

HEURÍSTICA PARA A RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE NAVIOS EM BERÇOS USANDO ALGORITMOS GENÉTICOS

VANINA MACOWSKI DURSKI SILVA - Universidade Federal de Santa Catarina

ANTÔNIO SÉRGIO COELHO - Universidade Federal de Santa Catarina

SÉRGIO FERNANDO MAYERLE - Universidade Federal de Santa Catarina

LEONOR FARIAS ABREU – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas

Resumo

O presente artigo caracteriza-se pela apresentação de alguns dos problemas portuários, enfatizando o Problema de Alocação de Berços, para o qual se propõe um modelo heurístico de resolução. A heurística proposta baseia-se nos Algoritmos Genéticos e tem por objetivo tornar possível o aprendizado deste assunto, além de instigar o leitor a implementar uma ferramenta computacional baseada neste processo para resolver o problema de maneira prática e eficiente.

Palavras-Chave: Algoritmo genético; Problema de alocação de berços; Competitividade.

Abstract

This paper presents some port problems, emphasizing the Berth Allocation Problem, where is suggested a heuristic model for resolution. The suggested tool is based on the Genetic Algorithms and aim to make possible the agreement of this subject, beyond to instigate the reader to implement a computational tool based on this heuristic to solve the problem in a practical and efficient way.

Keywords: Genetic Algorithm; Berth Allocation Problem; Competitiveness.

1. INTRODUÇÃO

A gestão de um complexo portuário implica em uma diversidade de problemas de tomada de decisão. Diversos são os problemas operacionais e os métodos abordados na literatura técnica, voltados, no entanto para o dimensionamento de berços de atracação compatível com uma demanda esperada de embarcações. Outros estudos buscam a simulação de operações considerando custos, investimentos e encargos, ou seja, voltam-se para uma sistemática de dimensionamento econômico operacional de terminais de contêineres.

Segundo Silva e Coelho (2007), percebe-se uma lacuna a ser ainda explorada no que se refere à pesquisa e métodos para um dos problemas

operacionais de grande relevância encontrado no sistema portuário: o problema de alocação dos navios em berços (PAB).

Sendo assim, o artigo será dividido em 4 capítulos, incluindo este introdutório. No capítulo 2 será apresentado o transporte como desenvolvedor econômico salientando, especificamente, o transporte marítimo e, também, informações sobre a operação portuária, bem como o problema de estudo deste artigo. No Capítulo 3 é apresentado o método heurístico proposto para a resolução do PAB, para o qual foram identificadas as principais variáveis envolvidas com a problemática. Este modelo desenvolvido visa determinar uma sequência de alocação de navios em berços de modo a minimizar o tempo total de atendimento dos navios bem como o custo operacional. Por fim, no Capítulo 4, são apresentadas as considerações finais, conclusões e recomendações para estudos futuros.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO E VISÃO SISTÊMICA DO SISTEMA DE TRANSPORTE MARÍTIMO

2.1. IMPORTÂNCIA DO TRANSPORTE MARÍTIMO E DOS PORTOS

Para atender toda a demanda de alguns itens que irão surgir, o transporte marítimo deve concentrar esforços para reparar a deficiência nos transportes que vem se acentuando nas últimas décadas, seja no que se refere à construção de novos portos ou no que tange à restauração dos existentes, à construção de estaleiros, à troca da frota mercante, ao treinamento de mão-de-obra ou até mesmo à busca da otimização dos atuais sistemas de controle de operação dos portos. Para isso são necessários grandes investimentos com o propósito de reduzir a permanência do navio no porto, de forma a maximizar a sua utilização pelo armador e baratear as operações através da mecanização. Onde os investimentos não ocorrem, a operação de carga e descarga dos navios é lenta, os custos são altos e as perdas são elevadas.

2.2. OPERAÇÕES PORTUÁRIAS

2.2.1. Definição do Problema de Alocação

Conforme Guan et al. (2004), considera-se o problema de alocar espaço nos berços para navios em terminais portuários como um problema de alocação de berços. Uma definição mais completa é que tal problema consiste em determinar o plano de alocação dos navios que atracam no porto aos berços, de modo que cada navio seja alocado em um berço em um período de tempo para realizar as atividades de carga e descarga de mercadorias com o intuito de reduzir os custos

operacionais.

Uma vez que o espaço dos berços é muito limitado e milhares de contêineres precisam ser manipulados diariamente, torna-se imprescindível uma efetiva alocação de berços para que ocorra um eficiente gerenciamento do tráfego de contêineres. Quando não existe espaço disponível no berço, o navio precisa aguardar para atracar. Este tempo deve ser o menor possível, pois o navio parado desnecessariamente gera atrasos nos prazos de entrega, além de custos.

