ANÁLISE DE DIFERENTES POLÍTICAS DE REDUÇÃO DA FROTA COM O USO DE HEURÍSTICA E SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

Igor Girão Peres Vianna
Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE
Rua Moniz Aragão N° 360, Bloco 1, CT 2, CEP: 21941-594
Igor_gpv@poli.ufrj.br

Virgílio José Martins Ferreira Filho
Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE
Rua Moniz Aragão N° 360, Bloco 1, CT 2, CEP: 21941-594
virgilio@petroleo.ufrj.br

RESUMO

Os desafios impostos pelas atividades da indústria de petróleo em campos *offshore* são grandes nas áreas de planejamento e gestão de operações. Sendo uma das questões mais importantes, para uma operação eficiente e um custo aceitável, a utilização adequada das embarcações supridoras. Neste artigo são apresentadas e comparadas três políticas diferentes de redução da frota, baseadas na capacidade de transporte de carga geral: i. retirada da embarcação com maior capacidade; ii. retirada da embarcação com capacidade na média da frota; e iii. retirada da embarcação com menor capacidade. Para a realização dessa comparação foi desenvolvido um simulador de eventos discretos que visa replicar as condições operacionais presentes no cenário *offshore* brasileiro e selecionado um grupo de indicadores que retratem o principal nível de serviço de cada produto. Ao final são apresentados resultados que demonstram a sensibilidade da operação a composições diferentes de frota.

PALAVRAS CHAVE. Logística *offshore*, dimensionamento de frota, simulação de eventos discretos.

Tópicos. EN, L&T

ABSTRACT

The challenges impose for offshore petroleum activities in planning and operations management areas are mean focus of offshore logistics. One of the most important task, for an efficient operation with an acceptable cost, is the proper dimensioning and use of supply vessels. This article presents and compares three different politics of fleet reduction, based on transportation capacity of deck cargo: i. removal of the vessel with bigger capacity; ii. Removal of the vessel with medium capacity based on fleet capacity; and iii. Removal of the vessel with smaller capacity. To be possible compare the approaches the development of a discrete-event system simulator, which represents the operating conditions of Brazilian offshore scenario, was necessary. Associate with the simulator, the selection of a group of indicators that allowed an operation overview. The results evidence the impacts in operation that different fleet composition can impose to the operation.

KEYWORDS. Offshore logistics, fleet dimensioning, discrete-event simulation.

Paper topics. EN, L&T

https://proceedings.science/p/106647?lang=pt-br

1. Introdução

O setor de petróleo vem crescendo continuamente no mundo e no Brasil, porém, com o passar dos tempos, as reservas de mais fácil exploração foram se esgotando. No atual cenário brasileiro, a grande maioria da produção atual e das futuras reservas se encontram em ambiente *offshore*, que se configuram como um sendo de difícil exploração devido as grandes profundidades à serem perfuradas, aos efeitos do mar na corrosão de equipamentos e tubos e na instabilidade das instalações e frotas ocasionada pelas ondas. Além de todos os complicadores mencionados, ainda há uma gama de dificuldades na logística de operação, em grande escala, nesse ambiente.

As atividades de exploração e produção de óleo e gás (E&P) no setor *offshore* têm imposto grandes desafios relacionados à área de planejamento e operação de recursos e infraestrutura logísticos, fundamentais para a continuidade operacional. Nesse contexto, a logística de apoio *offshore*, ou apenas logística *offshore*, cujo papel é transportar cargas e pessoas entre instalações em terra, tais como portos e aeroportos, e unidades marítimas (UMs), a exemplo, sondas, plataformas e embarcações especiais, surge como uma área relevante para o desenvolvimento de soluções baseadas, por exemplo, em modelos para planejamento e operação de recursos e infraestrutura de forma mais eficiente.

Para as operações de transporte e abastecimento realizadas para as UMs, os principais desafios encarados são o dimensionamento e a utilização adequada das embarcações supridoras, para com isso obter uma boa manutenção e eficiência da operação com um custo aceitável, dado que a quantidade de cargas movimentadas é muito grande, tanto no sentido de abastecimento das UMs, como na remoção destas para tratamento em terra, descarte ou reuso em outra unidade.

Estas embarcações supridoras, utilizadas no abastecimento das UMs, são denominadas de barcos de apoio ou de PSVs (*Plataform Supply Vessels*), sendo um dos elementos mais custosos de cadeia logística *offshore*.

O abastecimento das UMs pode ser feito em caráter de frota multipropósito, que se caracteriza pela utilização do barco para o transporte de mais de um tipo de produto ao mesmo tempo, como exemplo, um mesmo barco pode abastecer a UM com produtos de carga geral e na mesma visita também fornecer diesel para a mesma. Uma política que se utiliza de frota multipropósito propicia a utilização de uma frota menor e ao mesmo tempo consegue diminuir a utilização do porto, fator crítico para as operações *offshore*, sendo o porto um recurso que pode ser compartilhado com outras operações e não apenas as relacionadas a indústria do petróleo.

Todo esse contexto cria uma cadeia logística complexa, na qual o dimensionamento correto da frota, o planejamento da demanda, a programação das viagens das embarcações supridoras e o gerenciamento das operações portuárias tornam-se tarefas importantes para a manutenção do nível de serviço adequado aos clientes finais, unidades marítimas, visto que a falta de um item da cadeia gera custos elevados.

