



SIMULAÇÃO DO SUPRIMENTO DE FLUIDOS PARA SONDAS DE
PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO OFFSHORE

Rafael Pedro Longhi

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Rio de Janeiro

Abril de 2017

SIMULAÇÃO DO SUPRIMENTO DE FLUIDOS PARA SONDAS DE
PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO OFFSHORE

Rafael Pedro Longhi

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Examinada por:

Prof. Virgílio José Martins Ferreira Filho, D.Sc.

Prof. Edilson Fernandes de Arruda, D.Sc.

Prof. Glaydston Mattos Ribeiro, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

ABRIL DE 2017

Longhi, Rafael Pedro

Simulação do suprimento de fluidos para sondas de perfuração de poços de petróleo offshore / Rafael Pedro Longhi. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

X, 80 p.: il,; 29,7cm

Orientador: Virgílio José Martins Ferreira Filho.

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 57-59.

1. Simulação. 2. Logística offshore. 3. Fluidos de perfuração. I. Ferreira Filho, Virgílio José Martins II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III.Título.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente aos meus pais, pela dedicação e incentivo providos ao longo de todos os anos. Também agradeço ao meu melhor amigo, meu cachorro Luan, que esteve ao meu lado em todos os momentos da confecção deste trabalho.

Agradeço, também, ao meu professor e orientador Virgílio. Graças ao seu incentivo, tive o meu primeiro contato com a Pesquisa Operacional e fui motivado a ingressar no mestrado. Agradeço a todos os professores da PO, em especial, ao Professor Edilson e à Professora Laura. Agradeço também ao Professor Glaydston, cujos ensinamentos de simulação ao longo da disciplina ministrada foram muito importantes.

Agradeço também aos meus amigos mais antigos, que me acompanham desde o colégio ou graduação e a todos os amigos que fiz no LORDE. Este trabalho só foi possível graças ao apoio e conselhos de todos. Agradeço, também, ao suporte recebido no LORDE, em especial, agradeço ao Seu Zé e à Soyla, que sempre ajudaram a todos os alunos com seu trabalho valioso.

Agradeço também a todos os meus amigos da Escola Modelo de Língua Japonesa do Estado do Rio de Janeiro. Por mais que os ensinamentos não estejam diretamente ligados a este trabalho, me ajudaram muito a me engrandecer culturalmente e não poderia esquecer-los. Agradeço em especial à Professora Rika Hagino, cujo ensinamento foi bastante valioso. Agradeço também à Fundação Japão pelo intercâmbio de duas semanas no Japão para treinamento do idioma.

Agradeço também à HITACHI pela cooperação no projeto de pesquisa IPANEMA e auxílio financeiro ao longo deste projeto. Este trabalho não teria sido possível sem as discussões e ideias surgidas ao longo do projeto.

Agradeço à Petrobras pela possibilidade de cooperação nos Projetos de pesquisa PLACAR, INEES e PROBARCOS. A minha linha de pesquisa, desde o final de minha graduação, foi moldada a partir destes projetos. Eles me ajudaram a entender melhor a pesquisa operacional e me deram motivação para seguir em minha pesquisa.

Por fim, agradeço, também, a CAPES pelo auxílio financeiro. O financiamento foi muito importante para viabilizar a elaboração deste trabalho.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

SIMULAÇÃO DO SUPRIMENTO DE FLUIDOS PARA SONDAS DE PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO OFFSHORE

Rafael Pedro Longhi

Abril/2017

Orientador: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Programa: Engenharia de Produção

Os custos envolvidos na indústria do petróleo são usualmente elevados, sobretudo os referentes à fase de perfuração, por isso torna-se necessário otimizar ao máximo as operações. Uma das formas de conseguir estes resultados é através de melhorias na logística e na cadeia de suprimentos. Este trabalho realiza uma análise da cadeia de suprimentos durante a fase de exploração *offshore* de óleo e gás, tendo como foco o suprimento de fluidos utilizados ao longo da perfuração. Foi desenvolvido um modelo de simulação, englobando tanto o gerenciamento do estoque nas unidades marítimas quanto a programação de rotas de embarcações que realizam o transporte destes fluidos até as sondas. Para a experimentação, foi desenvolvida uma metodologia para a geração de instâncias, com o objetivo de obter demandas estocásticas, mas que sejam realistas. Ao final, os resultados são avaliados, buscando-se determinar o tamanho da frota ideal. Busca-se dimensionar a operação otimizando custos, mas mantendo um bom nível de serviço sem faltas de produtos.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

OFFSHORE OIL WELLS FLUIDS SUPPLY SIMULATION

Rafael Pedro Longhi

April/2017

Advisor: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Department: Production Engineering

Costs on Oil & Gas industry are usually large, especially during drilling phase. Therefore, it is necessary to optimize operations. One way to achieve this objective is through improvements on logistics and supply chain. This work makes an analysis on supply chain during offshore oil & gas exploration phase, focusing on drilling fluids supply. We show a simulation model developed, which considers inventory management on maritime units and routing planning for platform supply vessel routes. During experiments, we propose a data generation method, making possible generation of stochastic demands with realistic values. On the end, this work shows results analysis, determining some parameters, for example, fleet size. The objective is to obtain an operation with lowest costs, but maintaining a good service level, without shortages.

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO DO TEMA..... | 1 |
| 1.2 | OBJETIVOS..... | 5 |
| 1.3 | ESTRUTURA..... | 6 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 7 |
| 2.1 | LOGÍSTICA OFFSHORE..... | 7 |
| 2.2 | LOGÍSTICA OFFSHORE ABORDADA POR SIMULAÇÃO..... | 9 |
| 2.3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 11 |
| 3 | DEFINIÇÃO DO PROBLEMA | 12 |
| 4 | METODOLOGIA | 21 |
| 4.1 | FORMULAÇÃO DO PROBLEMA..... | 21 |
| 4.1.1 | LÓGICA DA SIMULAÇÃO DE ESTOQUES..... | 23 |
| 4.1.2 | LÓGICA DA SIMULAÇÃO DE MOVIMENTAÇÃO DE EMBARCAÇÕES..... | 24 |
| 5 | EXPERIMENTAÇÕES | 28 |
| 5.1 | CRIAÇÃO DAS INSTÂNCIAS..... | 28 |
| 5.2 | PLANO DE EXPERIMENTOS..... | 34 |
| 6 | RESULTADOS | 40 |
| 6.1 | VALIDAÇÃO..... | 40 |
| 6.2 | ANÁLISE DOS RESULTADOS..... | 42 |
| 7 | CONCLUSÕES | 53 |
| 7.1 | ANÁLISE DOS RESULTADOS..... | 53 |
| 7.2 | TRABALHOS FUTUROS..... | 54 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 57 |
| | APÊNDICE A | 60 |
| | APÊNDICE B | 67 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1. ESTIMATIVAS DE PRODUÇÃO DA PRINCIPAL COMPANHIA PETROLÍFERA BRASILEIRA. FONTE: PETROBRAS (2016)..... | 2 |
| FIGURA 2. REGIÃO DO PRÉ-SAL SEGUNDO ANP. FONTE: ANP (2017)..... | 3 |
| FIGURA 3. PERSPECTIVAS DE DIMINUIÇÃO DO CUSTO DE EXTRAÇÃO. FONTE: PETROBRAS (2016)..... | 4 |
| FIGURA 4. PRODUTOS DEMANDADOS POR SONDAS E SUAS PERCENTAGENS DE ÁREA DE DECK DEMANDADAS. | 4 |
| FIGURA 5. SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES REALIZADA AO LONGO DAS FASES DA CONSTRUÇÃO DE UM POÇO. | 15 |
| FIGURA 6. SISTEMA DE CIRCULAÇÃO DE FLUIDOS DE PERFURAÇÃO. | 16 |
| FIGURA 7. PADRÃO DE DEMANDAS DE FLUIDOS AO LONGO DA PERFURAÇÃO..... | 17 |
| FIGURA 8. EMBARCAÇÕES DO TIPO PSV ANCORADAS NO PORTO DE MACAÉ. FONTE: ACERVO PESSOAL DO AUTOR. | 18 |
| FIGURA 9. LÓGICA DA SIMULAÇÃO PARA CADA POÇO w NO PLANEJAMENTO DO DIA i PARA O DIA J | 23 |
| FIGURA 10. LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO DE VIAGENS PARA O PORTO PARA CADA UM DOS BARCOS. | 25 |
| FIGURA 11. LÓGICA DE ESCOLHA DO BARCO | 26 |
| FIGURA 12. CARACTERÍSTICAS DE UMA DISTRIBUIÇÃO TRIANGULAR. | 29 |
| FIGURA 13. CASOS CONSIDERADOS PARA A RESOLUÇÃO DO SISTEMA DE EQUAÇÕES. | 30 |
| FIGURA 14. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA MATRIZ DE DEMANDAS UTILIZADA PARA OS TESTES. | 33 |
| FIGURA 15. LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS E PORTO CONSIDERADOS NOS EXPERIMENTOS | 34 |
| FIGURA 16. PARTE 1 DA INTERFACE DO PROGRAMA DESENVOLVIDO. | 37 |
| FIGURA 17. PARTE 2 DA INTERFACE DO PROGRAMA DESENVOLVIDO. | 38 |
| FIGURA 18. DISCREPÂNCIA ENTRE O VALOR SIMULADO E O REAL PARA O P10 | 40 |
| FIGURA 19. DISCREPÂNCIA ENTRE O VALOR SIMULADO E O REAL PARA O PERCENTIL 2... .. | 41 |
| FIGURA 20. DISCREPÂNCIA ENTRE OS VALORES SIMULADOS E OS REAIS PARA A MÉDIA. . | 41 |
| FIGURA 21. MÉDIA DO NÚMERO DE BARCOS EM ATIVIDADE A CADA DIA PARA CADA CENÁRIO. | 42 |
| FIGURA 22. ANÁLISE DO NÚMERO DE BARCOS EM ATIVIDADE A PARTIR DA MÉDIA MÓVEL. | 43 |
| FIGURA 23. NÍVEIS DE ESTOQUE POR DIA PARA A SONDA QUE ABASTECE O POÇO 25. | 44 |
| FIGURA 24. ROTAS PERCORRIDAS PELO BARCO 1 DESDE O DIA 84 ATÉ O DIA 89. | 45 |
| FIGURA 25. ROTA PERCORRIDA PELO BARCO 1 DESDE O DIA 89 ATÉ O DIA 112..... | 45 |
| FIGURA 26. NÍVEL DE ESTOQUE POR DIA PARA O CASO DE UMA SONDA COM FALTA DE PRODUTOS. | 46 |
| FIGURA 27. NÍVEL DE SERVIÇO OBTIDO PARA CADA UM DOS CENÁRIOS. | 48 |
| FIGURA 28. TAXA DE UTILIZAÇÃO DA FROTA PARA CADA UM DOS CENÁRIOS. | 48 |
| FIGURA 29. MAIOR FALTA REGISTRADA PARA CADA UM DOS CENÁRIOS..... | 49 |
| FIGURA 30. MÉDIA DOS TEMPOS COMPUTACIONAIS EXIGIDOS PARA CADA CENÁRIO. | 51 |
| FIGURA 31. TEMPOS COMPUTACIONAIS PARA DIFERENTES QUANTIDADES DE EXPERIMENTOS PROCESSADOS EM PARALELO. | 52 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 1. DADOS DOS POÇOS CONSIDERADOS NOS EXPERIMENTOS..... | 35 |
| TABELA 2. CONSUMO DE FLUIDOS CONSIDERADO EM CADA FASE..... | 36 |
| TABELA 3. PLANO DE EXPERIMENTOS..... | 39 |
| TABELA 4. ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE FALTAS DE PRODUTOS NOS EXPERIMENTOS. | 47 |
| TABELA 5. TEMPO COMPUTACIONAL EXIGIDO EM CADA UM DOS EXPERIMENTOS (EM SEGUNDOS)..... | 50 |
| TABELA 6. TEMPO COMPUTACIONAL EXIGIDO PARA GERAÇÃO DA INSTÂNCIA ALEATÓRIA. | 50 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|------|--|
| PSV | <i>Platform Supply Vessel</i> (Embarcações de apoio) |
| LGN | Gás natural liquefeito |
| bbbl | Barris de petróleo (unidade de medida) |
| boe | Barris de óleo equivalente |

1 Introdução

Ao longo de um projeto de exploração de petróleo *offshore*, vários produtos são demandados e, para suprir estes produtos, é necessária a criação de uma cadeia de suprimentos, cuja logística apresenta custos. Este trabalho busca analisar esta cadeia, tentando buscar formas de diminuir estes custos. Em especial, dentre os produtos envolvidos na cadeia de suprimentos, a análise terá como foco fluidos de perfuração.

Pretende-se utilizar ferramentas da pesquisa operacional durante a análise, em específico a simulação. Após experimentações, espera-se ser possível obter uma análise do comportamento das operações, propondo-se formas de realizar a operação com menores custos ao mesmo tempo em que se garanta confiabilidade.

1.1 Justificativa e motivação do tema

Em 2015, foram produzidos 890 milhões de barris de petróleo no Brasil (ANP, 2016). Deste total, 93,4% foi obtido a partir de poços *offshore*, a maioria destes localizados nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo (ANP, 2016). No futuro, a principal companhia petrolífera brasileira pretende aumentar a sua produção de óleo e LGN de 2,07 milhões de barris de óleo equivalente por dia em 2017 para 2,77 milhões de barris de óleo equivalente por dia em 2021, além de aumentos também na produção de gás natural e produção de óleo e gás no exterior (PETROBRAS, 2016), conforme apresentado na Figura 1. Grande parte desse crescimento será devido à entrada em operação de novas unidades de produção na região do Pré-sal, por exemplo, onde o principal campo passará de 1 unidade de produção em 2017 para 6 em 2021 (PETROBRAS, 2016).

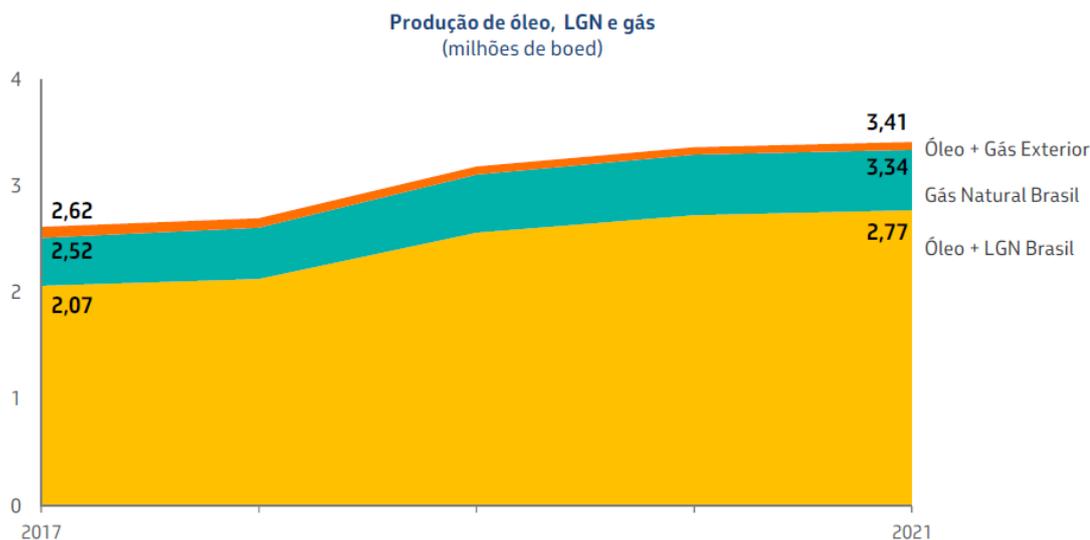


Figura 1. Estimativas de produção da principal companhia petrolífera brasileira. Fonte: PETROBRAS (2016)

Como a atividade petrolífera brasileira concentra-se em ambiente *offshore*, a logística de entrega de equipamentos e suprimentos precisa ser realizada por meio de embarcações. A operação é bastante robusta. Por exemplo, apenas na Bacia de Campos, são transportadas 650 toneladas de carga de *deck* por ano (LEITE, 2012).

No futuro, com a expansão da produção para unidades mais distantes da costa, como na região do Pré-Sal, o panorama pode se tornar ainda mais complexo. Na Figura 2, é apresentado um mapa oficial da ANP onde destaca-se com uma linha amarela a região onde localiza-se o Pré-sal de acordo com a interpretação da agência. Algumas áreas do Pré-sal compreendem regiões ainda mais distantes do que os atuais campos em produção, com poços que podem estar até a 300 Km da costa, o dobro do que ocorre na Bacia de Campos (UGLANE *et al.*, 2012), resultando em maiores tempos de viagem. Por este motivo, evidencia-se a importância do estudo da logística *offshore*.

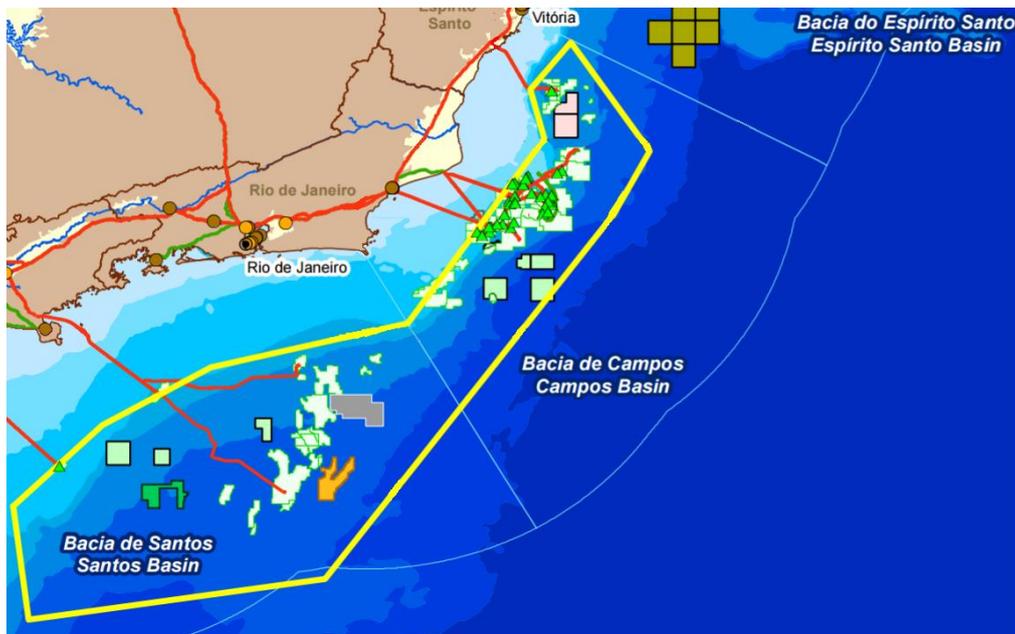


Figura 2. Região do Pré-sal segundo ANP. Fonte: ANP (2017)

Um projeto *offshore* de óleo & gás passa por diversas fases ao longo de sua vida, como, por exemplo, a perfuração e a produção. Paradas devido a faltas resultam em altos custos, entretanto, em particular, problemas ocorridos na fase de perfuração causam perdas até maiores do que as ocorridas durante a produção, devido aos altos custos relacionados ao aluguel de sondas de perfuração. No passado, contratos de curta duração já tiveram picos entre US\$600.000 e US\$700.000 por dia (SKONNORD & EVANS, 2016). Além disso, a fase da perfuração é a que apresenta mais flutuações e incertezas na demanda (AAS *et al.*, 2008). Um estudo acadêmico que proponha formas de evitar paradas na perfuração lidando-se com as incertezas pode ter como resultados uma grande economia financeira. Por este motivo, será dado foco à fase de perfuração.

Entretanto, devido à crise no mercado de óleo & gás graças aos menores preços do petróleo, estes contratos de aluguel são menores atualmente. Elas variam hoje em dia entre US\$160.000 e US\$180.000 por dia em contratos de curta duração e entre US\$350.000 e US\$400.000 por dia em contratos de longa duração (SKONNORD & EVANS, 2016). Mesmo assim, ainda que os valores das taxas de aluguel sejam mais baixos, eles ainda representam uma grande parcela dos custos. Inclusive, este cenário de crise estimula a busca pela otimização das operações, justificando este trabalho. Por exemplo, a mais importante companhia petrolífera brasileira busca maximizar a

economicidade e tornar sustentável a produção nos próximos anos, reduzindo custos operacionais por meio, por exemplo, da otimização da frota de embarcações de apoio logístico (PETROBRAS, 2016). Pretende-se diminuir o custo de extração do petróleo até 2021, como explicitado na Figura 3.

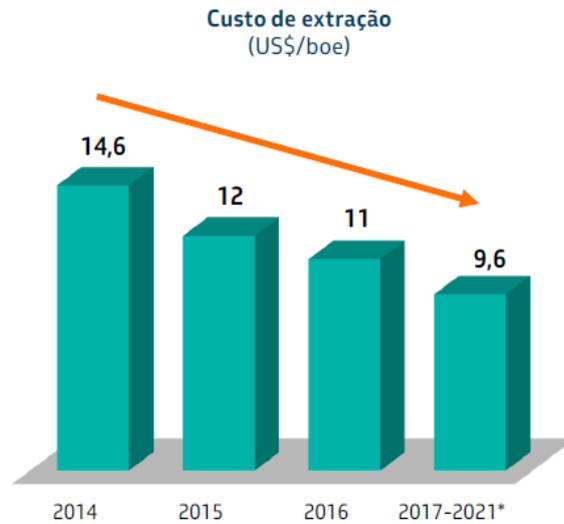


Figura 3. Perspectivas de diminuição do custo de extração. Fonte: PETROBRAS (2016)

Durante a perfuração, vários produtos precisam ser levados até as sondas, como carga geral, produtos químicos, comidas e água, *risers* e tubos (LEITE, 2012). A Figura 4 apresenta a percentagem de área de deck de embarcações supridoras demandada por cada um destes produtos.

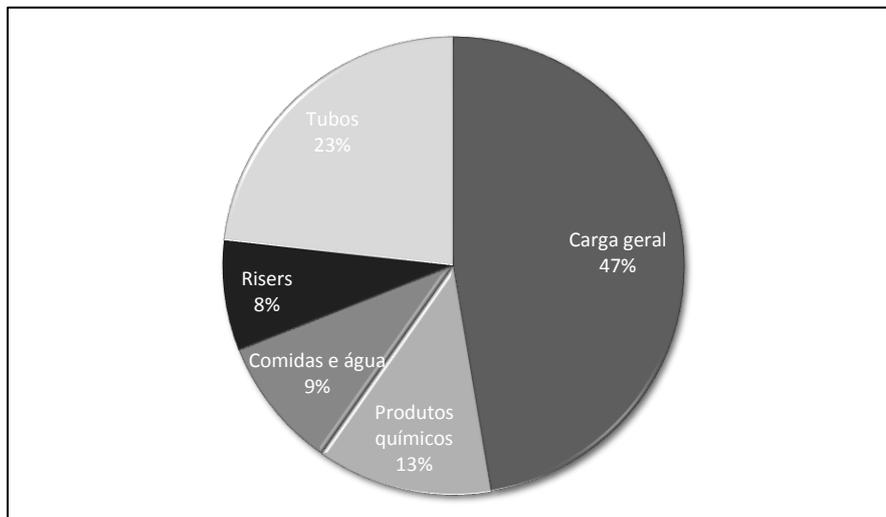


Figura 4. Produtos demandados por sondas e suas percentagens de área de deck demandadas.

Neste trabalho, os produtos foram divididos em três tipos principais: produtos com demanda estável (por exemplo, água), produtos com algumas flutuações em sua demanda (por exemplo, base para fluidos de perfuração) e produtos com provavelmente uma só demanda em todo o projeto (por exemplo, árvores de natal). Para produtos do primeiro tipo, pode-se realizar o planejamento do estoque de forma simplificada analisando o projeto a longo prazo. Para produtos do terceiro tipo, como a demanda é baixa, o armazenamento torna-se simples. Entretanto, o planejamento do estoque é mais complexo para produtos do segundo tipo. Por isso, decidiu-se focar esta pesquisa na base para fluidos de perfuração.

Fluidos desempenham funções primordiais e ligadas à segurança, logo a falta destes produtos é altamente indesejada, já que exige a parada da perfuração, resultando em altos custos. Ao mesmo tempo, sua logística é considerada bastante complexa, já que há uma série de complicadores, como, por exemplo, grandes quantidades de líquidos e produtos a serem transportados, sondas localizadas em regiões remotas, número limitado de plantas em terra e condições climáticas severas (ZAMORA *et al.*, 2000). Portanto, acaba-se tendo como motivação para este trabalho a procura por maneiras de serem evitadas paradas de produção devido a estas circunstâncias ao mesmo tempo em que se consiga manter a operação com baixos custos.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é a criação de uma lógica de simulação que englobe estoques de bases de fluidos nas unidades marítimas e o comportamento das embarcações. Utilizando esta ferramenta para planejamento de longo prazo, torna-se possível dimensionar diversos parâmetros para o sistema, como por exemplo tamanho de frota.

1.3 Estrutura

Esta dissertação divide-se em sete capítulos: introdução, revisão bibliográfica, definição do problema, metodologia, experimentação, resultados e conclusões.

No primeiro capítulo, introdução, o tema foi apresentado, além de justificativas para a sua escolha e objetivos. No segundo capítulo é realizada uma análise sobre o material bibliográfico referente ao tema. No terceiro capítulo o problema é apresentado, explicando-se como ocorre o abastecimento de fluidos às unidades marítimas. No quarto capítulo, a metodologia para resolução do problema é apresentada. No quinto capítulo, a experimentação é detalhada, mostrando-se como as instâncias foram geradas e os experimentos planejados. No sexto capítulo, resultados dos experimentos são apresentados. Por fim, no sétimo capítulo analisa-se os resultados, conclusões são apresentadas e discute-se trabalhos futuros.

Ao final, dois anexos com resultados dos experimentos são apresentados.

2 Revisão Bibliográfica

Neste capítulo, apresenta-se uma análise da produção bibliográfica referente ao tema. O problema de suprimento de fluidos caracteriza-se como um caso particular de suprimento *offshore*, por isso a busca bibliográfica foi concentrada em trabalhos relacionados ao tema. Inicialmente, apresenta-se alguns trabalhos de logística *offshore* que não abordam o problema a partir da simulação, mas cuja compreensão é importante para o entendimento de como a operação de suprimento *offshore* ocorre. Ao final são abordados trabalhos com estratégias de resolução dos problemas mais próximas à desta dissertação, envolvendo a simulação.

2.1 Logística *offshore*

A logística *offshore* é um tema bastante explorado pela literatura, por isso existe uma quantidade grande de trabalhos, muitos deles dedicados ao estudo de casos da indústria do petróleo. Existem trabalhos bastante diversificados, abordando tanto temas de ordem estratégica quanto tática ou operacional. Segundo AAS *et al.* (2008), é comum a abordagem de problemas do tipo como VRP (*vehicle routing problem*) neste campo de estudo.

Por exemplo, AAS *et al.* (2008) realiza a análise da logística *offshore* para o suprimento de unidades marítimas, mostrando-se como a operação transcorre. Trata-se de um estudo de caso do que ocorre na Noruega, mas, como a operação apresenta diversas similaridades com o que ocorre no Brasil, torna-se bastante útil para a compreensão do problema. Segundo o artigo, assim como no Brasil, apesar das embarcações do tipo PSV serem apenas alugadas pelas companhias petrolíferas, é sua competência realizar a programação das viagens e roteamento das embarcações. O trabalho discute como ocorre o transporte entre os portos e as unidades marítimas (sondas e unidades de produção), apresentando diversas informações sobre a operação, sobretudo relacionadas às embarcações. Ao final, realiza-se uma discussão sobre como determinar a frota ótima, dividindo-se o problema em dois: a busca por uma capacidade

total da frota que atenda as demandas das unidades e a capacidade de cada uma das embarcações individualmente.