Contudo, a posição de atracação é também uma variável de decisão muito importante. Os contêineres a serem carregados em navios geralmente chegam ao local de seu recolhimento alguns dias antes da chegada dos próprios navios. Se uma embarcação é atracada em um local próximo ao de armazenagem, o custo de entrega dos contêineres pode ser minimizado, já que a distância percorrida por caminhões – ou outros meios que transportam os materiais internamente nos portos – também será reduzida.

Resolução do PAB

A maioria dos estudos dos portos foca a atenção nos problemas estratégicos e táticos. Como a maioria dos berços é operada por companhias de navegação particulares, poucos estudos têm sido conduzidos em relação à alocação de navios em berços (Imai et al., 2001). Na Tabela 1 é apresentada a relação de algumas pesquisas encontradas na literatura para a resolução do PAB:

Pesquisador	Ano	Trabalho
Brown et. al	1994, 1997	Problema de alocação em portos navais
Lim	1998	Problema bidimensional de empacotamento
Moon	2000	Programação linear inteira
Imai, Nishimura e Papadimitriou	2001	Relaxação lagrangeana
Nishimura, Imai e Papadimitriou	2001	Algoritmos genéticos
Park e Kim	2003	Otimização do subgradiente, programação dinâmica
Kim e Moon	2003	Simulated annealing

Tabela 1 – Bibliografia encontrada sobre o PAB

Ainda outros estudos que buscam a solução para o PAB são de Park e Kim (2003), Dai et al. (2004), Guan e Cheung (2004) e, Mulato e Oliveira (2006).

3. PROPOSTA DE RESOLUÇÃO DO PAB

3.1. VISÃO GERAL DO MÉTODO PROPOSTO

Semelhante à série de estudos de Imai, Nishimura e Papadimitriou (2001, 2003), o intuito desta pesquisa é propor uma ferramenta alternativa para a resolução do PAB, diferenciando-se dos demais estudos encontrados no que se refere à inserção de variáveis relacionadas a custos de operação, criando um modelo mais próximo da atividade praticada nos portos. A inclusão do custo de estadia (o custo da diária) de um navio no porto é um exemplo, aspecto de grande relevância na tomada de decisão.

Na prática, sabe-se que um porto recebe embarcações de diversos portes. Assim, são cobradas diferentes taxas de estadia. Em um levantamento realizado junto ao Porto de Itajaí (SC) obteve-se a informação de que a diária de um navio é aproximadamente US\$ 15.000,00. Neste caso, provavelmente será mais rentável atender um navio de grande porte primeiramente, deixando os navios de pequeno porte para segundo plano, a fim de se evitar alto custo de permanência no local.

Além dos fatores que serão considerados diferentemente das demais pesquisas levantadas, este artigo apresenta uma diferença com relação ao modelo de Nishimura et al. (2001). Os autores trabalham com a divisão do problema em *n* subproblemas (SUBs) de alocação de berços em termos de fator temporal, conforme a

Após a liberação de todos os berços, o primeiro subproblema é resolvido pelo algoritmo genético. Herdando a solução do primeiro SUB (isto é, quando todos os berços estiverem livres novamente), o próximo SUB é resolvido. O processo se repete até que todos os SUBs tenham sido resolvidos. Entretanto, a solução final pode ser afetada pelas soluções intermediárias. No modelo a ser proposto isto não ocorre, uma vez que é considerado um único problema contendo todos os navios para atracação.

Outra diferença do trabalho de Nishimura et al. (2001) é a forma de se caracterizar um cromossomo. Neste trabalho analisa-se um a um, escolhendo a melhor atracação individual, para posteriormente selecionar outro navio e escolher novamente qual a melhor posição de atracação. Assim, vai se formando uma seqüência de atracação, ou seja, um cromossomo. Na pesquisa dos autores citados, cria-se aleatoriamente uma seqüência de atracação de navios e, posteriormente, analisa-se o *fitness* desta alocação. No estudo que aqui se apresenta, no entanto, considera-se alguns parâmetros julgados como sendo de grande relevância para a resolução do PAB, propondo-se um método de resolução de fácil implementação e que pode proporcionar bons resultados. A pesquisa proposta, de caráter aplicado, é descritiva, visando descrever as características do problema, e também bibliográfica, pois utiliza-se de material já publicado sobre o assunto. Como trata-se de uma

proposta de resolução do problema, sugere-se que para sua validação futura seja realizado um estudo de caso.

3.2. PARÂMETROS PARA RESOLUÇÃO DO PAB

A fim de retratar o funcionamento portuário quanto ao plano de atracação, é preciso determinar alguns parâmetros pertinentes ao problema para que o mesmo se aproxime ao máximo do problema real encontrado nos portos.