Com o objetivo de um melhor dimensionamento do tamanho da frota, no que tange a escolha das capacidades dos PSVs a serem utilizados, foram propostas diferentes políticas para o dimensionamento da frota, levando em conta diferentes indicadores de nível de serviço da operação. A escolha do tamanho do PSV a ser utilizado é pouco explorada na literatura, se configurando, portanto, como a principal contribuição deste trabalho.

Para a realização dessa análise, foi desenvolvida uma ferramenta de apoio a decisão, denominada APOLO, que combina um simulador de eventos discretos com uma heurística de alocação dos PSVs às cargas e às unidades marítimas. Foram também, definidos os indicadores relevantes para o problema e propostas e analisadas três diferentes políticas para o dimensionamento da frota.

Na sequência deste artigo é apresentada uma revisão sobre a logística *offshore*, seguida pela definição do problema estudado. Na seção 4 é apresentada formalmente a ferramenta APOLO seguida pelos experimentos computacionais que foram conduzidos. Encerra o artigo as conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

https://proceedings.science/p/106647?lang=pt-br

2. Revisão bibliográfica

[Leite 2012] analisa o cenário petrolífero brasileiro e faz uma análise abrangente sobre logística *offshore*, tratando do estudo de caso da Petrobras. O trabalho trata de recursos, o principal deles sendo os barcos, mas também de facilidades em terra, composição típica/variabilidade da carga de *deck* e indicadores chave de performance. É feita uma análise empírica, com o objetivo de reduzir o tamanho da frota e aumentar o nível de serviço no transporte de carga de *deck*, levando a estratégias que podem culminar em melhorias.

Os trabalhos de [Albjerk et al. 2015] e [Cuesta et al. 2017] lidam com o problema de entrega e coleta, se preocupando não apenas em atender a demanda de consumo, como também atender a demanda de *backload* que cada unidade apresenta, com foco no planejamento operacional. Entretanto, o primeiro aborda aspectos do gerenciamento de interrupções para o caso da *Statoil* e o segundo aborda como diferentes estratégias de roteamento, com um ou dois PSVs, pode interferir no atendimento para o caso da Petrobras.

O problema de clusterização de unidades marítimas e roteamento de frota heterogênea são abordados por [Soares 2014]. Ele apresenta como enfoque carga de *deck* e uma heurística para a clusterização baseada em busca local e reconstrução de soluções a partir de uma semente.

[Maisiuk e Gribkovskaia 2014] estudam o problema do planejamento da frota de embarcações de apoio levando em conta tempos de navegação e de serviço que sejam afetados, de maneira estocástica, por condições meteorológicas. A principal decisão é a determinação do tamanho da frota contratada para um horizonte de tempo de um ano, considerando as variações causadas por eventos meteorológicos, para tal, é utilizada uma estratégia de solução também baseada em simulação de eventos discretos.

[Silva et al. 2015] comparam várias políticas de transporte marítimo, tendo como foco o transporte de carga relacionada a sistemas de remoção de sulfeto de hidrogênio em unidades de produção do Pré-Sal, no Brasil, empregando a simulação de eventos discretos para estimar o dimensionamento da frota e a infraestrutura necessárias para suprir a demanda de carga.

[Moreira 2017] mostra como é possível unir frotas de oleeiros e carga geral, sem deteriorar o nível de serviço. Vários cenários foram avaliados utilizando-se a simulação de eventos discretos. Como resultado, uma notável redução dos custos foi observada, graças ao significante corte na frota original de PSVs estimada pelo trabalho.

Em [Norlund et al. 2015] é analisado como a otimização da velocidade das embarcações pode reduzir o consumo de combustível e emissões de CO_2. Em um trabalho posterior, [Norlund e Gribkovskaia 2017] estendem essa análise em como a programação do porto pode ser construída visando diminuir o consumo de combustível baseado em diferentes técnicas de otimização de velocidade das embarcações. Em ambos os trabalhos, a condição meteorológica é levada em conta na simulação.

[Eskandari e Mahmoodi 2016] também utilizam um simulador de eventos discretos que leva em conta condições ambientais e uma estratégia de otimização baseada em simulação para achar a composição da frota que minimize o custo total mantendo um nível de serviço mínimo, ainda são utilizadas duas estratégias de roteamento, uma baseada em agendamento fixo e outra na demanda da plataforma.

[Norstad et al. 2017] apresentam um estudo feito para o mar do ártico onde são simulados vários formatos dos navios e composições de frota respeitando alguns requerimentos de segurança, preparações emergenciais e indicadores ambientais, levando em conta o impacto do clima nos tempos de navegação e no consumo de combustíveis.

[Pinto et al. 2018] determinam a quantidade de barcos necessária para atender a demanda das plataformas através de uma heurística e determinam as rotas levando em conta a arrumação das cargas no deck, visando, além de reduzir os custos, melhorar a arrumação das cargas no *deck* da embarcação.

[Kisialiou et al. 2018ª] visam minimizar o número de embarcações e o gasto com combustíveis ao mesmo tempo que mantém um nível mínimo de serviço. Os autores utilizam uma

https://proceedings.science/p/106647?lang=pt-br

heurística para planejar o cronograma do porto e depois a simulação levando em consideração as condições meteorológicas para verificar o nível de serviço obtido.

Já [Kisialiou et al. 2018b] visam determinar a melhor composição da frota e o melhor agendamento do porto para um determinado horizonte utilizando um modelo exato para problemas pequenos e médios e uma heurística para todos os tamanhos com uma performance melhor que as anteriormente usadas.

