

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
UNIDADE ACADÊMICA CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MODELAGEM, SIMULAÇÃO, OTIMIZAÇÃO E
CONTROLE DE PROCESSOS

CARLA JACIARA DE SOUSA

OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSPORTE AÉREO EM PLATAFORMAS
OFFSHORE

MACEIÓ

2015

CARLA JACIARA DE SOUSA

**OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSPORTE AÉREO EM PLATAFORMAS
*OFFSHORE***

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em engenharia química.

Orientador: Prof. Dr. João Inácio Soletti.

Co-orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Sandra Helena V. Carvalho.

MACEIÓ

2015

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecário Responsável: Valter dos Santos Andrade

S725o Sousa, Carla Jaciara de.
Otimização do sistema de transporte aéreo em plataformas offshore / Carla Jaciara de Sousa. – 2015.
64 f. : il.

Orientador: João Inácio Soletti
Coorientadora: Sandra Helena V. Carvalho.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Maceió, 2015.

Bibliografia: f. 61-64.

1. Otimização. 2. Plataforma offshore. 3. Roteamento - Helicópteros.
I. Título.

CDU: 004.4

CARLA JACIARA DE SOUSA

**OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSPORTE AÉREO EM PLATAFORMAS
*OFFSHORE***

Dissertação defendida e julgada em 27 de Março de 2015 e julgada pela comissão examinadora, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. João Inácio Soletti – Orientador
Universidade Federal de Alagoas – UFAL

Prof^a. Dr^a. Sandra Helena V. Carvalho – Co-Orientadora
Universidade Federal de Alagoas – UFAL

Prof. Dr. Wagner Roberto de Oliveira Pimentel
Universidade Federal de Alagoas – UFAL

Prof. Dr. Antônio Martins de Oliveira Junior
Universidade Federal de Sergipe – UFS

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me iluminou e proporcionou sabedoria ao longo deste ano, nos momentos de fraqueza e insegurança.

Aos meus Pais, Piedade e Altino, que me deram a vida e me ensinaram a vivê-la com dignidade; obrigada pelo amor incondicional.

Ao meu padrasto, Marlon e meus irmãos; João Pedro e Vanessa, que me ajudaram nesta caminhada, sempre comemorando minhas vitórias.

Ao meu namorado Lázaro, que sempre esteve ao meu lado, me incentivando com sua paciência, mostrando o quão eu tinha capacidade de ir em frente e nunca desistir dos meus sonhos.

Aos meus colegas de mestrado, em especial; Márcia, Nilson, Aninha, Leonardo e Raisal pela ajuda nos trabalhos e proporcionando momentos de descontração.

Ao João Paulo, que colaborou com o desenvolvimento deste trabalho, esforçando arduamente para entrega do mesmo.

Ao professor João Inácio e a professora Sandra, pelo apoio e disponibilidade em aceitar a orientação desta dissertação.

Aos professores do PPGEQ, pelo conhecimento compartilhado.

A todos, que direta ou indiretamente colaboraram no desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O transporte de pessoas para plataformas *offshore* é realizado através de modais marítimos e aéreos, este último, é predominante, face à sua rapidez, flexibilidade e conforto, considerando a relação de custos benéficos, a perfazer a sustentabilidade contínua da operação. Este trabalho tem por objetivo, otimizar o roteamento de helicópteros com especificidade do transporte humano para plataformas *offshore*, implementando modelo matemático afim de minimizar custos de transporte e atender a demanda das plataformas. Foi desenvolvido um modelo de Programação Linear Inteira Mista (PLIM) onde a função objetiva minimiza o tempo de transporte com restrições de capacidade, atendimento de demanda, escoamento das pessoas, restrições operacionais e demanda. O modelo foi implementado no *software* GAMS (*General Algebraic model system*) e resolvido pelo *solver* CPLEX. Os resultados obtidos mostram que os sistema consegue otimizar o modal logístico minimizando o tempo de transporte e, conseqüentemente, o custo.

Palavras-chave: Otimização, plataforma *offshore*, roteamento de helicópteros.

ABSTRACT

The transportation of personnel to offshore platforms is accomplished through maritime and aerial modes, the latter being predominant due to its speed, flexibility and comfort, considering the cost-benefit relation of a sustainable continuous operation. This work aims to optimize the routing of helicopters used in the transportation of personnel to offshore platforms by implementing a mathematical model which focuses on minimizing transportation costs and meeting the platforms' demands. A MILP model was developed where the objective function minimizes transport time taking into account constraints such as: capacity, services supply, people flow, operational constraints and demand. The model was implemented in the GAMS software (General Algebraic Model System) and solved with the CPLEX solver. The results show that system studied can optimize the logistic services minimizing transportation time and consequently, costs.

Keywords: Optimization, offshore platforms, helicopter routing

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Primeira plataforma <i>offshore</i>	11
Figura 2: Produção e Consumo de petróleo (milhões de barris/dia).	12
Figura 3: Crescimento das reservas provadas de petróleo brasileiras	13
Figura 4: Processo de modelagem	21
Figura 5: Estrutura da Ferramenta	36
Figura 6: Fluxograma – Caso 1	39
Figura 7: Aeronave AW 139 da empresa AgustaWestland.....	40
Figura 8: Aeronave AS365 da empresa Eurocopter	40
Figura 9: Aeronave EC225 da empresa Eurocopter	41
Figura 10: Fluxograma – Caso 2	44
Figura 11: Scheduling – Caso 1	54
Figura 12: <i>Schedulling</i> – Caso 2.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Números de voos que o helicóptero realiza uma viagem na rota e total de pessoas transportadas.....	34
Tabela 2: Tempo que o helicóptero gasta para atender a melhor rota.....	34
Tabela 3: Demanda diária de funcionários – Caso 1	38
Tabela 4: Matriz de distância entre as plataformas – Caso 1	38
Tabela 5: Distância entre o heliporto e as plataformas – Caso 1.....	39
Tabela 6: Custos associados com os helicópteros	41
Tabela 7: Geração de rotas	41
Tabela 8: Possíveis rotas – Caso 1	42
Tabela 9: Demanda diária de funcionários (caso 2)	43
Tabela 10: Matriz de distância entre as plataformas – Caso 2	43
Tabela 11: Distância entre o heliporto e as plataformas – Caso 1.....	44
Tabela 12: Possíveis Rotas (Caso 2).	45
Tabela 13: Tempo em que o helicóptero gasta para percorrer a melhor rota (min) – Caso 1 ..	51
Tabela 14: Número de vezes que o helicóptero percorre a rota – Caso 1	52
Tabela 15: Distância percorrida pelos helicópteros (km) – Caso 1	52
Tabela 16: Quantidade de pessoas transportadas pelos helicópteros – Caso 1	53
Tabela 17: Estatísticas do Modelo 1	54
Tabela 18: Resumo de resolução – Modelo 1	55
Tabela 19: Tempo em que o helicóptero gasta para percorrer a melhor rota (min) – Caso 2 ..	55
Tabela 20: Número de vezes que o helicóptero percorre a rota – Caso 2	56
Tabela 21: Distância percorrida pelos helicópteros (km) – Caso 2.....	56
Tabela 22: Quantidade de pessoas transportadas pelos helicópteros – Caso 2	57
Tabela 23: Estatísticas do Modelo 2.....	58
Tabela 24: Resumo de resolução – Modelo 2	59

LISTA DE ABREVIATURAS

ABEPRO	Associação Brasileira de Engenharia de Produção
AIE	Agência Internacional de Energia
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ASBRAS	Associação Brasileira de Supermercados
ASLOG	Associação Brasileira de Logística
CEL	Centro de Estudos em Logística
GAMS	<i>General Algebraic Modelinh System</i>
IMAM	Instituto de Movimentação e Armazenagem
ITA	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
MERCOSUL	Mercado Comum do Sul
MIP	Programação Linear Inteira Mista
PGR	Procedimento de Gestão de Rotas
PL	Programação Linear
PLIM	Programação Linear Inteira Mista
PO	Pesquisa Operacional
PRV	Problema de Roteamento de Veículo
SCM	<i>Supply Chain Management</i>
SOBRAPO	Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional
TI	Tecnologia da Informação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	12
1.2. JUSTIFICATIVA	14
1.3. OBJETIVOS	16
1.3.1. Objetivo Geral	16
1.3.2. Objetivos Específicos	16
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. PESQUISA OPERACIONAL	18
2.1.1. A evolução da Pesquisa Operacional.....	18
2.1.2. Definições e característica	20
2.1.3. Programação matemática.....	20
2.1.3.1. Programação linear	22
2.2. LOGÍSTICA	24
2.2.1. Conceitos de logística	26
2.2.2. Logística de transporte aéreo	27
2.2.3. Logística no Brasil	28
2.3. PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS.....	30
3. METODOLOGIA	36
4. FORMULAÇÃO MATEMÁTICA.....	38
4.1. ESTUDO DE CASO 1.....	38
4.2. MODELO ALTERNATIVO (ESTUDO DE CASO 2).....	43
4.3. ÍNDICES.....	46
4.4. CONJUNTOS	46
4.5. PARÂMETROS.....	46
4.6. VARIÁVEIS DE DECISÃO	47

4.7.	FUNÇÃO OBJETIVO	47
4.8.	RESTRICÇÕES	47
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
5.1.	CASO 1.....	51
5.1.1.	<i>Schedulling 1</i>	53
5.2.	CASO 2.....	55
5.2.1.	<i>Schedulling 2</i>	57
6.	CONCLUSÃO	60
7.	REFERÊNCIAS	61

1. INTRODUÇÃO

A indústria *offshore* (marítima) mundial teve seu nascimento datado entre os anos 1930 e 1950 na Venezuela e Golfo do México, respectivamente. A partir de então, a exploração começou a se expandir para o Mar do Norte e formou o primeiro *pull* de empresas nesta segmentação, entre elas a Shell, Exxon, Texaco e AGIP (FURTADO, 1996 *apud* NETO e COSTA, 2007).

A exploração de petróleo em reservatórios *offshore* brasileiros em águas mais profundas, segundo a Petrobrás, teve início em 1968, na Bacia de Sergipe, campo de Guaricema, situado a cerca de 30 quilômetros da costa do Estado (Figura 1). A descoberta do poço ocorreu após inúmeros estudos geográficos. Outras descobertas seguiram em 1969, como o Campo de São Mateus e de Ubarana, ambos no Espírito Santo (GOEKING, 2010). Nesta época, as tecnologias disponíveis ainda não permitiam grandes evoluções no processo de extração *offshore*.

Figura 1: Primeira plataforma *offshore*



Fonte: Petrobrás, 2013.