Da mesma forma, HALVORSEN-WEARE & FAGERHOLT (2011) também abordam este problema com a proposição de uma modelagem matemática robusta para determinação do tamanho e composição ótima da frota e da programação de rotas. Na função objetivo, propõe-se minimizar os custos de aluguel das embarcações e do diesel gasto nas viagens. São consideradas restrições como janelas de tempo no porto, capacidade de armazenamento do porto e embarcações, limite de velocidade dos barcos, quantidade de visitas mínimas a serem realizadas e a demanda que deve ser suprida. São consideradas as incertezas relacionadas ao tempo de viagem devido a condições meteorológicas e a robustez é alcançada através da utilização em conjunto de uma modelagem de otimização com a simulação. HALVORSEN-WEARE *et al.* (2012) também revisita este problema.

Também existem outros trabalhos que apresentam especificamente o contexto brasileiro. LEITE (2012) apresenta o panorama da operação de barcos de apoio supridores de unidades *offshore* na Bacia de Campos. O autor descreve características dos consumidores, da carga típica demandada, das embarcações, dos portos, além da própria operação do sistema logístico. Ao final, uma nova política é proposta, com o objetivo de melhorar o nível de serviço da operação, e, através da simulação, é realizada uma análise da operação após as novas proposições, observando-se por exemplo o tamanho da frota necessária.

UGLANE *et al.* (2012) também aborda o contexto brasileiro, apresentando como ocorrem as operações. O autor propõe uma modelagem matemática determinística para o planejamento diário da programação e roteamento das embarcações, tendo-se como objetivo a minimização dos custos. Em busca de melhorias no nível de serviço, propõe-se uma metodologia de roteamento dinâmica, com redefinições das rotas diariamente, diferentemente do que ocorre na operação real, que conta com rotas fixas determinadas a partir de um planejamento tático prévio. Durante a apresentação dos resultados, também foi realizada uma discussão sobre o tamanho e a composição da frota.

Discussões sobre vários problemas relacionados à logística *offshore* também são apresentados em HAMACHER & FERREIRA FILHO (2015) e em FERREIRA FILHO (2016). Outros problemas também são encontrados na literatura, como o do sequenciamento de operações em portos, abordado por CHAGAS (2015).

Em relação a fluidos, a literatura em geral apresenta pouca documentação relacionada à logística de suprimento. Em geral, preocupa-se com questões químicas relacionadas aos fluidos e suas funções ao longo da perfuração. Entretanto, existem alguns trabalhos que citam problemas logísticos relacionados a fluidos, como ZAMORA *et al.* (2000), onde os autores descrevem as dez maiores preocupações relacionadas a fluidos durante operações de perfuração em regiões ultra profundas e uma das preocupações citadas é exatamente relacionada à logística. Segundo os autores, durante as operações pode-se ter que lidar com problemas como grandes quantidades de líquidos e produtos demandados, locações remotas, número limitado de locações *onshore* e condições climáticas severas. A maior preocupação está relacionada a seu descarte após a utilização, por isso vários trabalhos mencionam este problema como ALBA *et al.* (2007), SVENSEN *et al.* (2011) e DOS SANTOS & VELOSO (2013). Segundo esses trabalhos, dependendo da especificação, o descarte pode ser proibido, exigindo-se, portanto, o seu recolhimento, que, em ambiente *offshore*, é realizado por embarcações fluideiras.

2.2 Logística *offshore* abordada por simulação

Nesta dissertação, propõe-se como objetivo principal determinar uma ferramenta de simulação que possa ser utilizada no planejamento tático da logística *offshore*, podendo-se determinar o tamanho ótimo da frota. Muitos trabalhos apresentam abordagem semelhante, apresentando a problemática da logística *offshore* discutida a partir da simulação.

Segundo BALCI (1994), simulação é o processo de experimentação computacional de um modelo representativo de um sistema que possui algum problema, com o objetivo de sua resolução. Segundo o autor, problemas resolvidos por simulação em geral possuem o seguinte ciclo de vida: comunicação do problema, formulação,

proposição de resolução por simulação, definição dos objetivos, criação do modelo conceitual, programação do modelo, experimentação, análise dos resultados (com possível redefinição do problema) e decisão.

TERZI & CAVALIERI (2004) realizaram uma classificação dos trabalhos mais recentes relacionados à simulação utilizada no contexto da cadeia de suprimentos. Quanto aos objetivos, podem ser encontrados artigos que pretendem utilizar a simulação no projeto da cadeia de suprimentos ou como suporte para decisões estratégicas durante a operação. Ainda segundo TERZI & CAVALIERI (2004), quanto aos processos modelados, existem trabalhos focados no planejamento de demandas, planejamento da cadeia de suprimentos, planejamento de estoques, planejamento do transporte e planejamento da produção. Destes, relaciona-se com o tema desta dissertação sobretudo o planejamento de estoques e do transporte.

Existem alguns trabalhos que analisam problemas da logística *offshore* sob a ótica da simulação. Por exemplo, SHYSHOU *et al.* (2010) propõem um problema semelhante ao discutido nesta dissertação, com a diferença de que neste caso trata-se de um estudo de caso das embarcações AHTS (*anchor handling tug supply*). Como muitas sondas não tem propulsão própria, embarcações AHTS são utilizadas para o reboque destas após o final da perfuração de um poço até novas locações. Os autores utilizam da simulação para replicar as movimentações das embarcações: as preparações no porto, a viagem até as sondas, o recolhimento da âncora, a viagem até as novas locações e a nova ancoragem. São consideradas incertezas meteorológicas que possam impactar na velocidade das embarcações. O objetivo final é a determinação da frota ótima.

Alguns trabalhos tratam de problemas ainda mais semelhantes ao discutido nesta dissertação. Por exemplo, MAISIUK & GRIBKOVSKAIA (2014) discutem uma forma de determinar composição ótima da frota de PSVs e rota. Diferentemente de grande parte da literatura que trata este problema como determinístico, os autores propõem a utilização da simulação, podendo-se englobar assim também características estocásticas do problema, garantindo-se robustez para a solução encontrada. Durante a simulação, planejamentos semanais reais são utilizados e expostos a atrasos e mudanças devido às incertezas relativas às condições meteorológicas; são simulados diversos cenários de tamanho da frota e, ao final, pretende-se determinar o mais adequado. Trata-se de um problema bastante semelhante ao tratado nesta dissertação, com a diferença de que, ao

invés dos atendimentos às unidades marítimas serem feitos sob demanda, existem planejamentos semanais com rotas pré-determinadas definidas previamente a partir de um modelo exato.

ANEICHYK (2009) também propõe uma abordagem por simulação para determinação da frota ótima de embarcações do tipo PSV. Algumas particularidades, entretanto, são consideradas, como a existência de janelas de tempo nas unidades marítimas. Além disso, diferentemente dos outros trabalhos, além de incertezas meteorológicas, também são consideradas incertezas nas demandas das unidades marítimas e no suprimento por parte dos armazéns.

2.3 Considerações finais

Nesta dissertação, objetiva-se o desenvolvimento de uma ferramenta de simulação que replique as condições operacionais, por isso, atentou-se para ter como premissas detalhes descritos nos trabalhos, sobretudo os referentes ao contexto brasileiro. O objetivo central da dissertação é a utilização da ferramenta desenvolvida para a determinação do tamanho da frota de embarcações, o que parece estar alinhado com as preocupações reais operacionais da indústria, haja vista a grande quantidade de trabalhos que realizam esta análise.

Outros trabalhos apresentam estratégias semelhantes para determinação da frota ótima, utilizando-se a simulação, assim, nota-se que a estratégia discutida pela dissertação está alinhada com a literatura. Traz-se como originalidade sobretudo a forma como as incertezas foram consideradas, já que invés de serem consideradas estocasticidades sobretudo nas condições meteorológicas e na velocidade das embarcações supridoras, considera-se nesta dissertação incertezas no planejamento das demandas. Além disso, a dissertação traz um foco sobre o suprimento de fluidos, algo muito pouco explorado pela literatura.

3 Definição do Problema

Durante esta dissertação, pretende-se estudar a logística envolvida no suprimento de bases para fluidos de perfuração às sondas responsáveis pela perfuração de poços de petróleo *offshore*. De acordo com o *Council of Logistics Management*, logística é a parte dos processos da cadeia de suprimentos que planeja, implementa e controla eficientemente o fluxo convencional e reverso, além do armazenamento de materiais, serviços e informações entre a origem e o consumidor, com o objetivo de cumprir pedidos (LANGEVIN & RIOPEL, 2005). As decisões tomadas pela logística variam desde decisões de longo prazo, como níveis de serviço e estrutura da rede logística, até decisões de curto prazo, como decisões táticas e operacionais para o roteamento de veículos (LANGEVIN & RIOPEL, 2005).

Dentre os campos estudados pela logística, este trabalho está voltado para a gestão da cadeia de suprimentos. Este campo engloba decisões como: onde produzir, quantidades produzidas, quantidade de estoque em cada estágio do processo, como transmitir a informação entre entes envolvidos, onde localizar plantas, além de decisões relacionadas à movimentação dos produtos (LANGEVIN & RIOPEL, 2005). Em especial, neste trabalho pretende-se ter como foco dois destes campos: o da administração dos estoques e o da movimentação dos produtos.

Um dos modelos mais antigos presentes na literatura utilizados para a gestão de estoques é o modelo de lote econômico (EOQ), que propõe modelar o tamanho do lote minimizando custos de manutenção do estoque e custos do pedido (FERREIRA FILHO, 2016). Segundo ZIUKOV (2015) este modelo foi proposto inicialmente em 1913, por HARRIS (1913).

Segundo FERREIRA FILHO (2016), estoques apresentam uma série de funções, podendo ser estoques de segurança (buscando lidar com incertezas na demanda), estoques de antecipação (estoques para evitar sobrecargas em períodos com muitos pedidos), estoques de fragmentação (estoques para diminuir a dependência entre estágios de produção, como o *just-in-time*), estoques em trânsito (devido à movimentação de materiais) e estoques cíclicos (para tentar diminuir o custo total de

manutenção dos estoques). Cabe a um administrador tentar minimizar os custos relativos a estoques, sendo eles os custos de pedidos, custos de manutenção do estoque, custos de falta, custos associados à capacidade do estoque e custos dos produtos. Isto posto, algumas decisões precisam ser tomadas: quando realizar o pedido, qual a quantidade pedida, como tratar incertezas e como controlar o estoque. Pretende-se, neste trabalho, realizar um estudo relacionado aos estoques de fluidos tentando-se responder a estas perguntas. Além disso, pretende-se analisar o impacto nos estoques provenientes da movimentação dos produtos durante o transporte dos fluidos, desde o porto até as unidades marítimas através de embarcações do tipo PSV (*platform supply vessel*).

Durante a pesquisa proposta, pretende-se utilizar o suporte da pesquisa operacional. Segundo HILLIER & LIEBERMAN (2006), a pesquisa operacional tem como objetivo a pesquisa sobre operações, isto é, dar suporte a problemas que envolvem condução e coordenação de operações, utilizando-se do método científico para isso. Segue-se a seguinte estratégia: primeiramente observa-se e formula-se o problema (extraíndo dados relevantes), a seguir é construído um modelo científico (matemático), são realizados procedimentos computacionais para obter soluções para o problema e, por fim, são realizadas experimentações para testar a hipótese de que o modelo é uma representação suficientemente precisa da realidade (HILLIER & LIEBERMAN, 2006). Neste trabalho, a observação do problema foi realizada a partir da leitura de documentação, além de entrevista com especialistas e profissionais de uma empresa petrolífera. A partir disto, pôde-se realizar a construção de um modelo representativo da realidade e propor uma modelagem computacional para a análise do problema, utilizando-se nesta etapa o suporte da simulação.

A simulação é uma técnica utilizada para imitar a operação de um sistema, gerando-se aleatoriamente a ocorrência de vários eventos, para que se possa avaliar e comparar diversos procedimentos operacionais (HILLIER & LIEBERMAN, 2006). Pretende-se simular o dia-a-dia operacional das sondas, em que cada sonda, a cada dia, gera um plano de pedidos baseado em uma estimativa de demandas futuras. Para imitar este comportamento, para cada horizonte de planejamento, uma nova simulação é realizada, considerando-se diferentes demandas estocásticas. Esta simulação compreende tanto os cálculos de estoque quanto a mecânica de movimentação da frota.

Ao final da simulação, pode-se obter os estoques de cada uma das unidades marítimas e do porto.

Em específico, será analisado a logística de fluidos de perfuração. Eles possuem diversas funções ao longo da operação, por exemplo, eles são os responsáveis por remover resíduos sólidos gerados pela perfuração, manter a pressão hidrostática no poço, manter a estabilidade do poço, manter a broca limpa e lubrificada, além de reduzir a fricção sobre a broca (DOS SANTOS & VELOSO, 2013). Durante toda a perfuração, é indispensável que o poço esteja preenchido por fluidos, para que suas funções, inclusive ligadas à segurança da operação, sejam corretamente desempenhadas.

Fluidos possuem uma série de componentes básicos, como dispersantes, agentes condicionadores de viscosidade, gelificantes, floculantes, agentes de controle de alcalinidade e inibidores químicos ou físicos (DOS SANTOS & VELOSO, 2013). Todos esses produtos são indispensáveis durante a perfuração, tornando a logística desses suprimentos bastante importante. Desses produtos, de fato, itens transportados em sacos e graneis possuem questões logísticas bem interessantes, sobretudo ligadas ao complexo controle do estoque, entretanto, não serão foco deste trabalho. Pretende-se estudar sobretudo a logística de suprimento dos dispersantes, também chamados de base do fluido, esta escolha deve-se acima de tudo ao grande volume demandado deste tipo de produto, cujas capacidades em sondas ficam entre 12.000 bbl e 16.000 bbl e demandas podem chegar até a valores entre 15.000 bbl e 30.000 bbl em condições excepcionais (ZAMORA *et al.*, 2000). Além disso, trata-se de um item primordial na constituição dos fluidos.

Existem vários tipos de bases de fluidos, como base óleo, base água ou sintética. Bases óleo são utilizadas para inibição de folhelhos e para aumentar a lubrificação e a capacidade de limpeza, sendo utilizadas em condições de alta temperatura e pressão. Bases sintéticas possuem propriedades semelhantes à base óleo, mas com o benefício de serem biodegradáveis. Enquanto isso, bases água são mais baratas e geram menos resíduos (DOS SANTOS & VELOSO, 2013). Para cada fase da construção de um poço, um tipo de fluido é especificado no projeto.

A perfuração de um poço precisa ser dividida em diversas fases. Em cada fase, é realizada a descida da coluna de perfuração, a perfuração propriamente dita, a

cimentação, assentamento do revestimento, a instalação de equipamentos, dentre outras atividades, e, ao final, reinicia-se o processo com a fase seguinte. A operação é realizada dessa forma porque não é possível perfurar um poço em apenas uma fase, tendo em vista que a manutenção de longos trechos perfurados sem cimentação ocasionaria no interior do poço pressões altas demais para o trecho mais superficial ainda não cimentado ou pressões baixas demais, a ponto de induzir a surgência nos trechos mais profundos. Este processo é explicitado na Figura 5, em que se apresenta a evolução da perfuração de um poço genérico, ao longo de suas fases.

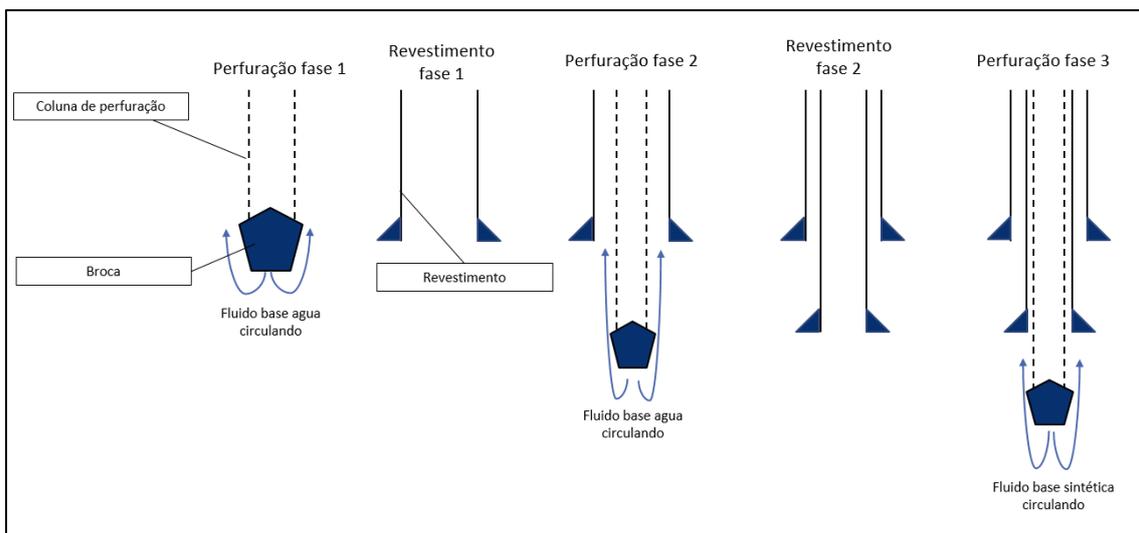


Figura 5. Sequência de operações realizada ao longo das fases da construção de um poço.

Nas primeiras fases, trabalha-se com o poço aberto e complicações operacionais são mais raras, portanto pode-se utilizar fluido de base água, que, dependendo da especificação exigida, pode ser água do mar. Da mesma forma, ao fim da utilização, caso o fluido esteja corretamente especificado, pode haver o descarte no próprio oceano. Assim, preferiu-se não estudar a logística do fornecimento nessas fases, devido à sua simplicidade. Nas fases finais, em geral passa-se a trabalhar com fluido de base sintética, devido às características geológicas dessas fases. Como uma mesma sonda não possui capacidade em tanques suficiente para estocar os dois tipos de fluidos ao mesmo tempo, torna-se necessário, portanto, suprir a unidade com o tipo de fluido requerido em cada fase.

Fluidos devem permanecer em circulação no sistema continuamente conforme explicitado na Figura 6, não havendo consumo efetivo dos produtos. Entretanto, conforme a necessidade de fluidos circulantes aumenta, a quantidade de fluido nos tanques é diminuída, resultando em um consumo aparente, que será o objeto de estudo deste trabalho. Será considerado que essas demandas são proporcionais ao volume do poço e conseqüentemente também à profundidade perfurada, dado que há a necessidade de preenchimento do poço para que os fluidos continuem exercendo suas funções corretamente.

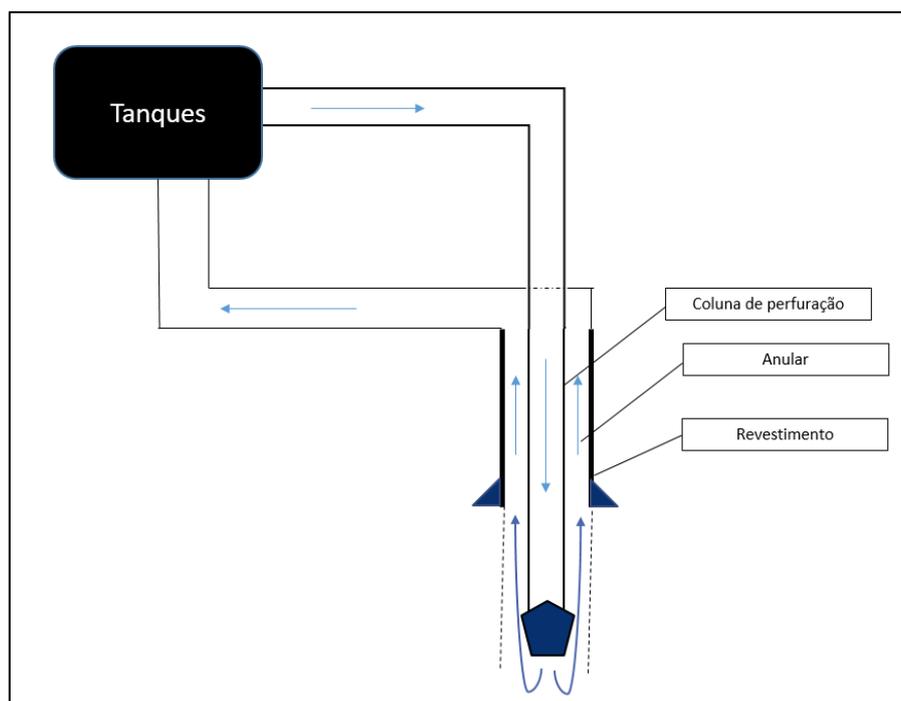


Figura 6. Sistema de circulação de fluidos de perfuração.

Na Figura 7 é apresentado um histograma com as demandas esperadas de acordo com a metodologia proposta por este trabalho, considerando-se apenas as fases em que há consumo de fluido de base sintética. A demanda se comporta com um pico durante a troca de fluidos e com um consumo menor diário ao longo dos períodos em que há perfuração e a profundidade do poço é aumentada.

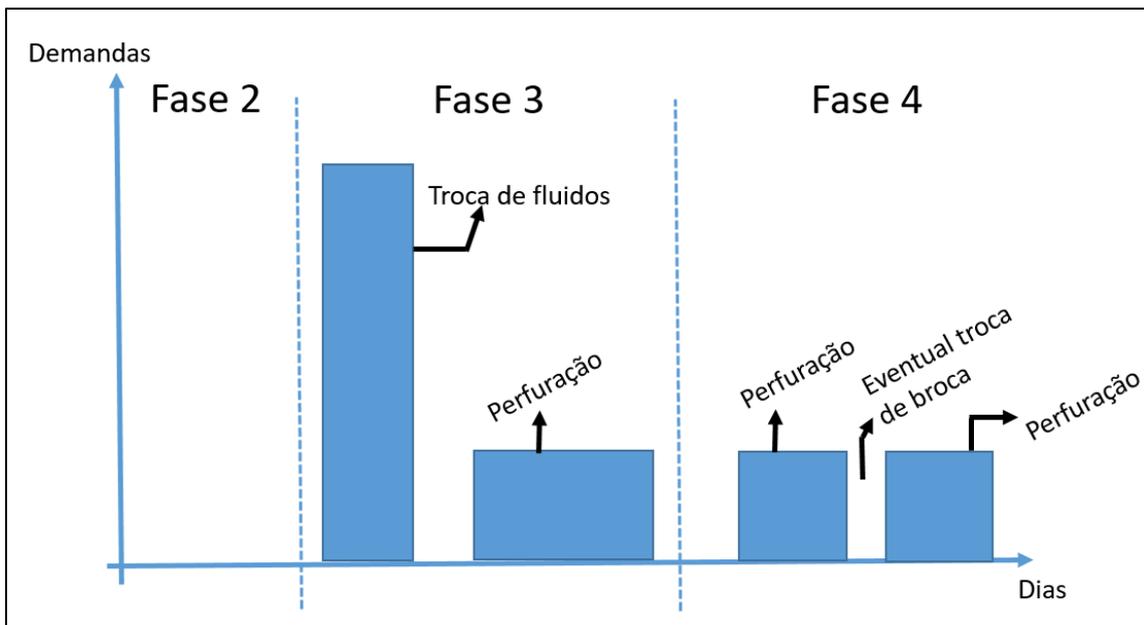


Figura 7. Padrão de demandas de fluidos ao longo da perfuração.

Em geral, unidades marítimas possuem estoques limitados (AAS *et al.*, 2008), por isso, torna-se essencial sua administração de forma correta. Estoques são necessários devido a diversos fatores, como, por exemplo, flutuações nas demandas e incertezas no suprimento (MULLER, 2011). No problema estudado, as flutuações na demanda ocorrem sobretudo devido às incertezas na duração de atividades prévias à perfuração e de atividades executadas durante a perfuração, podendo ter origens devido a eventos não planejados, como, por exemplo, necessidade de troca de broca ou formações geológicas não esperadas, de perfuração mais complexa. Quanto às incertezas no suprimento, deve-se lembrar que, por se tratar de ambiente *offshore*, o transporte é realizado por barcos e, por isso, apresenta uma série de complicadores.

Para o atendimento de sondas de perfuração *offshore*, os fluidos devem partir sempre de algum porto, que funcionam como armazéns, agregando estoques e servindo como pontos de partida para as rotas que levarão os produtos até os clientes. Antes de serem armazenados nos portos, os produtos podem vir de outros armazéns e pode haver um transporte terrestre envolvido, entretanto neste trabalho esses processos serão desconsiderados já que podem ser de competência de outras empresas. No Brasil, a mais importante companhia petrolífera utiliza uma série de portos: Angra dos Reis, Vila Velha (CPVV), Ilha d'água, Imbetiba, Itajaí, Rio de Janeiro, Samarco e Santos.

Entretanto, dentre estes portos, destaca-se o terminal de Imbetiba, em Macaé, que concentra 54% de todas as atividades e 78% de todas as atividades relacionadas a fluidos (LEITE, 2012). Como esses números são bastante expressivos e as instâncias deste trabalho consideram apenas unidades marítimas da Bacia de Campos, que são próximas a este porto, é feita a simplificação de que todos os clientes devem ser atendidos por este único porto. O porto de Macaé possui seis berços, dos quais um deles é exclusivo para o abastecimento de embarcações de fluidos (CHAGAS, 2015). Neste trabalho, admite-se que este berço é suficiente para todas as operações de carregamento, portanto capacidades de atendimento no porto são desconsideradas.

A base dos fluidos é transportada desde o porto até as unidades marítimas através de embarcações do tipo PSV (*platform supply vessel*) como as da Figura 8. No Brasil, a mais importante companhia petrolífera possui frotas dedicadas para tipos específicos de carga, dentre elas uma frota dedicadas a fluidos (LEITE, 2012), apesar de barcos PSV terem como característica a possibilidade de serem multipropósito (Aas *et al.*, 2008). Em geral, a base do fluido é transportada em tanques específicos e os outros aditivos que estejam em sacos, toneis e graneis podem ser transportados como carga de convés (LEITE, 2012).



Figura 8. Embarcações do tipo PSV ancoradas no porto de Macaé. Fonte: Acervo pessoal do autor.

O custo do aluguel e da operação de barcos de apoio pode ser considerado um dos maiores custos encontrados na logística *upstream*, isto é, na logística necessária para suprir unidades de produção e sondas. Por isso, o ideal é maximizar os dias em mar e a utilização da capacidade do PSV, apesar de que, devido aos altos custos de falta nas unidades marítimas, a logística deve ser planejada pensando também nos clientes (AAS *et al.*, 2008). No Brasil, o mercado do tipo *spot* ainda não é bem desenvolvido (LEITE, 2012), portanto contratos de aluguel são feitos apenas a longo prazo. Outros custos, como combustível e despesas portuárias, são de responsabilidade da companhia (LEITE, 2012).

Considera-se que ao sair do porto o PSV tenha seu tanque completamente abastecido, apresentando um volume de fluido igual à sua capacidade. O barco realiza então uma rota descarregando volumes de fluidos nas unidades marítimas de acordo com o pedido realizado por elas e recolhendo fluidos já utilizados. A rota chegará ao fim quando o volume carregado pelo barco estiver abaixo do ponto de ressuprimento ou quando houver necessidade de troca de turma. Neste trabalho, assume-se que, a cada dia, novas movimentações do barco são geradas a partir da alocação de demandas de clientes ao barco mais próximo que possua volume em tanques suficiente para atender o pedido e que não esteja já em viagem ou em atendimento. Considera-se que fluidos sintéticos podem ser reutilizados mais de uma vez em perfurações de mais de um poço, portanto *backloads* recolhidos podem ser reutilizados posteriormente em outros poços.

Segundo WINDECK (2013), no transporte marítimo existem dois níveis de planejamento: operacional e tático. O planejamento operacional é feito no dia-a-dia, sendo responsável pela definição de rotas e programação por exemplo. O planejamento tático é realizado para ações de longo prazo como ajustar o tamanho e as características da frota. Neste trabalho, busca-se desenvolver uma ferramenta que simule o planejamento operacional, definindo rotas para os próximos dias e quantidades que deverão ser entregues para manter o estoque em níveis aceitáveis. Pretende-se realizar neste trabalho uma análise que possibilite o planejamento tático, repetindo-se o planejamento diário tantos quanto forem os dias no horizonte de planejamento, através da simulação. Diferentes cenários de tamanho de frota serão testados sob algumas replicações e, ao final, os resultados serão avaliados. O objetivo é determinar um

tamanho de frota mínimo que seja suficiente para evitar faltas, testado sob diferentes replicações da simulação, com diferentes padrões de demandas estocásticos.