3.2.1.Custos (Navio e Porto)

O sistema portuário, por suas responsabilidades e atividades, envolve diversos custos em sua operação. Para o desenvolvimento deste artigo consideraram-se as tarifas de atracação e de movimentação de cargas, as quais foram julgadas como sendo de maior impacto na formação do custo operacional portuário.

A tarifa de atracação é cobrada por metro linear de cais ocupado por embarcação atracada e por período ou fração de horas. Alguns portos adotam a nomenclatura 'período' para designar certa quantidade de horas corridas desde o momento de atracação do navio em um dado berço até sua liberação do mesmo. Por exemplo: o porto de Santos (SP) considera como um período o equivalente a seis horas corridas. Assim, se um navio permanecer atracado em certo berço por sete horas, estará pagando a tarifa de atracação referente a dois períodos, pois ultrapassou o limite de seis horas de um único período.

A tarifa de movimentação de cargas é cobrada em função do movimento realizado pela embarcação. Esta tarifa pode ser cobrada tanto por toneladas movimentadas, quanto por contêineres, porém deve-se definir o critério de cobrança no ato da negociação entre o armador e o porto.

Estas duas tarifas são consideradas as tarifas principais cobradas pela utilização da infra-estrutura portuária, havendo ainda as tarifas cobradas pela utilização da infra-estrutura terrestre e por serviços gerais.

3.2.2.Restrições

Dentre as diversas restrições influentes no processo decisório de atracação de certo navio, destacam-se: a temporal, a de calado, a de comprimento de equipamentos e a de agendamento de navios.

Com relação à restrição temporal, é preciso considerar o momento de chegada de um navio no porto, bem como o momento de liberação dos berços. Por liberação de berço entende-se o momento em que um navio deixa um berço,

liberando-o para receber outro navio. Na prática, os portos consideram um intervalo de tempo entre o momento de liberação do berço e uma nova atracação no mesmo. Este intervalo é utilizado para se preparar o berço para a atracação seguinte, seja retirando ou reposicionando equipamentos, seja realocando mão de obra, etc. O porto de Itajaí considera este intervalo como sendo de duas horas.

A restrição de calado é responsável por avaliar se a profundidade do berço é superior ao calado do navio permitindo uma navegação sem problemas. Normalmente o valor do calado do navio representa 70% do valor da profundidade do berço, isto para maior segurança na atracação. A restrição de comprimento deve verificar se o comprimento do berço é superior ao comprimento do navio para permitir que a embarcação atraque no mesmo.

Quanto aos equipamentos, é preciso avaliar se os prováveis berços (os quais já atenderam as restrições anteriores) a receberem um dado navio possuem equipamentos apropriados para a operação de carga e descarga de mercadorias. Para este estudo foi considerado que todos os berços possuem equipamentos disponíveis para qualquer tipo de navio a ser operado.

A restrição de agendamento a ser considerada neste estudo tem o intuito de garantir que o escalonamento dos navios ocorra de duas formas possíveis: por menor data de liberação dos navios ou por menor custo de alocação. Em alguns casos, e dependendo do tipo de mercadoria a ser manipulada, é conveniente efetuar a operação de carga/descarga no menor período de tempo possível; principalmente em casos de produtos perecíveis, onde o fator tempo tem papel fundamental no prazo de validade dos mesmos, ainda que para isso a alocação tenha um custo superior.

Já em outros casos, geralmente para produtos não perecíveis como minérios, ferro, alumínio, é mais conveniente garantir que a alocação tenha o menor custo possível para não encarecer a mercadoria. Assim, provavelmente o navio irá permanecer em espera para atracação por um período de tempo maior, porém, com um custo de alocação provavelmente inferior ao custo que teria caso optasse por alocar pelo critério de menor data de liberação.

3.2.3. Variáveis de Decisão (Quando e Quanto Alocar Cada Navio)

A administração do porto, tendo em seu poder uma lista de navios a atracar em um dado período de tempo, deve realizar o plano de atracação, ou seja, criar um sistema de agendamento dos navios de modo a garantir que todos os navios sejam atendidos no menor período de tempo ou menor custo possível. Para isso é necessário averiguar se todas as restrições são satisfeitas para o escalonamento se iniciar. O plano de atracação deve ser capaz de alocar os navios aos berços da melhor maneira possível, ou seja, determinar em 'qual' berço deverá atracar cada navio, bem como 'o momento' de atracação, analisando se houve tempo de espera

por parte de cada navio, contabilizando custos a fim de otimizar o sistema operacional portuário para, no final do escalonamento, determinar um conjunto de berços atendendo a um conjunto de navios atracados em diferentes momentos, com capacidades, tarifas e produtividade diferenciadas.

