57º SBPO
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
Gramado • RS
DE 5 A 9 DE OUTUBRO DE 2025

MODELAGEM MATEMÁTICA PARA SUPORTE À TOMADA DE DECISÃO EM GESTÃO DE ESTOQUES DE OPERAÇÕES DE POÇOS OFFSHORE

Luiza Magalhães Henriques, Gleber Tacio Teixeira, Guilherme de Freitas Almeida, Kaoe Alves Olivato
Petróleo Brasileiro S.A. - PETROBRAS
Av. Henrique Valadares, 28 − Centro, Rio de Janeiro, RJ − 20231-030
luiza.henriques@petrobras.com.br, gleber@petrobras.com.br,
guilherme.almeida@petrobras.com.br, kaoe.olivato@petrobras.com.br

Silvio Hamacher
PUC-Rio
Rua Marquês de São Vicente, 225 − Gávea, Rio de Janeiro, RJ − 22451-000
hamacher@puc-rio.br

RESUMO

Este trabalho propõe modelos matemáticos de otimização para apoiar a tomada de decisão na gestão de estoques de materiais utilizados em operações de poços offshore em uma companhia de óleo e gás. A proposta busca maximizar a realização de operações previstas em cronogramas, considerando restrições de estoque e a possibilidade de flexibilização nos Projetos planejados. Dois modelos são apresentados: o primeiro identifica operações exequíveis com o estoque atual, priorizando execuções mais próximas no tempo; o segundo permite a substituição de Projetos por alternativas viáveis, com diferentes níveis de prioridade. A metodologia é aplicada a 3 casos de um cluster da empresa, demonstrando que a flexibilização dos Projetos pode aumentar o número de operações realizadas ou adiantá-las com os mesmos recursos. Os resultados comprovam a efetividade da abordagem proposta como ferramenta de suporte à decisão na gestão integrada de cronogramas e estoques.

PALAVRAS CHAVE. Modelagem Matemática, Gestão de Estoques, Operações Offshore.

Tópicos (EN&OG, L&T)

ABSTRACT

This work proposes mathematical optimization models to support decision-making in the inventory management of materials used in offshore well operations in an oil and gas company. The proposal aims to maximize the execution of planned operations in schedules, considering inventory constraints and the possibility of flexibility in the planned scopes. Two models are presented: the first identifies feasible operations with the current inventory, prioritizing those scheduled sooner; the second allows for the substitution of scopes with viable alternatives, with different levels of priority. The methodology is applied to 4 cases of a company's cluster, demonstrating that scope flexibility can significantly increase the number of operations carried out with the same resources. The results confirm the effectiveness of the proposed approach as a decision support tool for the integrated management of schedules and inventories.

KEYWORDS. Mathematical Modeling, Inventory Management, Offshore Operations.

https://proceedings.science/p/212313?lang=pt-br

1. Introdução

A gestão de estoques tem papel fundamental na eficiência operacional e na competitividade das organizações, ao equilibrar nível de serviço, custos de armazenagem e imobilização de ativos. Modelos matemáticos têm se mostrado ferramentas eficazes no apoio a decisões estratégicas e operacionais, permitindo otimizar reposição, alocação de recursos e resposta à demanda incerta. Sun et al. [2024] propuseram, por exemplo, um modelo robusto para otimizar pedidos em períodos promocionais com restrições de serviço e incerteza de demanda.

No segmento de *upstream* da indústria de Óleo e Gás, a logística de insumos para operações em poços *offshore* envolve custos muito elevados e riscos associados ao não atendimento de cronogramas. Em companhias de óleo e gás, este atendimento decorre da necessidade de antecipação da produção de óleo. A demanda, definida por diferentes áreas de negócio (clusters), contempla tipos de operação, como perfuração e completação. Cada operação pode ter diferentes tipos de projeto de engenharia (escopos) que requerem quantidades diferentes de materiais. Essa complexidade impõe desafios à área de suprimentos, exigindo análises constantes para garantir respostas mais eficientes [Maitra, 2024].

2. Metodologia

A metodologia inicia com a identificação de perguntas-chave da área de suprimento de materiais para operações em poços de uma empresa de óleo e gás: Quais operações do cronograma são viáveis considerando o estoque atual, priorizando as mais recentes? Há alternativa de Projeto[1] que viabilize as operações dadas como não viáveis na primeira pergunta? Se a flexibilidade de Projeto se aplicasse a todas as operações, haveria aumento nas operações viáveis?

