

# PROPOSTA DE MÉTODO PARA SIMULAÇÃO APLICADA À LOGÍSTICA DE EMBARCAÇÕES PARA CONEXÃO DE POÇOS NA AMAZÔNIA AZUL

Bruno Pereira Bianco  
Universidade Federal Fluminense  
[brunop\\_bianco@hotmail.com](mailto:brunop_bianco@hotmail.com)

Carlos Francisco Simões Gomes  
Universidade Federal Fluminense  
[carlos.francisco@pq.cnpq.br](mailto:carlos.francisco@pq.cnpq.br)

## RESUMO

A descoberta de óleo na camada do pré-sal trouxe novas oportunidades e desafios para empresas operadoras de campos de petróleo. O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia para o dimensionamento da frota a ser utilizada na Bacia de Santos, com o propósito de maximizar o retorno a ser obtido pelos projetos de exploração. Este planejamento é de suma importância tendo em vista sua criticidade e também o valor agregado do recurso. O Método de Monte Carlo foi utilizado para considerar riscos através da inclusão de variabilidade no modelo. Uma heurística foi elaborada com a função de mobilizar as embarcações de acordo com a necessidade do projeto. O critério de avaliação para inclusão de navios é o VPL feito a partir da produção estimada do projeto. Observou-se o comportamento do VPL para cada navio adicionado e análises de sensibilidade foram conduzidas para comprovar a robustez das simulações.

**Palavras-Chave: Apoio à Decisão; Análise Probabilística de Risco; Logística de Embarcações**

## ABSTRACT

With the discovery of oil in pre salt layer, new opportunities and challenges were brought for the oil and gas operators. This work aims to present a methodology for sizing the fleet to be used in Bacia de Santos, in order to maximize the return to be obtained by exploration projects. This planning is extremely important in view of their criticality and also the value of the resource. The Monte Carlo Method was used to consider risk by the inclusion of variability in the model. A heuristic has been developed with the task of mobilizing the vessels according to the need of the project. The evaluation criterion for inclusion of vessels is done from the NPV of the estimated output of the project. We observed the behavior of NPV for each ship added and sensitivity analyzes were conducted to prove the robustness of the simulations.



## INTRODUÇÃO

A existência de óleo na camada de pré-sal é um importante fato na história do Brasil. Em 2007 foi anunciada a descoberta de novas reservas de hidrocarbonetos em território brasileiro. Encontradas em até 7.000 metros de profundidade a 320 km costa e cerca de 2.200 metros de lâmina d'água, na Amazônia Azul, esses aglomerados apresentavam imensos poços contendo petróleo de excelente qualidade, retirado do site de informes da Petrobras. O volume de óleo, no pré-sal, extraído, chegou à marca de 300 mil barris por dia. A expectativa atual é em 2017, chegar a 1 milhão de barris por dia, no pré sal. Apesar de lucrativo, a exploração em águas profundas é um desafio que exige tecnologia.

Segundo TAYLOR et al (2011) o custo, desde perfurar um poço até sua conexão à unidade de produção, pode chegar à 250 milhões de dólares sendo que no Brasil esses custos podem ser maiores.

Este trabalho tem como objetivo elaborar uma metodologia para planejamento da frota de embarcações a serem utilizadas na Bacia de Santos a fim de otimizar o retorno obtido pelos projetos de exploração. Com o uso de técnicas probabilísticas é elaborado um modelo que simule o sequenciamento de eventos de um projeto de E&P.

### 1.1. SITUAÇÃO PROBLEMA

*O risco não está presente apenas durante a retirada do petróleo do reservatório até a chegada à plataforma. A própria operação de conexão dos poços à Unidade Estacionária de Produção (UEP) é arriscada e muito dispendiosa. Essa conexão é feita com uso de dutos responsáveis por levar o óleo que passa pela Árvore de Natal Molhada (ANM) até a plataforma. Para realizar este tipo de conexão existem embarcações específicas, chamadas de Pipe Laying Support Vessel (PLSV). Estes navios são especializados nestas operações e possuem um alto valor agregado tanto para se construir um próprio, quanto para se afretar. Os PLSVs são carregados com grande volume de linhas, graças a sua alta capacidade de armazenamento, a partir disso, navegam em direção ao campo em questão para poder realizar o lançamento das linhas previamente carregadas. Esta operação pode ter tempo de duração variado, pois depende da complexidade da conexão, que principalmente depende do terreno e da trajetória além das condições de tempo e eventuais óbices técnicos. Estes campos têm aproximadamente 2.000 metros de lâmina d'água entre a superfície e o fundo do mar. As plataformas para essa profundidade de água são unidades chamadas de Floating, Production, Storage and Offloading (FPSO). São grandes navios plataforma fundeados no mar, conectados aos poços, onde o petróleo é processado e armazenado para depois ser descarregado. Os FPSO tem capacidade de processamento limitada. Devido às condições abruptas a que as embarcações são submetidas na Bacia de Santos, os PLSVs que atuam no pré-sal precisam ter características que atribuam maior confiabilidade à operação. Fazem-se necessários métodos robustos para se avaliar de maneira precisa a quantidade de embarcações necessárias para o escopo do projeto. A produção de um campo de petróleo pode ser dividida em fases. A primeira é o ramp-up, essa fase começa no início da extração de óleo e termina quando a mesma alcança a capacidade de processamento do FPSO. Esse crescimento se dá com o acréscimo de poços em produção no campo. Com o término do ramp-up a quantidade de óleo recuperado diariamente passa a ser constante, essa fase é denominada de plateau. A duração do plateau está relacionada com o desenvolvimento do campo. No Gráfico 1 é demonstrada a divisão mencionada; verifica-se que do ano zero até o ano um, vê-se o crescimento da produção caracterizando a fase de ramp-up. No ano um a produção atinge o plateau que não é mantido por muito tempo, por isso logo se torna visível o decréscimo da produção que se atenua ao longo do tempo. Para que os poços possam começar a produzir, além de a plataforma estar pronta, é necessário conectá-los a mesma; sendo a conexão parte sensível para que os poços possam produzir, deve-se atentar para que não haja atrasos durante estas operações, sendo assim importante que não falem recursos logísticos para a mesma acontecer.*