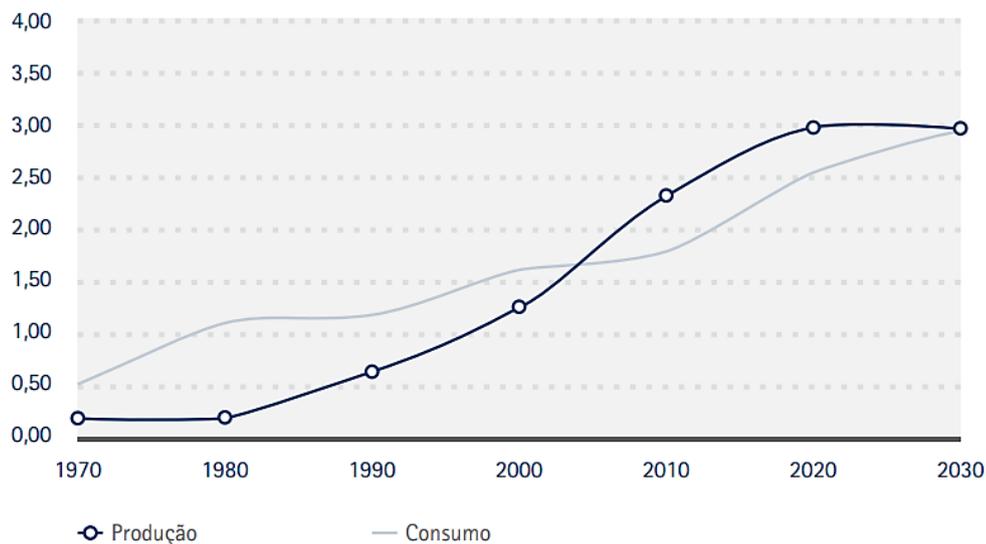
Com várias tecnologias adotadas ao longo dos anos, a Petrobrás atingiu um patamar tecnológico para a exploração de petróleo em águas profundas, o que consolidou a empresa brasileira como um dos principais referenciais internacionais na área de exploração petrolífera em águas profundas e ultraprofundas, com extração de petróleo a mais de dois mil metros de profundidade.

Um exemplo disso, citado por Goeking (2010), é a Bacia de Campos, descoberta em 1974 e localizada entre o norte do Rio de Janeiro e o sul do Espírito Santo. Ela possui 100 mil quilômetros quadrados e sua primeira perfuração ocorreu em 1976. Um ano depois teve início sua exploração comercial. Hoje a bacia é responsável por mais de 80% da extração nacional.

A empresa atingiu a autossuficiência em 2006 em produção de petróleo que corresponde a um tipo de óleo pesado e exige processos mais demorados nas refinarias. Segundo a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), foram exportados 158,1 milhões de barris, com receita de US\$ 13,6 bilhões, em 2008.

De acordo com o Panorama Mundial de Energia 2009 (*World Energy Outlook 2009*), relatório divulgado pela Agência Internacional de Energia (AIE), afirma que o Brasil deve ocupar a sexta posição em 2030 com 3,4 milhões de barris diários (Figura 2), atrás apenas de Arábia Saudita, Rússia, Iraque, Irã e Canadá, devido às descobertas de reservas Pré-sal de petróleo *offshore*, o que demanda de um excelente planejamento logístico, viabilizando suas atividades para atingir a posição esperada.

Figura 2: Produção e Consumo de petróleo (milhões de barris/dia).



Fonte: EPE, 2007.

Investimentos em tecnologia da informação (TI) foram realizados, visando desenvolver sistemas analíticos de planejamento extremamente aderentes, baseados nos mais avançados métodos quantitativos. Em 2004, a Petrobras implementou um sistema de agendamento de helicóptero para o transporte de pessoas para as plataformas (Menezes *et. al.*, 2010).

1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

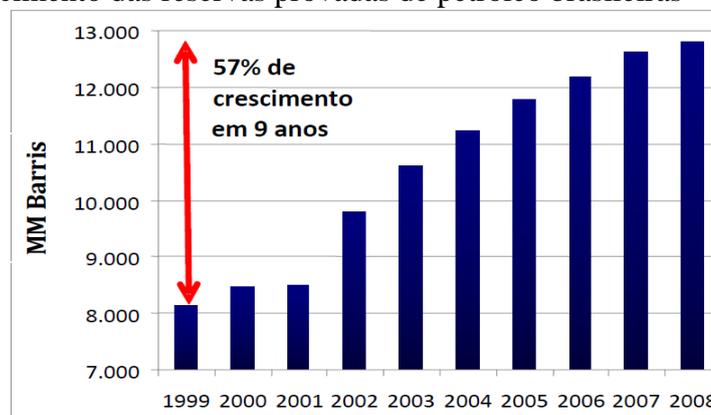
Problemas oriundos de roteamento de veículos são pertinentes de longas datas, e cada vez mais tem sido abordados com maior ênfase, a priorizar por expressa necessidade, a

diminuição de gastos no decorrer do desenvolvimento das atividades em apreciação, desde a sua produção até a sua entrega, no caso de gêneros.

O problema é tão sério, que determinados índices de pesquisas econômicas apontam como responsável pelos acréscimos intrínsecos ao valor da mercadoria, o transporte; neste caso, a interferir negativamente na conjuntura sócio-econômica do país, trazendo consequências diretas ao consumidor, afetando a todos de modo universal. Lambert *et. al.* (1998) relatam que para muitas empresas o transporte representa “o maior custo logístico e uma parcela significativa do seu preço de venda”. O transporte de pessoas através de helicópteros para plataformas *offshore* é uma alternativa economicamente viável pela distância percorrida e pelo difícil acesso a tais locais.

Com grandes descobertas e intensa exploração do Pré-sal, observa-se nitidamente, através do gráfico demonstrado na Figura 2, que as reservas petrolíferas, têm alcançado um crescimento em curto prazo. Isto é proveniente dentre outros fatores, de uma gestão logística que pelos resultados veem sendo capaz de se auto superar a propósitos desafiadores, buscando atender a crescente demanda e se solidificar por meios de sustentabilidade. Os custos de transporte são frequentemente os mais visíveis no planejamento de redes logísticas, podendo atingir até cerca de 30% do total (BALLOU, 2006).

Figura 3: Crescimento das reservas provadas de petróleo brasileiras



Fonte: Sena, 2011.

Desde 2007 vem crescendo as reservas provadas oriundas da camada Pré-sal, na qual abrange o sul do estado do Espírito Santo até o estado de Santa Catarina. Em 2013, segundo a Petrobrás (2014), houve um crescimento de 43% com perfuração de 42 poços comparadas ao ano de 2012.

O nível crescente de atividade de exploração e produção na bacia fez os custos de transporte correspondentes significativo para a empresa e isso levou a gestão local a optar

pelo desenvolvimento de um sistema informatizado para controlar as operações de helicóptero (GALVÃO; GUIMARÃES, 1990).

Inicialmente, um sistema de processamento de dados simples, mais tarde foi modificado para incorporar rotinas mais sofisticadas e um algoritmo para roteamento de helicópteros.

Cabe ressaltar, problemas ao enunciado, a equidistância costeira e ainda a distância coexistente entre as plataformas marítimas, quando, ambos os problemas são intrínsecos a afetar as condições do transporte aéreo em virtude do comprometimento da autonomia da aeronave. O fator economicidade está diretamente relacionado à capacidade numérica de transporte humano e demanda de combustível para realização das operações das viagens em questão.

Tais procedimentos tornam-se reflexos impactantes nos custos logísticos operacionais para extração de petróleo. Então, surge o considerável expoente de se construir ramificações logísticas otimizadas, de forma tal, a viabilizarem a sustentabilidade do empreendimento produtivo, ainda que em extrações/produções realizadas em áreas mais remotas da costa.

Depreende-se que neste complexo de operações e interações, não tão somente os custos, estão relacionados como desafios a serem superados, existem outros, como por exemplo, o fator de autonomia da aeronave, a envolver (combustível, pontos de pousos emergenciais, segurança dos passageiros/tripulação), que são de extrema relevância.

Restrições físicas-temporais devem ser analisadas e incorporadas à metodologia de análise e dimensionamento da frota, de forma a obter resultados mais realistas (ENOMOTO; LIMA, 2007). Por isso a necessidade de se apreciar detidamente e estabelecer parâmetros objetivos de pesquisa operacional para estes quesitos, os quais, ao final possam propiciar economia em detrimento das exigências pertinentes da rede logística. Neste sentido, compete estabelecer traçados a serem adotados pela frota, (aeronaves) com variáveis no tempo, quer seja em médio prazo e em longo prazo.

1.2. JUSTIFICATIVA

Notadamente, o emprego da logística em face das necessidades das plataformas *offshore*, relacionado ao transporte de seus funcionários, trata-se de um dilema crucial a envolver e por vezes comprometer resultados positivos, quanto à exploração petrolífera realizada em tais plataformas. O transporte de pessoas para trabalho em exploração e

produção de petróleo *offshore*, ao longo da história foi realizado através dos modais aéreo (helicópteros) e marítimo (lanchas rápidas). O modal aéreo é predominante nesta atividade devido à rapidez, flexibilidade e conforto proporcionado ao passageiro (BRITTAN; DOUGLAS, 2009).

De acordo com Stalk e Hout (1993), para ser um competidor baseado no tempo significa “comprimir o tempo entre fabricar e distribuir produtos”. As empresas devem estar preparadas para atender as necessidades dos clientes no momento certo, e para este autor o tempo é o ponto chave para se tornarem competitivas.

Estudos realizados na área de exploração *offshore*, segundo Machado (2013), relatam a economia com a otimização no transporte de trabalhadores por helicópteros para plataformas marítimas podem chegar à ordem de milhões por ano; isso só pode ser alcançado quando se tem um modelo que permita definir as condições e mensurar as soluções do problema.

A percepção de um bom serviço que estava atrelada ao deslocamento eficaz de matérias-primas e de produtos acabados entre pontos geográficos distintos, evoluiu para a busca na eficiência dos processos logísticos, o que fez com que outros atributos do serviço fossem incorporados ao bojo da tomada de decisão acerca dos transportes, como o cumprimento dos prazos, a transparência de custos e o desenvolvimento de serviços apropriados e integrados com fornecedores e clientes (MARTINS *et. al.*, 2010).

