

**UM MODELO COMPUTACIONAL PARA OTIMIZAÇÃO DO *MIX*
DE AFRETAMENTO DE EMBARCAÇÕES DE APOIO MARÍTIMO****Matheus Emerick de Magalhães**

Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV)

Ed.23 do AMRJ - Centro, Rio de Janeiro / RJ

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Depto. de Ciência da Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro / RJ

emerick@cos.ufrj.br

Iago dos Passos

Universidade de Caxias do Sul (UCS)

Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 - Petrópolis, Caxias do Sul / RS

ipassos@ucs.br

Lucas Picinini Dutra

Universidade de Caxias do Sul (UCS)

Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 - Petrópolis, Caxias do Sul / RS

lpdutra@ucs.br

Leonardo Dagnino Chiwiacowsky

Universidade de Caxias do Sul (UCS)

Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 - Petrópolis, Caxias do Sul / RS

ldchiwiacowsky@ucs.br

Alexandre de Assis Bento Lima

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Depto. de Ciência da Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro / RJ

assis@cos.ufrj.br

Jano Moreira de Souza

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Depto. de Ciência da Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro / RJ

jano@cos.ufrj.br

RESUMO

Empresas que atuam no setor do petróleo, realizando atividades de exploração e produção em ambiente marítimo, apresentam a necessidade de manutenção de suas frotas de embarcações dedicadas ao suprimento de unidades marítimas (UMs) de exploração de petróleo e gás natural. Devido a essa demanda, é necessário estabelecer o dimensionamento adequado da frota de embarcações de apoio marítimo, bem como a definição da política ótima de afretamento destas embarcações. Este artigo propõe um modelo de otimização para afretamento de embarcações marítimas, utilizando técnicas computacionais baseadas em heurísticas de busca local com o objetivo de manter o pleno atendimento às UMs, através de estratégias de afretamento de embarcações utilizando um modelo computacional aplicado ao cenário. Por meio dos experimentos realizados, foi possível comprovar a capacidade do modelo computacional desenvolvido em gerar soluções satisfatórias, bem como identificar as heurísticas mais apropriadas para garantir um desempenho adequado ao afretamento de embarcações.

Palavra-chave: heurísticas de busca; otimização; apoio marítimo; afretamento de embarcações

ABSTRACT

Companies operating in the oil sector, be it conducting exploration or production activities in the maritime environment, have the need to maintain their fleet of vessels dedicated to supplying offshore units (OUs) for oil and natural gas exploration. Due to this demand, it is necessary to establish the appropriate sizing of the fleet of maritime support vessels, as well as to define an optimal charter policy of these vessels. This article proposes an optimization model for the chartering of maritime vessels using computational techniques based on local heuristic search aiming to maintain full compliance with OUs through vessel chartering strategies by using a computational model applied to the scenario. Through the experiments performed, it was possible to prove the capacity of the computational model developed to generate satisfactory solutions, as well as to identify the most appropriate heuristics to ensure proper performance for vessel chartering.

Keywords: heuristic search; optimization; maritime support; vessel chartering

Como Citar:

MAGALHÃES, Matheus Emerick de; PASSOS, Iago dos; DUTRA, Lucas Picinini; CHIWI-ACOWSKY, Leonardo Dagnino; LIMA, Alexandre de Assis Bento; SOUZA, Jano Moreira de. Um modelo computacional para otimização do *mix* de afretamento de embarcações de apoio marítimo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA, 19., 2019, Rio de Janeiro, RJ. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: Centro de Análises de Sistemas Navais, 2019.

1. INTRODUÇÃO

A principal fonte energética global é constituída pela utilização do petróleo e seus derivados. Segundo o *World Energy Outlook* [1], a participação energética de combustíveis fósseis na matriz energética global é de 82%. Embora o aumento da utilização de fontes renováveis seja incentivado, a previsão é de que, no ano de 2035, a participação do petróleo ainda manterá um percentual de 75% da demanda mundial [1].

