LII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional
João Pessoa - PB, 3 a 5 de novembro de 2020

OTIMIZAÇÃO DO USO DAS JANELAS DE OCIOSIDADE DE EMBARCAÇÕES NA REMOÇÃO DE DUTOS SUBMARINOS DESCOMISSIONADOS

Lucia Balsemão Furtado Logsdon
Programa em Engenharia de Produção - PEP - COPPE/UFRJ
Ilha do Fundão, Centro de Tecnologia
lucia.balsemao@gmail.com

Virgilio José Martins Ferreira Filho
Programa em Engenharia de Produção - PEP - COPPE/UFRJ
Ilha do Fundão, Centro de Tecnologia
virgilio@petroleo.ufrj.br

Paulo Cesar Ribas
Petrobras Petróleo Brasileiro
Av. Horácio Macedo, 950 - Cidade Universitária
paulo.ribas@petrobras.com.br

RESUMO

Na indústria do petróleo *offshore*, o fim da vida dos equipamentos e dutos submarinos significa abandono ou remoção. Para a remoção de dutos, o processo atualmente realizado no Brasil é semelhante ao lançamento e utiliza as mesmas embarcações, os PLSVs, que têm alto custo de frete. Visando minimizar a contratação de novas embarcações para recolhimento dos dutos submarinos, este trabalho propõe o uso das janelas de ociosidade das embarcações para executar a maior quantidade de recolhimentos, dentro do período de tempo disponível. Para isso, o problema foi modelado como um problema de designação, sujeito às restrições de capacidade de cada embarcação e do tamanho das janelas de tempo disponíveis. Foram analisados três cenários possíveis contendo frota e tamanhos de janelas disponíveis diferentes. Como resultado, o modelo indica que é possível reduzir de forma significativa o custo de locação das embarcações ao se utilizar as janelas ociosas para estas operações.

PALAVRAS CHAVE. Descomissionamento. Óleo e Gás. Problema de Empacotamento.

Tópicos: PO na Área de Energia, Petróleo e Gás. Logística e Transportes.

ABSTRACT

In the offshore oil industry, the end of the life of subsea pipelines and equipment means abandonment or removal. For the removal of pipelines, the process currently carried out in Brazil is similar to the pipe laying operations, and uses the same vessels, PLSVs, which have a high freight cost. To minimize hiring new vessels to remove submarine pipelines, this work proposes the use of idle time windows to carry out the largest amount of withdrawals, within the available period of time. For this, the problem was modeled as an allocation problem, subject to the capacity restrictions

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

of each vessel and the time windows available. Three possible scenarios containing different fleet and available time windows were analyzed. As a result, the model indicates that it is possible to significantly reduce the cost of hiring vessels by using available time windows for these operations.

KEYWORDS. Decommissioning. Oil and Gas. Set Packing Problem.

Paper topics: OR in the Energy, Oil and Gas Area. Logistics and Transport

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

1. Introdução

A demanda por descomissionamento *offshore* no Brasil é recente e a regulação dessa atividade envolve a Agência Nacional do Petróleo (ANP), os órgãos ambientais como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), a Marinha do Brasil e a Receita Federal (de Almeida et al. [2017]). Assim, a empresa concessionária do campo deve submeter à ANP um Programa de Desativação das Instalações (PDI), descrevendo em detalhes todas as ações necessárias para sua desativação (de Almeida et al. [2017]). Ou seja, é necessário criar um plano para abandono ou recolhimento dos equipamentos e dutos submarinos que não estão em operação.

A remoção de equipamentos e dutos utilizados na indústria do petróleo *offshore* exige a utilização de embarcações e equipamentos adequados. Os dutos são instalados nos campos brasileiros por embarcações de grande porte, os *Pipe Laying Support Vessel* (PLSVs), que possuem cestos para armazenamento de dutos e espaço para transporte de bobinas. Os dutos são desenrolados na locação de forma continuada, o que representa geralmente uma redução de tempo de instalação.