Observa-se que os dados analisados devam ser abrangentes e estarem permeados por categorias distintas, a saber;

- Custos operacionais em si; assim compreendendo valores financeiros contabilizados nas operações de transportes dos referidos trabalhadores, desde a costa litorânea para as plataformas *offshore* ou mesmo entre as próprias plataformas;
- Condições de autonomia; neste vértice, deve-se disponibilizar determinada aeronave qual seja capaz de transportar um número considerado de indivíduos, onde, as distâncias de deslocamento por demanda laboral e custos operacionais, estejam consoantes à produtividade/resultados satisfatórios por período avaliado;
- Segurança; este quesito é uma determinante criteriosa a ser cumprida na estrutura logística do transporte aéreo, face ao atendimento ao teor dos objetivos gerais e específicos;

Assim, a complexidade do tema abordado, sob a razão e proporção de custos de demandas operacionais, rapidez e eficiência, vêm exprimir como justificativa a inserção do transporte aéreo de trabalhadores na logística que envolve plataformas *offshore*, nas extrações de óleo, principalmente em campos de Pré-sal, na qual visa redução de custos e melhoria nos serviços oferecidos aos clientes.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

Otimizar o roteamento de helicópteros para o transporte de pessoas que trabalham em plataformas *offshore*.

1.3.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos incluem:

- Otimizar o fluxo de pessoas para plataformas *offshore*;
- Implementar modelo matemático para roteamento de helicópteros;
- Atender a demanda das plataformas em um período pré-determinado;
- Fazer um *scheduling* dos helicópteros;
- Minimizar custos com transporte.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em sete capítulos.

No capítulo 1 foi apresentada a introdução, descrevendo os problemas pertinentes ao trabalho, a relevância da pesquisa seguida dos objetivos geral e específicos.

No capítulo 2 têm-se a revisão bibliográfica do trabalho, abordando a pesquisa operacional, logística e problemas de roteamento de veículos.

O capítulo 3 se refere à metodologia desenvolvida e implementação do modelo.

Será apresentado no capítulo 4 a formulação do modelo matemático descrevendo a função objetivo e restrições para dois casos distintos.

No capítulo 5 mostra os resultados e discussões com o desenvolvimento da pesquisa para o caso 1 e 2.

O capítulo 6 apresenta conclusão.

E no capítulo 7, são mostradas as referências utilizadas neste trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresenta-se um breve histórico da Pesquisa Operacional (seção 2.1). Em seguida (seção 2.2), são descritos alguns conceitos de logística e discutidos alguns dos principais estudos já realizados sobre utilização de helicópteros. E por fim (seção 2.3), é comentado sobre problemas de roteamento de veículos.

2.1. PESQUISA OPERACIONAL

2.1.1. A evolução da Pesquisa Operacional

Sob o ponto de vista histórico, o nome Pesquisa Operacional (PO) é relativamente novo, de origem militar, sendo usada pela primeira vez na Grã – Bretanha, durante a Segunda Guerra Mundial. No começo desse conflito, os organismos responsáveis pela defesa daquele país recorreram a especialistas tais como, físicos, biólogos, matemáticos, para assessorar e contribuir no estudo e solução de certos problemas que, geralmente, se consideravam de atribuição estritamente militar (ELLENRIEDER, 1971). É claro, que em determinado momento houve imperiosa necessidade de alterar conceitos e condutas operacionais até então praticadas, para que de fato os objetivos almejados, fossem alcançados sob determinados traçados como num projeto arquitetônico. Mesmo por que, a evolução social exigia cada vez mais a modernização sobre sistemas operacionais, sob a égide de se obter grandes conquistas ou assim não evoluindo, amargar nefastas derrotas.

Sabe-se que a pesquisa operacional tenha surgido em tempos remotos, não com a sua atual nomenclatura, mas, como por exemplo, nos tempos das grandes batalhas entre reis da antiguidade, os modos de ataques, quantidade de centuriões combatentes, bem como estratégias de assaltos, víveres para suprir os exércitos, territórios a percorrer, eram devidamente arquitetados pelos mais competentes servidores do Rei, sob minuciosa análise. Ressalta-se, não conseguir delimitar um marco oficial do início de sua utilização.

Durante a Segunda Guerra Mundial, Ellenrieder (1971) comenta os problemas que os militares enfrentavam de natureza logística, tática, de estratégia militar e de alocação de recursos escassos; o comando militar inglês solicitou a diversos pesquisadores e cientistas a aplicação de uma abordagem científica para a solução desses problemas. O autor ainda revela que houve problemas no decorrer da Segunda Guerra Mundial, no âmbito geograficamente

apontado, no sentido de não se ter pré-avaliado o *modus-operandi* que tal complexo evento bélico exigia. Daí depreendeu-se e de forma urgente que fosse realizada por pessoas competentes, uma análise e apresentação de prospecto de atuação face ao problema em andamento. Tal fato negativo ocorreu em detrimento da não realização de pesquisa operacional, sendo praticamente obrigatória, sua imediata realização.

O sucesso de sua equipe, conhecida como “Círculo de Blackett”, estimulou a formação de outras equipes operacionais que se difundiram na Grã- Bretanha, no Canadá, na Áustria e nos Estados Unidos. Blackett conseguiu otimizar operações sem modificar os equipamentos, planejando suas tarefas de forma sistemática, utilizando sua equipe de especialistas, dentro dos princípios que hoje caracterizam a pesquisa operacional. Notável e brilhante a decisão que Blackett, tomou ao reunir especialistas para que em conjunto abordassem e promovessem traçados para atingir a meta de seus interesses, bem como o reconhecimento operacional de seus trabalhos. Compreende-se, que nesta vertente de inteligentes esforços, houve uma estruturação e divisão de tarefas, fixando uma pesquisa operacional, cujos efeitos, não só atenderam aos anseios, mas também serviram de parâmetros a serem seguidos.

A expansão da PO abrangia também áreas fora da aplicação militar e sua nova abordagem foi usada por empresas, após a guerra, pelo qual se encontravam com problemas de decisão complexos. Para Medeiros (2000), após a Segunda Guerra, a Pesquisa Operacional focou em problemas como: programação da produção, controle de estoques, programação de vendas, problemas de transportes, manutenção e substituição de equipamentos, estudos de mercado, planejamento de atividades quaisquer e investimentos.

O potencial da PO foi mais aproveitado após a disponibilização de métodos computacionais, técnicas como modelagem e simulação. Hoje em dia, o potencial da Pesquisa Operacional é tão grande, que costuma-se dizer que ela é “uma solução à procura de um problema” (SELLITTO, 2002 *apud* GAVIRA, 2003). Mediante análise crítica, há que se curvar reconhecimento de que a pesquisa operacional, bem como sua importância, não se encontra adstrita expressamente a determinados fatos ou objetos em evidência específica, mas sim, a todos os projetos que o homem buscar empreender em prol do progresso social, ou mesmo para si, em contínua elevação de sua inteligência.

2.1.2. Definições e característica

A Pesquisa Operacional trata-se de ciência aplicada, cujos estudos estão voltados, no sentido de traçar objetivos a serem observados e seguidos como se fossem normas postas, no intuito de resolução de problemas reais, ou minimizar os efeitos de possíveis contratempos. Portanto, possui como foco a tomada conjunta de decisões, aplicação de conceitos e métodos de várias áreas científicas na concepção do projeto, planejamento ou operacionalização de sistemas.

Segundo a ABEPRO, Pesquisa Operacional é a aplicação de métodos científicos a problemas complexos para auxiliar no processo de tomada de decisões, tais como projetar, planejar e operar sistemas em situações que requerem alocações eficientes de recursos escassos.

Uma definição de pesquisa operacional foi proposta na primeira página do periódico inglês *Operational Research Quarterly* em 1967, que, de forma resumida, consiste no desenvolvimento de métodos científicos de sistemas complexos, com a finalidade de prever e comparar estratégias ou decisões alternativas (ARANELES *et. al.*, 2007).

Já Ehrlich (1985) apresenta a pesquisa operacional como “... um conjunto de técnicas quantitativas como o intuito de auxiliar o processo de decisão dentro de uma filosofia de modelagem e, preferivelmente, de otimização”.

A Pesquisa Operacional, dentre outras propostas, é usada para avaliar linhas de ações alternativas, visando por excelência, encontrar as soluções que melhor possam atender aos objetivos dos indivíduos ou organizações utilizando programação matemática para encontrar a solução ótima.

2.1.3. Programação matemática

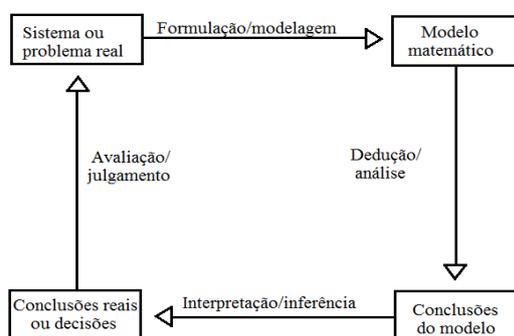
Ao referenciar sobre a pesquisa operacional, sob caráter especial, a programação matemática, assemelha-se tratar tal pesquisa, sobre problemas pertinentes à decisão, fazendo manuseio de modelos expressivamente matemáticos, cujo expoente de razão é representar o problema em sua forma real. Neste sentido, tal pesquisa tem por ato inicial, a observação de fenômenos, bem como a metodologia de processos ou sistemas, sendo que tais procedimentos podem ser realizados por meios físicos, biológicos, químicos, econômicos, em observância às

suas leis e seus princípios regentes. Tais leis, quando passíveis de serem reveladas por relações matemáticas, originarão os denominados modelos matemáticos.

Tais modelos matemáticos devem mencionar tradução detalhada visando absorver elementos quais sejam essenciais sobre o problema em apreciação, a alcançar sua expressividade satisfatória, através de métodos de resolução.

O diagrama (Figura 3), apresentado por Arenales *et. al.* (2007), ilustra um processo simplificado sobre a abordagem de solução sobre determinado problema, fazendo uso de modelagem matemática.

Figura 4: Processo de modelagem



Fonte: Araneles *et. al.*, 2007.

O autor define cada etapa do diagrama:

- 1 **Formulação:** define as variáveis e as relações matemáticas para descrever o comportamento relevante do sistema real.
- 2 **Dedução:** aplica técnicas matemáticas e tecnologia para resolver o modelo matemático e visualizar quais conclusões ele sugere.
- 3 **Interpretação:** argumenta que as conclusões retiradas do modelo têm significado suficiente para inferir conclusões ou decisões para o problema real.
- 4 **Avaliação:** frequentemente o julgamento dessas decisões inferidas mostra que elas não são adequadas e que a definição do problema e sua modelagem matemática precisam de revisão.