A exploração e produção de petróleo e gás constituem a base da chamada indústria do petróleo. Recursos da ordem de US\$ 1,7 trilhão são investidos anualmente nesta indústria para a formação de uma cadeia de bens e suprimentos necessária para seu funcionamento [2, 3].

No entanto, apesar de os volumes produzidos e transportados nesse segmento gerarem uma movimentação na ordem de dezenas de bilhões de dólares, os custos associados às exigências operacionais para seu adequado funcionamento também apresentam valores consideráveis. Em países como Brasil e Noruega, a maior parte das reservas de petróleo se encontram em campos marítimos, gerando custos comparativamente maiores de produção em relação a países com reservas em solo firme [4].

A logística de suprimentos das plataformas de exploração e produção de petróleo (E&P) assume um papel fundamental para que os equipamentos considerados primordiais para a atividade de exploração e produção estejam sempre disponíveis. Suprimentos que permitem o correto funcionamento das unidades marítimas (equipamentos, combustíveis, água potável, rancho, materiais diversos, etc.) precisam estar disponíveis no tempo certo e nas quantidades necessárias [5]. Portanto, a principal decisão relativa à logística de suprimentos refere-se a formação de uma estrutura organizada da frota de embarcações com intuito de suprir adequadamente as UMs em operação. Caso as embarcações sejam afretadas, é necessário decidir qual política de contratação será considerada, verificando a melhor modalidade e vigência no momento da aquisição desses contratos [5].

Entretanto, devido aos altos custos envolvidos na operação e manutenção dessas embarcações, as empresas produtoras de petróleo e gás procuram manter uma frota que atenda de forma plena as suas necessidades de suprimento para as UMs. Devido ao mercado exploratório de petróleo e gás ser considerado altamente variável e incerto, essa mesma estratégia é utilizada para a definição dos contratos das embarcações. Desta maneira, visando garantir um nível de serviço adequado para as UMs com o menor custo de afretamento possível, a frota de embarcações precisa ser flexível, e essa flexibilidade pode ser obtida através da composição adequada (*mix*) de contratos de afretamento marítimo.

Nesse contexto, este artigo propõe o desenvolvimento de um modelo de otimização para identificar a composição mais adequada de contratos de afretamento para o processo contínuo de renovação de uma determinada frota de embarcações dedicada ao suprimento de unidades *offshore* de exploração e produção de petróleo.

O artigo está estruturado em seis seções, incluindo a presente introdução. Nas Seções 2 e 3 são apresentados os fundamentos teóricos relacionados ao contexto do problema e a abordagem de solução proposta. A Seção 4 apresenta a metodologia utilizada e na Seção 5 são apresentados os resultados obtidos. O texto é finalizado na Seção 6 com as considerações finais.

2. LOGÍSTICA DE APOIO *OFFSHORE*

A logística de apoio *offshore* pode ser definida como o conjunto de atividades de transporte e armazenagem de cargas realizadas por embarcações de apoio a fim de suprir e executar serviços para as UMs de exploração e produção de petróleo e gás natural [6, 7]. Conforme representado na Figura 1, esse sistema logístico é iniciado por pedidos de compras para fornecedores de suprimentos nacionais ou internacionais. Este pedidos são, posteriormente, encaminhados para os armazéns e terminais portuários da companhia. Após essa etapa, esses suprimentos são encaminhados para as UMs através do transporte por embarcações de apoio marítimo [8].