A Petrobras possui uma frota contratada para executar as operações de lançamento e manutenção de dutos. O planejamento tático da utilização destas embarcações exige uma complexa análise de cronogramas para atender aos prazos dos projetos com os insumos que já estão disponíveis. No entanto, existem alguns períodos sem atividades designadas, que poderiam ser utilizadas para outras atividades, tais como a remoção de dutos que serão descartados. O alto custo do frete de um PLSV, algo entre US$110 mil e US$350 mil por dia (DALEEL [2015]), motiva a busca por soluções alternativas e de menor custo para remoção dos dutos submarinos.

Assim, o objetivo do presente trabalho é criar um modelo, baseado no *Set Packing Problem*, ou Problema de Empacotamento, para alocar o maior número possível de trechos de dutos às janelas de tempo disponíveis dos PLSVs já contratados. Em seguida, um experimento com dados reais de quantidade de trechos de dutos a serem recolhidos é realizado para avaliar a aderência do modelo à realidade, analisando cenários com diferentes cronogramas de utilização dos PLSVs.

Além desta seção introdutória, o trabalho está dividido em mais quatro seções. A revisão de literatura, onde é abordada a questão de abandono e remoção de dutos submarinos de produção de petróleo, problemas relacionados aos PLSVs e os trabalhos que utilizam o modelo de empacotamento como suporte à decisão. O problema real estudado é descrito na terceira seção, bem como foi realizada a abordagem usando o *Set Packing Problem*. Na quarta seção, estão os resultados do experimento computacional e a última seção traz as conclusões e comentários finais.

2. Revisão da Literatura

O abandono dos dutos submarinos de produção de óleo e gás faz parte das alternativas de um processo maior conhecido por descomissionamento, que é composto pelo término da produção, tamponamento e abandono de poços, desmontagem de equipamentos, limpeza e remoção ou abandono (Salcido [2005]). Este processo envolve o atendimento a requisitos de regulação e legislação, que variam entre os países produtores de petróleo. O impacto no meio ambiente, os riscos das operações envolvidas, os custos, a viabilidade técnica, o impacto social, a destinação dos resíduos, entre outros fatores, devem ser considerados. Philip et al. [2014] descrevem os impactos mais comuns do processo de descomissionamento de dutos.

A escolha entre abandonar ou remover tem sido realizada caso a caso por meio da aplicação de metodologias multicritérios (Manouchehri [2017], Schroeder e Love [2004]). Martins et al. [2020] recentemente apresentaram extensa revisão desta literatura. Geralmente, o abandono dos dutos no leito marinho é a opção preferida com base nas condições técnicas e na sustentabilidade

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

ambiental do oleoduto, no entanto, em alguns casos, a remoção ou a remoção parcial do oleoduto não pode ser evitada (Swanson et al. [2010], Philip et al. [2014]).

Conforme Manouchehri [2017], a remoção das seções expostas dos oleodutos é tecnicamente viável, especialmente para oleodutos flexíveis e de menor tamanho, mas seria muito difícil para oleodutos de maior diâmetro pois envolve operações *offshore* significativas, atribuídas ao corte do oleoduto, elevação das seções do oleoduto do fundo do mar e finalmente transporte das seções do oleoduto até a costa. Todas as informações necessárias para esta atividade devem ser fornecidas ao contratante de descomissionamento, incluindo o diâmetro e o comprimento da tubulação a ser cortada e os locais de corte na tubulação. O corte e / ou elevação das seções da tubulação só devem ser realizados após a limpeza e a segurança da tubulação. Caso contrário, devem ser adotadas as medidas necessárias para evitar a descarga de hidrocarbonetos e resíduos no ambiente marinho (Philip et al. [2014]).

No processo de descomissionamento da plataforma, os dutos podem ser desconectados e mantidos no leito marinho, sem necessariamente ser removido junto com o restante da estrutura. Além da desativação das unidades de produção, o processo de remoção dos dutos pode fazer parte dos trabalhos de rotina para manutenção da produção. Ou seja, pode ou não estar ligado ao descomissionamento da plataforma. Assim, independentemente da motivação, a remoção dos dutos de produção de óleo e gás submarinos se caracteriza como operação complexa e de alto custo e risco.

Problemas relacionados aos cronogramas das embarcações PLSV podem ser abordados por diferentes técnicas de Pesquisa Operacional. Nesta seção, serão apresentados alguns dos trabalhos encontrados na literatura e quais foram as técnicas escolhidas.

