

Uma heurística para o problema de roteamento de navios aliviadores no escoamento de petróleo

Pedro da Matta e Andrade Basilio (COPPE/UFRJ) basilio@pet.coppe.ufrj.br
Bruno Salezze Vieira (COPPE/UFRJ) brunosalezze@gmail.com
Marcus Vinicius Oliveira Camara (COPPE/UFRJ) marcus@pet.coppe.ufrj.br
Glaydston Mattos Ribeiro (COPPE/UFRJ) glaydston@pet.coppe.ufrj.br

Resumo:

Nos últimos anos o Brasil bateu inúmeros recordes na produção de petróleo em águas profundas e atualmente está entre os maiores exploradores em águas ultra profundas. A cadeia produtiva de petróleo, gás natural e derivados apresenta grande complexidade e envolve um conjunto de etapas cujos impactos ambientais potenciais variam em natureza e magnitude. Muitos são os desafios para que se possa contribuir efetivamente com o desenvolvimento econômico da população e o equilíbrio socioambiental do planeta. Destaque especial foi dado aos serviços de apoio logístico à produção que devem prover respostas rápidas ao sistema de cadeia de produção, minimizando ao máximo os custos desonerando a cadeia produtiva. Ressalta-se a importância dos FPSO (*Floating Production Storage Offloading*), navios, em geral de grande porte com capacidade de produzir, processar e armazenar o petróleo que é transferido para a terra por meio de navios aliviadores ou oleodutos. Neste contexto, o escoamento do petróleo por meio de navio aliviadores aliado ao estabelecimento eficaz das rotas mostra-se bastante relevante. Este artigo apresenta, então, a proposta de aplicação da heurística de Clark e Wright ao problema sendo capaz de analisar o roteiro dos navios aliviadores e encontrar as melhores rotas.

Palavras chave: Roteamento, Navio Aliviador, Petróleo, Logística.

A heuristic for a routing problem with shuttle tankers in oil flow

Abstract

In recent years Brazil broke countless records in oil production in deep waters and currently ranks among the greatest explorers in ultra-deep water. The oil and natural gas chain production shows great complexity and involves a set of steps whose potential environmental impacts vary in nature and magnitude. There are many challenges to can effectively contribute to the economic population development and the environmental balance of the planet. Special emphasis given to the logistical support services to the production that should provide quickly responses to the supply chain system, minimizing the maximum cost relieving the supply chain. Enhance the importance of the FPSO (*Floating Production Storage Offloading*) vessels, general major with produce capacity, process and store capacity oil that transferred to the ground through shuttle tankers or pipelines. In this way, the oil flow through the vessel together with the relieving effective routes established appears to be quite relevant. This article presents the propose application of Clark and Wright heuristic to a problem to able to analyze the script of shuttle tankers and find the best routes.

Keywords: Routing, Shuttle Tankers, Oil, Logistics

1. Introdução

A indústria petroquímica está entre as maiores indústrias do mundo e apresenta inúmeros desafios em toda a sua estrutura, desde a exploração e produção de petróleo e gás natural até o consumidor final.

A cadeia do petróleo pode ser dividida, segundo Lustosa (2002), em duas partes: *upstream* e *downstream*. O primeiro consiste na etapa de exploração e produção e o segundo nas etapas de transporte, refino e distribuição.

Este artigo trata apenas o segmento *downstream* no que diz respeito ao transporte do petróleo produzido nas Unidades de Exploração e Produção (UEPs). De maneira geral, este petróleo pode ser transportado por meio de dutos ou navios aliviadores (Silva, 2004). No caso dos navios aliviadores, estas unidades de transporte coletam o óleo produzido e transferem para terminais terrestres localizados, normalmente, na costa.

Os navios aliviadores são veículos transportadores de alto custo que precisam ser utilizados de maneira eficiente para que o custo envolvido seja minimizado. Sendo assim, uma forma de utilização adequada, proposta por Meza et al. (2015), consiste em realizar rotas de coleta. Nesta proposta, um navio aliviador deixa o terminal e segue até os locais de produção para realizar coletas, formando uma rota.

Este problema tem relação com o clássico problema de roteamento de veículos (PRV) definido inicialmente por Clarke e Wright (1962). O PRV clássico considera que veículos devem deixar um depósito e seguir até alguns clientes para realizar coletas de produtos, retornando ao depósito inicial. No PRV busca-se minimizar o custo total das rotas, situação semelhante do problema definido por Meza et al. (2015) que, por sua vez, tem como objetivo encontrar rotas para os navios ao menor custo possível.