Como a atividade portuária envolve a chegada e saída diária de diversos navios (o porto de Roterdã recebe em média 60 navios), bem como a utilização de vários berços (Roterdã atua com cinco áreas para atracação mais duas áreas para atracação de emergência), o agendamento dos navios muitas vezes pode ser moroso, necessitando utilizar-se da Tecnologia de Informação (TI).

3.3. ALGORITMO HEURÍSTICO DE ALOCAÇÃO

Buscando propor um método de fácil implementação e que pode proporcionar bons resultados para a resolução do PAB, um algoritmo heurístico é sugerido para a alocação dos berços aos navios.

Inicialmente propõe-se um algoritmo simplificado que seja capaz de analisar uma lista de navios (cada qual contendo informações de momento de chegada, calado, carga, comprimento e tarifas diferenciadas), e uma lista de berços (com informações sobre o momento de liberação, intervalo considerado, profundidade, comprimento, produtividade, tarifas) para, em seguida, verificar se as restrições impostas pelos mesmos são satisfeitas e, posteriormente, alocar cada navio em um dado berço.

A lista de navios a serem atracados não é necessariamente informada conforme o horário de chegada. O algoritmo tem como critério para alocação verificar o último momento de liberação de um dado berço, somar o período de intervalo a ser considerado (de duas horas, no caso do porto de Itajaí), para em seguida alocar um navio neste dado berço.

Supondo uma lista com dois navios a serem atracados, conforme a Tabela 2:

Identificação do Navio	Comprimento	Calado	Carga	Momento de Chegada	Custo de ficar Parado
n1	220	14	150	18/8/2007 17:00	2.000,00
n2	210	14	125	18/8/2007 12:30	1.700,00

Tabela 2 – Exemplo de lista de navios a serem atracados

Fonte: do autor

E uma lista de dois berços existentes, conforme a Tabela 3:

Identificação do Berço	Comprimento	Profundidade	Produtividade (contêiner/hora)	Momento de Liberação	Tarifa de Atracação	Tarifa de Movimentação (por contêiner)
b1	260	16	50		2,50	45
b2	250	13	45		2,30	45

Tabela 3 – Exemplo de lista de berços a serem ocupados

Fonte: do autor

Ao se efetuar o agendamento dos navios, percebe-se que o berço b2 não atende à restrição de calado, pois ambos os navios necessitam de 14 metros para atracação e o berço b2 possui apenas 13 metros de profundidade. Desse modo, ambos terão de ser atendidos pelo berço b1, o qual atende às restrições de comprimento e profundidade.

Como a lista de navios inicia-se pelo navio n1 cujo momento de chegada é às 17:00 h, este deverá ser o primeiro navio a ser alocado. É válido citar que este é o critério considerado nesta pesquisa, podendo ser alterado de autor para autor, ou seja, poderia inicialmente ser ordenada a lista de navios conforme o momento de chegada para posteriormente realizar-se o escalonamento.

Neste exemplo também é considerado o momento de liberação de ambos os berços como sendo livre para efetuar o escalonamento a qualquer momento, ou seja, um navio pode ser atracado em qualquer um dos berços a partir do momento de sua chegada (isso se as restrições forem satisfeitas).

Parte-se então do navio n1 que tem seu momento de chegada às 17:00 h. Como já foi citado, será atendido pelo berço b1, no exato momento de sua chegada. Como possui 150 toneladas de mercadoria a ser descarregada e o berço b1 possui uma produtividade de 50 toneladas por hora, este navio b1 levará 3 horas para ser atendido, portanto, encerrando suas atividades no porto às 20:00 h. A partir deste momento é acrescido o período de intervalo de duas horas (neste exemplo) para que o berço receba o tratamento necessário para estar apto a receber o próximo navio, por volta das 22:00 h.

Neste horário, o navio n2 atraca no b1 para ser atendido e, possuindo 125 toneladas para serem manipuladas, encerrará seu atendimento às 00:30 h, liberando o berço neste momento. Assim, pode-se concluir que o navio n1 não teve tempo de espera e o navio n2 teve um tempo de espera de 9:30 h, conforme a Figura 2 (a), (ver apêndice).