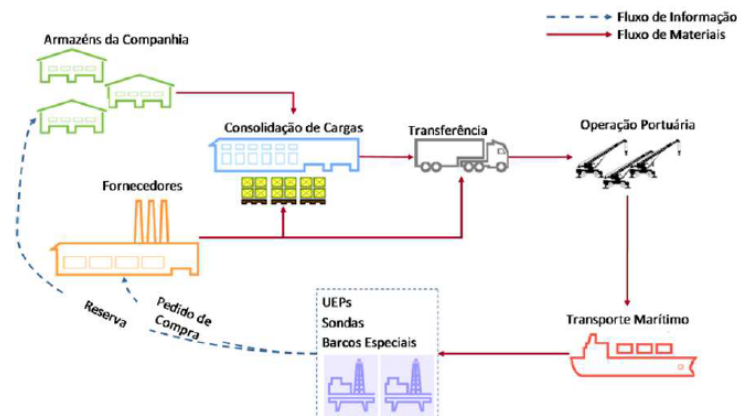


Figura 1: Fluxo de materiais da cadeia de apoio *offshore*

O problema sob análise deste artigo envolve a etapa do transporte marítimo, mais especificamente a disponibilidade das embarcações para suprir as UMs de exploração e produção de petróleo e gás natural.

2.1. EMBARCAÇÕES DE APOIO MARÍTIMO

Devido às restrições de espaço e de estabilidade, as UMs possuem pouca ou nenhuma capacidade de armazenar os suprimentos necessários a sua adequada operação. Dessa forma, o transporte de suprimentos precisa ser realizado constantemente, a partir de uma base de apoio, por embarcações de diferentes tipos e características operacionais [7].

Conforme o suprimento demandado para o transporte, uma determinada classe de embarcação é exigida. A embarcação mais utilizada atualmente para transporte de suprimentos às UMs é da classe *Platform Supply Vessels* (PSV). Essas embarcações são utilizadas para transporte multipropósito de suprimentos, podendo atingir 6000 toneladas de porte bruto (TPB). O porte do PSV está relacionado à sua capacidade de armazenagem, tanto em número de tanques (e silos) quanto em área de convés [7, 8]. A Figura 2 ilustra um modelo de embarcação PSV.



Figura 2: *Platform Supply Vessels* (PSV)

Devida a importância dos PSVs na logística de suprimentos *offshore*, este artigo concentra-se na otimização do *mix* de afretamento marítimo para essa classe de embarcação.

2.2. CONTRATOS DE AFRETAMENTO

De modo geral, os contratos de afretamento podem ser realizados por meio de diferentes modalidades, regulamentadas através de acordos internacionais e pela legislação vigente nos países onde o transporte é realizado [9]. Os dois tipos de modalidade mais comuns são: o *Time Charter Party* (TCP), por tempo, e o *Voyage Charter Party* (VCP), por viagem.

O contrato do tipo TCP garante ao afretador o recebimento da embarcação armada e tripulada, ou parte dela, para operá-la por um tempo determinado. O fretador deve manter a embarcação tripulada e com todos os seus equipamentos em perfeito funcionamento, garantindo assim a sua plena operacionalidade. No contrato do tipo VCP, o fretador se obriga a colocar o todo ou parte de uma embarcação, com tripulação, à disposição do afretador para efetuar transporte em uma ou mais viagens. No afretamento por viagem, o afretador não interfere na operação da embarcação.

3. PROBLEMAS DE OTIMIZAÇÃO DE AFRETAMENTO MARÍTIMO

Até o momento da realização desta pesquisa, não foram encontrados trabalhos que abordassem o problema no formato idêntico ao considerado aqui. Porém, existem trabalhos nos quais os problemas tratados se assemelham, em certos aspectos, ao problema em estudo e ao objetivo deste artigo. Nestes trabalhos são apresentadas abordagens que podem ser aplicadas sobre parte do problema deste artigo ou adaptadas para atender à objetivos específicos.

A definição de modelos de programação matemática foram as primeiras abordagens utilizadas na literatura para resolução de problemas de otimização. No trabalho [10], é apresentado um modelo de otimização para definição da frota de grandes graneleiros e petroleiros utilizados para transporte de *commodities*. Uma abordagem semelhante é

aplicada no trabalho [11], em que os autores apresentam um modelo para otimização do planejamento de frotas de embarcações multi-período.