A partir das premissas apontadas até este ponto, resta a implementação desta lógica em uma ferramenta de simulação, cuja discussão aprofundada será objetivo do próximo capítulo.

4 Metodologia

Nesta seção, a estratégia utilizada para a resolução do problema é apresentada. Primeiramente, apresenta-se a formulação geral do problema, mostrando-se como a lógica se organiza. Nas seções seguintes, a formulação de cada um dos passos realizados ao longo da simulação é apresentada com maiores detalhes.

4.1 Formulação do Problema

O problema é tratado através de uma simulação. Segundo KELTON *et al.* (2010), em um modelo de simulação estão presentes entidades, atributos, variáveis, recursos, filas, estatísticas, eventos e tempo de simulação.

Entidades são elementos que se movem pelo sistema, mudam de estados, afetam outras entidades e afetam as medidas de saída do sistema; no caso deste trabalho são as embarcações do tipo PSV além do porto e sondas. Atributos são propriedades das entidades, ou seja, no problema simulado são propriedades como capacidade restante do PSV, indicador de disponibilidade do PSV e estoque na sonda. Variáveis globais são indicadores do sistema. Recursos são elementos que em algum momento são capturados por entidades e em um momento posterior liberados, no caso do presente problema, são os pedidos de fluidos. Filas existirão apenas em caso de indisponibilidade de embarcações. Como estatísticas coletadas, destaca-se a percentagem de dias em que ocorreu falta, percentagem média de utilização da frota, etc. Evento define-se como uma ação que ocorre na simulação em um determinado momento, podendo mudar atributos, variáveis e estatísticas; no caso do problema simulado são os carregamentos e descarregamentos de fluidos realizados pelo PSV no porto e nas unidades marítimas. O tempo de simulação não é contínuo, mas sim discreto, havendo atualizações diariamente.

Admite-se um horizonte de planejamento H e uma quantidade N de poços investigados. Pode-se determinar o conjunto $T_i=(i: 1,\dots,H)$ representando os tempos em

que cada planejamento diário é realizado, o conjunto $T_j=(j: 1, \dots, H)$ representando cada dia do passado ou do futuro cujos dados são analisados e o conjunto $W=(w: 1, \dots, N)$ representando cada um dos poços perfurados durante toda sua análise. A simulação consiste em um procedimento iterativo conforme o Algoritmo 1:

Algoritmo 1: Processo de simulação

```
1: for  $i \in I$  do
2:     for  $j \in J$  do
3:         for  $w \in W$  do
4:             Simulação( $i, j, w$ )
5:         end for
6:     end for
7: end for
```

A simulação consistirá, então, de um processo iterativo onde uma rotina será executada inúmeras vezes. Para explicar esta rotina, pode-se separá-la em dois núcleos: um responsável por determinar os níveis de estoque de cada unidade e disparar pedidos e outro núcleo responsável por simular a movimentação das embarcações na bacia e determinar sua disponibilidade. Esta integração entre os dois núcleos está na Figura 9, que mostra a lógica realizada para cada poço w em um determinado planejamento i para um dia j .

O restante desta seção está dedicado a explicar mais detalhadamente cada um desses núcleos, primeiramente focando na simulação de estoques e posteriormente na simulação da movimentação dos PSV.

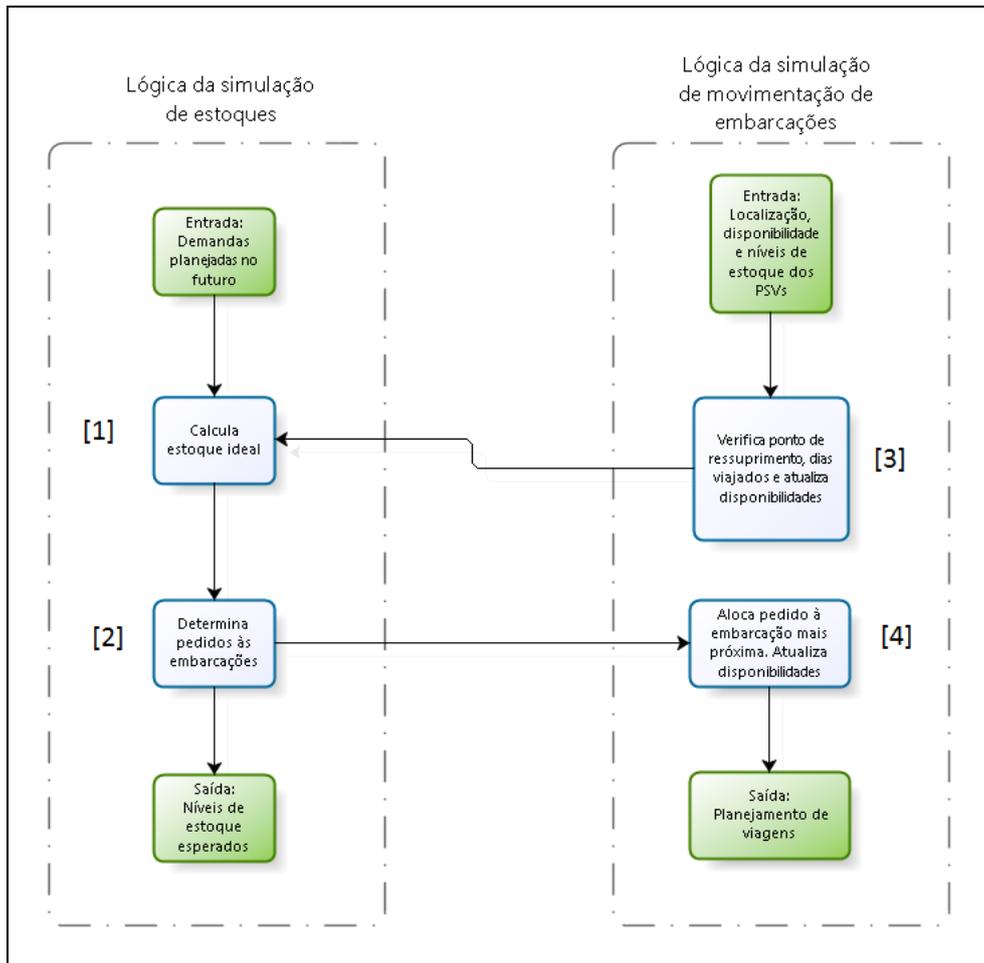


Figura 9. Lógica da simulação para cada poço w no planejamento do dia i para o dia j

4.1.1 Lógica da simulação de estoques

Os dados de entrada da simulação de estoques consistem em demandas planejadas em cada um dos dias i para cada um dos dias j , expressos em uma matriz de dimensão $H \times H$ com elementos $D(i, j)$.

O primeiro passo da lógica, compreendendo o processo [1] da Figura 9, consiste na determinação do estoque ideal para os próximos dias. Admite-se que a política de estoque seja tentar manter na unidade marítima quantidades de fluidos suficientes para a operação em uma certa quantidade de dias subsequentes, garantindo-se a operação por estes dias caso a visita de embarcação supridora seja impossibilitada. Ou seja, trata-se de um estoque de antecipação que seja suficiente ao menos para manter a operação em um número definido de dias no futuro, segundo uma certa previsão para as demandas. Assim, no modelo simulado, considera-se o estoque ideal como o somatório das

demandas de S dias adiante, sendo S um parâmetro determinado inicialmente. Esse estoque ideal não pode ser maior do que a capacidade da sonda:

$$I(i, t) = \sum_{i=j}^{j+S} D(i, j), \quad \text{Se } I(i, j) < C, \quad [4.1]$$

Ou:

$$I(i, t) = C \quad \text{Se } I(i, j) \geq C. \quad [4.2]$$

A seguir, como explicitado no processo [2] da Figura 9, precisa-se definir as quantidades entregues. Estes volumes são definidos desejando-se que, nos dias em que haja entregas, o estoque consiga chegar a seu valor ideal. Entretanto, caso durante o planejamento o barco já tenha saído para fazer entrega, os valores definidos anteriormente não podem ser alterados. Portanto, o valor entregue no dia j segundo o planejamento i será definido pela matriz $R(i, j)$ de acordo com a seguinte expressão:

$$R(i, j) = \begin{cases} I(i, j) + D(i, j) - P(i, j - 1) & \text{se } j > i + l \text{ e } E(j) = 1 \\ R(i - 1, j) & \text{se } i \leq j \leq i + l \text{ e } E(j) = 1 \\ 0 & \text{se } E(j) = 0 \end{cases} \quad [4.3]$$

Onde: $E(j)$ é um vetor de elementos binários que será igual a 1 nos dias em que se há entrega e 0 nos dias em que não haja entrega; l é o *lead-time*, ou seja, o tempo de viagem da embarcação desde sua última localização até esta nova posição; e $P(i, j)$ é a quantidade planejada para o estoque segundo o planejamento i para o dia j .

O estoque planejado em i para o dia j será então dado por:

$$P(i, j) = P(i, j - 1) - D(i, j) + R(i, j). \quad [4.4]$$

4.1.2 Lógica da simulação de movimentação de embarcações

Define-se o conjunto de clientes C como sendo a união do conjunto de poços W com o porto (para o qual é definido índice zero). Assim, $C = \{0, \dots, N\}$.

Define-se também a matriz L_b de dimensão $H \times H$ como uma matriz em que cada elemento $L_b(i,j)$ apresenta a localização do barco b no instante j segundo o planejamento i . $L_b(i,j)$ assumirá o valor dos índices dos clientes caso o barco esteja parado ou -1 quando estiver em viagem.

Já a matriz D_b de dimensão $H \times H$ é uma matriz binária onde $D_b(i,j)$ assume valor 1 para os dias j de cada planejamento i em que o barco b esteja em operação: viajando, efetuando abastecimento ou efetuando descarregamento.

Por fim, define-se a matriz N_b de dimensão $H \times H$ como uma matriz em que cada elemento $N_b(i,j)$ representa os níveis atuais de fluidos nos tanques do barco b no instante j segundo o planejamento i .

O primeiro passo da lógica de simulação é explicitado no processo [3] da Figura 9, que se repete para cada um dos barcos verificando se há necessidade de realizar uma viagem até o porto. Existem duas situações em que isso pode acontecer: chegou-se ao ponto de ressuprimento ou o número máximo de dias navegando foi excedido (devido à necessidade de troca de turma). Portanto, verifica-se se $N_b(i,j)$ está abaixo do ponto de ressuprimento ou se, de acordo com a matriz L_b , o tempo desde a última visita ao porto excede o número máximo. Se isto ocorrer, uma viagem ao porto deve ser realizada, alterando-se os valores de L_b e D_b . Na Figura 10, essa lógica é apresentada.

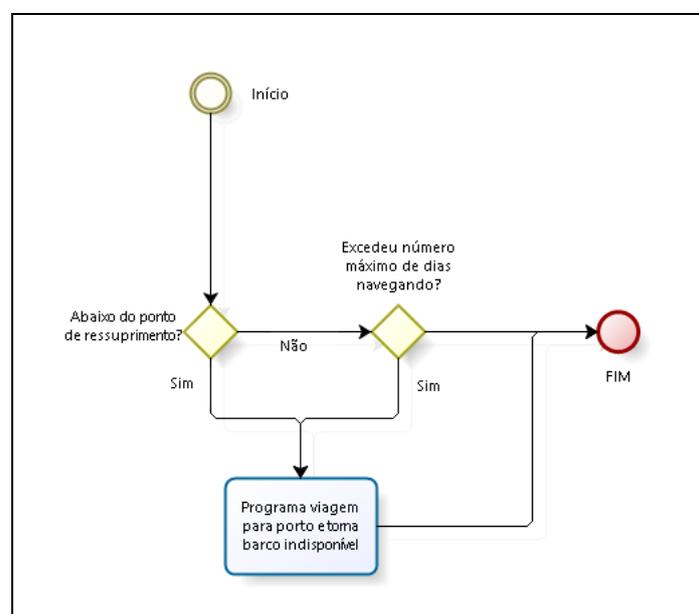


Figura 10. Lógica de programação de viagens para o porto para cada um dos barcos.

A seguir, escolhe-se o barco que atenderá à sonda em caso de ocorrência de pedido, como explicitado pelo processo [4] na Figura 9. É dada prioridade sempre ao barco que esteja mais próximo e que possua capacidade suficiente para atender à quantidade que seria demandada, entretanto, caso não haja nenhum barco com capacidade suficiente, aceita-se utilizar um barco com capacidade menor do que a necessária, fazendo entrega de apenas parte do pedido. Em casos mais extremos, em que nenhum barco possui qualquer capacidade ou todos estejam ocupados, o pedido não é entregue no dia correto, ocorrendo a entrega apenas na próxima viagem programada para a unidade. Esta lógica é apresentada na Figura 11.

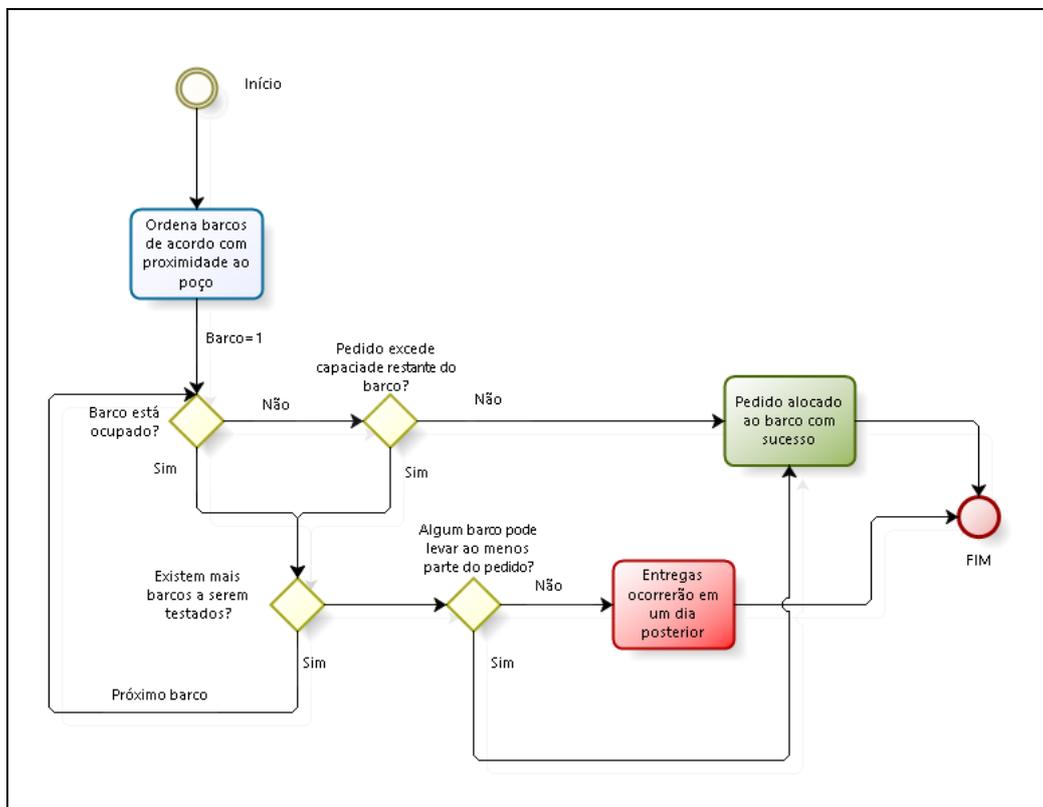


Figura 11. Lógica de escolha do barco

Com o barco escolhido, torna-se possível definir o *lead-time*. Neste trabalho, considerou-se que o *lead-time* seria igual ao tempo de viagem necessário para o barco escolhido realizar a viagem. Considera-se 3 velocidades possíveis para a embarcação: uma para o trecho porto-unidade, outra para o trecho unidade-unidade e outra para o

trecho unidade-porto. Com o *lead-time* calculado, são feitos os cálculos referentes à lógica de estoques explicitados anteriormente. Para os casos em que $R(i,j)$ é diferente de zero, ou seja, há pedidos, é então programada uma viagem, alterando-se os valores de $L_b(i,j)$ e $D_b(i,j)$.

Para os casos em que o poço já tenha tido a sua perfuração finalizada, é realizado o *backload* de todo o fluido utilizado. Como fluidos do tipo sintético podem ser reutilizados posteriormente em outros poços, ocorre na prática um abastecimento dos tanques do barco de apoio e lógica é semelhante à lógica de pedidos convencionais, entretanto os valores da demanda apresentam valores negativos. Em caso de a capacidade do barco ser excedida, é possibilitada a divisão deste *backload* em várias viagens. Entretanto, é estabelecido um período máximo após o final da perfuração para que esta atividade seja executada, já que se espera que, tão logo todas as atividades sejam finalizadas no poço, a sonda mova-se para outra localização.

5 Experimentações

Nesta seção, primeiramente é abordado o processo de criação de instâncias estocásticas para a simulação. Busca-se uma metodologia para gerar diferentes demandas para cada instância, mantendo-se o caráter realista dos dados. A seguir, é abordado o processo de experimentação, destacando-se a forma como os experimentos foram organizados e os parâmetros considerados na simulação.

5.1 Criação das instâncias

Nesta seção, é explicado o processo de criação de instâncias, que tem como objetivo gerar, em cada dia do horizonte de planejamento, uma previsão das demandas para cada um dos dias no futuro, dentro do horizonte de planejamento. Admite-se que as diferenças nos padrões de demandas são exclusivamente devido às alterações no tempo de execução de cada uma das atividades realizadas durante a operação da sonda. Portanto, o procedimento aqui descrito tem como objetivo primário gerar durações aleatórias para as atividades e, a partir destas durações, finalmente construir o padrão de demandas.

Há a disponibilidade dos dados de P10, P75 e média da duração de cada uma das atividades da perfuração, entretanto não há dados disponíveis de distribuições para estas variáveis. Há, também, a disponibilidade dos dados de quantidade consumida e tipo de fluido consumido durante cada fase. Ambos os dados são para um poço típico, com quatro fases, sendo que as duas primeiras utilizam fluido de base água e as duas últimas utilizando fluido sintético.

O primeiro objetivo consiste, portanto, em traduzir os percentis das durações de cada uma das atividades realizadas durante a perfuração em distribuições e posteriormente em números aleatórios. Para isso, assumiu-se que os dados podem ser ajustados a uma distribuição triangular. Esse tipo de distribuição é utilizado para populações com descrições subjetivas e dados limitados, o que é o caso deste presente

trabalho. Uma distribuição triangular é definida por três parâmetros: a , b e c , conforme na Figura 12. O parâmetro a define o valor em que a distribuição começa e o parâmetro b define o valor em que a distribuição termina. O parâmetro c é a moda da distribuição.

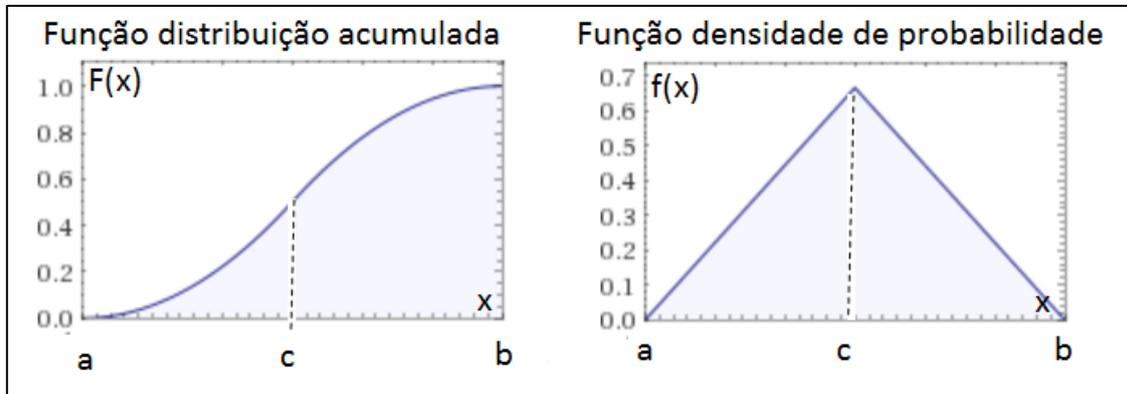


Figura 12. Características de uma distribuição triangular.

O percentil P é a probabilidade acumulada de uma distribuição correspondente a $P/100$ da amostra. Para uma distribuição triangular, a relação entre frequência acumulada F e os parâmetros a , b e c é dada por:

$$F(x) = \frac{(x - a)^2}{(b - a)(c - a)}, \text{ para } a \leq x \leq c \quad [5.1]$$

$$F(x) = 1 - \frac{(b - x)^2}{(b - a)(b - c)}, \text{ para } c \leq x \leq b. \quad [5.2]$$

Há também uma relação entre a média e os parâmetros dada por:

$$M = \frac{a + b + c}{3} \quad [5.3]$$

Há, então, três incógnitas a serem definidas: a , b e c . Estas variáveis podem ser correlacionadas ao percentil P10 ($F(x)=0,1$), ao percentil P75 ($F(x)=0,75$) e à média, perfazendo três equações. Há, portanto, um sistema com três equações e três incógnitas. Entretanto, antes da resolução do sistema, não há informações sobre a localização dos percentis na distribuição, isto é, se os percentis se encontram antes ou depois da moda. Por isso, torna-se necessário repetir o processo de solução do sistema considerando-se os três casos expressos na Figura 13.

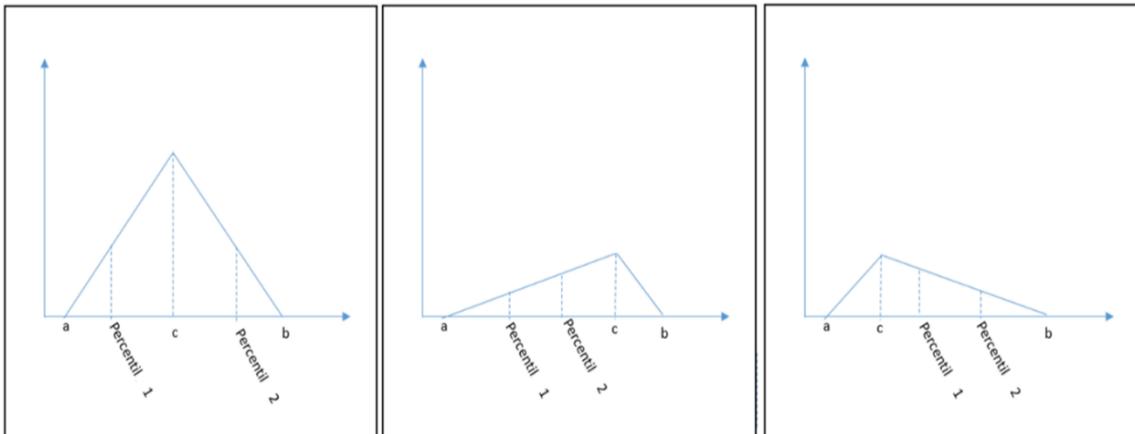


Figura 13. Casos considerados para a resolução do sistema de equações.

Assim, segundo o que for assumido, três diferentes sistemas podem ser resolvidos:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,1 = \frac{(x - a)^2}{(b - a)(c - a)} \\ 0,75 = 1 - \frac{(b - x)^2}{(b - a)(b - c)} \\ M = \frac{a + b + c}{3} \end{array} \right. \quad [5.4]$$

Ou:

$$\begin{cases} 0,1 = \frac{(x-a)^2}{(b-a)(c-a)} \\ 0,75 = \frac{(x-a)^2}{(b-a)(c-a)} \\ M = \frac{a+b+c}{3} \end{cases} \quad [5.5]$$

Ou:

$$\begin{cases} 0,1 = 1 - \frac{(b-x)^2}{(b-a)(b-c)} \\ 0,75 = 1 - \frac{(b-x)^2}{(b-a)(b-c)} \\ M = \frac{a+b+c}{3} \end{cases} \quad [5.6]$$

Ao final da resolução do sistema, o resultado é avaliado, determinando-se se ele é compatível com o que foi assumido.

Como há termos quadráticos, a solução foi obtida pelo método de Newton-Raphson, que apresenta uma abordagem iterativa para a definição das raízes de um sistema não-linear. Segundo URROZ (2004), considera-se inicialmente a expansão em série de Taylor de cada equação do sistema.

$$f(x) = f(x_0) + f'(x_0)(x - x_0) + \left(\frac{f''(x_0)}{2!}\right)(x - x_0)^2 + \dots \quad [5.7]$$

Cada raiz da função ocorre quando $f(x)$ assume valor zero. O método de Newton-Raphson consiste em utilizar recorrentemente a equação [5.7], obtendo cada solução $k+1$ a partir da equação [5.8]:

$$x_{k+1} = x_k - \frac{f(x_k)}{f'(x_k)} \quad [5.8]$$

Repete-se o processo até que haja convergência, ou seja:

$$|f(x_{k+1})| \leq \varepsilon \quad [5.9]$$

onde ε é um parâmetro definido pelo usuário que indica o erro admissível.

Com a determinação dos parâmetros, é possível gerar números aleatórios representando a duração de cada atividade. Para uma certa atividade, ao se realizar o somatório das durações do que ocorreu previamente, pode-se identificar seu tempo de início. Este procedimento é repetido para os planejamentos realizados a cada dia i . Atividades iniciadas antes do tempo i são consideradas como já realizadas e, portanto, as suas durações não serão mais alteradas.

Resta então transformar as durações de atividades em estimativas de demandas. Neste trabalho, admitiu-se que o consumo de fluido ocorrerá apenas durante o avanço de profundidade do poço e durante a troca de fluidos. O consumo diário de fluidos nesses dias será igual ao consumo da fase (descontando eventuais volumes utilizados na troca de fluido) dividido pelo número de dias em que ocorre perfuração. Para as fases cujo fluido seja diferente do utilizado na fase anterior, a demanda proveniente da troca de fluido ocorrerá exatamente no início desta fase.

Um exemplo de saída é representado na Figura 14. Nessa figura são expressos os volumes diários para cada dia nos planejamentos $i=1$, $i=50$ e $i=100$. O horizonte de planejamento foi considerado igual a 100 dias.

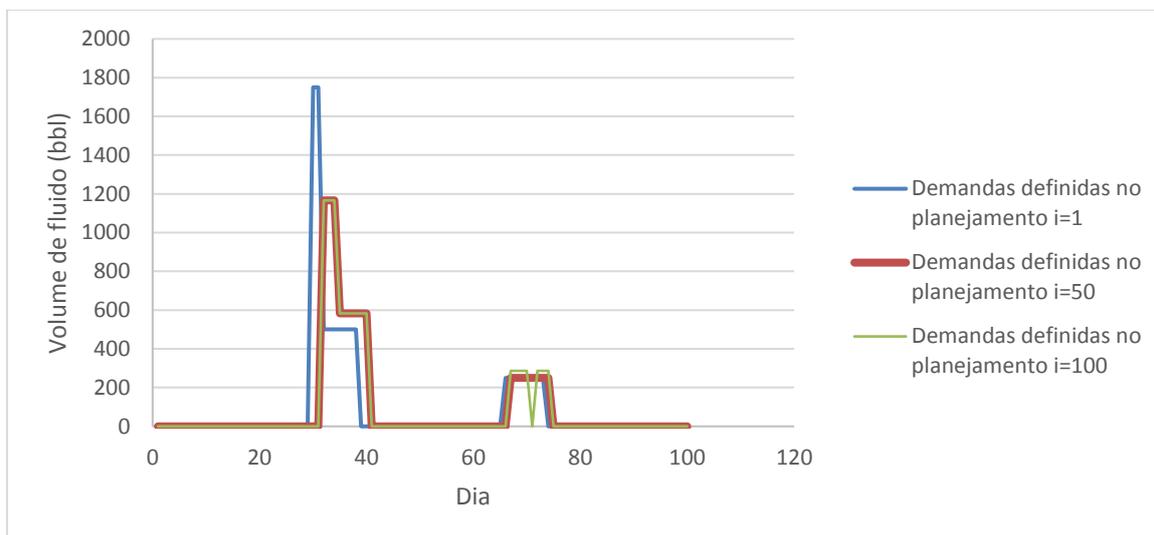


Figura 14. Representação gráfica da matriz de demandas utilizada para os testes.