Por tal motivo, este artigo tem o objetivo de propor uma heurística para o problema de roteamento de navios aliviadores para o escoamento de petróleo. A heurística das economias de Clarke e Wright (1962) foi modificada para resolver o problema. Testes computacionais foram realizados e mostram o seu bom comportamento.

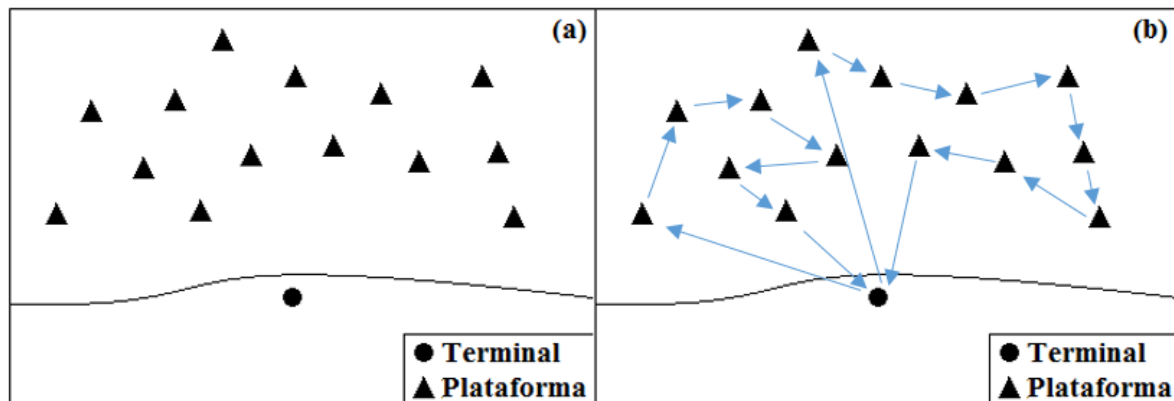
Sendo assim, o artigo está dividido em seis seções. A Seção 2 apresenta uma breve contextualização sobre o problema de roteamento de veículos e descreve a heurística das economias de Clarke e Wright (1962). Em seguida, a Seção 3 faz uma descrição do problema do roteamento de navios aliviadores. A Seção 4 apresenta, formalmente, o modelo matemático proposto por Meza et al. (2015). A Seção 5 apresenta os experimentos computacionais com a heurística das economias. Finalmente, as conclusões são delineadas na Seção 6.

2. Roteamento de Veículos

O problema de roteamento de veículos (PRV) está presente em todas as áreas possíveis que englobam logística. Por ser de grande importância estratégica e de difícil solução computacional é muito estudado, tendo em vista que pode gerar redução considerável de custos e tempo, aumentando o lucro.

Segundo Fisher e Jaikumar (1981), citado por Heinen e Osório (2006), o problema de roteamento de veículos podem ser descrito da seguinte forma: dado um depósito de abastecimento, um conjunto de clientes com demandas específicas e veículos de entrega capacitados e posicionados no depósito, o problema consiste em descobrir qual seria a melhor rota para cada um dos veículos visando a minimização do custo total tal que todos os clientes sejam atendidos, que as capacidades sejam respeitadas e que todos os veículos retornem ao

depósito. Fazendo uma analogia com o problema proposto por Meza et. al. (2015), considere a Figura 1. Neste caso, os navios aliviadores estão posicionados no terminal e as plataformas de produção (UEPs) precisam escoar o petróleo (Figura 1a). Com isso, duas rotas são estabelecidas para dois navios aliviadores (Figura 1b) que possuem uma sequência de atendimento.



Fonte: criação do autor

Figura 1: Esquema de rotas de um veículo

Os PRV's são comumente do tipo NP-hard, ou seja, de difícil trato computacional, por apresentarem um crescimento exponencial do tempo de solução em resposta ao aumento do número de variáveis dos problemas. Assim sendo, a utilização de métodos exatos na solução desses problemas se torna muitas vezes inviável mesmo para instâncias de pequeno porte. Por outro lado, problemas realistas são na maioria das vezes de grande porte, o que torna relevante a investigação de métodos que utilizem heurísticas e metaheurísticas para solução dos modelos matemáticos.

Como métodos exatos, muitos algoritmos baseados em *branch-and-bound*, *branch-and-cut* e *set-covering* se apresentam na literatura para PRV's, porém, na maioria dos casos, mesmo para aplicações com poucos pontos de demanda, se mostram inviáveis computacionalmente.

Em contrapartida, é possível identificar na literatura diversas heurísticas e metaheurísticas aplicadas aos PRV's com resultados satisfatórios, tais como: *Ant Colony* (Reimann et al., 2004); *Memetic Algorithm* (Prins, 2004; Nagata, 2007; Nagata e Braysy, 2009); *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* – GRASP (Prins, 2009); *Genetic Algorithm* (Vidal et al., 2012); e outras.