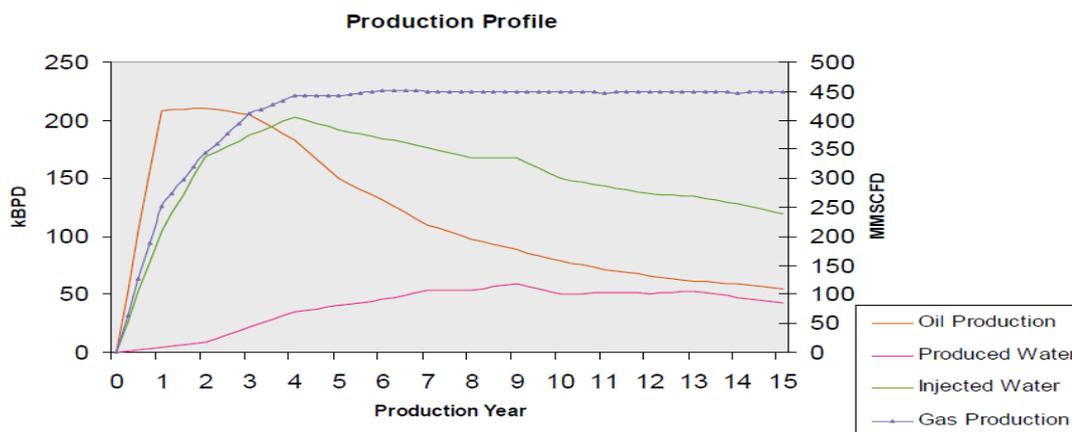


Gráfico 1, – Fonte: Retirado de *Selection of Low Carbon Field Development Plans Based on Lifecycle Energy Modeling*, (MALLINSON, 2011)

## 1.2. RISCOS

Segundo MENDES (2009), não se deve pensar em um número nem em o número quando se está trabalhando em um ambiente com riscos. Deve-se, pensar em intervalos e na frequência em que eles podem ocorrer. Ainda segundo MENDES (2009), ao se utilizar análise e simulação de riscos pode-se identificar as distribuições de probabilidade, identificar os fatores de variação e quantificar as variações nas saídas de seu projeto. A partir disso a aplicação de técnicas para análise e otimização se torna mais robusta e aplicável. Levar os riscos em consideração não garante o sucesso. Segundo PIZZOLATO & GANDOLPHO (2012), o processo de tomar decisões gerenciais com bases racionais é caracterizado pela Ciência da Gestão; a aplicação dessa ciência em problemas reais tem sido muito utilizada para solucionar questões e apoio à tomada de decisão. Modelos são desenvolvidos como uma maneira de se passar do mundo real ao virtual através de simplificações; os autores exaltam que, alguns executivos têm preconceito com essa técnica considerando-a uma fase preliminar de algum estudo, com restrita praticidade. É importante salientar que os modelos viabilizam a elaboração conceitual de um problema e sua avaliação subsequente. Neste trabalho para a alocação de embarcações no projeto foi elaborada uma heurística, implementada a partir de programação em MS Excel VBA. Utilizou-se o Método de Monte Carlo (MMC), pois é amplamente utilizado em empresas operadoras de campo de petróleo com esse fim. RABECHIN & CARVALHO (2012) mencionam o uso da técnica de MCC para estudar os riscos de projetos. Os autores aplicaram uma pesquisa contendo 415 projetos de nove setores diferentes buscando entender a importância da gerência de risco para a gestão de projetos. A conclusão de sua pesquisa apresentou forte ligação entre a percepção de sucesso do projeto e a

presença do uso de práticas de gestão de risco. A proposta de mobilização de embarcações será feita visando maximizar o parâmetro Valor Presente Líquido (VPL) do empreendimento. Busca-se evidenciar como cada cenário afetará o valor real do projeto além de uma visão geral de como potencializar o retorno sobre o investimento utilizando-se de técnicas de apoio à decisão. Com a integração destas técnicas será possível vislumbrar o comportamento do valor do projeto de acordo com a variação de parâmetros específicos. A análise de cenários é baseada no impacto da mudança ao valor do projeto. Não estão incluídos nos cálculos taxas como Participação Especial (PE), Royalties, Imposto Sobre Operações Financeiras (IOF) e Imposto de Renda (IR). O fluxo de caixa para a comparação é o fluxo bruto. Um limitante é o fato de existirem poucas informações disponíveis sobre este tipo de projeto devido ao baixo número de projetos deste tipo já executados, além da alta confidencialidade das informações. O modelo de análise tem seus parâmetros baseados nos melhores dados disponíveis em 2013. A falta de informações ressaltada no parágrafo anterior impediu a obtenção do VPL real. Por isso, apenas serão utilizados valores incrementais. Na análise quantitativa de riscos são utilizados como fontes para esse tema, informações da empresa Palisade. A Palisade é uma empresa especialista em criar softwares de análise e ferramentas de apoios à decisão. Durante pesquisas em sites de revista e também na internet, não foi encontrado nenhuma referência que utilizasse uma metodologia semelhante à da presente neste trabalho. Foram consultados sites acadêmicos, da ANP e da Petrobras.

## **2. 3. REVISÃO DA LITERATURA**

Um projeto de E&P consiste em quatro grandes fases: Exploração, Avaliação, Desenvolvimento e Produção. As decisões referentes ao Desenvolvimento e a Produção devem ser tomadas durante as fases iniciais, onde ainda há um grau de incerteza elevado. Planejar o futuro nunca é uma tarefa fácil ainda mais em um empreendimento com variados tipos de risco. As simulações probabilísticas fornecem um grande avanço ao projeto em termos de planejamento. Salienta-se que as informações de profissionais da área são muito importantes. O planejamento desses megaprojetos é de suma importância para se obter êxito. MERROW (2011) aplica uma pesquisa para levantar dados históricos relativos ao sucesso de megaprojetos de E&P. O resultado do estudo foi que apenas 22% eram realmente um sucesso. A média de sucesso da indústria no geral foi de 50%, sendo que a complexidade aumentou de maneira semelhante para ambos. As principais diferenças entre os projetos mal sucedidos em relação aos outros são exibidas no Gráfico 2.

