

## 4

# MÉTODO HEURÍSTICO PARA ELABORAÇÃO DE PLANO DE ESTIVAGEM DE PLACA DE AÇO

O método proposto para elaboração de Planos de Estivagem de placas de aço em navios foi desenvolvido com base nos conhecimentos adquiridos por meio de entrevistas informais com os profissionais da CST e com os profissionais da empresa que elabora os Planos de Estivagem para a CST.

A heurística proposta para o Problema de Estivagem de Placa de Aço foi dividida em duas etapas:

- Distribuição dos itens pelos porões;
- Determinação do *layout* dos itens no porão.

### 4.1. Definições importantes

A seguir serão dadas algumas definições importantes para o entendimento da heurística:

- Proa – parte anterior do navio (direção em que o navio está navegando);
- Boreste – metade direita da embarcação olhando-se para a Proa;
- Bombordo – metade esquerda da embarcação olhando-se para a Proa;
- Popa – parte posterior do navio;
- Hatch – escotilha (abertura na parte superior do porão – tampa);

Essas definições são ilustradas na figura 29.

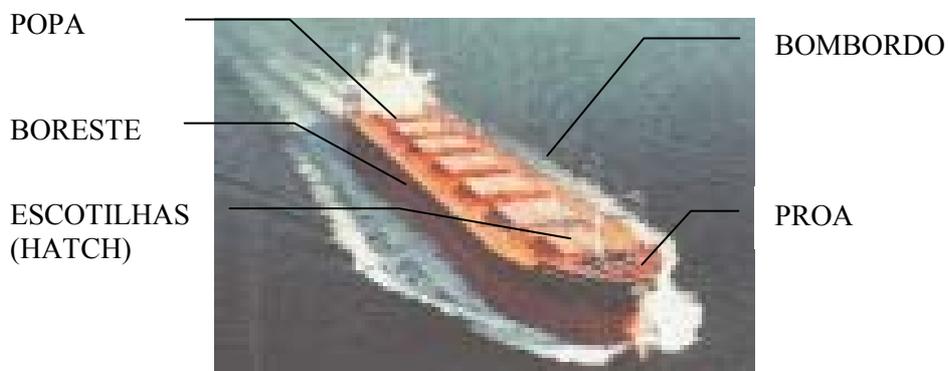


Figura 29 - Definições

Pela figura 30 podemos visualizar as regiões da “Boca” e do “Fora de Boca” do porão.

- “Boca” do porão – região do porão correspondente a área delimitada pela abertura da escotilha;
- “Fora de boca” do porão – região do porão corresponde a área que não é acessível diretamente pela abertura da escotilha.

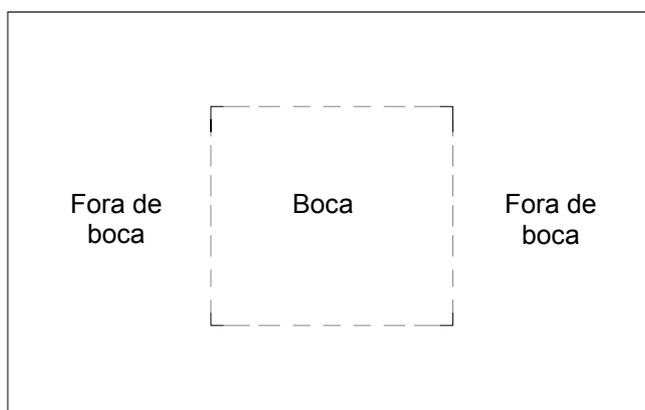


Figura 30 – Vista superior das Regiões da “Boca” e do “Fora de Boca” do porão

#### 4.2. Dados de entrada do algoritmo

Para a realização das etapas propostas são necessários os seguintes dados:

- Variedade de itens<sup>J</sup> no pedido ( $i$ );
- Quantidade de cada item ( $Q_i$ );
- Peso do item (toneladas) ( $w_i$ );
- Dimensões do item (comprimento ( $cp_i$ ), largura ( $lp_i$ ) e espessura ( $hp_i$ ))(metro);
- Altura/espessura do rolete/calço ( $h_{rolete}/h_{calço}$ )(metro);
- Quantidade de porões ( $j$ );
- Capacidade de cada porão (toneladas);
- Dimensões do porão (comprimento<sup>K</sup> ( $C_j$ ), largura<sup>L</sup> ( $L_j$ ), altura ( $H_j$ ))(metros);
- Dimensões da abertura da escotilha (comprimento<sup>E</sup> ( $CE_j$ ) e largura<sup>L</sup> ( $LE_j$ ))(metro);

<sup>J</sup> O Item é constituído de placas que possuem as mesmas dimensões e composição química

<sup>K</sup> Comprimento do porão/escotilha é referente à dimensão do porão/escotilha no sentido popa-proa;

<sup>L</sup> Largura do porão/escotilha é referente à dimensão do porão/escotilha no sentido bombordo-boreste.

- Ordem de carregamento dos porões;
- Resistência do piso do porão ( $t/m^2$ );
- Altura máxima de empilhamento da empilhadeira (placas (n)).

### **4.3. Distribuição dos itens pelos porões**

#### **4.3.1. Agrupamento dos itens**

Baseado nos dados de entrada, a heurística proposta agrupa os itens conforme a ordem decrescente de comprimento. Havendo mais de um item com mesmo comprimento, eles são agrupados em ordem decrescente de largura e quantidade, respectivamente.

#### **4.3.2. Distribuição dos itens pelos porões**

Feito o ordenamento dos itens, aplicaremos o “*Bin Packing Next Fit*”. O “*Next Fit*” é uma sub-divisão do “*Bin Packing*” no qual o primeiro objeto (placa) da lista é alocado em um *bin* (porão). Os demais objetos (placas) são colocados neste mesmo *bin* (porão) até a capacidade do mesmo ser alcançada. Assim que a restrição de capacidade for atingida, um novo *bin* (porão) é aberto e continua-se o empacotamento dos objetos (placas).

Vale ressaltar que para poder ser empacotado em determinado porão, as dimensões dos itens (comprimento e largura) têm que ser menores do que as dimensões da escotilha do porão.

### **4.4. Determinação do layout das placas no porão**

#### **4.4.1. Ranqueamento dos itens**

Com base na proposta de George e Robinson (1980) de ranquear as caixas a serem carregadas, os itens serão ranqueados nesta etapa conforme os seguintes critérios:

- Ordem decrescente de largura. Havendo empate,
- Ordem decrescente de comprimento. Havendo empate,
- Ordem decrescente de quantidade.

#### 4.4.2. Determinação das dimensões das camadas a serem carregadas

O lado do porão, conforme ilustrado na figura 31, possui uma inclinação de  $45^\circ$  no sentido popa-proa do navio até uma altura do porão de 5 metros.



Lado com  
inclinação de  
 $45^\circ$

Figura 31 – Inclinação de  $45^\circ$  no lado do porão no sentido popa-proa

Devido a essa inclinação, as camadas de carregamento não terão as mesmas dimensões. A largura das camadas permanece a mesma para todas as camadas de carregamento, entretanto, a cada incremento na altura do carregamento, o comprimento dessas camadas será aumentado de um valor  $2x$ , devido a inclinação em dois lados do porão. O cálculo de  $x$  será detalhado a seguir.

A princípio, serão geradas as dimensões das  $n$  primeiras camadas de carregamento, sendo  $n$  um dado de entrada da heurística. Também será considerada a altura dos roletes de madeira ( $h_{\text{rolete}}$ ) nos quais as placas ficam apoiadas.

O procedimento para geração das dimensões das camadas é o seguinte:

A cada elevação da altura, até 5 metros, há um aumento no comprimento da camada de carregamento conforme mostrado na figura 32.

Toma-se como exemplo a seguinte situação:

- Dimensões do porão: 15,2m (comprimento) x 25,4 m (largura);
- $h_p$  (espessura do item que está sendo carregado) = 25cm;
- $h_{rolete}$  (altura dos roletes de madeira) = 10cm .

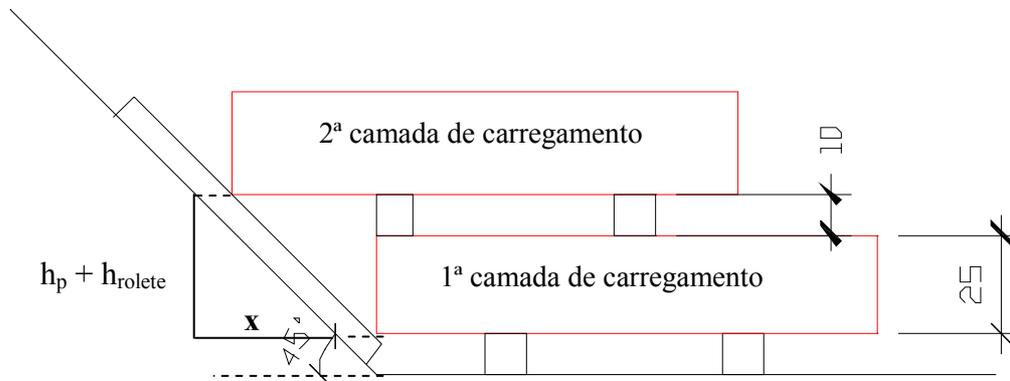


Figura 32 – Seção Transversal do porão

#### 1ª camada de carregamento:

Conforme a figura 32, para o cálculo das dimensões da 1ª camada de carregamento, só será considerado como incremento na altura de carregamento 10cm referente a altura do rolete de madeira.

$$\operatorname{tg}45^{\circ} = \frac{0,1}{x}$$

$$x = 0,1$$



$$25,4 + 2*(0,1) = \mathbf{25,6m}$$

$$H_{\text{carreg. acumulada}} = 0,1 \text{ (altura do rolete)} + 0,25 \text{ (espessura da placa)} = \mathbf{0,35m}$$

#### 2ª camada de carregamento:

$$\operatorname{tg}45^{\circ} = \frac{(\text{altura\_rolete} + \text{espessura\_placa})}{x}$$

$$x = 0,35 \text{ metros}$$



$$25,6 + 2*(0,35) = 26,3\text{m}$$

$H_{\text{carreg. acumulada}} = 0,35$  (camada anterior) + 0,1 (altura do rolete) + 0,25 (altura da placa) = **0,70m**

3ª camada de carregamento:

$$\text{tg}45^\circ = \frac{(\text{altura}_{\text{ rolete}} + \text{espessura}_{\text{ placa}})}{x}$$

$$x = 0,35$$



$$26,3 + 2*(0,35) = 27,0\text{m}$$

$H_{\text{carreg. acumulada}} = 0,70$  (camada anterior) + 0,1 (altura do rolete) + 0,25 (altura da placa) = **1,05m**

4ª camada de carregamento:

$$\text{tg}45^\circ = \frac{(\text{altura}_{\text{ rolete}} + \text{espessura}_{\text{ placa}})}{x}$$

$$x = 0,35$$



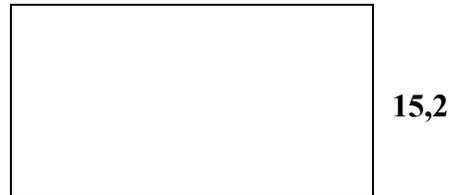
$$27 + 2*(0,35) = 27,7\text{m}$$

$H_{\text{carreg. acumulada}} = 1,05$  (camada anterior) + 0,1 (altura rolete) + 0,25 (altura da placa) = **1,40m**

5ª camada de carregamento: mesmo raciocínio anterior.

$$\operatorname{tg}45^\circ = \frac{(\text{altura}_{\text{ rolete}} + \text{espessura}_{\text{ placa}})}{x}$$

$$x = 0,35$$



$$27,7 + 2*(0,35) = \mathbf{28,4m}$$

$$H_{\text{ carreg. acumulada}} = 1,40 \text{ (camada anterior)} + 0,1 \text{ (altura do rolete)} + 0,25 \text{ (altura da placa)} = \mathbf{1,75m}$$

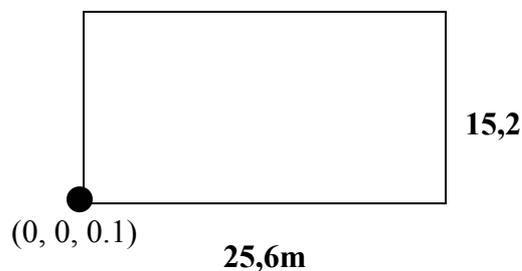
Calculada as dimensões das **n** primeiras camadas de carregamento, a heurística definirá o *layout* dessas camadas.

#### 4.4.3. Lastreamento do porão

Lastrear o porão significa preencher o perímetro do mesmo. O carregamento do lastro do porão foi dividido em duas etapas. Na primeira etapa é feita a distribuição das placas nas extremidades do porão. Na etapa seguinte é feito o carregamento do restante do lastro.

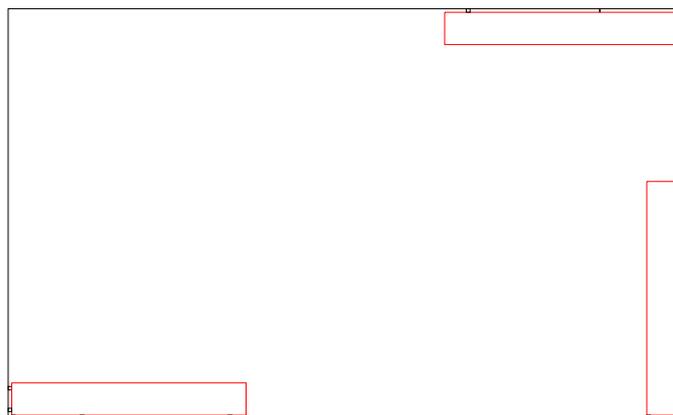
##### 4.4.3.1. Distribuição dos itens nas extremidades do porão

É considerado como ponto de origem do carregamento o ponto (0, 0, 0.1).



Na primeira camada de carregamento as placas são alocadas nos cantos do porão, no sentido anti-horário, conforme a figura 33. Para esse procedimento é

escolhido o item melhor ranqueado conforme critérios definidos na seção 4.4.1. Se a quantidade do item melhor ranqueado não for suficiente para preencher o lastro das camadas atuais de carregamento, então verifica-se a possibilidade de preenchimento do lastro com outros itens alocados no porão, respeitando o ranqueamento dos mesmos.



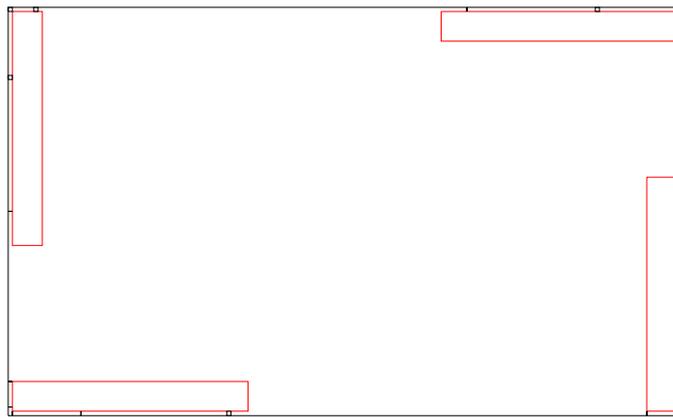
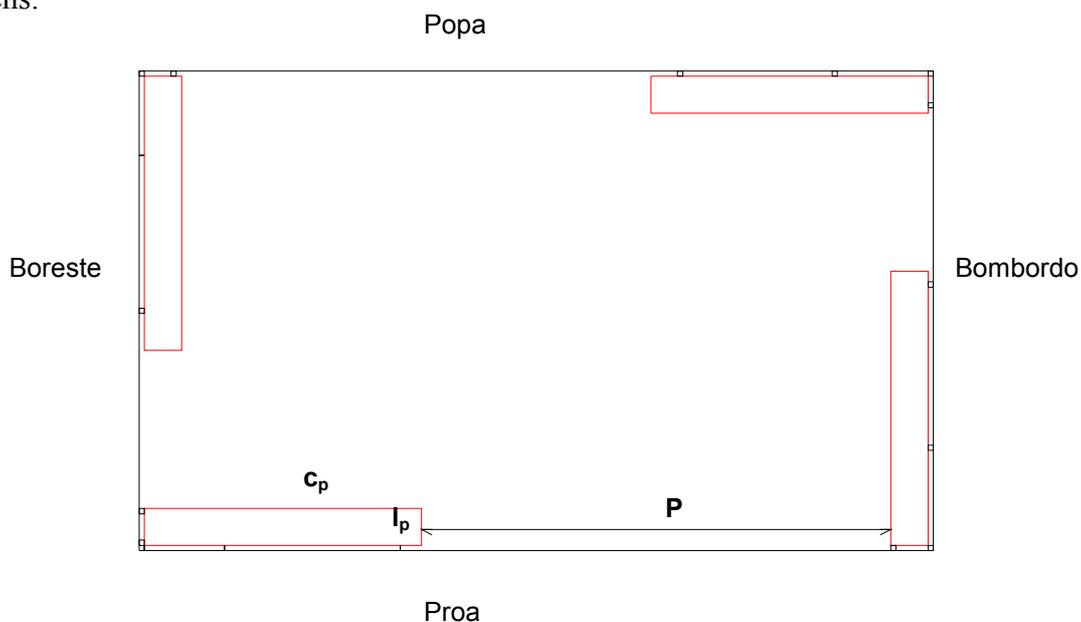


Figura 33 – Alocação das placas nos cantos do porão no sentido anti-horário

Esse procedimento é repetido para as outras  $(n-1)$  camadas de carregamento cujas as dimensões foram calculadas na seção 4.4.2. O sentido de rotação das placas nas camadas é alternado entre anti-horário (nas camadas ímpares) e horário (nas camadas pares).

#### 4.4.3.2. Carregamento do restante do lastro do porão

Distribuídas as placas pelos cantos do porão, a heurística verifica se é possível alocar mais alguma placa lastreando o porão. Se não for possível utilizar o item que está sendo carregado, verifica-se se outro item alocado neste porão pode ser utilizado para completar o lastreamento, respeitando o ranqueamento dos itens.