Para o problema do roteamento de navios aliviadores propõe-se aplicar a heurística de Clarke e Wright (1962). Segundo Heinen e Osório (2006), esta heurística tem o seguinte funcionamento: dado um grafo ponderado representado pelos clientes e pelo depósito, considere uma matriz de adjacência entre todos os todos nós. Em seguida são criadas $n - 1$ rotas iniciais, cada uma delas ligando um cliente ao depósito, onde n é o número de nós do grafo. A partir disto, as economias para todas as combinações 2 a 2 são calculadas através da fórmula $s_{ij} = c_{i0} + c_{0k} - c_{ij}$, onde s_{ij} representa a economia obtida ao se unir as rotas que possuem os nós i e j . Enquanto c_{ij} representa o custo do deslocamento do nó i para o nó j . As economias são colocadas em uma tabela ordenada de forma decrescente.

Segundo Heinen e Osório (2006), na tabela de economias é verificado se é possível unir as rotas que contêm os nós i e j . As rotas podem ser combinadas se ambos os nós estiverem em extremos opostos de rotas diferentes e se a união não violar nenhuma das restrições do modelo

(capacidade, por exemplo). Após a união das rotas, o processo é repetido até que se chegue ao último item da tabela ou até que não hajam mais rotas a serem combinadas.

3. Descrição do Problema

Segundo Meza et al. (2015), nos últimos anos, devido a crescente demanda por petróleo e seus derivados, o mercado vem se tornando cada vez mais competitivo fazendo com que as empresas busquem estratégias para melhoria de seus resultados.

A cadeia de suprimentos na indústria do petróleo é bastante extensa, iniciando na etapa de sísmica, passando pela exploração, produção, transporte e distribuição. Neste artigo considera-se apenas a alternativa logística de escoamento de petróleo por meio de navios aliviadores das unidades FPSO (*Floating Production Storage Offloading*) até terminais marítimos situados em terra.

O grande desafio é reduzir os custos e o tempo para realização da operação buscando definir qual o melhor percurso para os navios tanques que realizam o escoamento do óleo das plataformas até os terminais, atendendo as necessidades do consumidor final.

No caso do Brasil, identifica-se que a maioria das UEP's utilizadas são do tipo FPSO. Em geral, os FPSO são navios de grande porte, do tipo VLCCs (*Very Large Crude Carriers*), com capacidade de produzir, processar e armazenar o petróleo, por possuírem uma planta de processo instalada. São também utilizados navios do tipo FSO (*Floating Storage Offloading*) que apenas realizam o armazenamento do petróleo produzido.

Segundo Silva (2004), à medida em que o petróleo é produzido vai sendo armazenado e de tempos em tempos deve ser escoado evitando que se chegue ao limite máximo de armazenamento para que não venha ocorrer uma parada na produção. O processo de transferência do petróleo para o navio aliviador denomina-se Operação *Offloading*.

Os navios do tipo FPSO são ancorados em locais pré-definidos e possuem um sistema de ancoragem específico, definido como um conjunto de elementos estruturais capaz de manter uma determinada unidade flutuante em posição de equilíbrio. Tal sistema é composto por linhas de ancoragem que se conectam a unidade flutuante às fundações em leito marinho (Silva, 2004).

De acordo com Silva (2004), a operação *offloading* pode ser dividida em 14 etapas, iniciando-se com um navio saindo do seu ponto de partida e retornando ao mesmo ponto:

1. A embarcação de alívio se aproxima da plataforma a baixa velocidade, após a autorização da programação;
2. É feita a conexão do navio aliviador com a plataforma por meio da passagem de cabos guias e dos mangotes;
3. É feita a conexão do mangote de carregamento e realizado um teste hidrostático;
4. Inicia-se a transferência do óleo. O comando desse processo é dado pela plataforma, por meio de equipamentos de bombeio, sistema de exportação e do sistema de geração de energia;
5. É realizada a desconexão do mangote;
6. É efetuada a retirada do mangote e do cabo;
7. Inicia-se a viagem até o terminal marítimo determinado para descarga;
8. Aguardo da aproximação para atracação no terminal;

9. Aproximação até o cais de atracação com apoio de rebocadores quando uma equipe especializada assume o comando do navio na atracação;
10. Atracação no cais;
11. Conexão dos mangotes e testes de pressão;
12. Transferência do óleo para os tanques do terminal, sendo a operação feita pelo navio por possuir um sistema de bombeio específico para essa finalidade;
13. Terminado o descarregamento, o navio é retirado do terminal por navios rebocadores; e
14. Inicia-se a viagem de volta ao ponto de partida.