Surgiram amplas variedades de técnicas matemáticas, ao longo dos últimos anos para auxiliar a tomada de decisão, desenvolvidas ou que sofreram algum tipo de aperfeiçoamento, o que na verdade, possibilitou a abordagem de problemas que outrora apresentavam incoerências, restritivas, em face da aplicação dos modelos clássicos, sendo agora analisados sob parâmetros de melhor elucidação.

Sobre exemplos de modelos matemáticos, pode se expressar os modelos de programação matemática, como: programação linear, programação linear inteira,

programação dinâmica, teoria das filas, teoria dos jogos. Martins et. al. (2011), definem algumas vantagens e desvantagens da utilização de modelos.

Vantagens:

- 1 Emerge sob a forma gráfica, para representar a realidade aprendida em determinado momento;
- 2 Simplifica a visualização da amplitude das variáveis sem alterar a essência;
- 3 Ajuda a identificar várias relações possíveis entre os elementos da realidade;
- 4 Possibilita compreender relações complexas;
- 5 Serve como base para estabelecer e aprimorar parâmetros.

Desvantagens:

- 1 Limitações na identificação de todas as variáveis relevantes que influenciam em determinada situação;
- 2 Problemas na definição das propriedades a serem mensuradas e na especificação de procedimentos para tal;
- 3 Dificuldades no entendimento entre os provedores e os usuários da informação.

2.1.3.1. Programação linear

A programação linear (PL) para Moore e Weatherford (2005), tem sido bastante utilizada desde a década de 40 pelos militares e até então, as empresas utilizam a sua técnica. Nota que a partir deste parâmetro analítico, adotou-se a programação linear como referencial base para utilização de diversas ferramentas gerenciais, de tal modo, a apreciar a programação não linear, bem como a programação denominada inteira, dentre outras performances técnicas pertinentes à otimização.

Uma pesquisa realizada pela revista Fortune revela que 85% das empresas já utilizaram ou utilizam programação linear. A PL teve como um de seus inventores George B. Dantzig, que descobriu o algoritmo Simplex, que é o mecanismo matemático utilizado para resolver os problemas da PL (SANTOS *et. al.*, 2012).

Para Goldbarg e Luna (2005), Programação Linear é um modelo básico para compreensão de todos os outros modelos de programação matemática e possui grande eficiência dos algoritmos de solução existentes, disponibilizando alta capacidade de cálculo e fácil implementação até mesmo através de planilhas.

Para que um sistema possa ser representado por meio de um modelo de PL, Goldbard e Luna (2005), ainda comenta que ele deve possuir as seguintes características:

- 1 Proporcionalidade: a quantidade de recurso consumido por uma dada atividade deve ser proporcional ao nível dessa atividade na solução final do problema.
- 2 Não negatividade: deve ser sempre possível desenvolver dada atividade em qualquer nível não negativo e qualquer proporção de um dado recurso deve sempre poder ser utilizado.
- 3 Aditividade: o custo total é a soma das parcelas associadas a cada atividade.
- 4 Separabilidade: pode-se identificar de forma separada o custo (ou consumo de recurso) específico das operações de cada atividade.

De uma forma geral, um problema de programação linear pode ser formulado, segundo o mesmo autor, otimizando, maximizando ou minimizando, a função objetivo, demonstrado na Equação 1:

$$\text{Otimizar } z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (1)$$

Sujeito às seguintes restrições (Equações 2, 3, 4 e 5):

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} = b_i \quad i = p + 1, p + 2, \dots, m \quad (3)$$

$$x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, q \quad (4)$$

$$x_j \in R, j = q + 1, q + 2, \dots, n \quad (5)$$

Segue algumas notações:

$M = \{1, 2, \dots, m\}$, o conjunto dos índices das restrições do problema;

$N = \{1, 2, \dots, n\}$, o conjunto dos índices das variáveis.

$M_1 \subset M$ e $N_1 \subset N$;

$A = \{a_{ij}\} \equiv$ matriz de restrições;

$a_j \equiv$ j-ésima coluna de A ;

$x = (x_j), j \in N$ /vetor coluna de n componentes;

$c = (c_j), j \in N$ /vetor linha de n componentes;

$b = (b_i), i \in M$ /vetor coluna de n componentes.

O problema consiste, em dados de A e os vetores b e c , achar o vetor de variáveis contínuas x que satisfaça ao conjunto de restrições e que otimize o valor do critério z .

Modelos de programação linear, para resolução de problemas de alocações, têm grande utilidade em logística de distribuição de pessoal, dentre outras, como mistura de materiais, transporte, carteira de investimento e avaliação da eficiência.

2.2. LOGÍSTICA

Aborda-se a logística, como sendo o perfil de gestão, cuja responsabilidade implícita está diretamente e concomitantemente responsável pelo provimento dos recursos inerentes ao suprimento para execução e finalização de determinadas tarefas, neste sentido, verifica-se por essência, a gestão operacional.

O termo logística começou a ser utilizado para descrever uma variedade de ferramentas analíticas utilizadas para maximizar a eficiência do fluxo de materiais, a utilização de equipamentos e as pessoas durante a guerra (HALL, 1985). Tal instituto, é sabido que já se usava em tempos remotos, ainda seguindo o exemplo das jornadas bélicas, têm-se como amostra, onde os líderes militares arquitetavam meticulosamente seus embates, traçando suas estratégias para transporte de tropas, armamentos, seus equipamentos de batalha, e naturalmente a divisão de equipes de front, de retaguarda, suprimentos, bem como possível estratégia de recuo. Observa-se neste quadro, que já existia, ainda que de forma rudimentar, um prospecto de conduta a ser seguido, e não algo a ser realizado repentinamente, de modo aleatório e sem base de qualquer análise, sem previsão de efeitos.

A logística empresarial é dividida em três eras, de acordo com Ballou (1993), antes de 1950, 1950-1970, e após 1970. Até cerca de 1950, as empresas não possuíam filosofia logística; as atividades-chaves eram fragmentadas, ou seja, o transporte estava sob o comando gerencial da produção, os estoques eram responsabilidade do *marketing*, finanças ou produção.

Entre os anos de 1950-1970 a adequação de procedimentos logísticos aprimorou-se em prol da satisfação do consumidor, nesta vertente, o setor empresarial, em busca de atender aos anseios dos consumidores. Visivelmente tal conduta assim fora tomada para não perder o

mercado que se despontava promissor, tendo os empresários, e de modo primordial, que instituir em suas atividades denomina logística empresarial.

No marco pós Segunda Guerra Mundial, grandes metamorfoses ocorreram, onde, num âmbito geral, pode-se dizer que diversos países, e grandes empresas, começaram a analisar sobre o método e conduta que melhor apreciasse o instituto da logística, sem sombra de dúvidas em virtude da crescente demanda da época, sob as exigências sociais que continuamente impunham e ditavam as regras.

A logística empresarial entrou na década de 70 em estado descrito como semimaturidade. Os princípios básicos estavam estabelecidos e algumas empresas já se beneficiavam de seu uso, preocupando-se com a geração de lucros do que com controle de custos. A competição mundial nos bens manufaturados começou a crescer fazendo com que a teoria logística desenvolvesse estratégias para se manter no mercado competitivo.

A partir da década de 80 a evolução do pensamento logístico foi rotulada por Gomes (2008), de “a Logística como elemento diferenciador”. É nesse contexto, cujo plano de fundo é a globalização e o avanço na tecnologia da informação, que surge o conceito de *Supply Chain Management* (SCM); a última fase da teoria logística. Esse conceito surgiu como uma evolução natural do conceito de Logística Integrada e trata da integração interna e externa, pois estende a coordenação dos fluxos de materiais e de informações aos elementos integrantes da cadeia de suprimento. O *Supply Chain Management* pode proporcionar melhorias pelas quais é possível aumentar a produtividade, reduzindo custos e conseqüentemente aumentando os lucros, também identifica formas de agregar valor ao produto/serviço logístico.

As atividades logísticas podem interferir nas decisões estratégicas das organizações, como no planejamento e controle de produção, atendendo à demanda do mercado no momento certo com estoques reduzidos, chamados estoques zero, e mantendo sua competitividade com outras organizações. Tratando-se neste sentido de sistema de gerenciamento organizacional, como sinônimo de atividade logística.

Uma boa administração traz para as organizações vantagem competitiva, em termos de serviços, redução de custos e respostas rápidas às necessidades de mercado, pois essas organizações também precisam ser competitivas em preço, qualidade e diferenciação (BERTAGLIA, 2003). A logística propicia sucesso às empresas em meio às severas competitividades no mercado de modo que seja bem planejada.

2.2.1. Conceitos de logística

Em um levantamento da evolução das definições de logística Collins e Porras (1996) afirmam que uma das mais antigas foi fornecida pelo *American Marketing Association* em 1948: “Logística é a movimentação e manutenção de mercadorias do ponto de produção ao ponto de consumo ou de utilização”. Ballou (1993), Daskin (1985) e Daganzo (1996) fazem um complemento na definição, mencionando que a logística também facilita o fluxo de produtos desde o ponto de aquisição da matéria-prima até o ponto de consumo final, bem como assim, dos fluxos de informações sobre os produtos em movimento, favorecendo níveis de serviços adequados aos clientes, atendendo a demanda em questão, a um custo razoável.

Bowersox e Closs (1996) e Christopher (1997) diferem a logística como o processo de gerir estrategicamente a aquisição, movimentação e estocagem de materiais, parte de produtos acabados (com os correspondentes fluxos de informações) através da organização e dos seus canais de *marketing*, para satisfazer as ordens da forma mais efetiva em custos, maximizando os lucros.

A abordagem logística, segundo Pozo (2002), tem como função estudar a maneira como a administração pode otimizar os recursos de suprimentos, estoques e distribuição física dos produtos e serviços com que a organização se apresenta ao mercado por meio de planejamento, organização e controle efetivo de suas atividades correlatas, flexibilizando os fluxos dos produtos. Desta maneira, a logística torna-se vital para o sucesso de uma organização, apresentando uma visão empresarial que direciona o desempenho das empresas, reduzindo o *lead time* entre o pedido, a produção e a demanda.

A logística planeja, coordena e executa o processo de forma integrada, garantindo a distribuição de produtos ao consumidor final com o objetivo de reduzir custos, conseqüentemente aumentar os lucros e a competitividade da empresa, agregando valor ao produto e serviço.

Logística de distribuição é uma das ferramentas que provem a disponibilidade de produtos sobre as condições operacionais ligadas ao contexto de onde e de quando são necessários, coordenando fluxos de mercadorias e de informações de um grande volume de pontos de vendas dos mais diversos produtos e serviços. A estruturação do gerenciamento logístico deve se voltar para a questão central da distribuição dos produtos, dentro de critérios que otimizem o uso das instalações, atentando para que não haja interrupção no fornecimento e que o serviço para o cliente represente um apoio ao seu *core business* (GOMES, 2008).