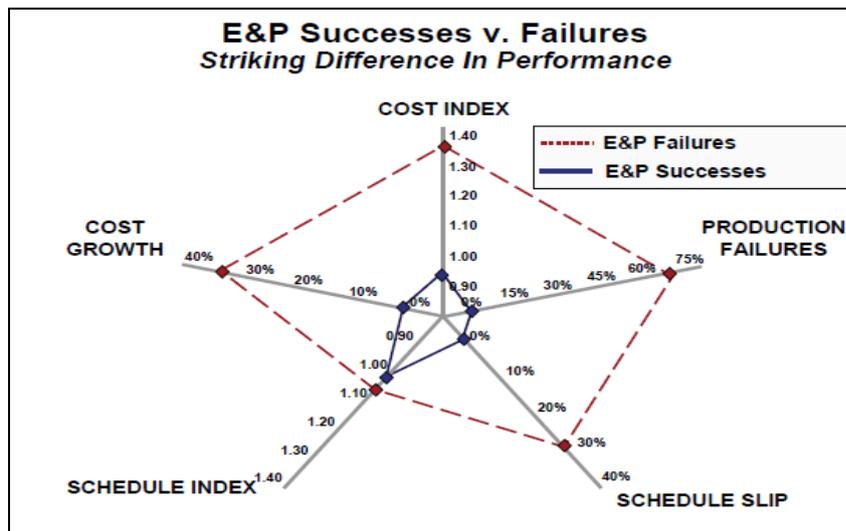


Gráfico 2 – Fonte: Oil Industry Megaprojects: Our Recent Track Record, MERROW (2011)

Para MERROW (2011) os projetos rotulados como falha, não necessariamente, não geraram lucro; tiveram seu valor presente impactado, de maneira negativa, por não terem sido cumpridas as promessas feitas durante a decisão de investimentos. Os projetos que falharam tiveram um aumento de custo de 35% em relação aos bem sucedidos que não apresentaram aumento algum. Apesar de os projetos mal sucedidos terem um atraso de 30% em seu cronograma base, a diferença entre o tempo de execução total dos sucessos e das falhas é pequena. MERROW (2011) evidencia que quanto melhor o planejamento inicial, menor é o aumento de custos. Um exemplo característico de desenvolvimento de jazidas de no pré-sal, é o campo de Lula-Nordesde, que teve seu primeiro óleo em Junho de 2013, o primeiro poço produtor tem um potencial de 25.000 barris por dia. Qualquer atraso na data de início de produção de algum poço impacta de grande forma o valor presente do projeto, já que seriam perdidos 25.000 barris a cada dia de produção postergada. Em CULLICK et al, (2004), o autor exalta que os grandes projetos estão sujeitos a muitas incertezas, e frisa que essas incertezas refletem em dúvidas nas saídas do projeto; como taxa de retorno, valor presente e produção de óleo acumulada. A fase de planejamento tem outra importância para o resultado final, nela é possível identificar os itens críticos do projeto e se garantir que sejam aproveitados de maneira a potencializar o valor dos mesmos. A *Information Handling Services* (IHS), anualmente, faz um levantamento sobre custos e demandas. O Gráfico 3, adaptado das informações extraídas do fórum de custos de 2012 referente ao Brasil, deixa muito claro a relação entre oferta e demanda desse equipamento em âmbito nacional. O Gráfico 3 exhibe três cenários diferentes, o dos projetos em andamento (Cinza), Previsão (Laranja) e o Pessimista (Amarelo).

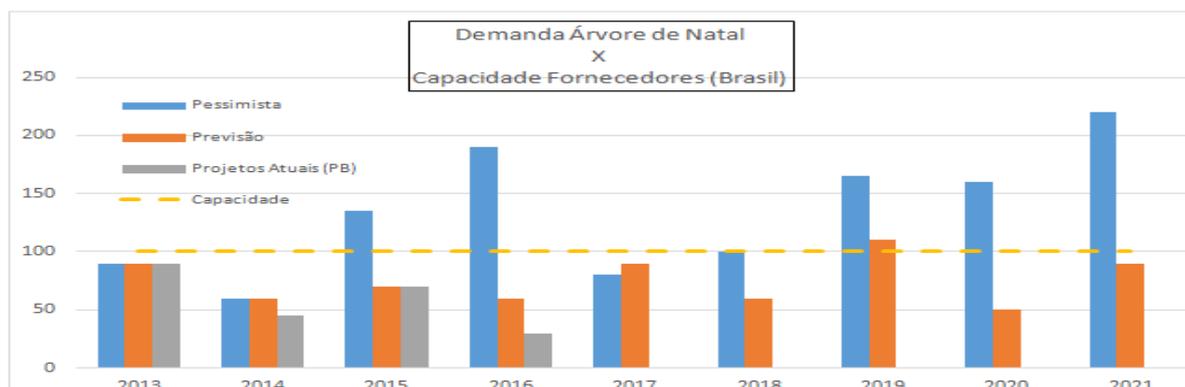


Gráfico 3: Adaptado do Fórum de Custos de 2012 da empresa IHS.

O fator que direciona a quantidade de árvores de natal é a quantidade de campos a serem desenvolvidos. Por isso, os cenários da pesquisa foram elaborados a partir de análises sobre a quantidade de projetos por vir. Nos três cenários apresentados é possível visualizar períodos em que a demanda está, pelo menos, no limite da capacidade. O reflexo disso é a necessidade de fazer pedidos com antecedência para mitigar o dano que um atraso possa causar no projeto. **Valor presente líquido (VPL):** O VPL é utilizado como parâmetro para se comparar os cenários resultantes das simulações, por isso é importante que se entenda o conceito deste. Em GITMAN (1992) o VPL é apresentado como a subtração do investimento inicial de um projeto do valor presente de seus fluxos de caixa descontados. *OVPL é igual Valor presente dos fluxos de caixa menos investimento inicial.* Essa medida é utilizada para embasar decisões de investimento, pois analisa se haverá algum retorno relativo ao investimento que se está fazendo e também qual será este retorno. Em GUIMARÃES (2012), define de maneira semelhante dizendo que essa técnica desconta os fluxos de caixa da empresa a uma taxa especificada, sendo esta taxa o mínimo de retorno que se deve ter com projeto, a taxa pode ser chamada, também, de taxa de desconto. **Método de monte Carlo (MMC):** Em YORIYAZ (2009), o método é descrito como um método estatístico, no qual se utiliza uma sequência de números aleatórios para a realização de simulações. Outros métodos de representação de fenômenos são feitos a partir de equações que descrevem o evento. Ainda em YORIYAZ (2009) o autor explicita que, no MMC o processo é descrito a partir de funções de densidade de probabilidade que possam delinear o fenômeno a ser estudado. Em SANTOS (1999), o autor explica que os modelos de simulação podem ser Estáticos ou Dinâmicos. Os sistemas dinâmicos apresentam diferenças nos resultados com o passar do tempo. Já o modelo de simulação estática, também chamado de Simulação de Monte Carlo, é o tipo de modelo em que a passagem de tempo é irrelevante para a análise. Em Turrioni & Mello (2012) a simulação é definida como, a representação de um sistema real no computador, com a vantagem de se poder fazer modificações e analisar “o que aconteceria se” (what if) economizando tempo e dinheiro. **Distribuição BETA:** Para a distribuição Beta também são definidos três pontos (maior, menor e intermediário) para se expressar a forma da curva. Essa curva é capaz de assumir formas similares as de outras, assim como apresentado em MCLAUGHLIN (2001). A distribuição Beta possui uma aplicação utilizada em planejamento de projetos. Sua aplicação está presente em Gerenciamento de Prazos, é utilizada para os cálculos dos tempos das atividades aplicados na construção do *PERT (Project Evaluation and Review Technique)*, em prol da didática do estudo esta aproximação será referenciada como PERT a partir de agora. No *PERT* são definidos os limites superior e inferior e também o valor mais provável. WALLACE (2010) afirma que no *PERT* há uma maior concentração a volta do valor mais provável, tornando os valores em seu entorno muito mais propícios a serem