Segundo Silva et al. (2011), este tipo de operação totaliza em média um carregamento de 245.310 barris, cerca de 39.000 m³ de petróleo. A taxa de transferência do óleo de uma embarcação para outra é cerca de 1.000 m³/h, com duração de 20 a 36 horas.

De acordo com Meza et al. (2015), se por um lado baixos níveis de estoque podem levar a perdas de economia de escala e altos custos de falta de produtos, por outro lado, o excesso de estoques representa custos operacionais e custos de oportunidade de capital. Encontrar o melhor *trade-off* entre estes custos não é, em geral, uma tarefa simples. Cabe ainda ressaltar que funcionar com altos níveis de estoque pode comprometer o sistema de produção, podendo ocorrer um “top”, estado em que a UEP chega a sua capacidade máxima de estoque e é preciso parar a produção.

Seguindo este raciocínio, o ideal seria que as UEP's operassem com o nível de estoque mínimo, evitando assim as paradas de produção. Para que isto ocorra seria necessário aumentar a quantidade de operações para escoar o petróleo.

Os navios aliviadores são embarcações preparadas para executar este tipo de operação de escoamento do petróleo do mar até a terra. São construídos para este fim e operam de forma dedicada. Estes navios possuem DP – *Dynamic Position* (Posicionamento Dinâmico), o que lhes possibilita manter uma posição estacionária, trazendo maior rapidez e segurança de manobra para as operações *Offloading* (Silva, 2004). Atualmente são utilizados três tipos de navios aliviadores para realizar o escoamento do petróleo:

- **Suezmax:** transportam óleo cru e têm capacidade de carregamento entre 140.000 a 175.000 TPB (Tonelagem por Porte Bruto). O nome *Suezmax* foi adotado pelo fato do navio atender as limitações de 48 metros e calado de 17 metros do Canal de Suez, no Egito;
- **Aframax:** transportam óleo cru e tem capacidade de carregamento entre 80.000 e 120.000 TPB. O nome *Aframax* vem da terminologia *Average Freight Rate Assessment* (Valor Médio de Frete).
- **Panamax:** transportam óleo cru e produtos escuros tendo capacidade de carregamento entre 65.000 a 80.000 TPB. O nome *Panamax* foi adotado pelo fato do navio atender às limitações da passagem do Canal do Panamá.

Para a construção do modelo proposto por Meza et al. (2015), deve-se considerar:

- Os tipos de navios aliviadores disponíveis para o transporte de petróleo;
- A localização dos navios plataforma, neste caso, apenas os FPSO;

- Os prazos máximos previstos para o escoamento da produção das plataformas de forma a não comprometer a operação de produção, dado que a indústria petrolífera é de produção contínua. Busca-se evitar comprometer o sistema de produção das unidades, ou seja, que atinja sua capacidade máxima;
- Deve-se evitar que o navio chegue antes da data programada para que o volume de óleo escoado não seja menor do que o programado. É política das empresas o navio ficar aguardando parado até a data programada;
- As multas a serem pagas, caso não seja possível atender as plataformas dentro dos prazos, sendo consideradas penalidades; e
- Os tempos de cada atividade no processo de escoamento, como, por exemplo, aproximação, atracação, transferência do óleo, desatracação, afastamento e outras.

Vale ressaltar que fatores externos como tempo desfavorável causando mar agitado, chuva e vento, podem colocar a operação em risco, mas não são considerados.

4. Modelo Matemático do Problema

O problema abordado pode ser representado por meio de grafo um não direcionado, $G(V, A)$, onde $V = (v_1, v_2, v_3, \dots, v_n)$ é o conjunto dos vértices ou nós e $A = \{(v_i, v_j) : v_i, v_j \in V\}$ é o conjunto de arestas. Neste caso, os nós representaram o terminal ou as plataformas. As demandas serão diferentes para cada plataforma e o terminal será o ponto de partida e chegada dos navios usados para a coleta do petróleo.

A cada aresta (v_i, v_j) é associada a uma distância d_{ij} que representa a distância entre os vértices. Com isso, a seguir são apresentados os parâmetros e as variáveis de decisão utilizadas.