O trabalho de Cunha et al. [2020] tratou da reprogramação do PLSVs como um problema de programação da máquinas paralelas, em que as máquinas representam os navios e os trabalhos são as atividades das conexões dos poços submarinos. Neste trabalho, foi proposto um modelo de programação matemática e um método baseado na metaheurística de busca local iterada (*Iterated Local Search* - ILS) para resolver o problema. Como resultado, obtiveram um ganho expressivo no tempo computacional ao aplicar o ILS, permitindo uma solução rápida em relação à abordagem matemática, que, por ser confiável, ainda é recomendada quando o tempo de processamento não é tão importante para a tomada de decisão.

Callado [2018] utilizou uma metaheurística GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*) para auxiliar na tomada de decisão dos cronogramas dos PLSVs para um projeto que foi aplicado em 2014. Os resultados mostraram uma redução de 2,5% no cronograma do projeto quando comparada ao cronograma desenvolvido apenas com o conhecimento dos especialistas na área. Este redução do cronograma tem impacto no custo do projeto, já que cada dia adicional pode custar mais de $300k, incluindo a diária da embarcação e o pessoal mobilizado.

Melle et al. [2016] se focaram na redução dos tempos não produtivos e realizaram análises utilizando técnicas de Simulação. Foi realizada uma comparação entre FIFO (*First In First Out*) e curva ABC em termos de aumento da curva de óleo, alterando as regras de prioridade.

Angelides et al. [1998] também utilizaram simulação como uma ferramenta de suporte à decisão, planejamento, controle e melhoria de processos, aplicado ao carregamento da embarcação, transporte do material para o local e à atividade de tubulação realizada pelo navio. Um ambiente orientado a objetos foi usado para desenvolver o modelo de simulação e provou ser muito eficaz para o projeto em particular para o qual foi desenvolvido e facilmente ajustável a qualquer novo projeto de dutos.

O *Set Packing Problem*, o *Set Partitioning Problem* (Problema de Partição) e o *Set Covering Problem* (Problema de Cobertura) são muito semelhantes (Chaurasia e Kim [2019]) e são

importantes no campo da otimização combinatória devido ao seu potencial de aplicação e ao seu desafio computacional (Alidaee et al. [2008]). Podem ser utilizados, por exemplo, para maximizar o número de atendimentos dado um certo número de recursos disponíveis. Sua formulação clássica pode ser expressa como:

$$max\ c^T x$$
$$Ax \leq 1$$
$$x \in B^n$$

Por ser considerado um problema NP-hard, a maioria dos trabalhos que utilizam este tipo de formulação utiliza heurísticas/metaheurísticas para determinar a melhor solução. Por exemplo, Chaurasia e Kim [2019] utilizaram uma estrutura hiper-heurística baseada em algoritmo evolutivo para resolver o problema.

Normalmente os problemas relacionados a embarcações e operações marítimas são relacionados ao seu sequenciamento (*schedulling*), roteamento (*routing*) ou alocação (*allocation*) de seus recursos. A tabela 1 resume as principais referências encontradas e a sua classificação:

Tabela 1: Divisão da Literatura

Sequenciamento	Roteamento	Alocação
Kim e Lee [1997]	Wen et al. [2016]	Iris et al. [2018]
Karaoğlan [2016]	Castillo-Villar et al. [2014]	Jin et al. [2016]
Nott e Lee [1999]	Cóccola e Méndez [2015]	Jiang e Jin [2017]
Ronen [1993]		Zhen [2016]
Bremenkamp et al. [2016]		Lalla-Ruiz et al. [2016]
		Hvattum et al. [2009]

Uma das aplicações de modelo de empacotamento nesta área foi apresentado por Lalla-Ruiz et al. [2016]. Neste trabalho, o problema é a alocação de berços e a programação de atracação de navios contêineres com restrição de profundidade e condições de maré. Assim, foi proposto uma formulação matemática baseada no problema de *Set Partitioning Problem* para atender ao problema denominado *Berth Allocation Problem under Time-Dependent Limitation with Time-Window*.