selecionados enquanto os valores da ponta tem uma frequência muito menos acentuada se comparado a triangular. É importante adicionar que a curva PERT também é sugerida pelo *Project Management Institute* (PMI) em seu guia *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK). **Métodos Heurísticos:** Na realização do estudo, foi utilizada uma heurística para alocação das embarcações durante a simulação. A grande vantagem do uso de métodos heurísticos é a flexibilidade que os mesmos apresentam. Moura (2012) destaca o uso de métodos heurísticos para programação de veículos, e também é afirmado que os mesmos utilizam uma abordagem intuitiva que tira proveito da estrutura do problema, em específico, para gerar soluções adequadas. Para Moura (2012), heurísticas apresentam um problema, que é a falta de robustez para a solução de problemas.

#### 4 Estudo de Caso

O problema em estudo julgou-se ser mais adequado se realizar a análise através de simulação. Os insumos para o modelo serão dados públicos obtidos em empreendimentos de mesmas características ou similares. O sistema aplicado no estudo pode ser classificado como um sistema discreto já que as variáveis são finitas e conhecidas. O modelo utilizado para a representação do mesmo é o estocástico, pois como afirmado anteriormente, todo projeto está sujeito a mudanças em seu cronograma por isso é de interesse que as variáveis possam assumir valores diferentes para que se considere a variabilidade que o sistema pode apresentar. O modelo também pode ser classificado como dinâmico, já que irá representar a evolução do projeto ao longo dos anos em que estará em andamento. A simulação é baseada em dados pesquisados em fontes que contenham informações de projetos de mesmo cunho e amplitude semelhante. Para ser possível representar quantitativamente os riscos é utilizado o MMC. O programa utilizado é @Risk, da empresa Palisade que proporcionou uma licença acadêmica do produto para que o estudo pudesse ser desenvolvido. Com este programa se determinará a demanda de PLSVs e através de uma heurística se realizará a alocação das embarcações, adicionando assim, a restrição principal do exercício. Foi considerado a flexibilidade que programa proporciona, já que a heurística de alocação de barcos é toda feita utilizando linguagem Visual Basic for Applications (VBA). O fluxograma que evidência a lógica utilizada na heurística está na Figura 1. É elaborado o modelo que irá calcular a produção a partir das datas de conexão determinadas. Tendo em posse produção e mobilização das embarcações será calculado o custo do projeto. Muitos dos parâmetros utilizados nesses cálculos são extrapolações feitas baseadas em pesquisa e conhecimento do mercado. A segunda fase do estudo consiste em, pela análise de cenário proporcionada pelo modelo anteriormente elaborado, identificar o impacto que diferentes quantidades de embarcações teriam no lucro do projeto. A estratégia utilizada para este modelo leva em conta os seguintes parâmetros de entrada que serão os mesmos para todas as simulações: (1)

Número e Nome dos Projetos: A partir desta informação determina-se no modelo qual será o número de projetos a ser considerado. (2) Capacidade do FPSO de cada projeto: é utilizada posteriormente no cálculo da produção, para limitar a produção do campo à capacidade máxima de processamento da plataforma. (3) Número de poços por projeto: aliada ao número de projetos determina quantos lançamentos de dutos serão feitos na simulação. As combinações destas duas variáveis interferem no tempo de processamento que cada simulação levará. (4) Data em que a plataforma estará pronta: Baseado no plano de negócio da Petrobras, essa data é importante, pois assim se descobre quando que a demanda por PLSVs de um projeto começará. (5) Data de término da completção: Esta data representa quando que o poço estará disponível para a conexão. Isto significa que o mesmo já foi perfurado e sua árvore de natal já foi entregue e instalada, só faltando restando a conexão do poço para que o mesmo entre em operação e comesse a produzir óleo.

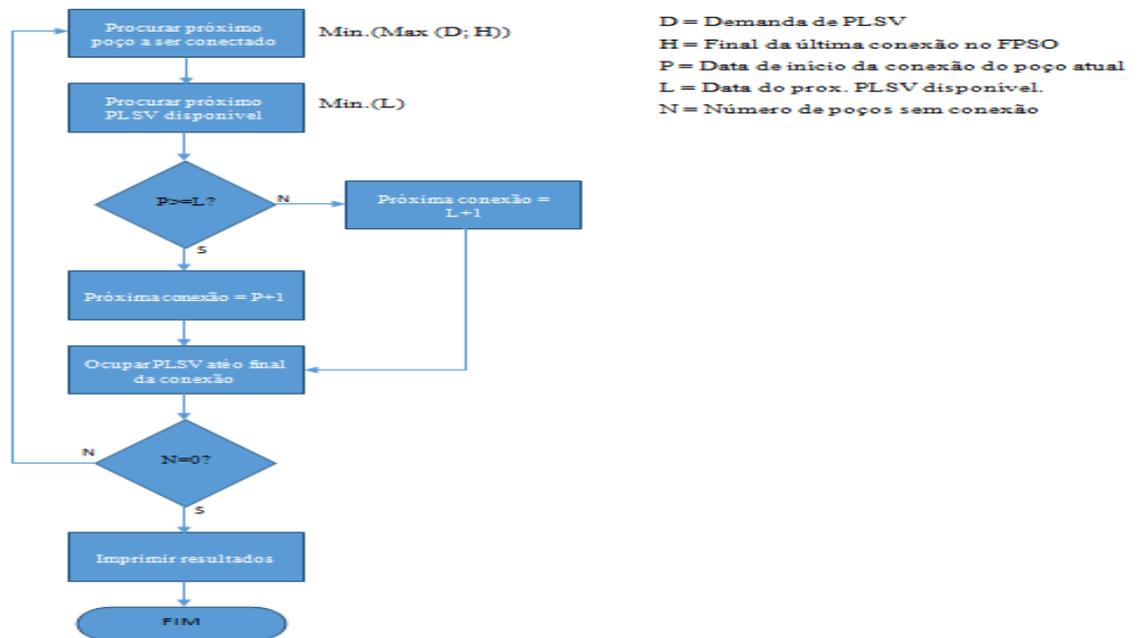


Figura 1.