Para calcular o custo total da alocação (CA), considera-se:

$$MinCA = \sum_{i \in N} \sum_{j \in B} \left\{ \left[(E_i + A_{ij}) \cdot CP_i \right] + (C_i \cdot TMov_j) + \left[(L_i \cdot TAttrac_j) \cdot P \right] \right\} \cdot x_{ij} \quad (7)$$

Sujeito à:

$$\sum_{i \in N} (L_j - L_i) \cdot x_{ij} \geq 0 \quad \forall j \in B \quad (8)$$

$$\sum_{i \in N} (D_j - D_i) \cdot x_{ij} \geq 0 \quad \forall j \in B \quad (9)$$

$$Mcheg_i + \sum_{i \in N} A_{ij} \cdot x_{ij} - Mlib_j \geq 0 \quad (10)$$

Onde:

CA: é a função objetivo do custo de alocação;

E_i: tempo de espera do navio *i*;

A_{ij}: tempo de atendimento do navio *i* no berço *j*;

CP_i: Custo do navio *i* parado;

Mcheg_i: momento de chegada do navio *i*;

Mlib_j: momento de liberação do berço *j*;

L_i: comprimento do navio *i*;

L_j: comprimento do berço *j*;

D_i: calado do navio *i*;

D_j: profundidade do berço *j*;

TAtac_j: tarifa de atracação cobrada pelo berço *j* ao navio *i*;

C_i: carga do navio *i*;

TMov_j: tarifa de movimentação cobrada pelo berço *j* ao navio *i*;

P: número de períodos executados;

x_{ij}: variável binária do tipo 0-1, onde assume o valor 1 caso o navio *i* tenha sido atendido no berço *j* e assume o valor 0 em caso contrário;

N = {n₁, n₂, ..., n_k}, representa o conjunto de navios;

B = {b₁, b₂, ..., b_m}, representa o conjunto de berços.

A equação (8) representa a restrição de que o comprimento do berço *j* deve ser maior que o comprimento do navio *i*; a restrição (9) indica que o calado do navio *i* deve ser inferior à profundidade do berço *j*; e a restrição (10) indica que o momento de atracação e atendimento do navio *i* deve ser superior ao momento de liberação do berço *j*, ou seja, um navio não pode ser atracado e atendido por um dado berço antes deste ser liberado do atendimento ao navio anterior.

Portanto, o custo total desta alocação é de \$ 29.500,00 obtido pela equação (7). Se a lista de atendimento iniciasse pelo navio n₂, o qual seria atendido primeiramente, o custo total de alocação seria de \$ 23.700,00, pois os navios permaneceriam menos tempo no porto, não havendo tempo de espera por nenhum navio, conforme a Figura 2 (b).

Como consequência, resulta em um custo de tempo navio parado inferior ao da primeira alocação, ou seja, neste caso a redução de custo seria de aproximadamente 20%.

Devido o custo variar muito de uma sequência de alocação a outra, faz-se necessário avaliar as diversas possibilidades de seqüências que podem existir e, para que esta busca não seja exaustiva, propõe-se um algoritmo de busca genética para realizar a análise das possíveis seqüências de alocação.

3.4. ALGORITMO DE BUSCA GENÉTICA

Os Algoritmos Genéticos como método heurístico não garantem a otimalidade das respostas, porém, envolvem uma população de indivíduos que são testados e analisados no intuito de se obter um *fitness* (representado por f_n), adequado para a solução do problema, o qual será avaliado através do valor expresso na função.

3.4.1. Caracterização do Cromossomo

Para o PAB, um cromossomo pode ser representado por uma seqüência de navios, os quais carregam consigo os valores das variáveis:

$$\text{Cromossomo} = \{ N3_1, N2_2, N1_3, \dots, Nn_k \}$$

onde Nn_k representa o k-ésimo navio da lista, sendo que cada navio ocupa uma posição nesta lista (por exemplo: o navio $n3$ ocupa a posição 1 na lista).

3.4.2. Geração de uma População Inicial

Uma população inicial é formada, em princípio, através de algum mecanismo de avaliação de performance (GOLDBARG & LUNA, 2000). Para este estudo os indivíduos são codificados numa seqüência finita de navios e, assim, cada componente da seqüência é dito um gene (um navio), o qual leva consigo as diversas variáveis de análise (comprimento, largura, carga, etc).

A avaliação de performance, mais conhecida como *fitness*, representa a capacidade do indivíduo em adaptar-se ao meio ambiente. No caso dos AG, quando aplicados a problemas de otimização combinatorial, sua medida relaciona-se com o valor da função objetivo, o qual pode ser calculado conforme a expressão apresentada em (7). Considerando que para o PAB deseja-se encontrar o menor valor para a função objetivo, a medida do *fitness* deve ser considerada de modo que quanto menor o seu valor, maior é sua capacidade de adaptação.

3.4.3. Técnica de Seleção

Para ordenar os indivíduos da população durante o processo de busca é utilizada a medida de *fitness* (e representada por f_n), calculada por (7), conforme já citado. A ordem é dada pela seguinte maneira: $f_1 \leq f_2 \leq \dots \leq f_n$. E, deste modo, o primeiro indivíduo da população apresenta o melhor desempenho, enquanto que o último indivíduo apresenta o pior desempenho de toda população. Desta maneira o

método escolhe sempre os indivíduos com melhores desempenhos, fazendo com que se reproduzam.