Apesar das abordagens de otimização baseadas em programação matemática serem realizadas através do emprego de técnicas exatas, em problemas de dimensão real, a solução por meio destas técnicas pode demandar um tempo computacional impraticável. Desta forma, técnicas heurísticas mostram-se como uma opção para gerar soluções de boa qualidade e de forma rápida. No trabalho [12], as heurísticas de busca local e *Multi-start* são aplicadas para a escolha de compra de uma frota de embarcações para transporte marítimo. Da mesma maneira, no trabalho [13], é apresentada uma meta-heurística para determinar uma relação de custo-eficiência para embarcações de apoio de manutenção em parques eólicos *offshore*. Na próxima seção serão apresentadas as abordagens heurísticas para otimização em problemas relacionados ao afretamento marítimo, bem como uma breve explicação sobre as heurísticas utilizadas para a construção do modelo de otimização deste artigo.

3.1. ABORDAGENS HEURÍSTICAS PARA OTIMIZAÇÃO

Na área de otimização, muitos problemas práticos caracterizam-se pela grande complexidade e dimensão do espaço de soluções possíveis. Desta forma, a aplicação de métodos exatos para a resolução deste tipo de problema torna-se muitas vezes inviável, uma vez que a sua natureza combinatória exigiria tempo e esforço computacional ineficaz para obtenção da solução ótima. Portanto, a solução de problemas com alto nível de complexidade tem sido realizada por meio da utilização de heurísticas. As heurísticas são técnicas inspiradas em processos intuitivos que buscam encontrar soluções tão próximas quanto possível da solução ótima, a um custo computacional factível [14].

Diversos trabalhos relacionados à heurísticas para resolução de problemas de otimização são encontrados na literatura. No trabalho de [15], o problema de roteamento de veículos é apresentado. O objetivo dos autores foi minimizar o custo total de uma frota heterogênea através da otimização dos veículos por meio de uma heurística construtiva. De modo geral, as heurísticas construtivas têm por objetivo construir uma solução, elemento a elemento, e geralmente, em problemas de otimização, são empregadas para a geração de uma solução inicial [14]. De forma semelhante, [16] apresenta um problema em que frotas de veículos devem ser ajustadas de forma à minimizar o custo de afretamento. Como solução, os autores utilizam uma metodologia de busca local para verificar a solução mais adequada com relação às restrições propostas pelo modelo. Neste contexto, a heurística de busca local, considerada uma heurística de refinamento, é destinada ao aperfeiçoamento de uma solução, pois, através de pequenas alterações nesta solução, buscam gerar soluções vizinhas, possivelmente melhores que a solução atual [14]. O pseudocódigo da abordagem de busca local é apresentado na Figura 3.

```
procedimento BuscaLocal( $f(\cdot)$ ;  $N(\cdot)$ ; IterMax;  $s$ );  
1    $Iter \leftarrow 0$ ; {Contador de iterações sem melhora}  
2   enquanto ( $Iter < IterMax$ ) faça  
3      $Iter \leftarrow Iter + 1$ ;  
4     Selecione aleatoriamente  $s' \in N(s)$ ;  
5     se ( $f(s') < f(s)$ ) então  
6        $Iter \leftarrow 0$ ;  
7        $s \leftarrow s'$ ;  
8     fim-se;  
9   fim-enquanto;  
10  Retorne  $s$ ;  
fim BuscaLocal;
```

Figura 3: Pseudo-código da abordagem de busca local

Além disso, abordagens de busca local podem ser utilizadas juntamente com a técnica *Multi-start*. Nesta técnica, são geradas múltiplas soluções iniciais, para que os procedimentos de refinamento sejam realizados a partir de cada uma. Desta maneira, há uma exploração abrangente do espaço de soluções, possibilitando a identificação de diferentes ótimos locais e, assim, ampliar as chances da obtenção da solução ótima. Neste contexto, o presente artigo integra heurísticas construtivas e de refinamento para uso em um processo de busca local, conjuntamente com uma abordagem *Multi-start*.

4. MÉTODO

Neste artigo, foi desenvolvido um modelo computacional de otimização para definição de um *mix* de afretamento marítimo para embarcações de apoio logístico. Para a definição do algoritmo, foram adotadas técnicas de heurísticas construtivas para geração de soluções iniciais e de heurísticas de refinamento para execução do processo de busca local. A solução a ser identificada pelo modelo de otimização é representada pela melhor configuração de afretamento que atenda à demanda necessária, com o menor custo possível de contratação.