Parâmetros:

V = conjunto de todos os nós (porto/plataforma)

C = subconjunto de V que representa somente as plataformas $(2, \dots, n)$

K = conjunto de navios disponíveis

T = conjunto dos tipos de navios disponíveis

aut = autonomia dos navios igual a 480 horas

$tipo_k$ = tipo de navio k

cap_t = capacidade do navio tipo t

vel_t = velocidade do navio tipo t

$comp_t$ = consumo do navio tipo t quando parado

$conn_t$ = consumo do navio tipo t quando navegando

dem_i = demanda da plataforma i

e_i = instante inicial da janela de tempo da plataforma i

l_i = instante final da janela de tempo da plataforma i sem penalidade

q_i = instante final da janela de tempo da plataforma i com penalidade

ta_i = tempo de atendimento a plataforma i

d_{ij} = distância entre os nós i e j

M = máximo de plataformas por rota

CC = custo do combustível

CP = custo da penalidade

Variáveis de Decisão:

$x_{ijk} \in \{0,1\}$. Se $x_{ijk} = 1$, a aresta (i,j) está sendo usada pelo navio k , caso contrário, $x_{ijk} = 0$

$u_{ik} \in \{0,1\}$. Se $u_{ik} = 1$, a plataforma i é atendida pelo navio k , caso contrário, $u_{ik} = 0$

y_{ijk} = fluxo em cada aresta (i,j) percorrido pelo navio k

tt_{ik} = tempo até a plataforma i pelo navio k

td_{ijk} = tempo de deslocamento da plataforma i para j usando o navio k

tp_{ijk} = tempo parado da plataforma i para j usando o navio k

$custo_{ijk}$ = custo de deslocamento da plataforma i para j usando o navio k

pen_i = penalidade por chegar na plataforma i após o tempo l_i

Utilizando as notações acima, formula-se o seguinte modelo de programação inteira mista (Meza et al., 2015):

$$\text{Min} \sum_{k \in K} \sum_{i \in V} \sum_{\substack{j \in V \\ i \neq j}} custo_{ijk} + \sum_{i \in C} pen_i + \sum_{\substack{i \in C \\ i \neq j}} custo_{ai}$$

Sujeito a:

$$\sum_{\substack{i \in V \\ i \neq j}} y_{ijk} - \sum_{\substack{j \in V \\ i \neq j}} y_{jik} = u_{jk} \quad \forall k \in K, \forall j \in C \quad (R1)$$

$$y_{jik} \leq Mx_{ijk} \quad \forall k \in K, \forall i, j \in V, i \neq j \quad (R2)$$

$$\sum_{\substack{j \in V \\ i \neq j}} x_{ijk} = u_{jk} \quad \forall k \in K, \forall j \in C \quad (R3)$$

$$\sum_{\substack{i \in V \\ i \neq j}} x_{jik} = u_{jk} \quad \forall k \in K, \forall j \in C \quad (R4)$$

$$\sum_{i \in C} (dem_i u_{ijk}) \leq cap_{tipok} \quad \forall k \in K \quad (R5)$$

$$\sum_{k \in K} u_{ik} = 1 \quad \forall i \in C \quad (R6)$$

$$\sum_{\substack{i \in C \\ i \neq 1}} x_{1ik} = \sum_{\substack{i \in C \\ i \neq 1}} x_{i1k} \quad \forall k \in K \quad (R7)$$

$$td_{ijk} = \left(\frac{d_{ij}}{vel_{tipok}} \right) x_{ijk} \quad \forall k \in K, \forall i, j \in V, i \neq j \quad (R8)$$

$$tt_{jk} \geq tt_{ik} + ta_i + td_{ijk} - (aut)(1 - x_{ijk}) \quad \forall k \in K, \forall j \in C, \forall i \in V, i \neq j \quad (R9)$$

$$tp_{ijk} \geq tt_{jk} - tt_{ik} - td_{ijk} - ta_i - (aut)(1 - x_{ijk}) \quad \forall k \in K, \forall i, j \in V, i \neq j \quad (R10)$$

$$custo_{ijk} \geq (conn_{tipok} CC) td_{ijk} + (comp_{tipok} CC) tp_{ijk} \quad \forall k \in K, \forall i, j \in V, i \neq j \quad (R11)$$

$$custoa_i \geq \sum_{k \in K} (ta_i u_{ik}) comp_{tipok} CC \quad \forall i \in C \quad (R12)$$

$$tt_{ik} \geq e_i \quad \forall k \in K, \forall i \in C \quad (R13)$$

$$tt_{ik} \leq q_i \quad \forall k \in K, \forall i \in C \quad (R14)$$

$$pen_i \geq CP(tt_{ik} - l_i) \quad \forall k \in K, \forall i \in C \quad (R15)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, \forall i, j \in V, i \neq j \quad (R16)$$

$$u_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, \forall i \in V \quad (R17)$$