3.4.4. Operação de Reprodução ou *Crossover*

São várias as regras existentes para se efetuar o cruzamento de indivíduos. Para o problema desta pesquisa opta-se por inovar e diferenciar-se das demais regras, considerando a média das posições ocupadas pelos indivíduos nos cromossomos. A razão desta escolha tem o intuito de utilizar um modo diferente do comum para realizar tal operação, o qual é simples e rápido de se realizar. Convém testar e analisar em estudos futuros, o método proposto, porém utilizando outra técnica de *crossover*, comparando-os.

Considerando dois cromossomos:

$$C1 - \{ N3_1, N2_2, N4_3, N1_4 \}$$

$$C2 - \{ N2_1, N4_2, N1_3, N3_4 \}$$

Faz-se as médias das posições ocupadas por cada indivíduo nos dois cromossomos:

N1: ocupa as posições 4 e 3, portanto a média é 3,5;

N2: ocupa as posições 2 e 1, portanto a média é 1,5;

N3: ocupa as posições 1 e 4, portanto a média é 2,5;

N4: ocupa as posições 3 e 2, portanto a média é 2,5;

Em seguida, são ordenados em uma lista em ordem crescente e, quando haver empate, escolhe-se aleatoriamente qualquer um deles para ocupar a posição:

$$1,5 \leq 2,5 \leq 2,5 \leq 3,5$$

↓ ↓ ↓ ↓

$$N2_1 - N3_2 - N4_3 - N1_4$$

Como houve empate entre as médias dos indivíduos N3 e N4, optou-se por inserir na lista, na segunda posição, o navio N3 e, na sequência, o navio N4.

3.4.5. Operação de Mutação

No PAB, a mutação deve ser realizada aleatoriamente após o *crossover*, sendo utilizada uma taxa de mutação, ou seja, uma probabilidade de que este procedimento ocorra.

O operador mutação tem um importante papel na evolução da população (introdução e restauração de características), porém é considerado um operador genético secundário, devendo ocorrer com probabilidade baixa, atendo-se ao

elevado custo computacional.

3.5. IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO PROPOSTO

Para a implementação do método proposto sugere-se que o mesmo seja baseado nos estudos de Imai et. al (1994, 2001, 2003, 2005) e Nishimura et. al (2001).

Sendo assim, propõe-se para a resolução do PAB a construção de um programa que pode ser desenvolvido em Delphi®, no qual deverá ser implementado o método indicado, testando-se e analisando-se o comportamento das variáveis. A sugestão para o uso do Delphi® dá-se em função deste incluir diversas facilidades de simulação e possibilitar a representação de aspectos dinâmicos, com o objetivo de tornar o modelo mais aderente à realidade que se deseja representar.

A sugestão do método heurístico de resolução do PAB é idealizada para uso genérico, de modo que possa se adaptar a qualquer terminal portuário modificando-se alguns parâmetros.

No intuito de avaliar o sistema proposto sob o ponto de vista da qualidade dos resultados obtidos, foi realizado um protótipo do *software* proposto para o caso do Porto de Itajaí (Brasil), o qual atualmente não possui uma ferramenta de otimização desta operação de alocação e, sim, utiliza o apoio do *software* Excel®.

Considerou-se, para o teste, o período compreendido entre 20 de novembro a 31 de dezembro. Neste intervalo de tempo, 63 navios deveriam ser atracados no porto.” Atualmente o porto opera 24 horas por dia durante 7 dias na semana, possuindo 3 berços para atracação. É válido citar que o Porto de Itajaí possui um cais de 740 metros e não opera com berços de tamanho fixo. Na média seriam 3 berços de 246 metros cada. Na prática, porém, este comprimento varia conforme o comprimento do navio que necessita de atracação. Por exemplo: se o porto recebe um navio de 260 metros, irá utilizar os 246 metros do primeiro berço e mais 14 metros do segundo berço. Assim, para a execução dos testes com os dados reais de Itajaí, foram descartados os navios de maior comprimento, uma vez que o *software* desenvolvido opera com berços individualizados e, considerando que não é muito freqüente a chegada de navios destes comprimentos maiores, o resultado do plano de atracação não será muito diferenciado do plano elaborado pelos funcionários do porto em questão.

Os testes realizados para o caso do Porto de Itajaí apresentaram-se satisfatórios, pois foi possível alocar todos os navios planejados, e, em alguns casos, houve divergência quanto ao tempo de permanência dos navios no porto, no sistema real, provavelmente devido a variáveis exógenas (tal como atraso na chegada), as quais não foram consideradas no *software* proposto. Assim, foi

realizada uma análise da diferença de alocação obtida entre o Porto de Itajaí e o proposto pelo PAB..