Uma abordagem desta formulação foi utilizada por Kim e Lee [1997] para otimizar o sequenciamento de embarcações de carga. Este trabalho indica que o *Set Packing Problem* possui flexibilidade e traz resultados satisfatórios para problemas desta natureza. Wen et al. [2016] também utilizaram esta formulação para resolver um problema real de frota considerando o custo, a capacidade e o consumo de combustível de cada carga.

Iris et al. [2018] compararam o modelo baseado no Problema de Empacotamento com um modelo matemático conceitual, onde obteve um resultado relevante, fornecendo soluções ótima em razoável tempo computacional. O artigo de Bremenkamp et al. [2016] explora a aplicação de um modelo para alocar embarcações PLSV a blocos de atividades que precisam ser executadas, dado um horizonte de tempo. O objetivo é maximizar a produção de petróleo, antecipando as atividades que permitem a produção de poços com maior potencial antes que os de menor potencial.

3. Uma abordagem de *Set Packing* para o problema de recolhimento de dutos

Por conta da complexidade da operação, quando é necessário fazer a remoção de dutos para liberação do leito marinho, seja por uma manutenção, seja por conta do seu fim de vida, embarcações sofisticadas são necessárias. Para o caso dos dutos de petróleo - risers, dutos flexíveis ou

umbilicais - sua remoção, no Brasil, é executada por embarcações do tipo PLSV, que possuem alto custo de frete e frota limitada. Geralmente os PLSVs são contratados a longo prazo e o planejamento de suas operações vai sendo ajustado ao longo do tempo conforme a necessidade da empresa. Além de se considerar algum tipo de limitação técnica da embarcação para a atividade considerada, como a capacidade dos tracionadores, o planejamento leva em consideração os cronogramas dos projetos, necessidade de manutenção e a liberação dos insumos necessários.

Assim, um cronograma robusto das atividades dos PLSVs representa redução da ociosidade deste recurso e otimização das atividades relacionadas a ele. Cada área cliente apresenta suas necessidades de utilização dos recursos e a área responsável pelo planejamento tático determina o sequenciamento das atividades.

Para o caso específico da remoção dos dutos, a atividade se inicia com o PLSV se deslocando até o local onde estão os dutos, a recuperação da ponta, o *pull out* da linha, o deslocamento até uma das bases e o seu descarregamento. Na base os dutos são enrolados em bobinas, passam por uma fase de limpeza para remoção dos hidrocarbonetos, são cortados, tamponados e são enviados por carretas para a alienação. Cada vez que a embarcação completa este ciclo, dizemos que concluiu uma viagem, independente da quantidade de dutos que foi removida.

Dada a complexidade e sazonalidade da geração dos cronogramas dos PLSVs, eventualmente podem surgir janelas sem operações programadas. O planejamento é realizado com antecedência que permite a disponibilização destas janelas para outras operações menos nobres e que não têm necessariamente uma exigência de prazo. Os contratos dos PLSVs atualmente são de longo prazo, o que significa que os custos de frete já estão afundados. Assim, não haveria custo extra de frete para a empresa em se utilizar desta janela ociosa. Desta forma, reduzir a ociosidade destas embarcações pode representar uma redução futura de frota ou a oportunidade de utilizar o recurso já contratado para outras atividades que sejam necessárias.

Tratando cada janela ociosa como um recurso disponível e cada trecho de duto a ser removido como uma atividade a ser alocada ao recurso, foi possível utilizar um modelo matemático baseado no *Set Packing Problem*. Além da restrição tradicional da capacidade (que poderia ser em peso de dutos, em volume ocupado, ou ambos), foi incluída uma restrição de tempo. A notação utilizada está descrita na tabela 2:

A função objetivo e as restrições estão descritas a seguir:

$$Max \sum_{i} \sum_{j} \sum_{k} x_{ijk} A_j \tag{1}$$

S.A.