Os artigos, [Chagas et al. 2018] e [Silva et al. 2018], são de grande relevância para este trabalho, servindo como base para o seu desenvolvimento. Ambos se utilizam do mesmo simulador, validado a partir de dados reais de campo obtidos da Petrobras, e utilizam um otimizador para a alocação das cargas. No primeiro é comparado, com o uso de frota especializada, duas estratégias diferentes de alocação de PSVs às cargas de convés: regra FIFO e otimizador. Já no segundo são comparadas três heurísticas de abastecimento de diesel nas unidades marítimas, com a utilização de frota especializada, e uma comparação das políticas de frota especializada e de frota multipropósito por meio de otimização.

3. Definição do problema

Para uma melhor definição do problema, ele será dividido em duas partes principais:

i. *Definição conceitual*: é apresentada uma definição geral do problema e das etapas propostas para a solução do mesmo; e

ii. *Modelagem*: explicita as operações logísticas presentes na cadeia e como elas se relacionam.

3.1. Definição conceitual

Existem diversos complicadores logísticos presentes na cadeia *offshore* como um todo, sendo, a frota de PSVs responsável pelo atendimento às UMs, a parte mais custosa de toda essa cadeia. Portanto, é de grande importância um bom gerenciamento dos aspectos relativos a frota, aproveitando ao máximo o seu potencial.

As UMs, que são atendidas pela frota, são responsáveis pelas operações de E&P da indústria de petróleo e necessitam de uma gama grande e variada de cargas, denominadas de carga geral, elas também produzem cargas que precisam ser retornadas para terra, as cargas de *backload*. Além disso, as UMs apresentam demandas por diesel, usado como combustível, e água, usada nas suas operações internas, sendo possível que algumas sejam capazes de produzir uma parte da água que é utilizada.

As demandas das UMs são supridas por uma frota heterogênea de PSVs que operam em caráter multipropósito. A política de abastecimento multipropósito consiste no transporte de carga geral, diesel e água no mesmo PSV, não havendo uma frota específica para a entrega de nenhum dos produtos, apenas uma frota que esteja preparada para entregar os três simultaneamente.

Para que seja possível o abastecimento dos PSVs, é necessário que um porto faça parte da cadeia. O porto é um dos limitantes da operação, pois, além de apresentar uma limitação física no número de berços disponíveis para uso, também apresenta um conjunto de horários restritos, chamado de cronogramas, nos quais os PSVs podem atracar no porto e realizar suas operações.

Nas bacias do litoral pode haver um número muito grande de UMs e devido às grandes distâncias até a costa, se faz necessário que mais de uma UM seja atendida em cada viagem do PSV. Em decorrência desse fato, as UMs são agrupadas em *clusters*, sendo a clusterização e o roteamento do sistema predefinidos, objetificando a diminuição da distância total percorrida para o atendimento de todas as UMs, respeitando uma quantidade máxima das mesmas por *cluster*.

A alocação de PSVs às cargas e aos *clusters* é realizada por uma heurística gulosa, que tem como prioridade atender o maior número de pedidos de carga geral, reduzindo o espaço ocioso do PSV, ao mesmo tempo que entrega diesel e água.

Dada a complexidade do cenário aqui apresentado, um problema importante enfrentado pela logística *offshore* é como determinar qual o PSV deve ser retirado da frota quando há uma

https://proceedings.science/p/106647?lang=pt-br

redução da mesma. Se faz necessária então uma avaliação de diferentes políticas de retirada de PSV da frota, que é decorrente de diferenças nas capacidades de transporte. Assim, são abordadas três diferentes políticas de retirada de PSVs da frota:

i. Política 1: Retirada do PSV com maior capacidade de carga geral;
ii. Política 2: Retirada do PSV com capacidade média de carga geral; e
iii. Política 3: Retirada do PSV com menor capacidade de carga geral.

Os consumos de diesel dos PSVs e das UMs, os consumos e as produções de água das UMs e o abastecimento de água e diesel nas UMs e nos PSVs são padronizados no que tange a unidade, sempre sendo utilizado valores em m^3 do produto em questão.

As demandas de carga geral das UMs e de carga de *backload* das UMs, a capacidade de transporte de carga geral dos PSVs e as movimentações de carga e descarga no porto e nas UMs foram padronizadas para uma unidade mais uniforme que englobasse todos os tipos de carga. Uma quantidade de cargas, que ocupasse um determinado espaço quadrado, é agrupada e é tratada uma lingada, sendo todas as operações baseadas em quantidades de lingadas.

Ao se tratar dos pedidos de carga geral, cada um deles apresenta uma data de entrega, que é considerada adequada para suprir as necessidades da UM demandante deste pedido.

Ao se definir um grupo de políticas que se quer comparar, é necessário definir os meios que permitirão que estas comparações sejam realizadas. O método considerado mais adequado, neste trabalho, para realizar a comparação é a utilização de um simulador de eventos discretos por ser possível implementar detalhes pormenorizados da operação, embutindo por meios de distribuições de probabilidade as incertezas inerentes a operação e que são conhecidas.

Outro passo importante para que seja possibilitada comparações entre diferentes estratégias é a seleção de um grupo de indicadores a serem analisados, que auxiliem na elucidação de quais estratégias apresentam melhores desempenhos em diferentes áreas importantes da operação.