Neste gráfico apresentam-se os 30 casos para os quais foi analisada a diferença obtida entre o momento de atracação real do porto e do momento proposto pelo PAB. Pode-se perceber que, para a maioria dos casos analisados, a diferença de alocação foi de até 5 horas de antecipação na alocação proposta pelo PAB, ou melhor dizendo, o PAB adiantou em até 5 horas a maioria das atracações. Isto não garante a eficiência do método proposto se comparado com o sistema do Porto de Itajaí, pois para os casos testados no PAB considerou-se que os berços estavam liberados no momento da realização do plano de atracação, sendo que, na prática, em Itajaí, provavelmente havia outros navios ocupando os berços, atrasando a atracação dos navios considerados para esta análise. Porém, também não se descarta a importância do *software* proposto, uma vez que as atracações sugeridas ficaram próximas daquelas ocorridas na prática, alcançando os objetivos propostos de redução de custos, bem como a facilidade de elaboração do plano de atracação. É válido citar que não foi possível testar o modelo proposto com os modelos propostos por Imai et. al (1994, 2001, 2003, 2005) e Nishimura et. al (2001) uma vez que os mesmos não deixaram claro a forma de implementação do modelo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final deste artigo espera-se ter repassado, de maneira concisa, algumas implicações existentes na gestão portuária, mais especificamente o problema de alocação de navios em berços, com suas implicações.

Espera-se que tenha havido algum aprendizado no que se diz respeito a algoritmos genéticos, ferramenta de fácil compreensão e aplicação, a qual é proposta para a resolução do PAB.

Para um avanço nesta pesquisa, propõe-se a validação desta ferramenta proposta, realizando testes que utilizem as sugestões dadas neste artigo, de uso do algoritmo genético e inclusão de variáveis pertinentes ao problema real, permitindo testar a metodologia sugerida e avaliar seus resultados no intuito de contribuir para a gestão do sistema portuário.

Apêndices

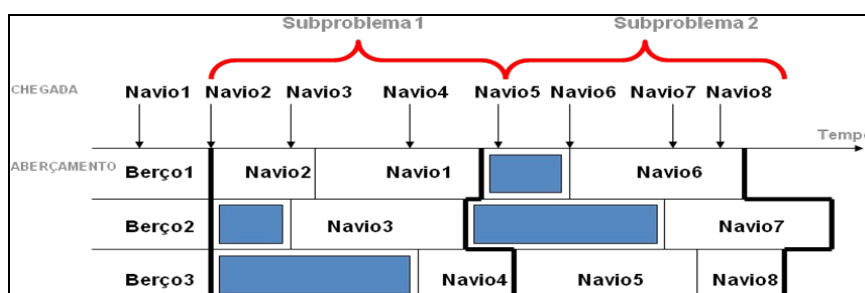
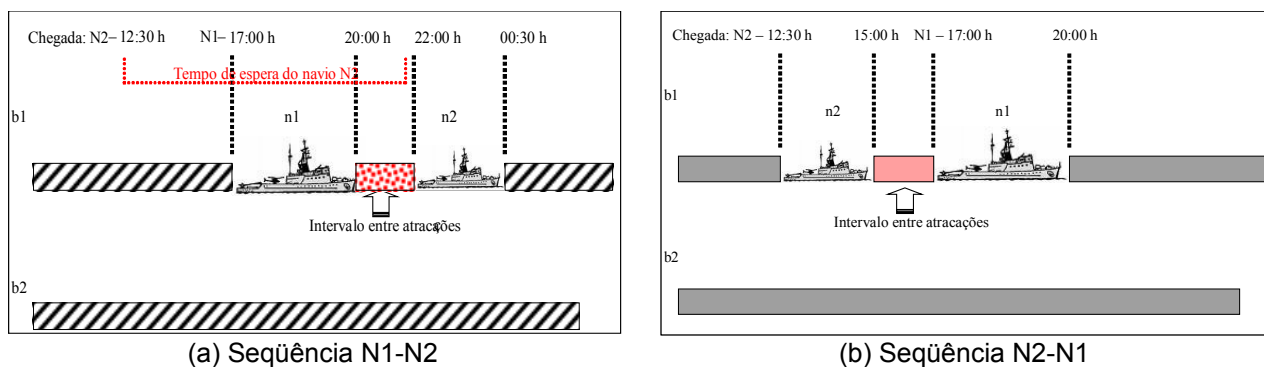
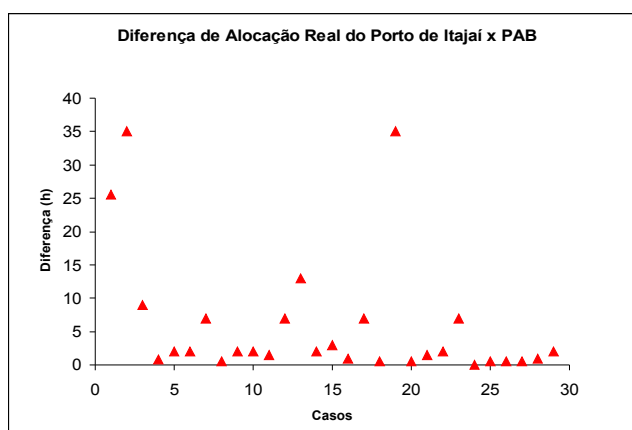