Por exemplo, a curva azul da Figura 14 representa as estimativas para as demandas diárias segundo o planejamento realizado no dia 1. Segundo esse planejamento, até o dia 30, considera-se que estejam sendo executadas as fases 1 e 2 de construção do poço. Como nestas fases há a utilização de fluido de base água, não considerado neste trabalho, então a demanda diária de fluido sintético nestes dias é nula. Após o dia 31, considera-se que o poço entra na fase 3, passando a utilizar fluidos de base sintética, objeto de análise deste trabalho. Neste caso, sorteou-se uma duração de 2 dias para troca de fluidos, por isso, entre os dias 31 e 32 ocorre a substituição do fluido de base água pelo fluido de base sintética, justificando o pico de demanda diária registrado. Posteriormente, entre os dias 32 e 36, ocorre a perfuração da fase 3, registrando-se um consumo diário referente ao aumento do volume do poço durante estes dias. Após, são registrados alguns dias sem consumo de fluido, o que se justifica pela ocorrência de atividades que não demandam quantidades extras de fluidos, como recolhimento da coluna de perfuração, cimentação e assentamento do revestimento. Por fim, entre os dias 67 e 75, ocorre a perfuração da fase 4, resultado em consumos diários de fluidos.

Para cada planejamento i , a duração de cada uma das atividades sorteadas pode ser diferente, proporcionando diferenças nas datas de ocorrência destas demandas. A análise é discretizada em dias, por isso todo valor sorteado é arredondado para o inteiro mais próximo, inclusive, dependendo dos valores sorteados, pode-se considerar parada

de perfuração para a troca da broca, como observado no dia 75 pelo planejamento representado pela a curva verde da Figura 14.

5.2 Plano de experimentos

Considerou-se 50 poços perfurados nos experimentos. Escolheu-se esta quantidade poços haja vista que eles demandam um tempo para sua perfuração satisfatório para as análises estatísticas. Além disso, a simulação considerando esta quantidade de poços não apresenta tempos computacionais proibitivos.

As datas de início de perfuração, bem como localizações (expressas em latitude e longitude) foram obtidas a partir de ANP (2017b). Os dados foram filtrados, para que apenas fossem considerados poços da Bacia de Campos e perfurados pela maior companhia petrolífera brasileira. Escolheu-se trabalhar com os poços perfurados a partir de 01/01/2010, dada a maior quantidade de poços perfurados neste período em comparação com anos seguintes. Na Figura 15, explicita-se as localizações geográficas destes pontos. Na Tabela 1, estão sumarizados os dados dos poços considerados no experimento e o porto.

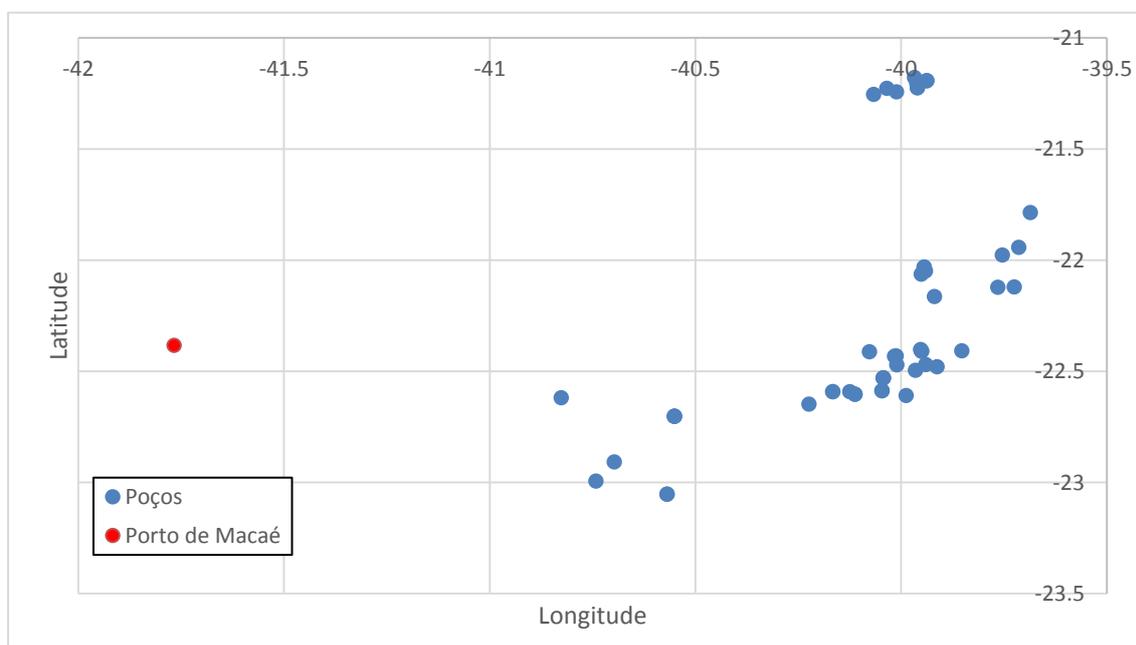


Figura 15. Localização dos poços e porto considerados nos experimentos

Tabela 1. Dados dos poços considerados nos experimentos.

| Nome Poço ANP | Data Início Perfuração | Latitude | Longitude | Nome Poço ANP | Data Início Perfuração | Latitude | Longitude |
|---------------|------------------------|--------------|-----------|---------------|------------------------|--------------|-----------|
| 1BRSA797RJS | 08/01/2010 | -22.61938389 | -40.8261 | 7MLS93HPRJS | 01/04/2010 | -22.60283139 | -40.1125 |
| 7MLL62HPRJS | 12/01/2010 | -22.46986056 | -39.9398 | 3BRSA823RJS | 16/04/2010 | -22.99341389 | -40.742 |
| 9MLS166DRJS | 12/01/2010 | -22.52995889 | -40.0432 | 7MLL52HPRJS | 20/04/2010 | -22.48049278 | -39.9124 |
| 9MLL45DRJS | 23/01/2010 | -22.40970389 | -39.9506 | 8CHT10HESS | 25/04/2010 | -21.17915861 | -39.9677 |
| 8AB118HPRJS | 24/01/2010 | -22.16363028 | -39.9193 | 7AB117HRJS | 29/04/2010 | -22.04887472 | -39.9409 |
| 7MRL203HRJS | 25/01/2010 | -22.47133528 | -40.0101 | 7BR67HPRJS | 02/05/2010 | -22.59205694 | -40.1664 |
| 1BRSA805RJS | 04/02/2010 | -22.90805417 | -40.6972 | 9MRL204DRJS | 03/05/2010 | -22.43189056 | -40.0157 |
| 7CHT9HESS | 11/02/2010 | -21.20480611 | -39.9616 | 9MA30DRJS | 06/05/2010 | -22.70170694 | -40.5507 |
| 7MLS167HPRJS | 12/02/2010 | -22.52995889 | -40.0432 | 9BFR4DESS | 17/05/2010 | -21.22445611 | -39.9601 |
| 9MLS92DRJS | 13/02/2010 | -22.60283139 | -40.1125 | 8JUB23HAESS | 01/06/2010 | -21.25487194 | -40.0666 |
| 6BRSA806RJS | 14/02/2010 | -22.64714694 | -40.2236 | 8MLS143HRJS | 02/06/2010 | -22.59202222 | -40.125 |
| 1BRSA807DRJS | 16/02/2010 | -23.05266472 | -40.5692 | 7MRL205HPRJS | 02/06/2010 | -22.43105722 | -40.0123 |
| 9BFR2DESS | 16/02/2010 | -21.19289583 | -39.9381 | 8BFR5HPESS | 09/06/2010 | -21.22445611 | -39.9601 |
| 7MLL46HPRJS | 17/02/2010 | -22.40970389 | -39.9506 | 9ABL77DRJS | 11/06/2010 | -22.12204889 | -39.7651 |
| 7MLL53HRJS | 17/02/2010 | -22.4953525 | -39.965 | 9AB102DPRJS | 16/06/2010 | -22.03167667 | -39.9438 |
| 1BRSA807DARJS | 22/02/2010 | -23.05266472 | -40.5692 | 7MA31HPRJS | 16/06/2010 | -22.70170694 | -40.5507 |
| 6BRSA811DRJS | 26/02/2010 | -22.12007556 | -39.7252 | 9MLS168DRJS | 20/06/2010 | -22.58701472 | -40.0467 |
| 9RO95DRJS | 01/03/2010 | -21.97759611 | -39.7543 | 7JUB19HESS | 25/06/2010 | -21.24306944 | -40.0115 |
| 7RO92DRJS | 05/03/2010 | -21.94336444 | -39.7143 | 7AB103HPRJS | 28/06/2010 | -22.03167667 | -39.9438 |
| 7MLS167HPRJS | 07/03/2010 | -22.52995889 | -40.0432 | 7MA31HPRJS | 28/06/2010 | -22.70170694 | -40.5507 |
| 7BFR3HPESS | 09/03/2010 | -21.19289583 | -39.9381 | 8JUB20HESS | 02/07/2010 | -21.22764056 | -40.0351 |
| 7MLL49HRJS | 11/03/2010 | -22.40282833 | -39.9524 | 1BRSA847ESS | 02/07/2010 | -21.78552528 | -39.686 |
| 6BRSA817RJS | 14/03/2010 | -22.40812972 | -39.8527 | 9MLS154DRJS | 04/07/2010 | -22.60946472 | -39.9877 |
| 7AB114HRJS | 22/03/2010 | -22.06364972 | -39.9513 | 9MLS162DRJS | 06/07/2010 | -22.58701472 | -40.0467 |
| 9BR66DRJS | 31/03/2010 | -22.59205694 | -40.1664 | 7MRL207HRJS | 09/07/2010 | -22.41244583 | -40.0768 |

Segundo THOMAS (2001), a quantidade de fases depende das características das zonas perfuradas e da profundidade do poço, havendo geralmente entre três e quatro fases, chegando a até oito fases em situações mais raras. Assim, considerou-se uma boa aproximação poços com 4 fases. Os valores das demandas de cada fase em barris são baseados em um poço tipo de uma importante companhia petrolífera brasileira e estão na Tabela 2. Neste trabalho, apenas as demandas de base sintética serão consideradas durante a análise.

Tabela 2. Consumo de fluidos considerado em cada fase.

| Fase | Consumo de base água (bbl) | Consumo de base sintética (bbl) |
|-------------|-----------------------------------|--|
| 1 | 1500 | |
| 2 | 2000 | |
| 3 | | 3500 (trocados) + 3500(consumidos) |
| 4 | | 2000 |

Segundo ZAMORA *et al.* (2000), sondas de perfuração possuem capacidades nos tanques para fluidos entre 12.000 bbl e 16.000 bbl. Buscando-se simular o pior cenário, neste trabalho, considerou-se uma capacidade homogênea para cada sonda de 12.000 bbl.

Considerou-se um horizonte de tempo de 200 dias. Foi feita esta escolha já que, com este horizonte, ainda consegue-se terminar a simulação com a operação de perfuração em plena atividade, não afetando estatísticas.

Segundo ZAMORA *et al.* (2000), barcos de suprimento de fluidos apresentam capacidades de 3.000 bbl a 6.000 bbl. Buscando-se simular o pior cenário, considerou-se que a frota seria homogênea, com cada barco contando com capacidade de 3.000 bbl. Considerou-se que os barcos apresentam velocidades médias diferentes para o trecho porto-unidade, unidade-unidade e unidade-porto, baseados em valores reais utilizados por uma companhia petrolífera. O ponto de ressuprimento foi considerado 500 bbl. Além disso, considerou-se que os barcos podem ficar no máximo 21 dias navegando, devido à necessidade de troca de turma. Considerou-se ainda que o *backload* pode ser recolhido no máximo 20 dias após o final da perfuração.

A simulação foi programada em R. Durante a geração de demandas, foi utilizado o pacote *rootsolve* para encontrar a solução do sistema de equações e o pacote *mc2d* para gerar números aleatórios segundo os parâmetros da distribuição triangular. Além disso, utilizou-se o pacote *WriteXLS* para gerar saídas em *Microsoft Excel*. Na Figura 16 e na Figura 17, é apresentada a interface do programa desenvolvido, destacando-se o trecho do código onde encontram-se os parâmetros que precisam ser definidos pelo usuário.

```

time_begin<-proc.time()
require(WriteXLS)

#####Definition of parameters#####
Number_of_replications<<-1

#Mode: 1=Generate standard demands
#       2=Generate demands with emergency occurrence
#       3=Read demands from external CSV file
#       4=Read demands from external CSV file and add emergencies
Mode<-1

#Day of emergency: 1=Random
#                   2=First day of phase 3 drilling
#                   3=Middle of phase 3 drilling
#                   4=Last day of phase 3 drilling
#                   5=First day of phase 4 drilling
#                   6=Middle of phase 4 drilling
#                   7=Last day of phase 4 drilling
#                   8=Choose a day on phase 3
Day_of_emergency<-3
Day_number<-9
Emergency_volume<-5000

#Delivery days: 1=every 3 days
#               2=on the beginning of each phase
Delivery_days<-1

#We need to define number of maritime units attended by warehouse:
#Note: If we are importing demands data from CSV file, this
#number should be equal to the number of CSV files
Quantity_MU<-50

#We need to define parameters of maritime unit:
Safety_stock_level_MU<-6
Add_virtual_demands<-0
Capacity_MU<-12000
Lead_time_MU<-4
Safety_stock<-0

```

Figura 16. Parte 1 da interface do programa desenvolvido.

```

#We need to define parameters of warehouse:
Safety_stock_level_warehouse<-6
Capacity_warehouse<-50000
Lead_time_warehouse<-5

#We must define if emergency deliveries can occur, in case of shortage
Emergency_deliveries_allowed<-0

#Planning time horizon
Time_horizon<-200
Time_horizon_well<-100

#Parameters of the PSV(Speed in Knots)
Speed_Port_MU<-7.6
Speed_MU_MU<-5.2
Speed_MU_Port<-7.9
Number_of_PSV<-14
unique_MU_per_trip<-0
Capacity_PSV<-3000
resupply_point<-500
max_days_navigating<-21
max_days_backload<-20

#Parameters of the routing
Latitude_Port<-(-22.383761)
Longitude_Port<-(-41.767097)

#We also need to define file path where input and output files should be
File_path<-'C:/Users/Rafael/iCloudDrive/dissertacao/experimentos macbook

```

Figura 17. Parte 2 da interface do programa desenvolvido.

Busca-se fazer uma análise de sensibilidade para o tamanho da frota. Assim, considerou-se 6 cenários com as seguintes frotas: 11, 12, 13, 14, 15 ou 16 barcos. Escolheu-se estes tamanhos de frota objetivando a análise de um cenário em que todas as replicações resultam em falta de produtos, um cenário em que em nenhuma replicação há faltas de produtos, além de todos os cenários intermediários. Foram realizadas 10 replicações, totalizando-se assim 60 experimentos diferentes

Para executar as simulações foram utilizadas três máquinas, objetivando-se um menor tempo computacional e a análise de como a simulação se comporta em diferentes configurações. A máquina 1 possui a seguinte configuração: Intel Core I7, com 8GB de memória RAM. A máquina 2 possui a seguinte configuração: Processador Intel Core i5, com 8GB de memória RAM. A máquina 3 possui a seguinte configuração: Processador Intel Core 2 Duo, com 4GB de memória RAM.

Na Tabela 3 este plano de experimentos é explicitado.

Tabela 3. Plano de experimentos.

| | 11 PSVs | 12 PSVs | 13 PSVs | 14 PSVs | 15 PSVs | 16 PSVs |
|---------------|---|---|---|---|---|---|
| Replicação 1 | Experimento 1 Máquina 1 Experimentos em execução: 1 | Experimento 2 Máquina 1 Experimentos em execução: 2 | Experimento 3 Máquina 1 Experimentos em execução: 3 | Experimento 4 Máquina 1 Experimentos em execução: 4 | Experimento 5 Máquina 1 Experimentos em execução: 5 | Experimento 6 Máquina 1 Experimentos em execução: 6 |
| Replicação 2 | Experimento 7 Máquina 2 Experimentos em execução: 7 | Experimento 8 Máquina 2 Experimentos em execução: 8 | Experimento 9 Máquina 2 Experimentos em execução: 9 | Experimento 10 Máquina 2 Experimentos em execução: 10 | Experimento 11 Máquina 2 Experimentos em execução: 11 | Experimento 12 Máquina 2 Experimentos em execução: 12 |
| Replicação 3 | Experimento 13 Máquina 2 Experimentos em execução: 13, 14, 15, 16, 17, 18 | Experimento 14 Máquina 2 Experimentos em execução: 13, 14, 15, 16, 17, 18 | Experimento 15 Máquina 2 Experimentos em execução: 13, 14, 15, 16, 17, 18 | Experimento 16 Máquina 2 Experimentos em execução: 13, 14, 15, 16, 17, 18 | Experimento 17 Máquina 2 Experimentos em execução: 13, 14, 15, 16, 17, 18 | Experimento 18 Máquina 2 Experimentos em execução: 13, 14, 15, 16, 17, 18 |
| Replicação 4 | Experimento 19 Máquina 3 Experimentos em execução: 19 e 25 | Experimento 20 Máquina 3 Experimentos em execução: 20 e 26 | Experimento 21 Máquina 3 Experimentos em execução: 21 e 27 | Experimento 22 Máquina 3 Experimentos em execução: 22 e 28 | Experimento 23 Máquina 3 Experimentos em execução: 23 e 29 | Experimento 24 Máquina 3 Experimentos em execução: 24 e 30 |
| Replicação 5 | Experimento 25 Máquina 3 Experimentos em execução: 19 e 25 | Experimento 26 Máquina 3 Experimentos em execução: 20 e 26 | Experimento 27 Máquina 3 Experimentos em execução: 21 e 27 | Experimento 28 Máquina 3 Experimentos em execução: 22 e 28 | Experimento 29 Máquina 3 Experimentos em execução: 23 e 29 | Experimento 30 Máquina 3 Experimentos em execução: 24 e 30 |
| Replicação 6 | Experimento 31 Máquina 2 Experimentos em execução: 31, 37 e 43 | Experimento 32 Máquina 2 Experimentos em execução: 32, 38 e 44 | Experimento 33 Máquina 2 Experimentos em execução: 33, 39 e 45 | Experimento 34 Máquina 2 Experimentos em execução: 34, 40 e 46 | Experimento 35 Máquina 2 Experimentos em execução: 35, 41 e 47 | Experimento 36 Máquina 2 Experimentos em execução: 36, 42 e 48 |
| Replicação 7 | Experimento 37 Máquina 2 Experimentos em execução: 31, 37 e 43 | Experimento 38 Máquina 2 Experimentos em execução: 32, 38 e 44 | Experimento 39 Máquina 2 Experimentos em execução: 33, 39 e 45 | Experimento 40 Máquina 2 Experimentos em execução: 34, 40 e 46 | Experimento 41 Máquina 2 Experimentos em execução: 35, 41 e 47 | Experimento 42 Máquina 2 Experimentos em execução: 36, 42 e 48 |
| Replicação 8 | Experimento 43 Máquina 2 Experimentos em execução: 31, 37 e 43 | Experimento 44 Máquina 2 Experimentos em execução: 32, 38 e 44 | Experimento 45 Máquina 2 Experimentos em execução: 33, 39 e 45 | Experimento 46 Máquina 2 Experimentos em execução: 34, 40 e 46 | Experimento 47 Máquina 2 Experimentos em execução: 35, 41 e 47 | Experimento 48 Máquina 2 Experimentos em execução: 36, 42 e 48 |
| Replicação 9 | Experimento 49 Máquina 1 Experimentos em execução: 49 e 55 | Experimento 50 Máquina 1 Experimentos em execução: 50 e 56 | Experimento 51 Máquina 1 Experimentos em execução: 51 e 57 | Experimento 52 Máquina 1 Experimentos em execução: 52 e 58 | Experimento 53 Máquina 1 Experimentos em execução: 53 e 59 | Experimento 54 Máquina 1 Experimentos em execução: 54 e 60 |
| Replicação 10 | Experimento 55 Máquina 1 Experimentos em execução: 49 e 55 | Experimento 56 Máquina 1 Experimentos em execução: 50 e 56 | Experimento 57 Máquina 1 Experimentos em execução: 51 e 57 | Experimento 58 Máquina 1 Experimentos em execução: 52 e 58 | Experimento 59 Máquina 1 Experimentos em execução: 53 e 59 | Experimento 60 Máquina 1 Experimentos em execução: 54 e 60 |

6 Resultados

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos através da experimentação. Inicialmente, a estratégia adotada para a criação de instâncias será avaliada e seus resultados serão validados. Ao final, o foco serão os resultados da ferramenta de simulação, propiciando uma análise tática da operação relativa à definição do tamanho da frota.

6.1 Validação

Para avaliar a metodologia, o procedimento de geração de demandas foi repetido diversas vezes e os valores das médias e percentis obtidas a partir desta simulação foram comparados com os valores originais. A partir disso, foi possível avaliar a discrepância entre valores simulados e valores originais. Os resultados, de acordo com o número de replicações, estão registrados nas Figura 18, Figura 19 e Figura 20.

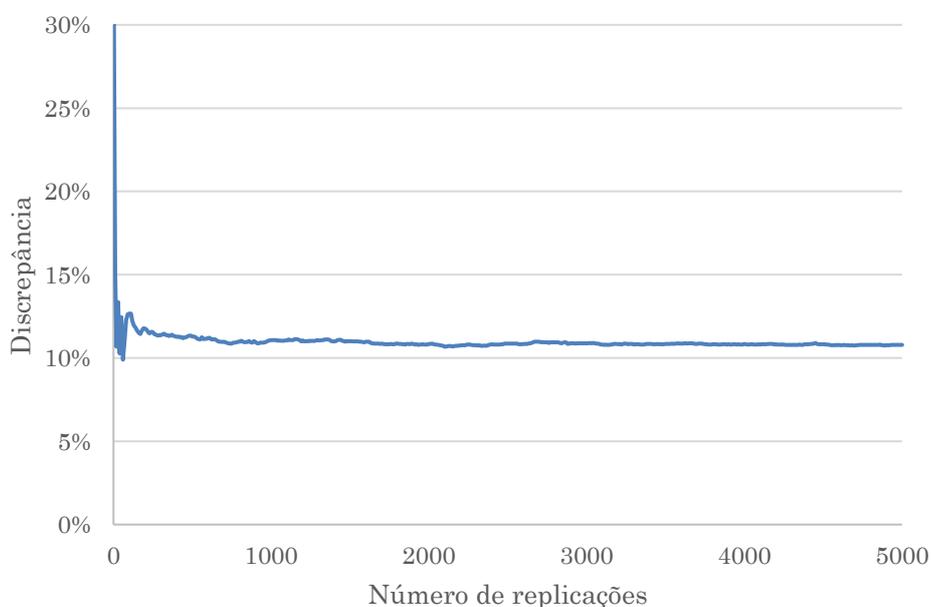


Figura 18. Discrepância entre o valor simulado e o real para o P10

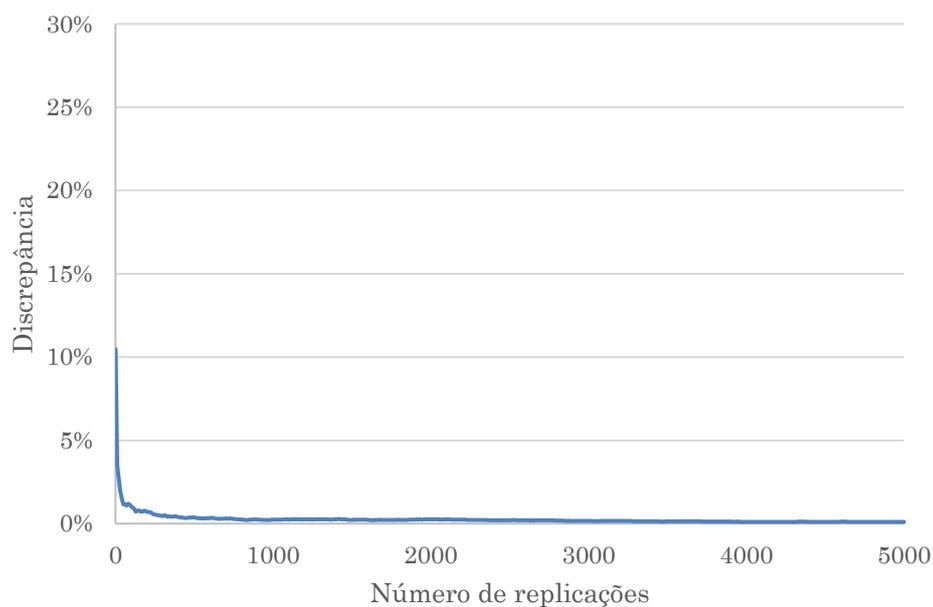


Figura 19. Discrepância entre o valor simulado e o real para o percentil 2.

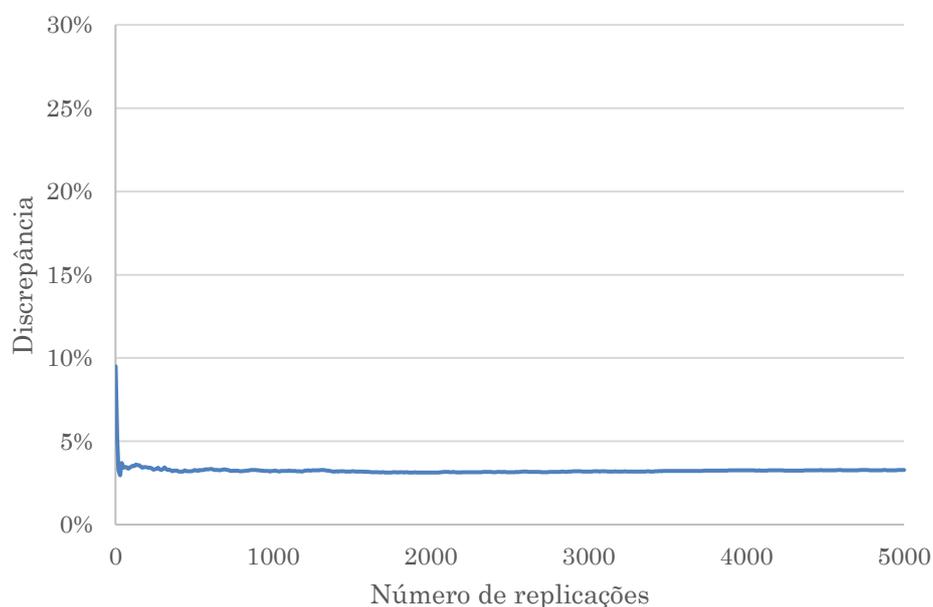


Figura 20. Discrepância entre os valores simulados e os reais para a média.

Após 5.000 replicações, a discrepância para a média é de 0,1%, para o P10 é de 10,78% e de 3,27% para o P75. Inclusive, com muito menos replicações, já existem valores semelhantes. Dado estes resultados, pode-se considerar que a metodologia apresentou bons resultados e representa bem a realidade.

6.2 Análise dos resultados

Para a obtenção de estatísticas representativas da realidade, a análise deve ignorar quaisquer resultados anteriores ao tempo de aquecimento, portanto, é primordial a determinação deste parâmetro. Para isso, deve-se analisar alguma variável da operação do processo simulado, buscando-se o dia em que os valores se estabilizam, neste trabalho optou-se por utilizar o número de barcos em atividade a cada dia para determinar o tempo de aquecimento. Na Figura 21 é apresentada, para cada cenário, a média do número de barcos em atividade a cada dia, considerando as dez replicações.