Modelo 1: Alocação ótima de recursos no tempo

$$\max \quad \sum_{j\in J}\sum_{t\in T} w_t \cdot z_{jt} \tag{1}$$

$$\text{sujeito a} \quad b_{it} = b_{i,t-1} - \sum_{j\in J} a_{ij}\cdot z_{jt}, \quad \forall i \in I,\ \forall t \in T \tag{2}$$

$$z_{jt} \le y_{jt}, \quad \forall j \in J,\ t \in T \tag{3}$$

$$z_{jt} \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J,\ t \in T \tag{4}$$

$$b_{it} \in \mathbb{Z}_+, \quad \forall i \in I,\ t \in T \tag{5}$$

Modelo 2: Alocação ótima de recursos no tempo com flexibilização de Projeto

$$\max \quad \sum_{j\in J}\sum_{c\in C_j}\sum_{t\in T} w_t \cdot p_{jc} \cdot z_{jct} \tag{6}$$

$$\text{sujeito a} \quad b_{it} = b_{i,t-1} - \sum_{j\in J}\sum_{c\in C_j} a_{ic}\cdot z_{jct}, \quad \forall i \in I,\ \forall t \in T \tag{7}$$

$$\sum_{c\in C_{j'}} z_{jct} \le y_{jt}, \quad \forall j \in J,\ t \in T \tag{8}$$

$$z_{j1t} = 1 \mid PZjt, \quad \forall j \in J,\ t \in T \tag{9}$$

$$z_{jct} \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J,\ c \in C_j,\ t \in T \tag{10}$$

$$b_{it} \in \mathbb{Z}_+, \quad \forall i \in I,\ t \in T \tag{11}$$

[1]Neste trabalho, o termo *Projeto* refere-se a um tipo de projeto de engenharia. Operações com condiçõoes geológicas similares possuem um mesmo tipo de projeto, que requer uma quantidade específica de material.

Conjunto	**Índice**
Projetos originais das operações	$j \in J$
Períodos de tempo (Cronograma)	$t \in T$
Projetos originais + Projetos alternativos aos originais j	$c \in C_j$
Materiais utilizados	$i \in I$

Parâmetro	**Descrição**	**Unidade**
w_t	Peso associado à posição t no cronograma	adimensional
a_{ij} ou a_{ic}	Quantidade do material i necessária para o Projeto j ou c	unidade do material i
b_{it}	Estoque do material i no tempo t	unidade do material i
y_{jt}	Indica se o Projeto j está planejado no tempo t	binário
p_{jc}	Peso para a posição de c no vetor de Projetos possíves para j	adimensional
$PZjt$	Solução ótima de z do Modelo 1	binário

Variável	**Descrição**	**Tipo**
z_{jt}	Indica se o Projeto j pode ser executado no tempo t	binária
z_{jct}	Indica o Projeto c a ser escolhido como alternativo à j, no tempo t	binária
b_{it}	Estoque final do material i no tempo t	inteira não negativa

O Modelo 1 responde diretamente à primeira pergunta de negócio. Existe um cronograma firme de operações com Projeto j a serem realizadas no tempo t (y_{jt}), e o objetivo é verificar se será possível executá-las ou não ($z_{jt} = 1$ ou 0) com o estoque disponível. A restrição (3) garante que apenas sejam executados Projetos que estiverem programados para o tempo t, e a atualização do estoque a cada execução é assegurada pela restrição (2). O parâmetro w_t foi definido para receber valores maiores para tempos menores, garantindo a priorização das operações mais recentes.

Após verificar a lista de Projetos viáveis ou não em cada tempo, obtidos no modelo anterior, o analista segue para o Modelo 2 para responder à segunda pergunta de negócio. A função objetivo (6) maximiza o número de operações executadas, ponderadas pela premissa de posicionamento temporal e pelo peso de cada Projeto. A função que determina w e p foi definida de modo que o posicionamento temporal sempre se sobreponha ao peso do Projeto. O modelo abre espaço para que o Projeto planejado no primeiro momento (j) possa ser diferente do Projeto a ser executado (c), sendo que os Projetos alternativos variam para cada Projeto original j. C_j é o conjunto formado pelo próprio j, que assume a primeira posição do vetor, e pelos Projetos alternativos a ele. O posicionamento de c nesse vetor é relevante, pois o peso p_{jc} decresce conforme o índice de c em C_j aumenta. Importante notar que o Projeto original j terá sempre o peso máximo. A restrição (9) garante que o resultado das operações exequíveis do Modelo 1 (PZ_{jt}) seja incorporado ao Modelo 2, mantendo apenas as não exequíveis livres para decisão.