A fim de obter a solução desejada, a execução do algoritmo tem início com a geração das soluções iniciais por meio do emprego de quatro diferentes heurísticas construtivas, cada uma com características distintas. A partir de cada uma das quatro configurações iniciais, são executados processos paralelos (*threads*) de maneira independente, com uso das heurísticas de refinamento em um processo de busca local, conforme pseudocódigo apresentado na Seção 3.1.

4.1. CARACTERÍSTICAS DO MODELO COMPUTACIONAL

Inicialmente, são definidas as variáveis e parâmetros utilizados no modelo, bem como a função objetivo empregada para avaliação das soluções geradas. Com base nestas definições, a codificação da solução foi desenvolvida, cuja estrutura de dados representa uma solução de maneira completa. A partir da codificação da solução, foram construídas quatro heurísticas para geração da solução inicial e cinco heurísticas para refinamento. Todas estas definições são apresentadas a seguir.

4.2. VARIÁVEIS

As variáveis empregadas no modelo são: o tipo de contrato firmado entre a companhia e o armador, e a vigência que esse contrato possuirá. Ambas as opções (Longo Prazo e Curto Prazo) baseiam-se na modalidade *Time Charter Party* (TCP). A Tabela 1 apresenta a duração e o respectivo custo para cada modalidade de contrato.

Tabela 1: Relação de valores para contratos de afretamento marítimo

Tipo de Contrato	Período (Anos ou Meses)	Valores
Longo Prazo	1 Ano	R\$ 2200,00
-	2 Anos	R\$ 2700,00
Curto Prazo	1 Mês	R\$ 700,00
-	3 Meses	R\$ 1.000,00
-	6 Meses	R\$ 1.450,00

Devido a essas informações serem consideradas sigilosas para a companhia em que o modelo de otimização será aplicado, os valores reais para os contratos de afretamento não foram disponibilizados pela companhia até o momento da elaboração deste artigo. Dessa forma, os valores informados nesta tabela foram produzidos pelos autores, considerando uma heurística de relação Valor \times Mês para que os contratos de Curto Prazo sejam mais custosos em comparação aos de Longo Prazo.

4.3. PARÂMETROS

Para que o estudo de otimização atenda ao maior número de cenários possíveis, parâmetros de execução do modelo foram definidos:

- **Meses Processamento:** indica o horizonte de tempo que será considerado na otimização;
- **Quantidade de embarcações contratadas:** quantidade máxima de contratações permitidas para um único mês do horizonte de otimização;
- **Coefficiente de Penalização:** fator de penalização que incide sobre a função objetivo nas situações em que a demanda não é cumprida;
- **Número máximo de iterações sem melhora:** define a quantidade máxima de vizinhos gerados sem que o custo do *mix* de afretamento tenha melhorado em comparação ao último cenário aceito.

4.4. FUNÇÃO OBJETIVO E RESTRIÇÕES

A solução a ser identificada pelo modelo de otimização é representada pela melhor configuração de afretamento que atenda à demanda necessária, com o menor custo possível de contratação. Desta maneira, o modelo de otimização pode ser representado matematicamente pela Equação (1). Nesta equação, o primeiro termo representa o custo total das contratações realizadas no horizonte de otimização, onde $NC_{t,i}$ denota o número de contratos da modalidade i iniciando no período t e $Valor_{t,i}$ representa o custo do contrato de modalidade i no período t . O segundo termo está presente na equação com a finalidade de penalizar soluções em que a demanda esperada não é cumprida em sua totalidade. Neste termo, α denota o coeficiente de penalização, DE_t denota a demanda esperada no período t e EO_t denota as embarcações em operação no período t .

$$Min FO = \sum_{t=1}^{n_t} \sum_{i=1}^{n_{mod}} NC_{t,i} \cdot Valor_{t,i} + \alpha \times \sum_{t=1}^{n_t} \max\{0, (DE_t - EO_t)\}. \quad (1)$$

Como restrição do modelo, o número de embarcações contratadas em cada período t deve ser maior ou igual à demanda no mesmo período.