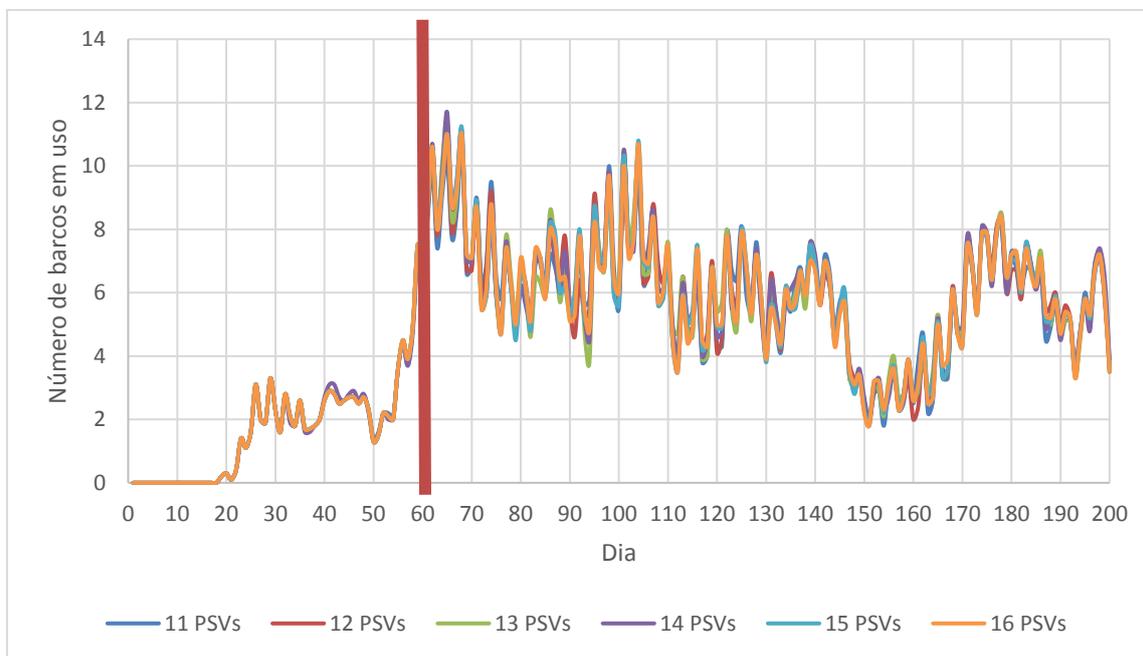


Figura 21. Média do número de barcos em atividade a cada dia para cada cenário.

Para identificar a estabilização deste parâmetro, recorreu-se a análise do comportamento da média móvel, conforme o método de Welch, explicitado em GOMES *et al.* (2011). Considera-se que o tempo de aquecimento foi atingido a partir do momento em que os valores da média móvel se estabilizam. Na Figura 22, para cada instante de tempo, são apresentadas as médias móveis considerando as 10 observações

anteriores. Nota-se por inspeção visual que há uma estabilização dos valores para todos os cenários considerados a partir do dia 60, por isso foi estabelecido o tempo de aquecimento como 60 dias. Visualmente, nos dados brutos presentes na Figura 21 o mesmo também pode ser observado.

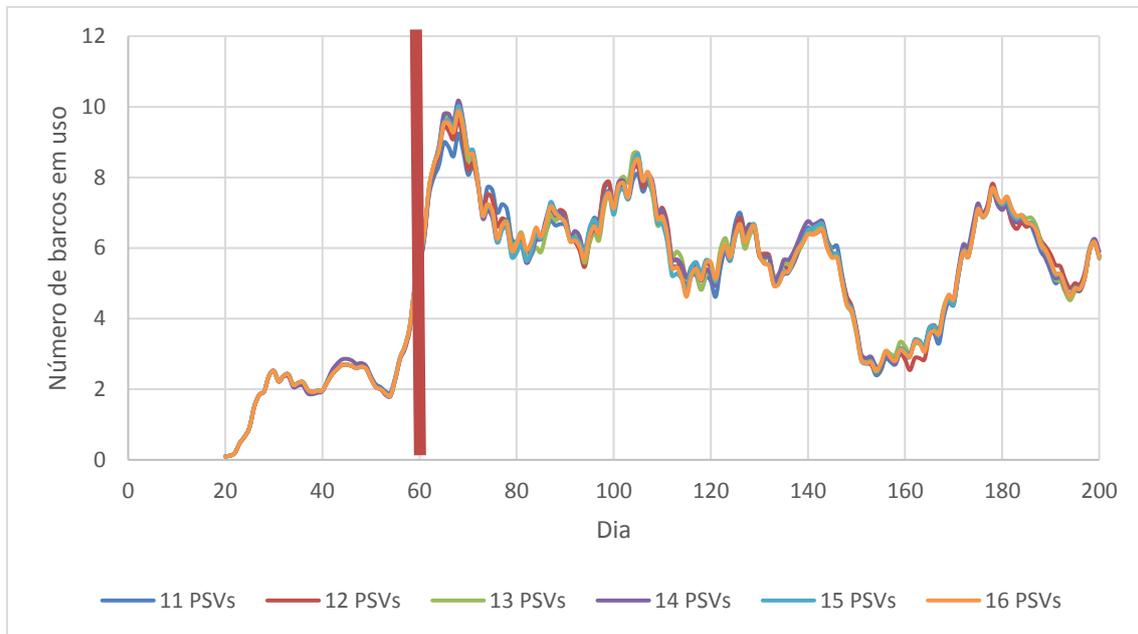


Figura 22. Análise do número de barcos em atividade a partir da média móvel.

É possível obter uma grande variedade de resultados a partir da ferramenta desenvolvida. Podem ser obtidos, para cada sonda, níveis de estoque e quantidades requeridas, por exemplo, como explicita-se na Figura 23, onde são apresentados os resultados obtidos para nível de estoque da sonda que atende ao poço 25 para cada uma das replicações, considerando o cenário de uma frota de 16 barcos. Há dois picos no estoque, em resposta aos consumos nas fases 3 e 4 da construção do poço. Devido à estocasticidade do dia de ocorrência das demandas, os níveis de estoque apresentam variações relacionadas sobretudo a sua data de ocorrência. Resultados completos para todos os 50 poços considerados na replicação 1 do cenário com 16 barcos são apresentados no Anexo A. Resultados para todas as dez replicações foram obtidos, mas optou-se por apresentar neste anexo apenas uma destas devido à sua grande extensão.

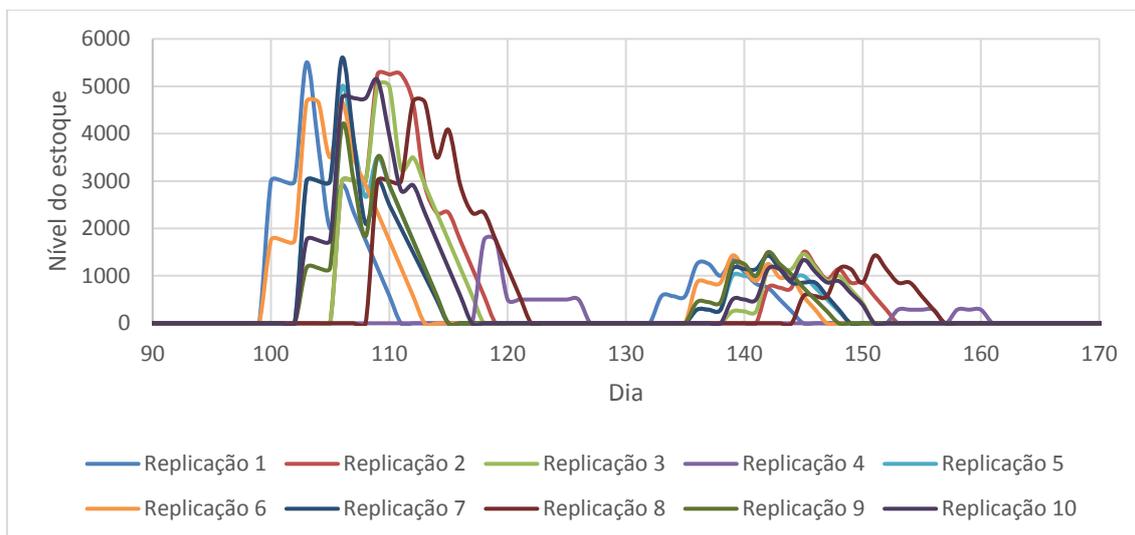


Figura 23. Níveis de estoque por dia para a sonda que abastece o poço 25.

Da mesma forma, a ferramenta torna possível determinar planejamentos das viagens dos barcos de apoio. É possível obter os arcos percorridos em cada viagem, bem como a quantidade entregue ou recolhida em cada local. Por exemplo, explicita-se na Figura 24 e Figura 25 algumas das viagens realizadas pelo barco 1, na primeira replicação do cenário de 16 barcos.

Na Figura 24 é apresentada a rota percorrida pelo barco 1 desde o dia 82 até o dia 89. Neste caso, o barco é abastecido no porto e realiza dois atendimentos, nos poços 21 e 22. Após o segundo atendimento, o nível de estoque na embarcação fica abaixo do ponto de ressuprimento, retornando-se ao porto.

Na Figura 25, uma rota percorrida pelo barco 1 desde o dia 89 até o dia 112, assim como o estoque desta embarcação ao longo de suas paradas. Nos primeiros dias da rota, há o carregamento dos tanques do barco no porto e atendimento a algumas unidades. No dia 101, o barco é atende ao poço 7 para recolher *backload*, completando os tanques do barco. A seguir, continua-se normalmente os atendimentos de *load* e *backload*. No dia 112, o limite de dias navegando é atingido e a embarcação deve voltar ao porto.

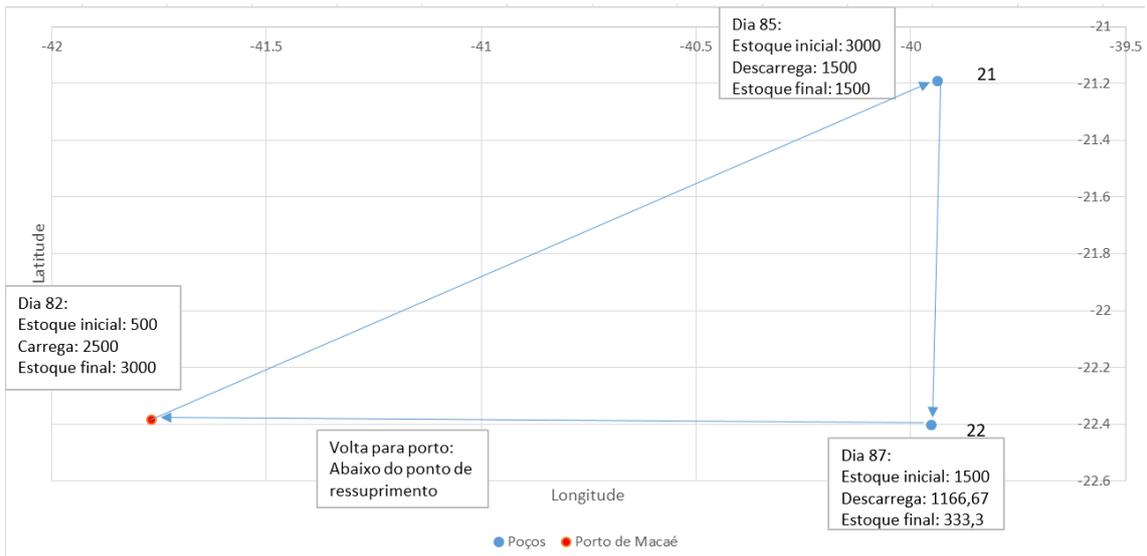


Figura 24. Rotas percorridas pelo barco 1 desde o dia 84 até o dia 89.

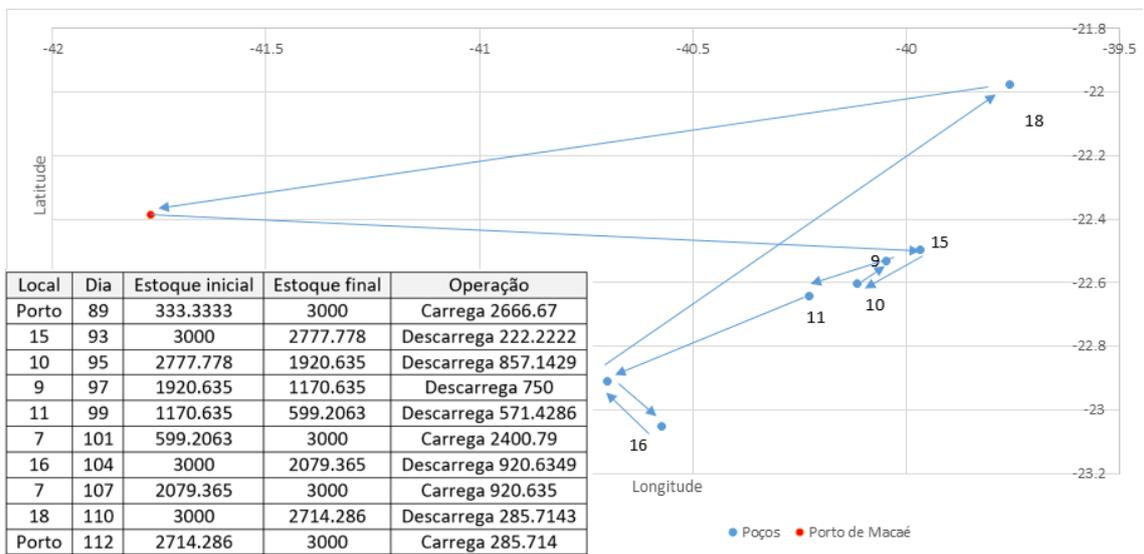


Figura 25. Rota percorrida pelo barco 1 desde o dia 89 até o dia 112.

Resultados completos para todos os 16 barcos na replicação 1 do cenário de 16 barcos são apresentados no Anexo B. Apesar de resultados para todas as replicações estarem disponíveis, optou-se por apresentar apenas uma delas devido à grande extensão dos resultados.

O objetivo primordial deste trabalho é, após a simulação, escolher a partir dos 6 cenários qual tamanho de frota deveria ser escolhido. Como fluidos de perfuração são primordiais e é imprescindível que não haja falta, deve ser escolhido um tamanho de frota que garanta 100% de atendimento, considerando a estocasticidade da demanda representada pelas 10 replicações realizadas. Considera-se que houve falta se em algum dia nível de estoque de alguma sonda assumiu algum valor negativo. Para todos os resultados, desconsiderou-se qualquer resultado anterior ao tempo de aquecimento. Por exemplo, para a replicação 6 do cenário com frota de 11 embarcações, em 0,477% dos dias há faltas. A sonda que atende ao poço 16 apresenta níveis de estoques negativos, devido à falta de capacidade de atendimento pela frota considerada no cenário. Na Figura 26, este resultado é explicitado.

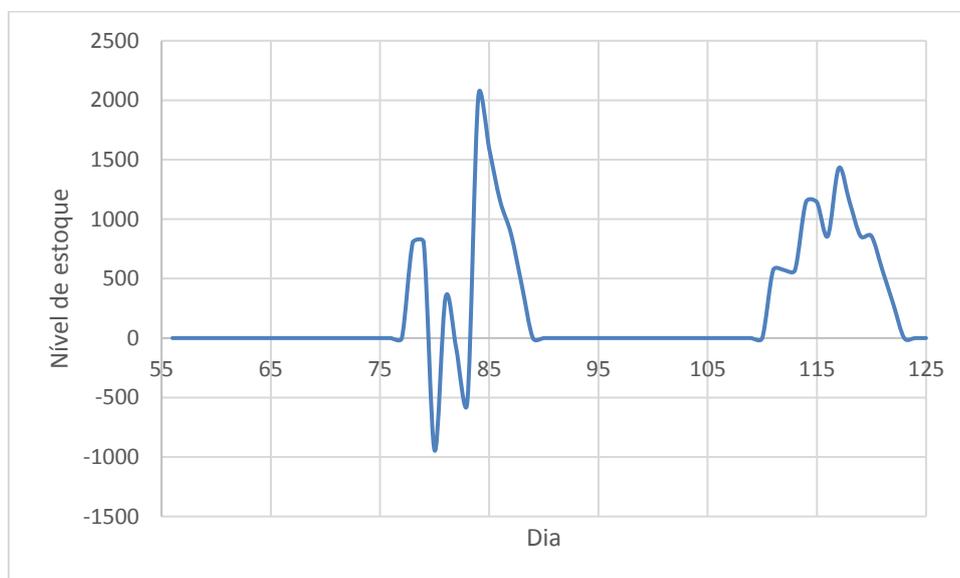


Figura 26. Nível de estoque por dia para o caso de uma sonda com falta de produtos.

A mesma análise foi realizada em todos os experimentos. Na Tabela 4, explicitam-se estes resultados.

Tabela 4. Análise da ocorrência de faltas de produtos nos experimentos.

| | 11 PSVs | 12 PSVs | 13 PSVs | 14 PSVs | 15 PSVs | 16 PSVs |
|---------------|----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Replicação 1 | Experimento 1 Há falta | Experimento 2 Há falta | Experimento 3 Há falta | Experimento 4 Há falta | Experimento 5 Pedidos atendidos | Experimento 6 Pedidos atendidos |
| Replicação 2 | Experimento 7 Há falta | Experimento 8 Há falta | Experimento 9 Pedidos atendidos | Experimento 10 Pedidos atendidos | Experimento 11 Pedidos atendidos | Experimento 12 Pedidos atendidos |
| Replicação 3 | Experimento 13 Há falta | Experimento 14 Há falta | Experimento 15 Há falta | Experimento 16 Pedidos atendidos | Experimento 17 Pedidos atendidos | Experimento 18 Pedidos atendidos |
| Replicação 4 | Experimento 19 Há falta | Experimento 20 Há falta | Experimento 21 Há falta | Experimento 22 Pedidos atendidos | Experimento 23 Pedidos atendidos | Experimento 24 Pedidos atendidos |
| Replicação 5 | Experimento 25 Há falta | Experimento 26 Há falta | Experimento 27 Pedidos atendidos | Experimento 28 Pedidos atendidos | Experimento 29 Pedidos atendidos | Experimento 30 Pedidos atendidos |
| Replicação 6 | Experimento 31 Há falta | Experimento 32 Há falta | Experimento 33 Há falta | Experimento 34 Pedidos atendidos | Experimento 35 Pedidos atendidos | Experimento 36 Pedidos atendidos |
| Replicação 7 | Experimento 37 Há falta | Experimento 38 Pedidos atendidos | Experimento 39 Pedidos atendidos | Experimento 40 Pedidos atendidos | Experimento 41 Pedidos atendidos | Experimento 42 Pedidos atendidos |
| Replicação 8 | Experimento 43 Há falta | Experimento 44 Há falta | Experimento 45 Há falta | Experimento 46 Pedidos atendidos | Experimento 47 Pedidos atendidos | Experimento 48 Pedidos atendidos |
| Replicação 9 | Experimento 49 Há falta | Experimento 50 Há falta | Experimento 51 Há falta | Experimento 52 Há falta | Experimento 53 Pedidos atendidos | Experimento 54 Pedidos atendidos |
| Replicação 10 | Experimento 55 Há falta | Experimento 56 Há falta | Experimento 57 Há falta | Experimento 58 Há falta | Experimento 59 Há falta | Experimento 60 Pedidos atendidos |

Define-se o nível de serviço como a percentagem dos dias até o final da perfuração em que o estoque apresenta valores maiores ou iguais a zero, ou seja, dias em que não há falta. Na Figura 27, mostra-se o nível de serviço médio para cada um dos cenários, trata-se de uma curva ascendente, já que quanto maior a frota, mais difícil será a ocorrência de faltas em alguma unidade marítima. Com 16 barcos, o nível de serviço chega a 100%, ou seja, não há faltas de produtos. A partir da análise dos resultados obtidos, pode-se concluir que a frota ideal deve possuir 16 embarcações, visto que não se deseja que haja a ocorrência de faltas de produtos. Segundo UGLANE *et al.* (2012), aluguéis de PSVs ficam entre US\$25.000,00 e US\$35.000,00 por dia. Assim, a frota definida neste trabalho apresenta um custo de até US\$560.000,00 por dia.

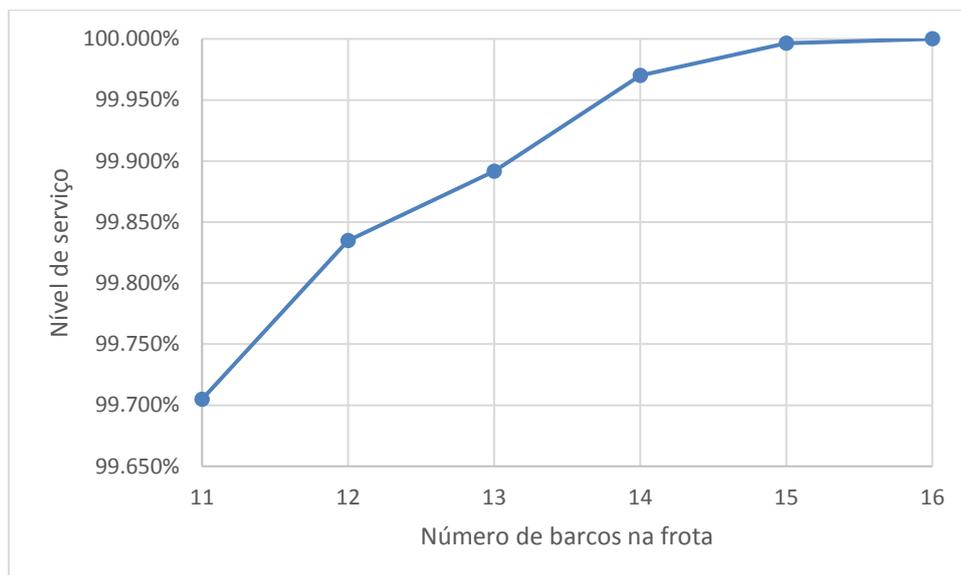


Figura 27. Nível de serviço obtido para cada um dos cenários.

Entretanto, a robustez devido a exigência de não haver faltas de produtos faz com que a taxa de utilização média dos barcos seja baixa. Na Figura 28, explicita-se a taxa de utilização para cada um dos cenários considerados. Considera-se que o barco esteja sendo utilizado caso ele esteja realizando alguma viagem ou esteja realizando atendimento a alguma unidade ou ao porto.

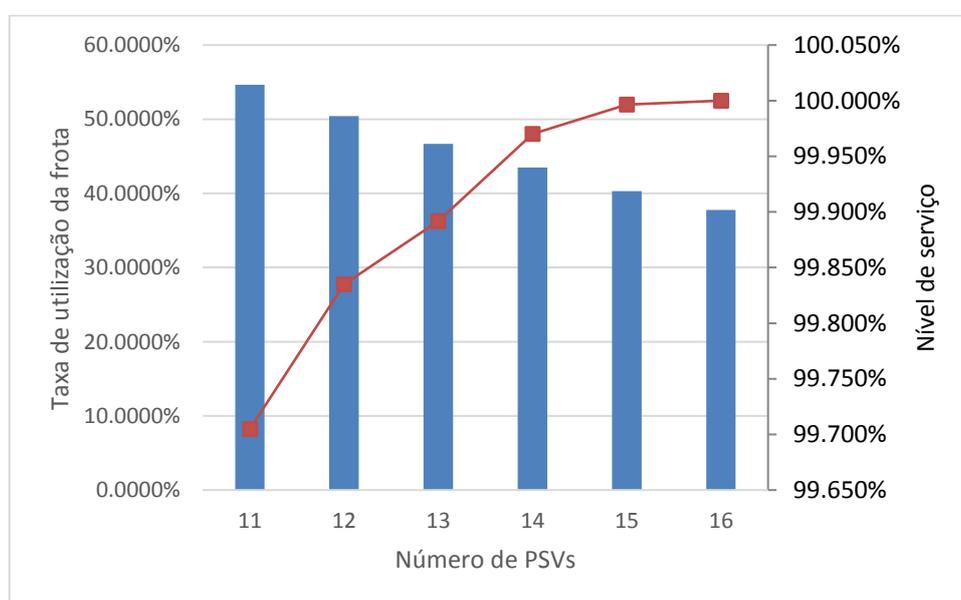


Figura 28. Taxa de utilização da frota para cada um dos cenários.

A taxa de utilização varia entre 54,64% no cenário com frota de 11 PSVs e 37,76% no cenário com 16 PSVs. Estes valores baixos podem ser explicados pela heterogeneidade na quantidade de embarcações demandadas a cada dia, como pode ser observado na Figura 21. Existem épocas em que um número maior de poços está sendo perfurado, exigindo-se maiores quantidades de embarcações para suprir toda a operação do que em outras épocas.

Uma forma de tornar a operação mais econômica consiste na possibilidade de compartilhamento da frota de embarcações fluideiras com outras atividades da companhia, como o abastecimento a unidades de produção. Outra forma, consiste na utilização do mercado *spot*, que, entretanto, não é bem desenvolvido no Brasil.

Da mesma forma, pode-se manter nas sondas quantidades reservas de fluidos, para que se possa evitar faltas. Uma estratégia poderia ser manter nas sondas quantidades reservas iguais ou superiores à maior falta registrada em cada um dos cenários observados, que são explicitadas na Figura 29. Portanto, caso seja viável manter um estoque reserva de 333,33 bbl na sonda, pode-se tornar viável a utilização de uma frota de 15 embarcações, resultando-se em uma economia de US\$35.000,00 por dia.

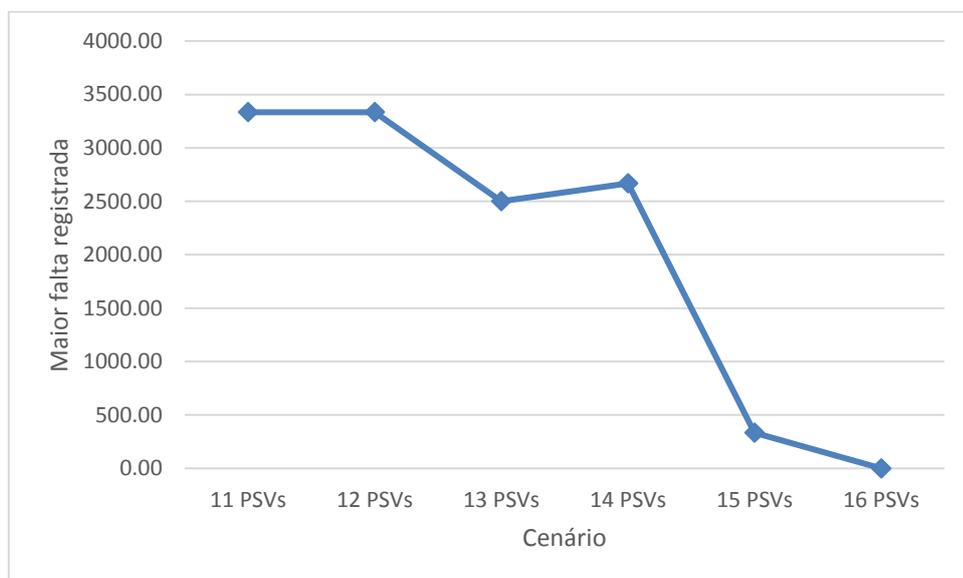


Figura 29. Maior falta registrada para cada um dos cenários.

Na Tabela 5, explicitam-se os tempos computacionais demandados em cada um dos 60 experimentos. Eles apresentam resultados mais altos do que os esperados, o que pode indicar a necessidade de trabalhos futuros relacionados a sua otimização.

