

THABIANI CRISTINE ARADI

Planejamento de Operações de Manutenção Submarina

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia

Orientador:
Prof. Dr. André Bergsten Mendes

São Paulo

2015

THABIANI CRISTINE ARADI

Planejamento de Operações de Manutenção Submarina

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia Naval e Oceânica

Orientador:
Prof. Dr. André Bergsten Mendes

São Paulo
2015

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, de março de 2015.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

Catálogo-na-publicação

Aradi, Thabiani Cristine
Planejamento de operações de manutenção submarina/
T.C. Aradi. -- versão corr. -- São Paulo, 2015.
116 p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica.

1.Embarcações subaquáticas (Manutenção) I. Universidade
de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia
Naval e Oceânica II.t.

À minha família, amigos, professores e
mestres por me fazerem acreditar

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo despertar de todos os dias e a oportunidade de poder viver um dia de cada vez.

Agradeço aos meus pais, irmãos e familiares pelo amor, carinho, apoio, incentivo e educação depositados em mim durante esses anos.

Agradeço aos meus amigos queridos que vão e que vem, do trabalho, da praia, da faculdade, do mestrado, da infância, do centro, dos esportes e da vida, pelos conselhos e diversos momentos alegres e tristes compartilhados juntos.

Agradeço ao meu orientador pela paciência e disposição em sempre me ajudar.

E por fim a Universidade de São Paulo pelos longos anos de muito crescimento moral e intelectual.

RESUMO

A presente pesquisa buscou resolver o problema de planejamento de operações submarinas através das perspectivas de programação de tarefas e dimensionamento de frota. O problema consistiu em estabelecer a melhor sequência de tarefas a serem atendidas por embarcações levando em consideração sua compatibilidade, regras de sequenciamento e o tamanho da frota. O problema é uma extensão do modelo clássico de roteirização com janelas de tempo com o objetivo de minimizar os custos associados à roteirização e as perdas econômicas associadas às interrupções de produção. A resolução do trabalho concentrou-se no curto e longo prazo, utilizando como principal método de solução a heurística *Simulated Annealing* por meio de um algoritmo de simulação-otimização.

Palavras-chave: Manutenção submarina. Modelagem matemática. Simulação – Otimização. Heurísticas.

ABSTRACT

This research aimed at solving the problem of planning underwater operations that involves job scheduling and fleet sizing decisions. The problem consisted in establish the best sequence of tasks to be attended by vessels taking into account compatibility constraints, sequencing rules and the size of the fleet. The problem is an extension of the classical vehicle routing problem with time windows. The objective is to minimize the routing costs and the economic losses associated with production losses. The solution procedure focused on short and long-term decisions based on the heuristic Simulated Annealing through a simulation-optimization algorithm.

Keywords: Undersea maintenance. Mathematical modelling, Simulation – Optimization. Heuristics.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Considerações Iniciais	12
1.2 Objetivo da Pesquisa	15
1.3 Motivação para a Pesquisa	15
1.4 Metodologia.....	16
1.5 Delineamento do Texto	17
2 REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1 Problemas Modelados por Simulação de Eventos Discretos	18
2.2 Problemas de Programação Matemática	24
2.3 Problemas de Simulação-Otimização	27
2.4 Técnicas Heurísticas Empregadas em Resolução de Problemas Combinatórios.....	30
2.5 Conclusões da Revisão Bibliográfica	34
3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E MODELAGEM MATEMÁTICA.....	35
3.1 Detalhamento do Problema.....	35
3.2 Modelo Matemático Determinístico	39
4 MÉTODOS PROPOSTOS PARA A RESOLUÇÃO DO PROBLEMA	45
4.1 Regra de Sequenciamento.....	45
4.2 Modelo de Simulação - Otimização.....	46
5 RESULTADOS	52
5.1 Dados de Entrada do Modelo – Curto Prazo.....	52
5.2 Resultados para a programação de curto prazo – durações médias dos serviços.....	56

5.3	Resultados para a programação de curto prazo – durações dadas por distribuições.....	63
5.4	Dados de Entrada do Modelo – Longo Prazo	67
5.5	Resultados para a programação de longo prazo	69
6	CONCLUSÕES.....	72
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
	ANEXOS.....	79
	Instâncias de testes para o problema de programação	79
	Rotas geradas pela regra de sequenciamento considerando os tempos médios de duração de cada tarefa – curto prazo.....	90
	Resultado da aplicação das regras de sequenciamento, para todas as replicações – curto prazo.....	91
	Resultado da aplicação das regras de sequenciamento seguido de busca local, para todas as replicações.....	104

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Embarcações DSV e RSV.....	12
Figura 1.2: Metodologia desenvolvida para resolver problemas de pesquisa operacional.....	15
Figura 2.1: Variável em um sistema de eventos contínuos (a) e discretos (b).....	17
Figura 4.1: Fluxograma da Regra de Sequenciamento Adotada.....	45
Figura 4.2: Algoritmo de Simulação-Otimização.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Classificação dos trabalhos revisados na Revisão de Literatura....	29
Tabela 4.1: Níveis de aceitação de soluções que deterioram a função objetivo, para constante $K = 12.500$	50
Tabela 5.1: Especificação dos 27 cenários testados.....	54
Tabela 5.2: Resultados do modelo matemático.....	55
Tabela 5.3: Comparação do desempenho entre diferentes problemas.....	57
Tabela 5.4: Resultado da regra de sequenciamento, considerando os tempos médios de serviço.....	57
Tabela 5.5: Resultado da regra de sequenciamento + busca local, considerando os tempos médios de serviço.....	58
Tabela 5.6: Resultado da regra de sequenciamento + <i>simulated annealing</i> , considerando os tempos médios de serviço.....	60
Tabela 5.7: Comparação entre diferentes métodos.....	61
Tabela 5.8: Regra de sequenciamento – estatística descritiva.....	62
Tabela 5.9: Regra de sequenciamento + busca local – estatística descritiva...	64
Tabela 5.10: Regra de sequenciamento + <i>simulated annealing</i> – estatística descritiva.....	65
Tabela 5.11: Comparação do intervalo de confiança com os resultados do modelo matemático.....	66
Tabela 5.12: Intervalo médio entre as ocorrências das tarefas.....	67
Tabela 5.13: Resultados da regra de sequenciamento.....	68
Tabela 5.14: Resultados da regra de sequenciamento + busca local.....	69

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem o objetivo de introduzir alguns aspectos importantes do problema estudado nesta dissertação, a saber o problema de *planejamento das operações de manutenção submarina*. Inicialmente são feitas algumas considerações do problema e, em seguida, são apresentados os objetivos pretendidos, a metodologia aplicada e a organização dos capítulos.

1.1 Considerações Iniciais

A exploração e produção de petróleo *offshore* requerem a manutenção preventiva e corretiva das sondas, das plataformas de petróleo e dos subsistemas associados. Como qualquer sistema produtivo, as atividades de exploração e produção de petróleo *offshore* também estão sujeitas a falhas de seus componentes, no que diz respeito aos sistemas de comando elétrico, aos sistemas mecânicos (válvulas, mecanismos diversos), ou mesmo a falhas estruturais, que podem causar vazamentos de óleo.

Em se tratando de sistemas de produção, os seus componentes operam usualmente de forma integrada e, dependendo de qual subsistema falhar, outros poderão ser afetados, sendo a consequência direta desta falha a provável perda de capacidade produtiva, resultando em perdas econômicas e financeiras. Em outras situações, as ações de manutenção podem estar relacionadas à expansão da capacidade do sistema produtivo, quando se faz necessário a conexão e desconexão de válvulas e dutos, para instalação de equipamentos ou novos dutos.

Adicionalmente, os gestores da infraestrutura submarina da empresa petrolífera realizam inspeções preventivas em seus subsistemas (dutos, árvore de natal, caixas de conexão), de forma a identificar potenciais problemas. Em locais em que já houve ocorrência de vazamentos, a empresa petrolífera deve realizar inspeções adicionais por imposição do IBAMA.

A menos das ações preventivas, as atividades de manutenção são de natureza probabilística no que diz respeito às ocorrências e aos tempos de serviço.

Ainda como caracterização preliminar do problema, cabe destacar que as atividades de manutenção são desempenhadas por uma frota dedicada de embarcações especializadas, segmentadas em embarcações tipo RSV (“ROV” *support vessel*) e DSV (*diving support vessel*), mostradas na Figura 1.1. Enquanto que a primeira categoria refere-se ao tipo de embarcação que se utiliza de um ROV (*remoted operated vehicle*) para executar os serviços, no segundo tipo a manutenção é realizada por mergulhadores, que ficam confinados em câmaras hiperbáricas e realizam serviços até 300 metros de profundidade.



Figura 1.1: Embarcações DSV e RSV
Fonte: www.petroleoetc.com.br

No curto prazo, a empresa conhece os serviços (doravante chamados de tarefas) pendentes, suas durações esperadas, bem como os tempos médios de deslocamento entre os locais de ocorrência das tarefas pelos navios que realizam as atividades de manutenção. Para uma frota conhecida, a empresa necessita programar os serviços, estabelecendo a sequência de atendimento e os respectivos instantes de início de atendimento, atendendo às restrições operacionais, que serão posteriormente apresentadas.

No longo prazo, a eficácia das atividades de manutenção bem como o resultado econômico-financeiro destas operações dependerão de quão ajustada a frota está às necessidades de manutenção. Se o dimensionamento da frota estiver incompatível com a quantidade de serviços, a perda associada à falta de embarcações poderá ser significativa. Analogamente, se a frota estiver superdimensionada, sendo capaz de sanar qualquer ocorrência rapidamente, haverá um custo significativo associado à ociosidade da frota, o que também é indesejável. Assim, busca-se encontrar um equilíbrio entre a composição da frota com os níveis de demanda esperados para uma dada região geográfica, caracterizando assim, um problema de dimensionamento de frota, o qual, contudo, deve ser tratado concomitantemente com a programação das tarefas potenciais, previstas para ocorrer.

Neste caso, o dimensionamento pode ser feito baseando-se em uma previsão de ocorrências, sendo esta derivada de dados históricos ou a partir da percepção e da experiência de profissionais do setor de manutenção da empresa.

Não fará parte do escopo desta pesquisa analisar em detalhes e discutir os serviços de manutenção, mas utilizar informações disponíveis em fontes bibliográficas, assumindo que existem distribuições conhecidas que as representam adequadamente, tanto para o problema de dimensionamento de frota quanto para o problema de programação das embarcações.

1.2 Objetivo da Pesquisa

O objetivo central desta pesquisa é resolver o problema de planejamento de operações de manutenção submarina, por meio de métodos quantitativos, permitindo abordar os dois aspectos mencionados: i) a programação da frota no curto prazo; ii) o dimensionamento da frota, sendo este um problema de médio e longo prazo.

Sob a perspectiva do método de pesquisa, é objetivo da pesquisa testar uma metodologia relativamente recente, designada de simulação-otimização (Fu, 1994; Carson e Maria, 1997; Tekin e Sabuncuoglu, 2004; Alrefaei e Diabat, 2009) , para a resolução de problemas de programação estocástica. Pretende-se comparar com a abordagem existente na literatura, baseada em simulação de eventos discretos, a qual, contudo, tem se mostrado limitada, por adotar regras de decisão fixas (por exemplo, regras de liberação), quando o sistema real opera segundo regras mais sofisticadas.

1.3 Motivação para a Pesquisa

O Brasil é um país que vem avançando na exploração *offshore* de petróleo em sua zona econômica exclusiva, destacando-se como produtor em águas profundas e ultra-profundas. A descoberta de hidrocarbonetos na camada do pré-sal vêm causando uma mudança da estrutura da atividade petrolífera no Brasil. Segundo a Petrobras, a produção de apenas 25 poços na bacia de Santos já soma mais de 500 mil barris de petróleo por dia (Petrobras, 2014).

A presidente da Petrobras, Graça Foster, relata que “as reservas da Petrobrás têm potencial para dobrar de tamanho e atingir 31,5 bilhões de barris de óleo equivalente nos próximos anos”(Epocanegócios, 2013).

O aumento e/ou ampliação da frente exploratória, com novas unidades entrando em operação, resulta no aumento de demanda por atividades de manutenção submarina. A fim de atender a demanda crescente, e reduzir

custos, empresas vem buscando a cada dia desenvolver ferramentas que otimizem seus processos através de técnicas matemáticas e estatísticas, e modelos quantitativos.

Assim, a presente pesquisa pode contribuir no suporte das decisões de planejamento de técnicos do setor de manutenção, e uso racional da frota, que é um recurso escasso e caro.

1.4 Metodologia

A pesquisa operacional (PO) consiste no desenvolvimento de métodos científicos de sistemas complexos, com a finalidade de prever e comparar estratégias ou decisões alternativas. O objetivo é dar suporte à definição de políticas e determinação de ações de forma científica (Arenales *et al.*, 2007).

A pesquisa operacional como ciência se propõe a resolver os problemas na área de operações por meio do desenvolvimento de quatro etapas: abstração, modelagem, resolução do problema e implementação (Bertrand e Fransoo, 2002), conforme indicado na Figura 1.2.

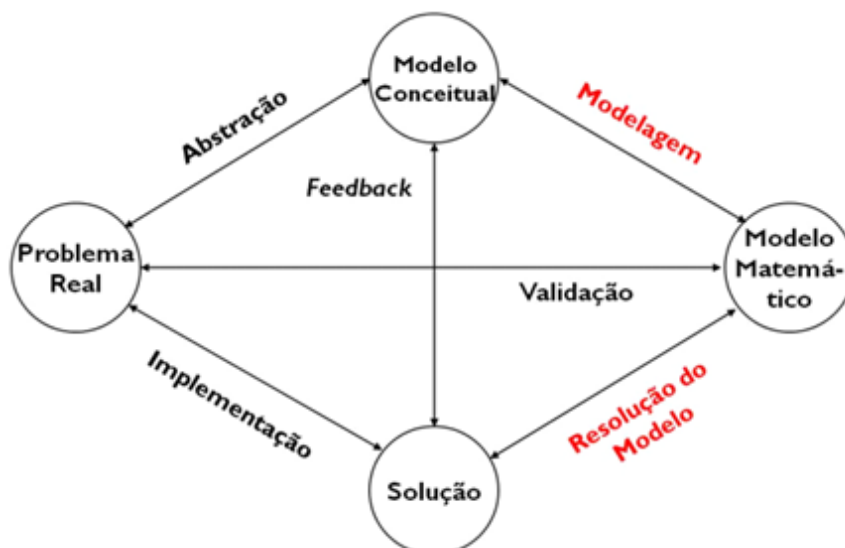


Figura 1.2: Metodologia desenvolvida para resolver problemas de pesquisa operacional
Fonte: Bertrand e Fransoo, 2002

Para a elaboração do modelo de decisão, cobrindo os aspectos de programação e dimensionamento, serão consideradas as etapas acima descritas. Contudo, dado que o problema está devidamente caracterizado, e que a implementação dos resultados cabe tão-somente à empresa petrolífera, a pesquisa estará centrada nas etapas de modelagem e resolução do modelo matemático.

1.5 Delineamento do Texto

O presente texto está estruturado em seis capítulos. O primeiro capítulo destina-se a introdução, fornecendo uma visão geral do tema abordado, além de caracterizar o problema, levantar os pontos relevantes, objetivos e alguns aspectos da metodologia aplicada.

No capítulo dois é feito um levantamento de trabalhos que utilizaram como ferramenta a simulação computacional, otimização e simulação-otimização para resolver diferentes tipos de problemas, voltados ao setor de petróleo e/ou marítimo.

O capítulo três apresenta a descrição do problema e a modelagem matemática através de um modelo determinístico, o capítulo quatro mostra os métodos de resolução do problema da pesquisa.

O quinto capítulo apresenta os resultados da aplicação dos métodos propostos no capítulo anterior e o capítulo seis conclui o tema da pesquisa abordado nesta pesquisa.

Por fim são apresentadas as referências bibliográficas consultadas ao decorrer do trabalho e os anexos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo faz um levantamento de trabalhos que utilizaram como metodologia ferramentas de simulação computacional, otimização e simulação-otimização para resolver problemas voltados a atividades marítimas.

2.1 Problemas Modelados por Simulação de Eventos Discretos

A simulação consiste na elaboração de um modelo que representa um sistema real e que permite executar experimentos com o propósito de compreender o comportamento do sistema e/ou avaliar várias estratégias para a operação do mesmo (Pedgen *et al.*,1995).

Segundo Chwif e Medina (2010), um modelo de simulação pode ser contínuo ou discreto. A simulação contínua é utilizada para modelar sistemas cujo estado varia continuamente no tempo e são usualmente governadas por equações diferenciais.

Por outro lado, a simulação de eventos discretos modela o sistema como uma sequência discreta de eventos ao longo do tempo. Cada evento ocorre em um determinado instante de tempo, alterando o estado do sistema.

A Figura 2.1 apresenta o comportamento de uma variável de um sistema dinâmico de eventos contínuos (a) e de uma variável de um sistema dinâmico de eventos discretos (b).

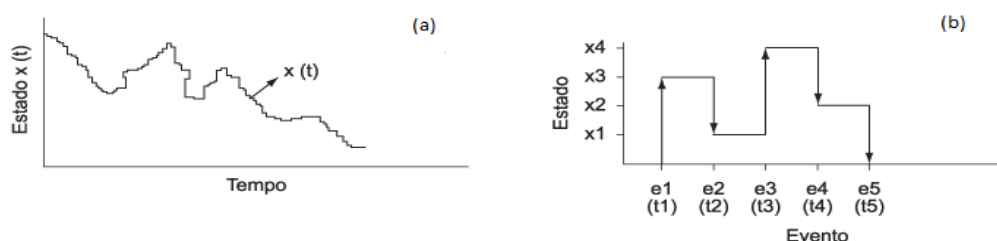


Figura 2.1: Variável em um sistema de eventos contínuos (a) e discretos (b)
Fonte: www.scielo.br/img/revistas/gp/v17n3/07f01.gif

O modelo de simulação de eventos discretos é composto dos seguintes elementos:

- Sistema – delimita o ambiente de análise;
- Entidades – são os “clientes” que são simulados dentro do sistema (ex: navios, veículos, pacientes);
- Recursos – são os locais em que os processos são realizados (ex: atendimento, produção);
- Atributos – são informações próprias de cada entidade (ex: tipo do cliente; instante que adentrou uma certa fila);e
- Condição de parada – condição mediante a qual a simulação é encerrada.

Gordon (1961) aponta o sistema de simulação de eventos discretos como uma metodologia de processamento das entidades, que são elementos passivos e viajam através de blocos de um diagrama de fluxo onde podem permanecer em fila, serem processadas, sofrerem atrasos, etc.

Segundo Ammeri *et al.* (2010), a simulação é uma ferramenta apropriada para análise do sistema e avaliação de desempenho de muitos problemas complexos e matematicamente intratáveis de gestão e produção.

A seguir serão revisados alguns trabalhos de simulação, os quais estão, em parte, relacionados com o tema desta pesquisa.

Darzentas e Spyrou (1996) desenvolveram um modelo de simulação como ferramenta no auxílio da tomada de decisão do Ministério dos Transportes de Egeu (Grécia), visando o estudo de possíveis melhorias do serviço de balsas existente entre as ilhas da região.

O modelo permite analisar e definir as melhores configurações de rotas, itinerários e embarcações. Assume-se que todas as embarcações partem de um mesmo porto e são contemplados: i) a variação sazonal (inverno/verão) da

demanda de passageiros, ii) o atraso das embarcações devido a mudanças meteorológicas, e iii) a infraestrutura local de cada ilha (capacidade dos portos). As instâncias testadas foram reais, fornecidas pelo ministérios dos transportes e do Mar Egeu, da polícia portuária e dos serviços de turismo e linhas de navegação.

Shabayek e Yeung (2002) estudaram o desempenho do terminal de contêineres de Kwai Chung (Hong Kong) por meio de um modelo de chegadas e alocações de embarcações nos berços.

O modelo parte do princípio de que as embarcações chegam navegando através de rotas de chegada até alcançarem a “*buffer zone*” definida como Ancoragem I. A partir deste momento, cada embarcação passa por um centro de distribuição e espera para que lhe seja atribuída um operador para alocá-la a um berço. A designação da embarcação-berço é feita através de uma variável randômica.

Os autores apontam este modelo como uma ferramenta de apoio para análise de custo e de nível de serviço, pois a simulação permite avaliar parâmetros como o tempo médio de espera dos navios na fila e a taxa de utilização dos berços, que são índices importantes para determinar quando e em quanto a capacidade do terminal deve ser expandida.

O modelo não considera: i) o atraso das embarcações devido às condições meteorológicas; ii) a utilização das rotas de entrada e saída por embarcações que não sejam de transporte de contêineres.

Martagan *et al.* (2009) construíram um modelo para avaliar estratégias de *re-routing* de embarcações em caso de dificuldades de operação dos portos diante de crises, desastres, etc.

O problema consiste na chegada de embarcações de contêineres em portos que apresentam alguma dificuldade para atracar e carregar e/ou descarregar os contêineres. Devido a esta adversidade, o modelo testa diferentes configurações de rotas (*re-routing*) para poder remanejar os navios para outros portos.

Inicialmente, o modelo simula a chegada de embarcações a um porto onde os mesmos aguardam em fila para atracarem. Os navios que estão há mais tempo na fila são os primeiros a entrarem no porto e serem descarregados e/ou carregados. Após as operações de carga/descarga os contêineres vão para uma segunda fila, onde irão esperar por um recurso (trem ou caminhão) que irá transportá-los para seus destinos finais. Quando os contêineres chegam ao seu destino final, eles saem do sistema.

O objetivo do modelo foi minimizar o congestionamento e o tempo de espera dos navios durante as intercorrências. A principal medida de desempenho foi o tempo de espera definido como o tempo total que a carga permanece no sistema. Os dados de entrada são baseados em um levantamento de dados reais, que são incorporados ao modelo através de uma planilha de dados.

Os autores sugerem que o modelo poderia ser melhorado através da integração com modelos de otimização. Ao invés de análises *what-if*, técnicas de simulação-otimização ou otimização (heurísticas) poderiam ser empregadas para encontrar a "melhor" estratégia de *re-routing* que minimiza o aumento no tempo de espera e o congestionamento durante condições de crise.

Shyshou *et al.* (2010) lidaram com um problema de dimensionamento de frotas de embarcações AHTS (rebocadores) para auxiliar operações de perfuração de poços de petróleo.

O modelo simula uma sucessão de eventos de unidades móveis petrolíferas. Cada evento da unidade móvel, dependendo do tipo, desencadeia uma sequência de operações que podem sofrer a interferência das condições meteorológicas, modificando a duração das operações.

Ocasionalmente, um evento pode iniciar sem o número necessário de embarcações AHTS disponíveis, sendo preciso a contratação de embarcações no mercado *spot*. O objetivo da simulação é avaliar/prever o comportamento econômico dos preços das embarcações no mercado *spot*, e o número de embarcações a serem contratados a longo prazo.

O problema é de natureza estocástica devido às variações das durações das operações e à incerteza das condições do tempo.

Imai e Rivera (2001) abordaram o problema de dimensionamento da frota de contêineres refrigerados por meio de um modelo analítico, e de um modelo de simulação. O modelo analítico visou determinar o tamanho de uma frota própria de contêineres tipo “dry” em um mercado relativamente balanceado, para rotas entre dois portos (origem e destino), e com demanda constante. Em seguida, aplicaram o mesmo modelo para um mercado desbalanceado.

O modelo de simulação contemplou as suposições do modelo analítico, porém para uma frota de contêineres refrigerados próprios e alugados em um mercado desbalanceado. Por fim, o modelo de simulação, além de incorporar as hipóteses do modelo analítico, também considerou o fluxo de contêineres vazios e rotas com mais de dois portos.

Imai e Rivera utilizam em seu trabalho cálculos determinísticos para os parâmetros e desconsideram a aleatoriedade nos tempos de portos e nos tempos de movimentação terrestre dos contêineres.

Ono (2007) utilizou ferramentas de simulação e programação matemática para estudar a modelagem sistêmica e planejamento logístico da cadeia de suprimentos de petróleo no segmento *upstream*, o qual explora desde questões relacionadas a produção do petróleo nas plataformas até seu bombeamento as refinarias. Os processos associados a esse sistema são divididos em subsistemas como: i) a produção nas unidades marítimas, ii) o atendimento nos terminais e iii) o transporte e bombeamento do petróleo.

Em relação às unidades marítimas o modelo considerou aquelas que estão em produção e as caracterizou conforme: o tipo de petróleo extraído, a taxa de produção, a taxa de transbordo, a localização, as condições meteorológicas, a capacidade dos tanques de armazenagem e o nível de segurança dos tanques. A produção de petróleo deve ocorrer ininterruptamente e as embarcações que efetuarão o transbordo devem respeitar as condições de atracação em função da classe da embarcação.

Os terminais marítimos são pontos de descarga de petróleo trazido pelas embarcações. No modelo, os terminais são caracterizados pelos parâmetros: número de píeres de atracação, restrição quanto a classe de navios, tempos de atracação, tanques de armazenagem, características da sequência de bombeamento para as refinarias, nível de segurança dos tanques, localização e condições meteorológicas. O regime de bombeamento do petróleo deve manter uma taxa contínua para evitar a indisponibilidade nos tanques e perda operacional.

O modelo permite contemplar tanto a frota de navios que realizam os escoamentos como navios que efetuam operações de importação e exportação nos terminais.

O transporte é realizado por embarcações subdivididas em classes que consideram a capacidade e subdivisões dos porões, velocidades médias, tempos médios de manobra e atracação, taxas de transbordo, custos fixos, e custos variáveis. A viagem pode ser simples ou múltipla e as requisições são efetuadas pelos terminais ou plataformas e a compatibilidade é feita em função das características dos pedidos e disponibilidade da frota. A premissa adotada é que deve-se buscar maximizar a utilização dos navios. A priorização de atendimento nas unidades marítimas segue o princípio da manutenção dos tanques, ou seja, das unidades que necessitam de maior alívio com urgência. Por outro lado, o recebimento de cargas pelos terminais obedece à premissa de atender o terminal com maior disponibilidade do tanque ou menor disponibilidade daquele tipo de petróleo.

O processo de bombeamento consiste na demanda de carga a ser entregue nas refinarias, definidas segundo uma sequência de tipos de petróleo e vazão a ser imprimida para o alívio dos tanques do terminal. O modelo limita-se apenas ao bombeamento, admitindo que não existem restrições de recebimento de petróleo determinado na sequência de bombeamento.

A resolução de um problema sob o ponto de vista sistêmico requer uma análise diferenciada e específica de cada um dos subsistemas. O modelo de simulação permite a modelagem individual dos subsistemas e sua integração posteriormente.

O modelo de simulação teve como principal objetivo o entendimento das interferências entre os subsistemas e identificação de gargalos através de análises de cenários a partir de um conjunto de dados pré-estabelecidos.

O modelo em programação linear mista apresentou um problema de programação de rotas de serviço de atendimento as plataformas. Trata-se de um modelo com múltiplas origens e múltiplos destinos, servidos por uma frota heterogênea para escoamento de um único tipo de petróleo em um horizonte de tempo finito. A programação e a alocação das rotas dos navios são realizadas através das atribuições de variáveis binárias, escolhidas segundo a função objetivo de minimização de custos de operação. A designação de rotas é composta por um conjunto de arcos que possibilitam origens e destinos nas plataformas e nos terminais, permitindo também que navios efetuem viagens entre terminais ou entre plataformas.

A dimensão de tempo no modelo é tratada através da enumeração da sequência de atracções possíveis no horizonte de tempo pré-estabelecido. As principais restrições compatibilizam a existência do arco com as operações de carga e descarga as alocações possíveis segundo a disponibilidade nos porões dos navios e tanques de armazenagem, as janelas de tempo e as restrições de níveis mínimo e máximo de tancagens nos terminais e plataformas.

A modelagem de uma demanda variável e a janela de tempo dinâmica são características ímpares. A decisão de alocação do navio ao ponto de carga e descarga pressupõe a disponibilidade de espaços no tanque de petróleo a ser carregado ou descarregado, respeitando os limites impostos aos tanques. Em relação a demanda, o modelo apresenta dois conjuntos de equações referente ao atendimento para a plataforma e terminal.

2.2 Problemas de Programação Matemática

A programação operacional, e em particular a programação matemática tratam de problemas de decisão e faz uso de modelos matemáticos que procuram representar o problema real. Variáveis são definidas e relações

matemáticas entre essas variáveis são estabelecidas de forma a descrever o comportamento do sistema (Arenales *et al*, 2007).

A programação matemática tem sido amplamente utilizada industrialmente, com o objetivo de otimizar as técnicas de produção nos mais diferentes campos, buscando o desenvolvimento, a aplicação dos métodos numéricos e tentando encontrar novas formas de soluções para problemas reais (Lima, 2004).

Aloise *et al.* (2006) propuseram um modelo matemático para solucionar o problema de programação de sondas de manutenção que atendem campos de petróleo *onshore*. A formulação do problema apresentou diferentes tipos de sondas para atender os poços, sendo que o nível de serviço variava conforme a sonda utilizada. Os poços, as posições iniciais das sondas, os tempos de viagens e a produção diária de petróleo eram dados previamente conhecidos. A função objetivo visou minimizar as perdas de produção de petróleo enquanto poços que necessitavam de manutenção não eram atendidos. A solução do problema foi obtida por uma meta-heurística VNS, sendo a solução inicial gerada por uma heurística construtiva gulosa (“greedy”). Foram consideradas nove diferentes definições de vizinhanças. Os resultados foram obtidos para instâncias reais.

Ribeiro *et al.*(2011) resolveram o problema combinatório de programação de sondas *onshore* com janela de tempo e horizonte de planejamento através do algoritmo *simulated annealing*. A solução inicial foi criada por meio de uma heurística proposta por Mauri e Lorena (2009) para o problema *dial-a-ride*. A heurística assegura que cada poço é atribuído para apenas uma sonda, porém não garante que todas as restrições de janela de tempo e de horizonte de planejamento sejam atendidas. A estrutura da vizinhança é composta por três movimentos diferentes: reordenação dos poços (troca de dois poços em uma mesma sonda), realocação dos poços (realocação de um poço entre duas sondas) e troca dos poços (duas sondas e dois poços são escolhidos aleatoriamente e é feita a troca entre eles). As instâncias utilizadas no problema foram as propostas por Costa e Filho (2004).

Ribeiro *et al.* (2012) utilizaram métodos exatos para lidar com o problema de roteirização de sondas heterogêneas com horizonte finito e janelas de tempo. Os autores partem do princípio que uma rota viável começa na posição inicial da sonda, a duração do serviço não excede determinado período de tempo, e o atendimento é feito em poços com sondas devidamente equipadas. O método de solução é o algoritmo *branch-cut-and-price* acoplado à busca tabu. As instâncias testadas originaram do trabalho de Neves (2007).

Duhamel *et al.*(2012) propõem algumas formulações matemáticas para investigar o problema de manutenção de poços *onshore*. O problema consiste na comparação de três modelos de programação inteira mista a fim de resolver um problema de *scheduling*.

O primeiro modelo é baseado no modelo matemático de Aloise *et al.*(2006), em que os autores propuseram algumas adaptações: i) redução do número de parâmetros e restrições uma vez que o nível de serviço de manutenção solicitado por cada poço e o tipo de sonda são conhecidos, ii) ajustamento de constantes nas restrições, iii) “lifting” de inequações , entre outros.

O segundo modelo é uma formulação baseada no problema de roteamento, com rotas abertas (não há o retorno para um porto). A função objetivo visa minimizar as perdas de óleo no horizonte de tempo. As restrições consistem na conservação de fluxo de sondas, cada poço é atendido pelo menos uma vez, cada poço é atendido por apenas uma sonda, no tempo do início de cada atendimento e poços que não foram atendidos não podem ser atendidos após o final do horizonte de tempo.

O terceiro modelo é uma formulação resultante da Decomposição de Dantzig Wolfe do modelo anterior. Visto que o número de possíveis rotas é exponencial, o número de rotas não pode ser enumerado. Logo, a estratégia de geração de colunas é aplicada para a relaxação linear. A geração de colunas é então incorporada dentro do método *branch and price* para achar a solução inteira ótima. São utilizadas heurísticas (*local search*) e metaheurísticas para gerar e melhorar as colunas iniciais.

As instâncias testadas no modelo foram geradas a partir de características reais de empresas brasileiras de petróleo de médio porte. O primeiro e segundo modelo apresentaram um desempenho similar porém ambos são limitados a instâncias pequenas. As heurísticas utilizadas no terceiro modelo mostraram um melhor desempenho para instâncias maiores.

2.3 Problemas de Simulação-Otimização

A integração de modelos de simulação e otimização (SO) vem se tornando cada vez mais comum na resolução de problemas reais nas últimas duas décadas. Para Fu (2002), as técnicas de simulação e otimização foram mantidas praticamente separadas, na prática, até o final do milênio passado devido a falta de ferramentas de otimização nos simuladores.

A aplicação da simulação, por si só, permite responder perguntas do tipo *what-if* (o que acontece se), isto é, a simulação não determina valores ótimos de entrada para as variáveis e sim avalia o comportamento do sistema de acordo com as configurações pré-definidas. A otimização, por outro lado, esta focada em responder perguntas do tipo *how to* (como fazer para) que busca determinar os valores ótimos destas variáveis de entrada de forma que as medidas de desempenho sejam maximizadas/minimizadas. Desta forma, Chwif e Medina (2010) afirmam que a simulação é uma ferramenta avaliadora de soluções, e, não, geradora de soluções.

Neste sentido, Ammeri *et al.* (2010) avaliam a simulação como apenas uma ferramenta para a resolução de problemas; por si só, não fornece uma resposta. Além de um bom modelo, é preciso também uma boa técnica de otimização para utilizar a informação proveniente da simulação.

Oláfsson e Kim (2002) afirmam que a combinação de simulação e otimização é uma otimização onde o desempenho é a saída do modelo de simulação. Azadivar (1992) define a junção destas ferramentas como um problema de otimização em que a função objetivo, as restrições ou ambas são respostas que somente podem ser avaliadas pela simulação computacional.

Carson e Maria (1997) descrevem a simulação-otimização como o processo de encontrar a melhor variável de entrada, dentre todas as possibilidades, sem avaliar explicitamente cada possibilidade.

De forma geral, a ideia básica da simulação-otimização é : tendo-se uma condição inicial X_0 , o procedimento de otimização atuará interativamente com o modelo de simulação, fornecendo os valores das variáveis a serem simuladas e recebendo do modelo de simulação o valor da função objetivo. O procedimento de otimização terminará quando algum critério for satisfeito (por exemplo: atingiu-se o número máximo de iterações, não se encontra mais potencial significativo de otimização das variáveis, etc). O resultado final desse procedimento são os valores “ótimos” (ou sub-ótimos) das variáveis de interesse do modelo de simulação (Chwif e Medina, 2010).

Bassi *et al.* (2012) estudaram o problema de planejamento de sondas heterogêneas para atender atividades de manutenção de campos de petróleo *offshore* através de simulação-otimização. O problema é de otimização combinatória e consiste em programar o atendimento da frota de sondas a poços, levando em consideração um ambiente de incertezas para o tempo de serviço.

A dinâmica das incertezas do tempo de serviço pode ser expresso por meio da simulação, de forma que a otimização objetiva programar as atividades de intervenção das sondas. Os procedimentos de simulação e otimização alternam ao longo de R replicações. Ao final são obtidas estatísticas relacionadas à alocação de poços e medidas de desempenho das sondas. No que diz respeito à otimização são empregadas duas formas de resolução, i) heurística construtiva e ii) GRASP.

- i) *Heurística construtiva*: um critério de priorização é empregado para seleção de poços que irão compor as filas de atendimento das sondas; estas alocações são realizadas de forma gulosa.
- ii) *GRASP*: utiliza o mesmo critério de priorização da heurística construtiva, porém apresenta mecanismos mais sofisticados que

permitem melhorar uma solução construída, por meio da aplicação de um método de busca local.

Para testar o modelo são geradas quatro instâncias, uma principal e três de comparação a partir de dados obtidos de distribuições probabilísticas e regras de geração de dados relativos à realidade das bacias consideradas no problema.

Pantuso *et al.* (2013) apresentaram uma revisão de literatura de artigos voltados para o problema de dimensionamento de frota marítima heterogênea (MFSMP). O MFSMP se difere dos demais problemas de transporte devido ao alto nível de incertezas de demanda, ao alto capital envolvido e a evolução da função de valor das embarcações. Os autores buscam levantar nos artigos o modo de aquisição das embarcações (*charter in, charter out, purchase, building, choose from a pool, lay up, sale, scrapping*), o modo de operação (*liner, tramp, industrial*), as metodologias aplicadas (heurística, programação estocástica, simulação, teoria de filas, programação não linear, *optimal control* e otimização robusta) e o tipo de decisão (*deployment, roteirização e planejamento*). Ao final da pesquisa os autores enfatizam a necessidade das empresas ajustarem suas frotas a evolução do mercado.

Ammeri *et al.* (2010) revisaram mais de 150 artigos com o intuito de propor um sistema único de classificação dos métodos de solução de problemas de simulação-otimização devido as diferentes formas que estes aparecem na literatura.

A Tabela 2.1 apresenta de forma simplificada a classificação dos trabalhos revisados utilizados na revisão bibliográfica.

Tabela 2.1: Classificação dos trabalhos considerados na Revisão de Literatura

Autor	Ano	Método		
		Simulação	Otimização	SO
Pedgen	1995	x		
Chwif e Medina	2011	x		x
Gordon	1961	x		
Darzentas e Spyrou	1996	x		
Shabayek e Yeung	2002	x		
Martagan et al	2009	x		
Shyshou et al	2010	x		
Ono	2007	x	x	
Imai e Rivera	2010	x		
Arenales et al	2007	x	x	
Lima	2004		x	
Aloise et al	2005		x	
Mauri e Lorena	2009		x	
Costa e Filho	2004		x	
Ribeiro et al	2011			x
Duhamel et al	2012			x
Fu	2002			x
Oláfsson e Kim	2002		x	
Azadivar	1992		x	
Carson & Maria	1997		x	
Ribeiro et al	2012			x
Bassi et al	2012			x
Pantuso et al	2013			x
Ammeri et al	2010	x		x

2.4 Técnicas Heurísticas Empregadas em Resolução de Problemas Combinatórios

Heurísticas

A palavra heurística é derivada da palavra grega *heuriskein*, que significa descobrir. Segundo Nicholson (1971) a heurística é um procedimento para resolver problemas por meio de um enfoque intuitivo, no qual a estrutura do

trabalho possa ser interpretada e explorada inteligentemente para se obter uma solução razoável (Arenales *et al.*, 2007).

Goldbarg e Luna (2000) definem a heurística como uma técnica que busca alcançar uma boa solução utilizando um esforço computacional considerado razoável.

De forma geral, ao contrário dos métodos exatos, que buscam encontrar uma forma algoritma de obter uma solução ótima através da combinação ou busca de todas as soluções possíveis, as heurísticas normalmente tendem a apresentar certo grau de conhecimento acerca do comportamento do problema, avaliando um número muito menor de soluções. Os métodos heurísticos englobam estratégias, procedimentos e métodos aproximados, com o objetivo de encontrar uma boa solução, mesmo que não seja a ótima, em um tempo computacional razoável. Como as heurísticas são algoritmos específicos para um caso, é recomendável que se tenha um conhecimento específico do problema que esta sendo abordado (Cordenonsi, 2008).

Os métodos heurísticos são comumente utilizados na Pesquisa Operacional em problemas de programação linear, programação inteira, otimização combinatória e otimização estocástica e em termos pedagógicos são classificadas em três categorias: construtivas, de melhoria (busca local) e as meta-heurísticas.

Heurísticas Construtivas

As heurísticas construtivas constroem uma solução, factível ou não, adicionando, em cada passo, um elemento da solução, tal como o valor de uma variável ou um arco ou nó de um grafo (Arenales *et al.*, 2007).

Segundo Cordenonsi (2008) os algoritmos heurísticos baseados em construção partem de uma solução vazia, acrescentando elemento a elemento, obedecendo a um certo critério, até formar a solução por completo, sendo que após a inserção de um resultado não é possível retirá-lo.

As heurísticas construtivas podem utilizar dois métodos de solução: o método aleatório e o método guloso. O método aleatório consiste na utilização de uma heurística simples, já o método guloso baseia-se no incremento da solução, a cada passo, buscando o máximo benefício.

Heurísticas de Busca

As heurísticas de busca operam exatamente como um procedimento de melhoria local, exceto pelo fato de que ele talvez não precise que cada nova solução experimental tenha de ser melhor que a solução experimental precedente (Hillier e Lieberman, 2004).

As heurísticas de busca local, a partir de uma solução inicial s , obtida, por meio de uma heurística construtiva, associa-se uma vizinhança N de s . Cada solução s' da vizinhança N (s) é atingida a partir de s por uma operação chamada movimento, e a solução s' é chamada de vizinha. Seleciona-se uma solução vizinha que seja melhor que a solução corrente, e a busca prossegue iterativamente até que a vizinhança não contenha nenhuma solução melhor que a solução corrente, denominado ótimo local em relação a vizinhança, ou até que algum outro critério de parada tenha sido satisfeito (*Arenales et al.*, 2007).

Em outras palavras, o método de melhoria inicia-se com uma solução viável e tenta melhorá-la, procurando outras soluções em sua vizinhança. Assim a fase de melhoria usualmente é precedida por uma fase construtiva. O processo é repetido até que nenhuma melhoria possa ser encontrada. Os elementos básicos de tais métodos são: a vizinhança e o critério de seleção que define a ordem em que os elementos vizinhos são analisados. Métodos nesta categoria são comumente utilizados pelas meta-heurísticas (Loiola *et al.*, 2004).

Meta-heurísticas

A meta-heurística é um método heurístico de resolução geral que orquestra a interação entre procedimentos de melhoria local e estratégias de

nível mais alto para criar um processo que seja capaz de escapar dos ótimos locais e realizar uma busca consciente de uma região de soluções viáveis (Hillier e Lieberman, 2004).

Conforme Cordenonsi (2008), as técnicas meta-heurísticas podem iniciar a busca da solução ótima a partir de uma única solução ou um conjunto de soluções iniciais. Esta solução ou conjunto de soluções inicial pode ser construída através de alguma heurística ou de forma aleatória. Os métodos meta-heurísticos irão modificar esta solução inicial através de operações realizadas com suas variáveis, gerando novas soluções, até que um determinado critério de parada seja atingido .

As meta-heurísticas podem ser vistas como estruturas algorítmicas que são aplicadas a problemas de otimização e que necessitam ser adaptadas ao tipo de problema específico, seja em relação a função objetivo ou a melhoria do processo de busca. Alguns exemplos de meta-heurísticas são: GRASP, *Simulated Annealing*, Busca Tabu, Colônia de Formigas, entre outras.

Para Melian *et al.* (2003) as meta-heurísticas podem ser classificadas de acordo com o tipo de procedimento a qual se refere. Alguns dos tipos principais são: de busca, relaxação, construtivas e evolutivas.

As meta-heurísticas de busca são procedimentos que percorrem o espaço de busca da solução, levando em conta, a cada passo, a “vizinhança” da solução (ex: *Simulated Annealing*, Busca Tabu). As meta-heurísticas de relaxação se referem a simplificação do problema (relaxação) cuja solução facilita a resolução do problema original (ex: Relaxação Lagrangeana). As meta-heurísticas construtivas tratam da obtenção de uma solução através da análise e seleção gradual de cada componente da solução (ex: GRASP). As meta-heurísticas evolutivas estão focadas em procedimentos baseados em conjuntos de soluções que evoluem no espaço de soluções (Algoritmos Genéticos, *Path Relinking*).

2.5 Conclusões da Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica fez um levantamento de trabalhos e conceitos pertinentes para o desenvolvimento desta pesquisa. Foram abordados problemas de simulação, voltados ao transporte marítimo, problemas de otimização, direcionados as atividades de manutenção de poços de petróleo, e problemas de simulação-otimização, envolvendo questões de planejamento e dimensionamento de frotas de embarcações.

A pesquisa de Bassi *et al.* (2012) foi a que mais se aproximou ao tema desde trabalho visto que ambas utilizam a ferramenta de simulação-otimização para tratar problemas de natureza estocástica de operações de manutenção de poços de petróleo.

Diferentemente do trabalho de Bassi *et al.*(2012), o modelo de simulação-otimização da atual pesquisa é resolvido pela heurística *Simulated Annealing* para dois horizontes de planejamento: curto e longo prazo. No curto prazo o problema é resolvido como um problema de programação de embarcações, enquanto que no longo prazo é resolvido como um problema de programação de embarcações e dimensionamento de frotas.

3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E MODELAGEM MATEMÁTICA

Este capítulo apresenta a descrição detalhada do problema e o modelo matemático determinístico para o problema de programação das embarcações no curto prazo e de dimensionamento no longo prazo.

3.1 Detalhamento do Problema

O planejamento de operações de manutenção submarina envolve o estudo, a organização, a estruturação e a utilização dos recursos de forma eficiente a fim de auxiliar a tomada de decisão.

Dois aspectos fundamentais caracterizam a tomada de decisão. O primeiro refere-se à demanda, isto é, quando as embarcações serão solicitadas para fazerem quais serviços, em quais locais e por quanto tempo. O segundo aspecto envolve o conhecimento da oferta, ou seja, a frota de embarcações disponíveis com as respectivas características que as possibilitam, ou não, executarem as tarefas.

Quanto aos serviços, existem duas classificações distintas: os determinísticos e os probabilísticos. Os determinísticos são serviços cujo local, data de ocorrência e duração são conhecidos previamente. Fazem parte desta categoria as inspeções programadas de dutos e equipamentos. Estes serviços não serão contemplados na resolução do problema.

À parte dos serviços programados existe uma gama de serviços probabilísticos, para os quais não se sabe de antemão quando, onde e por quanto tempo o serviço será solicitado. Por meio da análise estatística do histórico de ocorrências de um tipo de serviço probabilístico, poderá ser determinada tanto a distribuição relativa ao intervalo entre ocorrências, como também relativa à duração e à incidência (por bacia).

Os locais em que os serviços ocorrem podem variar de acordo com o tipo de serviço, tendo as seguintes possibilidades: unidades (ou plataformas) de

produção, poços, *manifolds* submarinos (caixas de conexão de dutos com painéis eletrônicos para controle de válvulas), dutos e outros equipamentos. Adicionalmente ao tipo de local, é necessário mapear a incidência destes serviços por bacia e, quando possível, por profundidade da lâmina d'água, o que permitiria a geração das distribuições de ocorrência com ainda maior precisão. A menos das inspeções de dutos, todos os demais serviços estão associados a uma mesma coordenada (de início e fim).

É possível encontrar referências (PetroleoETC, 2013; OPL, 2004) que ilustram alguns dos serviços probabilísticos presentes na indústria petrolífera, entre eles: ADOL - apoio diverso às operações de lançamento e remanejamento de linhas; ADOS - apoio diverso às operações de sondas; AOAN - apoio às operações de ancoragem; CDLE - conexão e desconexão de linhas e equipamentos; INST- instalação e recuperação de equipamentos; LSVH - localizar e sanar vazamentos em linhas hidráulicas; LVOG - localizar vazamentos de óleo ou gás; SALE - substituição de acessório de linhas; SVOG - sanar vazamentos de óleo e gás.

As operações de manutenção carecem de embarcações de apoio específicas já que para remediação e correção de falhas é necessária a presença de um especialista no local. As embarcações DSVs são utilizadas para o suporte e apoio ao mergulho, dotadas de câmaras para mergulho saturado, e realizam intervenções em até 350 metros de profundidade.

Por outro lado, os serviços de manutenção em grandes profundidades são feitos por embarcações RSVs dotadas de ROVs (*remoted operated Vehicle*) - veículos de operação remota não tripulados utilizados para inspecionar e intervir nos diversos ativos em profundidades de até 3000 metros. Os ROVs possuem cabos umbilicais que os conectam com a embarcação a fim de transferir dados, imagens, eletricidade além de possuírem câmeras, sondas e braços articulados.

Segundo relatório da Associação Brasileira das Empresas de Apoio Marítimo (ABEAM, 2013) a frota de embarcações do tipo DSV e RSV de bandeiras brasileira e estrangeiras de empresas associadas e não associadas a ABEAM é composta de 15 embarcações.

É importante destacar que existem serviços de manutenção que só podem ser realizados por mergulhadores, cujo limite de atuação é de 300 metros de profundidade, podendo atingir 350 metros em situações excepcionais. Estes serviços são demandados por sistemas de produção antigos, desprovidos de automatização, e que estão localizados mais próximos da costa. Os sistemas mais modernos, em águas profundas e ultra-profundas podem ser mantidos por meio de sondas de observação (ROV), ou pelas sondas de intervenção (RIV), que são ROVs com recursos adicionais para manuseio de válvulas e ferramentas. Em geral, além da duração da execução do serviço propriamente dito, é importante computar o tempo de descida e subida do mergulhador.

Para as demais tarefas, em que as sondas remotas de observação e intervenção realizam os serviços, também é importante computar os tempos de subida e descida das sondas. Particularmente, quando se tratar do serviço de inspeção programada, realizado por sonda ROV, será admitida uma taxa média de inspeção do duto ou do equipamento.

A necessidade de mergulho saturado obriga que apenas as embarcações tipo DSV sejam utilizadas, enquanto que os demais serviços podem ser feitos por ambos os tipos de embarcações. Adicionalmente, se houver a necessidade de utilização de sonda ROV em grandes profundidades, talvez nem todos as embarcações da frota possam ser capazes de atender. Assim, a compatibilidade embarcação-tarefa deverá ser observada no processo de alocação da frota.

Entre os aspectos operacionais importantes de serem contemplados, está o retorno periódico das embarcações a um porto, ou base operacional, para troca da tripulação. A troca ocorre em intervalos regulares de 14 dias, sendo ela uma imposição rígida, de forma que os atrasos para chegada ao porto não são aceitos por restrições trabalhistas. Outros retornos ao porto poderão ser requeridos como, por exemplo, as inspeções da sociedade classificadora, da Marinha, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), ou da seguradora. Apesar das tarefas terem durações pequenas, quando comparadas com o intervalo de 14 dias, é importante destacar que uma

embarcação poderá deixar de atender uma tarefa, mesmo que crítica (quanto às perdas econômicas), se o prazo de retorno ao porto para troca de tripulação ficar comprometido. Também deve ser observado que as tarefas, uma vez iniciadas, não são interrompidas.

O presente problema de planejamento, quando considerado no curto prazo, é tratado como um problema de programação de frota em que as tarefas são todas conhecidas, e disponíveis para início imediato. As durações médias são conhecidas e são função das características do subsistema que falhou, do tipo de falha (e de seu correspondente serviço), da profundidade e dos tempos de subida e descido de sonda ROV ou dos mergulhadores. Ademais, a frota é fixa e conhecida, para a qual existem instantes e locais de liberação das embarcações de seus atuais serviços. O horizonte de planejamento é da ordem de 10 a 12 dias.

Quando considerado no longo prazo, a lista de tarefas não é conhecida e terá que ser sorteada quanto ao local de ocorrência, ao tipo de ocorrência (isto é, o tipo de serviço), quanto à duração e perda de óleo e gás associada. Adicionalmente, poderão ser incorporadas novas embarcações na frota.

Estas são usualmente contratadas por longos períodos, em contratos do tipo *time charter*. Nesta modalidade de contrato, o dono da embarcação arca com todos os custos para manter a embarcação operacional, como tripulação, seguro, manutenção, registro e itens sobressalentes, e a empresa contratante, além do aluguel diário (*daily hire* ou *hire*), arca com os custos de combustível e taxas portuárias.

Dado um período para análise quanto ao dimensionamento, por exemplo, de 1 ano, o analista deverá confrontar o custo da frota neste período – isto é, o custo de combustível no período mais o “*hire*” multiplicado pela disponibilidade anual do navio (350 dias, por exemplo) e pelo número de anos – ao custo das perdas de produção, decorrentes do atraso para realização das manutenções.

À medida que mais embarcações são incorporadas à frota, a parcela de custo de frota deve aumentar, proporcionando, por outro lado, uma redução do custo associado às perdas de produção. Ao propor diferentes composições de

frota, o analista estará testando cenários em que novas embarcações são incorporadas à frota, considerando a oferta no mercado de afretamento, ou a perspectiva de encomendá-las a estaleiros. Nestes casos, as taxas diárias e o consumo de combustível deverão ser valores médios de mercado.

3.2 Modelo Matemático Determinístico

3.2.1 Programação de curto prazo

Para o caso de programação de frota no curto prazo, o modelo matemático determinístico representativo do problema de planejamento de operações de manutenção submarina é uma extensão do modelo clássico de roteirização com janelas de tempo. Estas são adicionadas unicamente com o propósito de modelar o retorno das embarcações aos portos para troca de tripulação. Para as demais tarefas, os limites da janela de tempo serão considerados o horizonte de planejamento.

Devido às potenciais perdas de produção decorrentes do atraso para início dos serviços de manutenção, é necessário incorporar o nível de serviço no modelo, o qual pode ser traduzido pelo instante de chegada das embarcações aos locais de execução das tarefas. Também devem ser incorporados os instantes de liberação das embarcações, já que, diferentemente do problema clássico de roteirização de veículos, a frota não está inteiramente disponível no instante zero.

A seguir, serão detalhados os conjuntos e índices, os parâmetros, as variáveis de decisão e o modelo propriamente dito.

Conjuntos e índices

- K conjunto de embarcações $K = \{1, \dots, m\}$ (índice k)
- N conjunto de tarefas $N = \{0, 1, \dots, n, n + 1\}$ (índices i e j);
OBS: a tarefa de índice 0 é fictícia, indicando a condição inicial de cada embarcação; o mesmo vale para a tarefa $n + 1$, a qual indica a condição final de

cada embarcação.

- $K(k) \subset N$ conjunto de tarefas j compatíveis com a embarcação k
- $K(j) \subseteq V$ conjunto de embarcações k compatíveis com a tarefa j

Parâmetros

- a_j limite inferior da janela de tempo da tarefa j
- b_j limite superior da janela de tempo da tarefa j
- w_j penalidade linear pelo atraso do início da tarefa j
(perdas econômicas associadas à perda de produção)
- \tilde{t}_j duração média da tarefa j
- t_{ijk} tempo de deslocamento entre os locais i e j pela embarcação k
- c_{ijk} custo de deslocamento entre os locais i e j pela embarcação k
- r_j instante de liberação da tarefa j ($=0$, no curto prazo)
- \hat{r}_k instante de liberação da embarcação k
- T_{ij} constante grande (da ordem de grandeza do horizonte de planejamento $T_{ij} = b_i - a_j$)

Variáveis de decisão

- x_{ijk} variável binária que será igual a 1 se a embarcação k percorrer o arco $i - j$, e 0, em caso contrário.
- s_{jk} instante de início do serviço j pela embarcação k

Modelo matemático

Função objetivo

$$\min Z = \sum_k \sum_{i \in N(k)} \sum_{j \in N(k)} x_{ijk} c_{ijk} + \sum_k \sum_{j \in N(k)} s_{jk} w_j \quad (1)$$

Restrições

$$\sum_{j \in N(k)} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N(k)} x_{ijk} - \sum_{i \in N(k) \setminus \{0\}} x_{jik} = 0 \quad \forall k, j \in N(k) \setminus \{0, n+1\} \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K(j)} \sum_{i \in N(k)} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in N \setminus \{0, n+1\} \quad (4)$$

$$s_{jk} \geq s_{ik} + \tilde{t}_i + t_{ijk} - (1 - x_{ijk})T \quad \forall k, i \in N(k), j \in N(k) \quad (5)$$

$$\left(\sum_{i \in N(k)} x_{ijk} \right) a_j \leq s_{jk} \leq \left(\sum_{i \in N(k)} x_{ijk} \right) b_j \quad \forall k, j \in N(k) \setminus \{0, n+1\} \quad (6)$$

$$s_{jk} \geq \sum_{i \in N(k)} x_{ijk} (\hat{r}_k + t_{0jk}) \quad \forall k, j \in N(k) \quad (7)$$

$$s_{jk} \geq 0, x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall k, i \in N(k), j \in N(k) \quad (8)$$

A função objetivo (1) contempla as parcelas de custo do problema no curto prazo, sendo estas o custo associado à roteirização, e as perdas econômicas associadas às perdas de produção. A restrição (2) força que o roteiro da embarcação comece em sua condição inicial. A restrição (3) impõe a conservação de fluxo em cada nó. A restrição (4) garante o atendimento da demanda por embarcações compatíveis com as tarefas. A restrição (5) controla o instante de chegada em cada tarefa. A restrição (6) impõe a janela de tempo para as tarefas. A restrição (7) impõe o instante de liberação das embarcações da frota e, por último, a restrição (8) define o espaço de solução das variáveis.

3.2.2 Modelo de dimensionamento de frota (longo prazo)

Para modelar o problema no longo prazo, serão introduzidos outros parâmetros e variáveis. O conjunto de embarcações será particionado em dois, sendo K^0 o conjunto de embarcações já afretadas, e K^H o conjunto de embarcações candidatas a afretamento. Adicionalmente, haverá um parâmetro específico por embarcação indicando o período de término de contrato. Para as embarcações candidatas, é assumido ser conhecido o custo de afretamento para uma dada data fixa de início e término de contrato. Para estas embarcações, serão empregadas variáveis de decisão relativas ao afretamento. Por último, as tarefas deverão ter o atraso para início medido a partir dos respectivos instantes de ocorrência, e não mais a partir da data zero.

Serão listadas apenas as modificações em relação ao modelo de programação no curto prazo.

Conjuntos e índices

- $K = K^0 \cup K^H$ conjunto de embarcações já afretadas e candidatas

Parâmetros adicionais

- \hat{r}_k^T instante de término de contrato da embarcação k
- c_k^F custo fixo de afretamento da embarcação k

Variáveis de decisão adicionais

- y_j atraso para início da tarefa j a partir de seu instante de ocorrência
- z_k variável binária que será igual a 1 se embarcação k for afretada, e zero, em caso contrário. As embarcações $k \in V^0$ terão os respectivos valores de z_k fixados em 1

Modelo matemático

Função objetivo

$$\min Z = \sum_k \sum_{i \in N(k)} \sum_{j \in N(k)} x_{ijk} c_{ijk} + \sum_j y_j w_j + \sum_{k \in K^H} z_k c_k^F \quad (9)$$

Restrições

$$\sum_{j \in N(k)} x_{0jk} \leq z_k \quad \forall k \quad (10)$$

$$\sum_{i \in N(k)} x_{ijk} - \sum_{i \in N(k) \setminus \{0\}} x_{jik} = 0 \quad \forall k, j \in N(k) \setminus \{0, n+1\} \quad (11)$$

$$\sum_{k \in K(j)} \sum_{i \in N(k)} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in N \setminus \{0, n+1\} \quad (12)$$

$$s_{jk} \geq s_{ik} + \tilde{t}_i + t_{ijk} - (1 - x_{ijk})T \quad \forall k, i \in N(k), j \in N(k) \quad (13)$$

$$\left(\sum_{i \in N(k)} x_{ijk} \right) a_j \leq s_{jk} \leq \left(\sum_{i \in N(k)} x_{ijk} \right) b_j \quad \forall k, j \in N(k) \setminus \{0, n+1\} \quad (14)$$

$$s_{jk} \geq \sum_{i \in N(k)} x_{ijk} (\hat{r}_k + t_{0jk}) \quad \forall k, j \in N(k) \quad (15)$$

$$s_{n+1,k} \leq \hat{r}_k^T z_k \quad \forall k, \quad (16)$$

$$z_k = 1 \quad \forall k \in K^0 \quad (17)$$

$$y_j \geq s_{jk} - r_j \quad \forall k, j \in N(k) \quad (18)$$

$$y_j \geq 0, s_{jk} \geq 0, x_{ijk} \in \{0,1\}, z_k \in \{0,1\} \quad \forall k, i \in N(k), j \in N(k) \quad (19)$$

Em relação ao modelo de curto prazo, este modelo tem como

modificações a função objetivo (9), a qual incorpora o custo de afretamento e altera a forma de cálculo das perdas econômicas, que passam a depender do instante de ocorrência das tarefas (não estão mais todas disponíveis no instante zero). A restrição (10) controla o uso da embarcação k . Complementando-a, tem-se a restrição (17) que impõe que as embarcações que já pertencem à frota, as correspondentes variáveis z_k sejam automaticamente fixadas em 1. A restrição (16) foi adicionada, e controla o fim do contrato de cada embarcação, impondo que o retorno para a tarefa fictícia $n + 1$ ocorra antes de expirar o contrato. A restrição (18), também adicionada, mede o atraso para início de uma tarefa em relação ao seu instante de ocorrência. Por último, a restrição (19) também define o espaço de decisão das novas variáveis incorporadas.

4 MÉTODOS PROPOSTOS PARA A RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

Neste capítulo serão abordados os métodos de solução para o problema de planejamento das operações de manutenção submarina, sendo propostos uma regra de sequenciamento, a ser implementada em um *software* comercial de simulação, e um algoritmo de simulação-otimização, a ser codificado em C++.

Como o problema estudado divide-se em abordagem de curto e longo prazo, os detalhes do método que forem específicos a cada situação serão mencionados.

4.1 Regra de Sequenciamento

Para o problema em questão, a regra de sequenciamento consiste em priorizar as tarefas com maior penalidade, isto é, aquelas que resultam em uma maior perda de óleo, alocando-as aos navios que são capazes de iniciá-las no instante mais cedo. Trata-se de uma regra de decisão que segue a intuição, que é a de alocar o recurso disponível capaz de atuar mais rapidamente.

Tendo em vista, que existem embarcações que devem voltar ao porto para troca de tripulação, a alocação a ser feita deve contemplar esta questão operacional.

A regra aplicada está resumida no fluxograma da Figura 4.1. No passo 1, as rotas são inicializadas; no passo 2, as embarcações que possuem tarefas referentes à troca de turma no horizonte em questão (10 a 12 dias) são adicionadas à rota. Em seguida, no passo 3, as tarefas que deverão ser programadas são ordenadas de forma decrescente por suas penalidades. Em seguida, para cada tarefa não programada é escolhida a embarcação compatível com a tarefa, capaz de iniciá-la no instante mais cedo. A tarefa então é adicionada à posição da rota que menor impacta nos custos, e que não

inviabiliza o retorno para troca de tripulação. Após alocar todas as tarefas, as rotas, os instantes e os custos totais são retornados.

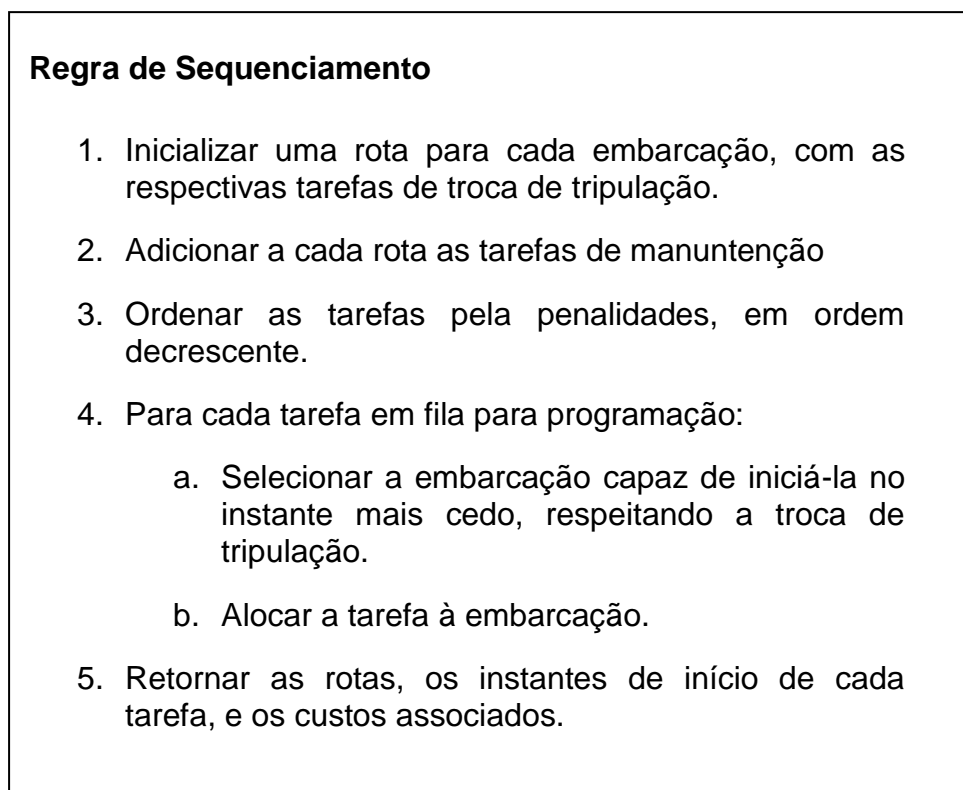


Figura 4.1: Fluxograma da Regra de Sequenciamento Adotada

4.2 Modelo de Simulação - Otimização

O algoritmo denominado “simulação-otimização” está pautado na metodologia já apresentada na revisão bibliográfica. Mais especificamente, está sendo proposto um algoritmo usando a concepção indicada por Bassi *et al.* (2012). Resumidamente, a resolução consiste de um processo iterativo, na qual uma fase de *simulação* precede a fase de *otimização*.

Na simulação, ocorre o sorteio das durações, segundo as distribuições de probabilidade. Após este sorteio, inicia-se a fase de otimização, a qual será resolvido por meio de uma regra de sequenciamento acoplada à meta-heurística *simulated annealing*.

Simulated annealing é um método probabilístico, proposto no começo da década de 80 por Kirkpatrick *et al.* (1983) e Cerny (1985), que combina

técnicas de busca local e randomização que, quando aplicado a um problema de otimização, procura evitar a parada prematura em um ótimo local (Izquierdo, 2000).

Esta ferramenta é análoga ao processo de recozimento de sólidos na indústria metalúrgica. Para a obtenção de sólidos com estruturas cristalinas perfeitas, o sólido é submetido a um aumento de temperatura até um pouco abaixo do ponto de fusão. Em seguida, a sua temperatura é reduzida lentamente em intervalos de tempos (*annealing schedule*) até que atinja uma temperatura ótima que propicie o melhor nível de organização da estrutura cristalina do sólido.

A técnica *simulated annealing* é utilizada em problemas de otimização combinatória, $\min_x f(x)$, $x \in S$, onde $f : S \rightarrow R$, S finito. Neste contexto, o processo de otimização é realizado por níveis, simulando os níveis de temperatura no resfriamento. Em cada nível, dado um ponto $u \in S$, vários pontos na vizinhança de u são gerados e o correspondente valor de f é calculado. Cada ponto gerado é aceito ou rejeitado de acordo com uma certa probabilidade. Esta probabilidade de aceitação decresce de acordo com o nível do processo, ou equivalentemente, de acordo com a temperatura (Haeser e Ruggiero, 2008).

O método tem a estrutura descrita na Figura 4.2. Os seguintes parâmetros e variáveis são empregados:

- alfa: fator de redução da temperatura;
- K: constante (similar à de Boltzmann);
- T_0, T_f : temperaturas inicial e final;
- T: temperatura corrente;
- X,Y: soluções do problema, que são geradas no decorrer do processamento do algoritmo;
- X_{best} : melhor solução gerada;
- FO(...): função objetivo da solução gerada;
- l: contador de iterações;

- I_{\max} : número máximo de iterações antes de reduzir a temperatura;
- N : contador de iterações sem melhoria da função objetivo;
- N_{\max} : máximo número de iterações sem melhoria permitido;
- continuar variável booleana indicando o momento de interromper o algoritmo

Algoritmo de Simulação-Otimização

```

01 Para cada replicação faça
02 // Etapa de simulação
03 Sorteio das durações das tarefas
04 // Etapa de otimização
05 Criar a solução inicial X usando a regra de sequenciamento
06  $X_{\text{best}} = X$ ;  $T = T_0$ ; continuar=verdadeiro
07 Faça
08    $I = I + 1$ 
09   Gerar número aleatório r entre 0 e 1
10   Se ( $r < 0,5$ ) então
11     Gerar uma nova solução Y, a partir de X, por meio da
       re-inserção aleatória de uma tarefa
12   Senão
13     Gerar uma nova solução Y, a partir de X, por meio da
       troca aleatória entre duas tarefas
14   Calcular  $\text{deltaCusto} = \text{FO}(Y) - \text{FO}(X)$ .
15   Se ( $\text{deltaCusto} < 0$ ) então  $X = Y$ 
16   Senão
17     Gerar número aleatório r entre 0 e 1
18     Se ( $r < \exp(-\text{deltaCusto}/KT)$ ) então  $X = Y$ 
19   Se ( $\text{FO}(X) < \text{FO}(X_{\text{best}})$ ) então  $X_{\text{best}} = X$ ;  $N = 0$ 
20   Se ( $I == I_{\max}$ ) então
21      $T = \text{alfa} \times T$ ;  $I = 0$ ;  $N = N + 1$ 
22     Realizar busca local em X
23     Se ( $\text{FO}(X) < \text{FO}(X_{\text{best}})$ ) então  $X_{\text{best}} = X$ ;  $N = 0$ 
24     Se ( $T < T_f$  ou  $N == N_{\max}$ ) então continuar = falso
25 Enquanto (continuar == verdadeiro)
26 Retornar resultado da replicação
27 Próxima replicação

```

Figura 4.2: Algoritmo de Simulação-Otimização

O algoritmo executará um número pré-definido de replicações (entre as linhas 1 e 27), cobrindo duas etapas, a etapa de simulação (linha 3), e a etapa de otimização (linhas 4 a 26). A linha 3 é uma etapa em que ocorre o sorteio das durações, que configuram uma replicação.

Na linha 5, a regra de sequenciamento descrita na seção 4.1 é processada, e servirá de semente para a meta-heurística *simulated annealing*, implementada entre as linhas 6 e 25. Na linha 6, os parâmetros da meta-heurística são inicializados (mais adiante será explicada a forma de calibração). Na linha 8, o contador de iterações é incrementado. Na linha 9, é sorteado um número aleatório que irá direcionar a modificação que deverá ser feita na solução atual X , para gerar uma nova solução Y . Com 50% de probabilidade, na linha 11, a solução X é modificada por meio de uma inserção aleatória. Isto significa que uma tarefa, a qual possua mais de uma embarcação compatível, é sorteada, de forma aleatória, e re-inserida na rota de outra embarcação. Se houver mais de uma embarcação candidata, então o sorteio é feito de forma uniforme. E, para a embarcação escolhida, a posição de inserção será aquela que causa menor impacto no custo total da rota, e que mantém a viabilidade. Esta consideração da viabilidade diz respeito aos prazos que as embarcações têm para se apresentarem no porto, para troca de tripulação. A outra forma de inserção, indicada na linha 13, é por troca de duas tarefas. Para isto ocorrer, é imposto que sejam sorteadas duas tarefas em embarcações diferentes, sendo ambas compatíveis com as duas tarefas sorteadas. As tarefas são removidas da rota atual e re-inseridas em suas melhores posições de inserção da outra embarcação.

Após a geração da solução Y , segundo os procedimentos indicados, é calculado a variação de custo total, na linha 14. Se esta variação for negativa, indicando a obtenção de uma solução melhor, a nova solução torna-se, automaticamente, a solução corrente, na linha 15. Em caso contrário, é sorteado um número aleatório entre 0 e 1, o qual é comparado com o “limite” ou “nível” de aceitação da solução. Este nível depende de uma constante a ser calibrada, da temperatura atual e do grau de piora da solução. Quanto maior a piora da solução, menor será o nível de aceitação. Na linha 19, caso a solução X seja melhor que a solução X_{best} (a melhor solução obtida no decorrer do processamento), então X_{best} é atualizada.

Na linha 20 é verificado se o número de iterações I atingiu o limite I_{max} . Neste caso, a temperatura deverá ser reduzida, indicando limites mais rígidos

de aceitação de soluções piores do que a solução corrente. Adicionalmente, na linha 22, é realizada uma busca local (inserção e troca) em X.

A busca local de inserção consiste basicamente na remoção de cada tarefa (uma de cada vez) da sua respectiva embarcação a fim de encontrar uma posição de inserção que seja mais favorável (redução de custos), nas rotas das demais embarcações compatíveis. Dois critérios foram adotados: assim que achar uma solução melhor ocorre a parada ou achar a mudança (dentre todas as possíveis) que resulte na maior redução de custo. O processo continua até que não haja melhora.

A busca local de troca considera a troca de duas tarefas de embarcações distintas e compatíveis entre si. As tarefas são removidas e inseridas na melhor posição da outra embarcação. O objetivo é verificar o maior ganho (menor custo) na troca das duas tarefas.

A busca local de inserção é processada, e depois a busca local de troca. O processo se repete até que não seja possível melhorar a solução.

Na linha 23 é feita uma checagem se esta busca foi capaz de melhorar X_{best} . Por fim, é checado o critério de parada, sendo este dado pela temperatura (se é inferior à temperatura final) ou pelo número de iterações sem melhoria na função objetivo.

Calibração

A calibração do algoritmo se deu em 2 etapas: i) estabelecimento de um número de iterações suficientes para explorar o espaço de solução; ii) determinação da constante K.

Para a primeira etapa, considerou-se que $T_0=30$, $T_f=0,1$ e $\alpha=0.98$, fará com que leve 283 reduções de temperatura para atingir o estado final, pois $30 \times 0,98^{283} < 0,1$. Esta quantidade de iterações será adotada tanto para o caso de curto prazo, como de longo prazo.

Para se chegar à constante K, primeiramente foram identificados os níveis de piora da função objetivo que seriam admissíveis, ou possíveis de ocorrer. Foram avaliadas pioras da ordem \$5.000,00; \$10.000,00, \$20.000,00 e \$30.000,00. Testes por tentativa e erro indicaram que o valor $K=12.500$ é adequado. A Tabela 4.1 selecionou algumas iterações, visando mostrar os níveis de aceitação para diferentes pioras na função objetivo. Por exemplo, uma piora de \$ 30.000, é permitida com 92,3% de nível de aceitação na iteração 0. Na iteração 120, o nível de aceitação cai para 40,5%, chegando a próximo de zero na iteração 240, quando soluções com este grau de deterioração da função objetivo não são mais aceitas.

Tabela 4.1: Níveis de aceitação de soluções que deterioram a função objetivo, para constante $K = 12.500$

Iteração	Temperatura	5.000	10.000	20.000	30.000
0	30,000	98,7%	97,4%	94,8%	92,3%
30	16,365	97,6%	95,2%	90,7%	86,4%
60	8,927	95,6%	91,4%	83,6%	76,4%
90	4,869	92,1%	84,8%	72,0%	61,1%
120	2,656	86,0%	74,0%	54,8%	40,5%
150	1,449	75,9%	57,6%	33,1%	19,1%
180	0,790	60,3%	36,3%	13,2%	4,8%
210	0,431	39,5%	15,6%	2,4%	0,4%
240	0,235	18,3%	3,3%	0,1%	0,0%
270	0,128	4,4%	0,2%	0,0%	0,0%

5 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados da aplicação dos métodos propostos para a resolução do problema de planejamento de manutenção submarina para o curto e longo prazo.

Primeiramente o problema será resolvido no curto prazo onde inicialmente serão apresentadas as instâncias geradas para os testes. Em seguida, estas instâncias serão resolvidas por meio de um método exato, usando um *software* comercial, considerando os tempos médios de duração das tarefas. Na sequência, serão mostrados os resultados da regra de sequenciamento simples, baseada na priorização por maior penalidade, implementada no âmbito do modelo de simulação, em que 30 replicações com diferentes durações de tarefas serão conduzidas. A mesma regra será usada como ponto de partida da meta-heurística, sendo também realizadas 30 replicações.

Após os resultados de curto prazo, serão apresentadas as instâncias para resolução do problema no longo prazo. As instâncias serão resolvidas por meio da regra de sequenciamento e busca local. No longo prazo, as tarefas não são conhecidas a priori. Assim, elas são sorteadas quanto à data de ocorrência, local de ocorrência e duração. Também será inserido o cronograma de retorno das embarcações para troca de tripulação, como sendo tarefas com datas definidas. Serão criadas 10 replicações para 4 navios e, usando o mesmo conjunto de tarefas, serão criadas 10 replicações com 5 navios e depois 6 navios (a única coisa que mudará será que, para 5 e 6 navios, o cronograma de retorno será acrescido do retorno dos navios que forem incorporados à frota) . O horizonte será de 1 ano.

5.1 Dados de Entrada do Modelo – Curto Prazo

As instâncias foram geradas sorteando-se alguns parâmetros dentro de faixas definidas. Os parâmetros sorteados foram:

- **Coordenadas cartesianas (x;y) do local de disponibilidade inicial das embarcações.** Valores foram sorteados considerando como limites uma bacia de área 250 x 250 milhas. Estas posições, sorteadas para cada embarcação, representam a condição inicial das mesmas, a qual é influenciada pela programação anterior. Em todas as instâncias testadas, estes valores foram considerados fixos e constantes.
- **Instante inicial de liberação das embarcações.** Analogamente ao caso anterior, este instante indica a influência da utilização da embarcação no período de planejamento anterior e registra o instante em que a mesma estará livre para ser alocada às tarefas que estão sendo programadas. Os instantes variam entre 0,1 e 0,7 dias.
- **Coordenadas cartesianas (x;y) do local de ocorrência das tarefas.** Foram considerados 3 tamanhos de bacias, nos quais as tarefas de manutenção poderiam ocorrer, dados pelas seguintes áreas: 150 x 150 milhas; 250 x 250 milhas; 350 x 350 milhas. Por simplificação, as coordenadas sorteadas em cada caso foram mantidas constantes para as variações que foram estudadas (número médio de embarcações compatíveis e duração média).
- **Tipo de serviço.** Foi adotada uma representação binária (0;1). O valor 0 indica uma tarefa convencional de manutenção, independente do tipo de serviço realizado, enquanto que o valor 1 indica uma tarefa de troca de tripulação, para a qual a embarcação correspondente deve voltar ao porto. Do total de 15 tarefas geradas, 13 serão de manutenção, e 2 relativas à troca de tripulação. As tarefas preventivas não foram consideradas.
- **Janelas de tempo.** Às tarefas de manutenção, em geral, não se aplicam janelas de tempo, no sentido clássico. Assim, as janelas são definidas como o horizonte de tempo capaz de ter todas as tarefas realizadas, considerando seus valores médios de duração. Em relação às tarefas de troca de tripulação, são impostas janelas rígidas (10% de um dia, ou 2 horas e 24 minutos), dentro da qual as embarcações devem necessariamente estar no porto.

- **Duração média das tarefas.** Três valores médios foram testados nas instâncias. Primeiramente, valores aleatórios, entre 0,0 e 3,0 foram sorteados para cada tarefa, de forma que a média estivesse centrada em três patamares distintos: 0,75 dias; 1,0 dia; 1,5 dias. Cabe ressaltar que as tarefas para troca de tripulação consideram uma duração fixa de 12 horas (0,5 dia).
- **Penalidade.** Estes parâmetros podem influenciar sensivelmente os resultados, na medida em que pesos demasiadamente elevados podem orientar a solução unicamente pela importância das tarefas, e pesos extremamente baixos podem ignorar a importância real das tarefas de manutenção. Na falta de dados reais, foram sorteados valores em uma distribuição uniforme entre 0 e 15, e os valores foram multiplicados por 1000. Observou-se que esta forma de sorteio foi suficiente para conferir maior peso às penalidades por perda, sendo da ordem 50% maior do que o custo médio de roteirização, em 15 instâncias inicialmente testadas (e nunca inferior).
- **Compatibilidade embarcação – tarefa.** Estão sendo testadas 3 situações, em que 2, 3 e 4 embarcações, em média, estão aptas para realizar as tarefas. O processo de definição da matriz de compatibilidade foi aleatório, e teve o propósito de atingir as médias indicadas.
- **Preço do combustível.** Com base em valores pesquisados, adotou-se a referência de U\$ 1.000,00/m³.

A Tabela 5.1 indica a relação dos 27 cenários testados (3 durações médias x 3 tamanhos de bacias x 3 valores médios distintos para número de embarcações compatíveis). Nos anexos é possível consultar 8.2 os dados das embarcações e das tarefas de todas as instâncias.

Além da análise dos casos em que as durações médias são conhecidas, foram analisados os casos em que as durações não são determinísticas, em função da natureza do problema de manutenção. Pela falta de dados do problema real, foram assumidas as seguintes distribuições para as tarefas:

- Distribuição normal, com coeficiente de variação de 30%. Foi assumido que esta distribuição será aplicada para as tarefas 1, 2 e 3 da lista de tarefas.

- Distribuição normal, com coeficiente de variação de 15%. Foi assumido que esta distribuição será aplicada para as tarefas 4, 5 e 6 da lista de tarefas.
- Distribuição exponencial negativa, sendo a taxa de ocorrência dada pelo inverso da duração média de cada tarefa. Esta distribuição foi aplicada às tarefas 7 a 13 da lista de tarefas.

Quanto aos tempos de deslocamentos, estes foram assumidos ser constantes, dados pela relação entre a distância e a velocidade média de serviço. Assim, as análises serão voltadas para o efeito da variabilidade dos tempos de execução das tarefas.

Tabela 5.1: Especificação dos 27 cenários testados

Instância	Número de tarefas	Número de embarcações	Duração média das tarefas (dias)	Número médio de embarcações compatíveis	Área da Bacia (milhas²)
1	15	4	0,75	4	150 x 150
2	15	4	0,75	2	150 x 150
3	15	4	1,00	4	150 x 150
4	15	4	1,00	2	150 x 150
5	15	4	1,50	4	150 x 150
6	15	4	1,50	2	150 x 150
7	15	4	0,75	4	250 x 250
8	15	4	0,75	2	250 x 250
9	15	4	1,00	4	250 x 250
10	15	4	1,00	2	250 x 250
11	15	4	1,50	4	250 x 250
12	15	4	1,50	2	250 x 250
13	15	4	0,75	4	350 x 350
14	15	4	0,75	2	350 x 350
15	15	4	1,00	4	350 x 350
16	15	4	1,00	2	350 x 350
17	15	4	1,50	4	350 x 350
18	15	4	1,50	2	350 x 350
19	15	4	0,75	3	150 x 150
20	15	4	1,00	3	150 x 150
21	15	4	1,50	3	150 x 150
22	15	4	0,75	3	250 x 250
23	15	4	1,00	3	250 x 250
24	15	4	1,50	3	250 x 250
25	15	4	0,75	3	350 x 350
26	15	4	1,00	3	350 x 350
27	15	4	1,50	3	350 x 350

A regra de sequenciamento foi implementada no software ARENA, os demais algoritmos em C++, e o modelo matemático de otimização foi resolvido usando o software Gurobi 6.0. Quanto aos valores das durações das tarefas, para as diferentes replicações, estes foram gerados pelo Excel, usando os recursos disponíveis para sorteio na função distribuição (acumulada). Os valores gerados foram salvos, e serviram como dados de entrada das diferentes replicações, permitindo uma comparação mais consistente entre os casos testados no ARENA e no C++. Em caso contrário, corria-se o risco de utilização de sementes diferentes, inviabilizando a comparação entre as diferentes abordagens. O hardware utilizado foi um notebook quadcore TM, com 6Gb de memória RAM e processador Intel Core i7-3520M, 2.90GHz.

5.2 Resultados para a programação de curto prazo – durações médias dos serviços

A Tabela 5.2 mostra os resultados da resolução do modelo matemático do problema de programação das sondas no curto prazo, usando o *software* Gurobi, em que as durações das tarefas são dadas por seus valores médios.

Tabela 5.2: Resultados do modelo matemático

Instância	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Limitante Inferior (US\$)	GAP	Tempo de Processamento (s)
1	80.395,70	103.687,00	184.082,70	165.479,67	10,1%	3.600,0
2	88.288,60	109.820,00	198.108,60	198.104,54	0,002%	77,0
3	73.079,20	119.995,00	193.074,20	173.094,69	10,3%	3.600,0
4	77.622,60	118.160,00	195.782,60	195.774,63	0,004%	15,0
5	75.015,60	171.489,00	246.504,60	203.245,01	17,5%	3.600,0
6	87.101,20	183.329,00	270.430,20	270.425,04	0,001%	57,0
7	76.592,40	98.255,50	174.847,90	174.831,10	0,009%	488,0
8	112.787,00	124.546,00	237.333,00	237.322,20	0,004%	133,0
9	79.690,30	116.272,00	195.962,30	191.279,60	2,4%	3.601,0
10	103.697,00	153.926,00	257.623,00	257.620,92	0,0008%	89,0
11	97.822,30	161.239,00	259.061,30	218.791,52	15,5%	3.601,0
12	111.920,00	204.007,00	315.927,00	315.927,00	0,004%	40,0
13	108.534,00	126.436,00	234.970,00	234.947,19	0,009%	501,0

Instância	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Limitante Inferior (US\$)	GAP	Tempo de Processamento (s)
14	152.553,00	156.759,00	309.312,00	309.312,00	0,008%	23,0
15	130.348,00	137.875,00	268.223,00	256.492,08	4,4%	3.601,0
16	173.067,00	181.014,00	354.081,00	354.081,00	0,0%	103,0
17	110.839,00	208.025,00	318.864,00	291.977,90	8,4%	3.601,0
18	175.870,00	247.158,00	423.028,00	423.008,79	0,004%	67,0
19	71.988,60	115.619,00	187.607,60	185.414,26	1,2%	3.600,0
20	80.384,00	122.932,00	203.316,00	203.295,70	0,009%	2.406,0
21	74.132,10	170.546,00	244.678,10	221.638,18	9,4%	3.601,0
22	81.356,60	106.615,00	187.971,60	187.956,11	0,008%	301,0
23	88.596,40	120.920,00	209.516,40	209.496,11	0,009%	525,0
24	108.184,00	162.769,00	270.953,00	270.926,22	0,009%	3.297,0
25	130.275,00	155.443,00	285.718,00	285.693,31	0,008%	1.004,0
26	153.531,00	158.428,00	311.959,00	311.928,32	0,009%	2.111,0
27	143.159,00	208.806,00	351.965,00	351.930,56	0,009%	749,0
Média	105.438,13	149.780,39	255.218,52	248.147,91	2,9%	1.644,1

O processamento foi limitado a uma hora, ou interrompido quando o GAP fosse inferior a 0,005%. A tabela indica as parcelas de custo (roteirização e penalidade total), o custo total, o limitante inferior, o correspondente GAP e o tempo de processamento.

Foi observado, com a resolução destes problemas, que o fator preponderante que afetou a velocidade de processamento foi o número de embarcações compatíveis com cada tarefa. Quanto maior o número de embarcações, mais combinatória é a natureza do problema e conseqüentemente, maior é o espaço de solução, tornando mais difícil sua resolução. A Tabela 5.3 destaca este efeito, por meio dos GAPs médios e dos tempos médios de processamento. A média geral para o GAP foi de +2,9%.

Tabela 5.3: Comparação do desempenho entre diferentes problemas

Número médio de embarcações compatíveis	GAP médio	Tempo médio de processamento (s)
2	0,002%	67,11
3	1,18%	1.954,89
4	7,64%	2.910,33

Na sequência, foi aplicada a regra de sequenciamento às instâncias, usando os valores médios de duração das tarefas, de forma similar ao que foi processado por meio do modelo matemático. Ao suspender os recursos de animação do ARENA, o mesmo processa rapidamente as instâncias, principalmente por se tratar de apenas 15 tarefas. Os valores estão reportados na Tabela 5.4 e mostra, o desempenho da regra com a solução (exata ou aproximada) do modelo matemático. Em alguns casos (instâncias 2 e 22), obteve-se um desempenho muito bom, quando comparado ao modelo matemático (0,1% e 0,2%). A média geral foi +6,0% em relação aos valores obtidos pelo modelo matemático, e +9,5% em relação ao limitante inferior.

Tabela 5.4: Resultado da regra de sequenciamento, considerando os tempos médios de serviço

Instância	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Varição Custo Total - modelo matemático	Varição Limitante Inferior- modelo matemático
1	87.432,40	116.029,00	203.461,40	<0,1	10,5%	23,0%
2	85.663,90	112.627,00	198.290,90	<0,1	0,1%	0,1%
3	70.999,40	133.964,00	204.963,40	1,0	6,2%	18,4%
4	89.885,80	133.915,00	223.800,80	<0,1	14,3%	14,3%
5	83.518,70	171.587,00	255.105,70	<0,1	3,5%	25,5%
6	89.028,90	205.984,00	295.012,90	<0,1	9,1%	9,1%
7	79.069,00	107.405,00	186.474,00	<0,1	6,6%	6,7%
8	117.162,00	136.302,00	253.464,00	<0,1	6,8%	6,8%
9	84.538,30	117.090,00	201.628,30	<0,1	2,9%	5,4%
10	105.410,00	165.799,00	271.209,00	<0,1	5,3%	5,3%
11	94.530,30	170.944,00	265.474,30	1,0	2,5%	21,3%
12	116.214,00	239.228,00	355.442,00	<0,1	12,5%	12,5%
13	114.224,00	122.405,00	236.629,00	<0,1	0,7%	0,7%
14	169.384,00	165.254,00	334.638,00	<0,1	8,2%	8,2%

Instância	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Varição Custo Total - modelo matemático	Varição Limitante Inferior - modelo matemático
15	130.348,00	137.875,00	268.223,00	<0,1	0,0%	4,6%
16	193.027,00	195.628,00	388.655,00	<0,1	9,8%	9,8%
17	120.861,00	199.736,00	320.597,00	<0,1	0,5%	9,8%
18	201.920,00	263.647,00	465.567,00	<0,1	10,1%	10,1%
19	90.871,20	112.490,00	203.361,20	1,0	8,4%	9,7%
20	82.480,20	147.088,00	229.568,20	<0,1	12,9%	12,9%
21	80.756,60	178.495,00	259.251,60	<0,1	6,0%	17,0%
22	87.614,60	108.336,00	195.950,60	<0,1	4,2%	4,3%
23	96.922,50	125.292,00	222.214,50	<0,1	6,1%	6,1%
24	111.310,00	173.468,00	284.778,00	<0,1	5,1%	5,1%
25	153.221,00	139.664,00	292.885,00	<0,1	2,5%	2,5%
26	143.402,00	169.163,00	312.565,00	<0,1	0,2%	0,2%
27	146.107,00	232.282,00	378.389,00	1,0	7,5%	7,5%
Média	112.070,44	158.581,37	270.651,81		6,0%	9,5%

A próxima análise foi baseada no processamento, para o mesmo caso em que os tempos de serviço são dados por suas médias, em que a heurística construtiva foi seguida da busca local, descrita no capítulo anterior. A Tabela 5.5 mostra os resultados obtidos. A média geral foi +3,0% em relação aos valores obtidos pelo modelo matemático, e +6,5% em relação ao limitante inferior, indicando um progresso importante, quando comparado com a aplicação unicamente da regra de sequenciamento.

Tabela 5.5: Resultado da regra de sequenciamento + busca local, considerando os tempos médios de serviço

Instância	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Varição Custo Total - modelo matemático	Varição Limitante Inferior - modelo matemático
1	76.772,50	114.391,00	191.163,50	<0,1	3,8%	15,5%
2	85.663,90	112.627,00	198.290,90	<0,1	0,1%	0,1%
3	70.999,40	133.964,00	204.963,40	<0,1	6,2%	18,4%
4	89.885,80	133.915,00	223.800,80	<0,1	14,3%	14,3%

Instância	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Varição Custo Total - modelo matemático	Varição Limitante Inferior - modelo matemático
5	81.865,50	169.709,00	251.574,50	1,0	2,1%	23,8%
6	87.101,20	183.329,00	270.430,20	<0,1	0,0%	0,0%
7	77.118,90	103.950,00	181.068,90	<0,1	3,6%	3,6%
8	112.787,00	124.546,00	237.333,00	<0,1	0,0%	0,0%
9	84.538,30	117.090,00	201.628,30	<0,1	2,9%	5,4%
10	107.064,00	155.152,00	262.216,00	<0,1	1,8%	1,8%
11	99.581,90	165.143,00	264.724,90	1,0	2,2%	21,0%
12	111.920,00	204.007,00	315.927,00	<0,1	0,0%	0,0%
13	114.224,00	122.405,00	236.629,00	<0,1	0,7%	0,7%
14	170.814,00	159.782,00	330.596,00	<0,1	6,9%	6,9%
15	130.348,00	137.875,00	268.223,00	<0,1	0,0%	4,6%
16	194.033,00	189.057,00	383.090,00	<0,1	8,2%	8,2%
17	120.861,00	199.736,00	320.597,00	<0,1	0,5%	9,8%
18	202.927,00	227.235,00	430.162,00	<0,1	1,7%	1,7%
19	77.986,10	110.465,00	188.451,10	<0,1	0,4%	1,6%
20	75.402,70	149.492,00	224.894,70	<0,1	10,6%	10,6%
21	76.993,20	168.707,00	245.700,20	1,0	0,4%	10,9%
22	87.614,60	108.336,00	195.950,60	<0,1	4,2%	4,3%
23	93.639,60	121.564,00	215.203,60	<0,1	2,7%	2,7%
24	105.221,00	176.733,00	281.954,00	<0,1	4,1%	4,1%
25	153.221,00	139.664,00	292.885,00	<0,1	2,5%	2,5%
26	143.402,00	169.163,00	312.565,00	<0,1	0,2%	0,2%
27	136.524,00	222.616,00	359.140,00	<0,1	2,0%	2,0%
Média	109.944,80	152.616,18	262.561,58		3,0%	6,5%

A aplicação do *simulated annealing* às instâncias de testes ocorreram tendo como solução inicial a que foi gerada com a aplicação da regra de sequenciamento (sem busca local), estando os resultados indicados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6: Resultado da regra de sequenciamento + *simulated annealing*, considerando os tempos médios de serviço

Instância	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Varição Custo Total - modelo matemático	Varição Limitante Inferior- modelo matemático
1	74.155,70	109.604,00	183.759,70	21,0	-0,2%	11,0%
2	88.288,60	109.820,00	198.108,60	13,0	0,0%	0,002%
3	73.079,20	119.995,00	193.074,20	32,0	0,0%	11,5%
4	77.622,60	118.160,00	195.782,60	7,0	0,0%	0,004%
5	77.156,30	166.845,00	244.001,30	22,0	-1,0%	20,1%
6	87.101,20	183.329,00	270.430,20	7,0	0,0%	0,001%
7	76.592,40	98.255,50	174.847,90	19,0	0,0%	0,009%
8	112.787,00	124.546,00	237.333,00	6,0	0,0%	0,004%
9	84.538,30	117.090,00	201.628,30	17,0	2,9%	5,4%
10	103.697,00	153.926,00	257.623,00	6,0	0,0%	0,0008%
11	97.822,30	161.239,00	259.061,30	20,0	0,0%	18,4%
12	111.920,00	204.007,00	315.927,00	5,0	0,0%	0,0%
13	108.534,00	126.436,00	234.970,00	17,0	0,0%	0,009%
14	152.553,00	156.759,00	309.312,00	8,0	0,0%	0,0%
15	130.348,00	137.875,00	268.223,00	16,0	0,0%	4,6%
16	173.067,00	181.014,00	354.081,00	6,0	0,0%	0,0%
17	122.547,00	194.901,00	317.448,00	28,0	-0,4%	8,7%
18	175.870,00	247.158,00	423.028,00	7,0	0,0%	0,004%
19	71.988,60	115.619,00	187.607,60	15,0	0,0%	1,2%
20	80.384,00	122.932,00	203.316,00	14,0	0,0%	0,0%
21	74.132,10	170.546,00	244.678,10	15,0	0,0%	10,4%
22	81.356,60	106.615,00	187.971,60	11,0	0,0%	0,008%
23	94.346,10	117.510,00	211.856,10	12,0	1,1%	1,1%
24	108.184,00	162.769,00	270.953,00	11,0	0,0%	0,009%
25	135.870,00	150.715,00	286.585,00	15,0	0,3%	0,3%
26	153.531,00	158.428,00	311.959,00	15,0	0,0%	0,009%
27	143.159,00	208.806,00	351.965,00	15,0	0,0%	0,009%
Média	106.319,67	149.070,35	255.390,02		0,1%	3,4%

Os resultados atestam o bom desempenho do método. A variação do custo total em relação aos valores obtidos pelo modelo matemático indicam uma média de +0,1%. Em relação aos limitantes inferiores, a média foi +3,4%.

A Tabela 5.7 compara os resultados obtidos e indicam que, no geral, a abordagem heurística é competitiva.

Tabela 5.7: Comparação entre diferentes métodos

Instância	Regra Seq. - Custo Total (US\$)	Regra Seq. + Busca Local - Custo Total (US\$)	Regra Seq. + S.A. - Custo Total (US\$)	Modelo Matemático - Custo Total (US\$)
1	203.461,40	191.163,50	183.759,70	184.082,70
2	198.290,90	198.290,90	198.108,60	198.108,60
3	204.963,40	204.963,40	193.074,20	193.074,20
4	223.800,80	223.800,80	195.782,60	195.782,60
5	255.105,70	251.574,50	244.001,30	246.504,60
6	295.012,90	270.430,20	270.430,20	270.430,20
7	186.474,00	181.068,90	174.847,90	174.847,90
8	253.464,00	237.333,00	237.333,00	237.333,00
9	201.628,30	201.628,30	201.628,30	195.962,30
10	271.209,00	262.216,00	257.623,00	257.623,00
11	265.474,30	264.724,90	259.061,30	259.061,30
12	355.442,00	315.927,00	315.927,00	315.927,00
13	236.629,00	236.629,00	234.970,00	234.970,00
14	334.638,00	330.596,00	309.312,00	309.312,00
15	268.223,00	268.223,00	268.223,00	268.223,00
16	388.655,00	383.090,00	354.081,00	354.081,00
17	320.597,00	320.597,00	317.448,00	318.864,00
18	465.567,00	430.162,00	423.028,00	423.028,00
19	203.361,20	188.451,10	187.607,60	187.607,60
20	229.568,20	224.894,70	203.316,00	203.316,00
21	259.251,60	245.700,20	244.678,10	244.678,10
22	195.950,60	195.950,60	187.971,60	187.971,60
23	222.214,50	215.203,60	211.856,10	209.516,40
24	284.778,00	281.954,00	270.953,00	270.953,00
25	292.885,00	292.885,00	286.585,00	285.718,00
26	312.565,00	312.565,00	311.959,00	311.959,00
27	378.389,00	359.140,00	351.965,00	351.965,00
27	378.389,00	359.140,00	351.965,00	351.965,00
Média Tempo de Processamento	0,1s	0,1s	14,1s	1644,1s

Quanto aos tempos de execução dos diferentes métodos, tanto a regra de sequenciamento quanto a regra de sequenciamento seguida de busca local, tiveram, em média, um tempo de processamento de 0,1 s. A regra de sequenciamento seguida do *simulated annealing* resultou num tempo médio de 14,1 segundos, enquanto que a resolução do modelo matemático levou, em média, 1.644,1 segundos.

Nos anexos desta dissertação é possível observar as rotas geradas pelo modelo de otimização e pelas regras de sequenciamento.

5.3 Resultados para a programação de curto prazo – durações dadas por distribuições

Nesta seção serão reportadas a aplicação da regra de sequenciamento, da regra de sequenciamento seguida de busca local, e da regra de sequenciamento seguida pelo *simulated annealing*, considerando que as durações das tarefas estão sujeitas às distribuições previamente indicadas. Cada método será processado por 30 replicações.

A Tabela 5.8 indica os resultados para a aplicação da regra de sequenciamento, mostrando os valores médio, mínimo, máximo, o desvio padrão, e o respectivo intervalo de confiança (95%) para as 30 replicações. O intervalo de confiança foi calculado segundo distribuição Student, que se aplica quando os valores da distribuição são assumidos pertencer a uma distribuição normal, mas o desvio padrão populacional é desconhecido.

Adicionalmente, a última coluna da tabela (replicação média) mostra a replicação cujo valor da função objetivo mais se aproxima da média, sendo esta a solução mais representativa, ou mais esperada de ocorrer. Cabe ressaltar que a dispersão observada no processamento das várias replicações é baixa. Os valores mínimo, médio e máximo, para todas as replicações, do coeficiente de variação (medida dada pela razão entre o desvio padrão pela média) foram, respectivamente: 4,1%, 7,3% e 14,0%.

Tabela 5.8: Regra de sequenciamento – estatística descritiva

Instância	Média (US\$)	Mínimo (US\$)	Máximo (US\$)	Desvio Padrão (US\$)	Intervalo Confiança (95%)	Replicação Média
1	190.678,99	170.853,10	206.420,90	8.014,35	(190.678,99 +/- 2.867,90)	10
2	191.941,69	176.056,30	205.757,40	7.935,13	(191.941,69 +/- 2.839,55)	3
3	193.443,10	167.271,20	220.276,80	11.495,97	(193.443,10 +/- 4.113,78)	24

Instância	Média (US\$)	Mínimo (US\$)	Máximo (US\$)	Desvio Padrão (US\$)	Intervalo Confiança (95%)	Replicação Média
4	218.040,37	195.562,20	240.905,70	13.512,89	(218.040,37 +/- 4.835,53)	17
5	226.404,71	200.169,00	250.901,90	14.973,70	(226.404,71 +/- 5.358,27)	18
6	255.109,35	216.395,70	303.609,90	25.054,01	(255.109,35 +/- 8.965,46)	9
7	173.685,07	140.815,20	209.578,00	16.241,37	(173.685,07 +/- 5.811,90)	7
8	242.106,28	212.965,90	268.449,00	13.587,52	(242.106,28 +/- 4.862,23)	21
9	193.062,61	161.243,60	225.900,80	14.574,75	(193.062,61 +/- 5.215,51)	17
10	239.258,77	199.134,10	284.786,00	20.532,60	(239.258,77 +/- 7.347,50)	6
11	244.439,58	211.112,00	286.406,00	20.290,16	(244.439,58 +/- 7.260,74)	27
12	294.974,17	232.143,00	372.968,00	41.376,37	(294.974,17 +/- 14.806,34)	7
13	224.503,07	201.476,10	256.309,00	15.328,61	(224.503,07 +/- 5.485,27)	5
14	327.326,27	292.841,00	390.683,00	24.601,55	(327.326,27 +/- 8.803,55)	11
15	265.947,17	229.339,00	311.988,00	19.902,89	(265.947,17 +/- 7.122,16)	27
16	374.956,77	338.183,00	410.724,00	19.343,81	(374.956,77 +/- 6.922,09)	16
17	303.433,63	268.387,00	336.217,00	19.062,56	(303.433,63 +/- 6.821,45)	13
18	426.467,70	365.513,00	482.066,00	28.369,71	(426.467,70 +/- 10.151,97)	1
19	193.930,62	172.364,50	221.630,00	11.465,59	(193.930,62 +/- 4.102,91)	14
20	206.129,98	169.065,90	232.491,50	16.455,74	(206.129,98 +/- 5.888,61)	27
21	232.943,98	204.077,70	275.339,00	17.546,86	(232.943,98 +/- 6.279,06)	9
22	188.943,34	168.999,20	213.376,80	11.627,74	(188.943,34 +/- 4.160,93)	10
23	215.690,19	184.413,50	264.991,00	18.066,87	(215.690,19 +/- 6.465,15)	18
24	261.083,59	222.056,00	314.325,00	25.393,93	(261.083,59 +/- 9.087,10)	25
25	293.148,70	265.545,00	326.287,00	16.316,45	(293.148,70 +/- 5.838,77)	20
26	302.581,50	270.433,00	390.328,00	23.943,05	(302.581,50 +/- 8.567,91)	21
27	345.467,03	299.445,00	401.377,00	23.178,19	(345.467,03 +/- 8.294,21)	16
Coef. de variação	7,1%	4,3%	14,0%			

A Tabela 5.9 traz a mesma análise para o caso em que foram processadas a regra de sequenciamento seguida da busca local. Neste caso, os valores mínimo, médio e máximo, para todas as replicações, do coeficiente de variação foram, respectivamente: 4,2%, 7,0% e 11,7%. Isto reforça que a máxima dispersão anterior (14,0%) pode estar associada à limitação da regra de sequenciamento na resolução do problema.

Tabela 5.9: Regra de sequenciamento + busca local – estatística descritiva

Instância	Média (US\$)	Mínimo (US\$)	Máximo (US\$)	Desvio Padrão (US\$)	Intervalo Confiança (95%)	Replicação Média
1	179.816,76	155.833,50	196.199,20	9.050,01	(179.816,76 +/- 3.238,50)	19
2	189.831,29	173.105,00	205.757,40	8.049,32	(189.831,29 +/- 2.880,41)	17
3	191.295,69	167.271,20	214.305,50	10.168,35	(191.295,69 +/- 3.638,70)	18
4	208.739,79	191.019,90	238.479,40	14.140,84	(208.739,79 +/- 5.060,24)	24
5	223.095,27	194.917,90	247.206,00	14.654,61	(223.095,27 +/- 5.244,08)	6
6	241.374,71	199.065,80	271.237,80	19.536,55	(241.374,71 +/- 6.991,06)	8
7	167.869,77	140.461,90	189.613,90	11.080,55	(167.869,77 +/- 3.965,12)	6
8	225.008,60	200.981,50	252.067,00	11.550,73	(225.008,60 +/- 4.133,38)	17
9	188.133,22	156.200,50	212.832,50	13.237,81	(188.133,22 +/- 4.737,09)	29
10	232.355,42	198.332,80	279.343,00	20.079,97	(232.355,42 +/- 7.185,53)	6
11	238.408,44	209.859,80	271.686,60	16.698,88	(238.408,44 +/- 5.975,62)	16
12	277.520,90	214.337,00	334.806,00	32.508,81	(277.520,90 +/-11.633,13)	27
13	222.604,64	198.437,00	256.309,00	16.079,79	(222.604,64 +/- 5.754,08)	27
14	317.679,37	275.728,00	369.705,00	25.499,58	(317.679,37 +/- 9.124,91)	23
15	260.606,57	226.105,00	292.808,00	17.475,10	(260.606,57 +/- 6.253,38)	28
16	353.693,90	297.467,00	381.674,00	22.729,74	(353.693,90 +/- 8.133,73)	6
17	286.216,03	251.876,00	334.762,00	20.914,09	(286.216,03 +/- 7.484,01)	0
18	394.278,90	338.963,00	438.064,00	26.817,49	(394.278,90 +/- 9.596,52)	15
19	181.315,89	159.926,30	219.145,40	11.460,20	(181.315,89 +/- 4.100,98)	29
20	200.228,87	169.065,90	229.761,30	13.603,54	(200.228,87 +/- 4.867,96)	8
21	225.483,59	188.470,10	275.339,00	21.136,99	(225.483,59 +/- 7.563,77)	3
22	181.678,13	168.713,90	206.625,10	10.447,02	(181.678,13 +/- 3.738,42)	6
23	207.687,78	175.690,10	252.193,00	18.536,83	(207.687,78 +/- 6.633,32)	24
24	255.727,84	219.299,00	306.525,00	25.116,36	(255.727,84 +/- 8.987,77)	27
25	286.675,80	263.567,00	309.240,00	13.956,06	(286.675,80 +/- 4.994,11)	3
26	296.213,80	270.433,00	373.694,00	20.675,88	(296.213,80 +/- 7.398,77)	10
27	335.079,60	295.447,00	392.369,00	21.641,26	(335.079,60 +/- 7.744,23)	22
Coef. de variação	7,0%	4,2%	11,7%			

Os resultados da aplicação da regra de sequenciamento seguida pelo *simulated annealing*, para as 30 replicações, estão reportados na Tabela 5.10. Neste caso, os valores mínimo, médio e máximo, para todas as replicações, do coeficiente de variação foram, respectivamente: 4,2%, 7,0% e 11,7%.

Tabela 5.10: Regra de sequenciamento + *simulated annealing* – estatística descritiva

Instância	Média (US\$)	Mínimo (US\$)	Máximo (US\$)	Desvio Padrão (US\$)	Intervalo Confiança (95%)	Replicação Média
1	171.869,25	155.628,20	187.335,70	7.088,97	(171.869,25 +/- 2.536,76)	24
2	174.159,03	155.628,20	195.258,10	9.683,22	(174.159,03 +/- 3.465,09)	3
3	184.631,98	158.233,00	203.390,90	8.905,12	(184.631,98 +/- 3.186,66)	0
4	183.418,34	164.068,10	204.042,10	9.659,60	(183.418,34 +/- 3.456,64)	18
5	195.676,57	180.095,90	232.013,40	13.525,53	(195.676,57 +/- 4.840,05)	15
6	217.610,70	179.282,80	270.626,50	21.009,55	(217.610,70 +/- 7.518,17)	23
7	165.086,01	137.330,50	182.841,00	10.265,39	(165.086,01 +/- 3.673,42)	23
8	172.122,10	137.330,50	234.311,70	21.694,43	(172.122,10 +/- 7.763,25)	15
9	185.287,37	152.046,80	209.891,20	12.794,30	(185.287,37 +/- 4.578,38)	10
10	188.789,36	152.046,80	230.276,10	15.658,09	(188.789,36 +/- 5.603,18)	9
11	231.696,74	195.399,40	268.657,00	18.305,32	(231.696,74 +/- 6.550,47)	3
12	239.948,45	203.586,70	312.236,00	22.873,56	(239.948,45 +/- 8.185,20)	13
13	219.655,65	198.437,00	245.443,00	14.271,99	(219.655,65 +/- 5.107,16)	27
14	227.897,51	198.515,30	344.738,00	30.912,07	(227.897,51 +/- 11.061,74)	10
15	241.096,47	210.985,00	273.445,00	18.021,94	(241.096,47 +/- 6.449,07)	20
16	249.101,30	210.985,00	348.568,00	33.087,69	(249.101,30 +/- 11.840,28)	6
17	278.357,50	234.167,00	318.817,00	20.831,02	(278.357,50 +/- 7.454,28)	26
18	382.513,17	331.556,00	436.716,00	29.578,95	(382.513,17 +/- 10.584,69)	4
19	175.964,17	158.264,70	204.733,60	8.909,61	(175.964,17 +/- 3.188,26)	3
20	175.528,73	159.926,30	205.366,20	8.955,86	(175.528,73 +/- 3.204,82)	29
21	193.322,21	166.867,40	234.880,20	17.168,00	(193.322,21 +/- 6.143,49)	16
22	177.911,53	162.525,20	195.846,40	8.730,18	(177.911,53 +/- 3.124,05)	6
23	178.325,76	162.525,20	216.684,30	11.309,85	(178.325,76 +/- 4.047,18)	7
24	202.264,02	168.109,50	259.979,00	21.394,59	(202.264,02 +/- 7.655,95)	0
25	252.519,07	216.162,00	301.622,00	21.615,53	(252.519,07 +/- 7.735,02)	2
26	278.427,50	250.667,00	360.973,00	20.823,99	(278.427,50 +/- 7.451,77)	6
27	291.727,53	258.923,00	338.823,00	18.208,48	(291.727,53 +/- 6.515,82)	20
Coef. de variação	7,0%	4,2%	11,7%			

A Tabela 5.11 apresenta o resultado do modelo matemático, o correspondente limitante inferior, o intervalo de confiança para o resultado das 30 replicações para a regra de sequenciamento seguida do *simulated annealing*. Mesmo quando o GAP do processamento do modelo matemático foi positivo (destacados em cinza na tabela), em vários casos o limitante inferior é superior ao limite superior do intervalo de confiança. Há apenas 3 casos em que não é possível concluir (destacados em negrito), pois o intervalo de

confiança está contido dentro da faixa de valores do *gap* entre o valor da função objetivo e o limitante inferior.

Tabela 5.11: Comparação do intervalo de confiança com os resultados do modelo matemático

Instância	Modelo Matemático - Custo Total (US\$)	Modelo Matemático - Limitante Inferior (US\$)	Regra de Seq. & Simulated Annealing - Intervalo Confiança (95%)
1	184.082,70	165.479,67	(171.869,25 +/- 2.536,76)
2	198.108,60	198.104,54	(174.159,03 +/- 3.465,09)
3	193.074,20	173.094,69	(184.631,98 +/- 3.186,66)
4	195.782,60	195.774,63	(183.418,34 +/- 3.456,64)
5	246.504,60	203.245,01	(195.676,57 +/- 4.840,05)
6	270.430,20	270.425,04	(217.610,70 +/- 7.518,17)
7	174.847,90	174.831,10	(165.086,01 +/- 3.673,42)
8	237.333,00	237.322,20	(172.122,10 +/- 7.763,25)
9	195.962,30	191.279,60	(185.287,37 +/- 4.578,38)
10	257.623,00	257.620,92	(188.789,36 +/- 5.603,18)
11	259.061,30	218.791,52	(231.696,74 +/- 6.550,47)
12	315.927,00	315.927,00	(239.948,45 +/- 8.185,20)
13	234.970,00	234.947,19	(219.655,65 +/- 5.107,16)
14	309.312,00	309.312,00	(227.897,51 +/- 11.061,74)
15	268.223,00	256.492,08	(241.096,47 +/- 6.449,07)
16	354.081,00	354.081,00	(249.101,30 +/- 11.840,28)
17	318.864,00	291.977,90	(278.357,50 +/- 7.454,28)
18	423.028,00	423.008,79	(382.513,17 +/- 10.584,69)
19	187.607,60	185.414,26	(175.964,17 +/- 3.188,26)
20	203.316,00	203.295,70	(175.528,73 +/- 3.204,82)
21	244.678,10	221.638,18	(193.322,21 +/- 6.143,49)
22	187.971,60	187.956,11	(177.911,53 +/- 3.124,05)
23	209.516,40	209.496,11	(178.325,76 +/- 4.047,18)
24	270.953,00	270.926,22	(202.264,02 +/- 7.655,95)
25	285.718,00	285.693,31	(252.519,07 +/- 7.735,02)
26	311.959,00	311.928,32	(278.427,50 +/- 7.451,77)
27	351.965,00	351.930,56	(291.727,53 +/- 6.515,82)

5.4 Dados de Entrada do Modelo – Longo Prazo

Para a resolução do problema de planejamento a longo prazo serão levados em consideração simultaneamente questões referente a programação de tarefas e ao dimensionamento da frota. Em relação a programação de

tarefas serão listadas apenas as modificações em relação aos dados de entrada do curto prazo.

O horizonte de planejamento será de um ano e as instâncias irão conter um total de 1439 tarefas, sendo estas do tipo (0) – convencional ou do tipo (1) – troca de tripulação, como no curto prazo.

As 1439 tarefas são resultantes das quinze tarefas geradas no curto prazo, sendo as treze primeiras do tipo convencional e as duas últimas (14 e 15) para a troca de tripulação. As ocorrências destas tarefas serão criadas a partir das distribuições contidas na tabela 5.12.

Os valores de intervalo serão sorteados na distribuição, e suas datas serão somadas, gerando uma sucessão de datas de ocorrência, até completar 365 dias.

Figura 5.12: Intervalo Médio entre as ocorrências das tarefas

Tarefa	Distribuição	Parâmetro 1	Média (dias)	Ocorrências da tarefa no ano (vezes)	Duração da tarefa no ano (dias)
1	Exponencial	0,16	6	60,83333333	30,41666667
2	Exponencial	0,08	12	30,41666667	36,5
3	Exponencial	0,50	2	182,5	127,75
4	Exponencial	0,20	5	73	29,2
5	Exponencial	0,13	7,5	48,66666667	9,733333333
6	Exponencial	0,33	3	121,6666667	85,16666667
7	Exponencial	0,50	2	182,5	91,25
8	Exponencial	0,06	15	24,33333333	34,06666667
9	Exponencial	0,12	8	45,625	27,375
10	Exponencial	0,20	5	73	58,4
11	Exponencial	0,12	8	45,625	59,3125
12	Exponencial	0,07	14	26,07142857	28,67857143
13	Exponencial	1,00	1,00	365	292
Total					909,8494048

A última linha da tabela acima informa a quantidade de dias para realização das tarefas de manutenção a serem atendidas. Observa-se que ao dividir o total pela quantidade de dias do ano, serão necessárias 2,49 embarcações para atender a demanda de serviço no ano. Porém no cálculo acima não foram consideradas as tarefas de troca de tripulação e o tempo

gasto com navegação que são valores significativos, portanto partiu-se do princípio de uma frota de no mínimo quatro embarcações.

Desta maneira as instâncias serão testadas com 4, 5 e 6 embarcações, cada uma com dez replicações.

A taxa de afretamento de cada embarcação será de \$\$30.000,00/dia e o custo anual do navio será de \$\$10.950.000,00.

5.5 Resultados para a programação de longo prazo

A Tabela 5.13 mostra a variação do custo total com o aumento de embarcações na frota com a aplicação apenas da regra da regra de sequenciamento. Conforme a frota cresce, o custo total diminui.

Tabela 5.13: Resultados da regra de sequenciamento

Instância	Replicação	Tamanho da Frota	Custo Total (U\$)	Custo Roteirização (U\$)	Penalidades (U\$)
28	1	4	185.312.638,96	8.489.635,82	176.823.003,14
29	2	4	251.952.411,72	8.951.458,98	243.000.952,74
30	3	4	158.108.459,38	8.896.456,08	149.212.003,29
31	4	4	153.491.829,98	8.989.914,22	144.501.915,76
32	5	4	142.929.268,94	8.501.833,49	134.427.435,44
33	6	4	159.563.838,71	8.914.357,02	150.649.481,69
34	7	4	195.931.136,86	9.101.453,53	186.829.683,33
35	8	4	188.335.623,20	8.703.678,23	179.631.944,97
36	9	4	191.383.881,90	8.936.568,64	182.447.313,27
37	10	4	162.495.227,12	8.929.459,49	153.565.767,62
38	1	5	106.827.690,67	9.476.232,63	97.351.458,04
39	2	5	121.833.492,03	9.932.701,43	111.900.790,61
40	3	5	107.206.154,59	9.380.598,15	97.825.556,45
41	4	5	120.787.492,22	9.318.892,22	111.468.600,00
42	5	5	110.601.564,52	9.078.765,53	101.522.798,99
43	6	5	113.044.366,48	9.183.136,51	103.861.229,97
44	7	5	126.660.453,72	9.877.100,93	116.783.352,79
45	8	5	96.395.029,78	9.291.838,49	87.103.191,28
46	9	5	109.064.988,08	9.568.374,63	99.496.613,44
47	10	5	108.129.772,41	9.541.127,04	98.588.645,37
48	1	6	94.140.064,84	9.661.819,16	84.478.245,68

Instância	Replicação	Tamanho da Frota	Custo Total (U\$)	Custo Roteirização (U\$)	Penalidades (U\$)
49	2	6	96.654.512,71	10.005.070,30	86.649.442,41
50	3	6	99.050.174,43	9.300.663,42	89.749.511,01
51	4	6	95.206.830,28	9.542.043,19	85.664.787,09
52	5	6	95.865.450,25	9.235.102,34	86.630.347,91
53	6	6	104.201.024,57	9.407.483,81	94.793.540,76
54	7	6	99.831.093,01	10.151.875,63	89.679.217,38
55	8	6	90.663.164,54	9.242.136,19	81.421.028,34
56	9	6	98.050.480,52	9.427.539,12	88.622.941,41
57	10	6	94.757.591,67	9.768.100,60	84.989.491,07

A Tabela 5.14 apresenta os resultados baseados na resolução pela regra de sequenciamento acrescido da busca local. A utilização da busca local para resolução do problema reflete uma maior economia ao se aumentar a frota das embarcações.

Tabela 5.14: Resultados da regra de sequenciação + busca local

Instância	Replicação	Tamanho da Frota	Custo Total (U\$)	Custo Roteirização (U\$)	Penalidades (U\$)
28	1	4	105.051.239,58	9.169.703,49	95.881.536,10
29	2	4	208.127.414,06	8.931.252,30	199.196.161,75
30	3	4	93.595.860,44	9.226.328,29	84.369.532,15
31	4	4	94.892.899,82	9.392.043,97	85.500.855,85
32	5	4	70.085.137,07	9.060.425,93	61.024.711,15
33	6	4	76.792.085,24	9.424.557,28	67.367.527,96
34	7	4	147.801.888,55	9.158.243,93	138.643.644,62
35	8	4	96.044.961,04	9.249.094,82	86.795.866,21
36	9	4	134.475.978,95	8.998.894,80	125.477.084,16
37	10	4	85.329.489,42	9.402.924,27	75.926.565,15
38	1	5	38.616.306,52	10.444.956,58	28.171.349,94
39	2	5	53.178.076,87	10.995.560,90	42.182.515,97
40	3	5	42.617.413,44	10.406.274,04	32.211.139,40
41	4	5	43.755.735,22	10.594.402,21	33.161.333,02
42	5	5	39.913.178,70	10.234.825,96	29.678.352,75
43	6	5	38.594.048,44	10.422.604,19	28.171.444,26
44	7	5	126.644.289,90	9.840.627,24	116.803.662,66
45	8	5	42.642.520,63	10.346.078,87	32.296.441,76
46	9	5	51.154.030,79	10.300.695,44	40.853.335,34

Instância	Replicação	Tamanho da Frota	Custo Total (U\$)	Custo Roteirização (U\$)	Penalidades (U\$)
47	10	5	38.424.052,08	10.491.377,57	27.932.674,51
48	1	6	34.667.902,51	11.086.419,28	23.581.483,23
49	2	6	37.940.236,20	11.412.759,44	26.527.476,77
50	3	6	36.280.058,62	11.185.005,90	25.095.052,72
51	4	6	36.636.651,77	11.488.258,54	25.148.393,23
52	5	6	29.557.443,14	10.781.466,48	18.775.976,66
53	6	6	32.037.576,72	11.053.392,21	20.984.184,52
54	7	6	38.413.635,28	11.552.251,35	26.861.383,93
55	8	6	33.384.386,55	10.814.325,68	22.570.060,87
56	9	6	33.330.934,94	11.049.168,07	22.281.766,87
57	10	6	33.256.783,04	11.193.484,80	22.063.298,24

6 CONCLUSÕES

Esta pesquisa estudou o problema de planejamento de operações de manutenção submarina por meio de duas perspectivas, a programação e o dimensionamento de uma frota de embarcações para atender uma demanda de serviços de manutenção voltados a atividades petrolíferas *offshore*.

Uma vez que tem sido usual a prática do uso de simulação de eventos discretos para resolver problemas de planejamento, em que regras fixas são empregadas ao invés de uma análise baseada em otimização matemática, este trabalho procurou mostrar uma outra forma de resolução.

Essencialmente o problema de planejamento concentrou-se em encontrar a melhor sequência de tarefas, avaliando a compatibilidade entre as embarcação-tarefa e a minimização dos custos.

O modelo matemático determinístico que representou o problema da pesquisa foi uma extensão do modelo clássico de roteirização com janelas de tempo.

Para a resolução do problema, inicialmente foi proposta uma regra de sequenciamento, implementada em um *software* comercial de simulação, e um algoritmo de simulação-otimização, codificado em C++.

A regra de sequenciamento consistiu em priorizar as tarefas com maior penalidade, isto é, aquelas que resultam em uma maior perda de óleo, alocando-as aos navios que são capazes de iniciá-las no instante mais cedo, obedecendo a questões operacionais.

No modelo de simulação-otimização, a simulação consistiu no sorteio das durações das tarefas, segundo as distribuições de probabilidade. Após a realização do sorteio, a fase de otimização é iniciada, a qual foi resolvida por meio de uma regra de sequenciamento acoplada à meta-heurística *simulated annealing*. Para ajudar a calibrar e/ou ajustar a heurística, foram rodados casos determinísticos.

As instâncias foram testadas para o curto e longo prazo, atestando um bom desempenho da metodologia proposta. Assim, a atual pesquisa pode mostrar que o problema de planejamento pode ser resolvido por SIMULAÇÃO - OTIMIZAÇÃO, ao invés de simulação de eventos discretos que adotam regras fixas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEAM, Associação Brasileira de Empresas de Apoio Marítimo. Disponível em <<http://www.abeam.org.br>> Acesso em 07.09.2013

ALOISE, D.J., ALOISE,D., ROCHA, C.T.M, RIBEIRO, C,C, FILHO, J.C.R, MOURA, L.S.S. Discrete Applied Mathematics 154(2006) 695-702.

ALREFAEI, M.H, DIABAT, A.H. A simulated aneling technique for multi-objctive simulation optimization.Applied Mathematics and Computation, 215:3029-3035, 2009

AMMERI, A., CHABCHOUB, H. HACHIDA, W., MASMOUDI, F., A comprehensive literature classification on simulation optimization methods, 2010. Disponivel em <<http://www.mpra.ub.uni-muenchen.de/27652>> Acesso em 09.10 .2013

ARENALES, M., ARMENTANO, V., MORABITO, R. , YANASSE, H., Pesquisa Operacional, Rio de Janeiro , 6º reimpressão, 2007

AZADIVAR, F., A tutorial on simulation optimization, Proceedings of the 24th Conference on Winter simulation, p. 198-204.,1992

BASSI, H.V., FILHO, V.J.M.F, BAHIANSE, L. Planning and scheduling a fleet of rigs using simulation-optimization, Computers and Industrial Engineering 63 (2012) 1074-1088

BERTHAND, J.W.M. , FRANSOO, J.C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. International Journal of Operations & Production Management, 2:22,p.241-254, 2002

CARSON,Y.; MARIA, A. Simulation optimization: Methods and Applications. Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference.1997.

CERNY, V. , A thermodynamic approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation, *Journal of Optimization Theory and Applications*, 45:41-51, 1985

CHWIF, L., MEDINA, A. C. Modelagem e Simulação de eventos discretos: teoria & aplicações. 3 ed. São Paulo, 2010

CORDENONSI, A.V. Ambientes, objetos e dialogicidade: uma estratégia de ensino superior em heurísticas e meta-heurísticas. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul. 2008

COSTA, L.R., FILHO, V.J.M.F. Uma heurística para o problema do planejamento de itinerários de sondas em intervenções em poços de petróleo. XXXVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional , p. 1844-1853. 2004.

DARZENTAS, J., SPYROU, T. Ferry Traffic in the Aegean Island: A Simulation Study. *The Journal of the Operational Reserch Society*, v. 47, n°02, p.203-216, 1996.

DUHAMEL, C., SANTOS, A.C., GUEDES, L.M. Models and hybrid methods for the onshore wells maintenance problem. *Computers & Operatins Research* 39 (2012) 2944-2953

EPOCANEGOCIOS, Disponível em < <http://epocanegocios.globo.com/Informacao/Visao/noticia/2013/05/petrobras-vai-dobrar-de-tamanho-ate-2020-diz-foster.html>> Acesso em 10. 07 .2013

FU, M. C. Feature Article: Optimization for simulation: Theory vs. Practice. *Journal on Computing*, v.14, p. 192-215, 2002.

FU, M.C. ,Optimization via simulation: a review. *Annals of Operations Research*, 53, p.199-247, 1994

GOLDBARG, M.C., LUNA, H.P. Otimização Combinatória e Programação Linear - Modelos e Algoritmos. Editora Campus, 2000

GORDON, G. A general purpose system simulation program. McMillan. NY, Proceedings of EJCC, Washinton D.C, 87-104, 1961

HAESER, G., RUGGIERO, M.A.G., Aspectos teóricos de simulated annealing e um algoritmo duas fases em otimização global. *Tendências em Matemática Aplicada*, v. 9-3, p. 395-404, 2008

HILLIER, F. S., LIEBERMAN, G.J. Introduction to Operations Research, 8° editon, Nova York, Mac-Graw Hill, 2004

IMAI, A.; RIVERA, F. Strategic fleet size planning for maritime refrigerated containers. *Maritime Policy & Management*, v. 28, n°4, p. 361-374, 2001

IZQUIERDO, V. B., Uma proposta de especificação formal e fundamentação teórica para Simulated Annealing. Dissertação de Mestrado 2000, 150p.

KIRKPATRICK, S.; GELLAT Jr., C. D.; VECCHI, M. P. Optimization by simulated annealing. *Science*, v. 220, p. 671-680, 1983

LIMA, D. A programação matemática no planejamento de produção na relação avícola/aviário. 2004. p.118. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Paraná. Paraná. 2004

LOIOLA, E.M, ABREU, N.M.M, NETTO, P.O.B. Uma revisão comentada das abordagens do problema quadrático de alocação. *Revista Pesquisa Operacional*, v.24, n.1, p.73-109, 2004

MARTAGAN, T. G.; EKSIÖGLU, B.; EKSIÖGLU, S. D., GREENWOOD, A. G. A Simulation Model of Port Operations during Crisis Conditions. *The Winter Simulation Conference*. p. 2832-2843, 2009

MAURI, G.R.; LORENA, L.A.N. Customers' satisfaction in a dial-a-ride problem. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, v. 1, n. 3, p. 6-14, 2009

MELIÀN, B.; PEREZ, J. M.; MORENO-VEGA, J. M. Metaheurísticas: Una visión global. Inteligencia Artificial, Revista Iberoamericana de IA, v. 7, n. 19, p. 7–28, 2003.

NEVES, T.A. Heuristics with adaptative memory applied to workover rig routing and scheduling problem. Tese (Mestrado), Universidade Federal Fluminense. Niterói, Rio de Janeiro. 2007

NICHOLSON, T.A.J, Optimization in industry: optimization techniques. London: Longman Press. V.1, 1971.

ÓLAFSSON, S.; KIM, J., Simulation Optimization. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, San Diego, p. 79-84, 2002

ONO, R.T. Modelagem Sistêmica e Planejamento Logístico da cadeia de suprimentos de petróleo. 2007. p.198. Tese (doutorado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2007

OPL, Introduction to offshore maintenance. Oilfield Publications Ltd, 2004. 256p.

PANTUSO, G.; FAGERHOLD, K.; HVATTUM, L. M. A survey on Maritime Fleet Size and Mix Problems. European Journal of Operational Research. 2013

PEDGEN, C.D.; SHANNON, R.E.; SADOWSKI, R.P. (1995) – Introduction to simulation using SIMAN. McGraw-Hill. 2a Edição. New York.

PETROBRAS, Disponível em < <http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/mais-uma-conquista-no-pre-sal-500-mil-barris-por-dia.htm> > Acesso em 20.08.14

PETROLEOETC, Disponível em <www.petroleoetc.com.br/fique-sabendo/operacoes-com-barcos-dsv-e-rsv/> Acesso em 10.04.2013

RIBEIRO, G.M. DESAULNIERS, G. DESROSIERS, J.. A branch-price-and-cut algorithm for the workover rig routing problem. *Computers and Operations Research* 39(12), 3305-3315 (2012)

RIBEIRO, G.M., MAURI, G.R, LORENA, L.A.N. A simple and robust simulated annealing algorithm for scheduling workover rigs on onshore oil fields. *Computers & Industrial Engineering*, v. 60, n. 4, p. 519-526, 2011

SCIELO, Disponível em < www.scielo.br/img/revistas/gp/v17n3/07f01.gif> Acesso em 10.11.2014

SHABAYEK, A. A.; YEUNG, W. W.. A Simulation Model for the Kwai Chung Container Terminals in Hong Kong. *European Journal of Operational Research*. v. 140, p. 1-11, 2002

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, p. 230-240, 2010

TEKIN, E.; SABUNCUOGLU, I. Simulation Optimizattion: A comprehensive review on theory and applications. *IIE Transactions*, 36(11), p.1067-1081, 2004

ANEXOS

Instâncias de testes para o problema de programação

Dados das embarcações (fixo para todas os problemas)

Embarcação	tipo*	x0 (milhas)**	y0 (milhas)**	velocidade (nós)	consumo (m3/dia)	instante de liberação	fim de contrato (dias)	data próxima troca de tripulação
0	0	34	233	12	20	0,3	30,0	3,0
1	0	237	61	12	20	0,4	30,0	12,0
2	1	216	136	14	30	0,7	30,0	7,5
3	1	165	119	14	30	0,1	30,0	14,0

*tipo - 0 RSV; 1 DSV

** coordenadas do local de liberação das embarcações

Dados das tarefas – curto prazo

Instância 1								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	71	33	0,0	12,0	0	8.000	0,5	1	1	1	1
2	112	109	0,0	12,0	0	0	1,2	1	1	1	1
3	102	42	0,0	12,0	0	8.000	0,7	1	1	1	1
4	66	63	0,0	12,0	0	13.000	0,4	1	1	1	1
5	128	86	0,0	12,0	0	15.000	0,2	1	1	1	1
6	83	140	0,0	12,0	0	7.000	0,7	1	1	1	1
7	70	34	0,0	12,0	0	12.000	0,5	1	1	1	1
8	41	123	0,0	12,0	0	6.000	1,4	1	1	1	1
9	49	40	0,0	12,0	0	14.000	0,6	1	1	1	1
10	68	141	0,0	12,0	0	5.000	0,8	1	1	1	1
11	116	81	0,0	12,0	0	6.000	1,3	1	1	1	1
12	147	85	0,0	12,0	0	2.000	1,1	1	1	1	1
13	77	73	0,0	12,0	0	0	0,8	1	1	1	1
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 2								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	71	33	0,0	12,0	0	8.000	0,5	1	1	0	0
2	112	109	0,0	12,0	0	0	1,2	1	0	1	0
3	102	42	0,0	12,0	0	8.000	0,7	0	0	0	1
4	66	63	0,0	12,0	0	13.000	0,4	0	1	0	1
5	128	86	0,0	12,0	0	15.000	0,2	0	1	0	1
6	83	140	0,0	12,0	0	7.000	0,7	0	1	1	0
7	70	34	0,0	12,0	0	12.000	0,5	0	0	0	1
8	41	123	0,0	12,0	0	6.000	1,4	1	0	1	1
9	49	40	0,0	12,0	0	14.000	0,6	1	1	0	1
10	68	141	0,0	12,0	0	5.000	0,8	0	0	1	1
11	116	81	0,0	12,0	0	6.000	1,3	1	1	0	0
12	147	85	0,0	12,0	0	2.000	1,1	1	0	1	0
13	77	73	0,0	12,0	0	0	0,8	0	1	1	0
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 3								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	71	33	0,0	12,0	0	8.000	0,9	1	1	1	1
2	112	109	0,0	12,0	0	0	0,4	1	1	1	1
3	102	42	0,0	12,0	0	8.000	0,1	1	1	1	1
4	66	63	0,0	12,0	0	13.000	0,2	1	1	1	1
5	128	86	0,0	12,0	0	15.000	1,7	1	1	1	1
6	83	140	0,0	12,0	0	7.000	1,8	1	1	1	1
7	70	34	0,0	12,0	0	12.000	0,4	1	1	1	1
8	41	123	0,0	12,0	0	6.000	0,9	1	1	1	1
9	49	40	0,0	12,0	0	14.000	2,5	1	1	1	1
10	68	141	0,0	12,0	0	5.000	1,9	1	1	1	1
11	116	81	0,0	12,0	0	6.000	1,8	1	1	1	1
12	147	85	0,0	12,0	0	2.000	0,4	1	1	1	1
13	77	73	0,0	12,0	0	0	1,2	1	1	1	1
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 4								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	71	33	0,0	12,0	0	8.000	0,9	1	1	0	0
2	112	109	0,0	12,0	0	0	0,4	1	0	1	0
3	102	42	0,0	12,0	0	8.000	0,1	0	0	0	1
4	66	63	0,0	12,0	0	13.000	0,2	0	1	0	1
5	128	86	0,0	12,0	0	15.000	1,7	0	1	0	1
6	83	140	0,0	12,0	0	7.000	1,8	0	1	1	0
7	70	34	0,0	12,0	0	12.000	0,4	0	0	0	1
8	41	123	0,0	12,0	0	6.000	0,9	1	0	1	1
9	49	40	0,0	12,0	0	14.000	2,5	1	1	0	1
10	68	141	0,0	12,0	0	5.000	1,9	0	0	1	1
11	116	81	0,0	12,0	0	6.000	1,8	1	1	0	0
12	147	85	0,0	12,0	0	2.000	0,4	1	0	1	0
13	77	73	0,0	12,0	0	0	1,2	0	1	1	0
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 5								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	71	33	0,0	12,0	0	8.000	0,5	1	1	1	1
2	112	109	0,0	12,0	0	0	2,9	1	1	1	1
3	102	42	0,0	12,0	0	8.000	1,6	1	1	1	1
4	66	63	0,0	12,0	0	13.000	1,8	1	1	1	1
5	128	86	0,0	12,0	0	15.000	1,6	1	1	1	1
6	83	140	0,0	12,0	0	7.000	0,7	1	1	1	1
7	70	34	0,0	12,0	0	12.000	1,6	1	1	1	1
8	41	123	0,0	12,0	0	6.000	1,0	1	1	1	1
9	49	40	0,0	12,0	0	14.000	2,2	1	1	1	1
10	68	141	0,0	12,0	0	5.000	0,8	1	1	1	1
11	116	81	0,0	12,0	0	6.000	3,0	1	1	1	1
12	147	85	0,0	12,0	0	2.000	0,6	1	1	1	1
13	77	73	0,0	12,0	0	0	2,9	1	1	1	1
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 6								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	71	33	0,0	12,0	0	8.000	0,5	1	1	0	0
2	112	109	0,0	12,0	0	0	2,9	1	0	1	0
3	102	42	0,0	12,0	0	8.000	1,6	0	0	0	1
4	66	63	0,0	12,0	0	13.000	1,8	0	1	0	1
5	128	86	0,0	12,0	0	15.000	1,6	0	1	0	1
6	83	140	0,0	12,0	0	7.000	0,7	0	1	1	0
7	70	34	0,0	12,0	0	12.000	1,6	0	0	0	1
8	41	123	0,0	12,0	0	6.000	1,0	1	0	1	1
9	49	40	0,0	12,0	0	14.000	2,2	1	1	0	1
10	68	141	0,0	12,0	0	5.000	0,8	0	0	1	1
11	116	81	0,0	12,0	0	6.000	3,0	1	1	0	0
12	147	85	0,0	12,0	0	2.000	0,6	1	0	1	0
13	77	73	0,0	12,0	0	0	2,9	0	1	1	0
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 7								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	64	43	0,0	12,0	0	8.000	0,5	1	1	1	1
2	178	94	0,0	12,0	0	0	1,2	1	1	1	1
3	30	220	0,0	12,0	0	8.000	0,7	1	1	1	1
4	54	85	0,0	12,0	0	13.000	0,4	1	1	1	1
5	34	220	0,0	12,0	0	15.000	0,2	1	1	1	1
6	87	65	0,0	12,0	0	7.000	0,7	1	1	1	1
7	146	79	0,0	12,0	0	12.000	0,5	1	1	1	1
8	136	29	0,0	12,0	0	6.000	1,4	1	1	1	1
9	91	98	0,0	12,0	0	14.000	0,6	1	1	1	1
10	156	116	0,0	12,0	0	5.000	0,8	1	1	1	1
11	49	63	0,0	12,0	0	6.000	1,3	1	1	1	1
12	234	194	0,0	12,0	0	2.000	1,1	1	1	1	1
13	167	166	0,0	12,0	0	0	0,8	1	1	1	1
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 8								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	64	43	0,0	12,0	0	8.000	0,5	1	1	0	0
2	178	94	0,0	12,0	0	0	1,2	1	0	1	0
3	30	220	0,0	12,0	0	8.000	0,7	0	0	0	1
4	54	85	0,0	12,0	0	13.000	0,4	0	1	0	1
5	34	220	0,0	12,0	0	15.000	0,2	0	1	0	1
6	87	65	0,0	12,0	0	7.000	0,7	0	1	1	0
7	146	79	0,0	12,0	0	12.000	0,5	0	0	0	1
8	136	29	0,0	12,0	0	6.000	1,4	1	0	1	1
9	91	98	0,0	12,0	0	14.000	0,6	1	1	0	1
10	156	116	0,0	12,0	0	5.000	0,8	0	0	1	1
11	49	63	0,0	12,0	0	6.000	1,3	1	1	0	0
12	234	194	0,0	12,0	0	2.000	1,1	1	0	1	0
13	167	166	0,0	12,0	0	0	0,8	0	1	1	0
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 9								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	64	43	0,0	12,0	0	8.000	0,9	1	1	1	1
2	178	94	0,0	12,0	0	0	0,4	1	1	1	1
3	30	220	0,0	12,0	0	8.000	0,1	1	1	1	1
4	54	85	0,0	12,0	0	13.000	0,2	1	1	1	1
5	34	220	0,0	12,0	0	15.000	1,7	1	1	1	1
6	87	65	0,0	12,0	0	7.000	1,8	1	1	1	1
7	146	79	0,0	12,0	0	12.000	0,4	1	1	1	1
8	136	29	0,0	12,0	0	6.000	0,9	1	1	1	1
9	91	98	0,0	12,0	0	14.000	2,5	1	1	1	1
10	156	116	0,0	12,0	0	5.000	1,9	1	1	1	1
11	49	63	0,0	12,0	0	6.000	1,8	1	1	1	1
12	234	194	0,0	12,0	0	2.000	0,4	1	1	1	1
13	167	166	0,0	12,0	0	0	1,2	1	1	1	1
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 10								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	64	43	0,0	12,0	0	8.000	0,9	1	1	0	0
2	178	94	0,0	12,0	0	0	0,4	1	0	1	0
3	30	220	0,0	12,0	0	8.000	0,1	0	0	0	1
4	54	85	0,0	12,0	0	13.000	0,2	0	1	0	1
5	34	220	0,0	12,0	0	15.000	1,7	0	1	0	1
6	87	65	0,0	12,0	0	7.000	1,8	0	1	1	0
7	146	79	0,0	12,0	0	12.000	0,4	0	0	0	1
8	136	29	0,0	12,0	0	6.000	0,9	1	0	1	1
9	91	98	0,0	12,0	0	14.000	2,5	1	1	0	1
10	156	116	0,0	12,0	0	5.000	1,9	0	0	1	1
11	49	63	0,0	12,0	0	6.000	1,8	1	1	0	0
12	234	194	0,0	12,0	0	2.000	0,4	1	0	1	0
13	167	166	0,0	12,0	0	0	1,2	0	1	1	0
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 11								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	64	43	0,0	12,0	0	8.000	0,5	1	1	1	1
2	178	94	0,0	12,0	0	0	2,9	1	1	1	1
3	30	220	0,0	12,0	0	8.000	1,6	1	1	1	1
4	54	85	0,0	12,0	0	13.000	1,8	1	1	1	1
5	34	220	0,0	12,0	0	15.000	1,6	1	1	1	1
6	87	65	0,0	12,0	0	7.000	0,7	1	1	1	1
7	146	79	0,0	12,0	0	12.000	1,6	1	1	1	1
8	136	29	0,0	12,0	0	6.000	1,0	1	1	1	1
9	91	98	0,0	12,0	0	14.000	2,2	1	1	1	1
10	156	116	0,0	12,0	0	5.000	0,8	1	1	1	1
11	49	63	0,0	12,0	0	6.000	3,0	1	1	1	1
12	234	194	0,0	12,0	0	2.000	0,6	1	1	1	1
13	167	166	0,0	12,0	0	0	2,9	1	1	1	1
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 12								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	64	43	0,0	12,0	0	8.000	0,5	1	1	0	0
2	178	94	0,0	12,0	0	0	2,9	1	0	1	0
3	30	220	0,0	12,0	0	8.000	1,6	0	0	0	1
4	54	85	0,0	12,0	0	13.000	1,8	0	1	0	1
5	34	220	0,0	12,0	0	15.000	1,6	0	1	0	1
6	87	65	0,0	12,0	0	7.000	0,7	0	1	1	0
7	146	79	0,0	12,0	0	12.000	1,6	0	0	0	1
8	136	29	0,0	12,0	0	6.000	1,0	1	0	1	1
9	91	98	0,0	12,0	0	14.000	2,2	1	1	0	1
10	156	116	0,0	12,0	0	5.000	0,8	0	0	1	1
11	49	63	0,0	12,0	0	6.000	3,0	1	1	0	0
12	234	194	0,0	12,0	0	2.000	0,6	1	0	1	0
13	167	166	0,0	12,0	0	0	2,9	0	1	1	0
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 13								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	36	78	0,0	12,0	0	8.000	0,5	1	1	1	1
2	95	149	0,0	12,0	0	0	1,2	1	1	1	1
3	331	64	0,0	12,0	0	8.000	0,7	1	1	1	1
4	93	54	0,0	12,0	0	13.000	0,4	1	1	1	1
5	82	245	0,0	12,0	0	15.000	0,2	1	1	1	1
6	345	32	0,0	12,0	0	7.000	0,7	1	1	1	1
7	109	189	0,0	12,0	0	12.000	0,5	1	1	1	1
8	250	339	0,0	12,0	0	6.000	1,4	1	1	1	1
9	269	343	0,0	12,0	0	14.000	0,6	1	1	1	1
10	199	203	0,0	12,0	0	5.000	0,8	1	1	1	1
11	72	173	0,0	12,0	0	6.000	1,3	1	1	1	1
12	68	287	0,0	12,0	0	2.000	1,1	1	1	1	1
13	38	133	0,0	12,0	0	0	0,8	1	1	1	1
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 14								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	36	78	0,0	12,0	0	8.000	0,5	1	1	0	0
2	95	149	0,0	12,0	0	0	1,2	1	0	1	0
3	331	64	0,0	12,0	0	8.000	0,7	0	0	0	1
4	93	54	0,0	12,0	0	13.000	0,4	0	1	0	1
5	82	245	0,0	12,0	0	15.000	0,2	0	1	0	1
6	345	32	0,0	12,0	0	7.000	0,7	0	1	1	0
7	109	189	0,0	12,0	0	12.000	0,5	0	0	0	1
8	250	339	0,0	12,0	0	6.000	1,4	1	0	1	1
9	269	343	0,0	12,0	0	14.000	0,6	1	1	0	1
10	199	203	0,0	12,0	0	5.000	0,8	0	0	1	1
11	72	173	0,0	12,0	0	6.000	1,3	1	1	0	0
12	68	287	0,0	12,0	0	2.000	1,1	1	0	1	0
13	38	133	0,0	12,0	0	0	0,8	0	1	1	0
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 15								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	36	78	0,0	12,0	0	8.000	0,9	1	1	1	1
2	95	149	0,0	12,0	0	0	0,4	1	1	1	1
3	331	64	0,0	12,0	0	8.000	0,1	1	1	1	1
4	93	54	0,0	12,0	0	13.000	0,2	1	1	1	1
5	82	245	0,0	12,0	0	15.000	1,7	1	1	1	1
6	345	32	0,0	12,0	0	7.000	1,8	1	1	1	1
7	109	189	0,0	12,0	0	12.000	0,4	1	1	1	1
8	250	339	0,0	12,0	0	6.000	0,9	1	1	1	1
9	269	343	0,0	12,0	0	14.000	2,5	1	1	1	1
10	199	203	0,0	12,0	0	5.000	1,9	1	1	1	1
11	72	173	0,0	12,0	0	6.000	1,8	1	1	1	1
12	68	287	0,0	12,0	0	2.000	0,4	1	1	1	1
13	38	133	0,0	12,0	0	0	1,2	1	1	1	1
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 16								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	36	78	0,0	12,0	0	8.000	0,9	1	1	0	0
2	95	149	0,0	12,0	0	0	0,4	1	0	1	0
3	331	64	0,0	12,0	0	8.000	0,1	0	0	0	1
4	93	54	0,0	12,0	0	13.000	0,2	0	1	0	1
5	82	245	0,0	12,0	0	15.000	1,7	0	1	0	1
6	345	32	0,0	12,0	0	7.000	1,8	0	1	1	0
7	109	189	0,0	12,0	0	12.000	0,4	0	0	0	1
8	250	339	0,0	12,0	0	6.000	0,9	1	0	1	1
9	269	343	0,0	12,0	0	14.000	2,5	1	1	0	1
10	199	203	0,0	12,0	0	5.000	1,9	0	0	1	1
11	72	173	0,0	12,0	0	6.000	1,8	1	1	0	0
12	68	287	0,0	12,0	0	2.000	0,4	1	0	1	0
13	38	133	0,0	12,0	0	0	1,2	0	1	1	0
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 17								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	36	78	0,0	12,0	0	8.000	0,5	1	1	1	1
2	95	149	0,0	12,0	0	0	2,9	1	1	1	1
3	331	64	0,0	12,0	0	8.000	1,6	1	1	1	1
4	93	54	0,0	12,0	0	13.000	1,8	1	1	1	1
5	82	245	0,0	12,0	0	15.000	1,6	1	1	1	1
6	345	32	0,0	12,0	0	7.000	0,7	1	1	1	1
7	109	189	0,0	12,0	0	12.000	1,6	1	1	1	1
8	250	339	0,0	12,0	0	6.000	1,0	1	1	1	1
9	269	343	0,0	12,0	0	14.000	2,2	1	1	1	1
10	199	203	0,0	12,0	0	5.000	0,8	1	1	1	1
11	72	173	0,0	12,0	0	6.000	3,0	1	1	1	1
12	68	287	0,0	12,0	0	2.000	0,6	1	1	1	1
13	38	133	0,0	12,0	0	0	2,9	1	1	1	1
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 18								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	36	78	0,0	12,0	0	8.000	0,5	1	1	0	0
2	95	149	0,0	12,0	0	0	2,9	1	0	1	0
3	331	64	0,0	12,0	0	8.000	1,6	0	0	0	1
4	93	54	0,0	12,0	0	13.000	1,8	0	1	0	1
5	82	245	0,0	12,0	0	15.000	1,6	0	1	0	1
6	345	32	0,0	12,0	0	7.000	0,7	0	1	1	0
7	109	189	0,0	12,0	0	12.000	1,6	0	0	0	1
8	250	339	0,0	12,0	0	6.000	1,0	1	0	1	1
9	269	343	0,0	12,0	0	14.000	2,2	1	1	0	1
10	199	203	0,0	12,0	0	5.000	0,8	0	0	1	1
11	72	173	0,0	12,0	0	6.000	3,0	1	1	0	0
12	68	287	0,0	12,0	0	2.000	0,6	1	0	1	0
13	38	133	0,0	12,0	0	0	2,9	0	1	1	0
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 19								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	71	33	0,0	12,0	0	8.000	0,5	0	1	1	1
2	112	109	0,0	12,0	0	0	1,2	1	0	1	1
3	102	42	0,0	12,0	0	8.000	0,7	1	1	0	1
4	66	63	0,0	12,0	0	13.000	0,4	1	1	1	0
5	128	86	0,0	12,0	0	15.000	0,2	1	1	0	1
6	83	140	0,0	12,0	0	7.000	0,7	1	0	1	1
7	70	34	0,0	12,0	0	12.000	0,5	0	1	1	1
8	41	123	0,0	12,0	0	6.000	1,4	1	0	1	1
9	49	40	0,0	12,0	0	14.000	0,6	1	1	0	1
10	68	141	0,0	12,0	0	5.000	0,8	1	1	1	0
11	116	81	0,0	12,0	0	6.000	1,3	1	1	0	1
12	147	85	0,0	12,0	0	2.000	1,1	1	0	1	1
13	77	73	0,0	12,0	0	0	0,8	0	1	1	1
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 20								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	71	33	0,0	12,0	0	8.000	0,9	0	1	1	1
2	112	109	0,0	12,0	0	0	0,4	1	0	1	1
3	102	42	0,0	12,0	0	8.000	0,1	1	1	0	1
4	66	63	0,0	12,0	0	13.000	0,2	1	1	1	0
5	128	86	0,0	12,0	0	15.000	1,7	1	1	0	1
6	83	140	0,0	12,0	0	7.000	1,8	1	0	1	1
7	70	34	0,0	12,0	0	12.000	0,4	0	1	1	1
8	41	123	0,0	12,0	0	6.000	0,9	1	0	1	1
9	49	40	0,0	12,0	0	14.000	2,5	1	1	0	1
10	68	141	0,0	12,0	0	5.000	1,9	1	1	1	0
11	116	81	0,0	12,0	0	6.000	1,8	1	1	0	1
12	147	85	0,0	12,0	0	2.000	0,4	1	0	1	1
13	77	73	0,0	12,0	0	0	1,2	0	1	1	1
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 21								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	71	33	0,0	12,0	0	8.000	0,5	0	1	1	1
2	112	109	0,0	12,0	0	0	2,9	1	0	1	1
3	102	42	0,0	12,0	0	8.000	1,6	1	1	0	1
4	66	63	0,0	12,0	0	13.000	1,8	1	1	1	0
5	128	86	0,0	12,0	0	15.000	1,6	1	1	0	1
6	83	140	0,0	12,0	0	7.000	0,7	1	0	1	1
7	70	34	0,0	12,0	0	12.000	1,6	0	1	1	1
8	41	123	0,0	12,0	0	6.000	1,0	1	0	1	1
9	49	40	0,0	12,0	0	14.000	2,2	1	1	0	1
10	68	141	0,0	12,0	0	5.000	0,8	1	1	1	0
11	116	81	0,0	12,0	0	6.000	3,0	1	1	0	1
12	147	85	0,0	12,0	0	2.000	0,6	1	0	1	1
13	77	73	0,0	12,0	0	0	2,9	0	1	1	1
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 22								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	64	43	0,0	12,0	0	8.000	0,5	0	1	1	1
2	178	94	0,0	12,0	0	0	1,2	1	0	1	1
3	30	220	0,0	12,0	0	8.000	0,7	1	1	0	1
4	54	85	0,0	12,0	0	13.000	0,4	1	1	1	0
5	34	220	0,0	12,0	0	15.000	0,2	1	1	0	1
6	87	65	0,0	12,0	0	7.000	0,7	1	0	1	1
7	146	79	0,0	12,0	0	12.000	0,5	0	1	1	1
8	136	29	0,0	12,0	0	6.000	1,4	1	0	1	1
9	91	98	0,0	12,0	0	14.000	0,6	1	1	0	1
10	156	116	0,0	12,0	0	5.000	0,8	1	1	1	0
11	49	63	0,0	12,0	0	6.000	1,3	1	1	0	1
12	234	194	0,0	12,0	0	2.000	1,1	1	0	1	1
13	167	166	0,0	12,0	0	0	0,8	0	1	1	1
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 23								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	64	43	0,0	12,0	0	8.000	0,9	0	1	1	1
2	178	94	0,0	12,0	0	0	0,4	1	0	1	1
3	30	220	0,0	12,0	0	8.000	0,1	1	1	0	1
4	54	85	0,0	12,0	0	13.000	0,2	1	1	1	0
5	34	220	0,0	12,0	0	15.000	1,7	1	1	0	1
6	87	65	0,0	12,0	0	7.000	1,8	1	0	1	1
7	146	79	0,0	12,0	0	12.000	0,4	0	1	1	1
8	136	29	0,0	12,0	0	6.000	0,9	1	0	1	1
9	91	98	0,0	12,0	0	14.000	2,5	1	1	0	1
10	156	116	0,0	12,0	0	5.000	1,9	1	1	1	0
11	49	63	0,0	12,0	0	6.000	1,8	1	1	0	1
12	234	194	0,0	12,0	0	2.000	0,4	1	0	1	1
13	167	166	0,0	12,0	0	0	1,2	0	1	1	1
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 24								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	64	43	0,0	12,0	0	8.000	0,5	0	1	1	1
2	178	94	0,0	12,0	0	0	2,9	1	0	1	1
3	30	220	0,0	12,0	0	8.000	1,6	1	1	0	1
4	54	85	0,0	12,0	0	13.000	1,8	1	1	1	0
5	34	220	0,0	12,0	0	15.000	1,6	1	1	0	1
6	87	65	0,0	12,0	0	7.000	0,7	1	0	1	1
7	146	79	0,0	12,0	0	12.000	1,6	0	1	1	1
8	136	29	0,0	12,0	0	6.000	1,0	1	0	1	1
9	91	98	0,0	12,0	0	14.000	2,2	1	1	0	1
10	156	116	0,0	12,0	0	5.000	0,8	1	1	1	0
11	49	63	0,0	12,0	0	6.000	3,0	1	1	0	1
12	234	194	0,0	12,0	0	2.000	0,6	1	0	1	1
13	167	166	0,0	12,0	0	0	2,9	0	1	1	1
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 25								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	36	78	0,0	12,0	0	8.000	0,5	0	1	1	1
2	95	149	0,0	12,0	0	0	1,2	1	0	1	1
3	331	64	0,0	12,0	0	8.000	0,7	1	1	0	1
4	93	54	0,0	12,0	0	13.000	0,4	1	1	1	0
5	82	245	0,0	12,0	0	15.000	0,2	1	1	0	1
6	345	32	0,0	12,0	0	7.000	0,7	1	0	1	1
7	109	189	0,0	12,0	0	12.000	0,5	0	1	1	1
8	250	339	0,0	12,0	0	6.000	1,4	1	0	1	1
9	269	343	0,0	12,0	0	14.000	0,6	1	1	0	1
10	199	203	0,0	12,0	0	5.000	0,8	1	1	1	0
11	72	173	0,0	12,0	0	6.000	1,3	1	1	0	1
12	68	287	0,0	12,0	0	2.000	1,1	1	0	1	1
13	38	133	0,0	12,0	0	0	0,8	0	1	1	1
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 26								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	36	78	0,0	12,0	0	8.000	0,9	0	1	1	1
2	95	149	0,0	12,0	0	0	0,4	1	0	1	1
3	331	64	0,0	12,0	0	8.000	0,1	1	1	0	1
4	93	54	0,0	12,0	0	13.000	0,2	1	1	1	0
5	82	245	0,0	12,0	0	15.000	1,7	1	1	0	1
6	345	32	0,0	12,0	0	7.000	1,8	1	0	1	1
7	109	189	0,0	12,0	0	12.000	0,4	0	1	1	1
8	250	339	0,0	12,0	0	6.000	0,9	1	0	1	1
9	269	343	0,0	12,0	0	14.000	2,5	1	1	0	1
10	199	203	0,0	12,0	0	5.000	1,9	1	1	1	0
11	72	173	0,0	12,0	0	6.000	1,8	1	1	0	1
12	68	287	0,0	12,0	0	2.000	0,4	1	0	1	1
13	38	133	0,0	12,0	0	0	1,2	0	1	1	1
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Instância 27								Compatibilidade			
Tarefa	x (milhas)	y (milhas)	a (dias)	b (dias)	serviço	w (\$/dia)	duração (dias)	Emb. 0	Emb. 1	Emb. 2	Emb. 3
1	36	78	0,0	12,0	0	8.000	0,5	0	1	1	1
2	95	149	0,0	12,0	0	0	2,9	1	0	1	1
3	331	64	0,0	12,0	0	8.000	1,6	1	1	0	1
4	93	54	0,0	12,0	0	13.000	1,8	1	1	1	0
5	82	245	0,0	12,0	0	15.000	1,6	1	1	0	1
6	345	32	0,0	12,0	0	7.000	0,7	1	0	1	1
7	109	189	0,0	12,0	0	12.000	1,6	0	1	1	1
8	250	339	0,0	12,0	0	6.000	1,0	1	0	1	1
9	269	343	0,0	12,0	0	14.000	2,2	1	1	0	1
10	199	203	0,0	12,0	0	5.000	0,8	1	1	1	0
11	72	173	0,0	12,0	0	6.000	3,0	1	1	0	1
12	68	287	0,0	12,0	0	2.000	0,6	1	0	1	1
13	38	133	0,0	12,0	0	0	2,9	0	1	1	1
14	15	15	3,0	3,1	1	0	0,5	1	0	0	0
15	15	15	7,5	7,6	1	0	0,5	0	0	1	0

Rotas geradas pelo modelo de otimização – curto prazo

Instância	Rota				Custo de roteirização (US\$)	Custo de penalidade (US\$)	Custo total (US\$)
	Embarcação 1	Embarcação 2	Embarcação 3	Embarcação 4			
1	6-10-14-16	3-11-12-2-13-16	7-1-15-16	5-4-9-8-16	80395.7	103687	184082
2	8-14-16	9-1-11-16	6-10-12-2-13-15-16	5-4-7-3-16	88288.6	109820	198108
3	8-1-14-16	12-5-11-2-16	6-10-13-15-16	3-4-7-9-16	73079.2	119995	193075
4	8-1-14-16	5-11-16	12-6-10-2-13-15-16	3-4-7-9-16	77622.6	118160	195783
5	10-8-14-16	5-12-11-2-16	4-9-15-16	6-1-7-3-13-16	75015.6	171489	246505
6	8-1-14-11-2-16	4-9-16	12-6-10-13-15-16	5-7-3-16	87101.2	183329	270430
7	5-3-1-14-16	7-8-2-13-12-16	10-6-15-16	9-4-11-16	76592.4	98255.5	174848
8	9-1-14-2-12-16	4-6-11-13-16	10-8-15-16	7-5-3-16	112787	124546	237332

Instância	Rota				Custo de roteirização (US\$)	Custo de penalidade (US\$)	Custo total (US\$)
	Embarcação 1	Embarcação 2	Embarcação 3	Embarcação 4			
9	3-5-14-16	8-2-10-13-12-16	9-11-15-16	7-4-1-6-16	79690.3	79690.3	195962
10	1-14-11-16	9-6-13-16	12-10-2-8-15-16	7-4-3-5-16	103697	153926	257623
11	5-14-16	7-8-12-13-2-16	10-9-11-15-16	6-1-4-3-16	97822.3	161239	259062
12	8-1-14-11-2-16	4-9-13-16	12-10-6-15-16	7-5-3-16	111920	204007	315927
13	5-4-1-14-16	3-6-16	7-11-2-13-15-16	10-9-8-12-16	108534	126436	234970
14	11-1-14-16	4-6-16	10-12-2-13-15-16	7-5-9-8-3-16	152553	156759	309313
15	5-14-16	3-6-10-12-16	4-1-11-2-13-15-16	7-8-9-16	130348	137875	268224
16	12-1-14-16	4-5-11-13-16	6-10-2-15-16	7-3-8-9-16	173067	181014	354080
17	4-14-1-13-2-16	6-3-16	10-7-11-15-16	5-12-8-9-16	110839	208025	318864
18	12-1-14-11-2-16	6-9-16	10-8-13-15-16	7-5-4-3-16	175870	247158	423028
19	4-9-14-16	7-1-3-13-16	6-10-8-15-16	5-11-12-2-16	71988.6	115619	187608
20	4-8-14-16	5-11-16	12-6-10-2-13-15-16	3-7-1-9-16	80384	122932	203317
21	4-14-9-16	1-7-3-13-16	6-10-8-15-16	5-12-11-2-16	74132.1	170546	244678
22	5-3-4-14-16	7-1-11-16	12-13-10-2-15-16	9-6-8-16	81356.6	106615	187972
23	3-5-14-16	4-9-10-13-16	12-2-6-15-16	7-8-1-11-16	88596.4	120920	209516
24	5-14-11-16	1-4-3-16	10-7-8-15-16	6-9-12-13-2-16	108184	162769	270953
25	5-12-14-16	4-1-11-16	10-7-2-13-15-16	3-6-9-8-16	130275	155443	285718
26	5-14-16	3-4-1-11-13-16	6-10-2-15-16	7-12-8-9-16	153531	158428	311959
27	5-14-6-3-16	4-1-11-13-16	10-7-2-15-16	9-8-12-16	143159	208806	351965

Rotas geradas pela regra de sequenciamento considerando os tempos médios de duração de cada tarefa – curto prazo

Instância	Rota				Custo de roteirização (US\$)	Custo de penalidade (US\$)	Custo total (US\$)
	Embarcação1	Embarcação 2	Embarcação 3	Embarcação 4			
1	6-9-14	3-10-8-13	7-15	5-4-1-11-12-2	87432.4	116029	203461
2	9-1-14-12-2	11-13	6-10-8-15	5-4-7-3	85663.9	112627	198290
3	4-7-1-14	12-8-6-10	3-9-15	5-11-2-13	70999.4	133964	204963
4	8-1-14	4-9-11	12-6-10-2-13-15	3-7-5	89885.8	133915	223801
5	4-14	1-7-8-13	6-10-9-15	5-12-3-11-2	83518.7	171587	255106
6	8-1-14	9-11-13	12-6-10-2-15	5-4-7-3	89028.9	205984	295013
7	5-3-4-14	10-8-2-13-12	7-1-15	9-6-11	79069	107405	186474
8	9-1-14-2-12	11-13	10-6-8-15	7-4-5-3	117162	136302	253464
9	3-5-14	8-6	4-1-11-15	7-9-10-2-13-12	84538.3	117090	201628
10	1-14	9-11-13	12-10-2-8-6-15	7-4-3-5	105410	165799	271209
11	5-14	7-6-8-2-12-13	1-4-11-15	10-9-3	94530.3	170944	265474
12	1-14-2	9-11-13	12-10-8-6-15	7-4-5-3	116214	239228	355442
13	5-7-1-14	3-6	4-11-2-13-15	10-9-8-12	114224	122405	236628
14	11-1-14-2-12	4-13	10-6-15	7-5-9-8-3	169384	165254	334638
15	5-14	3-6-10-12	4-1-11-2-13-15	7-8-9	130348	137875	268224
16	12-1-14-11-2	9	10-6-15-13	4-7-5-8-3	193027	195628	388655
17	5-14-11-2-13	6-3-7-12	4-1-15	10-8-9	120861	199736	320597
18	12-1-14-11-2	9	6-8-10-15-13	4-7-5-3	201920	263647	465567
19	6-9-14	3-11-13	4-10-8-15	5-7-1-12-2	90871.2	112490	203361
20	4-8-14	3-9-10-13	12-7-1-15	5-11-2-6	82480.2	147088	229568
21	4-14	1-9-13	6-10-8-7-15	5-12-3-11-2	80756.6	178495	259251
22	5-3-14-4	10-11	7-1-15	9-6-8-2-13-12	87614.6	108336	195951
23	3-5-14	10-11	4-1-6-15	7-8-9-2-13-12	96922.5	125292	222215
24	5-14-8-2-12	7-10-11-13	6-1-4-15	9-3	111310	173468	284778
25	5-11-14-2-12	3-10	4-1-13-15	7-9-8-6	153221	139664	292885
26	5-14-2-6	3-10-11-13	4-1-15	7-12-8-9	143402	169163	312565
27	5-14-2-12	3-10-7-11-13	4-1-15	6-9-8	146107	232282	378389

Resultado da aplicação das regras de sequenciamento, para todas as replicações – curto prazo

Instância	Replicação	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
1	0	71.202,70	111.052,00	182.254,70	0	888,70	8,00
1	1	80.510,00	118.434,00	198.944,00	1	1.018,93	8,00
1	2	78.601,40	116.815,00	195.416,40	0	1.013,36	8,00
1	3	79.182,60	105.025,00	184.207,60	0	999,35	8,00
1	4	80.094,90	114.823,00	194.917,90	0	1.000,62	14,49
1	5	78.600,10	105.018,00	183.618,10	0	1.004,50	8,00
1	6	80.788,70	107.321,00	188.109,70	0	1.026,70	8,00
1	7	72.347,20	98.505,90	170.853,10	0	878,18	8,37
1	8	96.181,10	97.125,10	193.306,20	0	1.191,85	8,00
1	9	82.694,10	118.819,00	201.513,10	1	1.044,84	8,00
1	10	80.106,70	110.198,00	190.304,70	0	1.021,12	8,00
1	11	83.609,80	107.643,00	191.252,80	0	1.063,57	8,00
1	12	81.148,10	106.450,00	187.598,10	0	1.026,61	8,00
1	13	82.628,90	116.509,00	199.137,90	0	1.046,88	9,90
1	14	82.917,90	123.503,00	206.420,90	0	1.057,03	8,00
1	15	82.209,00	100.760,00	182.969,00	0	1.029,58	8,00
1	16	86.145,70	99.061,00	185.206,70	0	1.086,27	8,00
1	17	77.433,70	115.465,00	192.898,70	0	996,56	8,00
1	18	77.825,00	109.961,00	187.786,00	0	976,44	8,00
1	19	75.374,60	104.254,00	179.628,60	0	972,58	8,87
1	20	74.874,10	122.728,00	197.602,10	1	968,17	8,00
1	21	76.891,50	117.562,00	194.453,50	0	994,18	8,00
1	22	80.106,70	114.718,00	194.824,70	0	1.021,12	8,00
1	23	83.526,90	96.979,20	180.506,10	0	1.051,55	8,00
1	24	75.408,40	116.076,00	191.484,40	0	980,19	8,00
1	25	82.616,00	110.571,00	193.187,00	0	1.043,96	9,13
1	26	80.266,00	107.421,00	187.687,00	0	1.009,21	8,00
1	27	82.694,10	112.199,00	194.893,10	0	1.044,84	8,00
1	28	82.818,20	100.377,00	183.195,20	0	1.036,60	8,00
1	29	79.508,40	126.684,00	206.192,40	0	995,46	8,00
2	0	85.663,90	107.587,00	193.250,90	0	1.099,39	8,00
2	1	90.649,60	109.160,00	199.809,60	0	1.103,75	8,00
2	2	85.191,10	110.067,00	195.258,10	0	1.092,58	8,00
2	3	82.851,70	109.179,00	192.030,70	0	1.014,90	8,00
2	4	90.716,10	106.198,00	196.914,10	0	1.166,30	8,00
2	5	81.497,60	118.489,00	199.986,60	0	1.001,25	8,00
2	6	81.497,60	99.698,70	181.196,30	0	1.001,25	8,00
2	7	85.663,90	107.157,00	192.820,90	0	1.099,39	8,00
2	8	81.497,60	108.809,00	190.306,60	0	1.001,25	8,00
2	9	81.490,70	96.552,50	178.043,20	1	1.001,18	8,00
2	10	83.757,30	105.095,00	188.852,30	0	1.026,56	8,00
2	11	76.998,30	99.319,90	176.318,20	0	950,86	8,00
2	12	76.998,30	112.670,00	189.668,30	0	950,86	8,00
2	13	79.270,60	105.976,00	185.246,60	0	983,64	8,00
2	14	81.497,60	114.159,00	195.656,60	0	1.001,25	8,00
2	15	85.191,10	114.227,00	199.418,10	0	1.092,58	8,00
2	16	86.050,20	104.660,00	190.710,20	0	1.052,24	8,50
2	17	91.095,30	98.843,60	189.938,90	0	1.160,22	8,51
2	18	85.663,90	109.387,00	195.050,90	0	1.099,39	8,00
2	19	86.086,00	107.139,00	193.225,00	1	1.061,48	10,11
2	20	79.330,60	102.191,00	181.521,60	0	976,98	8,00
2	21	81.157,50	101.461,00	182.618,50	0	997,44	8,00
2	22	90.653,60	106.371,00	197.024,60	0	1.155,27	8,00

Instância	Replicação	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
2	23	89.346,60	108.002,00	197.348,60	0	1.146,58	8,00
2	24	85.098,90	109.020,00	194.118,90	0	1.093,06	8,00
2	25	82.605,00	120.640,00	203.245,00	0	1.013,65	8,00
2	26	87.490,80	105.976,00	193.466,80	0	1.119,85	8,00
2	27	84.195,40	121.562,00	205.757,40	0	1.078,24	8,00
2	28	77.042,30	99.014,00	176.056,30	0	951,35	8,00
2	29	85.663,90	117.727,00	203.390,90	1	1.099,39	8,00
3	0	65.250,80	117.969,00	183.219,80	0	836,45	8,00
3	1	67.340,70	99.930,50	167.271,20	0	874,37	8,00
3	2	66.048,60	112.886,00	178.934,60	0	841,37	8,00
3	3	68.391,80	118.697,00	187.088,80	0	878,28	8,00
3	4	68.347,50	120.074,00	188.421,50	0	876,57	8,00
3	5	73.262,90	122.099,00	195.361,90	0	939,18	9,26
3	6	64.974,50	111.302,00	176.276,50	0	828,00	8,00
3	7	75.458,40	123.428,00	198.886,40	1	966,73	8,00
3	8	76.684,70	140.601,00	217.285,70	0	984,96	11,37
3	9	68.391,80	120.867,00	189.258,80	0	878,28	8,00
3	10	73.956,20	122.321,00	196.277,20	0	958,43	8,61
3	11	73.735,10	115.021,00	188.756,10	0	947,38	8,00
3	12	70.852,00	121.353,00	192.205,00	0	897,13	11,89
3	13	72.820,30	127.642,00	200.462,30	0	942,57	10,96
3	14	75.530,60	119.718,00	195.248,60	0	978,20	11,33
3	15	74.932,90	120.070,00	195.002,90	1	955,65	8,00
3	16	77.763,30	133.642,00	211.405,30	0	989,21	13,65
3	17	74.608,10	106.082,00	180.690,10	0	960,53	8,00
3	18	74.028,40	127.813,00	201.841,40	0	949,89	8,88
3	19	70.831,70	139.203,00	210.034,70	0	924,32	8,00
3	20	68.391,80	126.787,00	195.178,80	0	878,28	8,00
3	21	75.521,90	123.064,00	198.585,90	0	971,39	8,00
3	22	71.612,40	116.435,00	188.047,40	0	919,22	9,65
3	23	72.754,80	126.615,00	199.369,80	1	927,86	8,90
3	24	69.871,20	123.473,00	193.344,20	0	899,00	8,78
3	25	89.933,80	130.343,00	220.276,80	0	1.107,61	8,00
3	26	70.106,40	115.442,00	185.548,40	0	899,80	8,00
3	27	64.449,80	125.164,00	189.613,80	0	819,30	8,00
3	28	71.169,60	121.415,00	192.584,60	0	914,49	8,34
3	29	66.048,60	120.766,00	186.814,60	0	841,37	8,00
4	0	86.623,20	126.942,00	213.565,20	0	1.074,59	8,27
4	1	79.765,20	115.797,00	195.562,20	1	991,59	8,00
4	2	80.370,20	127.981,00	208.351,20	0	1.011,93	8,00
4	3	93.096,10	133.829,00	226.925,10	0	1.163,77	8,00
4	4	82.540,10	113.077,00	195.617,10	0	1.028,51	8,00
4	5	95.681,80	136.181,00	231.862,80	0	1.231,54	8,00
4	6	77.154,70	134.594,00	211.748,70	0	975,92	8,00
4	7	84.705,80	155.916,00	240.621,80	0	1.095,40	8,00
4	8	83.096,30	139.290,00	222.386,30	0	1.044,36	10,99
4	9	74.225,80	154.120,00	228.345,80	0	938,54	8,00
4	10	80.197,60	118.024,00	198.221,60	1	1.002,62	9,50
4	11	94.283,60	115.845,00	210.128,60	0	1.176,60	8,49
4	12	101.918,00	123.245,00	225.163,00	0	1.301,55	8,00
4	13	76.132,40	133.986,00	210.118,40	0	950,91	8,00
4	14	89.980,00	113.907,00	203.887,00	0	1.128,41	8,00
4	15	74.742,70	146.593,00	221.335,70	0	941,18	8,00
4	16	101.918,00	122.592,00	224.510,00	0	1.301,55	8,00
4	17	85.571,90	131.395,00	216.966,90	0	1.056,63	9,88
4	18	87.754,70	145.456,00	233.210,70	0	1.133,50	8,00
4	19	79.867,20	128.978,00	208.845,20	0	1.019,78	8,00
4	20	92.950,10	136.269,00	229.219,10	1	1.161,67	8,00
4	21	84.762,30	125.152,00	209.914,30	0	1.053,40	8,00
4	22	87.764,60	115.562,00	203.326,60	0	1.096,65	8,51
4	23	90.623,70	150.282,00	240.905,70	0	1.165,63	8,00
4	24	92.501,30	121.855,00	214.356,30	0	1.143,22	8,00

Instância	Replicação	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
4	25	83.393,30	150.252,00	233.645,30	0	1.041,21	8,10
4	26	79.765,20	116.497,00	196.262,20	0	991,59	8,00
4	27	97.761,30	136.895,00	234.656,30	0	1.241,70	14,02
4	28	92.950,10	128.729,00	221.679,10	0	1.161,67	8,00
4	29	100.629,00	129.244,00	229.873,00	0	1.272,39	8,00
5	0	82.900,70	153.631,00	236.531,70	0	1.048,22	18,64
5	1	70.196,00	129.973,00	200.169,00	0	902,04	8,00
5	2	79.045,90	151.669,00	230.714,90	0	1.005,82	10,40
5	3	81.175,40	136.795,00	217.970,40	0	1.023,07	10,58
5	4	77.721,70	149.079,00	226.800,70	0	994,96	12,23
5	5	74.587,80	128.839,00	203.426,80	0	941,57	8,00
5	6	84.819,30	159.466,00	244.285,30	0	1.073,49	15,04
5	7	80.602,60	126.520,00	207.122,60	0	1.007,27	9,14
5	8	79.214,30	163.098,00	242.312,30	1	1.009,15	16,38
5	9	76.688,00	153.258,00	229.946,00	0	983,19	17,49
5	10	73.044,70	130.842,00	203.886,70	0	936,36	8,62
5	11	78.016,20	135.264,00	213.280,20	0	1.002,40	8,00
5	12	85.731,80	162.952,00	248.683,80	0	1.086,19	17,69
5	13	80.468,00	153.992,00	234.460,00	0	1.052,95	15,26
5	14	82.162,20	131.531,00	213.693,20	0	1.058,29	9,31
5	15	77.638,30	142.690,00	220.328,30	0	1.003,59	10,23
5	16	76.366,80	153.991,00	230.357,80	0	977,68	13,88
5	17	82.986,30	145.383,00	228.369,30	1	1.042,61	9,10
5	18	81.638,20	145.135,00	226.773,20	0	1.049,39	12,28
5	19	76.469,90	144.237,00	220.706,90	0	985,11	8,33
5	20	85.340,40	150.803,00	236.143,40	0	1.082,73	10,50
5	21	80.631,30	153.322,00	233.953,30	0	1.019,62	12,34
5	22	71.542,40	138.395,00	209.937,40	0	917,98	10,77
5	23	87.950,10	148.103,00	236.053,10	0	1.144,46	10,41
5	24	80.306,30	165.143,00	245.449,30	0	1.009,51	11,97
5	25	75.241,90	126.144,00	201.385,90	1	958,55	8,00
5	26	78.668,30	138.155,00	216.823,30	0	986,63	9,71
5	27	81.219,80	163.612,00	244.831,80	0	1.034,88	12,23
5	28	91.700,90	159.201,00	250.901,90	0	1.185,22	15,24
5	29	79.218,90	157.624,00	236.842,90	0	1.007,99	9,58
6	0	91.044,90	212.565,00	303.609,90	0	1.162,73	11,96
6	1	87.927,80	149.798,00	237.725,80	0	1.144,65	15,38
6	2	90.368,30	179.401,00	269.769,30	0	1.172,13	10,99
6	3	76.777,70	139.618,00	216.395,70	0	960,20	8,04
6	4	89.745,50	156.884,00	246.629,50	0	1.125,03	10,37
6	5	102.321,00	178.708,00	281.029,00	1	1.303,00	9,83
6	6	88.890,00	163.412,00	252.302,00	0	1.142,54	9,11
6	7	98.265,20	143.474,00	241.739,20	0	1.247,81	8,00
6	8	83.998,60	193.499,00	277.497,60	0	1.058,09	17,40
6	9	83.900,30	172.840,00	256.740,30	1	1.086,65	10,72
6	10	90.522,50	133.484,00	224.006,50	0	1.163,75	11,17
6	11	86.244,90	214.001,00	300.245,90	0	1.090,76	12,29
6	12	83.666,90	155.240,00	238.906,90	0	1.083,29	8,81
6	13	91.271,40	173.470,00	264.741,40	0	1.165,64	19,77
6	14	82.262,20	145.493,00	227.755,20	0	1.024,92	8,00
6	15	90.522,50	139.774,00	230.296,50	0	1.163,75	8,00
6	16	93.157,40	152.332,00	245.489,40	0	1.190,61	10,13
6	17	90.420,70	142.419,00	232.839,70	0	1.146,32	8,00
6	18	91.271,40	204.370,00	295.641,40	0	1.165,64	10,22
6	19	91.603,00	191.689,00	283.292,00	0	1.179,07	12,20
6	20	91.150,30	139.832,00	230.982,30	0	1.183,40	12,79
6	21	82.262,20	161.003,00	243.265,20	1	1.024,92	12,09
6	22	93.227,30	126.586,00	219.813,30	0	1.147,73	8,08
6	23	91.271,40	179.010,00	270.281,40	0	1.165,64	13,75
6	24	86.139,70	177.889,00	264.028,70	0	1.068,12	8,00
6	25	95.218,20	199.991,00	295.209,20	0	1.209,43	10,57
6	26	87.691,60	156.444,00	244.135,60	0	1.094,74	10,43

Instância	Replicação	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
6	27	87.736,70	185.747,00	273.483,70	0	1.086,01	8,19
6	28	90.522,50	151.884,00	242.406,50	0	1.163,75	10,09
6	29	91.271,40	151.750,00	243.021,40	0	1.165,64	10,01
7	0	76.965,90	85.905,30	162.871,20	0	994,09	8,00
7	1	78.251,00	80.145,20	158.396,20	1	966,61	8,00
7	2	73.429,10	91.871,00	165.300,10	0	947,53	8,00
7	3	80.293,40	84.058,00	164.351,40	0	1.038,28	8,00
7	4	79.774,20	99.888,10	179.662,30	0	1.040,96	11,03
7	5	75.772,60	107.162,00	182.934,60	0	978,10	8,00
7	6	79.255,30	89.830,30	169.085,60	0	1.026,38	8,00
7	7	77.596,90	96.284,00	173.880,90	0	1.003,76	8,00
7	8	75.643,10	87.627,30	163.270,40	0	969,72	8,00
7	9	67.098,50	96.335,90	163.434,40	0	851,18	8,00
7	10	77.118,90	87.109,70	164.228,60	1	1.002,72	9,53
7	11	84.967,90	92.666,90	177.634,80	0	1.048,75	8,00
7	12	90.427,30	108.940,00	199.367,30	0	1.173,76	8,00
7	13	91.998,00	114.640,00	206.638,00	0	1.193,03	8,00
7	14	72.144,60	68.670,60	140.815,20	0	904,82	8,00
7	15	77.749,30	112.005,00	189.754,30	0	1.009,79	8,28
7	16	80.192,00	90.753,20	170.945,20	0	1.007,41	8,00
7	17	72.379,10	117.840,00	190.219,10	0	940,09	8,68
7	18	77.143,90	95.453,00	172.596,90	0	998,69	8,00
7	19	91.998,00	117.580,00	209.578,00	0	1.193,03	10,11
7	20	80.763,30	85.247,80	166.011,10	1	1.036,62	8,00
7	21	85.849,80	88.302,30	174.152,10	0	1.118,29	9,65
7	22	73.204,90	96.810,30	170.015,20	0	912,97	8,00
7	23	79.168,00	92.769,50	171.937,50	0	995,66	8,00
7	24	80.763,30	86.387,80	167.151,10	0	1.036,62	8,00
7	25	74.318,90	97.526,70	171.845,60	0	957,49	8,00
7	26	74.920,90	80.516,10	155.437,00	0	952,10	8,00
7	27	73.406,70	84.885,40	158.292,10	0	935,20	8,00
7	28	93.449,50	114.958,00	208.407,50	0	1.209,89	8,00
7	29	74.134,30	88.204,20	162.338,50	1	959,74	8,00
8	0	115.012,00	139.231,00	254.243,00	0	1.444,71	8,00
8	1	115.082,00	144.543,00	259.625,00	0	1.461,25	8,00
8	2	100.531,00	135.833,00	236.364,00	0	1.282,52	8,18
8	3	131.589,00	135.873,00	267.462,00	0	1.674,82	12,85
8	4	107.915,00	125.258,00	233.173,00	0	1.374,87	8,00
8	5	100.539,00	121.545,00	222.084,00	0	1.250,36	8,00
8	6	118.320,00	140.117,00	258.437,00	0	1.483,76	8,00
8	7	103.279,00	130.020,00	233.299,00	0	1.281,04	8,00
8	8	114.423,00	137.027,00	251.450,00	0	1.482,56	8,00
8	9	107.599,00	130.889,00	238.488,00	0	1.371,34	8,00
8	10	112.869,00	138.062,00	250.931,00	1	1.451,43	8,00
8	11	99.172,90	113.793,00	212.965,90	0	1.265,87	8,00
8	12	103.286,00	117.908,00	221.194,00	0	1.311,94	8,00
8	13	127.835,00	140.614,00	268.449,00	0	1.629,35	8,00
8	14	108.135,00	121.384,00	229.519,00	0	1.348,43	8,00
8	15	115.636,00	134.948,00	250.584,00	0	1.453,70	8,00
8	16	117.317,00	116.907,00	234.224,00	0	1.514,98	8,00
8	17	102.196,00	148.475,00	250.671,00	0	1.275,70	8,00
8	18	100.531,00	135.723,00	236.254,00	0	1.282,52	8,00
8	19	118.803,00	120.496,00	239.299,00	0	1.536,88	8,00
8	20	124.198,00	126.394,00	250.592,00	0	1.557,24	8,00
8	21	94.344,50	149.389,00	243.733,50	1	1.140,72	8,00
8	22	117.162,00	119.242,00	236.404,00	0	1.513,24	8,00
8	23	100.539,00	143.795,00	244.334,00	0	1.250,36	8,00
8	24	107.599,00	116.029,00	223.628,00	0	1.371,34	8,00
8	25	106.416,00	127.982,00	234.398,00	0	1.332,61	8,00
8	26	96.055,10	158.575,00	254.630,10	0	1.204,15	12,70
8	27	101.154,00	131.300,00	232.454,00	0	1.291,50	8,00
8	28	110.130,00	133.982,00	244.112,00	0	1.420,75	8,08

Instância	Replicação	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
8	29	109.183,00	141.004,00	250.187,00	0	1.324,63	8,00
9	0	94.842,90	118.086,00	212.928,90	0	1.163,38	8,00
9	1	82.613,20	99.152,90	181.766,10	1	1.066,04	8,00
9	2	78.918,10	111.034,00	189.952,10	0	1.028,90	8,00
9	3	90.096,10	101.855,00	191.951,10	0	1.152,67	8,42
9	4	86.861,20	102.432,00	189.293,20	0	1.076,84	8,00
9	5	105.634,00	113.814,00	219.448,00	0	1.329,91	10,96
9	6	96.390,00	119.300,00	215.690,00	0	1.224,19	8,77
9	7	89.605,90	108.329,00	197.934,90	0	1.142,83	8,00
9	8	84.216,80	141.684,00	225.900,80	0	1.105,94	12,33
9	9	79.800,40	93.154,80	172.955,20	0	1.034,03	8,00
9	10	86.590,20	111.294,00	197.884,20	0	1.064,98	15,02
9	11	80.971,60	114.864,00	195.835,60	1	1.051,90	9,13
9	12	86.459,70	105.603,00	192.062,70	0	1.081,05	8,96
9	13	83.453,60	107.799,00	191.252,60	0	1.074,94	8,00
9	14	77.904,40	106.684,00	184.588,40	0	1.004,81	8,00
9	15	77.904,40	105.524,00	183.428,40	0	1.004,81	8,61
9	16	83.453,60	99.638,90	183.092,50	0	1.074,94	8,00
9	17	81.680,20	112.262,00	193.942,20	0	1.055,08	8,00
9	18	77.904,40	92.344,40	170.248,80	0	1.004,81	8,00
9	19	85.120,40	76.123,20	161.243,60	1	1.069,49	8,00
9	20	88.268,40	106.926,00	195.194,40	0	1.075,32	8,26
9	21	82.723,00	126.676,00	209.399,00	0	1.042,65	13,06
9	22	79.957,90	98.094,50	178.052,40	0	1.027,81	8,00
9	23	82.921,90	113.667,00	196.588,90	0	1.057,61	11,05
9	24	89.005,20	118.665,00	207.670,20	0	1.134,45	8,00
9	25	77.904,40	103.404,00	181.308,40	0	1.004,81	8,00
9	26	96.309,90	107.122,00	203.431,90	0	1.214,62	8,00
9	27	78.245,60	107.724,00	185.969,60	0	1.007,20	8,00
9	28	87.298,70	99.578,20	186.876,90	1	1.072,92	9,27
9	29	82.731,30	113.256,00	195.987,30	0	1.084,54	8,09
10	0	105.283,00	121.511,00	226.794,00	0	1.314,48	8,00
10	1	95.481,10	114.133,00	209.614,10	0	1.171,17	8,00
10	2	96.026,50	139.501,00	235.527,50	0	1.177,32	8,75
10	3	99.824,50	126.441,00	226.265,50	0	1.242,53	8,00
10	4	111.640,00	166.465,00	278.105,00	0	1.367,87	10,43
10	5	107.311,00	139.188,00	246.499,00	0	1.296,73	8,00
10	6	105.410,00	133.759,00	239.169,00	0	1.316,30	8,00
10	7	95.481,10	103.653,00	199.134,10	1	1.171,17	8,00
10	8	105.283,00	132.191,00	237.474,00	0	1.314,48	8,00
10	9	109.968,00	128.344,00	238.312,00	0	1.343,79	10,56
10	10	127.505,00	130.024,00	257.529,00	0	1.630,36	8,00
10	11	117.203,00	146.975,00	264.178,00	0	1.447,99	12,23
10	12	105.639,00	135.287,00	240.926,00	0	1.272,65	10,13
10	13	117.603,00	125.591,00	243.194,00	0	1.453,74	8,00
10	14	105.283,00	127.381,00	232.664,00	0	1.314,48	8,00
10	15	114.480,00	124.234,00	238.714,00	0	1.483,21	8,00
10	16	105.283,00	119.491,00	224.774,00	0	1.314,48	8,00
10	17	136.861,00	135.094,00	271.955,00	0	1.761,88	11,32
10	18	99.719,80	119.301,00	219.020,80	1	1.234,37	8,00
10	19	92.171,30	124.133,00	216.304,30	0	1.121,81	8,00
10	20	95.611,90	128.674,00	224.285,90	0	1.171,35	8,00
10	21	113.671,00	152.180,00	265.851,00	0	1.401,65	8,01
10	22	98.047,70	129.480,00	227.527,70	0	1.210,29	8,00
10	23	105.410,00	141.019,00	246.429,00	0	1.316,30	8,00
10	24	109.968,00	130.854,00	240.822,00	0	1.343,79	8,73
10	25	98.047,70	141.010,00	239.057,70	0	1.210,29	8,00
10	26	102.389,00	161.596,00	263.985,00	0	1.292,80	9,34
10	27	115.762,00	169.024,00	284.786,00	0	1.463,57	19,21
10	28	105.283,00	116.191,00	221.474,00	1	1.314,48	8,00
10	29	96.011,60	121.380,00	217.391,60	0	1.177,11	8,00
11	0	103.984,00	151.269,00	255.253,00	0	1.371,79	10,54

Instância	Replicação	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
11	1	107.433,00	160.392,00	267.825,00	0	1.398,93	13,12
11	2	90.944,20	143.907,00	234.851,20	0	1.142,27	9,43
11	3	98.056,40	125.611,00	223.667,40	0	1.294,94	11,14
11	4	121.994,00	164.412,00	286.406,00	0	1.508,61	9,97
11	5	107.731,00	176.973,00	284.704,00	0	1.395,57	11,96
11	6	88.340,60	145.728,00	234.068,60	0	1.124,76	10,45
11	7	97.381,00	132.452,00	229.833,00	0	1.230,06	9,71
11	8	102.786,00	129.309,00	232.095,00	0	1.313,44	12,10
11	9	97.496,80	142.270,00	239.766,80	0	1.267,29	11,56
11	10	102.350,00	166.854,00	269.204,00	0	1.318,08	16,23
11	11	92.692,80	141.699,00	234.391,80	0	1.186,18	13,40
11	12	86.550,00	140.648,00	227.198,00	0	1.109,02	18,45
11	13	100.875,00	130.603,00	231.478,00	0	1.336,15	12,92
11	14	109.663,00	125.130,00	234.793,00	0	1.365,08	13,92
11	15	99.982,50	158.257,00	258.239,50	1	1.272,26	14,43
11	16	95.280,30	144.953,00	240.233,30	0	1.224,56	10,78
11	17	100.628,00	110.484,00	211.112,00	0	1.288,84	18,88
11	18	97.191,20	166.281,00	263.472,20	0	1.218,40	9,03
11	19	100.964,00	138.822,00	239.786,00	0	1.276,69	13,62
11	20	91.685,30	155.966,00	247.651,30	0	1.172,92	12,79
11	21	96.205,80	181.892,00	278.097,80	0	1.230,74	14,95
11	22	107.509,00	158.874,00	266.383,00	0	1.395,14	15,90
11	23	99.188,80	113.425,00	212.613,80	0	1.318,12	16,67
11	24	102.254,00	124.426,00	226.680,00	1	1.305,78	16,89
11	25	91.523,20	139.427,00	230.950,20	0	1.177,90	8,00
11	26	118.328,00	141.918,00	260.246,00	0	1.577,33	17,62
11	27	101.534,00	141.098,00	242.632,00	0	1.287,48	11,68
11	28	102.842,00	144.667,00	247.509,00	0	1.325,86	19,34
11	29	98.105,40	123.941,00	222.046,40	0	1.262,94	10,54
12	0	117.716,00	209.822,00	327.538,00	0	1.504,32	10,38
12	1	106.144,00	170.660,00	276.804,00	0	1.333,81	8,00
12	2	113.076,00	158.301,00	271.377,00	0	1.446,26	13,31
12	3	127.043,00	210.963,00	338.006,00	0	1.623,36	12,51
12	4	124.848,00	175.081,00	299.929,00	1	1.598,63	12,46
12	5	102.074,00	210.537,00	312.611,00	0	1.283,25	13,20
12	6	123.334,00	233.686,00	357.020,00	0	1.533,74	9,79
12	7	114.444,00	179.080,00	293.524,00	0	1.426,78	8,89
12	8	106.144,00	139.890,00	246.034,00	0	1.333,81	8,00
12	9	116.214,00	232.658,00	348.872,00	0	1.477,56	9,00
12	10	113.312,00	159.305,00	272.617,00	0	1.480,45	15,25
12	11	118.954,00	199.673,00	318.627,00	0	1.508,24	12,51
12	12	123.133,00	168.052,00	291.185,00	0	1.555,75	8,00
12	13	117.655,00	127.594,00	245.249,00	0	1.539,34	9,28
12	14	112.493,00	135.437,00	247.930,00	1	1.437,86	8,00
12	15	122.649,00	236.506,00	359.155,00	0	1.526,08	10,98
12	16	122.691,00	213.621,00	336.312,00	0	1.526,55	11,95
12	17	125.049,00	127.411,00	252.460,00	0	1.545,55	8,00
12	18	115.815,00	149.806,00	265.621,00	0	1.476,94	8,00
12	19	116.214,00	232.678,00	348.892,00	0	1.477,56	17,65
12	20	110.299,00	194.258,00	304.557,00	0	1.406,27	15,19
12	21	117.887,00	204.658,00	322.545,00	0	1.515,15	9,01
12	22	126.792,00	106.691,00	233.483,00	0	1.616,21	8,95
12	23	103.405,00	185.145,00	288.550,00	0	1.303,13	8,00
12	24	125.078,00	247.890,00	372.968,00	1	1.601,21	14,63
12	25	106.383,00	153.405,00	259.788,00	0	1.337,26	8,00
12	26	113.076,00	141.431,00	254.507,00	0	1.446,26	11,79
12	27	116.755,00	195.501,00	312.256,00	0	1.460,06	8,29
12	28	114.994,00	143.671,00	258.665,00	0	1.465,11	8,42
12	29	112.257,00	119.886,00	232.143,00	0	1.430,81	8,17
13	0	110.317,00	133.536,00	243.853,00	0	1.391,17	16,40
13	1	106.044,00	100.723,00	206.767,00	0	1.327,33	8,00
13	2	114.224,00	129.925,00	244.149,00	0	1.377,06	8,00

Instância	Replicação	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
13	3	113.737,00	104.184,00	217.921,00	0	1.374,41	8,00
13	4	104.835,00	108.718,00	213.553,00	1	1.309,91	8,00
13	5	115.268,00	105.713,00	220.981,00	0	1.430,64	8,00
13	6	94.555,60	136.136,00	230.691,60	0	1.218,29	8,00
13	7	92.491,20	113.657,00	206.148,20	0	1.188,56	8,00
13	8	122.693,00	112.515,00	235.208,00	0	1.511,79	8,00
13	9	106.044,00	97.613,40	203.657,40	0	1.327,33	8,00
13	10	121.526,00	123.404,00	244.930,00	0	1.546,20	8,06
13	11	116.369,00	128.632,00	245.001,00	0	1.400,75	8,00
13	12	105.322,00	113.194,00	218.516,00	0	1.319,24	8,00
13	13	116.733,00	114.486,00	231.219,00	1	1.407,69	8,00
13	14	114.224,00	117.685,00	231.909,00	0	1.377,06	8,00
13	15	94.555,60	120.966,00	215.521,60	0	1.218,29	8,00
13	16	105.322,00	96.154,10	201.476,10	0	1.319,24	8,00
13	17	114.947,00	103.724,00	218.671,00	0	1.385,16	8,00
13	18	125.195,00	112.786,00	237.981,00	0	1.534,28	8,00
13	19	98.186,30	106.703,00	204.889,30	0	1.270,57	8,29
13	20	101.394,00	115.297,00	216.691,00	0	1.246,38	8,00
13	21	116.992,00	117.180,00	234.172,00	0	1.471,05	8,00
13	22	114.224,00	127.545,00	241.769,00	1	1.377,06	8,00
13	23	121.210,00	96.473,80	217.683,80	0	1.482,02	8,00
13	24	105.322,00	109.554,00	214.876,00	0	1.319,24	10,33
13	25	124.185,00	113.538,00	237.723,00	0	1.488,62	8,00
13	26	118.182,00	138.127,00	256.309,00	0	1.482,64	8,00
13	27	120.487,00	108.045,00	228.532,00	0	1.473,92	8,00
13	28	106.044,00	106.473,00	212.517,00	0	1.327,33	8,00
13	29	105.322,00	96.454,10	201.776,10	0	1.319,24	8,00
14	0	157.979,00	134.862,00	292.841,00	0	1.899,66	8,00
14	1	174.439,00	195.266,00	369.705,00	1	2.088,54	11,39
14	2	168.777,00	132.569,00	301.346,00	0	2.025,12	8,00
14	3	165.278,00	158.001,00	323.279,00	0	1.981,41	8,00
14	4	163.218,00	164.600,00	327.818,00	0	1.962,86	8,00
14	5	160.679,00	139.421,00	300.100,00	0	1.908,51	8,00
14	6	174.304,00	170.516,00	344.820,00	0	2.124,68	8,00
14	7	169.384,00	164.694,00	334.078,00	0	2.069,58	8,00
14	8	169.384,00	161.694,00	331.078,00	0	2.069,58	8,25
14	9	165.278,00	132.411,00	297.689,00	0	1.981,41	8,00
14	10	159.719,00	145.702,00	305.421,00	0	1.919,14	8,00
14	11	175.046,00	152.421,00	327.467,00	0	2.132,99	10,23
14	12	161.946,00	149.086,00	311.032,00	1	1.898,94	8,00
14	13	173.514,00	169.316,00	342.830,00	0	2.129,05	8,89
14	14	167.644,00	153.204,00	320.848,00	0	2.050,09	8,63
14	15	168.777,00	157.149,00	325.926,00	0	2.025,12	8,00
14	16	168.777,00	127.489,00	296.266,00	0	2.025,12	8,00
14	17	184.721,00	195.867,00	380.588,00	0	2.257,68	12,15
14	18	155.120,00	148.642,00	303.762,00	0	1.846,24	8,00
14	19	177.136,00	213.547,00	390.683,00	0	2.103,76	8,22
14	20	166.688,00	195.945,00	362.633,00	0	2.001,72	8,30
14	21	160.679,00	165.191,00	325.870,00	0	1.908,51	8,00
14	22	155.120,00	151.482,00	306.602,00	0	1.846,24	8,00
14	23	167.644,00	148.734,00	316.378,00	1	2.050,09	8,00
14	24	168.777,00	168.899,00	337.676,00	0	2.025,12	8,00
14	25	163.218,00	170.390,00	333.608,00	0	1.962,86	8,00
14	26	169.663,00	173.021,00	342.684,00	0	2.035,04	8,00
14	27	170.691,00	160.325,00	331.016,00	0	2.031,57	8,00
14	28	169.384,00	156.114,00	325.498,00	0	2.069,58	8,00
14	29	168.597,00	141.649,00	310.246,00	0	2.034,77	8,00
15	0	123.694,00	140.165,00	263.859,00	0	1.567,43	12,84
15	1	108.165,00	130.557,00	238.722,00	1	1.357,24	8,00
15	2	143.181,00	168.807,00	311.988,00	0	1.779,36	8,00
15	3	125.230,00	146.051,00	271.281,00	0	1.603,30	8,62
15	4	123.805,00	130.962,00	254.767,00	0	1.541,09	8,00

Instância	Replicação	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
15	5	127.216,00	115.798,00	243.014,00	0	1.544,67	8,00
15	6	115.930,00	128.749,00	244.679,00	0	1.457,49	13,62
15	7	108.165,00	138.637,00	246.802,00	0	1.357,24	9,19
15	8	125.067,00	158.469,00	283.536,00	0	1.613,42	8,00
15	9	114.932,00	171.839,00	286.771,00	1	1.467,55	14,49
15	10	122.725,00	109.914,00	232.639,00	0	1.507,29	8,00
15	11	125.409,00	127.288,00	252.697,00	0	1.497,69	8,00
15	12	111.621,00	162.244,00	273.865,00	0	1.439,70	8,26
15	13	129.043,00	143.150,00	272.193,00	0	1.690,58	8,00
15	14	116.502,00	181.224,00	297.726,00	0	1.519,92	8,00
15	15	111.537,00	169.871,00	281.408,00	0	1.438,49	8,17
15	16	123.805,00	148.909,00	272.714,00	0	1.541,09	11,38
15	17	119.458,00	148.111,00	267.569,00	1	1.525,72	12,08
15	18	119.074,00	171.487,00	290.561,00	0	1.540,38	9,61
15	19	122.725,00	106.614,00	229.339,00	0	1.507,29	8,00
15	20	118.903,00	137.836,00	256.739,00	0	1.497,21	8,00
15	21	111.537,00	156.411,00	267.948,00	0	1.438,49	8,00
15	22	127.546,00	140.250,00	267.796,00	0	1.571,37	8,13
15	23	125.277,00	116.195,00	241.472,00	0	1.495,99	8,00
15	24	107.026,00	151.839,00	258.865,00	0	1.388,23	8,00
15	25	127.268,00	169.796,00	297.064,00	1	1.638,73	8,00
15	26	115.189,00	153.331,00	268.520,00	0	1.503,68	8,00
15	27	118.993,00	145.675,00	264.668,00	0	1.505,27	8,00
15	28	114.932,00	156.449,00	271.381,00	0	1.467,55	8,00
15	29	119.110,00	148.722,00	267.832,00	0	1.534,39	14,98
16	0	207.952,00	201.464,00	409.416,00	0	2.576,75	13,81
16	1	185.587,00	175.919,00	361.506,00	0	2.254,90	8,59
16	2	182.865,00	172.793,00	355.658,00	0	2.188,02	9,44
16	3	185.438,00	186.656,00	372.094,00	1	2.216,84	10,16
16	4	197.552,00	170.733,00	368.285,00	0	2.409,40	8,00
16	5	193.027,00	184.048,00	377.075,00	0	2.345,61	11,51
16	6	191.882,00	169.765,00	361.647,00	0	2.331,20	8,00
16	7	198.042,00	212.682,00	410.724,00	0	2.401,78	18,57
16	8	191.882,00	172.585,00	364.467,00	0	2.331,20	8,00
16	9	194.443,00	191.569,00	386.012,00	0	2.365,99	9,98
16	10	194.236,00	183.799,00	378.035,00	0	2.351,76	10,70
16	11	163.993,00	179.203,00	343.196,00	0	2.038,23	13,57
16	12	202.602,00	184.235,00	386.837,00	0	2.566,80	8,07
16	13	203.324,00	174.717,00	378.041,00	1	2.460,93	11,52
16	14	193.553,00	183.813,00	377.366,00	0	2.376,28	8,01
16	15	180.365,00	158.468,00	338.833,00	0	2.165,34	8,00
16	16	193.027,00	182.668,00	375.695,00	0	2.345,61	11,33
16	17	191.882,00	163.685,00	355.567,00	0	2.331,20	8,00
16	18	191.882,00	174.915,00	366.797,00	0	2.331,20	8,00
16	19	182.865,00	188.793,00	371.658,00	0	2.188,02	10,39
16	20	198.042,00	184.792,00	382.834,00	0	2.401,78	10,87
16	21	192.530,00	196.435,00	388.965,00	0	2.338,45	8,94
16	22	198.042,00	201.342,00	399.384,00	0	2.401,78	10,50
16	23	209.409,00	170.281,00	379.690,00	0	2.553,86	8,00
16	24	194.236,00	181.599,00	375.835,00	1	2.351,76	10,76
16	25	180.365,00	157.818,00	338.183,00	0	2.165,34	8,00
16	26	198.042,00	191.562,00	389.604,00	0	2.401,78	13,91
16	27	200.134,00	209.537,00	409.671,00	0	2.531,26	8,00
16	28	179.693,00	173.477,00	353.170,00	0	2.152,50	8,09
16	29	196.788,00	195.670,00	392.458,00	0	2.383,71	11,21
17	0	127.470,00	193.471,00	320.941,00	0	1.648,03	12,08
17	1	125.468,00	153.371,00	278.839,00	0	1.637,68	17,34
17	2	118.784,00	215.978,00	334.762,00	0	1.552,70	15,04
17	3	124.461,00	164.282,00	288.743,00	0	1.626,40	8,44
17	4	131.321,00	175.624,00	306.945,00	1	1.725,19	13,09
17	5	119.628,00	204.560,00	324.188,00	0	1.567,60	8,44
17	6	114.763,00	178.814,00	293.577,00	0	1.451,75	18,94

Instância	Replicação	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
17	7	113.758,00	188.083,00	301.841,00	0	1.450,64	22,95
17	8	125.959,00	152.374,00	278.333,00	0	1.625,20	8,00
17	9	132.326,00	167.198,00	299.524,00	0	1.739,65	8,65
17	10	129.815,00	186.316,00	316.131,00	0	1.675,40	14,62
17	11	132.293,00	174.086,00	306.379,00	0	1.735,97	11,74
17	12	114.961,00	208.025,00	322.986,00	0	1.515,34	11,57
17	13	113.697,00	191.183,00	304.880,00	1	1.449,77	15,26
17	14	131.998,00	189.792,00	321.790,00	0	1.760,68	18,16
17	15	136.668,00	188.453,00	325.121,00	0	1.781,85	13,02
17	16	121.937,00	169.146,00	291.083,00	0	1.529,73	8,56
17	17	128.874,00	207.343,00	336.217,00	0	1.703,97	8,57
17	18	133.362,00	150.867,00	284.229,00	0	1.708,98	8,33
17	19	122.526,00	170.738,00	293.264,00	0	1.555,25	27,67
17	20	114.073,00	156.334,00	270.407,00	0	1.499,34	11,38
17	21	137.848,00	159.236,00	297.084,00	0	1.727,10	8,45
17	22	141.570,00	172.224,00	313.794,00	0	1.773,44	12,45
17	23	108.541,00	159.846,00	268.387,00	1	1.421,78	8,64
17	24	130.279,00	144.753,00	275.032,00	0	1.652,88	12,56
17	25	120.861,00	197.956,00	318.817,00	0	1.588,57	12,10
17	26	150.066,00	176.494,00	326.560,00	0	1.974,06	19,11
17	27	113.697,00	183.003,00	296.700,00	0	1.449,77	14,70
17	28	110.713,00	185.809,00	296.522,00	0	1.381,97	13,03
17	29	131.122,00	178.811,00	309.933,00	0	1.719,10	11,98
18	0	194.108,00	239.867,00	433.975,00	0	2.357,71	9,66
18	1	210.956,00	215.317,00	426.273,00	0	2.579,15	18,81
18	2	174.172,00	260.674,00	434.846,00	1	2.140,63	11,33
18	3	175.489,00	224.465,00	399.954,00	0	2.148,01	8,00
18	4	201.136,00	240.382,00	441.518,00	0	2.458,92	11,48
18	5	196.472,00	211.299,00	407.771,00	0	2.375,10	12,30
18	6	199.022,00	251.431,00	450.453,00	0	2.411,16	11,10
18	7	208.966,00	227.302,00	436.268,00	0	2.560,25	17,68
18	8	205.231,00	199.943,00	405.174,00	0	2.541,75	11,88
18	9	209.767,00	212.941,00	422.708,00	0	2.592,56	11,24
18	10	201.092,00	215.974,00	417.066,00	0	2.449,05	8,00
18	11	187.099,00	248.198,00	435.297,00	0	2.312,15	16,63
18	12	216.387,00	243.814,00	460.201,00	0	2.607,24	13,53
18	13	201.433,00	260.120,00	461.553,00	1	2.438,16	13,29
18	14	201.820,00	280.246,00	482.066,00	0	2.411,25	14,11
18	15	206.808,00	238.973,00	445.781,00	0	2.467,11	10,89
18	16	190.462,00	224.501,00	414.963,00	0	2.284,04	8,00
18	17	202.711,00	228.103,00	430.814,00	0	2.444,97	19,80
18	18	192.781,00	172.732,00	365.513,00	0	2.299,07	11,50
18	19	199.313,00	244.555,00	443.868,00	0	2.416,01	15,56
18	20	184.570,00	191.628,00	376.198,00	0	2.216,29	13,72
18	21	202.066,00	257.201,00	459.267,00	0	2.414,01	11,94
18	22	205.754,00	233.995,00	439.749,00	0	2.547,61	9,95
18	23	197.384,00	194.599,00	391.983,00	0	2.394,41	13,01
18	24	199.267,00	217.285,00	416.552,00	1	2.382,65	9,40
18	25	182.770,00	217.368,00	400.138,00	0	2.236,94	11,74
18	26	175.870,00	232.558,00	408.428,00	0	2.186,37	11,46
18	27	204.147,00	275.725,00	479.872,00	0	2.470,15	15,29
18	28	221.623,00	198.264,00	419.887,00	0	2.725,34	18,43
18	29	203.623,00	182.272,00	385.895,00	0	2.464,28	9,47
19	0	84.593,90	100.131,00	184.724,90	0	1.044,58	8,00
19	1	76.857,60	112.643,00	189.500,60	0	966,47	8,00
19	2	85.646,40	120.457,00	206.103,40	0	1.072,03	8,00
19	3	91.799,40	111.910,00	203.709,40	0	1.142,87	8,00
19	4	85.171,20	120.002,00	205.173,20	1	1.074,98	8,00
19	5	90.889,70	115.024,00	205.913,70	0	1.122,53	8,00
19	6	80.945,10	110.570,00	191.515,10	0	1.004,07	9,20
19	7	85.775,20	101.281,00	187.056,20	0	1.048,96	8,71
19	8	100.404,00	121.226,00	221.630,00	0	1.283,33	8,00

Instância	Replicação	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
19	9	91.365,80	117.247,00	208.612,80	0	1.117,24	8,00
19	10	87.260,50	108.976,00	196.236,50	0	1.069,63	8,00
19	11	84.401,00	118.213,00	202.614,00	0	1.054,27	8,00
19	12	91.705,20	111.479,00	203.184,20	0	1.136,86	8,00
19	13	81.117,30	111.277,00	192.394,30	0	997,11	8,00
19	14	82.057,60	112.078,00	194.135,60	1	1.019,89	8,00
19	15	82.057,60	118.368,00	200.425,60	0	1.019,89	8,00
19	16	87.119,10	105.843,00	192.962,10	0	1.059,20	8,00
19	17	75.714,40	99.686,10	175.400,50	0	905,99	8,00
19	18	77.533,50	107.496,00	185.029,50	0	953,62	8,00
19	19	78.756,30	105.110,00	183.866,30	0	993,81	8,00
19	20	95.015,40	113.424,00	208.439,40	0	1.159,89	8,10
19	21	79.943,40	101.902,00	181.845,40	0	980,61	8,00
19	22	86.987,10	107.430,00	194.417,10	0	1.062,85	8,00
19	23	83.755,40	103.526,00	187.281,40	1	1.032,15	8,00
19	24	89.990,90	113.701,00	203.691,90	0	1.131,80	8,00
19	25	70.278,50	102.086,00	172.364,50	0	880,53	8,00
19	26	75.041,60	119.969,00	195.010,60	0	946,13	8,00
19	27	82.072,70	99.003,30	181.076,00	0	1.004,45	8,00
19	28	76.067,00	106.241,00	182.308,00	0	954,84	8,00
19	29	79.994,50	101.302,00	181.296,50	0	990,39	8,00
20	0	67.207,80	120.533,00	187.740,80	0	857,99	8,00
20	1	65.608,90	103.457,00	169.065,90	1	842,36	8,00
20	2	68.961,90	120.226,00	189.187,90	0	890,64	8,00
20	3	88.360,90	140.761,00	229.121,90	0	1.111,20	8,00
20	4	71.533,10	116.298,00	187.831,10	0	927,67	8,00
20	5	77.222,60	134.277,00	211.499,60	0	1.007,35	8,00
20	6	88.647,30	141.114,00	229.761,30	0	1.161,48	8,00
20	7	68.961,90	126.886,00	195.847,90	0	890,64	8,00
20	8	84.035,10	135.207,00	219.242,10	0	1.047,79	11,17
20	9	91.314,40	135.204,00	226.518,40	0	1.152,40	9,65
20	10	79.934,00	138.277,00	218.211,00	1	1.033,61	8,00
20	11	80.417,70	121.703,00	202.120,70	0	1.024,15	8,00
20	12	75.027,20	119.274,00	194.301,20	0	951,56	8,00
20	13	68.589,90	121.798,00	190.387,90	0	875,74	8,00
20	14	71.336,80	119.008,00	190.344,80	0	908,03	8,00
20	15	78.348,70	140.276,00	218.624,70	0	1.022,02	8,00
20	16	78.876,20	128.498,00	207.374,20	0	992,40	8,00
20	17	89.542,30	139.175,00	228.717,30	0	1.174,10	8,00
20	18	72.859,30	124.261,00	197.120,30	0	939,50	8,00
20	19	94.197,50	138.294,00	232.491,50	0	1.146,91	8,00
20	20	80.628,30	123.728,00	204.356,30	0	1.013,79	8,00
20	21	84.264,90	115.168,00	199.432,90	1	1.106,00	10,80
20	22	81.082,50	120.951,00	202.033,50	0	1.018,88	8,00
20	23	82.575,50	126.927,00	209.502,50	0	1.042,61	8,00
20	24	72.234,90	112.781,00	185.015,90	0	935,53	8,00
20	25	84.954,20	128.514,00	213.468,20	0	1.048,47	8,10
20	26	68.589,90	122.328,00	190.917,90	0	875,74	8,00
20	27	76.954,70	128.187,00	205.141,70	0	998,47	9,81
20	28	79.367,20	145.743,00	225.110,20	0	1.037,58	10,25
20	29	77.448,90	145.961,00	223.409,90	0	1.012,85	8,00
21	0	86.771,20	167.025,00	253.796,20	1	1.102,69	18,09
21	1	78.112,40	148.392,00	226.504,40	0	970,57	9,03
21	2	86.895,20	148.434,00	235.329,20	0	1.113,09	12,14
21	3	79.483,20	147.609,00	227.092,20	0	996,61	9,81
21	4	80.090,60	172.808,00	252.898,60	0	1.036,71	9,18
21	5	92.950,00	149.496,00	242.446,00	0	1.160,42	12,85
21	6	75.052,30	153.674,00	228.726,30	0	946,81	8,00
21	7	77.122,50	142.125,00	219.247,50	0	986,62	9,59
21	8	88.449,40	167.344,00	255.793,40	0	1.132,46	10,10
21	9	78.952,90	154.218,00	233.170,90	1	990,62	17,19
21	10	83.360,30	146.748,00	230.108,30	0	1.084,69	13,38

Instância	Replicação	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
21	11	78.726,40	152.122,00	230.848,40	0	996,54	11,33
21	12	74.515,70	139.402,00	213.917,70	0	950,03	8,00
21	13	92.000,10	151.788,00	243.788,10	0	1.209,10	10,08
21	14	84.153,00	133.221,00	217.374,00	0	1.063,86	10,62
21	15	78.686,10	161.733,00	240.419,10	0	980,35	11,86
21	16	90.892,70	139.024,00	229.916,70	0	1.155,85	9,36
21	17	85.538,50	144.255,00	229.793,50	0	1.070,82	8,00
21	18	76.003,70	128.074,00	204.077,70	1	986,24	8,10
21	19	87.979,60	136.571,00	224.550,60	0	1.091,53	9,98
21	20	69.367,70	137.187,00	206.554,70	0	883,79	9,22
21	21	73.947,60	139.858,00	213.805,60	0	929,05	8,00
21	22	96.587,20	168.774,00	265.361,20	0	1.211,42	14,61
21	23	84.275,40	133.411,00	217.686,40	0	1.080,31	18,70
21	24	84.732,00	148.509,00	233.241,00	0	1.101,96	9,90
21	25	80.799,20	160.525,00	241.324,20	0	999,15	21,04
21	26	89.443,00	167.459,00	256.902,00	0	1.110,31	10,96
21	27	99.008,00	176.331,00	275.339,00	0	1.274,20	21,76
21	28	83.297,50	148.409,00	231.706,50	1	1.026,87	8,86
21	29	74.761,90	131.838,00	206.599,90	0	947,47	8,00
22	0	80.507,00	110.221,00	190.728,00	0	953,73	8,25
22	1	80.507,00	122.671,00	203.178,00	0	953,73	8,00
22	2	84.258,60	103.745,00	188.003,60	0	1.029,16	8,00
22	3	94.673,60	115.449,00	210.122,60	0	1.192,09	8,00
22	4	88.787,20	98.143,40	186.930,60	0	1.094,76	8,00
22	5	84.316,80	107.160,00	191.476,80	0	1.029,82	8,00
22	6	81.103,20	101.117,00	182.220,20	0	993,82	8,00
22	7	84.976,00	111.786,00	196.762,00	0	1.097,55	8,00
22	8	81.103,20	90.246,80	171.350,00	1	993,82	8,00
22	9	88.127,10	82.201,80	170.328,90	0	1.072,21	8,00
22	10	84.373,70	103.652,00	188.025,70	0	1.091,08	9,74
22	11	88.787,20	104.093,00	192.880,20	0	1.094,76	8,46
22	12	80.823,80	109.494,00	190.317,80	0	990,42	8,00
22	13	90.642,90	110.441,00	201.083,90	0	1.109,04	9,55
22	14	81.607,40	103.581,00	185.188,40	0	999,47	8,00
22	15	78.109,30	90.889,90	168.999,20	0	927,16	10,35
22	16	86.327,30	83.755,40	170.082,70	0	1.052,05	8,00
22	17	91.559,30	99.001,60	190.560,90	0	1.125,81	8,00
22	18	84.756,00	98.059,20	182.815,20	1	1.043,10	8,00
22	19	91.443,20	114.750,00	206.193,20	0	1.124,51	8,00
22	20	84.593,80	128.783,00	213.376,80	0	1.098,36	9,77
22	21	86.784,70	108.214,00	194.998,70	0	1.057,46	8,00
22	22	92.040,90	112.407,00	204.447,90	0	1.131,21	8,00
22	23	81.819,80	101.040,00	182.859,80	0	968,44	8,00
22	24	80.367,70	113.930,00	194.297,70	0	952,17	8,00
22	25	91.078,70	95.836,00	186.914,70	0	1.113,92	8,52
22	26	77.084,20	104.409,00	181.493,20	0	915,68	8,00
22	27	78.109,30	98.639,90	176.749,20	0	927,16	8,00
22	28	86.297,10	97.704,70	184.001,80	1	1.040,34	8,00
22	29	84.794,10	97.118,30	181.912,40	0	1.023,51	8,00
23	0	97.535,10	95.400,60	192.935,70	0	1.225,15	8,00
23	1	91.181,10	111.603,00	202.784,10	0	1.119,18	8,00
23	2	104.836,00	125.110,00	229.946,00	0	1.324,22	8,00
23	3	108.218,00	111.181,00	219.399,00	0	1.410,52	8,00
23	4	103.630,00	110.676,00	214.306,00	0	1.359,14	8,00
23	5	100.653,00	108.678,00	209.331,00	0	1.225,26	9,76
23	6	102.733,00	117.163,00	219.896,00	1	1.240,78	8,00
23	7	103.249,00	122.210,00	225.459,00	0	1.254,34	8,00
23	8	102.139,00	131.496,00	233.635,00	0	1.317,58	8,00
23	9	96.352,10	121.909,00	218.261,10	0	1.169,31	13,43
23	10	98.055,20	122.669,00	220.724,20	0	1.200,00	8,00
23	11	91.622,50	143.010,00	234.632,50	0	1.168,49	20,43
23	12	101.455,00	132.096,00	233.551,00	0	1.285,90	8,80

Instância	Replicação	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
23	13	100.679,00	108.319,00	208.998,00	0	1.225,56	8,00
23	14	97.575,60	98.737,20	196.312,80	0	1.190,80	8,00
23	15	123.478,00	130.924,00	254.402,00	1	1.562,65	8,00
23	16	103.981,00	108.325,00	212.306,00	0	1.293,95	11,14
23	17	97.575,60	96.447,20	194.022,80	0	1.190,80	8,00
23	18	100.653,00	114.948,00	215.601,00	0	1.225,26	10,04
23	19	107.745,00	104.192,00	211.937,00	0	1.336,10	8,00
23	20	104.416,00	100.725,00	205.141,00	0	1.267,41	8,00
23	21	101.266,00	83.147,50	184.413,50	0	1.232,13	8,11
23	22	95.737,40	132.764,00	228.501,40	0	1.164,38	8,13
23	23	97.575,60	103.887,00	201.462,60	0	1.190,80	8,00
23	24	97.575,60	116.767,00	214.342,60	0	1.190,80	8,00
23	25	97.827,20	99.335,60	197.162,80	1	1.244,18	8,00
23	26	107.569,00	118.768,00	226.337,00	0	1.368,45	11,29
23	27	100.885,00	106.924,00	207.809,00	0	1.259,26	8,00
23	28	118.527,00	146.464,00	264.991,00	0	1.507,21	10,54
23	29	91.646,50	100.458,00	192.104,50	0	1.109,24	8,00
24	0	105.298,00	131.565,00	236.863,00	0	1.295,79	17,08
24	1	101.693,00	123.984,00	225.677,00	0	1.248,79	8,38
24	2	118.924,00	155.846,00	274.770,00	0	1.473,31	11,62
24	3	114.272,00	156.958,00	271.230,00	0	1.415,22	10,92
24	4	112.538,00	121.173,00	233.711,00	1	1.396,45	8,68
24	5	106.886,00	155.315,00	262.201,00	0	1.370,90	10,14
24	6	105.045,00	125.903,00	230.948,00	0	1.304,50	11,78
24	7	106.378,00	172.302,00	278.680,00	0	1.305,51	12,53
24	8	109.629,00	136.339,00	245.968,00	0	1.368,26	12,18
24	9	101.027,00	124.092,00	225.119,00	0	1.259,50	8,00
24	10	107.462,00	130.880,00	238.342,00	0	1.310,28	14,49
24	11	106.937,00	168.984,00	275.921,00	0	1.379,80	10,62
24	12	96.073,60	185.669,00	281.742,60	0	1.245,79	9,96
24	13	108.452,00	150.860,00	259.312,00	0	1.384,56	24,01
24	14	109.759,00	172.410,00	282.169,00	1	1.424,95	11,44
24	15	110.409,00	133.532,00	243.941,00	0	1.412,25	27,42
24	16	107.344,00	170.275,00	277.619,00	0	1.397,89	12,30
24	17	125.267,00	180.153,00	305.420,00	0	1.595,13	21,75
24	18	113.636,00	181.013,00	294.649,00	0	1.460,45	10,11
24	19	122.636,00	191.689,00	314.325,00	0	1.518,00	12,47
24	20	107.553,00	148.625,00	256.178,00	0	1.345,01	13,06
24	21	103.716,00	137.312,00	241.028,00	0	1.281,39	12,41
24	22	103.913,00	163.588,00	267.501,00	0	1.297,23	10,60
24	23	104.494,00	184.659,00	289.153,00	1	1.331,19	11,57
24	24	108.051,00	125.201,00	233.252,00	0	1.350,58	13,22
24	25	110.141,00	150.640,00	260.781,00	0	1.438,15	13,33
24	26	112.525,00	109.531,00	222.056,00	0	1.362,33	9,99
24	27	110.201,00	151.345,00	261.546,00	0	1.418,57	12,67
24	28	103.169,00	143.380,00	246.549,00	0	1.343,08	8,00
24	29	119.949,00	175.907,00	295.856,00	0	1.558,12	19,11
25	0	153.221,00	120.414,00	273.635,00	0	1.909,98	8,00
25	1	149.404,00	134.749,00	284.153,00	1	1.855,01	8,00
25	2	154.020,00	118.716,00	272.736,00	0	1.926,46	8,00
25	3	146.509,00	164.815,00	311.324,00	0	1.862,92	8,00
25	4	150.326,00	155.790,00	306.116,00	0	1.917,89	8,00
25	5	163.539,00	159.189,00	322.728,00	0	2.089,65	8,00
25	6	142.024,00	184.263,00	326.287,00	0	1.812,13	9,73
25	7	151.789,00	121.953,00	273.742,00	0	1.894,34	8,00
25	8	161.984,00	136.003,00	297.987,00	0	2.072,23	8,00
25	9	152.052,00	148.551,00	300.603,00	0	1.924,24	8,00
25	10	155.705,00	149.144,00	304.849,00	0	1.976,84	8,90
25	11	162.061,00	146.992,00	309.053,00	1	2.041,85	8,00
25	12	149.404,00	137.939,00	287.343,00	0	1.855,01	8,00
25	13	152.052,00	155.511,00	307.563,00	0	1.924,24	8,00
25	14	150.326,00	134.810,00	285.136,00	0	1.917,89	8,00

Instância	Replicação	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
25	15	145.537,00	139.996,00	285.533,00	0	1.836,16	8,00
25	16	154.329,00	147.685,00	302.014,00	0	1.944,43	8,00
25	17	152.556,00	157.244,00	309.800,00	0	1.900,40	8,00
25	18	152.052,00	159.061,00	311.113,00	0	1.924,24	9,41
25	19	155.575,00	141.380,00	296.955,00	0	1.943,88	8,00
25	20	153.233,00	139.938,00	293.171,00	0	1.910,15	8,96
25	21	151.895,00	143.889,00	295.784,00	1	1.902,63	11,53
25	22	153.221,00	142.544,00	295.765,00	0	1.909,98	8,00
25	23	149.404,00	148.449,00	297.853,00	0	1.855,01	8,00
25	24	153.221,00	114.154,00	267.375,00	0	1.909,98	8,00
25	25	149.404,00	128.149,00	277.553,00	0	1.855,01	8,00
25	26	145.409,00	130.489,00	275.898,00	0	1.850,60	8,00
25	27	149.349,00	125.088,00	274.437,00	0	1.907,34	8,00
25	28	153.221,00	129.189,00	282.410,00	0	1.909,98	8,00
25	29	151.666,00	113.879,00	265.545,00	0	1.892,56	8,00
26	0	162.714,00	128.594,00	291.308,00	1	2.046,68	8,00
26	1	153.331,00	236.997,00	390.328,00	0	2.030,71	15,09
26	2	144.712,00	166.170,00	310.882,00	0	1.844,52	8,00
26	3	170.600,00	185.971,00	356.571,00	0	2.131,04	21,81
26	4	137.272,00	155.738,00	293.010,00	0	1.782,24	8,00
26	5	145.610,00	142.937,00	288.547,00	0	1.854,58	8,00
26	6	136.555,00	146.556,00	283.111,00	0	1.766,43	9,96
26	7	148.717,00	155.747,00	304.464,00	0	1.895,79	10,86
26	8	151.743,00	135.558,00	287.301,00	0	1.862,18	8,00
26	9	151.115,00	139.478,00	290.593,00	0	1.916,47	8,00
26	10	156.864,00	143.436,00	300.300,00	1	1.919,29	8,00
26	11	162.714,00	124.644,00	287.358,00	0	2.046,68	8,00
26	12	144.271,00	163.142,00	307.413,00	0	1.869,14	8,00
26	13	149.905,00	120.528,00	270.433,00	0	1.841,59	8,00
26	14	150.916,00	146.239,00	297.155,00	0	1.930,67	8,00
26	15	143.402,00	154.378,00	297.780,00	0	1.870,51	8,00
26	16	165.282,00	164.605,00	329.887,00	0	2.066,85	8,00
26	17	148.884,00	137.290,00	286.174,00	0	1.883,60	8,00
26	18	151.666,00	130.619,00	282.285,00	0	1.892,56	8,00
26	19	156.864,00	160.146,00	317.010,00	1	1.919,29	8,00
26	20	156.134,00	128.300,00	284.434,00	0	1.983,03	8,00
26	21	147.050,00	156.558,00	303.608,00	0	1.897,44	8,00
26	22	165.909,00	145.736,00	311.645,00	0	2.088,91	8,00
26	23	143.402,00	171.148,00	314.550,00	0	1.870,51	10,69
26	24	144.712,00	150.035,00	294.747,00	0	1.844,52	11,48
26	25	154.656,00	122.674,00	277.330,00	0	1.935,22	8,00
26	26	140.489,00	153.332,00	293.821,00	0	1.797,47	8,00
26	27	148.717,00	145.093,00	293.810,00	0	1.895,79	9,83
26	28	158.934,00	153.177,00	312.111,00	1	2.096,65	8,00
26	29	169.878,00	149.601,00	319.479,00	0	2.196,19	8,65
27	0	143.490,00	208.993,00	352.483,00	0	1.832,88	12,85
27	1	170.861,00	178.798,00	349.659,00	0	2.186,90	9,70
27	2	148.018,00	151.427,00	299.445,00	0	1.860,45	8,68
27	3	167.554,00	169.052,00	336.606,00	0	2.132,68	8,00
27	4	144.720,00	184.830,00	329.550,00	0	1.837,16	10,26
27	5	170.344,00	231.033,00	401.377,00	0	2.201,85	15,39
27	6	149.270,00	172.961,00	322.231,00	0	1.892,70	8,00
27	7	152.860,00	196.032,00	348.892,00	1	1.937,07	10,88
27	8	143.899,00	169.858,00	313.757,00	0	1.815,36	19,02
27	9	157.677,00	202.165,00	359.842,00	0	2.013,75	10,12
27	10	168.131,00	181.036,00	349.167,00	0	2.152,23	25,46
27	11	160.205,00	160.284,00	320.489,00	0	2.046,82	11,23
27	12	176.428,00	196.082,00	372.510,00	0	2.290,12	15,40
27	13	161.393,00	191.321,00	352.714,00	0	2.027,28	11,36
27	14	154.858,00	169.289,00	324.147,00	0	1.968,93	8,00
27	15	143.810,00	195.603,00	339.413,00	0	1.814,08	19,22
27	16	168.600,00	180.274,00	348.874,00	1	2.149,93	18,91

Instância	Replicação	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
27	17	162.193,00	178.704,00	340.897,00	0	2.166,14	11,02
27	18	166.076,00	212.485,00	378.561,00	0	2.112,76	14,08
27	19	160.672,00	171.146,00	331.818,00	0	2.035,78	8,00
27	20	167.820,00	187.647,00	355.467,00	0	2.116,60	13,98
27	21	150.537,00	187.369,00	337.906,00	0	1.916,98	15,79
27	22	163.123,00	175.441,00	338.564,00	0	2.046,65	16,26
27	23	196.274,00	197.473,00	393.747,00	0	2.441,52	15,31
27	24	163.603,00	195.762,00	359.365,00	0	2.082,40	12,36
27	25	181.371,00	194.242,00	375.613,00	1	2.291,56	15,99
27	26	146.215,00	193.946,00	340.161,00	0	1.872,13	9,79
27	27	160.215,00	189.615,00	349.830,00	0	2.067,96	12,94
27	28	150.415,00	172.422,00	322.837,00	0	1.919,17	9,39
27	29	149.209,00	168.880,00	318.089,00	0	1.901,73	11,31

Resultado da aplicação das regras de sequenciamento seguido de busca local, para todas as replicações

Instância	Replicação	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
1	0	71.095,00	101.584,00	172.679,00	1	882,60	8,00
1	1	79.133,20	98.291,40	177.424,60	1	998,75	8,00
1	2	78.300,90	98.687,70	176.988,60	1	1.003,05	8,00
1	3	64.616,50	106.565,00	171.181,50	1	823,47	8,00
1	4	68.562,90	107.940,00	176.502,90	1	871,59	14,55
1	5	78.600,10	105.018,00	183.618,10	1	1.004,50	8,00
1	6	79.017,00	108.141,00	187.158,00	0	1.006,86	8,00
1	7	73.007,60	82.825,90	155.833,50	1	927,98	8,00
1	8	82.784,20	101.824,00	184.608,20	1	1.047,39	8,00
1	9	76.772,50	117.871,00	194.643,50	1	987,89	8,00
1	10	77.539,30	112.006,00	189.545,30	1	1.000,35	8,00
1	11	75.326,10	101.347,00	176.673,10	0	955,78	8,00
1	12	82.737,10	92.055,10	174.792,20	1	1.049,55	8,00
1	13	76.772,50	109.751,00	186.523,50	1	987,89	10,75
1	14	82.904,20	113.295,00	196.199,20	1	1.053,12	8,00
1	15	81.678,10	84.691,90	166.370,00	1	1.020,10	8,00
1	16	83.619,70	87.113,40	170.733,10	1	1.047,94	8,00
1	17	77.943,40	105.898,00	183.841,40	1	998,15	8,00
1	18	78.190,00	101.255,00	179.445,00	1	983,60	8,00
1	19	75.374,60	104.254,00	179.628,60	0	972,58	8,87
1	20	70.871,10	106.350,00	177.221,10	1	886,64	8,00
1	21	79.110,50	102.199,00	181.309,50	1	1.014,71	8,00
1	22	85.987,50	103.072,00	189.059,50	2	1.066,65	8,00
1	23	70.320,80	99.461,50	169.782,30	1	903,18	8,00
1	24	69.690,80	103.133,00	172.823,80	1	892,29	8,00
1	25	76.694,40	110.433,00	187.127,40	1	987,02	8,00
1	26	73.552,50	98.365,60	171.918,10	1	934,06	8,00
1	27	76.838,30	109.205,00	186.043,30	1	988,84	8,00
1	28	78.001,40	102.280,00	180.281,40	0	982,65	8,00

Instância	Replica-ção	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
1	29	78.004,20	116.543,00	194.547,20	1	987,64	8,96
2	0	85.663,90	107.587,00	193.250,90	0	1.099,39	8,00
2	1	93.818,20	103.173,00	196.991,20	1	1.154,26	8,00
2	2	85.191,10	110.067,00	195.258,10	0	1.092,58	8,00
2	3	81.024,80	110.779,00	191.803,80	0	994,44	8,00
2	4	90.716,10	106.198,00	196.914,10	0	1.166,30	8,00
2	5	85.765,80	107.932,00	193.697,80	0	1.064,07	8,00
2	6	81.497,60	99.698,70	181.196,30	1	1.001,25	8,00
2	7	85.663,90	107.157,00	192.820,90	0	1.099,39	8,00
2	8	77.042,30	107.114,00	184.156,30	0	951,35	8,00
2	9	85.969,40	88.764,10	174.733,50	0	1.060,57	8,00
2	10	85.961,40	101.282,00	187.243,40	1	1.066,26	8,00
2	11	78.810,00	94.295,00	173.105,00	0	976,95	8,00
2	12	76.998,30	112.670,00	189.668,30	0	950,86	8,00
2	13	79.270,60	105.976,00	185.246,60	0	983,64	8,00
2	14	90.258,20	95.945,40	186.203,60	1	1.114,39	8,00
2	15	85.191,10	114.227,00	199.418,10	0	1.092,58	8,00
2	16	86.050,20	104.660,00	190.710,20	0	1.052,24	8,50
2	17	91.095,30	98.843,60	189.938,90	0	1.160,22	8,51
2	18	85.663,90	109.387,00	195.050,90	1	1.099,39	8,00
2	19	86.050,20	97.850,40	183.900,60	0	1.052,24	8,62
2	20	81.260,70	99.891,10	181.151,80	0	998,60	8,00
2	21	82.969,20	96.916,20	179.885,40	1	1.023,53	8,00
2	22	86.115,20	105.522,00	191.637,20	0	1.102,36	8,00
2	23	89.346,60	108.002,00	197.348,60	0	1.146,58	8,00
2	24	86.884,40	105.574,00	192.458,40	1	1.126,78	8,00
2	25	86.478,20	108.752,00	195.230,20	0	1.086,36	8,00
2	26	90.756,00	99.958,10	190.714,10	1	1.162,60	8,00
2	27	84.195,40	121.562,00	205.757,40	0	1.078,24	8,00
2	28	77.042,30	99.014,00	176.056,30	0	951,35	8,00
2	29	85.663,90	117.727,00	203.390,90	0	1.099,39	8,00
3	0	65.301,70	113.724,00	179.025,70	1	837,00	8,00
3	1	67.340,70	99.930,50	167.271,20	1	874,37	8,00
3	2	62.629,70	115.427,00	178.056,70	0	803,19	8,00
3	3	68.391,80	118.697,00	187.088,80	1	878,28	8,00
3	4	69.713,00	117.517,00	187.230,00	1	891,24	8,00
3	5	72.022,80	120.089,00	192.111,80	1	926,46	9,26
3	6	64.974,50	111.302,00	176.276,50	0	828,00	8,00
3	7	75.458,40	123.428,00	198.886,40	1	966,73	8,00
3	8	67.089,50	147.216,00	214.305,50	0	850,84	11,98
3	9	64.737,60	123.063,00	187.800,60	2	822,04	8,00
3	10	73.956,20	122.321,00	196.277,20	0	958,43	8,61
3	11	73.735,10	115.021,00	188.756,10	0	947,38	8,00
3	12	70.129,20	116.311,00	186.440,20	1	886,69	11,89
3	13	72.820,30	127.642,00	200.462,30	0	942,57	10,96
3	14	74.783,10	119.660,00	194.443,10	1	966,19	10,54
3	15	74.932,90	120.070,00	195.002,90	0	955,65	8,00
3	16	72.836,50	129.840,00	202.676,50	1	929,04	13,65
3	17	74.914,00	105.143,00	180.057,00	0	970,23	8,00
3	18	66.423,20	125.189,00	191.612,20	1	838,05	8,00
3	19	70.831,70	139.203,00	210.034,70	0	924,32	8,00
3	20	64.735,90	128.610,00	193.345,90	1	824,80	8,00
3	21	75.521,90	123.064,00	198.585,90	0	971,39	8,00
3	22	71.038,70	116.435,00	187.473,70	1	933,39	8,30
3	23	72.181,10	126.615,00	198.796,10	0	942,03	8,00
3	24	66.339,40	122.559,00	188.898,40	1	867,98	9,38
3	25	82.063,20	125.482,00	207.545,20	1	1.019,52	8,00
3	26	69.532,70	115.442,00	184.974,70	0	913,96	8,00
3	27	64.449,80	125.164,00	189.613,80	1	819,30	8,00
3	28	73.979,00	115.028,00	189.007,00	1	946,00	8,23
3	29	66.048,60	120.766,00	186.814,60	0	841,37	8,00
4	0	88.173,10	115.869,00	204.042,10	0	1.091,90	8,50

Instância	Replicação	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
4	1	82.936,60	111.339,00	194.275,60	0	1.027,11	8,00
4	2	86.484,20	109.920,00	196.404,20	1	1.073,06	8,00
4	3	93.933,90	131.255,00	225.188,90	0	1.170,83	8,00
4	4	86.079,00	108.053,00	194.132,00	0	1.067,44	8,00
4	5	89.432,30	138.014,00	227.446,30	1	1.136,55	9,31
4	6	83.266,30	114.261,00	197.527,30	0	1.026,86	8,00
4	7	94.722,20	128.516,00	223.238,20	1	1.206,88	8,00
4	8	86.264,50	127.363,00	213.627,50	0	1.079,14	10,79
4	9	77.296,70	115.231,00	192.527,70	0	966,21	8,00
4	10	81.747,50	110.751,00	192.498,50	1	1.019,94	9,29
4	11	94.283,60	115.845,00	210.128,60	0	1.176,60	8,49
4	12	87.300,00	112.760,00	200.060,00	1	1.106,17	8,00
4	13	83.241,70	113.431,00	196.672,70	0	1.026,58	8,00
4	14	89.245,70	109.770,00	199.015,70	0	1.112,83	8,00
4	15	86.103,70	120.632,00	206.735,70	1	1.067,72	8,00
4	16	101.183,00	120.385,00	221.568,00	0	1.285,97	8,00
4	17	87.794,20	128.935,00	216.729,20	0	1.081,52	9,88
4	18	93.153,70	125.601,00	218.754,70	1	1.184,55	8,00
4	19	77.356,90	113.663,00	191.019,90	0	966,88	8,00
4	20	97.792,50	122.984,00	220.776,50	1	1.199,70	8,00
4	21	86.079,00	118.173,00	204.252,00	1	1.067,44	8,00
4	22	89.105,90	112.382,00	201.487,90	0	1.110,96	8,29
4	23	91.481,40	146.998,00	238.479,40	0	1.187,85	8,00
4	24	93.369,40	114.351,00	207.720,40	1	1.152,94	8,00
4	25	90.748,10	127.558,00	218.306,10	0	1.153,47	8,00
4	26	83.197,70	111.247,00	194.444,70	1	1.026,09	8,00
4	27	99.809,20	134.714,00	234.523,20	0	1.271,19	14,02
4	28	81.991,60	110.115,00	192.106,60	1	1.007,27	8,00
4	29	101.467,00	127.037,00	228.504,00	0	1.279,45	8,00
5	0	78.001,60	157.709,00	235.710,60	1	990,71	18,57
5	1	70.196,00	129.973,00	200.169,00	0	902,04	8,00
5	2	79.045,90	151.669,00	230.714,90	0	1.005,82	10,40
5	3	74.091,60	138.438,00	212.529,60	1	943,79	9,62
5	4	77.721,70	149.079,00	226.800,70	0	994,96	12,23
5	5	75.360,40	127.163,00	202.523,40	1	952,70	8,00
5	6	73.975,10	148.261,00	222.236,10	2	940,57	13,80
5	7	76.816,80	119.331,00	196.147,80	1	966,77	9,14
5	8	80.076,80	161.284,00	241.360,80	1	1.035,91	11,32
5	9	76.688,00	153.258,00	229.946,00	0	983,19	17,49
5	10	69.761,90	125.156,00	194.917,90	1	899,02	9,66
5	11	78.016,20	135.264,00	213.280,20	1	1.002,40	8,00
5	12	85.045,80	157.414,00	242.459,80	1	1.104,06	17,69
5	13	80.468,00	153.992,00	234.460,00	1	1.052,95	15,26
5	14	82.180,00	131.282,00	213.462,00	1	1.058,49	9,31
5	15	75.425,60	144.813,00	220.238,60	1	978,80	10,23
5	16	76.366,80	153.991,00	230.357,80	0	977,68	13,88
5	17	75.203,60	140.663,00	215.866,60	1	966,23	8,00
5	18	81.638,20	145.135,00	226.773,20	0	1.049,39	12,28
5	19	76.469,90	144.237,00	220.706,90	0	985,11	8,33
5	20	83.051,20	147.367,00	230.418,20	1	1.072,49	8,60
5	21	80.631,30	153.322,00	233.953,30	1	1.019,62	12,34
5	22	71.542,40	138.395,00	209.937,40	0	917,98	10,77
5	23	85.867,10	146.080,00	231.947,10	1	1.113,63	10,41
5	24	72.730,70	156.666,00	229.396,70	1	932,02	13,16
5	25	75.241,90	126.144,00	201.385,90	1	958,55	8,00
5	26	78.365,90	138.155,00	216.520,90	1	994,40	8,83
5	27	76.307,80	168.280,00	244.587,80	0	964,56	12,23
5	28	87.669,00	159.537,00	247.206,00	1	1.135,33	20,04
5	29	79.218,90	157.624,00	236.842,90	1	1.007,99	9,58
6	0	86.707,80	184.530,00	271.237,80	0	1.116,47	12,17
6	1	87.927,80	149.798,00	237.725,80	0	1.144,65	15,38
6	2	90.368,30	179.401,00	269.769,30	0	1.172,13	10,99

Instância	Replicação	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
6	3	76.777,70	139.618,00	216.395,70	1	960,20	8,04
6	4	90.304,80	148.841,00	239.145,80	0	1.109,22	10,11
6	5	92.436,90	158.598,00	251.034,90	0	1.160,67	8,94
6	6	88.890,00	163.412,00	252.302,00	0	1.142,54	9,11
6	7	85.231,90	150.908,00	236.139,90	1	1.087,56	8,00
6	8	81.364,80	159.450,00	240.814,80	0	1.015,90	15,84
6	9	83.194,20	168.121,00	251.315,20	0	1.076,48	10,72
6	10	87.015,00	126.575,00	213.590,00	0	1.102,39	10,25
6	11	84.670,70	185.731,00	270.401,70	1	1.081,11	12,29
6	12	83.666,90	155.240,00	238.906,90	0	1.083,29	8,81
6	13	92.249,00	157.376,00	249.625,00	0	1.179,72	21,13
6	14	82.262,20	145.493,00	227.755,20	0	1.024,92	8,00
6	15	84.032,10	116.050,00	200.082,10	1	1.036,39	8,00
6	16	88.697,40	151.878,00	240.575,40	0	1.126,38	10,06
6	17	90.420,70	142.419,00	232.839,70	0	1.146,32	8,00
6	18	92.249,00	174.976,00	267.225,00	1	1.179,72	10,22
6	19	92.580,60	172.745,00	265.325,60	0	1.193,14	12,20
6	20	87.642,80	136.743,00	224.385,80	0	1.122,04	11,78
6	21	77.762,90	159.134,00	236.896,90	1	974,54	12,09
6	22	84.463,80	114.602,00	199.065,80	0	1.046,48	8,00
6	23	88.606,70	162.369,00	250.975,70	0	1.138,11	13,75
6	24	84.798,40	160.440,00	245.238,40	0	1.053,81	8,00
6	25	89.606,80	179.941,00	269.547,80	1	1.128,97	9,61
6	26	89.958,70	134.834,00	224.792,70	0	1.138,34	11,62
6	27	91.829,90	159.161,00	250.990,90	0	1.144,95	8,00
6	28	85.012,50	150.232,00	235.244,50	0	1.079,96	9,84
6	29	92.249,00	139.646,00	231.895,00	1	1.179,72	10,01
7	0	76.965,90	85.905,30	162.871,20	0	994,09	8,00
7	1	79.359,60	74.839,50	154.199,10	2	975,34	8,00
7	2	73.429,10	91.871,00	165.300,10	0	947,53	8,00
7	3	82.455,60	75.771,70	158.227,30	1	1.043,85	8,00
7	4	82.727,80	86.822,70	169.550,50	1	1.044,37	8,23
7	5	76.592,40	97.335,50	173.927,90	1	995,67	8,00
7	6	78.850,60	88.592,50	167.443,10	1	1.009,57	8,00
7	7	74.920,90	91.626,10	166.547,00	1	952,10	8,00
7	8	78.122,70	84.450,60	162.573,30	1	1.005,89	8,00
7	9	72.577,00	86.170,40	158.747,40	0	925,65	8,00
7	10	77.118,90	87.109,70	164.228,60	1	1.002,72	9,53
7	11	83.575,20	88.825,60	172.400,80	0	1.037,18	8,00
7	12	81.430,00	101.278,00	182.708,00	0	1.060,94	8,00
7	13	78.010,00	110.566,00	188.576,00	2	991,08	8,00
7	14	72.646,80	67.815,10	140.461,90	0	910,44	8,00
7	15	78.072,90	111.541,00	189.613,90	1	1.009,09	8,28
7	16	77.815,20	92.934,30	170.749,50	0	990,08	8,00
7	17	70.603,00	107.414,00	178.017,00	2	903,88	8,00
7	18	77.143,90	95.453,00	172.596,90	0	998,69	8,00
7	19	82.176,00	100.665,00	182.841,00	1	1.062,71	8,00
7	20	80.763,30	85.247,80	166.011,10	1	1.036,62	8,00
7	21	78.362,60	83.764,00	162.126,60	1	997,39	8,00
7	22	74.442,30	89.535,30	163.977,60	1	918,03	8,00
7	23	74.473,50	94.762,70	169.236,20	1	959,22	8,00
7	24	80.303,10	83.014,60	163.317,70	1	1.012,84	8,00
7	25	71.713,60	97.619,00	169.332,60	1	932,64	8,00
7	26	74.920,90	80.516,10	155.437,00	0	952,10	8,00
7	27	73.406,70	84.885,40	158.292,10	0	935,20	8,00
7	28	70.118,50	118.245,00	188.363,50	1	910,72	8,00
7	29	77.152,50	81.265,70	158.418,20	1	976,89	8,00
8	0	120.532,00	119.342,00	239.874,00	1	1.556,72	8,00
8	1	93.193,70	141.118,00	234.311,70	0	1.158,22	8,00
8	2	108.144,00	120.908,00	229.052,00	1	1.406,04	8,18
8	3	109.744,00	127.724,00	237.468,00	0	1.436,69	12,85
8	4	104.903,00	113.354,00	218.257,00	0	1.345,38	8,00

Instância	Replica-ção	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
8	5	106.822,00	104.300,00	211.122,00	1	1.390,97	8,00
8	6	110.116,00	127.794,00	237.910,00	0	1.442,05	8,00
8	7	92.458,50	120.478,00	212.936,50	1	1.132,26	8,00
8	8	109.314,00	123.461,00	232.775,00	0	1.430,50	8,00
8	9	108.483,00	118.846,00	227.329,00	0	1.416,30	8,00
8	10	104.501,00	127.071,00	231.572,00	1	1.334,34	8,00
8	11	104.903,00	103.784,00	208.687,00	0	1.345,38	8,00
8	12	110.184,00	101.864,00	212.048,00	1	1.439,38	8,00
8	13	123.826,00	128.241,00	252.067,00	0	1.604,15	8,00
8	14	101.623,00	109.032,00	210.655,00	0	1.284,08	8,00
8	15	121.156,00	117.159,00	238.315,00	1	1.565,70	8,00
8	16	107.940,00	114.931,00	222.871,00	0	1.415,12	8,00
8	17	93.081,80	132.949,00	226.030,80	0	1.156,61	8,00
8	18	104.599,00	117.223,00	221.822,00	1	1.349,63	8,00
8	19	110.689,00	119.196,00	229.885,00	0	1.450,30	8,00
8	20	108.262,00	121.916,00	230.178,00	1	1.388,49	8,00
8	21	99.315,20	114.243,00	213.558,20	0	1.246,57	8,00
8	22	112.049,00	114.702,00	226.751,00	0	1.456,00	8,00
8	23	96.993,40	115.172,00	212.165,40	1	1.193,11	8,00
8	24	96.755,50	104.226,00	200.981,50	1	1.184,18	8,00
8	25	89.915,40	126.257,00	216.172,40	0	1.112,71	8,00
8	26	106.872,00	122.319,00	229.191,00	1	1.330,82	11,32
8	27	111.053,00	110.918,00	221.971,00	0	1.441,66	8,00
8	28	102.491,00	125.687,00	228.178,00	0	1.319,27	8,08
8	29	96.088,40	140.035,00	236.123,40	1	1.199,90	8,00
9	0	96.657,50	113.648,00	210.305,50	0	1.189,51	8,00
9	1	77.317,30	100.605,00	177.922,30	1	997,08	8,00
9	2	78.238,10	106.160,00	184.398,10	1	1.001,10	8,00
9	3	77.630,10	102.056,00	179.686,10	1	994,29	8,00
9	4	84.407,80	101.853,00	186.260,80	1	1.040,90	8,00
9	5	94.431,70	118.034,00	212.465,70	1	1.226,22	8,35
9	6	92.182,30	114.089,00	206.271,30	1	1.209,43	8,00
9	7	89.605,90	108.329,00	197.934,90	0	1.142,83	8,00
9	8	85.978,50	126.854,00	212.832,50	1	1.124,00	9,44
9	9	83.136,90	87.425,00	170.561,90	1	1.071,40	8,00
9	10	90.431,80	93.798,60	184.230,40	1	1.107,90	15,11
9	11	80.971,60	114.864,00	195.835,60	0	1.051,90	9,13
9	12	89.888,80	99.058,30	188.947,10	0	1.119,45	8,96
9	13	83.488,50	106.885,00	190.373,50	1	1.066,56	8,00
9	14	75.576,60	108.836,00	184.412,60	1	971,29	8,00
9	15	72.968,30	106.755,00	179.723,30	0	916,36	8,00
9	16	83.488,50	98.564,60	182.053,10	1	1.066,56	8,37
9	17	77.776,70	114.860,00	192.636,70	1	1.019,76	8,00
9	18	77.904,40	92.344,40	170.248,80	0	1.004,81	8,00
9	19	83.717,70	72.482,80	156.200,50	1	1.039,53	8,00
9	20	88.268,40	106.926,00	195.194,40	0	1.075,32	8,26
9	21	87.522,60	106.631,00	194.153,60	1	1.096,41	13,06
9	22	79.690,30	97.072,10	176.762,40	1	1.017,36	8,00
9	23	88.606,80	91.254,70	179.861,50	1	1.101,09	8,88
9	24	89.005,20	118.665,00	207.670,20	0	1.134,45	8,00
9	25	77.904,40	103.404,00	181.308,40	0	1.004,81	8,00
9	26	92.980,40	103.143,00	196.123,40	1	1.204,33	8,00
9	27	79.454,40	99.465,10	178.919,50	1	1.007,92	8,00
9	28	87.996,60	93.933,50	181.930,10	1	1.080,62	9,26
9	29	82.701,50	106.071,00	188.772,50	0	1.075,81	8,00
10	0	92.499,50	118.585,00	211.084,50	0	1.149,20	8,00
10	1	95.743,80	113.489,00	209.232,80	0	1.182,57	8,00
10	2	99.790,10	130.486,00	230.276,10	1	1.243,72	8,83
10	3	103.588,00	121.270,00	224.858,00	0	1.308,92	8,00
10	4	112.549,00	156.108,00	268.657,00	0	1.394,31	10,88
10	5	107.311,00	139.188,00	246.499,00	0	1.296,73	8,00
10	6	95.955,10	135.258,00	231.213,10	1	1.183,91	8,00

Instância	Replica-ção	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
10	7	95.743,80	102.589,00	198.332,80	0	1.182,57	8,00
10	8	100.772,00	111.850,00	212.622,00	0	1.270,48	8,00
10	9	109.968,00	128.344,00	238.312,00	0	1.343,79	10,56
10	10	127.231,00	130.266,00	257.497,00	0	1.626,42	8,00
10	11	110.661,00	137.802,00	248.463,00	1	1.418,04	14,27
10	12	105.639,00	135.287,00	240.926,00	0	1.272,65	10,13
10	13	115.936,00	121.039,00	236.975,00	0	1.437,36	8,00
10	14	102.910,00	121.449,00	224.359,00	0	1.287,92	8,00
10	15	111.635,00	119.485,00	231.120,00	0	1.455,60	8,00
10	16	100.360,00	110.897,00	211.257,00	1	1.263,59	8,00
10	17	128.238,00	135.900,00	264.138,00	0	1.637,70	11,32
10	18	97.641,50	117.814,00	215.455,50	0	1.211,09	8,00
10	19	92.099,90	122.140,00	214.239,90	0	1.128,40	8,00
10	20	93.238,70	122.551,00	215.789,70	1	1.144,80	8,00
10	21	120.128,00	126.957,00	247.085,00	0	1.524,36	8,00
10	22	92.060,80	133.717,00	225.777,80	0	1.127,84	8,00
10	23	105.667,00	131.618,00	237.285,00	0	1.332,19	8,00
10	24	109.968,00	130.854,00	240.822,00	1	1.343,79	8,73
10	25	98.047,70	141.010,00	239.057,70	0	1.210,29	8,00
10	26	101.954,00	149.993,00	251.947,00	0	1.299,88	9,34
10	27	117.138,00	162.205,00	279.343,00	0	1.491,00	19,21
10	28	92.499,50	110.755,00	203.254,50	0	1.149,20	8,00
10	29	96.274,30	118.509,00	214.783,30	1	1.188,51	8,00
11	0	103.290,00	147.499,00	250.789,00	0	1.376,48	10,54
11	1	105.781,00	158.025,00	263.806,00	1	1.396,61	18,09
11	2	83.648,80	140.262,00	223.910,80	0	1.067,24	9,43
11	3	103.784,00	114.574,00	218.358,00	1	1.350,23	10,63
11	4	95.812,10	160.049,00	255.861,10	1	1.187,17	11,35
11	5	104.570,00	164.505,00	269.075,00	1	1.318,86	13,61
11	6	93.041,20	139.372,00	232.413,20	0	1.192,45	10,68
11	7	97.381,00	132.452,00	229.833,00	1	1.230,06	9,71
11	8	102.216,00	126.930,00	229.146,00	0	1.292,80	12,10
11	9	94.601,70	136.439,00	231.040,70	2	1.240,83	11,01
11	10	104.572,00	161.043,00	265.615,00	0	1.342,97	16,23
11	11	97.506,50	136.078,00	233.584,50	1	1.255,74	14,33
11	12	91.250,60	133.912,00	225.162,60	1	1.176,71	18,68
11	13	97.223,00	130.958,00	228.181,00	0	1.273,62	11,95
11	14	98.181,50	129.900,00	228.081,50	1	1.258,15	13,24
11	15	99.565,50	151.435,00	251.000,50	1	1.235,76	14,43
11	16	95.280,30	144.953,00	240.233,30	0	1.224,56	10,78
11	17	99.375,80	110.484,00	209.859,80	1	1.291,00	21,66
11	18	98.306,20	150.099,00	248.405,20	1	1.230,21	9,52
11	19	99.919,40	134.042,00	233.961,40	1	1.260,72	9,89
11	20	91.685,30	155.966,00	247.651,30	0	1.172,92	12,79
11	21	96.504,60	175.182,00	271.686,60	0	1.234,08	14,95
11	22	97.872,90	153.241,00	251.113,90	1	1.302,73	19,57
11	23	99.188,80	113.425,00	212.613,80	1	1.318,12	16,67
11	24	96.251,40	123.112,00	219.363,40	1	1.201,92	16,41
11	25	96.135,30	130.959,00	227.094,30	0	1.244,32	8,03
11	26	108.537,00	139.359,00	247.896,00	1	1.412,27	22,20
11	27	98.903,20	141.357,00	240.260,20	1	1.271,08	8,00
11	28	101.629,00	143.230,00	244.859,00	1	1.328,46	23,67
11	29	103.157,00	118.240,00	221.397,00	0	1.335,69	10,79
12	0	106.964,00	205.272,00	312.236,00	1	1.365,52	10,68
12	1	101.623,00	163.942,00	265.565,00	0	1.284,08	8,35
12	2	112.109,00	151.107,00	263.216,00	1	1.450,70	11,27
12	3	124.735,00	177.518,00	302.253,00	0	1.613,76	12,51
12	4	117.687,00	174.479,00	292.166,00	0	1.534,68	12,46
12	5	105.969,00	194.934,00	300.903,00	1	1.357,70	13,20
12	6	124.529,00	188.192,00	312.721,00	0	1.594,21	10,63
12	7	111.975,00	178.635,00	290.610,00	0	1.359,78	8,89
12	8	101.308,00	137.780,00	239.088,00	1	1.280,55	8,00

Instância	Replica-ção	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
12	9	111.920,00	197.691,00	309.611,00	0	1.447,97	11,45
12	10	113.312,00	159.305,00	272.617,00	0	1.480,45	15,25
12	11	107.617,00	183.173,00	290.790,00	1	1.376,45	13,15
12	12	122.353,00	163.148,00	285.501,00	0	1.513,08	8,00
12	13	115.558,00	127.581,00	243.139,00	0	1.516,76	9,28
12	14	110.828,00	135.074,00	245.902,00	0	1.444,68	8,00
12	15	118.361,00	183.384,00	301.745,00	1	1.521,98	11,40
12	16	116.209,00	194.242,00	310.451,00	0	1.474,22	14,17
12	17	95.392,80	138.123,00	233.515,80	1	1.195,04	8,08
12	18	108.910,00	145.383,00	254.293,00	0	1.393,88	8,00
12	19	107.987,00	204.166,00	312.153,00	0	1.380,59	17,54
12	20	114.194,00	177.876,00	292.070,00	0	1.480,72	15,19
12	21	117.887,00	204.658,00	322.545,00	1	1.515,15	9,01
12	22	104.398,00	109.939,00	214.337,00	0	1.303,44	9,66
12	23	100.460,00	182.555,00	283.015,00	0	1.268,35	9,88
12	24	125.987,00	208.819,00	334.806,00	0	1.627,65	14,63
12	25	97.627,20	139.678,00	237.305,20	1	1.227,22	8,00
12	26	113.653,00	131.270,00	244.923,00	0	1.439,82	9,60
12	27	107.929,00	174.347,00	282.276,00	0	1.402,94	10,98
12	28	110.057,00	145.680,00	255.737,00	1	1.411,59	9,15
12	29	110.160,00	109.977,00	220.137,00	0	1.408,23	8,17
13	0	110.317,00	133.536,00	243.853,00	0	1.391,17	16,40
13	1	95.147,00	103.290,00	198.437,00	1	1.218,30	8,00
13	2	114.224,00	129.925,00	244.149,00	0	1.377,06	8,00
13	3	113.014,00	103.665,00	216.679,00	1	1.366,31	8,00
13	4	99.549,90	111.041,00	210.590,90	0	1.281,70	8,00
13	5	115.268,00	105.713,00	220.981,00	1	1.430,64	8,00
13	6	98.218,30	130.272,00	228.490,30	0	1.259,30	8,00
13	7	96.153,90	108.938,00	205.091,90	1	1.229,58	8,00
13	8	122.693,00	112.515,00	235.208,00	0	1.511,79	8,00
13	9	99.549,90	100.776,00	200.325,90	1	1.281,70	8,51
13	10	120.458,00	123.127,00	243.585,00	0	1.530,82	8,06
13	11	116.369,00	128.632,00	245.001,00	1	1.400,75	8,00
13	12	98.186,30	118.483,00	216.669,30	0	1.270,57	8,00
13	13	116.733,00	114.486,00	231.219,00	1	1.407,69	8,00
13	14	112.552,00	111.620,00	224.172,00	1	1.372,77	8,00
13	15	100.346,00	114.671,00	215.017,00	0	1.275,92	8,00
13	16	107.692,00	90.823,30	198.515,30	1	1.341,64	8,00
13	17	109.257,00	108.426,00	217.683,00	1	1.334,35	8,00
13	18	118.060,00	117.553,00	235.613,00	0	1.485,62	8,00
13	19	98.186,30	106.703,00	204.889,30	1	1.270,57	8,29
13	20	101.394,00	115.297,00	216.691,00	0	1.246,38	8,00
13	21	122.918,00	108.745,00	231.663,00	1	1.537,88	8,00
13	22	114.224,00	127.545,00	241.769,00	0	1.377,06	8,00
13	23	108.534,00	101.596,00	210.130,00	1	1.326,25	8,00
13	24	108.984,00	105.503,00	214.487,00	1	1.360,25	10,33
13	25	124.171,00	112.754,00	236.925,00	0	1.488,46	8,00
13	26	118.182,00	138.127,00	256.309,00	1	1.482,64	8,00
13	27	108.534,00	112.756,00	221.290,00	1	1.326,25	8,00
13	28	105.322,00	105.734,00	211.056,00	1	1.319,24	8,00
13	29	98.186,30	103.463,00	201.649,30	0	1.270,57	8,00
14	0	142.248,00	133.480,00	275.728,00	1	1.758,29	8,00
14	1	174.439,00	195.266,00	369.705,00	0	2.088,54	11,39
14	2	163.218,00	136.720,00	299.938,00	0	1.962,86	8,00
14	3	143.988,00	154.529,00	298.517,00	1	1.777,77	8,00
14	4	149.840,00	177.977,00	327.817,00	0	1.862,04	8,00
14	5	152.553,00	132.209,00	284.762,00	0	1.849,96	8,00
14	6	157.474,00	162.231,00	319.705,00	1	1.905,07	8,00
14	7	152.408,00	161.617,00	314.025,00	0	1.899,04	8,00
14	8	169.384,00	161.694,00	331.078,00	0	2.069,58	8,25
14	9	143.988,00	135.869,00	279.857,00	1	1.777,77	8,00
14	10	143.988,00	144.239,00	288.227,00	0	1.777,77	8,00

Instância	Replica-ção	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
14	11	175.046,00	152.421,00	327.467,00	0	2.132,99	10,23
14	12	150.813,00	144.180,00	294.993,00	0	1.830,48	8,00
14	13	173.514,00	169.316,00	342.830,00	1	2.129,05	8,89
14	14	167.644,00	153.204,00	320.848,00	0	2.050,09	8,63
14	15	163.218,00	161.170,00	324.388,00	0	1.962,86	8,00
14	16	163.218,00	130.090,00	293.308,00	0	1.962,86	8,00
14	17	185.621,00	176.207,00	361.828,00	0	2.342,94	12,15
14	18	143.988,00	147.869,00	291.857,00	1	1.777,77	8,00
14	19	161.840,00	200.330,00	362.170,00	0	1.953,98	8,31
14	20	168.113,00	189.155,00	357.268,00	0	2.049,50	8,00
14	21	166.716,00	142.151,00	308.867,00	0	2.008,59	8,00
14	22	143.988,00	150.159,00	294.147,00	1	1.777,77	8,00
14	23	167.644,00	148.734,00	316.378,00	0	2.050,09	8,00
14	24	166.610,00	164.791,00	331.401,00	0	2.000,85	8,37
14	25	163.218,00	170.390,00	333.608,00	0	1.962,86	8,00
14	26	163.218,00	179.200,00	342.418,00	1	1.962,86	8,00
14	27	152.553,00	157.169,00	309.722,00	0	1.849,96	8,00
14	28	170.814,00	152.722,00	323.536,00	0	2.090,16	8,00
14	29	163.038,00	140.950,00	303.988,00	1	1.972,51	8,00
15	0	123.694,00	140.165,00	263.859,00	0	1.567,43	12,84
15	1	102.890,00	130.953,00	233.843,00	0	1.304,05	8,00
15	2	133.077,00	159.731,00	292.808,00	1	1.723,20	8,00
15	3	125.230,00	146.051,00	271.281,00	0	1.603,30	8,62
15	4	123.805,00	130.962,00	254.767,00	0	1.541,09	8,00
15	5	118.074,00	115.220,00	233.294,00	1	1.486,69	8,00
15	6	115.930,00	128.749,00	244.679,00	0	1.457,49	13,62
15	7	102.890,00	139.816,00	242.706,00	1	1.304,05	8,32
15	8	125.067,00	158.469,00	283.536,00	0	1.613,42	8,00
15	9	114.964,00	155.369,00	270.333,00	1	1.462,37	11,12
15	10	113.861,00	113.404,00	227.265,00	1	1.439,25	8,00
15	11	125.409,00	127.288,00	252.697,00	0	1.497,69	8,00
15	12	114.068,00	159.498,00	273.566,00	1	1.474,94	8,26
15	13	120.980,00	146.549,00	267.529,00	0	1.618,93	8,00
15	14	126.439,00	165.075,00	291.514,00	1	1.663,01	8,00
15	15	113.984,00	167.365,00	281.349,00	0	1.473,73	8,17
15	16	123.805,00	148.909,00	272.714,00	1	1.541,09	11,38
15	17	119.458,00	148.111,00	267.569,00	0	1.525,72	12,08
15	18	111.897,00	142.106,00	254.003,00	1	1.379,00	9,61
15	19	113.861,00	112.244,00	226.105,00	1	1.439,25	8,00
15	20	118.803,00	133.519,00	252.322,00	1	1.469,25	8,00
15	21	113.984,00	152.065,00	266.049,00	1	1.473,73	8,00
15	22	127.546,00	140.250,00	267.796,00	0	1.571,37	8,13
15	23	118.647,00	122.225,00	240.872,00	1	1.426,26	8,00
15	24	109.473,00	147.733,00	257.206,00	1	1.423,47	8,00
15	25	127.443,00	145.373,00	272.816,00	1	1.612,84	8,00
15	26	119.776,00	145.596,00	265.372,00	0	1.543,98	8,00
15	27	118.993,00	145.675,00	264.668,00	1	1.505,27	8,00
15	28	110.946,00	146.901,00	257.847,00	1	1.432,35	8,00
15	29	119.110,00	148.722,00	267.832,00	0	1.534,39	14,98
16	0	184.546,00	164.022,00	348.568,00	0	2.284,42	11,18
16	1	186.593,00	169.348,00	355.941,00	1	2.310,33	8,59
16	2	183.871,00	167.572,00	351.443,00	0	2.243,45	9,44
16	3	186.444,00	175.353,00	361.797,00	0	2.272,27	9,48
16	4	168.587,00	158.310,00	326.897,00	1	2.054,80	8,00
16	5	194.033,00	178.017,00	372.050,00	0	2.401,04	11,51
16	6	192.605,00	161.648,00	354.253,00	0	2.379,10	8,00
16	7	179.107,00	201.664,00	380.771,00	1	2.206,80	18,57
16	8	198.891,00	151.684,00	350.575,00	0	2.449,51	8,00
16	9	177.358,00	173.997,00	351.355,00	1	2.203,92	8,00
16	10	195.242,00	175.608,00	370.850,00	0	2.407,19	10,70
16	11	168.113,00	154.355,00	322.468,00	1	2.049,50	12,44
16	12	185.000,00	193.724,00	378.724,00	0	2.374,90	9,85

Instância	Replica-ção	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
16	13	196.536,00	171.279,00	367.815,00	0	2.400,04	12,30
16	14	170.147,00	160.960,00	331.107,00	1	2.083,94	8,01
16	15	165.047,00	161.144,00	326.191,00	0	1.997,64	8,00
16	16	200.320,00	168.204,00	368.524,00	1	2.471,45	11,33
16	17	152.553,00	153.799,00	306.352,00	0	1.849,96	8,00
16	18	165.047,00	175.364,00	340.411,00	1	1.997,64	8,00
16	19	165.682,00	181.002,00	346.684,00	0	2.028,49	12,32
16	20	197.815,00	175.089,00	372.904,00	1	2.436,01	10,24
16	21	189.448,00	171.628,00	361.076,00	0	2.370,73	8,00
16	22	208.457,00	172.028,00	380.485,00	0	2.555,20	8,00
16	23	170.147,00	162.600,00	332.747,00	1	2.083,94	8,00
16	24	185.701,00	176.958,00	362.659,00	0	2.289,09	10,70
16	25	143.988,00	153.479,00	297.467,00	1	1.777,77	8,00
16	26	197.815,00	181.859,00	379.674,00	0	2.436,01	13,28
16	27	199.926,00	181.748,00	381.674,00	0	2.492,11	8,00
16	28	180.700,00	168.053,00	348.753,00	0	2.207,93	8,09
16	29	197.387,00	183.215,00	380.602,00	1	2.429,84	10,59
17	0	116.830,00	170.239,00	287.069,00	1	1.511,28	10,36
17	1	108.913,00	142.963,00	251.876,00	0	1.387,56	24,07
17	2	118.784,00	215.978,00	334.762,00	1	1.552,70	15,04
17	3	107.906,00	153.954,00	261.860,00	1	1.376,28	9,79
17	4	118.390,00	151.913,00	270.303,00	0	1.510,34	13,09
17	5	121.867,00	193.525,00	315.392,00	1	1.599,85	8,61
17	6	114.763,00	178.814,00	293.577,00	1	1.451,75	18,94
17	7	113.758,00	188.083,00	301.841,00	0	1.450,64	22,95
17	8	116.950,00	138.638,00	255.588,00	1	1.493,89	8,00
17	9	114.837,00	144.076,00	258.913,00	1	1.476,09	8,99
17	10	128.590,00	173.963,00	302.553,00	1	1.664,67	12,78
17	11	121.098,00	159.005,00	280.103,00	1	1.498,91	11,95
17	12	121.934,00	175.390,00	297.324,00	1	1.585,03	13,63
17	13	113.697,00	191.183,00	304.880,00	0	1.449,77	15,26
17	14	117.109,00	173.468,00	290.577,00	1	1.515,56	18,16
17	15	121.358,00	180.734,00	302.092,00	1	1.518,73	15,49
17	16	119.434,00	167.697,00	287.131,00	1	1.501,70	8,00
17	17	121.453,00	181.509,00	302.962,00	1	1.580,07	8,39
17	18	114.837,00	142.266,00	257.103,00	0	1.476,09	9,43
17	19	122.526,00	170.738,00	293.264,00	1	1.555,25	27,67
17	20	123.159,00	141.046,00	264.205,00	0	1.545,37	8,40
17	21	114.891,00	151.327,00	266.218,00	1	1.419,12	8,00
17	22	133.477,00	160.711,00	294.188,00	2	1.713,37	13,93
17	23	108.541,00	159.846,00	268.387,00	0	1.421,78	8,64
17	24	129.593,00	131.987,00	261.580,00	1	1.631,27	11,73
17	25	120.861,00	197.956,00	318.817,00	0	1.588,57	12,10
17	26	125.235,00	153.420,00	278.655,00	1	1.634,52	15,82
17	27	113.697,00	183.003,00	296.700,00	0	1.449,77	14,70
17	28	110.713,00	185.809,00	296.522,00	1	1.381,97	13,03
17	29	127.876,00	164.163,00	292.039,00	1	1.660,62	10,91
18	0	180.650,00	222.701,00	403.351,00	0	2.279,44	8,00
18	1	200.171,00	193.116,00	393.287,00	1	2.463,60	20,22
18	2	178.338,00	241.851,00	420.189,00	0	2.234,22	11,33
18	3	172.036,00	201.548,00	373.584,00	0	2.116,72	8,40
18	4	195.856,00	213.274,00	409.130,00	1	2.443,95	11,48
18	5	191.926,00	179.508,00	371.434,00	0	2.333,67	16,76
18	6	204.479,00	220.705,00	425.184,00	0	2.512,10	13,81
18	7	184.585,00	206.679,00	391.264,00	1	2.331,34	20,39
18	8	196.375,00	190.639,00	387.014,00	0	2.447,81	13,17
18	9	187.003,00	200.939,00	387.942,00	1	2.384,72	11,81
18	10	175.203,00	184.796,00	359.999,00	0	2.150,08	8,00
18	11	185.170,00	229.641,00	414.811,00	1	2.290,54	16,63
18	12	202.937,00	230.379,00	433.316,00	0	2.500,76	13,53
18	13	202.439,00	227.915,00	430.354,00	0	2.493,59	13,29
18	14	204.962,00	233.102,00	438.064,00	1	2.490,60	11,88

Instância	Replicação	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
18	15	193.028,00	202.231,00	395.259,00	0	2.322,26	12,91
18	16	171.475,00	188.465,00	359.940,00	0	2.089,38	8,00
18	17	191.926,00	195.148,00	387.074,00	1	2.333,67	23,43
18	18	171.766,00	167.197,00	338.963,00	0	2.072,89	11,50
18	19	200.320,00	209.404,00	409.724,00	0	2.471,45	15,56
18	20	171.766,00	177.807,00	349.573,00	1	2.072,89	13,72
18	21	192.198,00	220.480,00	412.678,00	0	2.347,65	9,10
18	22	196.375,00	210.569,00	406.944,00	0	2.447,81	11,50
18	23	175.870,00	197.488,00	373.358,00	0	2.186,37	9,63
18	24	170.123,00	209.897,00	380.020,00	1	2.089,17	8,00
18	25	182.770,00	217.368,00	400.138,00	0	2.236,94	11,74
18	26	172.036,00	235.318,00	407.354,00	0	2.116,72	11,46
18	27	201.049,00	235.424,00	436.473,00	0	2.479,62	15,29
18	28	198.982,00	178.770,00	377.752,00	1	2.477,01	20,03
18	29	172.036,00	182.158,00	354.194,00	0	2.116,72	9,11
19	0	78.847,30	94.652,30	173.499,60	0	977,10	8,00
19	1	76.857,60	112.643,00	189.500,60	1	966,47	8,00
19	2	87.629,20	99.849,60	187.478,80	0	1.079,07	8,00
19	3	84.870,20	102.101,00	186.971,20	1	1.063,57	8,00
19	4	78.371,60	103.337,00	181.708,60	1	968,90	8,00
19	5	90.374,50	99.205,60	189.580,10	0	1.117,62	8,00
19	6	80.932,50	103.286,00	184.218,50	1	1.004,17	9,20
19	7	79.166,40	89.905,60	169.072,00	0	990,69	8,94
19	8	96.089,40	123.056,00	219.145,40	0	1.219,61	8,00
19	9	83.703,70	98.711,60	182.415,30	0	1.046,43	8,00
19	10	77.986,10	103.815,00	181.801,10	1	963,72	8,00
19	11	79.322,20	101.834,00	181.156,20	0	982,59	8,00
19	12	85.523,30	104.456,00	189.979,30	1	1.069,53	8,00
19	13	85.230,10	89.312,30	174.542,40	0	1.062,50	8,00
19	14	71.783,00	107.842,00	179.625,00	1	898,15	8,00
19	15	74.249,10	107.818,00	182.067,10	1	946,66	8,00
19	16	81.212,50	96.716,80	177.929,30	0	1.012,13	8,00
19	17	75.714,40	99.686,10	175.400,50	1	905,99	8,00
19	18	73.547,00	99.850,80	173.397,80	1	921,45	8,00
19	19	75.552,70	96.424,20	171.976,90	0	949,32	8,00
19	20	95.287,90	112.651,00	207.938,90	0	1.179,91	8,00
19	21	74.227,10	85.699,20	159.926,30	1	918,49	8,00
19	22	78.890,80	89.292,30	168.183,10	1	965,82	8,00
19	23	83.755,40	103.526,00	187.281,40	0	1.032,15	8,00
19	24	79.699,20	102.155,00	181.854,20	1	989,01	8,00
19	25	75.072,30	93.230,60	168.302,90	0	949,56	8,00
19	26	77.191,70	102.864,00	180.055,70	1	966,99	8,00
19	27	82.072,70	99.003,30	181.076,00	0	1.004,45	8,00
19	28	79.870,40	92.225,50	172.095,90	1	1.006,22	8,00
19	29	79.994,50	101.302,00	181.296,50	0	990,39	8,00
20	0	66.650,30	118.627,00	185.277,30	0	855,11	8,00
20	1	65.608,90	103.457,00	169.065,90	1	842,36	8,00
20	2	68.961,90	120.226,00	189.187,90	0	890,64	8,00
20	3	74.701,00	136.704,00	211.405,00	0	944,41	8,00
20	4	71.533,10	116.298,00	187.831,10	1	927,67	8,00
20	5	77.222,60	134.277,00	211.499,60	0	1.007,35	8,00
20	6	88.647,30	141.114,00	229.761,30	0	1.161,48	8,00
20	7	68.961,90	126.886,00	195.847,90	0	890,64	8,00
20	8	74.450,30	126.631,00	201.081,30	1	934,53	10,87
20	9	66.238,40	132.642,00	198.880,40	0	839,44	8,15
20	10	70.831,00	140.060,00	210.891,00	1	902,53	8,00
20	11	80.751,80	115.643,00	196.394,80	0	1.028,96	8,00
20	12	76.687,50	113.877,00	190.564,50	1	968,20	8,00
20	13	71.587,50	117.503,00	189.090,50	0	918,91	8,00
20	14	71.788,40	113.407,00	185.195,40	0	914,54	8,00
20	15	70.673,50	143.138,00	213.811,50	1	911,50	8,00
20	16	77.979,10	128.518,00	206.497,10	0	984,62	8,00

Instância	Replica-ção	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
20	17	89.515,90	136.673,00	226.188,90	0	1.174,20	8,00
20	18	73.193,40	115.151,00	188.344,40	1	944,31	8,00
20	19	79.538,10	125.969,00	205.507,10	0	1.004,22	8,00
20	20	80.628,30	123.728,00	204.356,30	1	1.013,79	8,00
20	21	77.348,40	117.430,00	194.778,40	0	1.003,96	10,80
20	22	81.082,50	120.951,00	202.033,50	0	1.018,88	8,00
20	23	82.575,50	126.927,00	209.502,50	0	1.042,61	8,00
20	24	72.234,90	112.781,00	185.015,90	1	935,53	8,00
20	25	72.126,90	125.493,00	197.619,90	0	905,39	8,00
20	26	71.587,50	116.703,00	188.290,50	0	918,91	8,00
20	27	76.928,30	124.966,00	201.894,30	1	998,57	10,13
20	28	76.620,10	131.022,00	207.642,10	0	986,09	10,39
20	29	77.448,90	145.961,00	223.409,90	1	1.012,85	8,00
21	0	76.993,20	157.887,00	234.880,20	0	988,77	15,98
21	1	72.089,90	149.869,00	221.958,90	0	935,13	8,00
21	2	81.716,10	135.601,00	217.317,10	1	1.012,76	12,14
21	3	78.265,10	148.351,00	226.616,10	0	982,97	9,77
21	4	73.909,20	169.669,00	243.578,20	1	951,45	10,31
21	5	94.905,50	147.531,00	242.436,50	0	1.182,33	12,91
21	6	78.512,90	140.105,00	218.617,90	1	985,55	8,00
21	7	77.122,50	142.125,00	219.247,50	0	986,62	9,59
21	8	83.124,00	170.027,00	253.151,00	0	1.072,85	10,10
21	9	78.952,90	154.218,00	233.170,90	1	990,62	17,19
21	10	83.360,30	146.748,00	230.108,30	0	1.084,69	13,38
21	11	78.726,40	152.122,00	230.848,40	0	996,54	11,33
21	12	68.020,30	129.818,00	197.838,30	0	876,53	9,68
21	13	92.000,10	151.788,00	243.788,10	1	1.209,10	10,08
21	14	73.588,20	139.914,00	213.502,20	0	939,37	12,09
21	15	80.728,50	150.132,00	230.860,50	0	1.009,76	11,86
21	16	76.822,90	138.319,00	215.141,90	1	984,61	8,87
21	17	76.114,30	120.887,00	197.001,30	1	989,44	8,00
21	18	76.003,70	128.074,00	204.077,70	0	986,24	8,10
21	19	74.253,10	126.881,00	201.134,10	0	928,22	8,00
21	20	71.410,10	117.060,00	188.470,10	1	913,20	9,22
21	21	71.814,40	130.893,00	202.707,40	0	919,03	8,00
21	22	96.587,20	168.774,00	265.361,20	0	1.211,42	14,61
21	23	72.691,60	130.019,00	202.710,60	1	937,17	16,30
21	24	84.732,00	148.509,00	233.241,00	0	1.101,96	9,90
21	25	81.537,50	152.888,00	234.425,50	0	1.022,18	21,04
21	26	89.443,00	167.459,00	256.902,00	1	1.110,31	10,96
21	27	99.008,00	176.331,00	275.339,00	0	1.274,20	21,76
21	28	77.275,00	146.201,00	223.476,00	0	991,43	8,00
21	29	74.761,90	131.838,00	206.599,90	0	947,47	8,00
22	0	89.807,70	94.085,90	183.893,60	1	1.088,76	8,00
22	1	86.091,80	103.964,00	190.055,80	1	1.058,74	8,00
22	2	87.314,40	97.693,80	185.008,20	0	1.070,48	8,00
22	3	85.404,70	115.025,00	200.429,70	1	1.062,17	8,00
22	4	80.114,70	100.534,00	180.648,70	0	994,96	8,00
22	5	75.131,50	100.983,00	176.114,50	1	934,31	8,00
22	6	81.103,20	101.117,00	182.220,20	0	993,82	8,00
22	7	89.797,30	95.079,00	184.876,30	0	1.098,29	8,00
22	8	81.103,20	90.246,80	171.350,00	1	993,82	8,00
22	9	90.736,70	77.977,20	168.713,90	0	1.101,44	8,00
22	10	88.744,20	93.732,40	182.476,60	0	1.144,78	9,74
22	11	87.617,40	101.067,00	188.684,40	1	1.077,58	8,46
22	12	80.139,90	93.044,80	173.184,70	0	1.000,38	8,00
22	13	91.158,00	100.144,00	191.302,00	0	1.116,45	9,55
22	14	79.105,30	105.671,00	184.776,30	1	971,45	8,00
22	15	78.109,30	90.889,90	168.999,20	0	927,16	10,35
22	16	87.291,40	81.977,70	169.269,10	1	1.062,85	8,00
22	17	87.330,00	95.157,90	182.487,90	0	1.074,36	8,00
22	18	85.460,50	88.303,80	173.764,30	1	1.053,42	8,00

Instância	Replica-ção	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
22	19	91.443,20	114.750,00	206.193,20	0	1.124,51	8,00
22	20	86.214,10	120.411,00	206.625,10	0	1.123,88	9,77
22	21	85.388,50	90.144,80	175.533,30	1	1.041,88	8,00
22	22	93.682,30	100.002,00	193.684,30	1	1.154,86	8,00
22	23	88.206,70	83.967,30	172.174,00	0	1.084,18	8,00
22	24	85.539,80	99.490,40	185.030,20	1	1.030,71	8,00
22	25	85.086,20	85.914,40	171.000,60	0	1.058,43	8,00
22	26	76.405,00	97.337,60	173.742,60	1	941,54	8,00
22	27	81.927,20	89.925,60	171.852,80	0	1.003,05	8,00
22	28	86.512,60	90.537,40	177.050,00	1	1.050,13	8,00
22	29	84.270,50	94.932,00	179.202,50	0	1.016,50	8,00
23	0	94.076,50	81.613,60	175.690,10	1	1.184,15	8,00
23	1	90.805,30	104.131,00	194.936,30	0	1.101,51	8,00
23	2	107.879,00	120.961,00	228.840,00	1	1.389,63	8,00
23	3	106.566,00	112.713,00	219.279,00	0	1.397,14	8,00
23	4	88.735,30	123.846,00	212.581,30	1	1.144,66	8,00
23	5	92.154,50	100.279,00	192.433,50	0	1.133,38	8,90
23	6	102.733,00	117.163,00	219.896,00	0	1.240,78	8,00
23	7	97.303,50	116.494,00	213.797,50	1	1.193,04	8,00
23	8	95.498,20	126.370,00	221.868,20	0	1.247,45	8,19
23	9	93.542,00	121.028,00	214.570,00	1	1.137,84	14,16
23	10	95.312,90	121.288,00	216.600,90	0	1.160,51	8,00
23	11	92.818,60	103.615,00	196.433,60	1	1.125,98	17,12
23	12	99.599,60	126.928,00	226.527,60	0	1.218,59	10,54
23	13	93.547,10	104.003,00	197.550,10	1	1.150,97	8,00
23	14	97.575,60	98.737,20	196.312,80	0	1.190,80	8,00
23	15	118.347,00	133.846,00	252.193,00	1	1.496,07	8,00
23	16	93.517,00	109.372,00	202.889,00	0	1.143,26	8,11
23	17	88.740,20	93.603,90	182.344,10	1	1.089,58	8,00
23	18	93.517,00	118.787,00	212.304,00	0	1.143,26	8,00
23	19	88.908,70	103.361,00	192.269,70	1	1.134,50	8,89
23	20	104.416,00	100.725,00	205.141,00	0	1.267,41	8,00
23	21	101.266,00	83.147,50	184.413,50	0	1.232,13	8,11
23	22	89.056,10	129.215,00	218.271,10	1	1.095,55	8,13
23	23	98.742,70	99.089,20	197.831,90	0	1.203,87	8,00
23	24	96.698,90	110.124,00	206.822,90	1	1.180,98	8,00
23	25	97.827,20	99.335,60	197.162,80	0	1.244,18	8,00
23	26	100.345,00	123.834,00	224.179,00	0	1.291,55	11,29
23	27	88.021,10	104.847,00	192.868,10	1	1.119,44	8,00
23	28	116.555,00	134.382,00	250.937,00	0	1.486,29	10,54
23	29	91.774,30	91.915,10	183.689,40	1	1.118,04	8,00
24	0	100.394,00	131.013,00	231.407,00	0	1.240,86	17,52
24	1	102.679,00	119.190,00	221.869,00	0	1.264,09	8,39
24	2	116.604,00	153.737,00	270.341,00	1	1.447,32	11,62
24	3	108.139,00	160.765,00	268.904,00	0	1.346,52	10,92
24	4	112.538,00	121.173,00	233.711,00	0	1.396,45	8,68
24	5	106.886,00	155.315,00	262.201,00	1	1.370,90	10,14
24	6	105.045,00	125.903,00	230.948,00	0	1.304,50	11,78
24	7	106.517,00	159.034,00	265.551,00	1	1.327,81	9,70
24	8	103.579,00	127.790,00	231.369,00	1	1.282,99	12,01
24	9	98.276,70	123.982,00	222.258,70	0	1.228,69	8,00
24	10	107.485,00	123.720,00	231.205,00	1	1.317,91	13,88
24	11	114.487,00	160.067,00	274.554,00	0	1.459,77	12,49
24	12	99.496,90	181.283,00	280.779,90	1	1.258,67	9,32
24	13	104.055,00	145.647,00	249.702,00	0	1.314,67	24,01
24	14	102.248,00	174.005,00	276.253,00	1	1.304,05	9,77
24	15	110.943,00	128.193,00	239.136,00	1	1.418,23	27,42
24	16	105.221,00	168.983,00	274.204,00	0	1.377,72	12,30
24	17	123.306,00	174.631,00	297.937,00	1	1.563,50	22,38
24	18	110.619,00	181.838,00	292.457,00	0	1.417,00	10,11
24	19	114.767,00	191.758,00	306.525,00	1	1.432,41	12,47
24	20	99.485,70	141.898,00	241.383,70	0	1.254,67	12,57

Instância	Replica-ção	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
24	21	103.739,00	129.492,00	233.231,00	1	1.289,02	11,77
24	22	103.913,00	163.588,00	267.501,00	0	1.297,23	10,60
24	23	113.999,00	163.591,00	277.590,00	1	1.399,69	15,75
24	24	105.300,00	123.291,00	228.591,00	0	1.319,78	13,42
24	25	109.274,00	137.908,00	247.182,00	2	1.394,01	17,38
24	26	108.883,00	110.416,00	219.299,00	0	1.318,59	9,99
24	27	110.201,00	151.345,00	261.546,00	0	1.418,57	12,67
24	28	105.996,00	137.734,00	243.730,00	1	1.384,87	8,00
24	29	120.784,00	169.685,00	290.469,00	0	1.567,47	19,78
25	0	153.221,00	120.414,00	273.635,00	0	1.909,98	8,00
25	1	141.307,00	133.597,00	274.904,00	0	1.803,07	8,00
25	2	154.020,00	118.716,00	272.736,00	0	1.926,46	8,00
25	3	139.122,00	148.397,00	287.519,00	1	1.778,60	11,81
25	4	150.326,00	155.790,00	306.116,00	0	1.917,89	8,00
25	5	154.114,00	139.129,00	293.243,00	1	1.969,06	8,00
25	6	133.272,00	175.968,00	309.240,00	0	1.683,27	8,54
25	7	151.789,00	121.953,00	273.742,00	1	1.894,34	8,00
25	8	161.984,00	136.003,00	297.987,00	0	2.072,23	8,00
25	9	152.052,00	148.551,00	300.603,00	0	1.924,24	8,00
25	10	155.705,00	149.144,00	304.849,00	0	1.976,84	8,90
25	11	157.851,00	146.707,00	304.558,00	1	2.021,79	10,21
25	12	141.307,00	140.917,00	282.224,00	0	1.803,07	8,00
25	13	152.198,00	149.679,00	301.877,00	1	1.895,24	8,00
25	14	137.265,00	144.162,00	281.427,00	1	1.740,77	8,00
25	15	145.537,00	139.996,00	285.533,00	0	1.836,16	8,00
25	16	141.307,00	143.117,00	284.424,00	0	1.803,07	8,00
25	17	148.045,00	151.219,00	299.264,00	0	1.849,87	8,00
25	18	147.842,00	149.999,00	297.841,00	1	1.904,17	9,92
25	19	151.064,00	143.195,00	294.259,00	0	1.893,35	8,00
25	20	153.233,00	139.938,00	293.171,00	0	1.910,15	8,96
25	21	151.895,00	143.889,00	295.784,00	1	1.902,63	11,53
25	22	153.221,00	142.544,00	295.765,00	0	1.909,98	8,00
25	23	141.307,00	135.187,00	276.494,00	0	1.803,07	8,00
25	24	153.221,00	114.154,00	267.375,00	1	1.909,98	8,00
25	25	141.307,00	125.667,00	266.974,00	0	1.803,07	8,00
25	26	135.826,00	131.382,00	267.208,00	1	1.712,44	8,00
25	27	139.766,00	123.801,00	263.567,00	0	1.769,18	8,00
25	28	153.221,00	129.189,00	282.410,00	1	1.909,98	8,00
25	29	151.666,00	113.879,00	265.545,00	0	1.892,56	8,00
26	0	150.585,00	134.916,00	285.501,00	0	1.872,02	8,00
26	1	171.143,00	202.551,00	373.694,00	0	2.164,14	9,32
26	2	155.275,00	139.315,00	294.590,00	1	1.975,02	8,00
26	3	167.176,00	153.005,00	320.181,00	0	2.081,74	18,24
26	4	137.272,00	155.738,00	293.010,00	1	1.782,24	8,00
26	5	146.139,00	137.449,00	283.588,00	0	1.837,91	8,00
26	6	144.715,00	133.949,00	278.664,00	1	1.840,15	10,13
26	7	148.717,00	155.747,00	304.464,00	0	1.895,79	10,86
26	8	143.646,00	135.762,00	279.408,00	1	1.810,23	8,00
26	9	152.542,00	134.767,00	287.309,00	0	1.909,87	8,00
26	10	158.342,00	137.082,00	295.424,00	1	1.967,09	8,00
26	11	150.585,00	129.266,00	279.851,00	0	1.872,02	8,00
26	12	144.271,00	163.142,00	307.413,00	1	1.869,14	8,00
26	13	149.905,00	120.528,00	270.433,00	0	1.841,59	8,00
26	14	134.912,00	147.952,00	282.864,00	0	1.717,15	8,00
26	15	143.402,00	154.378,00	297.780,00	1	1.870,51	8,00
26	16	165.282,00	164.605,00	329.887,00	0	2.066,85	8,00
26	17	135.107,00	143.201,00	278.308,00	1	1.698,67	8,00
26	18	151.666,00	130.619,00	282.285,00	0	1.892,56	8,00
26	19	149.941,00	147.921,00	297.862,00	1	1.915,29	8,00
26	20	156.134,00	128.300,00	284.434,00	0	1.983,03	8,00
26	21	147.050,00	156.558,00	303.608,00	0	1.897,44	8,00
26	22	147.050,00	146.850,00	293.900,00	1	1.897,44	8,00

Instância	Replicação	Custo Roteirização (US\$)	Penalidade Total (US\$)	Custo Total (US\$)	Tempo de Processamento (s)	Distância Total (milhas)	Duração Máxima (dias)
26	23	143.402,00	171.148,00	314.550,00	0	1.870,51	10,69
26	24	150.902,00	138.253,00	289.155,00	1	1.920,26	10,61
26	25	146.521,00	124.134,00	270.655,00	0	1.844,53	8,00
26	26	141.916,00	147.571,00	289.487,00	1	1.790,86	8,00
26	27	148.717,00	145.093,00	293.810,00	0	1.895,79	9,83
26	28	155.710,00	149.110,00	304.820,00	0	2.060,85	8,00
26	29	169.878,00	149.601,00	319.479,00	0	2.196,19	8,65
27	0	133.877,00	211.168,00	345.045,00	0	1.694,39	12,85
27	1	161.083,00	176.087,00	337.170,00	1	1.994,53	11,43
27	2	145.616,00	152.766,00	298.382,00	0	1.825,87	8,00
27	3	161.282,00	160.866,00	322.148,00	1	2.043,04	8,00
27	4	135.107,00	178.311,00	313.418,00	0	1.698,67	8,49
27	5	145.115,00	247.254,00	392.369,00	1	1.838,48	12,53
27	6	149.270,00	172.961,00	322.231,00	0	1.892,70	8,00
27	7	152.609,00	193.499,00	346.108,00	1	1.934,25	10,88
27	8	143.899,00	169.858,00	313.757,00	0	1.815,36	19,02
27	9	152.482,00	204.756,00	357.238,00	0	1.938,95	11,01
27	10	168.131,00	181.036,00	349.167,00	1	2.152,23	25,46
27	11	156.461,00	161.535,00	317.996,00	0	1.992,91	9,86
27	12	164.304,00	200.703,00	365.007,00	1	2.154,33	15,00
27	13	149.576,00	190.453,00	340.029,00	1	1.847,69	11,98
27	14	145.275,00	150.172,00	295.447,00	0	1.830,77	8,00
27	15	143.810,00	195.603,00	339.413,00	0	1.814,08	19,22
27	16	143.899,00	177.458,00	321.357,00	1	1.815,36	13,84
27	17	162.193,00	178.704,00	340.897,00	0	2.166,14	11,02
27	18	161.688,00	200.875,00	362.563,00	1	2.049,40	14,08
27	19	138.204,00	178.033,00	316.237,00	0	1.733,35	8,00
27	20	162.548,00	179.489,00	342.037,00	1	2.023,77	17,47
27	21	140.955,00	189.643,00	330.598,00	0	1.778,82	13,92
27	22	154.993,00	178.028,00	333.021,00	1	1.966,24	16,38
27	23	166.248,00	195.715,00	361.963,00	1	2.091,95	14,28
27	24	146.230,00	185.263,00	331.493,00	0	1.880,95	16,40
27	25	166.218,00	194.431,00	360.649,00	1	2.091,38	15,99
27	26	136.602,00	185.590,00	322.192,00	0	1.733,64	8,42
27	27	151.623,00	194.396,00	346.019,00	1	1.932,50	11,96
27	28	137.354,00	172.994,00	310.348,00	0	1.742,06	9,39
27	29	149.209,00	168.880,00	318.089,00	1	1.901,73	11,31