4.5. CODIFICAÇÃO DA SOLUÇÃO

A codificação utilizada para representação de uma solução do problema de otimização do *mix* de afretamento armazena as informações correspondentes a cada mês do horizonte de otimização em três vetores unidimensionais: Embarcações Contratadas, Embarcações em Operação e Demanda Esperada.

Conforme representado na Figura 4, o vetor de Embarcações Contratadas armazena a quantidade de embarcações contratadas para cada mês do horizonte de otimização, acompanhada das informações referentes ao Tipo de Contrato e sua respectiva Vigência.

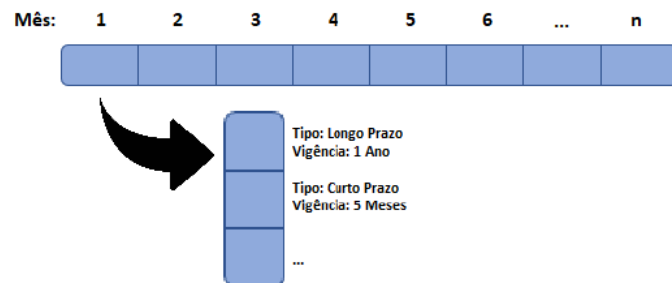


Figura 4: Estrutura de dados para o armazenamento das embarcações contratadas

As estruturas para armazenagem das informações relativas ao número de Embarcações em Operação e a Demanda Esperada são representadas nas Figuras 5 e 6. A primeira estrutura representa a quantidade de embarcações que já se encontram disponíveis para operação em cada mês do horizonte de otimização. Já a segunda estrutura representa a quantidade necessária de embarcações mensais para que a demanda por embarcações,

prevista pela empresa, seja atendida. Como pode ser visualizado, a quantidade de informações armazenadas nessas estruturas está diretamente relacionada à quantidade de meses definida para o horizonte de otimização.

Mês:	1	2	3	4	5	6	...	n
	7	8	8	9	9	7	...	6

Figura 5: Estrutura de dados para o armazenamento das embarcações em operação

Mês:	1	2	3	4	5	6	...	n
	7	7	8	8	9	6	...	6

Figura 6: Estrutura de dados para o armazenamento da demanda esperada

4.6. SOLUÇÕES INICIAIS

Neste artigo, são propostas quatro diferentes estratégias para a construção da solução inicial do problema de *mix* de afretamento. As heurísticas construtivas propostas visam explorar diferentes características relevantes para a qualidade da solução gerada, sendo assim descritas:

1. **Aleatório:** para cada mês do horizonte de otimização, são gerados valores aleatórios para a quantidade de embarcações contratadas, tipo de contrato e vigência;
2. **Sem Contratos:** nesta opção, a configuração inicial não possui nenhum contrato no horizonte de otimização definido;
3. **Demanda Completa Aleatoriamente:** para cada mês do período de simulação, são geradas quantidades aleatórias de contratos, de modalidade e vigências também aleatórias, de forma a suprir de maneira exata a demanda de cada mês;
4. **Demanda Completa com Longo Prazo:** para cada mês do horizonte de otimização, são geradas quantidades aleatórias de contratos, somente da modalidade de longo prazo e com vigência válida até o final do horizonte de otimização.

4.7. HEURÍSTICAS DE REFINAMENTO

Para a etapa de refinamento da solução inserida no processo de busca local, são propostas cinco diferentes heurísticas de refinamento, conforme descrito a seguir:

1. **Troca de Meses:** dois meses do horizonte de otimização são selecionados aleatoriamente, e os valores referentes às quantidades de embarcações contratadas em cada um são trocadas entre si;

2. **Adicionar Embarcação:** um mês do horizonte de otimização é selecionado aleatoriamente, e uma embarcação é inserida com a definição aleatória do Tipo de Contrato e Vigência;
3. **Remover Embarcação:** um mês do horizonte de otimização é selecionado aleatoriamente, e uma embarcação aleatória é removida;
4. **Alterar Propriedades dos Contratos:** um mês e uma embarcação são selecionados aleatoriamente, e suas características de contratação são alteradas, isto é, novos valores para o Tipo de Contrato e Vigência são definidos aleatoriamente;
5. **Remover Mês:** um mês do horizonte de otimização é selecionado aleatoriamente, e todas as embarcações contratadas neste mês são removidas.