$$\sum_{i} \sum_{k} x_{ijk} \leq 1 \qquad \forall j \in J \tag{2}$$

$$\sum_{j} x_{ijk} A_j \leq y_{ik} B_i \qquad \forall i \in I, \forall k \in K \tag{3}$$

$$tnav_{ik} + \sum_{j} \sum_{k} x_{ijk} DI_{ijk} \leq TD_i \qquad \forall i \in I \tag{4}$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \tag{5}$$

$$y_{ik} \in \{0, 1\} \tag{6}$$

Tabela 2: Notação do Modelo

	Descrição
Conjuntos	
I = {0,1,...,M}	conjunto de janelas
J = {0,1,...,N}	conjunto de dutos
K = {0,1,...,O}	conjunto de viagens
Parâmetros	
A_j	tamanho do duto *j*
B_i	capacidade da embarcação *i*
TD_i	tempo total da janela, em dias
DI_{ijk}	tempo para coletar o duto *j* na viagem *k* da embarcação *i*
Variáveis de Decisão	
x_{ijk}	1, se o duto *j* será removido na viagem *k* da embarcação *i*, 0, caso contrário
y_{ik}	1, se a viagem *k* da embarcação *i* será usada, 0, caso contrário
$tnav_{ik}$	tempo total de navegação usado na viagem k pela embarcação i

A função objetivo (1) maximiza a retirada da maior quantidade, em peso, de trechos de dutos. A restrição (2) evita que o mesmo trecho de duto esteja alocado a mais de uma viagem/embarcação. A restrição (3) garante que cada viagem de uma embarcação não ultrapasse a sua capacidade. A restrição (4), que é o que difere este modelo dos modelos de alocação tradicionais, é a composição dos tempos utilizados por cada viagem de cada embarcação, de forma que o tempo total utilizado respeite a capacidade da janela a qual ela foi alocada. As restrições (5) e (6) indicam que as variáveis de decisão x_{ijk} e y_{ik} são binárias.

4. Experimento Computacional

O modelo descrito na seção anterior foi implementado em Python, onde o solver Gurobi foi utilizado em sua configuração *default* para obter os resultados dos experimentos numéricos. Foi utilizada uma máquina com processador de 2,9 GHz Intel Core i7 Quad-Core, sistema operacional macOS Catalina 10.15.5.

Os dados de entrada são as informações de comprimento de 593 trechos de dutos localizados na Bacia de Campos que precisam ser removidos. Para determinar o tempo utilizado para remoção de cada um dos trechos, foi utilizada a velocidade padrão para o planejamento de remoção de dutos (89m/h). Da mesma forma, foi utilizado o valor de três dias para o tempo de navegação para cada viagem, independentemente da embarcação a ser utilizada. Em relação às capacidades das embarcações, foi considerado, em alguns casos, um estoque remanescente dentro dos cestos, o que reduz a sua capacidade de armazenar e transportar os dutos removidos. Esta restrição é relevante quando tratamos de um problema real, pois eventualmente não é possível utilizar a capacidade máxima teórica das embarcações.

Para fazer este experimento, foram utilizados três cenários baseados em dados reais, com diferentes configurações de frota e cronograma, com as características mostradas na tabela 3:

O parâmetro 'Total Dias' indica o somatório de todos os dias disponíveis em janelas que tenham ao menos três dias. 'Número de janelas' é a quantidade de janelas que estão ociosas e 'Média janela (dias)' é o tamanho médio, em dias, das janelas de cada cenário. O 'Tempo de Execução',

Tabela 3: Descrição dos Cenários

	Cenário		
Parâmetro	C1213	C1313	C1413
Total dias	353	403	445
Número de janelas	42	51	48
Média janela (dias)	8,4	7,9	9,27
Tempo de Execução (s)	3.108	16.695	10.169
Número de variáveis contínuas	1.092	1.326	1.248
Número de variáveis inteiras	324.324	393.822	370.656

em segundos, mostra o tempo de processamento computacional necessário para o modelo atingir um *gap* de 1% para cada cenário. 'Número de variáveis contínuas' e 'Número de váriáveis inteiras' indicam o porte do modelo, conforme coletado na tela de processamento do Solver. Estes cenários foram criados para avaliação dos diferentes cronogramas, em termos de tamanho de frota e potenciais de produção. Assim, a quantidade de dias ociosos depende da quantidade de PLSVs que estarão disponíveis para as atividades.