$$y_{ijk} \geq 0 \quad \forall k \in K, \forall i, j \in V, i \neq j \quad (R18)$$

$$tp_{ijk} \geq 0 \quad \forall k \in K, \forall i, j \in V, i \neq j \quad (R19)$$

$$td_{ijk} \geq 0 \quad \forall k \in K, \forall i, j \in V, i \neq j \quad (R20)$$

$$custo_{ijk} \geq 0 \quad \forall k \in K, \forall i, j \in V, i \neq j \quad (R21)$$

$$tt_{ik} \geq 0 \quad \forall k \in K, \forall i \in V \quad (R22)$$

$$pen_i \geq 0 \quad \forall i \in V \quad (R23)$$

$$custoa_i \geq 0 \quad \forall i \in V \quad (R24)$$

A função objetivo busca minimizar os custos operacionais relacionados ao escoamento da produção (transporte e atendimento) e as penalidades (multas) a serem pagas caso o atendimento às plataformas ocorra fora do prazo estabelecido. A Restrição (R1) garante que a rota é conexa, ou seja, começa e termina no porto. A Restrição (R2) assegura que o fluxo na aresta (i, j) só poderá ocorrer se ela estiver sendo usado por algum navio. A Restrição (R3) garante que deve haver exatamente uma aresta chegando ao nó j vindo do navio k , caso j seja atendida por k . A Restrição (R4) garante que deve haver exatamente uma aresta saindo do nó j . A Restrição (R5) assegura que a demanda coletada pelo navio k deve ser compatível com sua capacidade. A Restrição (R6) indica que uma plataforma i deve ser atendida por um único navio k . A Restrição (R7) assegura que o navio deve retornar para o nó de partida. A Restrição (R8) calcula o tempo de deslocamento entre os nós i e j pelo navio k . A Restrição (R9) garante que o tempo até a plataforma j não deve ser menor que o tempo até sua antecessora i , adicionando os tempos de deslocamento e o tempo de atendimento da plataforma i . A Restrição (R10) calcula o tempo parado entre os nós i e j , caso o navio precise aguardar para o atendimento da plataforma i . A Restrição (R11) calcula o custo no arco (i, j) . A Restrição (R12) calcula o custo de atendimento da plataforma i . A Restrição (R13) assegura que o navio não chega antes do

tempo preestabelecido, atendendo o prazo inicial. A Restrição (R14) assegura que o navio deve atender a janela máxima de tempo. A Restrição (R15) verifica se o navio chegou em uma determinada plataforma depois do prazo sem penalidade. Por último, as Restrições (R16) - (R21) estão relacionadas ao domínio das variáveis de decisão.

5. Testes Computacionais

Para a realização dos testes computacionais, a heurística de Clarke e Wright (1962) foi utilizada, como já citado, buscando encontrar as melhores rotas possíveis. Para aplicação desta heurística também levou-se em consideração os parâmetros cujo os dados utilizados foram obtidos de banco de dados com informações reais de demanda, capacidade dos navios, localização das unidades de produção e também dos portos, entre outras informações, segundo Meza et al. (2015). Os primeiros parâmetros a serem definidos são considerados constantes, segundo a Tabela 1 apresentada a seguir.

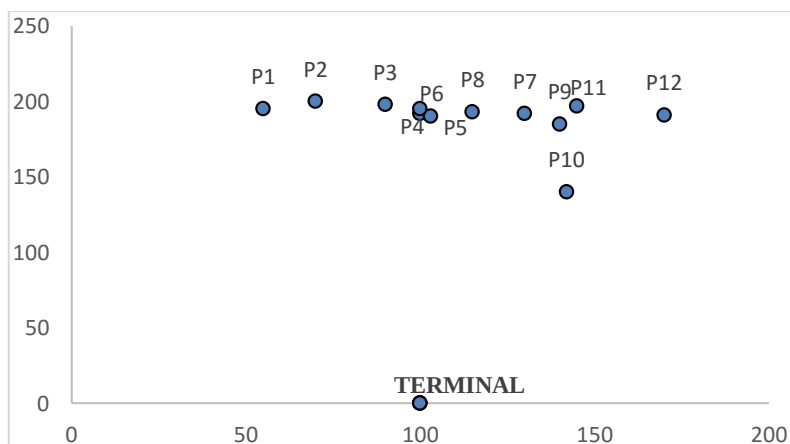
Tipos de Navios	Panamax	Aframax	Suezmax
Capacidade (m ³)	60.000	110.000	160.000
Velocidade (km/h)	20	22	4
CONSP (R\$/h)	441	496	551
CONSD (R\$/h)	4.412	5.614	7.599
Autonomia (h)	480	480	480

Fonte: Meza et al. (2015)

Tabela 1: Parâmetros dos Navios

Os parâmetros CONSP e CONSD se referem ao consumo do navio. O primeiro é o consumo quando se realiza a operação *offloading* e o segundo está associado ao consumo do navio navegando. O parâmetro Autonomia se refere a quanto tempo o navio consegue ficar em alto mar sem necessidade de reabastecimento.