Tabela 5. Tempo computacional exigido em cada um dos experimentos (em segundos).

| | 11 PSVs | 12 PSVs | 13 PSVs | 14 PSVs | 15 PSVs | 16 PSVs |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Replicação1 | 56.867 | 52.762 | 51.659 | 85.013 | 52.216 | 63.394 |
| Replicação 2 | 44.008 | 46.403 | 44.399 | 61.121 | 46.185 | 48.706 |
| Replicação 3 | 122.129 | 122.530 | 122.709 | 137.828 | 123.293 | 123.404 |
| Replicação 4 | 94.290 | 96.677 | 96.528 | 130.051 | 95.220 | 98.884 |
| Replicação 5 | 94.217 | 96.486 | 96.460 | 130.155 | 95.166 | 99.184 |
| Replicação 6 | 64.464 | 67.615 | 66.713 | 92.536 | 68.026 | 68.372 |
| Replicação 7 | 64.240 | 67.881 | 66.938 | 92.589 | 67.757 | 68.141 |
| Replicação 8 | 64.427 | 67.990 | 66.671 | 92.359 | 69.053 | 68.181 |
| Replicação 9 | 80.552 | 75.057 | 81.402 | 110.096 | 98.566 | 77.421 |
| Replicação 10 | 80.764 | 74.771 | 81.130 | 109.828 | 98.885 | 77.526 |

Na Tabela 6, é apresentado o tempo computacional que foi exigido para a geração da instância aleatória em cada uma das 10 replicações.

Tabela 6. Tempo computacional exigido para geração da instância aleatória.

| | Tempo computacional (segundos) |
|----------------------|---------------------------------------|
| Replicação1 | 568 |
| Replicação 2 | 408 |
| Replicação 3 | 423 |
| Replicação 4 | 993 |
| Replicação 5 | 993 |
| Replicação 6 | 620 |
| Replicação 7 | 620 |
| Replicação 8 | 620 |
| Replicação 9 | 893 |
| Replicação 10 | 893 |

A média do tempo computacional exigido em cada cenário é apresentado na Figura 30. Conforme aumenta a quantidade de embarcações na frota, aumenta-se a complexidade do programa, havendo-se assim uma tendência de aumento no tempo computacional exigido.

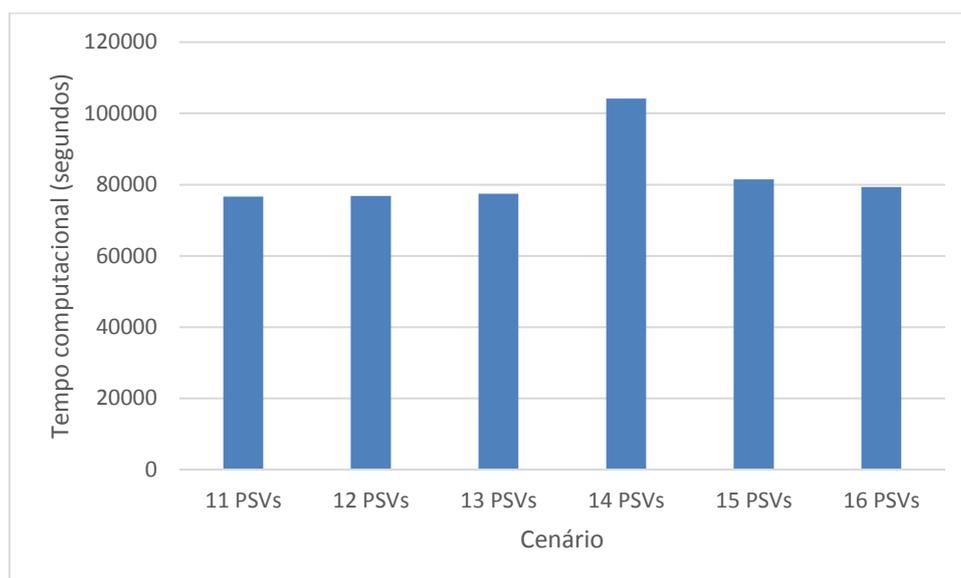


Figura 30. Média dos tempos computacionais exigidos para cada cenário.

Uma outra análise que pode ser realizada refere-se à possibilidade de processamento de mais de uma instância da simulação ao mesmo tempo. Na máquina 1, foram testados casos em que 1 instância é processada por vez e casos em que 2 instâncias foram processadas por vez. Na máquina 2 foram testados casos com 1, 3 e 6 instâncias sendo processadas ao mesmo tempo. Os resultados estão na Figura 31.

Assim, para a máquina 1, o tempo computacional de cada experimento ficou 1,45 vezes maior ao se duplicar o número de experimentos. Da mesma forma, para a máquina 2, ao se triplicar o número de instâncias processadas, o tempo computacional para o processamento de cada instância aumenta 1,47 vezes. Para o caso do processamento de 6 instâncias ao mesmo tempo, o processamento ocorre em 2,58 vezes o tempo do processamento de apenas uma instância. Em todos estes três casos, o novo

tempo de processamento acaba sendo menor que a simulação dos experimentos em série, apenas um por vez. Comprova-se assim a viabilidade desta estratégia.

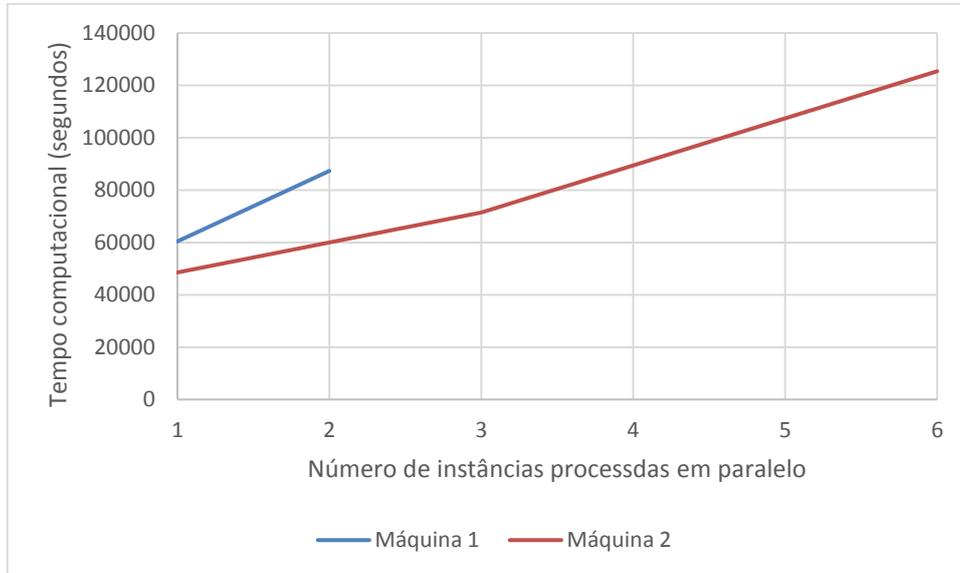


Figura 31. Tempos computacionais para diferentes quantidades de experimentos processados em paralelo.

7 Conclusões

Neste capítulo, inicialmente é realizada uma análise dos resultados dos experimentos realizados. Posteriormente, explicitam-se novas possibilidades de estudo e de melhorias na metodologia que serão realizadas em trabalhos futuros.

7.1 Análise dos resultados

Os objetivos iniciais da pesquisa foram cumpridos. Além de se expandir o conhecimento sobre a logística de abastecimento de insumos para a confecção de fluidos de perfuração, foi possível desenvolver uma ferramenta que pode ser utilizada no planejamento tático da logística de abastecimento destes insumos. Torna-se possível obter uma grande variedade de resultados, como, por exemplo, níveis de estoque esperados, quantidades que deverão ser entregues e qual embarcação deverá realizar a entrega.

A partir da simulação, foi possível determinar o tamanho de frota ideal para que não haja faltas de produtos, que, para as instâncias testadas, é de 16 embarcações. Entretanto, como a quantidade de poços perfurados por dia apresenta flutuações, acredita-se ser uma boa estratégia manter uma frota que não seja constante, recorrendo-se ao mercado *spot* ou recorrendo-se a outras frotas da empresa em situações de maior quantidade de entregas. Além disso, manter uma quantidade reserva de fluido nas embarcações pode reduzir a frota necessária, o que pode ser também uma boa estratégia para redução de custos.

Como contribuições acadêmicas, o trabalho trouxe a compreensão do problema logístico de abastecimento de fluidos de perfuração, algo não muito explorado pela literatura. Além da aplicação à instância apresentada neste trabalho, acredita-se que a aplicação desenvolvida possa ser útil em problemas reais do setor de óleo & gás. Além disso, vislumbra-se uma série de trabalhos futuros, que podem tornar a ferramenta mais completa, eficiente e próxima da realidade.

7.2 Trabalhos Futuros

Pode-se vislumbrar três frentes de trabalho que podem surgir no futuro. A primeira delas refere-se a melhorias na implementação, para torná-la ainda mais rápida e eficiente. A segunda frente que deve surgir refere-se à busca por novas estratégias de resolução para o problema, sobretudo buscando-se obter em um tempo computacional razoável soluções exatas para o problema de roteamento de embarcações e alocação de entregas às rotas, levando-se em conta os estoques nas unidades marítimas. Por fim, a terceira frente refere-se a expansão da utilização da metodologia para outros tipos de produtos.

O planejamento tático exige repetição do mesmo procedimento realizado para o planejamento operacional tantos quantos forem os horizontes de planejamento, exigindo-se um tempo computacional bem mais elevado. Graças a isso, torna-se mais difícil a realização de um número muito grande de replicações. Assim, evidencia-se a necessidade de aumento na eficiência do código.

Para aumentar a eficiência do código, pode-se, por exemplo, investir na utilização de funções e procedimentos que exijam um tempo computacional menor. Além disso, segundo PRABHAKARAN (2016), uma das estratégias para tornar códigos em R mais eficientes consiste na pré-alocação das estruturas, inicializando-as antes de sua utilização, visando manter fixa a sua dimensão ao longo de todo o código. Por isso, propõe-se uma revisão do código, inicializando-se as variáveis em todos os casos que isso não tenha sido feito.

Além disso, uma das estratégias citadas em PRABHAKARAN (2016) para aumentar a eficiência do código é a paralelização. Como durante a simulação diferentes replicações não apresentam dependência entre si, torna-se completamente possível paralelizar o código efetuando-se uma série de replicações paralelamente. Atualmente, isto é realizado artificialmente, com mais de uma instância do R sendo executada ao mesmo tempo. Entretanto, é também possível realizar esta paralelização diretamente no código.

De fato, segundo WICKHAM (2014), R não é uma linguagem de programação cujas implementações sejam rápidas. Pode-se garantir ganhos de velocidade revisando o código e tornando-o eficiente, que é um objetivo primário dos trabalhos futuros. Entretanto, caso mesmo assim não se garanta total eficiência, pode-se investir na utilização de demais linguagens de programação. Neste caso, entretanto, pode-se haver prejuízo no processo de criação de instâncias, já que a linguagem R apresenta como um dos maiores pontos positivos a existência de vários pacotes úteis para manipulação de dados estatísticos.

Em relação à procura por novas estratégias de resolução do problema, uma das soluções que pode ser seguida é a utilização de programação matemática para encontrar soluções exatas, ao invés da utilização de simulação. Atualmente, a metodologia de criação de rotas é apenas gulosa, dando-se preferência ao atendimento do poço cujo início da perfuração é mais antigo. Propõe-se a utilização da programação matemática para encontrar rotas e alocação de demandas cuja solução seja ótima. Como considera-se que os dados das demandas são estocásticos, pode ser necessária a utilização de programação estocástica.

Pode-se implementar um modelo de otimização unindo decisões para o estoque e roteamento de veículos, como os propostos por COELHO & LAPORTE (2013) e COELHO *et al.* (2012). Segundo a literatura, grande parte dos problemas deste tipo são resolvidos por heurísticas ou por *branch-and-cut* (COELHO & LAPORTE, 2013), portanto é provável que a implementação almejada tenha de ter esta característica também. Os modelos respondem a três questões primordiais: quando fazer a visita, quantidade entregue e alocação das entregas às rotas. Quanto aos procedimentos computacionais necessários para a solução do modelo matemático, pretende-se utilizar alguma ferramenta computacional disponível no ambiente acadêmico, como, por exemplo, o software AIMMS ou, preferencialmente, alguma ferramenta de uso livre, como Python por exemplo.

Um dos destaques é que esta abordagem pode trazer contribuições científicas interessantes, já que se pretende incluir no modelo de *inventory-routing* a estrutura de *pick-up & delivery*. Além disso, a própria formulação do problema de entrega de fluidos de perfuração como um problema de *inventory-routing* é algo ainda não explorado na literatura.

Por fim, um último objetivo almejado nos trabalhos futuros é a flexibilização da implementação. Além de bases, vários outros produtos compõem fluidos e sua logística também pode ser analisada em conjunto, inclusive, produtos que não sejam utilizados na composição de fluidos também podem ser considerados. Barcos PSVs são multipropósito, mas sua utilização no Brasil é segregada por frotas específicas para tipos de produto. Uma análise interessante consiste em comparar a operação multipropósito com a operação segregada.

Referências Bibliográficas

AAS, B.; HALSKAU SR, Ø.; WALLACE, S. W. "The role of supply vessels in offshore logistics". **Maritime Economics & Logistics**, v. 11, n. 3, p. 302–325, 2008.

ALBA, A.; FRAGACHAN, F.; OVALLE, A.; SHOKANOV, T. "Environmentally Safe Waste Disposal : The Integration of Cuttings Collection , Transport, and Reinjection". **International Oil Conference and Exhibition**, SPE 108912, Veracruz, México, Junho 2007.

ANEICHYK, T, 2009, **Simulation model for strategical fleet sizing and operational planning in offshore supply vessels operations**. Dissertação de mestrado, Molde University College, Molde, Noruega, 2009.

ANP. **Dados estatísticos**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/dados-estatisticos>>. Acesso em: 23 de outubro de 2016.

ANP. **Mapa Brazil Rounds**. Disponível em: <http://www.brasil-rounds.gov.br/arquivos/mapas/Janeiro_2017/Mapa_Brasil_Rounds_Jan_17.pdf>. Acesso em: 9 de fevereiro de 2017a.

ANP. **Dados de E&P**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/gestao-de-contratos-de-e-p/dados-de-e-p>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2017b.

BALCI, O. "Validation, verification, and testing techniques throughout the life cycle of a simulation study". In: **Proceedings of the 1994 Winter Simulation Conference**, pp 215-220, Orlando, Estados Unidos, Dezembro. 1994.

CHAGAS, R. D. S, 2015, **O problema de programação de berços portuários para operações de suprimento offshore**. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, Rio de Janeiro,RJ, Brasil, 2015.

COELHO, L. C.; CORDEAU, J. F.; LAPORTE, G. "Consistency in multi-vehicle inventory-routing". **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 24, p. 270–287, 2012.

COELHO, L. C.; LAPORTE, G. "The exact solution of several classes of inventory-routing problems". **Computers and Operations Research**, v. 40, n. 2, p. 558–565, 2013.

DOS SANTOS, G. B.; VELOSO, J. "The Challenges for the Treatment of Drilling Fluid Wastes Generated by E & P Industry in Brazil". **SPE Latin American and Caribbean Health, Safety, Social Responsibility, and Environment Conference**, SPE 165613, **Anais**, Lima, Peru, Junho 2013.

FERREIRA FILHO, V. J. M. **Gestão de operações e logística na produção de petróleo**. Rio de Janeiro, Brasil: Elsevier, 2016.

GOMES, H.; ANDERSON, N.; DUARTE, R. "Uma proposta para a detecção do

adequado período de aquecimento em modelos de simulação". **Gestão da produção, operação e sistemas**, v. 6, n. 4, p. 11–26, 2011.

HALVORSEN-WEARE, E. E.; FAGERHOLT, K. "Robust supply vessel planning". **Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)**, v. 6701 LNCS, p. 559–573, 2011.

HALVORSEN-WEARE, E. E.; FAGERHOLT, K.; NONÅS, L. M.; ASBJORNSLETT, B. E.; MAGNE, L.; EGIL, B.; NONÅS, L. M.; ASBJORNSLETT, B. E. "Optimal fleet composition and periodic routing of offshore supply vessels". **European Journal of Operational Research**, v. 223, n. 2, p. 508–517, 2012.

HAMACHER, S.; FERREIRA FILHO, V. J. M. **Aplicações de pesquisa operacional na indústria internacional de petróleo e gás**. Rio de Janeiro, Brasil, Elsevier, 2015.

HARRIS, F. W. "How many parts do make at once". **Factory, The Magazine of Management**, v. 10, n. 2, 1913.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 8a. ed. São Paulo, McGraw-Hill, 2006.

KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; STURROCK, D. T. **Simulation with Arena**. 2. ed. New York, McGraw-Hill, 2010.

LANGEVIN, A.; RIOPEL, D. **Logistics Systems: Design and Optimization**. 1. ed. Montreal, Springer, 2005.

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, PUC-RIO, Rio de Janeiro, Brasil, 2012.

MAISIUK, Y.; GRIBKOVSKAIA, I. "Fleet sizing for offshore supply vessels with stochastic sailing and service times". **Procedia Computer Science**, v. 31, p. 939–948, 2014.

MULLER, M. **Essentials of inventory management**. 2a. ed. New York, AMACOM, 2011.

PETROBRAS. **Plano estratégico de negócios e gestão 2017-2021**. Disponível em: <<http://www.investidorpetrobras.com.br/pt/apresentacoes/plano-de-negocios-e-gestao>>. Acesso em: 23 out. 2016.

PRABHAKARAN, S. **Strategies to Speedup R Code**. Disponível em: <<https://www.r-bloggers.com/strategies-to-speedup-r-code/>>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2017.

SHYSHOU, A.; GRIBKOVSKAIA, I.; BARCELÓ, J. "A simulation study of the fleet sizing problem arising in offshore anchor handling operations". **European Journal of Operational Research**, v. 203, n. 1, p. 230–240, 2010.

SKONNORD, O. P.; EVANS, D. **Offshore rig driller seadrill hopes to see market turn in 2017**. Disponível em: <http://www.rigzone.com/news/article.asp?a_id=141009>. Acesso em: 9 de maio de

2016.

SVENSEN, T.; TAUGBØL, K.; ASA, S. "Drilling Waste Handling in Challenging Offshore Operations". **SPE Arctic and Extreme Environments Conference & Exhibition**, SPE 149575, Moscow, Russia, Outubro 2011.

TERZI, S.; CAVALIERI, S. "Simulation in the supply chain context: A survey". **Computers in Industry**, v. 53, n. 1, p. 3–16, 2004.

THOMAS, J. E. Perfuração. In: **Fundamentos de engenharia de petróleo**. 2. ed. Rio de Janeiro, Brasil, Editora Interciência, 2001.

UGLANE, V. T.; FRIEDBERG, D. Ø.; ANDERSSON, H., 2012, **Routing and Scheduling of Platform Supply Vessels**. Dissertação de mestrado, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Noruega, 2012.

URROZ, G. E. Solution of non-linear equations. n. September, p. 18, 2004. Disponível em:

<http://ocw.usu.edu/Civil_and_Environmental_Engineering/Numerical_Methods_in_Civil_Engineering/NonLinearEquationsMatlab.pdf>. Acesso em: 20 de janeiro de 2017.

WICKHAM, H. **Advanced R**. 1. ed. Miami, Taylor & Francis, 2014.

WINDECK, V. **A Liner Shipping Network Design**. 1. ed. New York, Springer, 2013.

ZAMORA, M.; BROUSSARD, P. N.; STEPHENS, M. P. "The Top 10 Mud-Related Concerns in Deepwater Drilling Operations". **2000 SPE International Petroleum Conference and Exhibition in Mexico**, SPE 59019, Villahermosa, México, Fevereiro 2000.

ZIUKOV, S. "A literature review on models of inventory management under uncertainty". **Business Systems & Economics**, v. 5, n. 1, p. 26, 2015.

Apêndice A

Tabelas com os níveis de estoques diários de cada sonda obtidos na replicação 1 do cenário com 16 barcos

Dias com estoques de fluido iguais a 0 bbl não foram explicitados nas tabelas.

| Poço 1 | | Poço 2 | | Poço 3 | | Poço 4 | | Poço 5 | |
|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|
| Dia | Estoque (bbl) |
| 23 | 3000 | 24 | 3000 | 24 | 3000 | 35 | 2333 | 42 | 3000 |
| 24 | 3000 | 25 | 3000 | 25 | 3000 | 36 | 2333 | 43 | 3000 |
| 25 | 3000 | 26 | 3000 | 26 | 3000 | 37 | 2333 | 44 | 3000 |
| 26 | 3938 | 27 | 4250 | 27 | 4500 | 38 | 4667 | 45 | 4900 |
| 27 | 2188 | 28 | 2500 | 28 | 4500 | 39 | 4667 | 46 | 4900 |
| 28 | 1688 | 29 | 2000 | 29 | 3333 | 40 | 3500 | 47 | 3150 |
| 29 | 2500 | 30 | 2500 | 30 | 4083 | 41 | 3667 | 48 | 3500 |
| 30 | 2000 | 31 | 2000 | 31 | 2917 | 42 | 2000 | 49 | 3000 |
| 31 | 1500 | 32 | 1500 | 32 | 2333 | 43 | 1500 | 50 | 2500 |
| 32 | 1000 | 33 | 1000 | 33 | 2333 | 44 | 2000 | 51 | 2000 |
| 33 | 500 | 34 | 500 | 34 | 1750 | 45 | 1500 | 52 | 1500 |
| 56 | 571 | 57 | 250 | 35 | 1167 | 46 | 1000 | 53 | 1000 |
| 57 | 571 | 58 | 250 | 36 | 583 | 47 | 500 | 54 | 500 |
| 58 | 571 | 59 | 250 | 60 | 571 | 71 | 571 | 78 | 750 |
| 59 | 1143 | 60 | 1143 | 61 | 571 | 72 | 571 | 79 | 750 |
| 60 | 1143 | 61 | 1143 | 62 | 571 | 73 | 571 | 80 | 750 |
| 61 | 893 | 62 | 1143 | 63 | 1250 | 74 | 1143 | 81 | 1429 |
| 62 | 1464 | 63 | 1464 | 64 | 1250 | 75 | 1143 | 82 | 1179 |
| 63 | 1214 | 64 | 1179 | 65 | 964 | 76 | 893 | 83 | 929 |
| 64 | 929 | 65 | 893 | 66 | 1429 | 77 | 1500 | 84 | 1214 |
| 65 | 857 | 66 | 857 | 67 | 1179 | 78 | 1250 | 85 | 964 |
| 66 | 571 | 67 | 857 | 68 | 893 | 79 | 1000 | 86 | 714 |
| 67 | 286 | 68 | 571 | 69 | 571 | 80 | 750 | 87 | 500 |
| | | 69 | 286 | 70 | 286 | 81 | 500 | 88 | 250 |
| | | | | | | 82 | 250 | | |

| Poço 6 | | Poço 7 | | Poço 8 | | Poço 9 | | Poço 10 | |
|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|---------|---------------|
| Dia | Estoque (bbl) | Dia | Estoque (bbl) |
| 37 | 1167 | 53 | 3000 | 63 | 2333 | 61 | 2333 | 59 | 3000 |
| 38 | 1167 | 54 | 3000 | 64 | 2333 | 62 | 2333 | 60 | 3000 |

| | | | | | | | | | |
|----|------|----|------|-----|------|-----|------|-----|------|
| 39 | 1167 | 55 | 3000 | 65 | 2333 | 63 | 2333 | 61 | 3000 |
| 40 | 4167 | 56 | 4667 | 66 | 4667 | 64 | 4900 | 62 | 5833 |
| 41 | 4167 | 57 | 4667 | 67 | 4667 | 65 | 4900 | 63 | 4083 |
| 42 | 4167 | 58 | 2917 | 68 | 4667 | 66 | 3150 | 64 | 2333 |
| 43 | 4250 | 59 | 3000 | 69 | 4250 | 67 | 3500 | 65 | 3000 |
| 44 | 2500 | 60 | 2300 | 70 | 2500 | 68 | 3000 | 66 | 2500 |
| 45 | 1917 | 61 | 1600 | 71 | 1917 | 69 | 2500 | 67 | 2000 |
| 46 | 2333 | 62 | 1400 | 72 | 2333 | 70 | 2000 | 68 | 1500 |
| 47 | 1750 | 63 | 700 | 73 | 1750 | 71 | 1500 | 69 | 1000 |
| 48 | 1167 | 86 | 286 | 74 | 1167 | 72 | 1000 | 70 | 500 |
| 49 | 583 | 87 | 286 | 75 | 583 | 73 | 500 | 92 | 286 |
| 73 | 857 | 88 | 286 | 96 | 222 | 97 | 750 | 93 | 286 |
| 74 | 857 | 89 | 1000 | 97 | 222 | 98 | 750 | 94 | 286 |
| 75 | 857 | 90 | 1000 | 98 | 222 | 99 | 750 | 95 | 1143 |
| 76 | 1429 | 91 | 1000 | 99 | 1000 | 100 | 1429 | 96 | 1143 |
| 77 | 1143 | 92 | 1429 | 100 | 1000 | 101 | 1179 | 97 | 1143 |
| 78 | 857 | 93 | 1143 | 101 | 1000 | 102 | 893 | 98 | 1464 |
| 79 | 1143 | 94 | 857 | 102 | 1500 | 103 | 1143 | 99 | 1179 |
| 80 | 857 | 95 | 857 | 103 | 1250 | 104 | 857 | 100 | 893 |
| 81 | 857 | 96 | 857 | 104 | 1000 | 105 | 857 | 101 | 857 |
| 82 | 571 | 97 | 571 | 105 | 1000 | 106 | 571 | 102 | 857 |
| 83 | 286 | 98 | 286 | 106 | 750 | 107 | 286 | 103 | 571 |
| | | | | 107 | 500 | | | 104 | 286 |
| | | | | 108 | 250 | | | | |

| Poço 11 | | Poço 12 | | Poço 13 | | Poço 14 | | Poço 25 | |
|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|
| Dia | Estoque (bbl) |
| 57 | 1750 | 59 | 1750 | 59 | 1167 | 60 | 1750 | 60 | 1750 |
| 58 | 1750 | 60 | 1750 | 60 | 1167 | 61 | 1750 | 61 | 1750 |
| 59 | 1750 | 61 | 1750 | 61 | 1167 | 62 | 1750 | 62 | 1750 |
| 60 | 4750 | 62 | 4375 | 62 | 4083 | 63 | 4500 | 63 | 4083 |
| 61 | 4750 | 63 | 4375 | 63 | 4083 | 64 | 4500 | 64 | 4083 |
| 62 | 4750 | 64 | 4375 | 64 | 2333 | 65 | 4500 | 65 | 4083 |
| 63 | 5000 | 65 | 4333 | 65 | 3500 | 66 | 4250 | 66 | 3000 |
| 64 | 3250 | 66 | 3167 | 66 | 2917 | 67 | 2500 | 67 | 1250 |
| 65 | 1500 | 67 | 2000 | 67 | 2333 | 68 | 2000 | 68 | 667 |
| 66 | 3063 | 68 | 3000 | 68 | 1750 | 69 | 2500 | 69 | 2333 |
| 67 | 2625 | 69 | 2500 | 69 | 1167 | 70 | 2000 | 70 | 1750 |
| 68 | 2188 | 70 | 2000 | 70 | 583 | 71 | 1500 | 71 | 1167 |
| 69 | 1750 | 71 | 1500 | 92 | 250 | 72 | 1000 | 72 | 583 |
| 70 | 1313 | 72 | 1000 | 93 | 250 | 73 | 500 | 93 | 222 |
| 71 | 875 | 73 | 500 | 94 | 250 | 96 | 500 | 94 | 222 |
| 72 | 438 | 98 | 857 | 95 | 1000 | 97 | 500 | 95 | 222 |
| 96 | 857 | 99 | 857 | 96 | 1000 | 98 | 500 | 96 | 1000 |

| | | | | | | | | | |
|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|
| 97 | 857 | 100 | 857 | 97 | 1000 | 99 | 1111 | 97 | 1000 |
| 98 | 857 | 101 | 1714 | 98 | 1528 | 100 | 1111 | 98 | 1000 |
| 99 | 1429 | 102 | 1429 | 99 | 1278 | 101 | 889 | 99 | 1306 |
| 100 | 1143 | 103 | 1143 | 100 | 1056 | 102 | 1306 | 100 | 1056 |
| 101 | 857 | 104 | 1179 | 101 | 1111 | 103 | 1083 | 101 | 806 |
| 102 | 1143 | 105 | 893 | 102 | 889 | 104 | 833 | 102 | 1000 |
| 103 | 857 | 106 | 607 | 103 | 667 | 105 | 778 | 103 | 750 |
| 104 | 857 | 107 | 286 | 104 | 444 | 106 | 556 | 104 | 500 |
| 105 | 571 | | | 105 | 222 | 107 | 333 | 105 | 250 |
| 106 | 286 | | | | | 108 | 222 | | |