As atividades logísticas, tais como, transporte, estoques e processamentos, influenciam diretamente nos custos do produto final. Chopra e Meindl (2003) definem atividade de transporte como o movimento de produtos de um local a outro, partindo do início da cadeia de suprimento e chegando até o cliente.

Dentre os modais de transportes no sistema logístico, pode-se destacar o modal aeroviário que oferece um transporte extremamente veloz, mas consideravelmente caro. Indicado para transportar itens emergenciais em longas distâncias, é o caso do transporte de pessoas para plataformas *offshore*. Nesta hipótese, há que se levar em consideração a relação de custos benefícios, a perfazer a sustentabilidade contínua da operação.

2.2.2. Logística de transporte aéreo

O foco do trabalho refere-se ao planejamento logístico de rotas de helicópteros para plataformas *offshore*, no entanto, existem poucos trabalhos na literatura relacionados ao tema em questão. Diante disto, procurou-se abranger alguns temas de acordo com o objeto de estudo.

Uma metodologia interativa para análise de múltiplos critérios de planejamento de missão de helicóptero em operações de socorro foi desenvolvida por Barbarosoğlu *et. al.* (2002), na qual ele cita que helicópteros são bastante usados em uma gama de atividades civis, ajuda humanitária e ações de resgate em desastres naturais, devido sua rapidez e segurança.

Um sistema de planejamento eficiente para coordenar as operações de helicóptero em caso de catástrofe foi proposto por Ozdamar (2011), com o objetivo de minimizar o tempo total de missão necessária para completar a tarefa de transporte. Um procedimento de gestão de rotas (PGR) permite ao tomador de decisão especificar o tempo de conclusão de missão ou o número de veículos disponíveis para a missão; respeitando as limitações impostas, o PGR gera combustível e capacidade itinerários helicóptero viáveis que completa dentro do tempo de conclusão missão especificada.

Menezes *et. al.* (2010), desenvolveram um sistema que requer menos de uma hora para gerar planos de voo otimizados que atendem às diretrizes operacionais, melhoram a segurança nas viagens, e minimizam os custos operacionais. Neste trabalho, mostra que a Petrobras reduziu a quantidade de desembarques no exterior em 18%, o tempo total de voo em 8%, e os custos de voo em 14%, resultando em uma economia anual superior a US\$20 milhões.

Ainda neste contexto, Fiala Timlin e Pulleyblank (1992) queriam encontrar uma rota para cada conjunto diário de paradas do helicóptero que satisfizessem todos os requisitos e minimizar a distância total de voo, em um campo de petróleo *offshore* constituída por 45 plataformas, para resolver um problema enfrentado pela Mobil.

Outro trabalho que envolve a utilização de helicópteros para plataformas *offshore* foi desenvolvido por Moreno *et. al.*(2006), no qual apresentam um algoritmo heurístico baseado em geração de colunas para o problema de planejamento dos voos de helicópteros para atender as solicitações de transporte entre os aeroportos do continente e a Bacia de Campos para a companhia petrolífera brasileira.

No Brasil, o helicóptero é largamente utilizado para o transporte de passageiros entre o continente e as plataformas de exploração e produção de petróleo *offshore*. Um voo típico transporta passageiros do continente para as plataformas e destes de volta para o continente (GALVÃO; GUIMARÃES, 1990).

2.2.3. Logística no Brasil

No Brasil, a Logística surgiu no início da década de 80, logo após a explosão da Tecnologia da Informação. Surgiram algumas entidades dando enfoque a Logística como: ASBRAS (Associação Brasileira de Supermercados), ASLOG (Associação Brasileira de Logística), IMAM (Instituto de Movimentação e Armazenagem), entre outras, que tinham a difícil missão de disseminar este novo conceito voltado para as organizações (FILHO, 2001).

A logística no Brasil vem delineando períodos de expressivas metamorfoses. Assim, pode-se asseverar que se encontra em uma verdadeira revolução em determinadas práticas expostas nos setores empresariais quanto à abordagem de elementos tais como: qualidade e disponibilidade de infraestrutura sobre transportes, comunicações, também, com ênfase, quanto ao que se exprime sobre a eficiência.

Nesta vertente encontram-se espelhados, os elementos primordiais basilares, para o existencialismo e sustentação do que pode denominar de logística moderna. Retrata-se que tal situação, em detrimento às operacionalidades das empresas, é motivo de muita atenção, tanto em face às oportunidades, bem como dos riscos pertinentes aos novos desafios.

Ao abordar sobre riscos, naturalmente se expressa quanto às significantes mudanças de condutas e conceitos a serem impostos, e ao mesmo tempo ao tratar das oportunidades, se expressa sobre a abertura de novos portais, novos horizontes a oportunizar substanciais

melhorias, quais sejam sobre a qualidade em si do serviço, em comunhão com a elevação da produtividade. A qualidade do serviço, e o crescimento da produtividade são fatores cruciais que fomentam a competição na seara empresarial, importantíssimos para a evolução social, como um todo.

Para Carrera (2008), o setor de logística vem evoluindo no Brasil acompanhado de incrementos tecnológicos e possibilitando novas oportunidades de crescimento para as empresas que se preocupam em otimizar sua logística. Dentre os principais ganhos que as empresa podem ter:

- 1 Entregas mais rápida de acordo com a demanda.
- 2 Redução dos custos operacional.
- 3 Aumento da produtividade.
- 4 Aumento no giro de mercadorias e redução de estoques.
- 5 Redução de perdas.
- 6 Melhor aproveitamento da área interna da empresa.
- 7 Compartilhamento dos dados de venda com toda a rede.

O autor explana sobre o setor logístico, nada mais é, do que a evolução da logística, face à evolução econômico-social, bem como cultural e suas exigências pertinentes, cuja satisfação deve ser recíproca.

Ressalta-se que o setor empresarial tem experimentado avançado processo de modernização, tendo por ícones industriais de lideranças, duas vertentes expressivas a serem consideradas; a expressão automobilística, e abrangente varejo. Nos últimos cinco anos, as montadoras de automóveis até então aqui instaladas, haviam feito mudanças radicais em suas políticas de suprimento, passando a combinar compras internacionais com as locais, com base no sistema *just-in-time* (FLEURY, 1998).

De acordo com Fleury (1998), o transporte brasileiro possui uma dependência exagerada do modal rodoviário, com gastos equivalentes a 10% do PIB, o segundo mais caro, atrás apenas do aéreo. Enquanto no Brasil o transporte rodoviário é responsável por 58% da carga transportada (em toneladas-km), na Austrália, EUA e China os números são 30%, 28% e 19%, respectivamente.

2.3. PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS

Um sistema de roteamento é proposto por Goldberg e Luna (2005), como “um conjunto organizado de meios que objetiva o atendimento de demandas localizadas nos arcos ou nos vértices de alguma rede de transportes”, e pode ser decomposto em três partes: estratégica, tática e logística.

Um sistema logístico incluem operações que vão desde o processo de obtenção, estoque e distribuição de produtos, até os aspectos relacionados com os seres humanos, política de investimento e renovação de frota, como comentado e detalhado no item 2.2.

Gómez *et. al.* (2013) comentam que sistemas logísticos aplicados a sistemas de transporte são problemas atuais em setores produtivos e de serviços. Distribuidores devem ser eficazes e eficientes para atender clientes, o que constitui um grande desafio para um sistema de logística, uma vez que os recursos são limitados e os custos de transporte constituem uma elevada percentagem do valor acrescentado aos bens, e variam entre 5 % a 20 %.

As decisões estratégicas envolvem situações de escolha do mercado de atuação, localização de fábricas e depósitos, tipos de veículos e outras, que, normalmente possuem impacto sobre todo o sistema e efeitos em longo prazo.

Caberá à operação tática tomar decisões que definirão as áreas atendidas, como o número de rotas, número de veículos, regime de trabalho e contratação da mão de obra.

Problema de Roteamento de Veículo (PRV), definido por Dantzig e Ramser (1959), é um problema de otimização combinatória clássica. Ele consiste em tentar atender a um conjunto de clientes com uma frota de veículos, respeitando as restrições sobre os veículos, clientes, motoristas, e assim por diante. Foi um dos primeiros autores a formular PRV quando estudou o roteamento ideal de uma frota de caminhões de entrega de gasolina entre um terminal de granel e um grande número de estações de serviço.

O problema de roteamento de veículos para Laporte *et. al.* (2000) consiste em definir roteiros de veículos que minimizem o custo total de atendimento, cada um dos quais iniciando e terminando no depósito ou base dos veículos, assegurando que cada ponto seja visitado exatamente uma vez e a demanda em qualquer rota não exceda a capacidade do veículo que a atende.

O Problema de Roteamento de Veículos (PRV) trata-se de um estudo, voltado a viabilizar atendimento a um determinado grupo de consumidores por meio de veículos de transportes de gêneros ou ainda de pessoas, partindo de determinadas bases, ou mesmo, depósitos.

É necessário estabelecer fatores associados e determinantes; a unidade do veículo e sua capacidade de suporte para atender a demanda, para não comprometer a frota veicular, bem como o atendimento das necessidades do cliente.

Planejamento da frota é um processo de gestão complexo que visa ajustar o tamanho e a composição da frota para atender a demanda de uma forma rentável; afeta tanto as operações de longo prazo e de curto prazo. Os veículos devem estar disponíveis diariamente para atender a demanda (COUILLARD, 1993).

O modelo de roteamento de veículos é em si, uma aparelhagem complexa, pelo grande número de variáveis e diversidade de restrições; em muitas situações, dispendiosa, não possuindo um traçado específico normativo ou mesmo uma fórmula, a resolver tais problemas, com a eficácia que o mesmo requer, como numa equação matemática.

Couillard (1993) desenvolveu um sistema de apoio à decisão e divide o processo de planejamento de rota em cinco atividades:

- 1 previsão de demanda, utilizando fontes de dados;
- 2 geração de planos alternativos, para atender a demanda prevista com restrições orçamentárias;
- 3 seleção de critérios relevantes, estes critérios são escolhidos de acordo com os objetivos corporativos, tais como, rentabilidade, produtividade, satisfação do cliente, satisfação do motorista, entre outros;
- 4 avaliação do plano, realizando uma matriz, em que as linhas representam as alternativas e a coluna, critérios e elementos de avaliação;
- 5 escolha do melhor plano a partir da matriz de avaliação.