As localizações dos navios e plataformas são as empregadas por Meza et. al. (2015), conforme Figura 2.



Fonte: criação do autor.

Figura 2: Localização do Terminal e Plataformas

Os últimos parâmetros estabelecidos são os específicos de cada plataforma com a demanda, tempo de atendimento, tempo mais cedo, tempo sem multa e tempo limite. Neste caso, optou-se por utilizar os valores indicados por Meza et al. (2015). Assim, este artigo considera apenas um cenário com 12 plataformas a serem atendidas com as respectivas produções escoadas para o terminal de Angra dos Reis. A Tabela 2 demonstra os parâmetros das plataformas.

Plataformas	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Demanda (m ³)	49.000	36.000	47.000	79.000	36.000	71.000	67.000	81.000	45.000	43.000	54.000	45.000
Tempo de atendimento (h)	19	15	18	28	15	25	24	28	18	17	20	18
Tempo mais cedo (h)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Tempo sem multa (h)	120	40	83	64	104	53	41	60	102	14	128	123
Tempo Limite (h)	229	70	157	118	197	95	73	111	194	274	246	235

Fonte: Meza et. al. (2015)

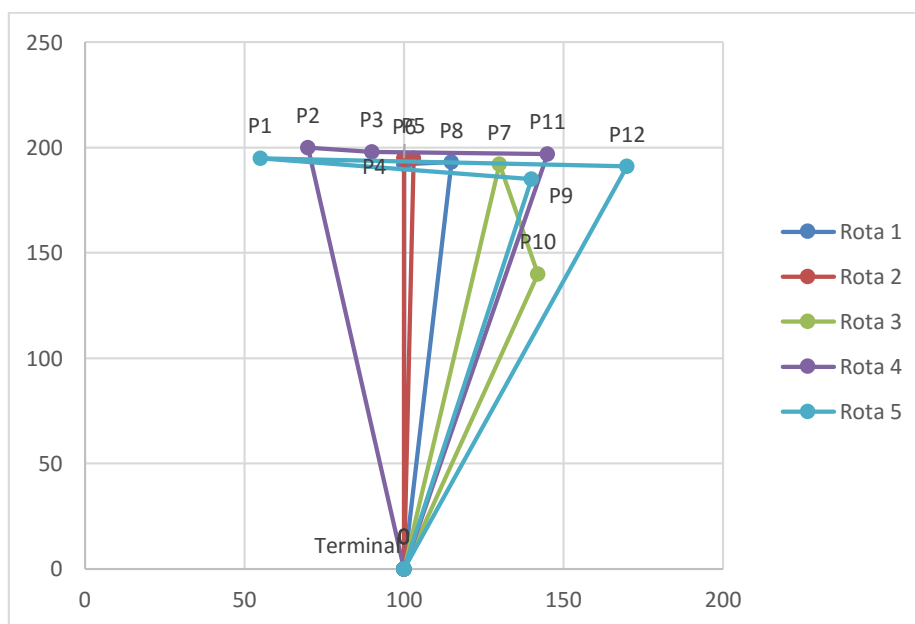
Tabela 2: Parâmetros específicos de cada plataforma

A heurística de Clarke e Wright (1962) foi implementada em linguagem C/C++ e utilizada para resolver o problema, identificando assim rotas para escoar a quantidade de petróleo demandada. A Tabela 3 apresenta a quantidade de navios utilizada, segundo os tipos disponíveis. Verifica-se que cinco navios foram empregados, sendo dois Aframax e três Suezmax, gerando, consequentemente, cinco rotas de atendimento, conforme Figura 3.

Cenários	Total de Navios	Panamax	Aframax	Suezmax
12 Plataformas	5	0	2	3

Fonte: criação do autor.

Tabela 3: Descrição da Frota para este cenário



Fonte: criação do autor.

Figura 3: Rotas dos Navios Aliviadores

A Tabela 4 detalha cada uma das rotas obtidos pelo método das economias. Verifica-se que as três primeiras rotas atendem a duas plataformas cada uma e que as duas últimas atendem a três plataformas cada uma. Por último, a Tabela 5 apresenta o tempo de atendimento e a quantidade total de óleo transportado.