(6) Produção média de cada poço (em mil barris por dia): Esta é a taxa que vai determinar o quanto de óleo cada poço produtor produz por dia. Isso influencia diretamente na receita do campo. O dado de entrada necessário para rodar cada caso, é a quantidade de embarcações e sua disponibilidade inicial. Isso é modificado manualmente pelo usuário do modelo, o que permite análises flexíveis de caso No entanto para este estudo as saídas são as seguintes: (1) VPL Comparativo entre os diferentes resultados da simulação; O atual método não consegue apresentar o resultado absoluto para o VPL do projeto, pois não se tem acesso

ao investimento e aos custos operacionais dos projetos, devido à falta de informação. Entretanto pode-se medir o quanto de ganho ou perda neste índice pode acontecer em diferentes casos. (2) Tempo de espera por *PLSVs* em dias de produção dos poços; Tempo que de espera apresentado em cada ano devido à falta de *PLSV* necessários para realizar cada operação. (3) Curva de produção e de gastos com *PLSVs* para cada simulação; É possível também representar os ganhos obtidos para cada caso. Essas curvas de produção e de gastos são feitas a partir do cronograma de conexão de poços montado em uma respectiva simulação. Foi considerado que os projetos terão desenvolvimento padrão, só possuindo árvore de natal molhada conectada através dutos à plataforma. Para que os *PLSVs* possam começar o lançamento da linha do primeiro poço, é necessário que o FPSO já esteja disponível no local, não havendo possibilidade de pré-conexão. Foi considerado que a equipe do projeto planejou a construção da plataforma com antecedência suficiente para que os primeiros poços sejam conectados a tempo. Com o intuito de realizar o estudo de maneira mais conservadora, foi considerada a nova legislação da ANP sobre a queima de gás. Esta lei restringe muito este tipo de ação, por isso, é necessário que ambos os poços: primeiro produtor e injetor estejam conectados. A base de cálculo para os custos e receita é anual. Só serão considerados os custos de afretamento dos *PLSVs*, isso porque, este é o custo diretamente influenciado pela quantidade de navios contratados. Será adotado que os demais investimentos foram feitos antecipadamente, assim a diferença de caso para caso será isoladamente referente a contratação de *PLSVs* e o adiantamento de produção proporcionado. A perda de dias de produção, também foi modelada de maneira que, apenas as perdas referentes à falta de *PLSVs* fossem consideradas. Variações em datas e em duração de atividade não geram perda direta, mas impactam dependendo da dinâmica de mobilização dos *PLSVs*. Outra premissa é que a equipe que encomendou os equipamentos e também planejou a ordem de perfuração e completação, fez isso focando na ordem necessária para o correto desenvolvimento. A taxa utilizada para o cálculo do VPL foi a média, histórica, dos últimos 5 anos. Os dados foram retirados do site da receita federal. Para a heurística de alocação de embarcações, a principal premissa é a de que não acontecem lançamentos paralelos de dutos no mesmo FPSO. Completando as suposições da heurística, foi considerado também que cada navio leva equipamento suficiente para a conexão de um poço apenas.

#### 4.1 Validação

No Gráfico 5 estão presente as dispersões do cronograma resultante da heurística em relação a linha de base (preta pontilhada). Neste gráfico o eixo x (horizontal) representa as datas em que cada operação

ocorreu quando não se considerava um número limitado de embarcações lançadoras. No eixo y (vertical) têm-se as datas em que as mesmas operações ocorreram quando foram adicionadas as restrições. Cada cor representa o efeito obtido com diferentes números de embarcações, a vermelha é a com menos embarcações (quatro) e a roxa é a com mais (nove). Percebe-se desse gráfico que os dois efeitos desejados estão presentes, tanto a ausência de atrasos negativos, quanto à tendência que a linha tem de se juntar a base com o aumento no número de embarcações.

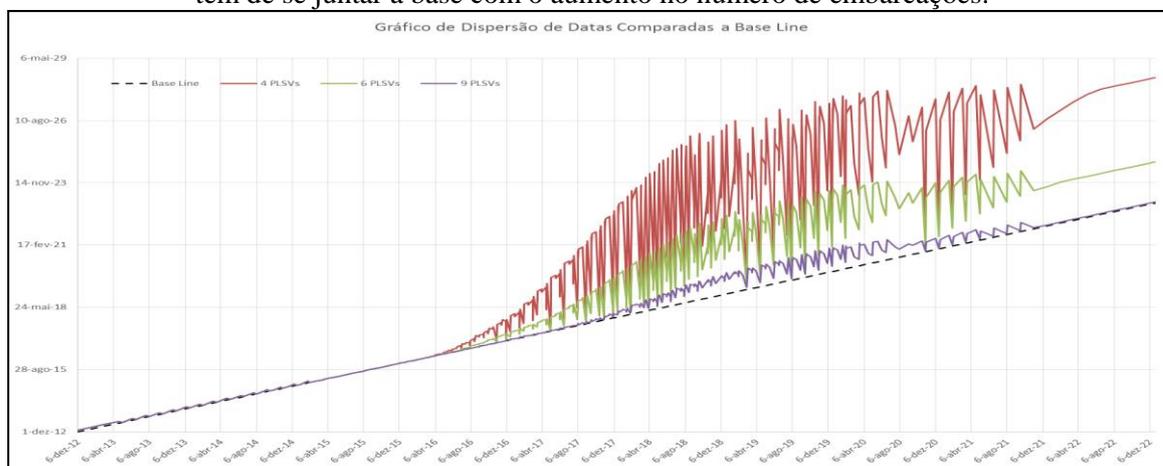


Gráfico 5: Dispersão das datas de conexão em relação a “Base Line”