ReVelle et. al. (2008) fornecem uma bibliografia de trabalhos na área de modelagem e revisão, em particular, (1) problemas de mediana e localização de plantas; (2) problemas de centro e cobertura. O primeiro grupo foca-se em minimização da distância ponderada pela demanda, sendo apropriado quando o objetivo é de minimização de custos ou maximização de lucros. O segundo grupo é muito utilizado para localização de serviços de emergência e nele, a qualidade da solução não é melhor que a da entidade com o pior serviço, ou seja, deve-se minimizar a maior distância aos clientes.

O primeiro trabalho abrangente que retratava o estado-da-arte da modelagem de problemas de roteirização e programação de veículos e tripulações foi apresentado por Bodin et. al. (1983). Ainda hoje é considerada uma das importantes referências sobre o assunto, pois são considerados inúmeros tipos de problemas, como; entrega de remédios, alimentos, jornais,

combustíveis, correspondências, limpeza urbana, dentre outros serviços de transportes veiculares, como os escolares.

Menezes et. al. (2010) estudaram o roteamento de helicópteros para plataformas offshore da Bacia de Campos e fizeram um modelo matemático de programação linear inteira mista que tinha o objetivo de programar voos para atender a todos os pedidos de viagem evitando comprometer as atividades de petróleo e de produção e exploração. Os voos são programados e as atribuições de passageiros são dadas com um dia de antecedência, com base nas demandas do curso e disponibilidade de helicóptero. A demanda de viagens é constituída por todas as solicitações de passageiros com o mesmo destino e horário de partida. Passageiros escolhem o seu horário de partida e de destino a partir de um calendário fixo, este calendário gerado anualmente e projetado de modo que as bases podem agendar independentemente uns dos outros, sem gerar conflitos potenciais entre os seus planos de voo.

Agendar manualmente os voos é uma tarefa complexa, porque um número limitado de helicópteros está disponível e regras operacionais rígidas devem ser observadas. Menezes et. al. (2010) adota oito tipos de helicóptero, cada um com diferentes características operacionais e capacidades de passageiros. Os helicópteros são terceirizados a partir de vários fornecedores com diferentes tipos de contratos que determinam os custos de voo.

Motta (2013) também estudou rotas de helicópteros com objetivo de minimizar as distâncias percorridas, diminuindo o consumo de combustível das aeronaves, bem como otimizar o tempo gasto com as viagens entre plataformas e aeroportos, utilizando os métodos heurísticos de Algoritmos Genéticos. Revela-se toda uma complexidade, para construção e promoção das atividades, permeando um sistema que requer precisão e rapidez nas operações de navegação, sobre o transporte de produtos, equipamentos, homens, com o uso de aeronaves, a atender a alta demanda das plataformas marítimas. O PRV abordado neste trabalho é dado um conjunto de locais compostas por bases (ou aeroportos) e plataformas *offshore*, um conjunto de helicópteros, e um conjunto de solicitações de transporte que são distribuídas em horários de partida associados a uma lista de plataformas que podem ser servidos. O plano de voo satisfaz as seguintes restrições: (i) cada voo começa e termina em uma base, (ii) a capacidade de helicópteros não pode ser excedida durante cada voo, (iii) um helicóptero deve ter um tempo de preparação entre voos com o objetivo de minimizar o custo total.

Outras restrições impostas por Motta (2013), diz que os helicópteros são pagos por hora em voo e têm tamanhos e custos distintos, ou seja, a frota não é homogênea. A capacidade de helicóptero (número de passageiros que podem ser transportados) depende da

duração do voo, porque o peso de descolagem permitido deve incluir não só os passageiros de peso, mas também o peso de combustível. Um helicóptero pode voar no máximo cinco vezes por dia, mas isso deve ser verificada antes de cada voo e deve parar por uma hora no meio do dia para dar ao piloto uma pausa para o almoço.

Enquanto Ono (2001) estabeleceu alguns referenciais objetivos para viabilidade de transporte marítimo de contêineres na modalidade cabotagem na costa Brasileira. O modelo de sua apresentação para dimensionamento de frota, é fator preponderante a delinear todo processo de transporte em questão, estabelecendo parâmetros de customização, fluidez para abordar tempo gasto e atendimento da demanda.

Considera-se ainda, dentre outras possibilidades, a operacionalidade de navios a perfazer uma rota fixa, observando a característica especial de ser, sempre nos mesmos portos, carga específica, como consequência, a operacionalidade e custos, seriam os mesmos.

Solleti (2006) apresenta a distribuição de derivados de petróleo via marítima, em virtude de demanda apresentada por características de modelo de frota, escalas e relatividade de custos/benefícios e tempo de entrega. Apresenta como metodologia, a estruturação de rotas e cálculos matemáticos com restrições e variáveis; têm como parâmetros tipos de navios a serem empregados, montante de custos e demanda de tempo despendido para realização das tarefas na qual, a principal exigência, é a delimitação do prazo de entrega e retorno do navio ao porto. O estabelecimento da rota ordenada por portos com uma sequência à qual se evitará alternâncias.

Já Sena (2011) aborda um contexto de rede logística de transporte aéreo de pessoas para atividades de exploração e produção de petróleo em bacia marítima utilizando uma programação interna mista. Vê-se que neste caso a demanda de ações e decisões são refletidas ao longo prazo. Assim perfazendo uma interrelação aeroportuária, numa dimensão e projeção quanto a viabilidade do uso de helicópteros, em face da relação custos operacionais. A localização de aeródromos é essencial, pois viabilizam a demanda de seus passageiros a favorecendo maiores resultados, qualidade e satisfação dos envolvidos nesta empreitada, enfatizando a observância dos custos da frota no contexto do planejamento logístico.

Sarubbi (2008) aborda problemas de roteamento com custos de carga de características específicas quanto à construção de rotas a abranger um maior número de clientela diferenciada em virtude da exigência natural do produto no caso dos perecíveis, (prioridade de entrega) ou ainda que pequenos produtos, mas de valor patrimonial elevado, e assim, não se afastando de algumas premissas, ou mesmo restrições operacionais; quantidade do produto a ser transportado, a espécie do produto e a capacidade do veículo. Neste modelo, também

torna-se imprescindível o fator tempo/distância, necessidade de frota específica, valor do objeto transportado, bem como ainda a periculosidade do local a ser trafegado. Considera-se ainda o desgaste do veículo, em virtude do peso do material a ser transportado e a relatividade da distância a ser percorrida.

Soletti *et. al.* (2014) apresentou um problema de roteamento de helicópteros para plataformas *offshore*, utilizando um modelo de PLIM com o solver GAMS, na qual foram utilizados dois tipos de helicópteros e três plataformas *offshore* para atender a uma demanda de 305 funcionários. Nas Tabelas 1 e 2 são mostrados os resultados obtidos.

Tabela 1: Números de voos que o helicóptero realiza uma viagem na rota e total de pessoas transportadas

Helicóptero	Rota	Número de voos	Total de pessoas transportadas
AW139	Rota2	1	12
	Rota1	6	150
EC225	Rota2	2	48
	Rota4	4	95

Fonte: Soletti *et. al.*, 2014.

Tais resultados mostram que é necessário que os helicópteros façam mais viagens para atender a demanda das plataformas.

O tempo total que os helicópteros percorrem a rota escolhida pelo solver, é mostrado na Tabela 2.

Tabela 2: Tempo que o helicóptero gasta para atender a melhor rota

Helicóptero	Rota	Tempo de viagem (min)
AW139	Rota2	60
	Rota1	720
EC225	Rota2	120
	Rota4	360

Fonte: Soletti *et. al.*, 2014.

Um modelo de roteamento de veículo deve ser eficaz para apoiar na tomada de decisão, principalmente em longo prazo, que têm maiores impactos nos sistemas logísticos. Sena (2011) aprimorou um modelo de otimização, desenvolvido pelo Centro de Estudos em Logística (CEL) da Universidade Federal do Rio de Janeiro, utilizado para planejamento de rede logística de transporte aéreo de pessoas para atividades de exploração e produção de petróleo em plataformas *offshore*.

Na aplicabilidade funcional objetiva do roteamento de veículos, é imprescindível que se verifique qual tipo de demanda a ser atendida e suas características específicas, tendo por primazia de interesses comuns, os seguintes preceitos; minimização de custos total da operação, minimização do tempo empreendido no transporte, minimização de distâncias

percorridas, harmonização, assim referindo-se ao equilíbrio dos recursos utilizados na consecução dos interesses, dentre outros fatores subsidiários.

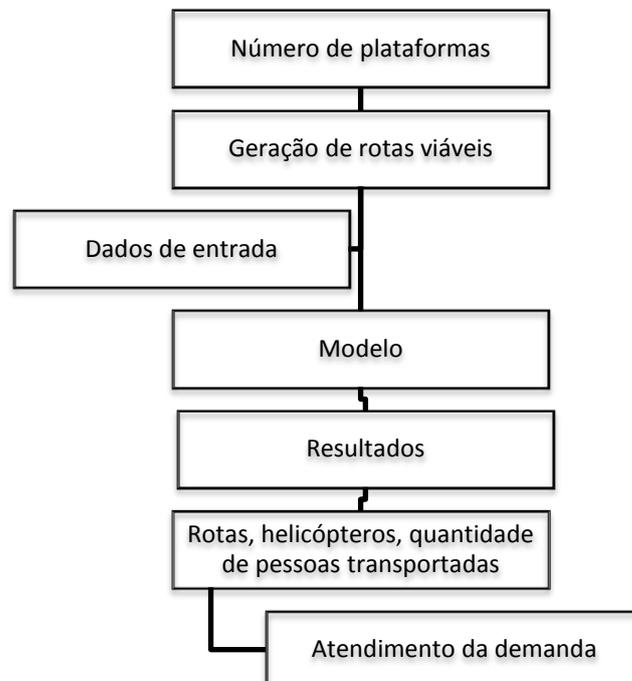
3. METODOLOGIA

O roteamento de helicópteros foi desenvolvido como um modelo matemático de Programação Linear Inteira Mista (PLIM) e implementado no *software* GAMS (*General Algebraic Modeling System*), determinando o conjunto de rotas que deverão ser feitas pelo veículo baseado na metodologia de Soletti (2006).

O *solver* utilizado foi o CPLEX que apresenta um conjunto de algoritmos de otimização para produzir decisões lógicas e precisas. O algoritmo de *branch and bound*, presente neste *solver*, utiliza técnicas modernas de planos de corte e heurísticas de forma a possibilitar a resolução de problemas com número elevado de variáveis em tempo computacional adequado (SENA, 2011).