Tipo de Navios		Rotas				
Suezmax	Rota 1	Terminal	Plataforma 8	Plataforma 4	-	Terminal
Aframax	Rota 2	Terminal	Plataforma 6	Plataforma 5	-	Terminal
Aframax	Rota 3	Terminal	Plataforma 10	Plataforma 7	-	Terminal
Suezmax	Rota 4	Terminal	Plataforma 2	Plataforma 3	Plataforma 11	Terminal
Suezmax	Rota 5	Terminal	Plataforma 9	Plataforma 1	Plataforma 12	Terminal

Fonte: criação do autor.

Tabela 4: Descrição das Rotas

Tipo de Navios	Rotas	Tempo de Atendimento	Petróleo Transportado
Suezmax	Rota 1	56	160.000
Aframax	Rota 2	49	107.000
Aframax	Rota 3	41	110.000
Suezmax	Rota 4	53	137.000
Suezmax	Rota 5	55	139.000

Fonte: criação do autor.

Tabela 5: Descrição do Tempo de Atendimento e Petróleo Transportado

6. CONCLUSÕES

A heurística aplicada ao problema proposto por Meza et al. (2015) possibilitou encontrar cinco rotas capazes de atender a todas as doze plataformas. Este resultado foi considerado bastante positivo, dado que na aplicação realizada anteriormente por Meza et al. (2015), não foi possível determinar resultado para doze plataformas. Cabe ressaltar que o navio aliviador tipo *Panamax* não foi considerado em nenhuma das rotas obtidas, possivelmente devido a sua menor capacidade de escoamento.

A solução aplicada ao problema de roteamento de navios aliviadores obteve os resultados esperados, entretanto novas aplicações envolvendo instâncias maiores são necessárias para atestar se o modelo proposto e a heurística serão capazes de encontrar soluções viáveis para o escoamento do petróleo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CLARK, G.; WRIGHT, J. "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points" Operational Research., V.12: p.568.581, 1964.

CONCEIÇÃO, W. L.; NASCIEMTNO, S. ; SANTOS, I. C. ; SILVA, A. C. ; SILVA D. J. ; SILVA, V. T. "Operação Offloading: Análise Preliminar de Perigo e os Impactos Ambientais" Revista Eletrônica Novo Enfoque V. 11, n.13; p.208 – 222, 2011.

HEINEN, M. R.; OSÓRIO, F. S. “Algoritmos Genéticos Aplicados ao Problema de Roteamento de Veículos”, Hifen Uruguaiana, V. 30, nº58, 2006.

LUSTOSA, M. C. J. “Meio Ambiente, Inovação e Competitividade na Indústria Brasileira: A Cadeia Produtiva do Petróleo”, Dissertação de Doutorado, Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.

MEZA, E. B. M.; VIANNA, D. S.; MACEDO, A. A.; VIANNA, M. F. D. “Um modelo matemático para o roteamento de navios aliviadores no escoamento da produção de petróleo”, Revista Eletrônica Gestão & Saúde, V. 6; p. 955-70, 2015.

NAGATA, Y. “Edge assembly crossover for the capacitated vehicle routing problem” Evolutionary computation in combinatorial optimization. Springer Berlin Heidelberg. p. 142-153, 2007.

NAGATA, Y.; BRÄYSY, O. “Edge assembly-based memetic algorithm for the capacitated vehicle routing problem” Networks, v. 54, n. 4, p. 205-215, 2009.

PRINS, C. “A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem”, Computers & Operations Research, v. 31, n. 12, p. 1985-2002, 2004.

ONO, R. T., “Modelagem Sistêmica e Planejamento Logístico da Cadeia de Suprimentos de Petróleo”. Tese (Doutorado) apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP- SP, 2007.

RIO, A. J. C. “Análise de um Sistema de Posicionamento Dinâmico para Navios Aliviadores” Dissertação de Mestrado, Engenharia Oceânica, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2009.

REIMANN, M.; DOERNER, K.; HARTL, R. F. D-ants: “Savings based ants divide and conquer the vehicle routing problem”, Computers & Operations Research, v. 31, n. 4, p. 563-591, 2004.

SILVA, P. R. “Transporte Marítimo de Petróleo e Derivados na Costa Brasileira: Estrutura e Implicações Ambientais” Dissertação de Mestrado, Ciências em Planejamento Energético, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2004

SILVA, A. C., SANTOS, I. C., CONCEIÇÃO, W. L., SILVA, D. J., NASCIMENTO, S., SILVA, V. T. “Operação offloading: análise preliminar de perigo e os impactos ambientais” Revista Eletrônica Novo Enfoque, v. 13; n. 13; p. 207, 2011.