5. RESULTADOS

Os resultados foram obtidos por meio da execução do modelo de otimização a partir de uma demanda informada. Essa demanda foi definida com uma variação mensal crescente de 5%, tendo 20 embarcações no primeiro mês e, conseqüentemente, 106 embarcações como demanda no último mês ($t = 36$). O horizonte de otimização foi fixado em 36 meses, com o coeficiente de penalização $\alpha = 10^5$. Além disso, definiu-se 10.000 iterações sem melhora de vizinhança como condição de parada. Para cada heurística de refinamento proposta (Troca de Meses, Adicionar Embarcação, Remover Embarcação, Alterar Propriedades dos Contratos, Remover Mês), foi limitado um número máximo de 120 embarcações contratadas mensalmente.

Na Tabela 2, são apresentados os resultados obtidos para a função objetivo (Equação (1)) pela aplicação do modelo de otimização proposto, assumindo quatro diferentes configurações de acordo com a heurística construtiva empregada para geração da solução inicial. Nas quatro configurações avaliadas, as cinco heurísticas de refinamento são empregadas conjuntamente, porém escolhidas aleatoriamente ao longo do processo de otimização. Em virtude do caráter aleatório do modelo de otimização e das heurísticas empregadas, os resultados apresentados são referentes a um conjunto de 30 execuções do algoritmo, tendo sido mantidos os mesmos valores para os parâmetros do algoritmo em cada uma das configurações avaliadas. Com base no conjunto de execuções de cada configuração, foram calculados os respectivos valores de média aritmética e desvio padrão (σ).

Tabela 2: Resultados obtidos na execução do modelo de otimização

Configuração	Média (σ)	Melhor Valor
Aleatório	R\$ 386.086,67 (R\$ 23.521,23)	R\$ 330.000,00
Sem Contratos	R\$ 332.986,67 (R\$ 7.656,40)	R\$ 320.650,00
Demanda Completa Aleat.	R\$ 394.048,33 (R\$ 10.498,93)	R\$ 368.450,00
Demanda Completa com LP	R\$ 296.950,00 (R\$ 0,00)	R\$ 296.950,00

A partir dos dados obtidos, destaca-se a configuração “Demanda Completa com Longo Prazo” por ter fornecido o melhor desempenho médio e o melhor valor entre todas as configurações avaliadas, tendo gerado um *mix* de afretamento com o custo de R\$

296.950,00. Conforme evidenciado, essa configuração possui o desvio padrão nulo, indicando que em todas as execuções desta configuração obteve-se o mesmo valor para o custo do *mix* de contratos, evidenciando a estagnação da busca no mesmo mínimo local.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho propôs um modelo de otimização computacional para determinar a melhor composição de tipos de contratos de afretamento de embarcações para suprir as necessidades das unidades marítimas de exploração e produção de petróleo. O modelo proposto empregou de forma conjunta Heurísticas Construtivas e de Refinamento, combinadas em uma abordagem de Busca Local para, a partir de uma demanda de embarcações informada, avaliar os resultados obtidos.

O emprego de quatro estratégias de geração da solução inicial combinadas com o uso de cinco diferentes estruturas de vizinhança possibilitou a avaliação da melhor configuração para solução do problema em estudo. Neste contexto, dentre todas as estratégias aplicadas, a heurística construtiva que apresentou melhores resultados foi a abordagem “Demanda Completa com Longo Prazo”.