O procedimento para a resolução do modelo desenvolvido está representado na Figura 5. Inicialmente são geradas as rotas, a partir do número de plataformas que serão utilizadas no cenário. Após a obtenção destas rotas são inseridos os dados de entrada (parâmetros) tais como: demanda das plataformas, velocidade dos helicópteros, distância percorrida nas rotas, capacidade das aeronaves, entre outras. Como resultado o modelo apresenta as rotas viáveis, dentro do cenário proposto, os helicópteros que serão utilizados, o tempo final para o atendimento da demanda e o custo total da programação.

Figura 5: Estrutura da Ferramenta



Fonte: Adaptado de Soletti, 2006.

A demanda de quantidade de pessoas para plataformas deve ser atendida dentro de um prazo máximo, definido como parâmetro neste modelo. O objetivo desta modelagem é atender a demanda, no menor tempo possível, e alocar rotas com distâncias menores. Em decorrência disto, o custo será minimizado, pois existe um valor associado ao tempo e a distância percorrida.

Algumas das restrições impostas ao modelo são:

- 1 Todos os voos começam e terminam na mesma base continente.
- 2 Cumprimento da demanda das plataformas, em um tempo menor ou igual ao horizonte de tempo preestabelecido.
- 3 Limitação do número de voos por helicópteros.
- 4 Helicópteros devem ser inspecionados antes de cada voo e, portanto, requer tempo de inspeção.
- 5 O número de desembarques de plataforma para cada vôo é limitado.
- 6 Helicópteros devem ter uma pausa para que seus pilotos almozem.
- 7 Capacidade de helicóptero não pode ser ultrapassada.

4. FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

Com o intuito de mostrar a ampla aplicabilidade do modelo, serão mostradas duas simulações alterando os parâmetros utilizados até o momento, como demanda, quantidade de plataformas, distância e tempo de desembarque.

4.1. ESTUDO DE CASO 1

Foi considerado um conjunto de cinco plataformas de uma bacia petrolífera, que deve atender a uma demanda, quantidade de pessoas que trabalham nas plataformas, num total de 760 pessoas (Tabela 3), com uma frota heterogênea, representando uma condição fictícia.

Tabela 3: Demanda diária de funcionários – Caso 1

Plataformas	Quantidade de funcionários
P001	150
P002	180
P003	120
P004	150
P005	160
Total	760

Fonte: Acervo do autor.

A distância entre as cinco plataformas e o heliporto foi escolhida arbitrariamente para fazer parte do planejamento logístico e são apresentas na Tabela 4 e 5.

Tabela 4: Matriz de distância entre as plataformas – Caso 1

Distância Plataforma - Plataforma					
	P01	P02	P03	P04	P05
P01	0	25	45	90	110
P02	25	0	35	85	100
P03	45	35	0	55	80
P04	90	85	55	0	30
P05	110	100	80	30	0

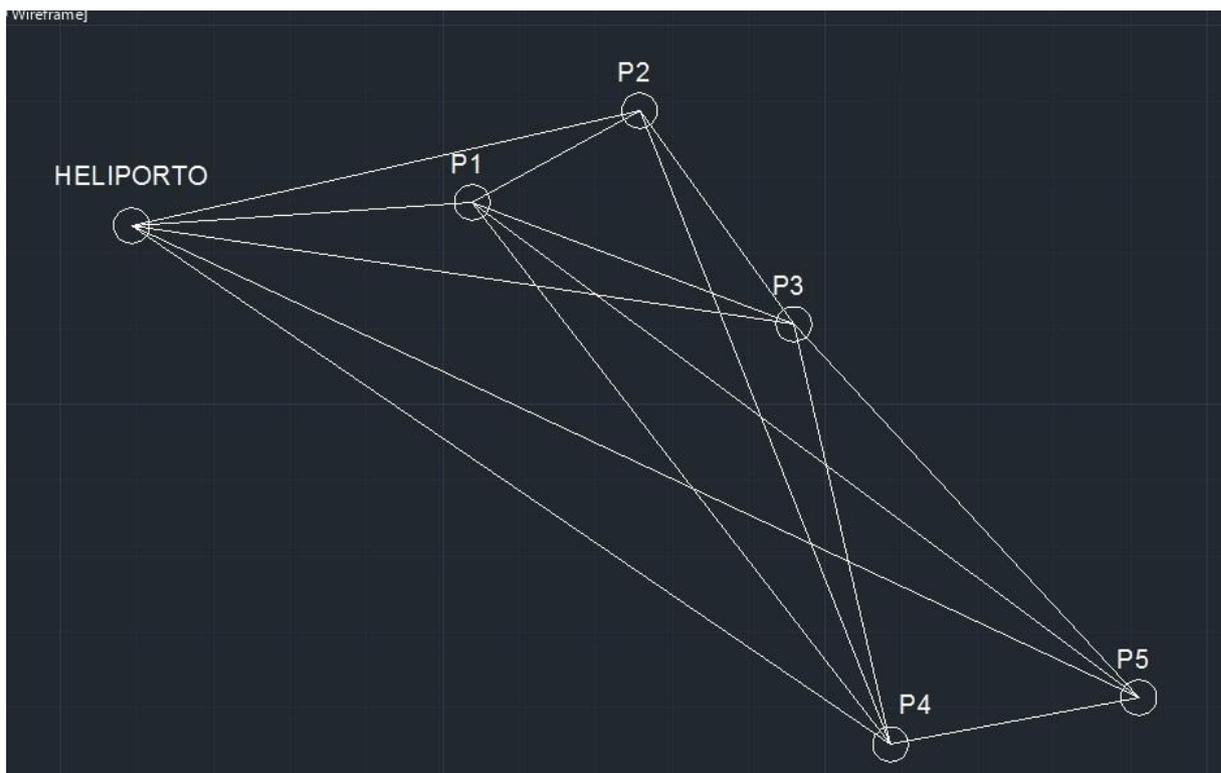
Fonte: Acervo do autor.

Tabela 5: Distância entre o heliporto e as plataformas – Caso 1

Distância Plataforma - Heliporto	
Plataformas	Distância
P01	45
P02	60
P03	80
P04	130
P05	150

Fonte: Acervo do autor.

Para melhor visualização das distâncias entre o heliporto e as plataformas, é apresentado na Figura 6 abaixo:

Figura 6: Fluxograma – Caso 1

Fonte: Acervo do autor.

Neste trabalho, serão utilizados três modelos de helicópteros (frota própria), médio e grande porte, sendo usados dois de cada modelo para transportar os funcionários para algumas plataformas *offshore* e um ponto de origem (Heliporto).

Os modelos das aeronaves utilizadas são:

- 1 AW 139: esta aeronave de médio porte biturbina é produzida pela AgustaWestland, mostrado na Figura 6. De acordo com o fabricante, esta aeronave é apropriada para o transporte *offshore*. Possui cabine com capacidade para 12 passageiros. A velocidade de cruzeiro máxima desta aeronave é de 306 km/h e distância máxima percorrida é de 1200 km.

Figura 7: Aeronave AW 139 da empresa AgustaWestland



Fonte: Sena, 2011.

- 2 AS365: aeronave de médio porte, biturbina, fabricada pela Eurocopter (Figura 7). Esta aeronave é particularmente adequada ao transporte de passageiros (*Offshore*, Executivo ou VIP), e às missões de defesa civil (Polícia, Combate a Incêndio, etc.). Apresenta capacidade para 2 pilotos e 11 passageiros e velocidade de cruzeiro máxima de 277 km/h. Sua distância máxima percorrida atinge 860 km.

Figura 8: Aeronave AS365 da empresa Eurocopter



Fonte: Aerodinâmica, 2014.

- 3 EC225: é uma aeronave de grande porte do fabricante Eurocopter, Figura 8. Na configuração utilizada pela Petrobras, seguindo as normas de Segurança, Meio Ambiente e Saúde vigentes na empresa, esta aeronave apresenta 18 assentos de passageiros. Esta aeronave de asa móvel apresenta velocidade de cruzeiro máxima de 324 km/h e distância percorrida são 838 km.

Figura 9: Aeronave EC225 da empresa Eurocopter

Fonte: Sena, 2011.

Os custos associados aos helicópteros foram atribuídos como uma condição fictícia, mostrado na Tabela 6.

Tabela 6: Custos associados com os helicópteros

Tipo de helicóptero	Custos (reais)	
	ct*	cd**
AW 139	253	21
AS365	300	25
EC 225	420	32

Fonte: Acervo do autor.

* Parcela do custo de operação do helicóptero h por unidade de tempo (em minutos) de utilização.

** Parcela do custo de operação do helicóptero h por unidade de distância (km) viajou de helicóptero.

A geração das rotas foi estruturada, seguindo a metodologia de Soletti (2006), atribuindo-se para cada sequência, uma variável binária, sendo 1 atribuído para as plataformas que serão escaladas naquela sequência e 0, em caso contrário. A ordenação das plataformas impõe uma sequência lógica de viagem, evitando a alternância de sentidos até o último ponto; e considera apenas o desembarque dos funcionários.

A Tabela 7 representa esquema de roteiros para um cenário com o heliporto como origem e as plataformas de destino P001, P002, P003, P004 e P005.

Tabela 7: Geração de rotas

Helipporto	P001	P002	P003	P004	P005				
1	x	x	x	x	1	=	2^4	=	16
1	x	x	x	1		=	2^3	=	8
1	x	x	1			=	2^2	=	4
1	x	1				=	2^1	=	2
1	1					=	2^0	=	1
							Total	=	31

Fonte: Adaptado de Soletti, 2006.

As células que contém “x” poderão ser atribuídas ambos os valores (1 ou 0). Ao lado de cada esquema está representada a quantidade de rotas viáveis nas linhas, sendo este valor a potência de dois (2) e expoente, o número de variáveis binárias.

A Tabela 8 é mostrada todas as possíveis rotas, num total de 31. O número 1 indica que a plataforma faz parte da rota e o número 0 que a plataforma não pertence àquela rota. Essa sequência binária foi gerada no *software Simple Solver*.