| Poço 16 | | Poço 17 | | Poço 18 | | Poço 19 | | Poço 20 | |
|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|
| Dia | Estoque (bbl) |
| 68 | 3000 | 72 | 1750 | 74 | 3000 | 87 | 3000 | 80 | 3000 |
| 69 | 3000 | 73 | 1750 | 75 | 3000 | 88 | 3000 | 81 | 3000 |
| 70 | 3000 | 74 | 1750 | 76 | 3000 | 89 | 3000 | 82 | 3000 |
| 71 | 4500 | 75 | 4750 | 77 | 5250 | 90 | 4250 | 83 | 4667 |
| 72 | 4500 | 76 | 3000 | 78 | 4083 | 91 | 2500 | 84 | 4667 |
| 73 | 4500 | 77 | 1250 | 79 | 2917 | 92 | 1917 | 85 | 4667 |
| 74 | 5133 | 78 | 2800 | 80 | 3500 | 93 | 2333 | 86 | 4250 |
| 75 | 3967 | 79 | 2100 | 81 | 3000 | 94 | 1750 | 87 | 2500 |
| 76 | 2800 | 80 | 1400 | 82 | 2500 | 95 | 1167 | 88 | 2000 |
| 77 | 2800 | 81 | 700 | 83 | 2000 | 96 | 583 | 89 | 2500 |
| 78 | 2100 | 105 | 500 | 84 | 1500 | 120 | 750 | 90 | 2000 |
| 79 | 1400 | 106 | 500 | 85 | 1000 | 121 | 750 | 91 | 1500 |
| 80 | 700 | 107 | 500 | 86 | 500 | 122 | 750 | 92 | 1000 |
| 101 | 222 | 108 | 1250 | 110 | 286 | 123 | 1500 | 93 | 500 |
| 102 | 222 | 109 | 1250 | 111 | 286 | 124 | 1214 | 116 | 500 |
| 103 | 222 | 110 | 1000 | 112 | 286 | 125 | 929 | 117 | 500 |
| 104 | 1143 | 111 | 1500 | 113 | 1143 | 126 | 1143 | 118 | 500 |
| 105 | 1143 | 112 | 1250 | 114 | 1143 | 127 | 857 | 119 | 1143 |
| 106 | 1143 | 113 | 1000 | 115 | 1143 | 128 | 857 | 120 | 1143 |
| 107 | 1492 | 114 | 778 | 116 | 1714 | 129 | 571 | 121 | 857 |
| 108 | 1242 | 115 | 528 | 117 | 1429 | 130 | 286 | 122 | 1429 |
| 109 | 992 | 116 | 278 | 118 | 1143 | 87 | 3000 | 123 | 1143 |
| 110 | 1000 | | | 119 | 857 | 88 | 3000 | 124 | 857 |
| 111 | 750 | | | 120 | 607 | 89 | 3000 | 125 | 857 |
| 112 | 500 | | | 121 | 357 | 90 | 4250 | 126 | 571 |
| 113 | 250 | | | 122 | 250 | 91 | 2500 | 127 | 286 |
| | | | | | | 92 | 1917 | | |

| Poço 21 | | Poço 22 | | Poço 23 | | Poço 24 | | Poço 25 | |
|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|
| Dia | Estoque (bbl) |
| 79 | 1167 | 87 | 1167 | 87 | 1750 | 89 | 1750 | 101 | 3000 |
| 80 | 1167 | 88 | 1167 | 88 | 1750 | 90 | 1750 | 102 | 3000 |
| 81 | 1167 | 89 | 1167 | 89 | 1750 | 91 | 1750 | 103 | 3000 |
| 82 | 4000 | 90 | 4083 | 90 | 4667 | 92 | 4000 | 104 | 5500 |
| 83 | 4000 | 91 | 4083 | 91 | 4667 | 93 | 4000 | 105 | 3750 |
| 84 | 4000 | 92 | 4083 | 92 | 4667 | 94 | 4000 | 106 | 2000 |
| 85 | 5500 | 93 | 5000 | 93 | 5500 | 95 | 4250 | 107 | 2917 |
| 86 | 3750 | 94 | 5000 | 94 | 3750 | 96 | 2500 | 108 | 2333 |
| 87 | 2000 | 95 | 3250 | 95 | 2000 | 97 | 2000 | 109 | 1750 |
| 88 | 2917 | 96 | 3000 | 96 | 3000 | 98 | 2500 | 110 | 1167 |
| 89 | 2333 | 97 | 2417 | 97 | 2500 | 99 | 2000 | 111 | 583 |
| 90 | 1750 | 98 | 1833 | 98 | 2000 | 100 | 1500 | 134 | 571 |
| 91 | 1167 | 99 | 1750 | 99 | 1500 | 101 | 1000 | 135 | 571 |
| 92 | 583 | 100 | 1167 | 100 | 1000 | 102 | 500 | 136 | 571 |
| 115 | 500 | 101 | 583 | 101 | 500 | 125 | 750 | 137 | 1250 |
| 116 | 500 | 123 | 250 | 122 | 0 | 126 | 750 | 138 | 1250 |
| 117 | 500 | 124 | 250 | 123 | 286 | 127 | 750 | 139 | 1000 |
| 118 | 1111 | 125 | 250 | 124 | 286 | 128 | 1500 | 140 | 1333 |
| 119 | 1111 | 126 | 1143 | 125 | 286 | 129 | 1250 | 141 | 1083 |
| 120 | 861 | 127 | 1143 | 126 | 1143 | 130 | 1000 | 142 | 833 |
| 121 | 1500 | 128 | 1143 | 127 | 1143 | 131 | 1250 | 143 | 750 |
| 122 | 1250 | 129 | 1429 | 128 | 1143 | 132 | 1000 | 144 | 500 |
| 123 | 1000 | 130 | 1143 | 129 | 1464 | 133 | 778 | 145 | 250 |
| 124 | 889 | 131 | 857 | 130 | 1179 | 134 | 639 | 101 | 3000 |
| 125 | 667 | 132 | 1000 | 131 | 893 | 135 | 389 | 102 | 3000 |
| 126 | 444 | 133 | 750 | 132 | 857 | 136 | 139 | 103 | 3000 |
| 127 | 222 | 134 | 500 | 133 | 857 | | | 104 | 5500 |
| | | 135 | 250 | 134 | 571 | | | 105 | 3750 |
| | | | | 135 | 286 | | | 106 | 2000 |

| Poço 26 | | Poço 27 | | Poço 28 | | Poço 29 | | Poço 30 | |
|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|
| Dia | Estoque (bbl) |
| 105 | 1750 | 123 | 2333 | 124 | 3000 | 129 | 3000 | 139 | 3571 |
| 106 | 1750 | 124 | 2333 | 125 | 3000 | 130 | 3000 | 140 | 3571 |
| 107 | 1750 | 125 | 2333 | 126 | 3000 | 131 | 3000 | 141 | 3571 |
| 108 | 4500 | 126 | 4500 | 127 | 5250 | 132 | 5833 | 142 | 4667 |
| 109 | 4500 | 127 | 4500 | 128 | 3500 | 133 | 4083 | 143 | 3500 |
| 110 | 4500 | 128 | 3333 | 129 | 1750 | 134 | 2333 | 144 | 2333 |
| 111 | 5133 | 129 | 4083 | 130 | 2917 | 135 | 2917 | 145 | 2917 |
| 112 | 3967 | 130 | 2917 | 131 | 2333 | 136 | 2333 | 146 | 2333 |
| 113 | 2800 | 131 | 2417 | 132 | 1750 | 137 | 1750 | 147 | 1750 |

| | | | | | | | | | |
|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|
| 114 | 3000 | 132 | 2500 | 133 | 1167 | 138 | 1167 | 148 | 1167 |
| 115 | 2500 | 133 | 2000 | 134 | 583 | 139 | 583 | 149 | 583 |
| 116 | 2000 | 134 | 1500 | 157 | 286 | 162 | 444 | 172 | 750 |
| 117 | 1500 | 135 | 1000 | 158 | 286 | 163 | 444 | 173 | 750 |
| 118 | 1000 | 136 | 500 | 159 | 286 | 164 | 444 | 174 | 750 |
| 119 | 500 | 159 | 571 | 160 | 1000 | 165 | 1250 | 175 | 1500 |
| 141 | 222 | 160 | 571 | 161 | 1000 | 166 | 1250 | 176 | 1278 |
| 142 | 222 | 161 | 571 | 162 | 1000 | 167 | 1000 | 177 | 1056 |
| 143 | 222 | 162 | 1250 | 163 | 1429 | 168 | 1500 | 178 | 1306 |
| 144 | 1000 | 163 | 1250 | 164 | 1143 | 169 | 1278 | 179 | 1056 |
| 145 | 1000 | 164 | 964 | 165 | 893 | 170 | 1028 | 180 | 806 |
| 146 | 1000 | 165 | 1429 | 166 | 964 | 171 | 750 | 181 | 528 |
| 147 | 1750 | 166 | 1143 | 167 | 679 | 172 | 500 | 182 | 306 |
| 148 | 1464 | 167 | 857 | 168 | 393 | 173 | 250 | 183 | 83 |
| 149 | 1179 | 168 | 857 | | | | | | |
| 150 | 1179 | 169 | 571 | | | | | | |
| 151 | 929 | 170 | 286 | | | | | | |
| 152 | 643 | | | | | | | | |
| 153 | 286 | | | | | | | | |

| Poço 31 | | Poço 32 | | Poço 33 | | Poço 34 | | Poço 35 | |
|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|
| Dia | Estoque (bbl) |
| 136 | 2333 | 134 | 3000 | 143 | 2333 | 157 | 3000 | 174 | 3000 |
| 137 | 2333 | 135 | 3000 | 144 | 2333 | 158 | 3000 | 175 | 3000 |
| 138 | 2333 | 136 | 3000 | 145 | 2333 | 159 | 3000 | 176 | 3000 |
| 139 | 4667 | 137 | 3500 | 146 | 4500 | 160 | 4667 | 177 | 5250 |
| 140 | 4667 | 138 | 3500 | 147 | 4500 | 161 | 4667 | 178 | 5250 |
| 141 | 3500 | 139 | 3500 | 148 | 3333 | 162 | 2917 | 179 | 3500 |
| 142 | 3667 | 140 | 5250 | 149 | 3667 | 163 | 3000 | 180 | 3500 |
| 143 | 2500 | 141 | 4083 | 150 | 2500 | 164 | 2300 | 181 | 3000 |
| 144 | 2000 | 142 | 2917 | 151 | 2000 | 165 | 1600 | 182 | 2500 |
| 145 | 2500 | 143 | 3500 | 152 | 2500 | 166 | 1400 | 183 | 2000 |
| 146 | 2000 | 144 | 2800 | 153 | 2000 | 167 | 700 | 184 | 1500 |
| 147 | 1500 | 145 | 2100 | 154 | 1500 | 190 | 750 | 185 | 1000 |
| 148 | 1000 | 146 | 1400 | 155 | 1000 | 191 | 750 | 186 | 500 |
| 149 | 500 | 147 | 700 | 156 | 500 | 192 | 750 | | |
| 172 | 500 | 170 | 571 | 179 | 571 | 193 | 1333 | | |
| 173 | 500 | 171 | 571 | 180 | 571 | 194 | 1083 | | |
| 174 | 500 | 172 | 571 | 181 | 571 | 195 | 833 | | |
| 175 | 1250 | 173 | 1250 | 182 | 1143 | 196 | 1250 | | |
| 176 | 1250 | 174 | 1250 | 183 | 1143 | 197 | 1000 | | |
| 177 | 1000 | 175 | 964 | 184 | 893 | 198 | 750 | | |
| 178 | 1500 | 176 | 1429 | 185 | 1500 | 199 | 500 | | |
| 179 | 1250 | 177 | 1143 | 186 | 1250 | 200 | 250 | | |

| | | | | | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-----|------|--|--|--|--|
| 180 | 1000 | 178 | 857 | 187 | 1000 | | | | |
| 181 | 750 | 179 | 857 | 188 | 750 | | | | |
| 182 | 500 | 180 | 571 | 189 | 500 | | | | |
| 183 | 250 | 181 | 286 | 190 | 250 | | | | |

| Poço 36 | | Poço 37 | | Poço 38 | | Poço 39 | | Poço 40 | |
|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|
| Dia | Estoque (bbl) |
| 175 | 3000 | 163 | 3000 | 176 | 3000 | 181 | 3000 | 177 | 1750 |
| 176 | 3000 | 164 | 3000 | 177 | 3000 | 182 | 3000 | 178 | 1750 |
| 177 | 3000 | 165 | 3000 | 178 | 3000 | 183 | 3000 | 179 | 1750 |
| 178 | 5833 | 166 | 4333 | 179 | 5500 | 184 | 5833 | 180 | 4500 |
| 179 | 4083 | 167 | 3167 | 180 | 4333 | 185 | 4083 | 181 | 4500 |
| 180 | 2333 | 168 | 2000 | 181 | 3167 | 186 | 2333 | 182 | 4500 |
| 181 | 2917 | 169 | 3000 | 182 | 3000 | 187 | 3000 | 183 | 4667 |
| 182 | 2333 | 170 | 2500 | 183 | 2500 | 188 | 2500 | 184 | 3500 |
| 183 | 1750 | 171 | 2000 | 184 | 2000 | 189 | 2000 | 185 | 2333 |
| 184 | 1167 | 172 | 1500 | 185 | 1500 | 190 | 1500 | 186 | 2800 |
| 185 | 583 | 173 | 1000 | 186 | 1000 | 191 | 1000 | 187 | 2100 |
| | | 174 | 500 | 187 | 500 | 192 | 500 | 188 | 1400 |
| | | 196 | 250 | | | | | 189 | 700 |
| | | 197 | 250 | | | | | | |
| | | 198 | 250 | | | | | | |
| | | 199 | 1143 | | | | | | |
| | | 200 | 1143 | | | | | | |

| Poço 41 | | Poço 42 | | Poço 43 | | Poço 44 | | Poço 45 | |
|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|
| Dia | Estoque (bbl) |
| 183 | 1750 | 193 | 3000 | 186 | 2333 | 195 | 3000 | 195 | 3000 |
| 184 | 1750 | 194 | 3000 | 187 | 2333 | 196 | 3000 | 196 | 3000 |
| 185 | 1750 | 195 | 3000 | 188 | 2333 | 197 | 3000 | 197 | 3000 |
| 186 | 4667 | 196 | 5833 | 189 | 5333 | 198 | 4250 | 198 | 4900 |
| 187 | 4667 | 197 | 5833 | 190 | 5333 | 199 | 2500 | 199 | 4900 |
| 188 | 4667 | 198 | 4083 | 191 | 3583 | 200 | 2000 | 200 | 4900 |
| 189 | 4250 | 199 | 3500 | 192 | 3500 | | | | |
| 190 | 2500 | 200 | 2917 | 193 | 3000 | | | | |
| 191 | 2000 | | | 194 | 2500 | | | | |
| 192 | 2500 | | | 195 | 2000 | | | | |
| 193 | 2000 | | | 196 | 1500 | | | | |
| 194 | 1500 | | | 197 | 1000 | | | | |
| 195 | 1000 | | | 198 | 500 | | | | |
| 196 | 500 | | | | | | | | |

| Poço 46 | | Poço 47 | | Poço 48 | | Poço 49 | | Poço 50 | |
|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|
| Dia | Estoque (bbl) |
| 200 | 0 | 199 | 1750 | 200 | 0 | 197 | 3000 | 200 | 0 |
| | | 200 | 1750 | | | 198 | 3000 | | |
| | | | | | | 199 | 3000 | | |
| | | | | | | 200 | 5833 | | |

Apêndice B

Tabelas com a programação de viagens para os barcos na replicação 1 do cenário com 16 barcos

Barco 1:

| Local | Dia de chegada | Dia de saída | Nível de estoque inicial | Nível de estoque final | Quantidade entregue |
|-------|----------------|--------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| 0 | 0 | 22 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 23 | 24 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 25 | 26 | 0 | 3000 | -3000 |
| 2 | 27 | 28 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 29 | 34 | 0 | 3000 | -3000 |
| 4 | 35 | 53 | 3000 | 666.6667 | 2333.333 |
| 0 | 54 | 55 | 666.6667 | 3000 | -2333.33 |
| 7 | 56 | 58 | 3000 | 1333.333 | 1666.667 |
| 1 | 59 | 65 | 1333.333 | 761.9048 | 571.4286 |
| 1 | 65 | 71 | 761.9048 | 833.3333 | -71.4286 |
| 1 | 71 | 72 | 833.3333 | 3000 | -2166.67 |
| 6 | 73 | 74 | 3000 | 2142.857 | 857.1429 |
| 0 | 75 | 77 | 2142.857 | 3000 | -857.143 |
| 5 | 78 | 79 | 3000 | 2250 | 750 |
| 18 | 80 | 81 | 2250 | 500 | 1750 |
| 0 | 82 | 84 | 500 | 3000 | -2500 |
| 21 | 85 | 86 | 3000 | 1500 | 1500 |
| 22 | 87 | 88 | 1500 | 333.3333 | 1166.667 |
| 0 | 89 | 92 | 333.3333 | 3000 | -2666.67 |
| 15 | 93 | 94 | 3000 | 2777.778 | 222.2222 |
| 10 | 95 | 96 | 2777.778 | 1920.635 | 857.1429 |
| 9 | 97 | 98 | 1920.635 | 1170.635 | 750 |
| 11 | 99 | 100 | 1170.635 | 599.2063 | 571.4286 |
| 7 | 101 | 103 | 599.2063 | 3000 | -2400.79 |
| 16 | 104 | 106 | 3000 | 2079.365 | 920.6349 |
| 7 | 107 | 109 | 2079.365 | 3000 | -920.635 |
| 18 | 110 | 111 | 3000 | 2714.286 | 285.7143 |
| 0 | 112 | 115 | 2714.286 | 3000 | -285.714 |
| 20 | 116 | 118 | 3000 | 2500 | 500 |
| 9 | 118 | 119 | 2500 | 3000 | -500 |
| 20 | 119 | 121 | 3000 | 2357.143 | 642.8571 |
| 9 | 121 | 122 | 2357.143 | 3000 | -642.857 |
| 20 | 122 | 124 | 3000 | 2142.857 | 857.1429 |
| 9 | 124 | 125 | 2142.857 | 3000 | -857.143 |

| | | | | | |
|----|-----|-----|----------|----------|----------|
| 19 | 126 | 127 | 3000 | 2500 | 500 |
| 18 | 128 | 129 | 2500 | 3000 | -500 |
| 28 | 130 | 133 | 3000 | 1250 | 1750 |
| 28 | 133 | 134 | 1250 | 1250 | -1.8E-12 |
| 0 | 135 | 139 | 1250 | 3000 | -1750 |
| 32 | 140 | 142 | 3000 | 1250 | 1750 |
| 18 | 143 | 144 | 1250 | 3000 | -1750 |
| 30 | 145 | 148 | 3000 | 1833.333 | 1166.667 |
| 24 | 149 | 156 | 1833.333 | 3000 | -1166.67 |
| 34 | 157 | 158 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 159 | 161 | 0 | 3000 | -3000 |
| 27 | 162 | 163 | 3000 | 2321.429 | 678.5714 |
| 25 | 164 | 165 | 2321.429 | 3000 | -678.571 |
| 28 | 166 | 167 | 3000 | 2642.857 | 357.1429 |
| 29 | 168 | 171 | 2642.857 | 1892.857 | 750 |
| 29 | 171 | 172 | 1892.857 | 1920.635 | -27.7778 |
| 32 | 173 | 174 | 1920.635 | 1242.063 | 678.5714 |
| 28 | 175 | 176 | 1242.063 | 3000 | -1757.94 |
| 35 | 177 | 179 | 3000 | 750 | 2250 |
| 29 | 180 | 181 | 750 | 3000 | -2250 |
| 0 | 182 | 183 | 3000 | 3000 | 0 |
| 39 | 184 | 185 | 3000 | 166.6667 | 2833.333 |
| 0 | 186 | 195 | 166.6667 | 3000 | -2833.33 |
| 34 | 196 | 198 | 3000 | 2333.333 | 666.6667 |
| 30 | 199 | | 2333.333 | 3000 | -666.667 |

Barco 2:

| Local | Dia de chegada | Dia de saída | Nível de estoque inicial | Nível de estoque final | Quantidade entregue |
|-------|----------------|--------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| 0 | 0 | 23 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 24 | 25 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 26 | 29 | 0 | 3000 | -3000 |
| 2 | 30 | 36 | 3000 | 2000 | 1000 |
| 6 | 37 | 48 | 2000 | 833.3333 | 1166.667 |
| 0 | 49 | 52 | 833.3333 | 3000 | -2166.67 |
| 7 | 53 | 54 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 55 | 56 | 0 | 3000 | -3000 |
| 11 | 57 | 58 | 3000 | 1250 | 1750 |
| 13 | 59 | 60 | 1250 | 83.33333 | 1166.667 |
| 0 | 61 | 62 | 83.33333 | 3000 | -2916.67 |
| 8 | 63 | 67 | 3000 | 666.6667 | 2333.333 |
| 13 | 68 | 81 | 666.6667 | 666.6667 | -1.8E-12 |
| 0 | 82 | 85 | 666.6667 | 3000 | -2333.33 |

| | | | | | |
|----|-----|-----|----------|----------|----------|
| 20 | 86 | 87 | 3000 | 1666.667 | 1333.333 |
| 3 | 87 | 88 | 1666.667 | 3000 | -1333.33 |
| 7 | 89 | 92 | 3000 | 2285.714 | 714.2857 |
| 7 | 92 | 95 | 2285.714 | 1571.429 | 714.2857 |
| 7 | 95 | 97 | 1571.429 | 1285.714 | 285.7143 |
| 12 | 98 | 99 | 1285.714 | 428.5714 | 857.1429 |
| 0 | 100 | 104 | 428.5714 | 3000 | -2571.43 |
| 26 | 105 | 107 | 3000 | 1250 | 1750 |
| 10 | 107 | 108 | 1250 | 3000 | -1750 |
| 26 | 108 | 109 | 3000 | 250 | 2750 |
| 0 | 110 | 116 | 250 | 3000 | -2750 |
| 17 | 117 | 119 | 3000 | 3027.778 | -27.7778 |
| 8 | 120 | 121 | 3027.778 | 3000 | 27.77778 |
| 18 | 122 | 125 | 3000 | 2857.143 | 142.8571 |
| 18 | 125 | 126 | 2857.143 | 3000 | -142.857 |
| 21 | 127 | 128 | 3000 | 3000 | 0 |
| 13 | 128 | 135 | 3000 | 3000 | 0 |
| 0 | 136 | 140 | 3000 | 3000 | 0 |
| 26 | 141 | 142 | 3000 | 2777.778 | 222.2222 |
| 20 | 143 | 146 | 2777.778 | 3000 | -222.222 |
| 26 | 147 | 148 | 3000 | 2250 | 750 |
| 20 | 149 | 152 | 2250 | 3000 | -750 |
| 26 | 153 | 154 | 3000 | 3071.429 | -71.4286 |
| 25 | 155 | 156 | 3071.429 | 3000 | 71.42857 |
| 28 | 157 | 158 | 3000 | 2714.286 | 285.7143 |
| 26 | 159 | 160 | 2714.286 | 3000 | -285.714 |
| 0 | 161 | 162 | 3000 | 3000 | 0 |
| 34 | 163 | 166 | 3000 | 1166.667 | 1833.333 |
| 34 | 166 | 169 | 1166.667 | 666.6667 | 500 |
| 32 | 170 | 171 | 666.6667 | 95.2381 | 571.4286 |
| 0 | 172 | 174 | 95.2381 | 3000 | -2904.76 |
| 36 | 175 | 176 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 177 | 178 | 0 | 3000 | -3000 |
| 38 | 179 | 180 | 3000 | 500 | 2500 |
| 0 | 181 | 185 | 500 | 3000 | -2500 |
| 41 | 186 | 187 | 3000 | 83.33333 | 2916.667 |
| 0 | 188 | 195 | 83.33333 | 3000 | -2916.67 |
| 37 | 196 | 197 | 3000 | 2750 | 250 |
| 45 | 198 | 199 | 2750 | 850 | 1900 |
| 32 | 200 | | 850 | 3000 | -2150 |

Barco 3:

| Local | Dia de chegada | Dia de saída | Nível de estoque inicial | Nível de estoque final | Quantidade entregue |
|-------|----------------|--------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| 0 | 0 | 23 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 24 | 25 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 26 | 29 | 0 | 3000 | -3000 |
| 3 | 30 | 33 | 3000 | 1083.333 | 1916.667 |
| 3 | 33 | 34 | 1083.333 | 500 | 583.3333 |
| 0 | 35 | 37 | 500 | 3000 | -2500 |
| 4 | 38 | 55 | 3000 | 666.6667 | 2333.333 |
| 1 | 56 | 57 | 666.6667 | 95.2381 | 571.4286 |
| 0 | 58 | 59 | 95.2381 | 3000 | -2904.76 |
| 11 | 60 | 61 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 62 | 63 | 0 | 3000 | -3000 |
| 9 | 64 | 65 | 3000 | 433.3333 | 2566.667 |
| 0 | 66 | 67 | 433.3333 | 3000 | -2566.67 |
| 16 | 68 | 69 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 70 | 71 | 0 | 3000 | -3000 |
| 17 | 72 | 74 | 3000 | 1250 | 1750 |
| 2 | 75 | 76 | 1250 | 3000 | -1750 |
| 4 | 77 | 78 | 3000 | 2142.857 | 857.1429 |
| 6 | 79 | 83 | 2142.857 | 1571.429 | 571.4286 |
| 2 | 84 | 85 | 1571.429 | 3000 | -1428.57 |
| 7 | 86 | 87 | 3000 | 2714.286 | 285.7143 |
| 6 | 88 | 89 | 2714.286 | 3000 | -285.714 |
| 19 | 90 | 91 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 92 | 95 | 0 | 3000 | -3000 |
| 15 | 96 | 97 | 3000 | 2222.222 | 777.7778 |
| 10 | 98 | 99 | 2222.222 | 1615.079 | 607.1429 |
| 9 | 100 | 101 | 1615.079 | 936.5079 | 678.5714 |
| 11 | 102 | 103 | 936.5079 | 365.0794 | 571.4286 |
| 0 | 104 | 107 | 365.0794 | 3000 | -2634.92 |
| 14 | 108 | 109 | 3000 | 2888.889 | 111.1111 |
| 10 | 110 | 111 | 2888.889 | 3000 | -111.111 |
| 26 | 111 | 113 | 3000 | 1200 | 1800 |
| 10 | 113 | 114 | 1200 | 3000 | -1800 |
| 26 | 114 | 116 | 3000 | 2300 | 700 |
| 10 | 116 | 119 | 2300 | 3000 | -700 |
| 19 | 120 | 121 | 3000 | 2250 | 750 |
| 10 | 122 | 123 | 2250 | 3000 | -750 |
| 28 | 124 | 125 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 126 | 128 | 0 | 3000 | -3000 |
| 27 | 129 | 130 | 3000 | 1083.333 | 1916.667 |
| 16 | 131 | 133 | 1083.333 | 3000 | -1916.67 |
| 32 | 134 | 135 | 3000 | 0 | 3000 |

| | | | | | |
|----|-----|-----|----------|----------|----------|
| 0 | 136 | 141 | 0 | 3000 | -3000 |
| 31 | 142 | 143 | 3000 | 1666.667 | 1333.333 |
| 25 | 143 | 145 | 1666.667 | 1500 | 166.6667 |
| 31 | 145 | 146 | 1500 | 500 | 1000 |
| 0 | 147 | 157 | 500 | 3000 | -2500 |
| 24 | 158 | 159 | 3000 | 3138.889 | -138.889 |
| 28 | 160 | 161 | 3138.889 | 2424.603 | 714.2857 |
| 26 | 162 | 163 | 2424.603 | 3000 | -575.397 |
| 24 | 164 | 165 | 3000 | 3138.889 | -138.889 |
| 37 | 166 | 167 | 3138.889 | 638.8889 | 2500 |
| 26 | 168 | 169 | 638.8889 | 3000 | -2361.11 |
| 24 | 170 | 171 | 3000 | 3138.889 | -138.889 |
| 30 | 172 | 175 | 3138.889 | 2388.889 | 750 |
| 30 | 175 | 176 | 2388.889 | 1638.889 | 750 |
| 0 | 177 | 180 | 1638.889 | 3000 | -1361.11 |
| 30 | 181 | 182 | 3000 | 3055.556 | -55.5556 |
| 40 | 183 | 184 | 3055.556 | 1722.222 | 1333.333 |
| 32 | 185 | 186 | 1722.222 | 3000 | -1277.78 |
| 39 | 187 | 189 | 3000 | 1833.333 | 1166.667 |
| 30 | 190 | 194 | 1833.333 | 3000 | -1166.67 |
| 44 | 195 | 196 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 197 | 198 | 0 | 3000 | -3000 |
| 37 | 199 | | 3000 | 2107.143 | 892.8571 |