3.2 Modelagem

O desenvolvimento de um simulador depende do entendimento completo e bem definido de todo o sistema que se quer reproduzir. A sequência das operações logísticas, que se visa reproduzir, pode ser definida da seguinte forma:

1-Verifica a existência de PSV disponível no fundeio, cronograma liberado no porto, berço vazio no porto, canal de passagem liberado e nenhum PSV no porto esperando para sair do berço. Se todos esses critérios forem cumpridos é selecionado, através de programação, um PSV e quais cargas ele transportará para atender um determinado cronograma e *cluster*;

2-Após isso, o PSV selecionado se encaminha para o berço do porto, passando pelo canal do porto;

3-No berço ele é carregado com a quantidade de carga geral, diesel e água programados pela heurística. Também há a retirada da carga de *backload* proveniente da última viagem executada por este PSV;

4-O PSV verifica se há disponibilidade no canal do porto, se houver, ele sai do berço, se não houver, ele entra na fila de saída dos PSVs que estão no porto;

5-Após sair do canal, o PSV começa a viagem até a primeira UM do *cluster* determinado;

6-Chegando na UM, é verificado a se há alguma outra embarcação ocupando-a. Se tiver, o PSV fica na fila e espera a UM ser liberada, se não houver, ele atraca na UM;

7-É então determinado se a operação poderá começar ou se haverá um tempo de espera;

8-Cumprido o tempo de espera, se houver, começa a operação de descarregamento dos produtos programados e de carregamento da carga de *backload* produzida pela UM, respeitando a capacidade máxima do convés;

9-É verificado se é a UM atual é a última UM do *cluster*, se não for, o PSV segue para a próxima UM, voltando para o item 6, se for, o PSV verifica, primeiramente, se haverá inoperância e, em seguida, se este PSV está programado para docagem; e

https://proceedings.science/p/106647?lang=pt-br

10-O PSV segue para o fundeio, mas só estará disponível novamente para programação após os tempos de inoperância e docagem, caso existam.

4. APOLO: Avaliador de Políticas de Logística de Apoio *Offshore*

A APOLO, avaliador de políticas de logística de apoio *offshore*, consiste em uma ferramenta de apoio a decisão relacionado a problemas enfrentados pela logística *offshore*, focado na logística de transporte de cargas. Ela é formada pela combinação de um simulador de evento discretos junto com um grupo de heurísticas gulosas e um modelo de otimização exato, responsáveis pela alocação dos PSVs às cargas e às unidades marítimas. Para o desenvolvimento da ferramenta, é utilizada a linguagem de programação Python. Como entrada ao simulador, é utilizado um arquivo em Excel com todas informações e distribuições necessárias para o seu funcionamento.

4.1. Simulador

A construção do simulador se baseia em duas lógicas diferentes: na primeira, os eventos são discretos e estão ligados às localidades, sendo ativados a partir do momento no qual este local é alcançado pelo PSV, que é a entidade básica do sistema; na segunda, os eventos são contínuos e não dependem de nenhuma localidade para acontecerem, tendo como gatilho apenas o tempo decorrido de simulação.

Outra entidade de grande importância no sistema são os cronogramas, eles consistem em um grupo de horários disponíveis no porto para a atracação dos PSVs. Cada cronograma possui um *cluster* associado e um número de identificação (ID), que representa o seu lugar na lista de cronogramas. Se um cronograma não for atendido, por algum motivo, no seu horário marcado, ele continua no sistema à espera das condições necessárias para que ele possa ser atendido, de modo que nenhum *cluster* deixa de ser atendido.

4.1.1. Eventos de Local

Para construção do simulador, os seguintes locais de eventos foram considerados:

- *Fundeio*: É o local onde os PSVs ficam ancorados e disponíveis para serem programados e designados para entrarem no porto, ele tem capacidade infinita de ancoragem. Também é o local de onde o PSV sai e volta das rotinas de inoperância e docagem. Apenas depois dessas rotinas, quando existentes, que ele fica disponível para programação. Após isto ele é posto no final da fila dos PSVs que estão no fundeio.
- *Canal do porto*: É o canal de entrada do fundeio para o porto e de saída do porto para o início da viagem até a primeira UM do *cluster* programado. Ele é percorrido em um tempo fixo e predefinido, pelo PSV. Apresenta ainda prioridade de saída dos PSVs que estão no berço em detrimento da entrada dos que estão no fundeio.
- *Berço*: Local onde o PSV atraca dentro do porto, respeitando a escala de cronogramas definidas. Nele ocorre o carregamento dos produtos que serão transportados e entregues para as UMs, e o descarregamento das cargas de *backload* provenientes das UMs da última viagem. A operação é realizada com carregamento de carga geral e descarregamento de *backload* em série e em paralelo com água e diesel, que estão em série entre si, definindo assim o tempo total de berço do PSV.

A lógica de carregamento da água e do diesel são as mesmas, o tanque do PSV é preenchido com a quantidade programada, com uma vazão sorteada dependente da faixa de diesel e água que serão carregados.

Os pedidos de carga geral que serão carregados são definidos pela programação selecionada, e todas as cargas de *backload* devem ser retiradas do PSV antes, sendo a velocidade de operação sorteada e dependente da quantidade de carga a ser movimentada na operação de carregamento e descarregamento.

https://proceedings.science/p/106647?lang=pt-br

- *PSV em viagem*: Os PSVs estão em viagem quando estão indo para alguma UM do *cluster* selecionado ou quando estão voltando para o fundeio.

Para o cálculo do tempo de cada viagem é levado em conta uma distância crítica, ou seja, quando a viagem tiver uma distância maior que a crítica, é sorteada a velocidade de navegação a partir de uma determinada distribuição e quando a distância for menor que a crítica é sorteada uma velocidade de navegação a partir de outra distribuição. Para ambas as velocidades há um limite superior e inferior, que se forem alcançados a velocidade é sorteada novamente.