$c_p$  = comprimento da placa

$l_p$  = largura da placa

Figura 34 - Cálculo de P

Procedimento para o carregamento (executar o procedimento abaixo para todos os lados do porão).

A. Calcular P (distância entre as placas alocadas nas extremidades do porão) conforme figura 34;

B. Verificar se o comprimento ( $cp_n$ ) do item a ser alocado é menor que P;

B.1. Se for menor, então faça:

B.1.1. Calcular a quantidade ( $nl^M$ ) de placas com comprimento  $cp_n$  que podem ser alocadas em P;

$$nl^{-10} = \frac{P}{cp_n}$$

B.1.2. Calcular o espaçamento entre as placas:

$$sl = \frac{(P - (nl * cp_n))}{nl + 1}$$

B.1.3. Verificar se o espaçamento calculado (sl) é maior do que a espessura do calço ( $h_{calço}$ ):

- Se for maior, vá para B.1.4;
- Se for menor:
  - ✓ recalculer a quantidade de placas ( $nl'$ ) com comprimento  $cp_n$  que podem ser alocadas em P;

$$nl' = nl - 1$$

- ✓ voltar para o passo B.1.2;

B.1.4. Verificar se a quantidade de placas (nl) com comprimento  $cp_n$  é menor do que a quantidade de placas disponíveis para carregamento no porão:

- Se for menor, então aloque as placas conforme o espaçamento calculado em B.1.2;
- Caso contrário:
  - ✓ alocar a quantidade de placas disponíveis conforme o espaçamento calculado em B.1.2;

---

<sup>M</sup>  $nl'$  retorna o próximo menor valor inteiro ao se arredondar o valor para baixo.

- ✓ calcular  $P'$  (distância entre a placa a última placa alocada anteriormente e a placa alocada na extremidade do lastro);
- ✓ voltar para o passo B.

B.2. Se for maior, então faça:

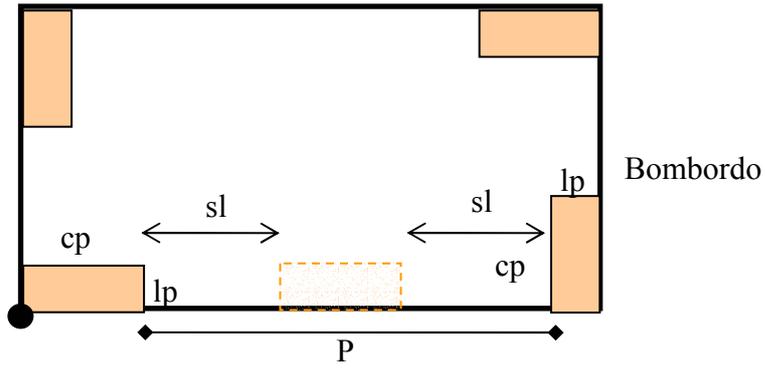
B.2.1. Verificar, conforme o ranking dos itens se existe alguma placa alocada neste porão com comprimento menor que  $P$ ;

- Se existir, vá para B.1.1;
- Caso contrário, preencher o próximo lado do porão.

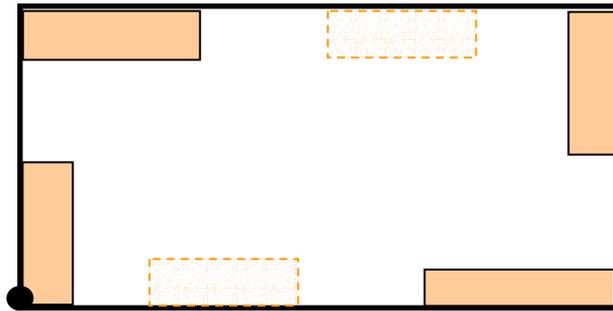
A figura 35 ilustra o carregamento do lastro do porão no caso em que a quantidade de camadas carregadas é cinco ( $n=5$ ),  $n_l=1$  para os lados do porão paralelos a Popa e a Proa do navio e  $n_l=0$  para os lados do porão paralelos a Bombordo e a Boreste do navio.

1ª camada:

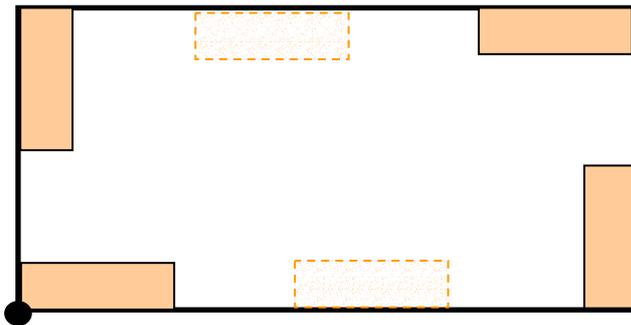
Boreste



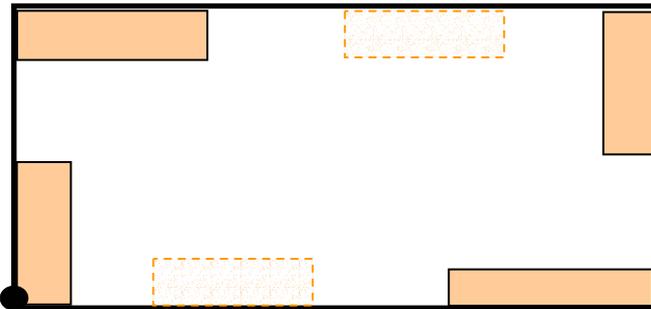
2ª camada:



3ª camada:



4ª camada:



5ª camada:

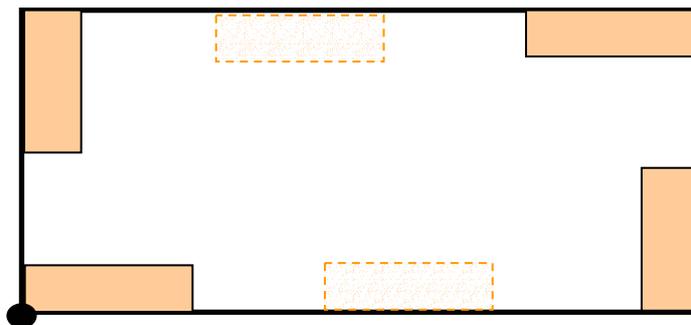


Figura 35 - Carregamento do lastro

#### 4.4.4. Carregamento da parte central do porão

Feito o lastreamento do porão, a heurística define o carregamento da parte central do mesmo. Conforme ilustrado na figura 36, a parte central foi dividida nas seguintes regiões: A, B, C e em alguns casos, o 2º lastro do porão.

- Região A – região do “fora de boca” do porão que vai da extremidade direita da placa do lastro a Boreste do navio até a projeção esquerda da escotilha;
- Região B – região central referente à “boca” do porão;
- Região C – região do “fora de boca” do porão que vai da extremidade esquerda da placa do lastro a Bombordo do navio até a projeção direita da escotilha.
- 2º lastro – região paralela à largura do porão. É composta pela área que não foi carregada pelas placas alocadas nas regiões A, B e C.

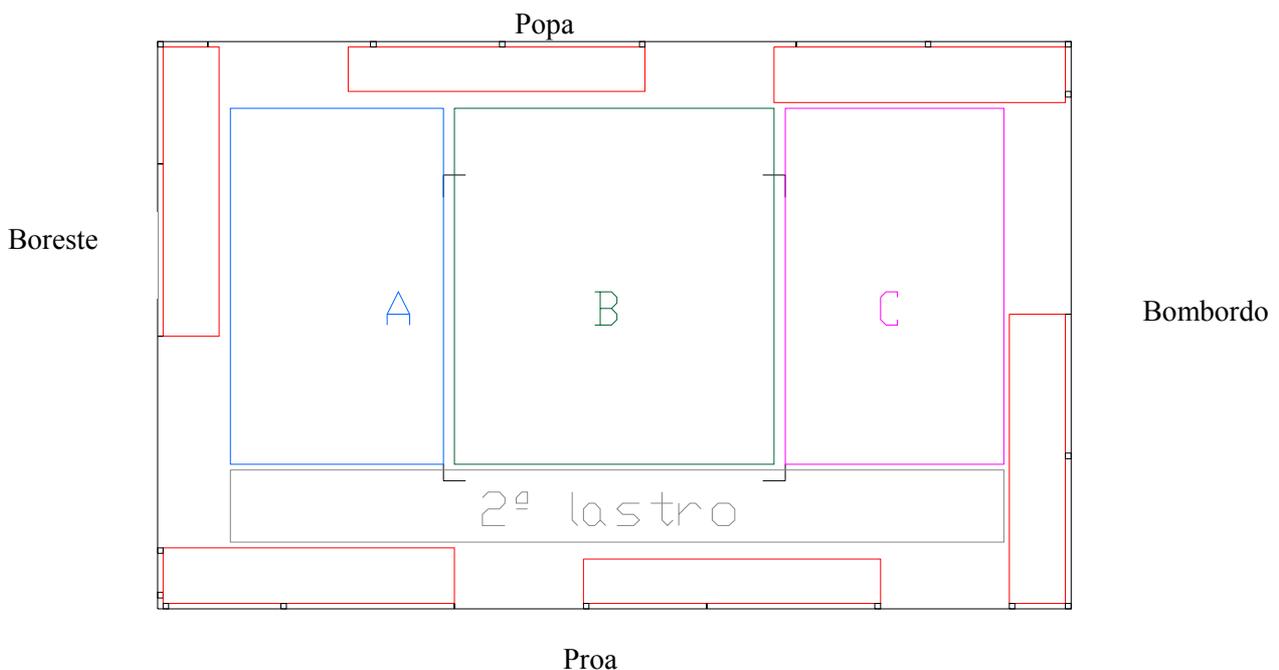


Figura 36 – Divisão da parte central do porão em regiões

O carregamento das regiões A, B e C é dividido em duas etapas devido a incerteza em relação à existência do 2º lastro. As etapas são divididas em Pré-carregamento e Carregamento Definitivo. No Pré-Carregamento é definida a posição da placa referente à Popa-Pria (eixo x da figura 37). No final dessa etapa, a placa não sofrerá deslocamento em relação a Popa e a Proa. No Carregamento

Definitivo é determinado a posição final da placa após o deslocamento da mesma em relação à Bombordo-Boreste (eixo y da figura 37).

A figura 37 ilustra essa situação. No Pré-carregamento a placa é alocada conforme a placa azul. O Carregamento Definitivo é representado pela placa azul pontilhada.

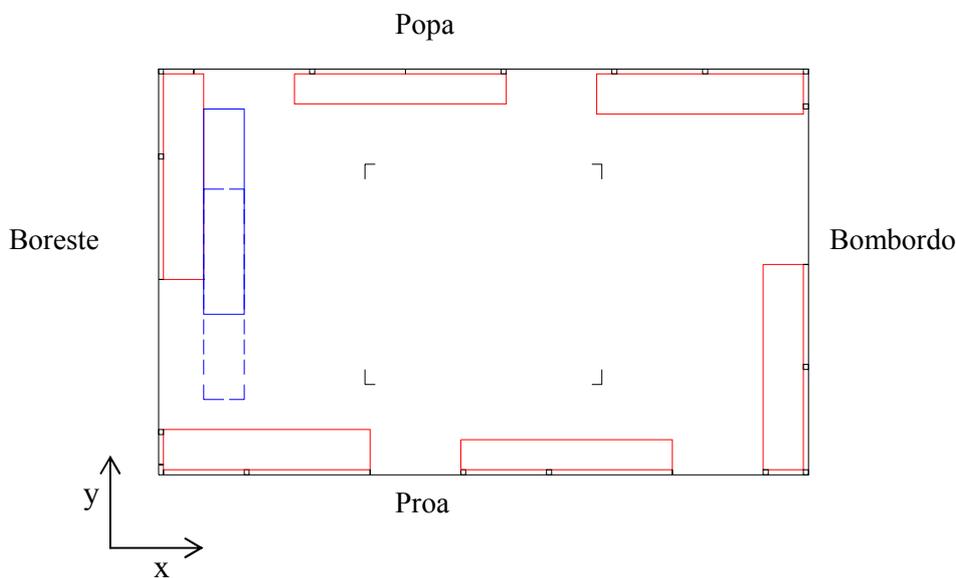


Figura 37 – Pré-carregamento e Carregamento Definitivo

#### 4.4.4.1. Pré-carregamento das regiões A e C

O pré-carregamento nas regiões A e C é feito alocando as placas nessas regiões formando pilhas de  $n$  placas com o comprimento das placas paralelo ao comprimento do porão. A heurística empilha as placas alternadamente entre as regiões A e C.

A figura 38 ilustra o carregamento de 2 pilhas de placas nas Regiões A e C no caso de  $n = 5$ . O índice existente nas placas indica a ordem de carregamento de cada uma. Portanto, a primeira placa é alocada em A, sendo essa placa a primeira placa (índice 1) da primeira pilha de placas da região A. A segunda placa (índice 2) é alocada em C, sendo essa placa a primeira placa da primeira pilha de placas na região C. Após o carregamento da 5ª placa de cada pilha de placas (índice 9 e 10), inicia-se o carregamento da 2ª pilha de placas das regiões A e C.

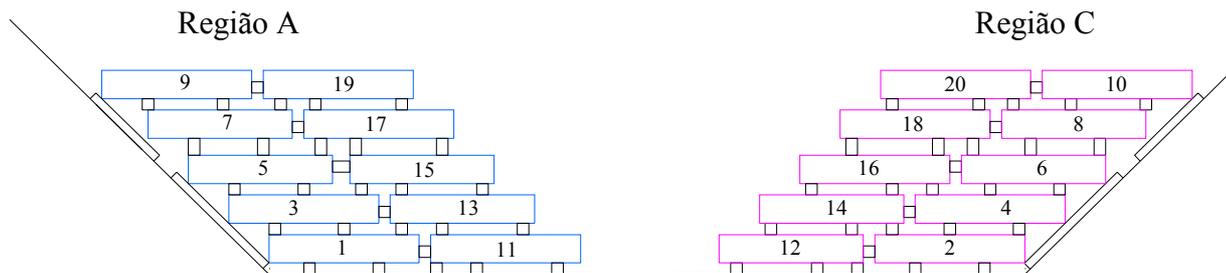


Figura 38 – Vista lateral do carregamento de duas pilhas de placas nas Regiões A e C

A quantidade de pilhas carregadas é proporcional ao “fora de boca” do porão. A  $n$ -ésima camada de carregamento é que determina a quantidade de pilhas de placas a serem carregadas nas Regiões A e C, pois ela possui comprimento maior do que as camadas já carregadas (no caso de  $n=5$ , 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> camadas) e consequentemente, possui a maior distância entre as placas empilhadas e a projeção da escotilha ( $d$ ), conforme ilustrado na figura 39. Enquanto  $d > 0$ , as placas são alocadas em A e C formando pilhas.

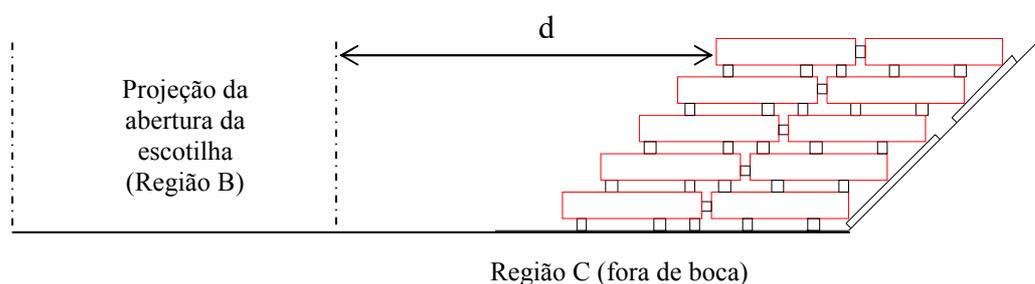


Figura 39 – Vista lateral de duas pilhas de placas carregadas na região C

A tática escolhida para se carregar as placas nessa região, em pilhas, tem como justificativa o fato desse carregamento ser feito por uma empilhadeira que fica dentro do porão do navio.

#### 4.4.4.2. Pré-carregamento da região B

O pré-carregamento na região B é feito alocando as placas em camadas com o comprimento da placa paralelo ao comprimento do porão. A heurística aloca primeiro todas as placas da primeira camada, depois todas as placas da segunda camada e assim sucessivamente, até pré-carregar a  $n$ -ésima camada.

Nas camadas, as placas são alocadas de forma alternada entre os lados a Bombordo e a Boreste do navio. Além disso, os pontos de partida para o carregamento de cada camada dessa região são as últimas placas alocadas na respectiva camada da região A e da região C.

A tática escolhida para se carregar as placas nessa região, em camadas, tem como justificativa o fato desse carregamento ser feito direto pelo guindaste do porto pela da abertura da escotilha, não sendo necessário o uso da empilhadeira.

#### 4.4.4.3. Carregamento do 2º lastro

No caso da existência do 2º lastro, esse é carregado com as placas alocadas com comprimento perpendicular ao comprimento do porão. O procedimento para carregamento dessa região será detalhado mais adiante.

#### 4.4.4.4. Procedimento para carregamento da parte central do porão

O procedimento para carregamento da parte central do porão é o seguinte:

**1º passo:** Cálculo de MI (distância entre as placas de maior largura alocadas no lastro do porão dos lados paralelos a Popa e a Proa do navio).

- Calcular o valor de MI para cada camada conforme a figura 40;

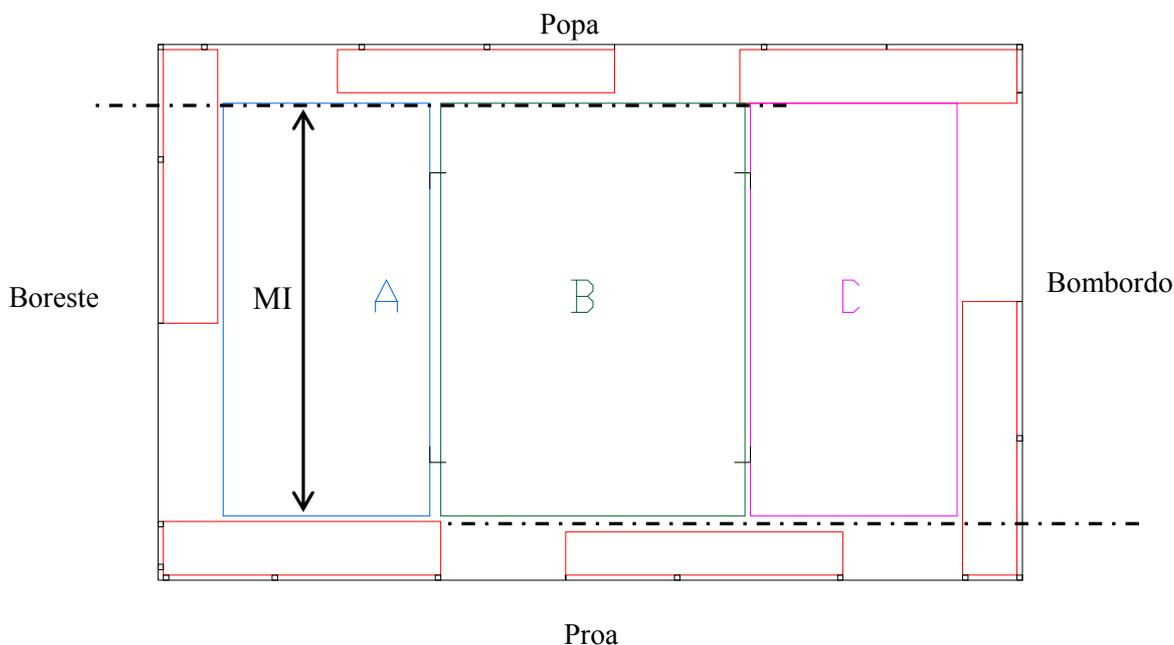


Figura 40 – Cálculo de MI

**2º passo:** Pré-carregar as regiões A e C

- Com base no ranqueamento dos itens, calcular o número de placas ( $nc$ ) paralelas ao comprimento do porão que podem ser alocadas nas Regiões A e C conforme valor calculado de MI. Pré-alocar as placas formando pilhas de 5 placas com base no procedimento descrito no item 4.4.4.1. Essas placas são pré-alocadas respeitando o alinhamento da placa de maior largura do lastro no lado do porão paralelo a Popa do navio (respeitando o valor do  $h_{\text{calço}}$  referente ao existente entre placas).

**3º passo:** Pré-carregar a região B

- A. Com base no ranqueamento dos itens, calcular o número de placas ( $nc$ ) paralelas ao comprimento do porão que podem ser alocadas na Região B conforme o valor de MI calculado e o procedimento descrito no item 4.4.4.2. Essas placas são pré-alocadas respeitando o alinhamento da placa de maior largura do lastro no lado do porão paralelo a Popa do navio (respeitando o calço existente entre placas).
- B. Calcular a distância DB (distância existente entre a última placa alocadas a Bombordo e a última placa alocada Boreste do navio);
- C. Verificar se  $DB > ((\text{largura da próxima placa a ser carregada } (lp_n) + (2 * h_{\text{calço}} \text{ existente entre as placas}))$ 
  - C.1. Se sim, então faça:
    - ✓ Alocar a placa a Bombordo ou a Boreste do navio (a placa é alocada no sentido contrário a última placa carregada pois o carregamento é feito de forma alternada entre Bombordo e Boreste);
    - ✓ Voltar para B.
  - C.2. Se não, então faça:
    - ✓ Verificar, conforme o ranking dos itens, se existe outro item cuja a largura ( $lp$ ) é menor do que  $(DB - 2 * h_{\text{calço}} \text{ existente entre as placas})$ ;
      - Se existir, alocar a placa e voltar para B;

- Caso contrário, calcular o espaçamento final ( $sfb$ ) entre as placas da região B ( $nb$ ) e re-alocar as placas conforme o espaçamento calculado.

$$sfb = \frac{(DB + nb * h_{calço})}{nb + 1}$$

A figura 41 ilustra o carregamento da região B do porão. As placas de cor azul e rosa foram alocadas na região A e C, sucessivamente. O índice existente nas placas carregadas em B indica a ordem de carregamento das placas nessa região.

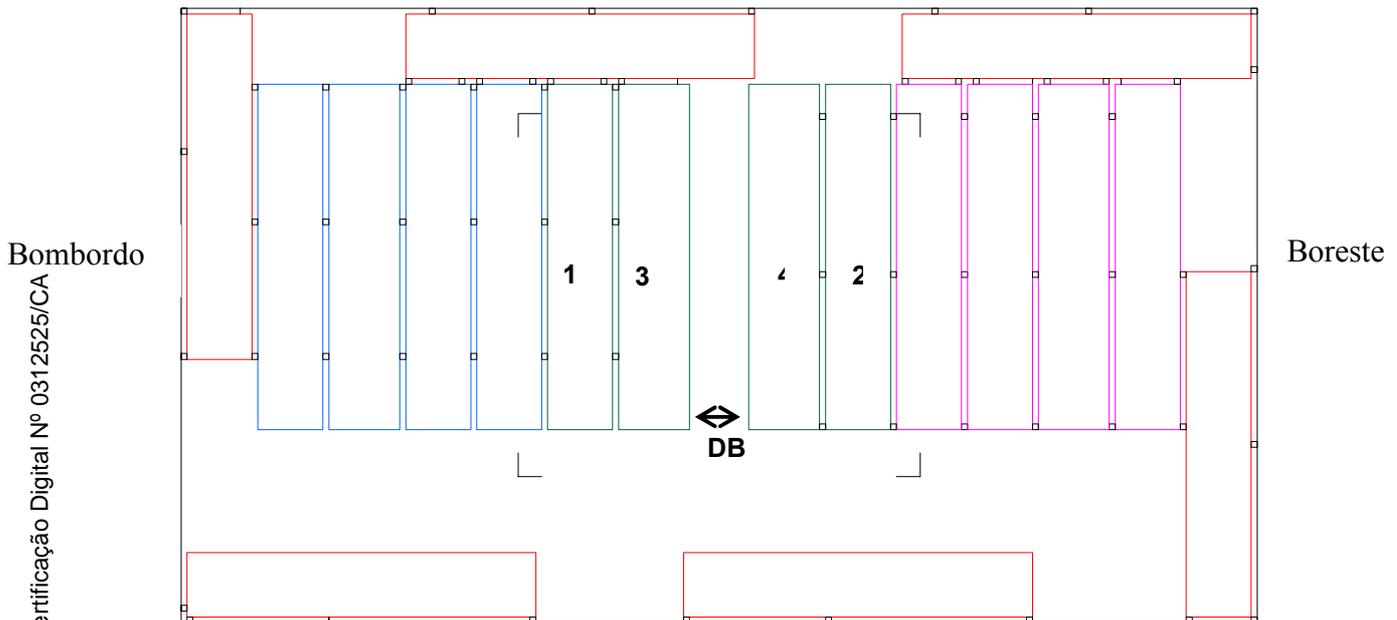
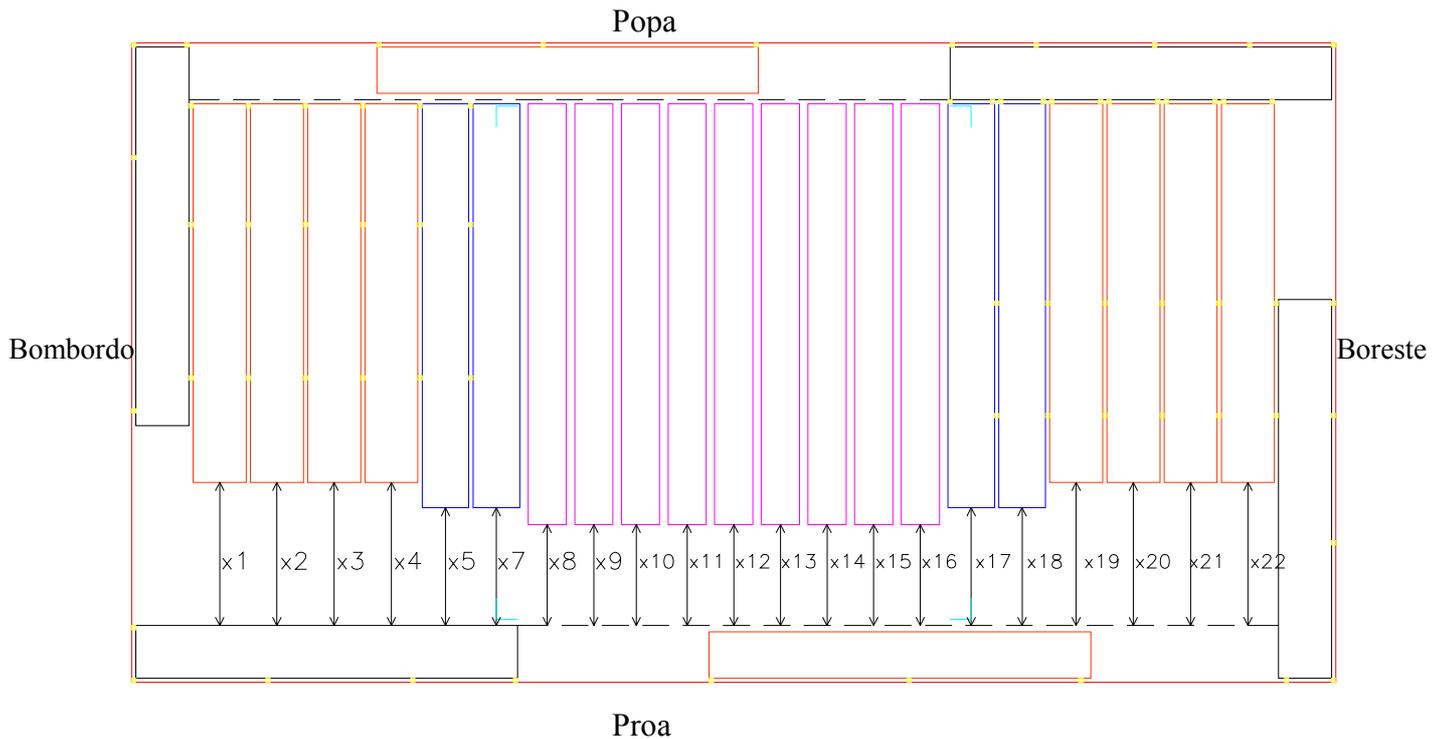


Figura 41 – Carregamento da região B

**4º passo:** Calcular o valor de  $x$  e o “menor espaço que sobra”

- Pré-alocadas as placas nas primeiras  $n$  camadas de carregamento (nas regiões A, B e C), calcular os valores de  $x$  conforme a figura abaixo:



$x$  – espaço entre as placas do lastro do lado do porão paralela a Proa do navio e as placas alocadas nas regiões A, B e C.  $x$  é variável, depende do comprimento das placas alocadas na parte central do porão.

Figura 42 – Cálculo de  $x$

- Para a situação crítica, ou seja, menor valor de  $x$  encontrado nas  $n$  camadas, fazer:
  - ✓ Se (existir algum item cuja largura) < (menor valor de  $x$  encontrado nas camadas atuais de carregamento)
    - Fazer para esses itens:
      - $W^N$  = Menor valor de  $x$  / largura do item
      - $Z^O$  = Menor valor de  $x - [(W+1) * h_{\text{calço}}] / \text{largura do item}$
      - Espaço que sobra =  $x - (Z * h_{\text{calço}}) - (Z * \text{largura do item})$
      - Onde:
        - $W$  = nº de placas de um determinado item, que pode ser alocado neste espaço;
        - $Z$  = valor de  $W$  ajustado para incluir  $h_{\text{calço}}$

<sup>N</sup> $W$  retorna o próximo menor valor inteiro ao se arredondar o valor para baixo

<sup>O</sup> $Z$  retorna o próximo menor valor inteiro ao se arredondar o valor para baixo

**Exemplo:**

Menor valor de  $x$  encontrado foi  $x = 3,45$  e  $h_{\text{calço}} = 0,1\text{cm}$ .

Existe algum item cuja largura é menor ou igual a 3,45?

Tabela 04: cálculo do “espaço que sobra”

	largura	W	Z	Espaço que sobra
Item 15	1,8	1	1	1,45
Item 18	1,72	2	1	1,33
Item 7	1,42	2	2	0,31
Item 3	1,35	2	2	0,45
Item 5	1,07	3	2	1,01

Obs: se houver empate, escolher o item com maior quantidade.

**5º passo:** Definir o item que será utilizado no carregamento do 2º lastro

- A. Escolher o item que gera o menor “espaço que sobra” conforme calculado no 4º passo;
- B. Calcular  $y$ . Nas camadas ímpares (1, 3, 5,...) cujo o sentido de rotação para preenchimento do lastro é o sentido anti-horário,  $y$  é a distância paralela a Boreste do navio. Nas camadas pares (2, 4, 6,...),  $y$  é a distância paralela a Bombordo do navio. Se  $Z > 1$ ,  $y$  será calculado tanto a Bombordo quanto a Boreste do navio nas camadas pares e ímpares, conforme ilustrado nas figuras 43 e 44;

Observação: Se  $Z = 1$ , o 2º lastro será composto apenas pela região paralela a Proa do navio. Se  $Z > 1$ , o 2º lastro será dividido em 2 regiões: uma paralela a Proa e outra paralela a Popa do navio.

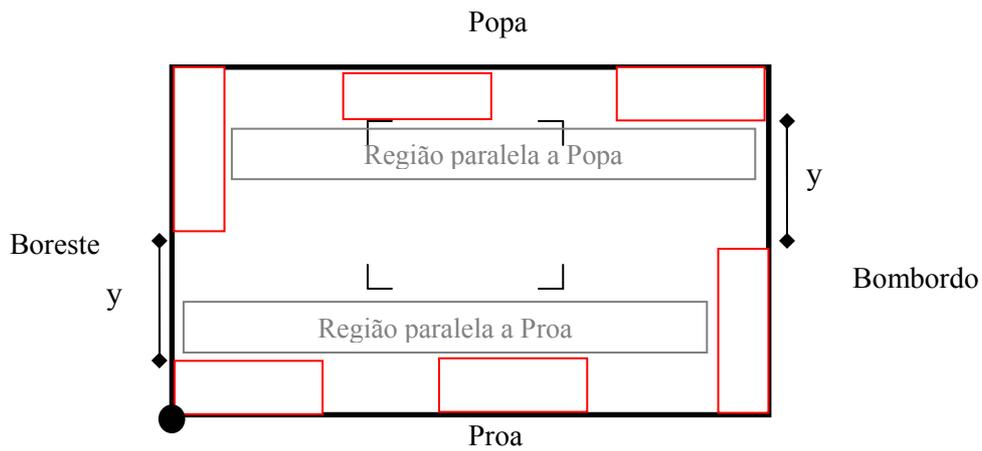


Figura 43 – divisão do 2º lastro do porão em 2 regiões nos casos em que  $Z > 1$  e a camada de carregamento é ímpar

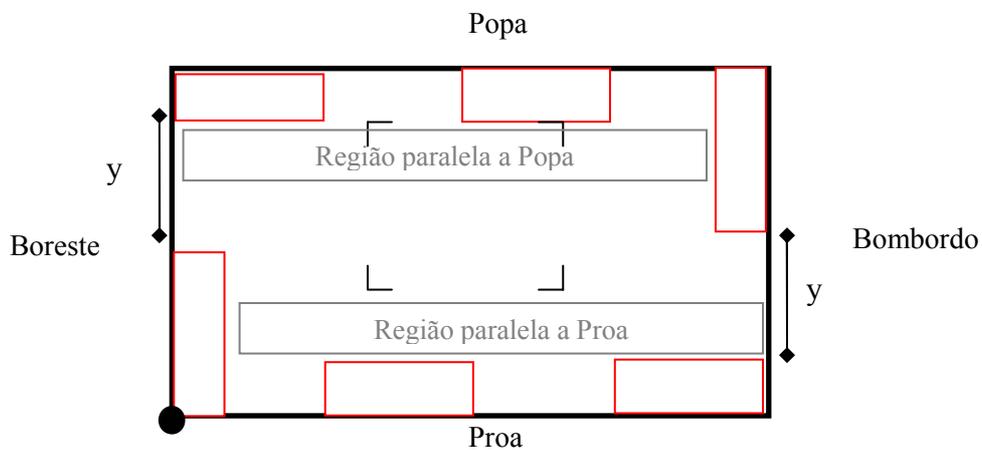


Figura 44 – divisão do 2º lastro do porão em 2 regiões nos casos em que  $Z > 1$  e a camada de carregamento é par

C. Verificar se ( $y > l_p$ )

$l_p$  – largura da próxima placa a ser alocada no porão

- ✓ Se ( $y > l_p$ ), calcular o valor de D1 indicado na figura 45;
- ✓ Se ( $y < l_p$ ), calcular o valor de D2 indicado na figura 45.

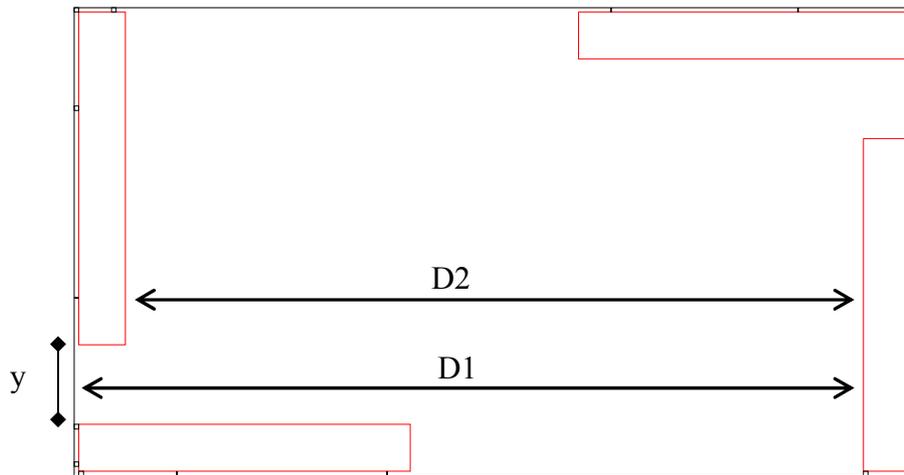


Figura 45 – definição das distâncias D1 e D2

D. Calculado os valores de D1 e/ou D2 para as  $n$  camadas, verificar a quantidade de placas que podem ser alocadas no 2º lastro. A posição final dessas placas será definida no 6º passo;

D.1. Verificar se a quantidade de placas necessárias para o preenchimento desse 2º lastro nas  $n$  primeiras camadas é menor ou igual a quantidade de placas disponíveis.

D.1.1. Se for menor ou igual, então alocar as placas conforme o procedimento descrito no 6º passo.

D.1.2. Caso contrário, procurar a placa que gera a 2ª menor perda de espaço e voltar para “B”.

Se após esse procedimento, a heurística ainda não tiver encontrado um item em quantidade suficiente, alocar a quantidade de placas do item existente que gera menor “espaço que sobra” e completar o carregamento com outro item situado na posição subsequente do ranking dos itens conforme definido em 4.4.1;

**6º passo:** Determinar a posição final das placas do 2º lastro

No passo anterior ficou definido qual item será utilizado no 2º lastro e a quantidade de placas que serão carregadas.

Para determinar a posição dessas placas fazer:

A. Verificar se ( $y > l_p$ )?

A.1. Se sim, empacotar a primeira placa com o mesmo alinhamento da já existente (encostando no lado do porão);

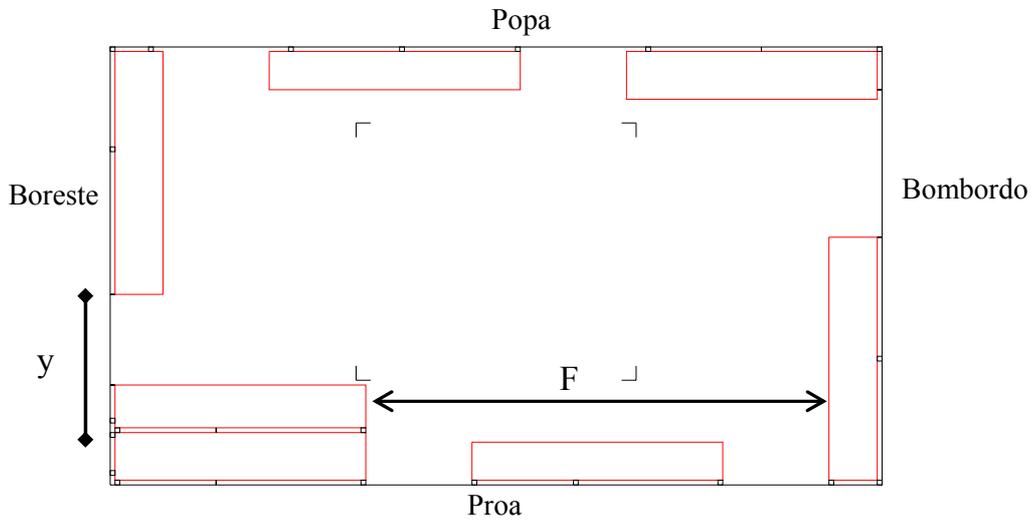


Figura 46 -  $y > l_p$

A.2. Se não, empacotar a primeira placa respeitando o alinhamento da placa paralela a Boreste do navio.

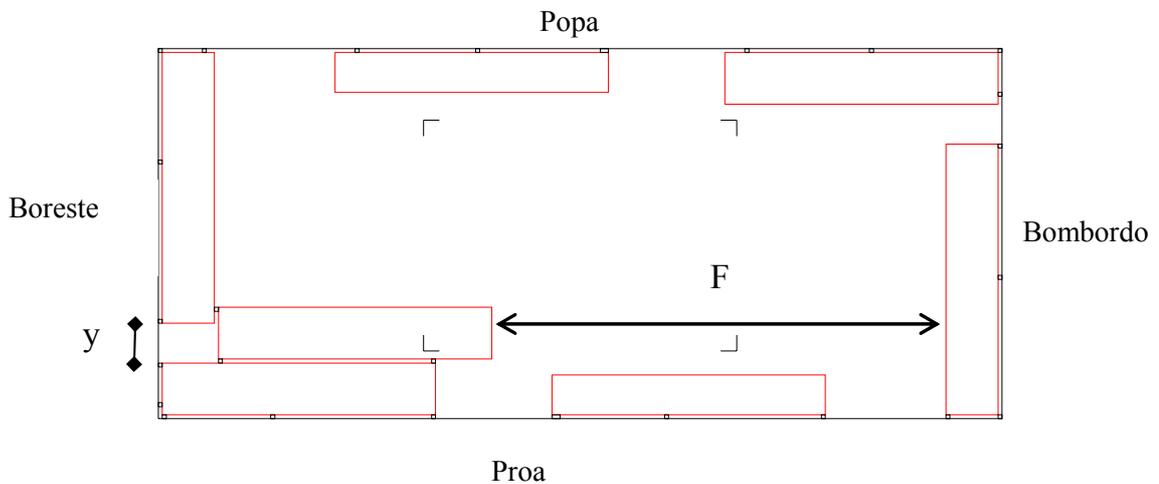


Figura 47 -  $y < l_p$

B. Alocar o restante das placas do 2º lastro conforme quantidade de placas calculada no 5º passo, respeitando o alinhamento da primeira placa alocada no 2º lastro e o  $h_{\text{calço}}$  existente entre placas. No caso de  $Z > 1$ , as placas são alocadas nas regiões paralelas a Popa e paralela a Proa de forma alternada conforme ilustrado na figura 48:

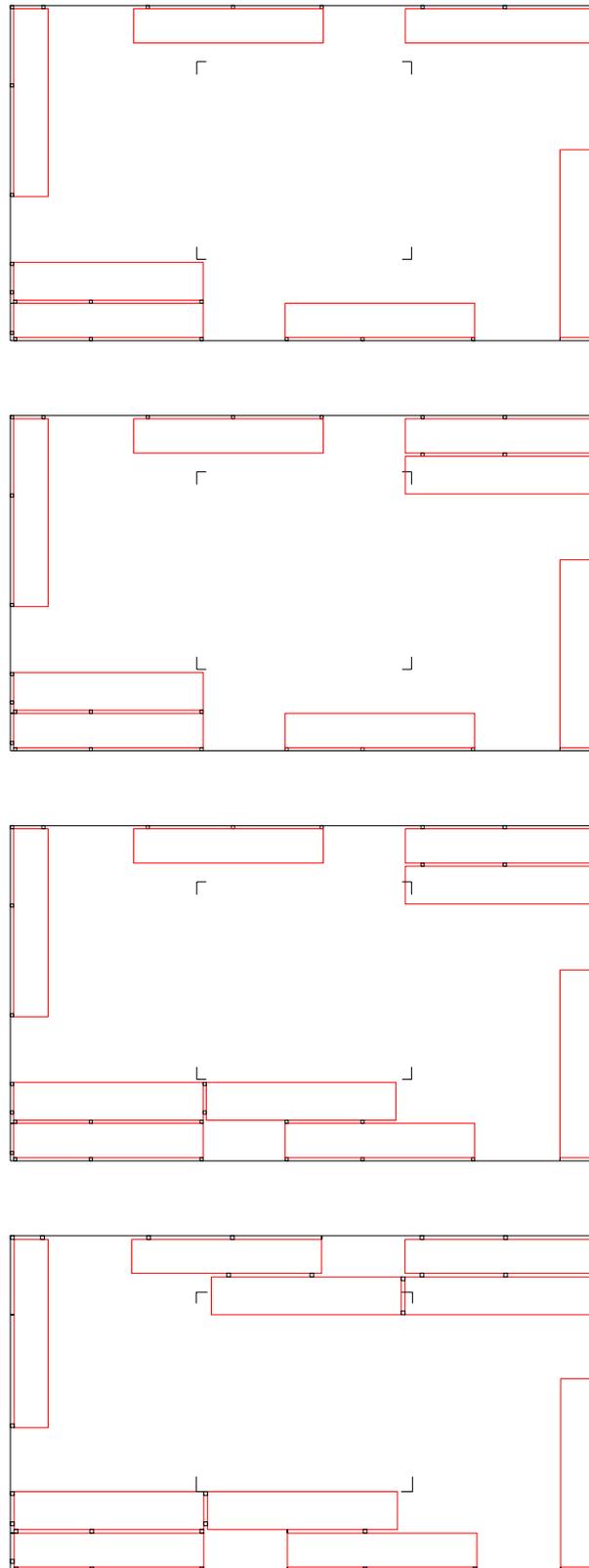


Figura 48 – Alocação das placas no 2º lastro do porão para  $Z = 2$

- C. Calcular  $F$  (distância que ainda não foi preenchida entre a última placa alocada no 2º lastro e a placa do canto paralela a bombordo/boreste);