A tabela 4 mostra estes os resultados numéricos, utilizando um *gap* de 1%:

Tabela 4: Resultados dos Cenários

Cenário	Peso dos dutos removidos (t)	Quantidade de dutos removidos	Dias de PLSV
C1213	1.091,14	108	17
C1313	932,09	97	15
C1413	1.655,78	138	24

A coluna 'Peso dos dutos removidos' é a soma do peso de todos os trechos removidos em cada cenário. 'Quantidade de dutos removidos' indica o número de dutos removidos. Neste modelo, foi maximizada a remoção em peso, mas poderia facilmente ser alterado para número de dutos removidos, se fosse da conveniência dos decisores. Além disso, foi acrescentada uma análise para determinar a quantidade equivalente em dias, caso um PLSV exclusivo fosse contratado para remover os dutos apontados por cada cenário, representada na coluna 'Dias de PLSV'. Considerando um frete diário de US$250 mil/dia, esses cenários representariam uma economia de US$4,25 milhões, US$3,75 milhões e US$6 milhões respectivamente.

5. Conclusão

Foram analisados três cenários criados para análises reais da demanda por PLSVs, onde foram identificadas janelas de ociosidade com mais de três dias que poderiam ser usadas para outras atividades, como a remoção de dutos submarinos. Por se tratar de um item regulatório, caso haja a decisão sobre a remoção dos dutos do leito marinho, há obrigatoriedade nesta operação. A remoção de dutos para descarte não traz nenhum retorno financeiro para as operadoras, de forma que qualquer economia neste procedimento impacta diretamente na redução dos custos da empresa.

Devido à modalidade de contrato de longo prazo dos PLSVs, pode ser possível utilizar estas janelas disponíveis sem aumentar o custo total da empresa. A opção a isso é a contratação de uma embarcação dedicada, representando custos de até US$6 milhões.

Assim, o presente trabalho propôs uma forma de organizar a remoção dos dutos, utilizando um modelo matemático baseado no problema de empacotamento, alocando trechos a cada janela de

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

ociosidade, respeitando as capacidades das embarcações disponíveis e o tempo disponível. No experimento computacional, onde foram avaliados três diferentes cenários, foi possível identificar a quantidade de dutos que poderiam ser removidos sem um custo adicional para a empresa. Apesar do alto tempo computacional, os resultados são representativos e podem indicar aos decisores uma opção para a contratação de PLSVs por menos tempo. Assim, como sugestão de trabalhos futuros, a aplicação de técnicas de modelagem e heurísticas para reduzir o tempo computacional para a solução do problema podem ser realizadas.

Referências

Alidaee, B., Kochenberger, G., Lewis, K., Lewis, M., e Wang, H. (2008). A new approach for modeling and solving set packing problems. *European Journal of Operational Research*, 186(2): 504–512.

Angelides, D. C., Phelps, R. A., Himel, W. T., et al. (1998). Modeling offshore pipelaying operations using simulation. *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, 8(03).

Bremenkamp, L. H., Cunha, V. A.-M. C. D., Hamacher, S., de Souza Pessôa, L., e Ribas, P. C. (2016). Modelo de programação matemática para apoio à decisão da programação de embarcações plsv. In *XLVIII SBPO Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*.

Callado, G. F. M. (2018). Optimizing the schedule of a subsea construction project for the oil and gas industry.

Castillo-Villar, K. K., González-Ramírez, R. G., Miranda González, P., e Smith, N. R. (2014). A heuristic procedure for a ship routing and scheduling problem with variable speed and discretized time windows. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014.

Chaurasia, S. N. e Kim, J. H. (2019). An evolutionary algorithm based hyper-heuristic framework for the set packing problem. *Information Sciences*, 505:1–31.

Cóccola, M. E. e Méndez, C. A. (2015). An iterative milp-based approach for the maritime logistics and transportation of multi-parcel chemical tankers. *Computers & Industrial Engineering*, 89: 88–107.

Cunha, V., Santos, I., Pessoa, L., e Hamacher, S. (2020). An ils heuristic for the ship scheduling problem: application in the oil industry. *International Transactions in Operational Research*, 27 (1):197–218.