Uma variação do Modelo 2, que responde à terceira pergunta, consiste em excluir a restrição (9), permitindo que o modelo também flexibilize os Projetos das operações dadas como exequíveis no Modelo 1. Essa flexibilização adicional pode resultar em aumentos mais substanciais no número total de operações executadas. Afinal, o principal objetivo da empresa é viabilizar a execução do maior número possível de operações com a mesma quantidade de estoque disponível.

3. Resultados

A Tabela 1 apresenta os resultados da aplicação dos Modelos 1 e 2 em um cluster de uma empresa de óleo e gás, com 20 operações em cronograma. Os modelos foram implementados em *Python*, utilizando a biblioteca *PuLP* [Mitchell et al., 2009] e o *solver* CBC.

No Caso 1, o Modelo 1 é aplicado ao cronograma planejado. A coluna "Executado" indica a variável binária z_{jt} e operações marcadas com "×" não são atendidas devido à limitação de estoque, permitindo no máximo 15 operações. No Caso 2, o Modelo 2 foi utilizado para introduzir a flexibilização de Projeto. Os Projetos 2 e 3 foram autorizados a serem substituíveis pelo Projeto 6 na matriz C_j. A variável z_{jct} reflete essa flexibilização sugerindo esse novo Projeto em c. Duas operações são adiantadas pela alternativa criada pelo modelo. No Caso 3, a flexibilização foi ampliada com a inclusão de alternativas para os tipos de Projetos 2, 3 e 6. Nesse caso, foi possível atingir a execução da totalidade das operações previstas no cronograma.

Tabela 1: Resultados da aplicação dos modelos em um cluster com 20 operações em cronograma

Cronograma Planejado		**Caso 1**	**Caso 2**		**Caso 3**	
Data (t)	Projeto (j)	Executado (z)	Projeto (c)	Exec. (z)	Projeto (c)	Exec. (z)
4/15/2025	Projeto 1	✓	Projeto 1	✓	Projeto 1	✓
4/15/2025	Projeto 2	✓	Projeto 2	✓	Projeto 2	✓
4/20/2025	Projeto 2	✓	Projeto 2	✓	Projeto 2	✓
4/22/2025	Projeto 3	✓	Projeto 3	✓	Projeto 3	✓
5/2/2025	Projeto 3	✓	Projeto 3	✓	Projeto 3	✓
5/9/2025	Projeto 3	✓	Projeto 3	✓	Projeto 3	✓
6/2/2025	Projeto 4	✓	Projeto 4	✓	Projeto 4	✓
6/16/2025	Projeto 2	✓	Projeto 2	✓	Projeto 2	✓
6/18/2025	Projeto 5	✓	Projeto 5	✓	Projeto 5	✓
6/25/2025	Projeto 1	✓	Projeto 1	✓	Projeto 1	✓
7/16/2025	Projeto 1	✓	Projeto 1	✓	Projeto 1	✓
7/16/2025	Projeto 3	✓	Projeto 3	✓	Projeto 3	✓
8/9/2025	Projeto 3	✓	Projeto 3	✓	Projeto 3	✓
9/21/2025	Projeto 2	×	Projeto 6	✓	Projeto 7	✓
9/23/2025	Projeto 3	×	Projeto 6	✓	Projeto 9	✓
9/26/2025	Projeto 3	×	-	×	Projeto 9	✓
11/14/2025	Projeto 2	×	-	×	Projeto 7	✓
11/15/2025	Projeto 6	✓	-	×	Projeto 6	✓
11/19/2025	Projeto 6	✓	-	×	Projeto 6	✓
12/27/2025	Projeto 6	×	-	×	Projeto 12	✓
Total Operações executadas		**15**	**15**		**20**	
Total Operações adiantadas		-	**2**		-	

Referências

Maitra, S. (2024). Inventory management under stochastic demand: A simulation-optimization approach. *arXiv preprint arXiv:2406.19425*. Available at: https://arxiv.org/abs/2406.19425.

Mitchell, S., Kean, A., Mason, A., O'Sullivan, M., Phillips, A., e Peschiera, F. (2009). Pulp: A linear programming toolkit for python. URL https://coin-or.github.io/pulp/. Accessed: 2025-05-01.

Sun, Y., Qiu, R., e Sun, M. (2024). A robust optimization approach for inventory management with limited-time discounts and service-level requirement under demand uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 267:109096. ISSN 0925-5273. URL https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527323003286.