Barco 4:

| Local | Dia de chegada | Dia de saída | Nível de estoque inicial | Nível de estoque final | Quantidade entregue |
|-------|----------------|--------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| 0 | 0 | 25 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 26 | 27 | 3000 | 312.5 | 2687.5 |
| 0 | 28 | 39 | 312.5 | 3000 | -2687.5 |
| 6 | 40 | 41 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 42 | 44 | 0 | 3000 | -3000 |
| 5 | 45 | 59 | 3000 | 1100 | 1900 |
| 2 | 60 | 61 | 1100 | 207.1429 | 892.8571 |
| 0 | 62 | 64 | 207.1429 | 3000 | -2792.86 |
| 10 | 65 | 68 | 3000 | 1833.333 | 1166.667 |
| 14 | 69 | 70 | 1833.333 | 833.3333 | 1000 |
| 4 | 71 | 72 | 833.3333 | 261.9048 | 571.4286 |
| 0 | 73 | 74 | 261.9048 | 3000 | -2738.1 |
| 17 | 75 | 76 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 77 | 78 | 0 | 3000 | -3000 |
| 21 | 79 | 84 | 3000 | 1833.333 | 1166.667 |
| 6 | 85 | 86 | 1833.333 | 3000 | -1166.67 |
| 5 | 87 | 88 | 3000 | 2964.286 | 35.71429 |

| | | | | | |
|----|-----|-----|----------|----------|----------|
| 20 | 89 | 90 | 2964.286 | 1964.286 | 1000 |
| 3 | 90 | 91 | 1964.286 | 3000 | -1035.71 |
| 10 | 92 | 93 | 3000 | 2714.286 | 285.7143 |
| 6 | 94 | 95 | 2714.286 | 3000 | -285.714 |
| 11 | 96 | 97 | 3000 | 2142.857 | 857.1429 |
| 0 | 98 | 100 | 2142.857 | 3000 | -857.143 |
| 16 | 101 | 103 | 3000 | 2777.778 | 222.2222 |
| 12 | 104 | 107 | 2777.778 | 2492.063 | 285.7143 |
| 12 | 107 | 110 | 2492.063 | 2527.778 | -35.7143 |
| 12 | 110 | 115 | 2527.778 | 3000 | -472.222 |
| 18 | 116 | 119 | 3000 | 2142.857 | 857.1429 |
| 0 | 120 | 122 | 2142.857 | 3000 | -857.143 |
| 19 | 123 | 124 | 3000 | 2250 | 750 |
| 24 | 125 | 128 | 2250 | 1500 | 750 |
| 24 | 128 | 131 | 1500 | 750 | 750 |
| 24 | 131 | 132 | 750 | 250 | 500 |
| 0 | 133 | 134 | 250 | 3000 | -2750 |
| 29 | 135 | 136 | 3000 | 1833.333 | 1166.667 |
| 32 | 137 | 139 | 1833.333 | 1333.333 | 500 |
| 18 | 140 | 141 | 1333.333 | 3000 | -1666.67 |
| 30 | 142 | 143 | 3000 | 738.0952 | 2261.905 |
| 19 | 144 | 153 | 738.0952 | 3000 | -2261.9 |
| 0 | 154 | 158 | 3000 | 3000 | 0 |
| 27 | 159 | 160 | 3000 | 2428.571 | 571.4286 |
| 24 | 161 | 162 | 2428.571 | 2567.46 | -138.889 |
| 28 | 163 | 164 | 2567.46 | 1853.175 | 714.2857 |
| 26 | 165 | 166 | 1853.175 | 3000 | -1146.83 |
| 24 | 167 | 168 | 3000 | 3138.889 | -138.889 |
| 37 | 169 | 170 | 3138.889 | 1638.889 | 1500 |
| 26 | 171 | 172 | 1638.889 | 3000 | -1361.11 |
| 24 | 173 | 174 | 3000 | 3138.889 | -138.889 |
| 31 | 175 | 176 | 3138.889 | 2388.889 | 750 |
| 27 | 177 | 178 | 2388.889 | 3000 | -611.111 |
| 0 | 179 | 180 | 3000 | 3000 | 0 |
| 36 | 181 | 182 | 3000 | 1833.333 | 1166.667 |
| 27 | 183 | 184 | 1833.333 | 3000 | -1166.67 |
| 33 | 185 | 189 | 3000 | 2142.857 | 857.1429 |
| 41 | 189 | 190 | 2142.857 | 809.5238 | 1333.333 |
| 32 | 191 | 192 | 809.5238 | 3000 | -2190.48 |
| 42 | 193 | 194 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 195 | 196 | 0 | 3000 | -3000 |
| 49 | 197 | 198 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 199 | | 0 | 3000 | -3000 |

Barco 5:

| Local | Dia de chegada | Dia de saída | Nível de estoque inicial | Nível de estoque final | Quantidade entregue |
|-------|----------------|--------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| 0 | 0 | 26 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 27 | 28 | 3000 | 1500 | 1500 |
| 1 | 29 | 30 | 1500 | 187.5 | 1312.5 |
| 0 | 31 | 40 | 187.5 | 3000 | -2812.5 |
| 4 | 41 | 44 | 3000 | 1666.667 | 1333.333 |
| 4 | 44 | 56 | 1666.667 | 666.6667 | 1000 |
| 2 | 57 | 58 | 666.6667 | 416.6667 | 250 |
| 0 | 59 | 60 | 416.6667 | 3000 | -2583.33 |
| 9 | 61 | 62 | 3000 | 666.6667 | 2333.333 |
| 11 | 63 | 64 | 666.6667 | 416.6667 | 250 |
| 0 | 65 | 68 | 416.6667 | 3000 | -2583.33 |
| 15 | 69 | 71 | 3000 | 750 | 2250 |
| 2 | 72 | 73 | 750 | 3000 | -2250 |
| 4 | 74 | 75 | 3000 | 2428.571 | 571.4286 |
| 6 | 76 | 77 | 2428.571 | 1857.143 | 571.4286 |
| 2 | 78 | 81 | 1857.143 | 3000 | -1142.86 |
| 21 | 82 | 83 | 3000 | 166.6667 | 2833.333 |
| 0 | 84 | 86 | 166.6667 | 3000 | -2833.33 |
| 19 | 87 | 88 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 89 | 92 | 0 | 3000 | -3000 |
| 19 | 93 | 95 | 3000 | 2000 | 1000 |
| 8 | 96 | 97 | 2000 | 1777.778 | 222.2222 |
| 13 | 98 | 101 | 1777.778 | 1027.778 | 750 |
| 13 | 101 | 104 | 1027.778 | 750 | 277.7778 |
| 17 | 105 | 106 | 750 | 250 | 500 |
| 0 | 107 | 122 | 250 | 3000 | -2750 |
| 22 | 123 | 124 | 3000 | 2750 | 250 |
| 10 | 125 | 126 | 2750 | 3000 | -250 |
| 28 | 127 | 128 | 3000 | 750 | 2250 |
| 17 | 129 | 133 | 750 | 3000 | -2250 |
| 24 | 134 | 135 | 3000 | 2888.889 | 111.1111 |
| 21 | 136 | 137 | 2888.889 | 3000 | -111.111 |
| 13 | 137 | 138 | 3000 | 3000 | 0 |
| 31 | 139 | 140 | 3000 | 666.6667 | 2333.333 |
| 25 | 140 | 141 | 666.6667 | 111.1111 | 555.5556 |
| 0 | 142 | 143 | 111.1111 | 3000 | -2888.89 |
| 26 | 144 | 145 | 3000 | 2222.222 | 777.7778 |
| 33 | 146 | 147 | 2222.222 | 55.55556 | 2166.667 |
| 0 | 148 | 159 | 55.55556 | 3000 | -2944.44 |
| 34 | 160 | 161 | 3000 | 1333.333 | 1666.667 |
| 29 | 162 | 165 | 1333.333 | 888.8889 | 444.4444 |
| 29 | 165 | 166 | 888.8889 | 83.33333 | 805.5556 |

| | | | | | |
|----|-----|-----|----------|----------|----------|
| 0 | 167 | 171 | 83.33333 | 3000 | -2916.67 |
| 31 | 172 | 173 | 3000 | 2500 | 500 |
| 26 | 174 | 175 | 2500 | 3000 | -500 |
| 32 | 176 | 177 | 3000 | 2250 | 750 |
| 28 | 178 | 179 | 2250 | 3000 | -750 |
| 40 | 180 | 181 | 3000 | 250 | 2750 |
| 0 | 182 | 195 | 250 | 3000 | -2750 |
| 42 | 196 | 197 | 3000 | 166.6667 | 2833.333 |
| 0 | 198 | 199 | 166.6667 | 3000 | -2833.33 |
| 49 | 200 | | 3000 | 166.6667 | 2833.333 |

Barco 6:

| Local | Dia de chegada | Dia de saída | Nível de estoque inicial | Nível de estoque final | Quantidade entregue |
|-------|----------------|--------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| 0 | 0 | 41 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 42 | 43 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 44 | 47 | 0 | 3000 | -3000 |
| 5 | 48 | 59 | 3000 | 900 | 2100 |
| 3 | 60 | 61 | 900 | 328.5714 | 571.4286 |
| 0 | 62 | 64 | 328.5714 | 3000 | -2671.43 |
| 12 | 65 | 68 | 3000 | 1875 | 1125 |
| 12 | 68 | 69 | 1875 | 375 | 1500 |
| 0 | 70 | 73 | 375 | 3000 | -2625 |
| 18 | 74 | 75 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 76 | 77 | 0 | 3000 | -3000 |
| 17 | 78 | 80 | 3000 | 750 | 2250 |
| 5 | 81 | 82 | 750 | 71.42857 | 678.5714 |
| 0 | 83 | 86 | 71.42857 | 3000 | -2928.57 |
| 23 | 87 | 88 | 3000 | 1250 | 1750 |
| 4 | 89 | 91 | 1250 | 3000 | -1750 |
| 24 | 92 | 95 | 3000 | 750 | 2250 |
| 5 | 96 | 98 | 750 | 3000 | -2250 |
| 8 | 99 | 102 | 3000 | 2222.222 | 777.7778 |
| 8 | 102 | 105 | 2222.222 | 1472.222 | 750 |
| 8 | 105 | 106 | 1472.222 | 1222.222 | 250 |
| 0 | 107 | 122 | 1222.222 | 3000 | -1777.78 |
| 23 | 123 | 124 | 3000 | 2714.286 | 285.7143 |
| 16 | 125 | 128 | 2714.286 | 3000 | -285.714 |
| 22 | 129 | 132 | 3000 | 2428.571 | 571.4286 |
| 22 | 132 | 134 | 2428.571 | 2035.714 | 392.8571 |
| 19 | 135 | 136 | 2035.714 | 3000 | -964.286 |
| 25 | 137 | 139 | 3000 | 2321.429 | 678.5714 |
| 20 | 140 | 141 | 2321.429 | 3000 | -678.571 |
| 0 | 142 | 162 | 3000 | 3000 | 0 |

| | | | | | |
|----|-----|-----|------|------|-------|
| 37 | 163 | 164 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 165 | 175 | 0 | 3000 | -3000 |
| 38 | 176 | 177 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 178 | 180 | 0 | 3000 | -3000 |
| 39 | 181 | 182 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 183 | 197 | 0 | 3000 | -3000 |
| 44 | 198 | 199 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 200 | | 0 | 3000 | -3000 |

Barco 7:

| Local | Dia de chegada | Dia de saída | Nível de estoque inicial | Nível de estoque final | Quantidade entregue |
|-------|----------------|--------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| 0 | 0 | 42 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 43 | 46 | 3000 | 1166.667 | 1833.333 |
| 6 | 46 | 47 | 1166.667 | 166.6667 | 1000 |
| 0 | 48 | 58 | 166.6667 | 3000 | -2833.33 |
| 7 | 59 | 61 | 3000 | 1166.667 | 1833.333 |
| 1 | 62 | 63 | 1166.667 | 309.5238 | 857.1429 |
| 0 | 64 | 65 | 309.5238 | 3000 | -2690.48 |
| 3 | 66 | 67 | 3000 | 2250 | 750 |
| 9 | 67 | 68 | 2250 | 150 | 2100 |
| 0 | 69 | 70 | 150 | 3000 | -2850 |
| 16 | 71 | 74 | 3000 | 1500 | 1500 |
| 3 | 75 | 76 | 1500 | 3000 | -1500 |
| 18 | 77 | 83 | 3000 | 750 | 2250 |
| 5 | 84 | 85 | 750 | 178.5714 | 571.4286 |
| 0 | 86 | 87 | 178.5714 | 3000 | -2821.43 |
| 21 | 88 | 92 | 3000 | 1500 | 1500 |
| 13 | 92 | 95 | 1500 | 1250 | 250 |
| 13 | 95 | 101 | 1250 | 500 | 750 |
| 15 | 102 | 103 | 500 | 55.55556 | 444.4444 |
| 0 | 104 | 107 | 55.55556 | 3000 | -2944.44 |
| 17 | 108 | 109 | 3000 | 2250 | 750 |
| 13 | 110 | 115 | 2250 | 3000 | -750 |
| 21 | 115 | 116 | 3000 | 2500 | 500 |
| 13 | 116 | 118 | 2500 | 3000 | -500 |
| 21 | 118 | 119 | 3000 | 2388.889 | 611.1111 |
| 13 | 119 | 121 | 2388.889 | 3000 | -611.111 |
| 21 | 121 | 122 | 3000 | 2111.111 | 888.8889 |
| 13 | 122 | 124 | 2111.111 | 3000 | -888.889 |
| 21 | 124 | 125 | 3000 | 2888.889 | 111.1111 |
| 13 | 125 | 126 | 2888.889 | 3000 | -111.111 |
| 0 | 127 | 128 | 3000 | 3000 | 0 |
| 29 | 129 | 130 | 3000 | 0 | 3000 |

| | | | | | |
|----|-----|-----|----------|----------|----------|
| 0 | 131 | 142 | 0 | 3000 | -3000 |
| 32 | 143 | 146 | 3000 | 1250 | 1750 |
| 22 | 147 | 148 | 1250 | 3000 | -1750 |
| 33 | 149 | 152 | 3000 | 1500 | 1500 |
| 33 | 152 | 153 | 1500 | 500 | 1000 |
| 0 | 154 | 164 | 500 | 3000 | -2500 |
| 27 | 165 | 166 | 3000 | 2250 | 750 |
| 25 | 167 | 168 | 2250 | 3000 | -750 |
| 28 | 169 | 172 | 3000 | 3107.143 | -107.143 |
| 28 | 172 | 173 | 3107.143 | 3000 | 107.1429 |
| 35 | 174 | 175 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 176 | 177 | 0 | 3000 | -3000 |
| 30 | 178 | 179 | 3000 | 2500 | 500 |
| 35 | 180 | 182 | 2500 | 750 | 1750 |
| 29 | 183 | 185 | 750 | 3000 | -2250 |
| 43 | 186 | 188 | 3000 | 666.6667 | 2333.333 |
| 29 | 189 | 192 | 666.6667 | 3000 | -2333.33 |
| 34 | 193 | 194 | 3000 | 2416.667 | 583.3333 |
| 29 | 195 | 196 | 2416.667 | 3000 | -583.333 |
| 0 | 197 | 198 | 3000 | 3000 | 0 |
| 42 | 199 | | 3000 | 1833.333 | 1166.667 |

Barco 8:

| Local | Dia de chegada | Dia de saída | Nível de estoque inicial | Nível de estoque final | Quantidade entregue |
|-------|----------------|--------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| 0 | 0 | 58 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 59 | 60 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 61 | 62 | 0 | 3000 | -3000 |
| 14 | 63 | 64 | 3000 | 250 | 2750 |
| 0 | 65 | 88 | 250 | 3000 | -2750 |
| 24 | 89 | 92 | 3000 | 1250 | 1750 |
| 5 | 93 | 94 | 1250 | 3000 | -1750 |
| 24 | 95 | 98 | 3000 | 1000 | 2000 |
| 24 | 98 | 99 | 1000 | 1E-11 | 1000 |
| 0 | 100 | 122 | 1E-11 | 3000 | -3000 |
| 27 | 123 | 124 | 3000 | 666.6667 | 2333.333 |
| 12 | 125 | 128 | 666.6667 | 3000 | -2333.33 |
| 23 | 129 | 132 | 3000 | 2428.571 | 571.4286 |
| 23 | 132 | 134 | 2428.571 | 2178.571 | 250 |
| 17 | 135 | 136 | 2178.571 | 3000 | -821.429 |
| 20 | 137 | 138 | 3000 | 3571.429 | -571.429 |
| 30 | 139 | 140 | 3571.429 | 0 | 3571.429 |
| 0 | 141 | 142 | 0 | 3000 | -3000 |
| 33 | 143 | 149 | 3000 | 666.6667 | 2333.333 |

| | | | | | |
|----|-----|-----|----------|----------|----------|
| 26 | 150 | 151 | 666.6667 | 416.6667 | 250 |
| 0 | 152 | 176 | 416.6667 | 3000 | -2583.33 |
| 40 | 177 | 178 | 3000 | 1250 | 1750 |
| 33 | 179 | 180 | 1250 | 678.5714 | 571.4286 |
| 28 | 181 | 183 | 678.5714 | 3000 | -2321.43 |
| 30 | 184 | 185 | 3000 | 2861.111 | 138.8889 |
| 40 | 186 | 187 | 2861.111 | 1694.444 | 1166.667 |
| 32 | 188 | 189 | 1694.444 | 3000 | -1305.56 |
| 34 | 190 | 191 | 3000 | 2250 | 750 |
| 43 | 192 | 195 | 2250 | 583.3333 | 1666.667 |
| 0 | 196 | 198 | 583.3333 | 3000 | -2416.67 |
| 47 | 199 | | 3000 | 1250 | 1750 |

Barco 9:

| Local | Dia de chegada | Dia de saída | Nível de estoque inicial | Nível de estoque final | Quantidade entregue |
|-------|----------------|--------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| 0 | 0 | 58 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 59 | 61 | 3000 | 1250 | 1750 |
| 7 | 62 | 73 | 1250 | 750 | 500 |
| 1 | 74 | 77 | 750 | 3000 | -2250 |
| 0 | 78 | 89 | 3000 | 3000 | 0 |
| 22 | 90 | 91 | 3000 | 83.33333 | 2916.667 |
| 0 | 92 | 95 | 83.33333 | 3000 | -2916.67 |
| 22 | 96 | 99 | 3000 | 1500 | 1500 |
| 22 | 99 | 100 | 1500 | 1000 | 500 |
| 12 | 101 | 102 | 1000 | 142.8571 | 857.1429 |
| 0 | 103 | 125 | 142.8571 | 3000 | -2857.14 |
| 22 | 126 | 128 | 3000 | 2107.143 | 892.8571 |
| 8 | 129 | 131 | 2107.143 | 3000 | -892.857 |
| 29 | 132 | 133 | 3000 | 166.6667 | 2833.333 |
| 0 | 134 | 177 | 166.6667 | 3000 | -2833.33 |
| 31 | 178 | 179 | 3000 | 2250 | 750 |
| 27 | 180 | 181 | 2250 | 3000 | -750 |
| 33 | 182 | 183 | 3000 | 2428.571 | 571.4286 |
| 41 | 183 | 185 | 2428.571 | 678.5714 | 1750 |
| 27 | 186 | 191 | 678.5714 | 3000 | -2321.43 |
| 41 | 192 | 194 | 3000 | 2000 | 1000 |
| 33 | 194 | 195 | 2000 | 3000 | -1000 |
| 45 | 195 | 196 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 197 | | 0 | 3000 | -3000 |

Barco 10:

| Local | Dia de chegada | Dia de saída | Nível de estoque inicial | Nível de estoque final | Quantidade entregue |
|-------|----------------|--------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| 0 | 0 | 59 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 60 | 62 | 3000 | 1250 | 1750 |
| 3 | 63 | 69 | 1250 | 571.4286 | 678.5714 |
| 3 | 69 | 72 | 571.4286 | 607.1429 | -35.7143 |
| 3 | 72 | 73 | 607.1429 | 3000 | -2392.86 |
| 16 | 74 | 77 | 3000 | 1200 | 1800 |
| 16 | 77 | 78 | 1200 | 500 | 700 |
| 0 | 79 | 89 | 500 | 3000 | -2500 |
| 23 | 90 | 91 | 3000 | 83.33333 | 2916.667 |
| 0 | 92 | 95 | 83.33333 | 3000 | -2916.67 |
| 23 | 96 | 99 | 3000 | 1500 | 1500 |
| 6 | 100 | 101 | 1500 | 3000 | -1500 |
| 14 | 102 | 104 | 3000 | 2333.333 | 666.6667 |
| 5 | 105 | 106 | 2333.333 | 3000 | -666.667 |
| 25 | 107 | 108 | 3000 | 1500 | 1500 |
| 9 | 109 | 110 | 1500 | 3000 | -1500 |
| 17 | 111 | 112 | 3000 | 2250 | 750 |
| 18 | 113 | 114 | 2250 | 1392.857 | 857.1429 |
| 0 | 115 | 125 | 1392.857 | 3000 | -1607.14 |
| 23 | 126 | 128 | 3000 | 2142.857 | 857.1429 |
| 14 | 129 | 133 | 2142.857 | 3000 | -857.143 |
| 25 | 134 | 136 | 3000 | 2428.571 | 571.4286 |
| 31 | 136 | 137 | 2428.571 | 95.2381 | 2333.333 |
| 0 | 138 | 177 | 95.2381 | 3000 | -2904.76 |
| 36 | 178 | 179 | 3000 | 166.6667 | 2833.333 |
| 0 | 180 | 181 | 166.6667 | 3000 | -2833.33 |
| 38 | 182 | 183 | 3000 | 1500 | 1500 |
| 36 | 184 | 186 | 1500 | 1500 | -1.8E-12 |
| 31 | 187 | 188 | 1500 | 3000 | -1500 |
| 43 | 189 | 190 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 191 | | 0 | 3000 | -3000 |

Barco 11:

| Local | Dia de chegada | Dia de saída | Nível de estoque inicial | Nível de estoque final | Quantidade entregue |
|-------|----------------|--------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| 0 | 0 | 59 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 60 | 62 | 3000 | 1250 | 1750 |
| 2 | 63 | 66 | 1250 | 678.5714 | 571.4286 |
| 2 | 66 | 67 | 678.5714 | 428.5714 | 250 |
| 0 | 68 | 92 | 428.5714 | 3000 | -2571.43 |
| 22 | 93 | 94 | 3000 | 2083.333 | 916.6667 |

| | | | | | |
|----|-----|-----|----------|----------|----------|
| 4 | 95 | 98 | 2083.333 | 3000 | -916.667 |
| 15 | 99 | 100 | 3000 | 2444.444 | 555.5556 |
| 10 | 101 | 102 | 2444.444 | 2194.444 | 250 |
| 9 | 103 | 104 | 2194.444 | 1658.73 | 535.7143 |
| 14 | 105 | 106 | 1658.73 | 1492.063 | 166.6667 |
| 16 | 107 | 110 | 1492.063 | 920.6349 | 571.4286 |
| 16 | 110 | 111 | 920.6349 | 662.6984 | 257.9365 |
| 0 | 112 | 125 | 662.6984 | 3000 | -2337.3 |
| 27 | 126 | 132 | 3000 | 833.3333 | 2166.667 |
| 27 | 132 | 133 | 833.3333 | 250 | 583.3333 |
| 0 | 134 | | 250 | 3000 | -2750 |

Barco 12:

| Local | Dia de chegada | Dia de saída | Nível de estoque inicial | Nível de estoque final | Quantidade entregue |
|-------|----------------|--------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| 0 | 0 | 61 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 62 | 63 | 3000 | 166.6667 | 2833.333 |
| 0 | 64 | 65 | 166.6667 | 3000 | -2833.33 |
| 8 | 66 | 77 | 3000 | 666.6667 | 2333.333 |
| 3 | 78 | 80 | 666.6667 | 3000 | -2333.33 |
| 20 | 80 | 81 | 3000 | 0 | 3000 |
| 3 | 81 | 83 | 0 | 3000 | -3000 |
| 20 | 83 | 84 | 3000 | 1333.333 | 1666.667 |
| 3 | 84 | 85 | 1333.333 | 3000 | -1666.67 |
| 0 | 86 | 92 | 3000 | 3000 | 0 |
| 23 | 93 | 95 | 3000 | 2166.667 | 833.3333 |
| 14 | 96 | 99 | 2166.667 | 1666.667 | 500 |
| 14 | 99 | 100 | 1666.667 | 1055.556 | 611.1111 |
| 4 | 101 | 103 | 1055.556 | 3000 | -1944.44 |
| 25 | 104 | 105 | 3000 | 500 | 2500 |
| 0 | 106 | | 500 | 3000 | -2500 |

Barco 13:

| Local | Dia de chegada | Dia de saída | Nível de estoque inicial | Nível de estoque final | Quantidade entregue |
|-------|----------------|--------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| 0 | 0 | 61 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 62 | 63 | 3000 | 375 | 2625 |
| 0 | 64 | 65 | 375 | 3000 | -2625 |
| 11 | 66 | 71 | 3000 | 1000 | 2000 |
| 8 | 72 | 73 | 1000 | 1.18E-11 | 1000 |
| 0 | 74 | 100 | 1.18E- | 3000 | -3000 |

| | | | | | |
|----|-----|-----|------|------|-------|
| | | | 11 | | |
| 25 | 101 | 102 | 3000 | 0 | 3000 |
| 0 | 103 | | 0 | 3000 | -3000 |

Barco 14:

| Local | Dia de chegada | Dia de saída | Nível de estoque inicial | Nível de estoque final | Quantidade entregue |
|-------|----------------|--------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| 0 | 0 | 61 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 62 | 63 | 3000 | 83.33333 | 2916.667 |
| 0 | 64 | 65 | 83.33333 | 3000 | -2916.67 |
| 14 | 66 | 68 | 3000 | 1500 | 1500 |
| 8 | 69 | 70 | 1500 | 166.6667 | 1333.333 |
| 0 | 71 | | 166.6667 | 3000 | -2833.33 |

Barco 15:

| Local | Dia de chegada | Dia de saída | Nível de estoque inicial | Nível de estoque final | Quantidade entregue |
|-------|----------------|--------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| 0 | 0 | 62 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 63 | 66 | 3000 | 666.6667 | 2333.333 |
| 15 | 66 | 67 | 666.6667 | 0 | 666.6667 |
| 0 | 68 | | 0 | 3000 | -3000 |

Barco 16:

| Local | Dia de chegada | Dia de saída | Nível de estoque inicial | Nível de estoque final | Quantidade entregue |
|-------|----------------|--------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| 0 | 0 | 64 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 65 | 66 | 3000 | 83.33333 | 2916.667 |
| 0 | 67 | | 83.33333 | 3000 | -2916.67 |