DALEEL (2015). Pipe laying vessels. URL = https://www.scmdaleel.com/category/pipe-laying-vessels/57.

de Almeida, E., Colomer, M., Vitto, W. A. C., Nunes, L., Botelho, F., Costa, F., e Filgueiras, R. (2017). Regulação do descomissionamento e seus impactos para a competitividade do upstream no brasil. *IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis*. URL = https://www.ibp.org.br/personalizado/uploads/2017/10/TD-Regulação-do-Descomissionamento-site2.pdf.

Hvattum, L. M., Fagerholt, K., e Armentano, V. A. (2009). Tank allocation problems in maritime bulk shipping. *Computers & Operations Research*, 36(11):3051–3060.

Iris, Ç., Lalla-Ruiz, E., Lam, J. S. L., e Voß, S. (2018). Mathematical programming formulations for the strategic berth template problem. *Computers & Industrial Engineering*, 124:167–179.

Jiang, X. J. e Jin, J. G. (2017). A branch-and-price method for integrated yard crane deployment and container allocation in transshipment yards. *Transportation Research Part B: Methodological*, 98:62–75.

Jin, J. G., Lee, D.-H., e Cao, J. X. (2016). Storage yard management in maritime container terminals. *Transportation Science*, 50(4):1300–1313.

Karaoğlan, A. D. (2016). Tanker scheduling by using optimization techniques and a case study. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2):48–62.

Kim, S.-H. e Lee, K.-K. (1997). An optimization-based decision support system for ship scheduling. *Computers & industrial engineering*, 33(3-4):689–692.

Lalla-Ruiz, E., Expósito-Izquierdo, C., Melián-Batista, B., e Moreno-Vega, J. M. (2016). A set-partitioning-based model for the berth allocation problem under time-dependent limitations. *European Journal of Operational Research*, 250(3):1001–1012.

Manouchehri, S. (2017). Subsea pipelines and flowlines decommissioning: What we should know for a rational approach. In *ASME 2017 36th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*. American Society of Mechanical Engineers Digital Collection.

Martins, I., Moraes, F., Távora, G., Soares, H., Infante, C., Arruda, E., Bahiense, L., Caprace, J., e Lourenço, M. (2020). A review of the multicriteria decision analysis applied to oil and gas decommissioning problems. *Ocean & Coastal Management*, 184:105000.

Melle, A. K., Moreira, B. B., Duarte, E. M., de Avila Couto, G. L., de Castro, J. F. T., Esteves, J. M., Ribas, P. C., e Galvao, R. F. (2016). Service level for pipe laying support vessels (plsv). In *Rio Oil Gas Expo and Conference 2016*.

Nott, H. e Lee, P. (1999). Sets formulation to schedule mixed batch/continuous process plants with variable cycle time. *Computers & chemical engineering*, 23(7):875–888.

Philip, N. S., Wilde, S., Arshad, R., Washash, I., Al-Sayed, T. A. R., et al. (2014). Decommissioning process for subsea pipelines. In *Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference*. Society of Petroleum Engineers.

Ronen, D. (1993). Ship scheduling: The last decade. *European Journal of Operational Research*, 71(3):325–333.

Salcido, R. E. (2005). Enduring optimism: examining the rig-to-reef bargain. *Ecology LQ*, 32:863.

Schroeder, D. M. e Love, M. S. (2004). Ecological and political issues surrounding decommissioning of offshore oil facilities in the southern california bight. *Ocean & Coastal Management*, 47 (1-2):21–48.

Swanson, J. M., Kunicky, T., e Poohkay, P. (2010). Environmental considerations for pipeline abandonment: a case study from abandonment of a southern alberta pipeline. In *2010 8th International Pipeline Conference*, p. 179–185. American Society of Mechanical Engineers Digital Collection.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

Wen, M., Ropke, S., Petersen, H. L., Larsen, R., e Madsen, O. B. (2016). Full-shipload tramp ship routing and scheduling with variable speeds. *Computers & Operations Research*, 70:1–8.

Zhen, L. (2016). Modeling of yard congestion and optimization of yard template in container ports. *Transportation Research Part B: Methodological*, 90:83–104.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings