princípios envolvidos no arranjo físico, evidenciando sua aplicabilidade para o caso de dimensionamento de um estaleiro, como proposto por esse projeto.

¹³ Em alguns projetos cujo nível de detalhamento necessário seja maior e a disponibilidade de informações seja elevada, é possível associar valores de custo ao fluxo e criar um indicador mais robusto.

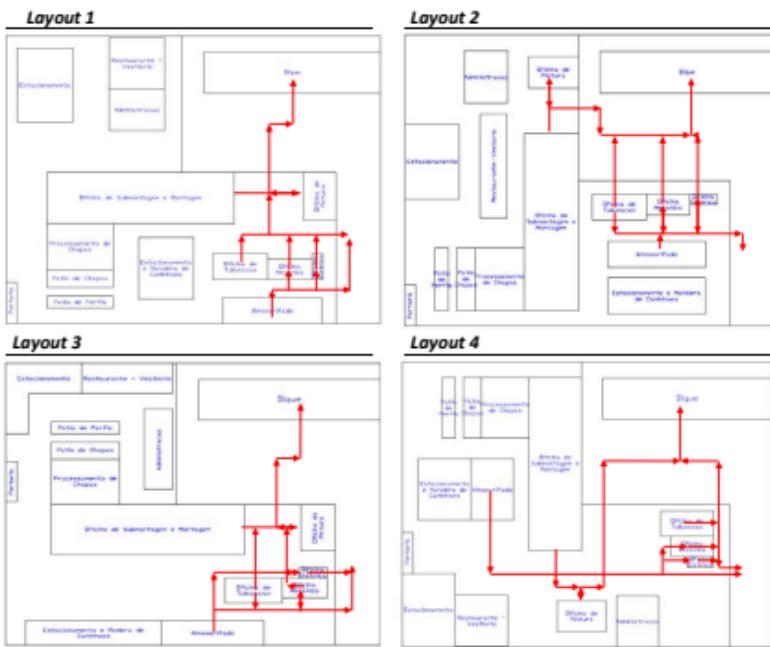


Figura 13 -Layouts obtidos e distâncias adotadas

Tabela 16 –Resultados obtidos

Layout 1 Layout 2 Layout 3 Layout 4

Partida	Chegada	F(t)	d(m)	Fxd	d(m)	Fxd	d(m)	Fxd	d(m)	Fxd	d(m)	Fxd
Outfitting	Edificação	2.373	60	142.380	63	149.024	63	149.024	63	149.024		
Pintura	Outfitting	2.100	92	192.150	207	434.595	90	189.000	216	452.550		
Montagem	Pintura	2.100	50	105.000	50	105.000	50	105.000	50	105.000		
Processamento	Montagem	2.100	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Tubulação	Cais	18	125	2.250	167	3.012	151	2.710	111	2.004		
Tubulação	Outfitting	72	166	11.916	121	8.717	151	10.857	70	5.041		
Mecânica	Cais	504	83	42.064	102	51.610	59	29.943	78	39.493		
Mecânica	Outfitting	126	130	16.369	72	9.102	138	17.389	183	23.105		
Elétrica	Cais	75	55	4.103	74	5.524	41	3.112	167	12.517		
Elétrica	Outfitting	75	156	11.712	78	5.821	141	10.538	70	5.258		
Almoxarifado	Mecânica	480	56	26.971	58	27.970	79	37.925	252	120.739		
Almoxarifado	Elétrica	120	83	9.968	96	11.492	150	18.007	242	28.985		
Almoxarifado	Cais	30	117	3.511	103	3.104	197	5.915	299	8.956		
Total (F x d)				568.394		814.971		579.420		952.672		
Área Total Estaleiro (m²)				91.176		95.200		92.400		98.176		

6 – Bibliografia

- APPLE, J. M. Plant Layout and Material Handling. Krieger: Malabar, 1991.
- CHABANE, H. Design of a Small Shipyard Facility Layout Optimised for Production and Repair. In: Symposium International: Qualité et Maintenance au Service de l'Entreprise, 2004.
- FRANCIS, R. L.; WHITE, J. A. Facility layout and location - An analytical approach. New Jersey: Prentice-Hall Inc, 1974.
- LAMB, T. Ship Design and Construction Vol. II. New Jersey: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2004.
- MARTINS, V. C. Otimização de layouts industriais com base em busca tabu. Gestão e Produção. Vol. 10, n.1, pp. 69-88, 2003.
- MAUES, B.; Dias, H. RSV - ROV Supply Vessel, 2009.
- MUTHER, R. Systematic layout planning. Cahners books, 1973.
- PIRES JR, F.; LAMB, T.; & SOUZA, C. Shipbuilding performance benchmarking. International Journal of Business Performance Management, 11 (n.3), 2009.
- SANTORO, M.; MORAES, L. Planejamento e projeto de arranjo físico (PLANT LAYOUT) de uma fábrica de motores. ENEGEP, 2001.
- STORCH, R. et al. Ship Production. 2 Ed. Maryland: Cornell Maritime Press, 1995.

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito de uma pesquisa financiada pela FINEP e intitulada "Metodologia de Projeto de Estaleiro".