- *PSV em espera:* Quando o PSV chega a cada UM de destino, ele verifica se esta está ocupada, se estiver, espera até que fique livre para poder atracar. Ao atracar na UM, é verificado se pode haver operação, se não puder, um tempo de espera é sorteado e deve ser respeitado até que a operação possa começar de fato.
- *PSV descarregando*: Acontece após o tempo de espera, se existente, ocorrer. O tempo de descarregamento é o somatório do descarregamento de carga geral, carregamento de *backload* e abastecimento de diesel e água, todos em série.

A quantidade de carga geral descarregada é aquela que foi programa para a UM do *cluster*. A quantidade de *backload* carregada é o mínimo entre o espaço disponível no convés do PSV e a quantidade de *backload* estocado na UM. A taxa de lingada é sorteada dependendo da quantidade de carga geral e *backload* que precisam ser transportados.

É sorteada uma vazão de descarga tanto para o diesel quanto para a água dependendo da quantidade programada pela estratégia para cada produto.

- *PSV em inoperância:* O PSV tem uma probabilidade de entrar em estado de inoperância depois de atender a última UM da viagem. Se entrar em inoperância, o seu tempo é sorteado. A inoperância ocorre depois que o PSV viaja de volta até o fundeio, e quando finalizada, o PSV volta novamente para o fundeio.
- *PSV em docagem:* Cada PSV tem uma agenda de docagem feita de modo que todos os PSVs entrem em docagem no intervalo de dois anos, quando o PSV vai para a docagem é sorteado um tempo para permanecer lá.

A docagem é checada depois que o PSV atende a última UM da viagem e pode acontecer depois da ocorrência da inoperância. A docagem ocorre depois que o PSV viaja de volta até o fundeio, e depois do tempo de inoperância, se houver. Quando finalizada o PSV está novamente no fundeio

- *Consumo de diesel do PSV:* Para cada uma das atividades que o PSV realiza, há um consumo de diesel relacionado ao tempo que ele realizou esta tarefa. Os consumos são divididos entre: fundeio; berço; viajando, que também engloba o tempo percorrendo o canal; e na UM, que engloba o tempo que ele espera na fila para atracar, o tempo de espera para o começo das operações e o tempo de operação na UM. Não se considera que o PSV esteja consumindo combustível enquanto estiver em inoperância e docagem.

4.1.2. Eventos de Tempo

Para construção do simulador, os seguintes eventos de tempo devem ser considerados:

- *Geração de pedidos de carga geral*: Uma vez por dia é sorteada um número de pedidos de carga geral para cada UM. Junto com o pedido gerado, também é definida uma data limite para a entrega do pedido para considerá-lo no prazo ou atrasado e um ID do pedido para identificação.
- *Geração de pedidos de backload:* Uma vez por dia é sorteada um número de pedidos de *backload* para cada UM.
- *Consumo de diesel nas UMs*: Uma vez por dia é sorteado uma taxa de consumo de diesel para cada UM. Uma vez por hora utiliza-se esta taxa para computar o quanto foi consumido pela UM.
- *Consumo e produção de água nas UMs*: Uma vez por dia é sorteado uma taxa de consumo e uma taxa de produção de água para cada UM. Uma vez por hora utiliza-se esta taxa para computar o quanto foi consumido e produzido pela UM

https://proceedings.science/p/106647?lang=pt-br

4.2. Heurística de alocação

A prioridade da heurística é a entrega do máximo de carga geral possível, para um *cluster* predeterminado, minimizando o espaço ocioso do PSV utilizado. Quanto ao diesel, ela faz um controle das quantidades carregadas no porto e descarregadas nas UMs, já para a água, é utilizada uma abordagem gulosa que só enxerga a demanda no momento da atracação na UM.

Os *clusters* estão dispostos em fila e são atendidos nesta ordem. Já sabendo a demanda do próximo *cluster* da fila, escolhe-se o melhor PSV para atendê-lo.

A escolha do PSV é feita da seguinte forma: se a maior capacidade dos PSVs disponíveis no fundeio for menor que a demanda do *cluster*, é escolhido o PSV com maior capacidade, se houver empate, é escolhido o que está há mais tempo no fundeio; se a maior capacidade dos PSVs disponíveis no fundeio for maior que a demanda do *cluster*, é selecionado o PSV que irá minimizar o espaço ocioso ao atender toda a demanda, se houver empate, é escolhido o que está há mais tempo no fundeio. Lembrando que é descontado das capacidades dos PSVs o espaço previamente deixado para a recepção das cargas de *backload* da primeira UM.

Para o caso onde não é possível atender toda a demanda de carga geral do *cluster* selecionado, será programada uma quantidade de pedidos que utiliza toda a capacidade do PSV e os pedidos selecionados são aqueles que apresentam as menores data limite para a entrega.

Para a programação do diesel é verificado se, dentro das UMs do *cluster* selecionado, alguma apresenta o seu nível de diesel abaixo do nível de ressuprimento definido para cada UM, se houver, é então computada uma demanda para o diesel, que consiste no volume necessário para completar o tanque da UM.

Caso o somatório da demanda de cada UM seja menor que a capacidade de transporte de diesel do PSV selecionado, toda a demanda de todas as UMs será programada, sendo, portanto, a demanda total do *cluster* aquela a ser carregada no porto e a demanda programada de cada UM descarregada na operação de abastecimento. Caso o somatório da demanda seja maior que a capacidade do PSV selecionado, toda a sua capacidade disponível será preenchida e a parte programada destinada a cada UM será proporcional ao seu montante na demanda total original do *cluster*.

Para a programação da água outra lógica é seguida. O PSV selecionado tem um ponto de ressuprimento de água, então se o estoque do PSV estiver abaixo desse ponto, no momento em que ele atracar no berço e for começar as operações, todo o seu tanque será preenchido.

Na UM o abastecimento se dá sempre que o estoque da mesma estiver abaixo do ponto de ressuprimento no momento da atracação do PSV. Para definir a quantidade de água a ser descarregada, considera-se o mínimo entre o estoque do PSV e a quantidade necessária para encher o tanque da UM.

5. Experimentos Computacionais

Antes da realização dos experimentos, há a necessidade de validação da ferramenta APOLO. Como não foi possível a obtenção de dados reais de campo, para a realização de uma validação direta, realizou-se uma validação indireta baseada em um outro simulador.

O simulador, utilizado como base para a validação, é apresentado em [Silva et al. 2018] e [Chagas et al. 2018], e foi construído no *software* de simulação Promodel, validado a partir de dados reais de campo disponibilizados pela Petrobras e referentes à Bacia de Campos e à Bacia de Espírito Santo nos estados do Rio de Janeiro e de Espírito Santo.

A validação deu-se pela comparação de um grupo de indicadores que pudessem englobar todos os principais aspectos presentes na logística *offshore* e que fossem obtidos com os dois simuladores.

Após a realização dos testes, pode-se inferir que os modelos apresentam resultados muito próximos para a maioria dos indicadores testados, com pequenas diferenças em apenas alguns deles. Não é possível considerar que os modelos sejam exatamente iguais, porém, pode-se dizer que a ferramenta APOLO está validada, já que apresenta valores próximos e até iguais para vários

https://proceedings.science/p/106647?lang=pt-br

indicadores importantes do sistema, com diferenças que podem decorrer da validação indireta que foi utilizada.

Todos os testes realizados, tanto para validação quanto para os cenários propostos, foram executados em uma máquina equipada com Windows Server® Intel® Xeon® CPU E5-2620 v4 @ 2.10GHz com 2 processadores e 256 GB de memória RAM. Foi utilizado o Promodel 2014 e o Python 3.6.

Após a validação, se deu início os testes para as três políticas propostas, com o intuito de avaliar os impactos da seleção de qual PSV será retirado do sistema, quando há redução de frota. Para uma melhor elucidação da diferença dos cenários, seguem na Tabela 1 as capacidades de cada PSV retirado para as três políticas.

Tabela 1: Capacidades dos PSVs retirados para cada valor de frota.

Política	Capacidade	Redução da frota				
		35→34	34→33	33→32	32→31	31→30
1	Carga Geral	123	106	106	105	105
	Diesel	1640	1540	1390	1040	540
	Água	1650	1600	1500	1350	1250
2	Carga Geral	86	86	86	86	86
	Diesel	1015	1015	1015	1015	1015
	Água	1395	1395	1700	1395	1395
3	Carga Geral	60	65	66	66	66
	Diesel	640	640	640	640	640
	Água	640	1350	1350	1350	1350

Para todos os tamanhos de frota, variando de 34 até 30 PSVs, foram realizadas 30 replicações com duração de 180 dias de simulação com 90 dias de aquecimento. Neste cenário o espaço deixado no PSV para o primeiro *backload* é de 10 lingadas, com um total de 90 UMs divididas em 23 *clusters*. O porto possui 6 berços com um total de 46 cronogramas disponíveis por semana. Além disso, todos os indicadores foram obtidos com um intervalo de 95% de confiança.

Para poder analisar qual o impacto que as diferentes políticas causam nas operações, é necessário a escolha de indicadores que melhor retratem as mudanças. Como as políticas mexem com as capacidades de transporte dos três produtos, faz-se necessário a seleção de um indicador de nível de serviço para cada um dos produtos transportados; carga geral; diesel; e água.

O indicador utilizado para carga geral, e aqui chamado apenas de nível de serviço, é o mais importante ao se avaliar o impacto das diferentes políticas na operação *offshore*, e consiste na razão entre a quantidade de pedidos entregues no prazo pela quantidade total de pedidos entregues (entregues no prazo mais entregues atrasados). O indicador para o diesel e para a água é o mesmo, ocorrências de *stockout* nas UMs, que consiste na soma de todos os eventos de estoque vazio, para qualquer UM do sistema.

Na Tabela 2 seguem os resultados dos três indicadores de nível de serviço para as três políticas, com todas as reduções de frota. Para uma melhor visualização do nível de serviço de carga geral, seus resultados também são apresentados na Figura 1.

Como pode ser observado, pela análise da Tabela 2 e da Figura 1, os valores de nível de serviço, para uma frota de 34 PSVs, são praticamente os mesmos para as três políticas. Com 33 PSVs já pode ser observada uma tendência de crescimento no nível de serviço da Política 1 para a 2 e da Política 2 para a 3. Quando comparadas, as Políticas 1 e 3 apresentam uma diferença mais consistente, com intervalos de confiança que não se cruzam.

Com 32 PSVs, pode-se observar uma redução considerável dos níveis de serviço em relação aos apresentados por uma frota de 33 PSVs, indicando uma piora dos resultados. Os comportamentos, entre as políticas, continuam iguais aos observados com 33 PSVs.

Já com 31 PSVs, o problema fica com uma frota mais restrita e a diferença entre as capacidades dos PSVs que continuam na operação, decorrente das políticas adotadas, se acentua. Ocasionado por estes fatores, as diferenças nos níveis de serviço aumentam bastante, com a Política

https://proceedings.science/p/106647?lang=pt-br

Tabela 2: Níveis de serviço das três políticas.

Política		Redução da frota				
		35→34	34→33	33→32	32→31	31→30
1-carga geral	Inferior	88,10%	87,26%	86,09%	80,74%	72,00%
	Média	**88,30%**	**87,56%**	**86,52%**	**82,01%**	**73,64%**
	Superior	88,49%	87,85%	86,96%	83,27%	75,27%
2-carga geral	Inferior	88,09%	87,64%	86,28%	82,37%	76,22%
	Média	**88,27%**	**87,87%**	**86,67%**	**83,49%**	**77,68%**
	Superior	88,46%	88,09%	87,05%	84,60%	79,15%
3-carga geral	Inferior	88,19%	87,89%	86,98%	85,34%	83,10%
	Média	**88,33%**	**88,10%**	**87,29%**	**85,96%**	**83,78%**
	Superior	88,48%	88,30%	87,61%	86,58%	84,45%
1-diesel	Inferior	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00
	Média	**0,07**	**0,13**	**0,33**	**0,10**	**0,07**
	Superior	0,16	0,26	0,54	0,21	0,16
2-diesel	Inferior	0,00	0,02	0,00	0,05	0,07
	Média	**0,20**	**0,20**	**0,13**	**0,23**	**0,23**
	Superior	0,43	0,38	0,26	0,42	0,39
3-diesel	Inferior	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02
	Média	**0,10**	**0,07**	**0,07**	**0,13**	**0,20**
	Superior	0,21	0,16	0,16	0,30	0,38
1-água	Inferior	0,47	0,57	0,33	0,61	0,61
	Média	**0,80**	**0,90**	**0,57**	**0,97**	**1,00**
	Superior	1,13	1,23	0,80	1,33	1,39
2-água	Inferior	0,70	0,37	0,56	0,49	0,69
	Média	**1,03**	**0,63**	**0,87**	**0,83**	**1,10**
	Superior	1,37	0,90	1,17	1,17	1,51
3-água	Inferior	0,18	0,54	0,49	0,76	0,58
	Média	**0,43**	**0,83**	**0,73**	**1,10**	**1,00**
	Superior	0,69	1,13	0,97	1,44	1,42

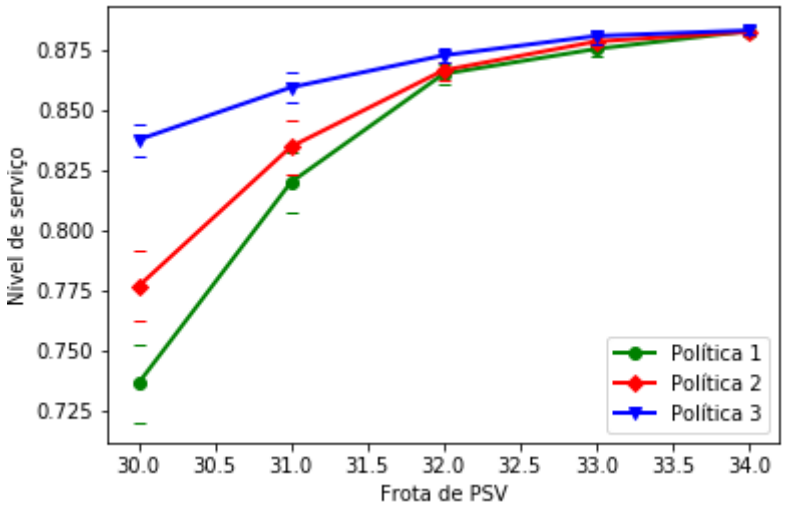


Figura 1: Nível de serviço de carga geral para as três políticas.

1 sofrendo grande degeneração nos resultados, já a Política 3 sofre redução bem menor do nível de serviço apresentado.

Com 30 PSVs, a diferença entre as frotas se acentua e, junto com essa diferença, também aumenta a disparidade dos níveis de serviço obtidos. Com esta frota, os resultados da Política 3 são

https://proceedings.science/p/106647?lang=pt-br

muito melhores do que aqueles obtidos pelas Políticas 1 e 2, políticas estas que sofreram uma degeneração considerável nos seus resultados, com a Política 2 obtendo resultado melhores que o da Política 1.

Ao analisar-se as ocorrências de *stockout* de diesel, apresentadas na Tabela 2, não é possível encontrar uma relação direta entre o tamanho da frota e a política utilizada. Todos os resultados estão próximos de zero, entre 0,07 e 0,33 ocorrências, com seus limites inferiores em zero, ou muito próximos.

As ocorrências de *stockout* de água, também apresentadas na Tabela 2, não parecem ter relação direta com o tamanho da frota e nem com as capacidades da frota operante, comportamento igual ao observado para o diesel. Já os valores obtidos apresentam diferenças, pois não estão próximos de zero, variando entre 0,43 e 1,1 ocorrências, com seus limites inferiores mantendo boa distância do zero.

Ao se comparar os resultados obtidos, pelas três políticas, deve-se levar em consideração que cada tamanho de PSV tem um custo associado diferente, com o valor do aluguel e o consumo de combustível variando com o tamanho. A partir disto, não se deve olhar apenas para os números aqui apresentados na hora de dizer qual política é melhor para ser aplicada na prática. Sendo, portanto, este um estudo focado apenas nos indicadores de serviço das políticas, não apresentando um caráter econômico de avaliação.