Outro fenômeno interessante que observa-se, principalmente, na linha vermelha é que a linha possui vários picos e vales mostrando que nem sempre o *PLSVs* causa algum atraso em uma data e quando isso acontece a linha tende a se aproximar da base. Observa-se que cada *PLSVs* adicionado o impacto que o mesmo tem sobre essa dispersão é menor. Outra versão do gráfico de dispersão mostra as mesmas curvas, no entanto com uma curva azul extra. A curva azul do Gráfico 5 demonstra o que foi informado no parágrafo anterior. É perceptível que a princípio cada *PLSV* adicionado à simulação tinha um impacto muito grande. Mas, quando o número foi ficando cada vez mais elevado o efeito que uma embarcação extra causado se reduziu. Por fim, o último teste aplicado no modelo buscou resultados aplicando Monte Carlo. O Gráfico 6 apresenta 10 simulações feitas adicionando um navio lançador a cada uma delas, o resultado é exprimido em escala logarítmica para ser mais fácil visualizar a distância entre as linhas. Esse gráfico foi feito sem utilizar nenhuma estratégia para realizar a mobilização. Mesmo assim é notável que cada vez que o número de *PLSVs* aumentava o tempo de espera dos poços diminuía. Além disso, também mostra que com quatro *PLSVs* foi possível zerar o atraso em 2015 e em 2016 com dez. No fundo, tem-se o gráfico de barras utilizando o eixo vertical secundário. Este mostra a quantidade de *PLSVs* que se possuía em cada ano. Os testes feitos até agora foram utilizados para validar o modelo e por isso, foram feitos considerando um número maior de poços (450) do que o modelo que será feito para tirar conclusões. O motivo disso é que se aproveitou para testar a robustez do método quando submetido a um grande número de variáveis.

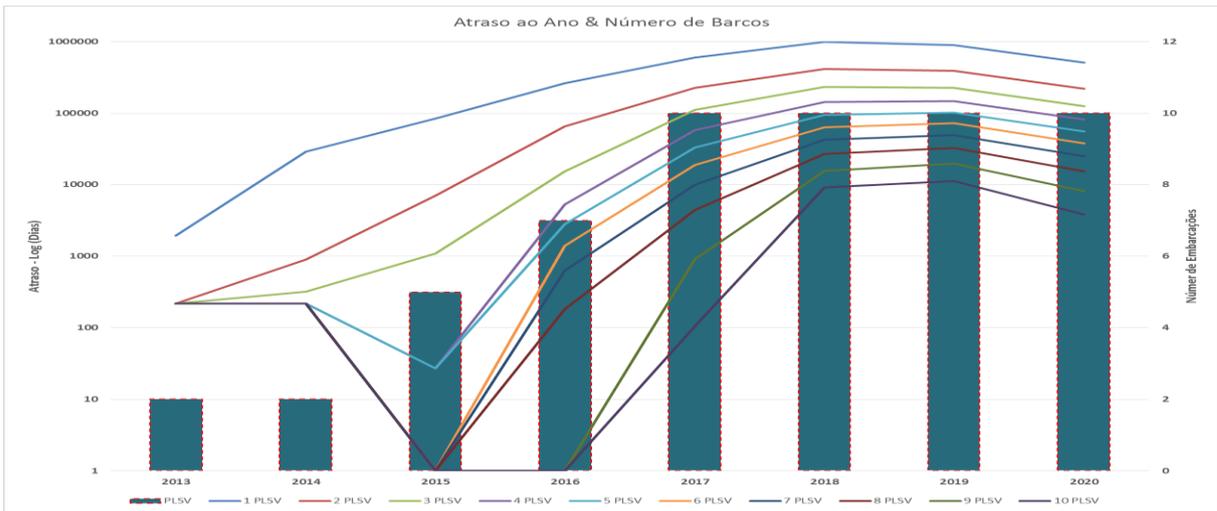


Gráfico 6: Simulações variando o número de embarcações e o atraso obtido em cada uma

### 2.1. 4.2 CONSTANTES E CONSUMO COMPUTACIONAL

**Simulações Teste de Validação:** Número de iterações: 100; Número de Poços Por Projeto: 18; Número Total de Projetos: 25; Número Total de Poços: 450; Tempo de Variação nas Completações: De 3 a 6 meses; Variação na Duração das Conexões: 1 mês até dois meses e meio; Não foi feito cálculo de VPL nas simulações teste. **Simulação Final:** Número de iterações: 100; Número de Poços Por Projeto: 13; Número Total de Projetos: 25; Número Total de Poços: 325; Poços Produtores Por Projeto: 7; Poços Injetores Por Projeto: 6; Produção de Cada Poço Produtor: 25 mil barris de óleo por dia; Tempo de Variação nas Completações: De 3 a 6 meses; Variação na Duração das Conexões: 1 mês até dois meses e meio; Taxa de Juros (Selic): 10%; Valor do Preço do Barril de Petróleo: 100 USD; Custo Diário de PLSVs contratados: 273.000 USD; Capacidade Máxima dos FPSOs: 120 mil barris de óleo por dia. A máquina utilizada em cada uma das simulações tinha as seguintes especificações: Processador: Intel Core i7 3.50 Hz com 8 CPUs; Memória RAM: 8GB; Sistema Operacional: Windows 7 64-bit; Tempo de Simulação: 25 segundos, utilizando 100% das 8 CPUs em paralelo realizando apenas 100 iterações. O número de iterações para a contagem de tempo foi 100, pois o aumento de iterações iria aumentar o tempo linearmente, o que realmente influencia é a complexidade dada pelo número de variáveis.

## 3. RESULTADOS

Com a validação do modelo finalizada, o estudo prosseguiu com a execução das simulações. A primeira rodada foi inicializada com um PLSV disponível e foram sendo acrescentadas novas embarcações após cada análise de VPL que resultou da simulação. Para apoiar, ou não, a inclusão de novas embarcações em um ano específico o critério utilizado foi a quantidade de dias de atraso. No entanto, para confirmar se a entrada da nova embarcação gerou algum valor, analisava-se o de aumento do VPL, se este existisse o PLSV era mantido, senão, era retirado. É importante frisar que para este estudo é de maior valor a apresentação do incremento no VPL gerado pela adição das embarcações. Tendo em vista que não se possui os valores exatos que constam no planejamento oficial da companhia, incluindo: Investimento, custos operacionais, ano esperado para a chegada de cada uma das plataformas, cronograma de perfuração e completação, assim como relatórios de chegada de equipamentos. Assim, os resultados serão limitados ao comportamento dos ganhos dos projetos e também à valores incrementais. Do Gráfico 7 pode-se observar os ganhos obtidos com o acréscimo de

PLSVs. A curva preta representa o comportamento do VPL a cada vez que uma nova embarcação é incluída. É visível que há um grande aumento com as primeiras entradas de novos PLSVs e que a curva tende a ser constante com a entrada de mais navios. no Gráfico 7 a linha é a azul, que mostra o percentual acrescido no VPL.