Figura 1 – Programação de atracação (NISHIMURA et al., 2001)**Figura 2 - Atendimento dos navios variando a sequência**

Fonte: do autor

**Gráfico 1 – Análise da diferença de alocação do Porto de Itajaí e o PAB****Referências**

[1] Anuário Estatístico dos Transportes. Disponível em:

<http://www.geipot.gov.br/anuario2001/complementar/tabelas/722.xls>

ls> BROWN, G. G., LAWPHONGPANICH, S., THURMAN, K. P. Optimizing ship berthing. *Naval Research Logistics*, v. 41, 1-15, 1994.

[2] BROWN, G. G., CORMICAN, K. J., LAWPHONGPANICH, S., WIDDIS, D. B. Optimizing submarine berthing with a persistence incentive. *Naval Research Logistics*, v. 44, 1997.

[3] DAI, J., LIN, W., MOORTHY, R., TEO, C.-P. Berth allocation planning optimization in container terminal. Disponível em:

[04>](http://www.bschoo1.nus.edu.sg/staff/bizteocp/berthplanningjuly2004)

- [4] GOLDBARG, M. C. LUNA, H. P. L. *Otimização combinatório e programação linear: modelos e algoritmos*. Rio de Janeiro: Campus, 2000.
- [5] GUAN, Y.; CHEUNG, R. K. The berth allocation problem: models and solutions methods. *OR Spectrum*. v. 26, 75-92, 2004.
- [6] IMAI, A., NAGAIWA, K., TAT, C. W. Efficient planning of berth allocation for container terminals in Asia. *Journal of Advanced Transportation*. v. 31, n. 1, 75-94, 1994.
- [7] IMAI, A., NISHIMURA, E., PAPADIMITRIOU, S. The dynamic berth allocation problem for a container port. *Transportation Research Part B*. v. 37, 401-417, 2001.
- [8] IMAI, A., NISHIMURA, E., PAPADIMITRIOU, S. Berth allocation with service priority. *Transportation Research Part B*. v. 37, 437-457, 2003.
- [9] IMAI, A., SUN, X., NISHIMURA, E., PAPADIMITRIOU, S. Berth allocation in a container port: using a continuous location space approach. *Transportation Research Part B*. v. 39, 199-221, 2005.
- [10] KIM, K. H., MOON, K. C. Berth scheduling by simulated annealing. *Transportation Research Part B*. v. 37, 541-560, 2003.
- [11] LIM, A. The berth planning problem. *Operations Research Letters*. v. 22, 105-110, 1998.
- [12] MOON, K. C. *A mathematical model and a heuristic algorithm for berth planning*. Brain Korea 21 Logistics Team, July, 2000.
- [13] MULATO, F. M., OLIVEIRA, M. M. B. de. O impacto de um sistema de agendamento antecipado de docas para carga e descarga na gestão da cadeia de suprimentos. *Revista Produção Online*. v. 6, n. 3, p. 96, set./dez, 2006.
- [14] NISHIMURA, E., IMAI, A., PAPADIMITRIOU, S. Berth allocation planning in the public berth system by genetic algorithms. *European Journal of Operational Research*. v. 131, 282-292, 2001.
- [15] OBITKO, M. Website tutorial. *Genetic algorithms with Java examples*, 1998.
- [16] PARK, K. T., KIM, K. H. Berth scheduling for container terminals by using a sub-gradient optimization technique. *Journal of the Operational Research Society*. V. 53, 1054-1062, 2002.
- [17] PARK, Y.-M., KIM, K. H. A scheduling method for berth and quay cranes. *OR Spectrum*. v. 25, 1-23, 2003.
- [18] SILVA, V. M. D., COELHO, A. S. Uma visão sobre o problema de alocação de berços. *Revista Produção Online*, v.7, n. 2. ISSN 1676-1901, 2007.