6. Conclusões e trabalhos futuros

O principal objetivo, de avaliar os impactos nos níveis de serviço de cada produto da operação, para diferentes políticas de dimensionamento do tamanho da frota, foi atingido através da utilização da ferramenta APOLO, que se mostrou eficiente para a avaliação das estratégias aqui apresentadas.

Os resultados de nível de serviço obtidos para a Política 3 são bem superiores aos das Políticas 1 e 2, principalmente quando há uma maior redução da frota, como nos casos de 30 e 31 PSVs. Para frotas maiores, de 32 até 34 PSVs, os valores foram parecidos, apresentando apenas tendências de melhores resultados para a Política 3, seguido pela Política 2 e com a Política 1 por último.

Já os indicadores de *stockout* de diesel e de água não são impactados por diferentes tamanhos e nem composições de frota, apresentando valores que giram sempre em torno dos mesmos patamares para as três políticas apresentadas.

A necessidade de manter um nível de serviço elevado na entrega dos insumos para as unidades marítimas é de grande importância para a cadeia logística *offshore*, já que uma paralização das atividades da mesma, por motivos de falta de algum produto, acarreta grandes prejuízos para as empresas envolvidas. Baseado nisso, é importante a apresentação de diferentes estratégias e políticas que possam aumentar os níveis de serviço da cadeia logística, como os apresentados aqui.

A análise da utilização de frotas com diferentes capacidades gera respostas diferentes para o nível de serviço de carga geral, principalmente para casos com frotas mais restritas, e merece um estudo mais detalhado dos seus impactos. Para tal estudo, é necessário que se leve em conta os diferentes custos que PSVs de tamanhos diferentes acarretam para a operação, no que tange ao custo do contrato e nos valores de diesel consumido pela frota, ao mesmo tempo que se deve precificar ou definir um limite mínimo para o nível de serviço de carga geral.

Referências

Chagas, R. D. S.; Bittencourt, G. C.; Silva, V. A.; Vianna, I. G. P.; Longhi, R. P.; Ribas, P. C.; Filho, V. J. M. F. (2018). Programação de Cargas em Barcos de Suprimento de Unidades Marítimas. In *L SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Rio de Janeiro, Brasil.

https://proceedings.science/p/106647?lang=pt-br

Cuesta, E. F., Andersson, H., Fagerholt, K., Laporte, G. (2017). Vessel routing with pickups and deliveries: An application to the supply of offshore oil platforms. *Computers and Operations Research*, 79:140-147.

Eskandari, H., Mahmoodi, E. (2016). A simulation-based multi-Objective optimization study of the fleet sizing problem in the offshore industry. *Maritime Economics and Logistics* 18(4): 436–457.

Kisialiou, Y., Gribkovskaia, I., Laporte, G. (2018a). Robust supply vessel routing and scheduling. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 90: 366–378.

Kisialiou, Y., Gribkovskaia, I., Laporte, G. (2018b). The periodic supply vessel planning problem with flexible departure times and coupled vessels. *Computers and Operations Research* 94: 52–64.

Leite, R. P. (2012). *Maritime transport of deck cargo to Petrobras fields in Campos Basin: an empirical analysis, identification and quantification of improvement points.* Dissertação de mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Maisiuk, Y., Gribkovskaia, I. (2014). Fleet sizing for offshore supply vessels with stochastic sailing and service times. *Procedia Computer Science*, 31: 939-948.

Moreira, P. C. M. (2017). *Análise de aumento da eficiência do sistema marítimo offshore de transporte de carga por meio de simulação probabilística*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de janeiro.

Norlund, E.K., Gribkovskaia, I., Laporte, G. (2015). Supply vessel planning under cost, environment and robustness considerations. *Omega (United Kingdom)*, 57: 271–281.

Norlund, E.K., Gribkovskaia, I. (2017). Environmental performance of speed optimization strategies in offshore supply vessel planning under weather uncertainty. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 57: 10–22.

Norstad, I., Gribkovskaia, V., Johnsen, T., Lindstad, H.E., Uthaug, E. (2017). Simulation-Based Evaluation of Upstream Logistics System Concepts for Offshore Operations in Remote Areas. In: *Volume 8: Polar and Arctic Sciences and Technology; Petroleum Technology*, ASME.

Pinto, G.D.L., Vitorugo, L.R., Rosa, R.D.A., Arpini, B.P., Caprini, L.A. (2018). Planning the transport of loads to oil platforms considering the arrangement of the loads on the ship's deck. *Computers and Industrial Engineering*, 119: 289–300.

Shyshou, A., Gribkovskaia, I., Laporte, G., Fagerholt, K. (2012). A large neighbourhood search heuristic for a periodic supply vessel planning problem arising in offshore oil and gas operations. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 50: 195-204.

Silva, V. A.; Bittencourt, G. C.; Vianna, I. G. P.; Chagas, R. D. S.; Longhi, R. P.; Ribas, P. C.; Filho, V. J. M. F. (2018). Decision support tool applied to supply vessel scheduling in offshore logistics. In *Rio Oil & Gas, RJ, Brazil*.

Silva, V. A., Liang, D. A., Yuba, D. G. T., Rossetto, R., Kovalski, S. (2015). Logistics Planning for Critical Cargos Related to Hydrogen Sulfide Removal Processes in Pre-Salt Basin Fields. In: *OTC Brasil*, Rio de Janeiro.

Soares, J. B. C. D. O. (2014). *Transporte marítimo de carga na bacia de campos: uma abordagem por clusterização capacitada e roteirização de embarcações.* Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

https://proceedings.science/p/106647?lang=pt-br