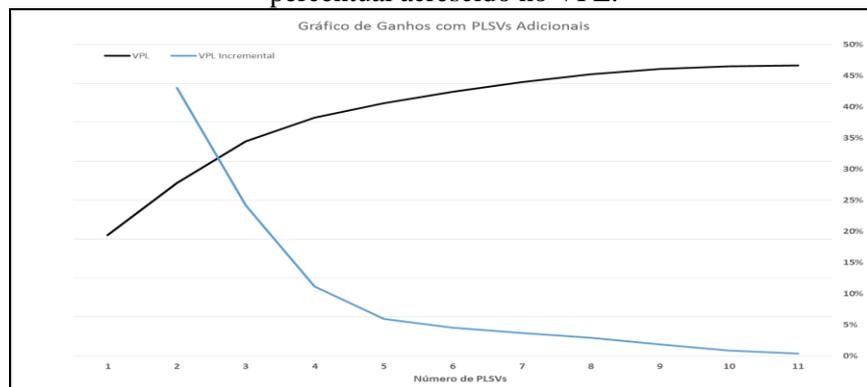


Gráfico 7: valor agregado ao projeto com a adição de novas embarcações

No Gráfico 8 é mostrado o resultado do acréscimo de PLSVs extrapolando os 11 anteriores. Verifica-se que o acréscimo extra de embarcações atua em detrimento ao valor do projeto, isso acontece, pois foi alcançado o valor em que os PLSVs deixam de ser caminho crítico para o projeto e a adição de mais navios não contribui em mais nada para o valor da produção gerando apenas custos. Quando se chega a este ponto, deve-se voltar para itens críticos do projeto, sendo estes operações, atrasos ou faltas em equipamento entre outros. A adição dos barcos extras diminuiu pouco o valor do projeto, entretanto, isso ocorreu, pois as embarcações foram mobilizadas no final de 2018 não mantendo custos ativos por muito tempo. O cenário seria agravado se a mobilização ocorresse antes

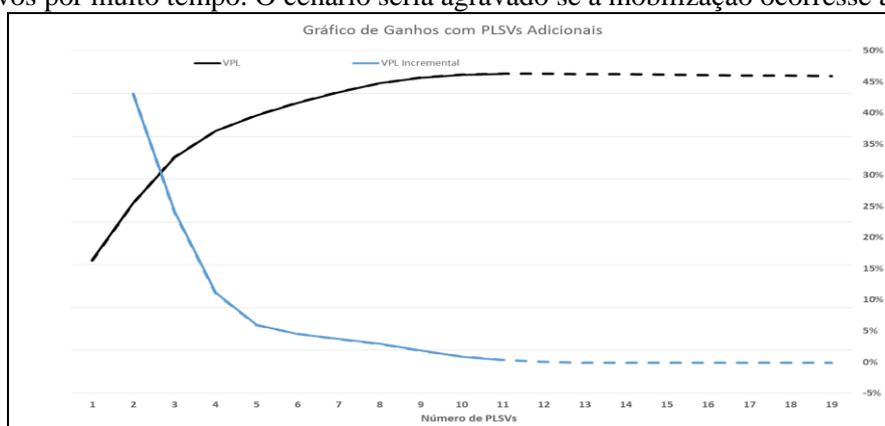


Gráfico 8: VPL e Incremento gerado pela adição de PLSVs extras

O Gráfico 9 apresenta a mobilização final utilizada para as simulações. É visível que em 2016 se tem o maior salto em número de PLSVs, isso é devido ao grande número de chegando, o que cria um aumento de demanda. Para ajudar a explicar o aumento causado no VPL pela adição de embarcações. Foi plotada a curva de produção obtida para cada caso que pode ser observada no Gráfico 10. Da mesma forma que o VPL, pode-se averiguar que o ganho em produção também foi diminuído. Por fim para garantir a robustez do estudo, foi feita uma análise de sensibilidade a curva de VPL presente no Gráfico 11.

O intuito foi variar a taxa de juros utilizada e observar o comportamento do gráfico para se ter em mente as possíveis variações que o valor do projeto poderia ter se a taxa variasse. Apesar de ocorrer

uma redução no valor absoluto do VPL, o comportamento que o acréscimo de barcos gerou no mesmo se manteve, sendo assim, mostra-se que a solução alcançada no estudo é robusta e válida para diferentes taxas, a menos que o corra uma variação muito grande nesta.