Como trabalhos futuros, destaca-se a possibilidade de realização de um estudo mais aprofundado sobre outras opções de heurísticas construtivas e de refinamento, com o objetivo de comporem uma abordagem mais robusta de otimização como, por exemplo, metaheurísticas baseadas em vizinhança variável.

7. AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer à empresa Petróleo Brasileiro S.A. pelo auxílio financeiro (Proc. 2017/00576-0), a Universidade de Caxias do Sul (UCS), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Marinha do Brasil pelo suporte oferecido no desenvolvimento deste trabalho.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OUTLOOK, S. A. E. World energy outlook special report. *France International Energy Agency (IEA)*, 2013. 3
- [2] SANTOS, P. I. S. R. dos. *SEGURANÇA OPERACIONAL NA E&P OFFSHORE NO BRASIL: análise da evolução regulatória promovida pela ANP*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018. 3
- [3] BIROL, F. et al. *Key World Energy Statistics 2017*. *International Energy Agency (IEA)*, 2017. 3
- [4] MARKIT, I. *Petrodata Offshore Rig Day Rate Trends*. 2017. Disponível em: <<https://www.ihs.com/products/oil-gas-drilling-rigs-offshore-day-rates.html>>. 3
- [5] ARES, G. *Logística de Apoio Offshore—Integração e Sincronização da Cadeia de Atendimento às Unidades Marítimas*. [S.l.]: ILOS, 2013. 3
- [6] AGUIAR, R. *Estudo do Impacto da Ampliação de Berço e de Área de Pátio no Aumento da Capacidade Operacional de uma Base de Apoio Offshore*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Espírito Santo, 2013. 4
- [7] ARPINI, B. P. *Planejamento da logística de suprimento de plataformas Offshore por meio de um modelo matemático 2L-CVRP com frota heterogênea e equilíbrio náutico*. Dissertação (Mestrado), 2015. 4
- [8] LOPES, P. *Uma Solução para o Problema de Roteamento de Embarcações de Apoio “Offshore” através da Metaheurística RTR*. Tese (Doutorado) — Dissertação de Mestrado, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, 2011. 4
- [9] VIEIRA, A. A. S.; HAMACHER, S.; SANTOS, I. M. Dimensionamento da frota de navios de derivados claros para cabotagem: proposta de modelo de otimização. *Transportes*, v. 25, n. 3, p. 75–89, 2017. 5
- [10] EVERETT, J. Optimization of a fleet of a large tankers and bulkers: A linear programming approach, marine technology. *The Society of Naval Architects and Marine Engineers*, v. 9, n. 4, p. 430–438, 1972. 5
- [11] MENG, Q.; WANG, T. A scenario-based dynamic programming model for multi-period liner ship fleet planning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Elsevier, v. 47, n. 4, p. 401–413, 2011. 6
- [12] ZACHARIOUDAKIS, P. G. et al. Liner shipping cycle cost modelling, fleet deployment optimization and what-if analysis. *Maritime Economics & Logistics*, Springer, v. 13, n. 3, p. 278–297, 2011. 6
- [13] HALVORSEN-WEARE, E. E. et al. A metaheuristic solution method for optimizing vessel fleet size and mix for maintenance operations at offshore wind farms under uncertainty. *Energy Procedia*, Elsevier, v. 137, p. 531–538, 2017. 6
- [14] SOUZA, M. J. F. Inteligência computacional para otimização. *Notas de aula, Departamento de Computação, Universidade Federal de Ouro Preto, disponível em <http://www.decom.ufop.br/prof/marcone/InteligenciaComputacional/InteligenciaComputacional.pdf>*, 2008. 6

-
- [15] AFSHAR-NADJAFI, B.; AFSHAR-NADJAFI, A. A constructive heuristic for time-dependent multi-depot vehicle routing problem with time-windows and heterogeneous fleet. *Journal of king saud university-Engineering sciences*, Elsevier, v. 29, n. 1, p. 29–34, 2017. 6
- [16] RAA, B. Fleet optimization for cyclic inventory routing problems. *International Journal of Production Economics*, Elsevier, v. 160, p. 172–181, 2015. 6