D. Calcular o espaçamento S entre as placas:

$$S = \frac{(F + (y * h_{calço}))}{y + 1}$$

onde:

y = (quantidade de placas alocadas na região paralela a Proa ou na região paralela a Popa do navio -1)

E. Calcular a posição final das placas do 2º lastro conforme o espaçamento calculado anteriormente.

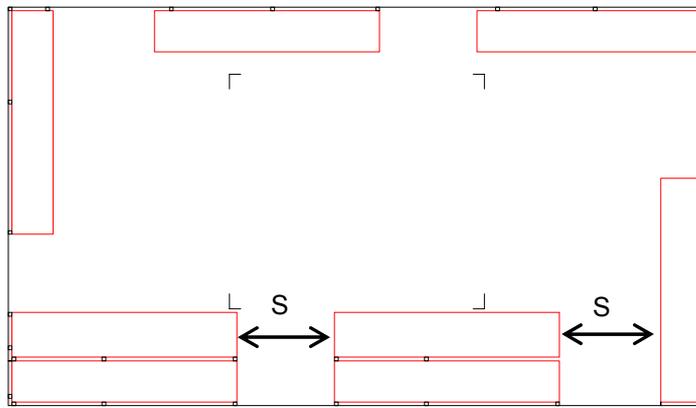


Figura 49 – Posição final das placas da região paralela a Proa

**7º passo:** Deslocar as placas alocadas nas Regiões A, B e C

Após a definição da posição final das placas embarcadas no 2º lastro, deslocar as placas das regiões A, B e C paralelas ao comprimento do porão, conforme a tabela abaixo:

Tabela 05: distância de deslocamento

Valor de Z	Distância a ser deslocada no sentido da Proa do navio
1	—
2 ou 3	Largura da placa alocada na Região paralela a Popa + $h_{calço}$
4 ou 5	Largura da placa alocada na Região paralela a Popa + $h_{calço}$ + Largura da placa alocada na Região paralela a Popa + $h_{calço}$
6 ou 7	Largura da placa alocada na Região paralela a Popa + $h_{calço}$ + Largura da placa alocada na Região paralela a Popa + $h_{calço}$ + Largura da placa alocada na Região paralela a Popa + $h_{calço}$

**8º passo:** Carregamento Definitivo das Regiões A, B e C

- Após deslocar as placas paralelas ao comprimento em direção a Proa do navio, determinar a posição final das placas, calculando o espaçamento entre elas:

$$SC = \frac{(x + (nc * h_{calço}))}{nc + 1}$$

onde x é a distância entre as placas alocadas nas regiões A, B e C e a placa paralela a Proa do navio após a deslocamento efetuado no 7º passo.

**9º passo:** Definição da quantidade de camadas a serem carregadas

Com base na quantidade de placas carregadas na n-ésima camada, procede-se ao seguinte cálculo:

$$R = \frac{(0,9) * (Q_{total\_porão} - Q_{total\_momento})}{Q_{última\_camada}}$$

Onde:

R<sup>P</sup> - n° de camadas que ainda serão geradas e carregadas

Q<sub>total\_porão</sub> - Quantidade total de placas alocadas no porão;

Q<sub>total\_momento</sub> - Quantidade de placas carregadas até o momento

Q<sub>última\_camada</sub> - Quantidade de placas carregadas na última camada

- Se  $R > n$ , gerar e carregar mais **n** camadas de carregamento conforme o procedimento explicado anteriormente;
- Se  $1 \leq R \leq n$  gerar e carregar o próximo menor valor inteiro ao se arredondar o valor para baixo conforme o procedimento explicado anteriormente;
- Se  $0 < R < 1$  gerar mais 1 camada de carregamento e carregar o restante das placas conforme o procedimento explicado anteriormente.

**4.5. Resumo da heurística**

Os passos da heurística estão representados na figura 50:

---

<sup>P</sup> R<sup>P</sup> retorna o próximo menor valor inteiro ao se arredondar o valor para baixo

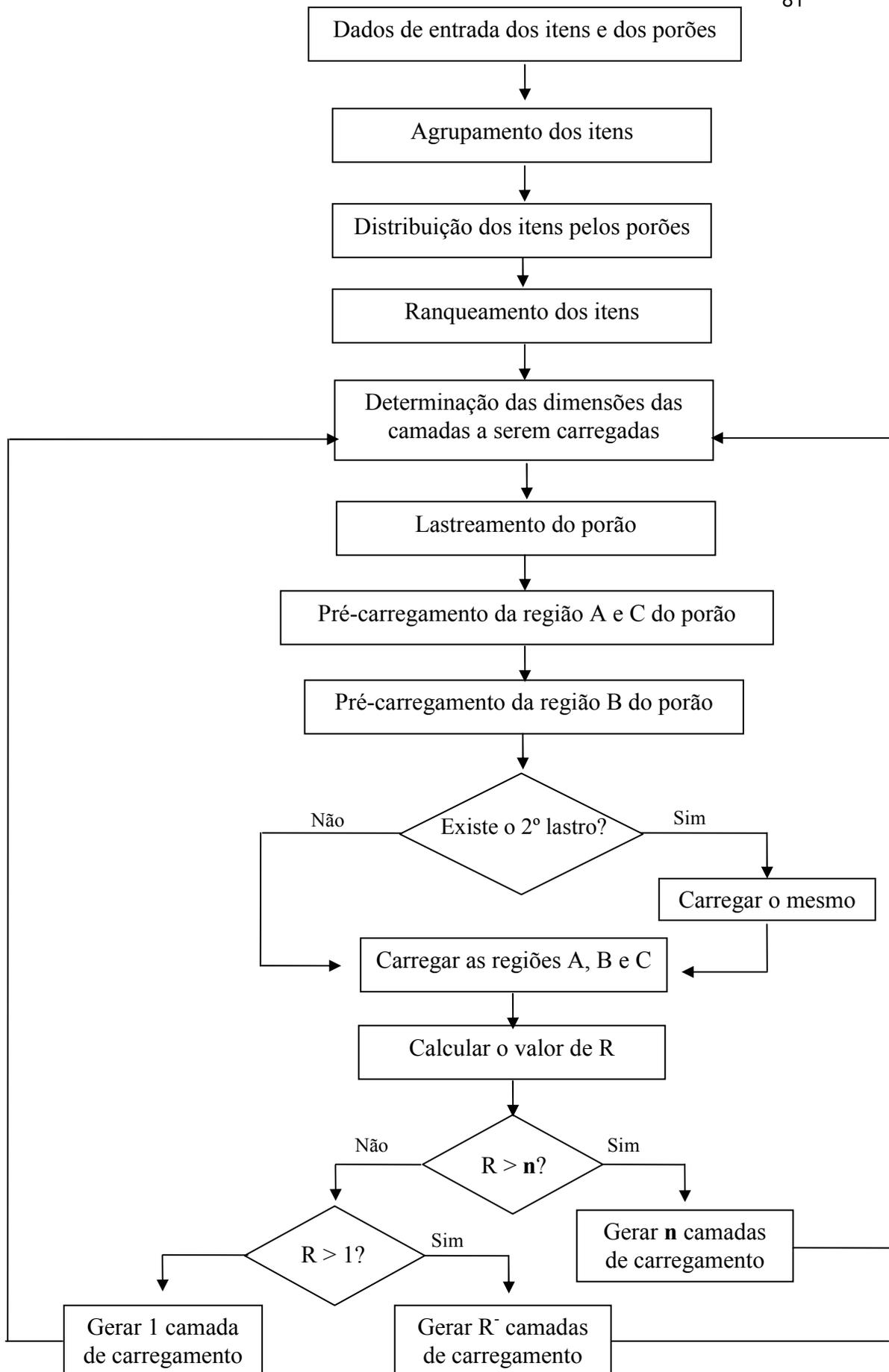


Figura 50 – Resumo da heurística

#### 4.6. Teste da heurística

A partir de dados reais fornecidos pela CST, a heurística foi testada para quatro carregamento distintos. Foram gerados os Planos de Estivagem para os navios Konkar Lydia, Fedral Agno, Norsul Crateus e Olympic Menot. No apêndice A é apresentado o Plano de Estivagem no navio Konkar Lydia cujo porto de destino é o Porto da Philadelphia e a carga embarcada é constituída de 2.761 placas de aço totalizando 54.878,80t.

Além de gerar o layout de cada porão do navio, o método proposto gera como dados de saída uma planilha contendo qual e quantas placas foram carregadas em um determinado porão, o peso total da carga embarcada, o peso pré-determinado para o porão (capacidade do porão que é um dado de entrada do problema) e peso calculado para cada porão. O peso calculado de cada porão é a quantidade máxima de carga que pode ser embarcada em cada porão levando em consideração a resistência do piso do porão.

O método proposto, como todo método heurístico, não garante que o resultado obtido seja ótimo, porém retorna soluções de boa qualidade em um tempo muito inferior em relação ao atual processo de elaboração de Plano de Estivagem utilizado pela CST.