Gráfico 9: Curva de mobilização de embarcações

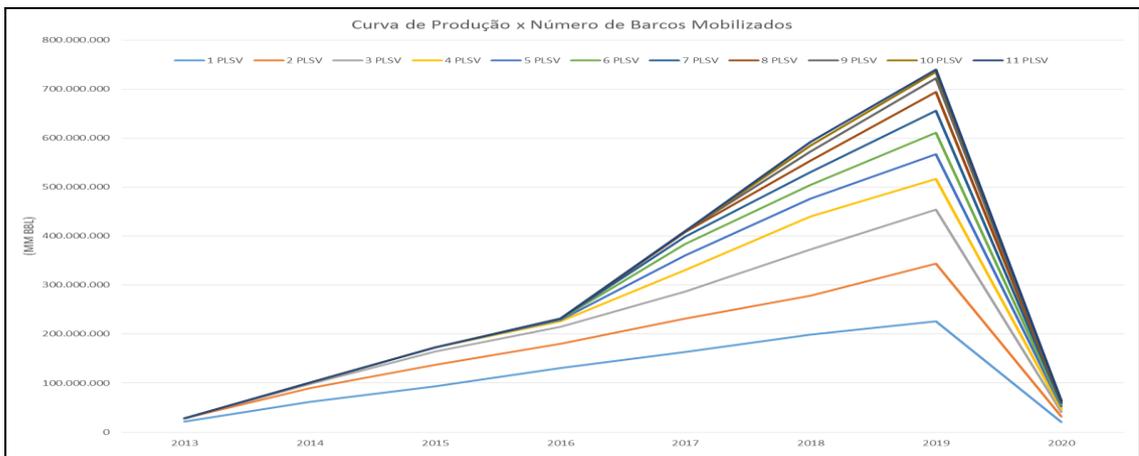


Gráfico 10: Curva de produção para cada cenário de mobilização de PLSVs

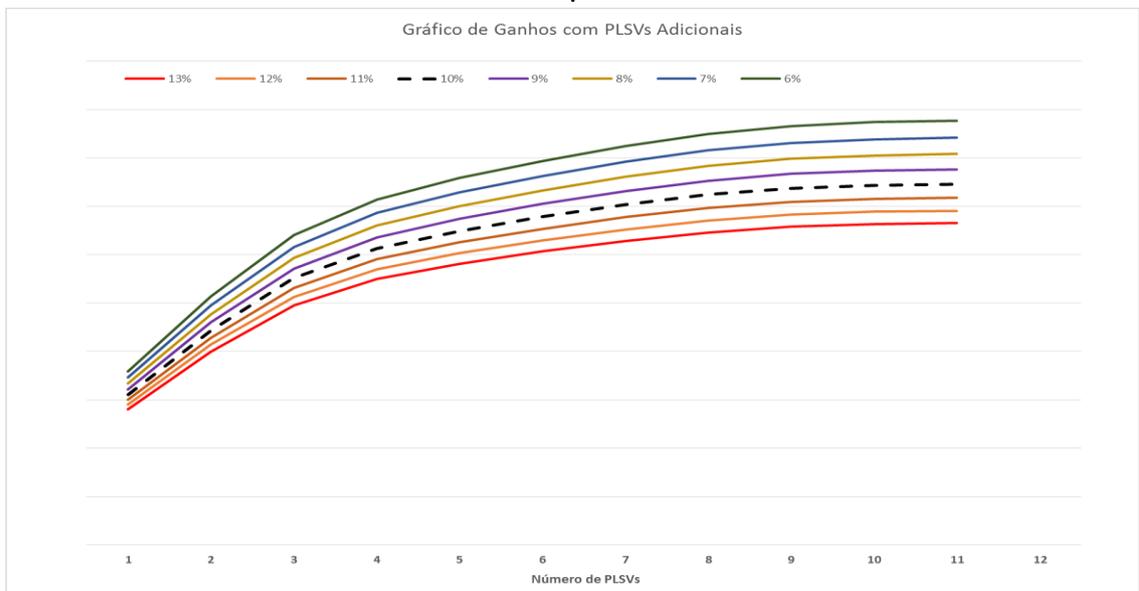


Gráfico 11: Análise de sensibilidade do VPL para diferentes taxas de juros

## 5 CONCLUSÕES

Deste estudo pode-se concluir que é possível realizar um planejamento logístico, do lançamento de linhas de múltiplos campos de petróleo, utilizando diferentes tipos de técnicas de análise. Mesmo com a alta complexidade do problema associada à grande quantidade de variáveis, a utilização de software especializado e de uma máquina desktop de boa capacidade permitiu realizar as simulações no tempo disponível. Os resultados obtidos durante as simulações comprovam a qualidade do modelo e sua extensa capacidade de aplicação. Com os parâmetros de risco e dados de produção utilizados foi possível justificar a utilização de 11 embarcações lançadoras de linhas. Percebeu-se que devido ao alto índice de lucratividade do produto e a escala em questão justifica-se sem dificuldade a utilização de recursos, por mais especializados ou caros que sejam, desde que estes consigam impactar positivamente o projeto. O presente estudo teve a sua disposição apenas informações públicas sobre o assunto, e como a província do pré-sal ainda é relativamente nova, ainda não se tem publicado histórico sobre as atividades como: tempo de conexão de linhas, cronogramas de perfuração e completação, tempo de entrega e previsão de atrasos para entrega de equipamentos, tempo de construção de plataformas entre outros. O mercado acionário apresenta restrições adicionais quanto a pré divulgação de informações importantes como primeiro óleo de prospectos assim como de poços, sendo estes acessíveis apenas após a ocorrência do evento. Como extensão deste estudo propõe-se a evolução do modelo incluindo técnicas de otimização buscando determinar o melhor tempo de entrada em operação de cada embarcação. Além disso, é importante a busca de dados técnicos no intuito de se construir um histórico de operações para projetos deste porte e tipo, visando o aperfeiçoamento do modelo através da utilização destes e sua inclusão em simulações futuras. Os objetivos do estudo foram atingidos. O modelo para a simulação foi elaborado e validado se mostrando robusto e funcional. A heurística de PLSVs alocava as embarcações assim como era o objetivo de início; E por fim, foi possível estabelecer um número otimizado de embarcações ao se utilizar o VPL derivado da produção como parâmetro principal a ser otimizado.

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CULLICK, Stan; HEATH, David. Optimizing Multiple Field Scheduling and Production Strategy With Reduced Risk. Revista: Distinguished Author Series, 77-83.
- . GITMAN, Lawrence. Princípios da administração financeira. São Paulo: Qualitymark, 1992
- GUIMARÃES, Ana Maria Paiva. Estudo da Viabilidade de Investimentos em uma Franquia de Ensino Profissionalizante. Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Rio de Janeiro, 2012.
- MALLINSON, Theo. Selection of Low Carbon Field Development Plans Based on Lifecycle Energy Modeling. Offshore Technology Conference 2011. Rio de Janeiro.
- MCLAUGHLIN, Michael. *A Compendium of Common Probability Distributions*. Manual do Programa Regressão +. 2011.
- MENDES, Marco. O Poder das Distribuições de Probabilidade para Alcançar Melhores Decisões. Apresentação da Empresa Palisade 2009.
- MERROW, Edward. Oil Industry Megaprojects: Our Recent Track Record. Offshore Technology Conference. Rio de Janeiro: 2011.
- MOURA, Vitor Cavinato. **Programação de Frota de Embarcações de Lançamento de Dutos**. Universidade de São Paulo. São Paulo: 2012. Tese de Mestrado..
- PIZZOLATO, Nélio D; GANDOLPHO, André Alvez. **Técnicas de Otimização**. Rio de Janeiro: 2012. Grupo Editorial Nacional.
- RABECHINI, Junior Roque; CARVALHO Marly. Relacionamento entre gerenciamento de risco e sucesso de projetos. Revista Produção, vol 3, no.3. São Paulo: Novembro de 2012.

**SANTOS**, Mauricio Pereira dos. **Introdução a Simulação Direta**. Rio de Janeiro. Editora: Copyright.  
**TAYLOR**, Scott; **HINER**, Michael. **Permanent Borehole Seismic in Ultradeep Offshore Appraisal Wells**. Offshore Technology Conference 2011. Rio de Janeiro.  
**TURRIONI**, João Batista; **MELLO**, Carlos Henrique Pereira. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção**. Itajubá: 2012. UNIFEI  
**WALLACE**, Ian. Site da Palisade 2010. URL:  
[http://www.palisade.com/downloads/pdf/Wallace\\_Schedule\\_Risk.pdf](http://www.palisade.com/downloads/pdf/Wallace_Schedule_Risk.pdf) Agosto