Tabela 8: Possíveis rotas – Caso 1

Rotas	Origem		Destino				
	Heliporto	Distância (km)	P001	P002	P003	P004	P005
01	1	90	1	0	0	0	0
02	1	120	0	1	0	0	0
03	1	130	1	1	0	0	0
04	1	160	0	0	1	0	0
05	1	170	1	0	1	0	0
06	1	175	0	1	1	0	0
07	1	185	1	1	1	0	0
08	1	260	0	0	0	1	0
09	1	265	1	0	0	1	0
10	1	275	0	1	0	1	0
11	1	285	1	1	0	1	0
12	1	265	0	0	1	1	0
13	1	275	1	0	1	1	0
14	1	280	0	1	1	1	0
15	1	290	1	1	1	1	0
16	1	300	0	0	0	0	1
17	1	305	1	0	0	0	1
18	1	310	0	1	0	0	1
19	1	320	1	1	0	0	1
20	1	310	0	0	1	0	1
21	1	320	1	0	1	0	1
22	1	325	0	1	1	0	1
23	1	335	1	1	1	0	1
24	1	310	0	0	0	1	1
25	1	315	1	0	0	1	1
26	1	325	0	1	0	1	1
27	1	335	1	1	0	1	1
28	1	315	0	0	1	1	1
29	1	325	1	0	1	1	1
30	1	330	0	1	1	1	1
31	1	340	1	1	1	1	1

Fonte: Acervo do autor.

A distância, dada em quilômetros, é a soma do percurso de ida e volta que o helicóptero faz do ponto de origens até as plataformas de destino. A ordem de pouso das plataformas é crescente de acordo com a distância entre a origem. (P1,P2,P3,P4,P5).

Para resolução do modelo, após a obtenção das rotas, é necessário atribuir alguns parâmetros, tais como: as características dos helicópteros que serão utilizados nos cenários, características das plataformas, parcelas de custos referentes ao transporte, às demandas a serem atendidas e o tempo máximo para que estas sejam atendidas foi pré-estabelecido num período de 8640 minutos, trabalhando 8 horas por dia (aproximadamente 18 dias).

4.2. MODELO ALTERNATIVO (ESTUDO DE CASO 2)

Como o modelo foi desenvolvido de forma global, será mostrado outro estudo utilizando uma demanda de 610 funcionários, conforme Tabela 9, para atender as plataformas P001, P002, P003, P004 e P005.

Tabela 9: Demanda diária de funcionários (caso 2)

Plataformas	Quantidade de funcionários
P001	120
P002	150
P003	90
P004	120
P005	130
Total	610

Fonte: Acervo do autor.

Os helicópteros utilizados neste modelo serão os mesmos utilizados no Caso 1, consequentemente os custos de operação serão os mesmos.

Serão alternadas as distâncias entre o heliporto e as plataformas. As Tabelas 10 e 11 apresentam essas distâncias em km. Para melhor visualização é mostrado na Figura 10, um fluxograma do heliporto para as plataformas. A partir das distâncias apresentadas foram geradas as possíveis rotas (Tabela 12).

Tabela 10: Matriz de distância entre as plataformas – Caso 2

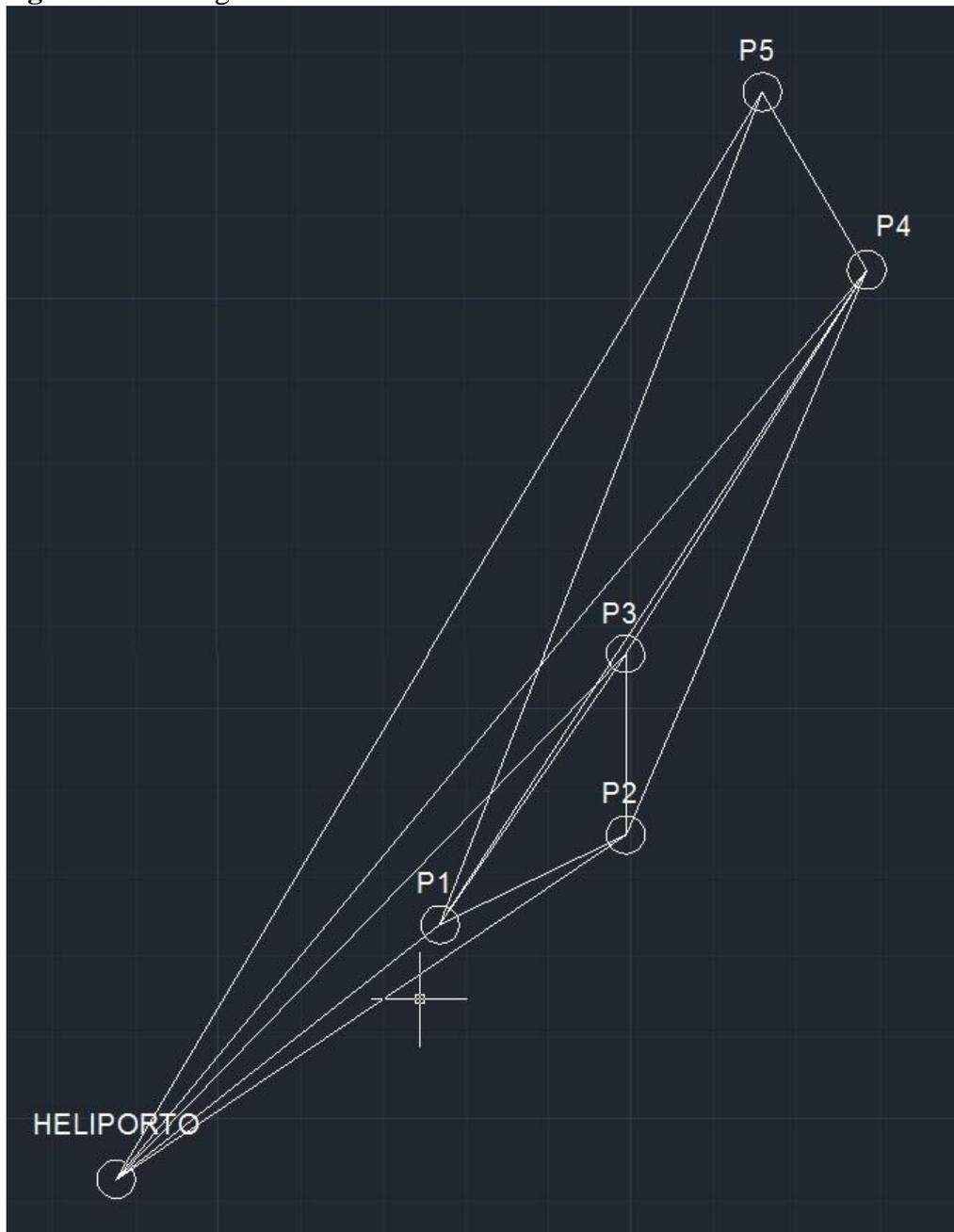
	Distância Plataforma - Plataforma				
	P01	P02	P03	P04	P05
P01	0	25	40	95	110
P02	25	0	20	70	85
P03	40	20	0	65	70
P04	95	70	65	0	25
P05	110	85	70	25	0

Fonte: Acervo do autor.

Tabela 11: Distância entre o heliporto e as plataformas – Caso 1

Distância Plataforma - Heliporto	
Plataformas	Distância
P01	50
P02	70
P03	85
P04	135
P05	150

Fonte: Acervo do autor.

Figura 10: Fluxograma – Caso 2

Fonte: Acervo do autor.

Tabela 12: Possíveis Rotas (Caso 2).

Rotas	Origem		Destino				
	Heliporto	Distância (km)	P001	P002	P003	P004	P005
01	1	100	1	0	0	0	0
02	1	140	0	1	0	0	0
03	1	145	1	1	0	0	0
04	1	170	0	0	1	0	0
05	1	175	1	0	1	0	0
06	1	175	0	1	1	0	0
07	1	180	1	1	1	0	0
08	1	270	0	0	0	1	0
09	1	280	1	0	0	1	0
10	1	275	0	1	0	1	0
11	1	280	1	1	0	1	0
12	1	285	0	0	1	1	0
13	1	290	1	0	1	1	0
14	1	290	0	1	1	1	0
15	1	295	1	1	1	1	0
16	1	300	0	0	0	0	1
17	1	310	1	0	0	0	1
18	1	305	0	1	0	0	1
19	1	310	1	1	0	0	1
20	1	305	0	0	1	0	1
21	1	310	1	0	1	0	1
22	1	310	0	1	1	0	1
23	1	315	1	1	1	0	1
24	1	310	0	0	0	1	1
25	1	320	1	0	0	1	1
26	1	315	0	1	0	1	1
27	1	320	1	1	0	1	1
28	1	325	0	0	1	1	1
29	1	330	1	0	1	1	1
30	1	330	0	1	1	1	1
31	1	335	1	1	1	1	1

Fonte: Acervo do autor.

Como a demanda das plataformas é diferente do Caso 1, assim o tempo de embarque e desembarque atribuído como parâmetro também será diferente, pois varia a quantidade de pessoas. O tempo máximo para que estas sejam atendidas foi pré-estabelecido num período de 7200 minutos, trabalhando 8 horas por dia (aproximadamente 15 dias).

4.3. ÍNDICES

Os índices utilizados no modelo matemático são os seguintes:

r : representa a rota composta pelas plataformas que foram selecionadas para fazer parte de uma programação. O número de rotas pode variar de um a m , onde m dependerá do número de plataformas consideradas;

h : representa um helicóptero;

i : representa a plataforma que está associada a uma demanda.

4.4. CONJUNTOS

I : Conjunto das plataformas de destino das pessoas;

R : Conjunto das rotas viáveis;

H : Conjunto de helicópteros.

4.5. PARÂMETROS

d_i : Demanda para a plataforma i (unidade);

$desemb_i$: Tempo médio de desembarque do helicóptero h na plataforma i (minutos);

emb_i : Tempo médio de embarque de passageiros (min);

v_h : Velocidade do helicóptero h (km/h);

cap_h : Capacidade máxima de passageiros de cada helicóptero (unid);

$capm_h$: Capacidade mínima requisitada para cada helicóptero (%);

ct_h : Parcela do custo de voo do helicóptero h por unidade de tempo (minutos);

cd_h : Parcela do custo de voo do helicóptero h por unidade de distancia percorrida pelo helicóptero (km);

aut_h : autonomia de voo (distância máxima – km);

hth : Horizonte de tempo para cada helicóptero (tempo máximo - min);

$tinsp$: Tempo de inspeção por rota (minutos);

$talm$: Tempo de almoço e descanso por dia (minutos);

ht : Horizonte de tempo de trabalho (minutos).

4.6. VARIÁVEIS DE DECISÃO

$temp_{hr}$: Tempo que o helicóptero h leva para percorrer a rota r (minutos).

top_{hr} : Tempo que o helicóptero h permanece em operação na rota r .

$distan_{h,r}$: distância percorrida pelo helicóptero h em cada rota r realizada (km).

q_{hr} : Número de vezes que o helicóptero percorre a rota (unidade).

m_{ihr} : quantidade de pessoas transportadas para a plataforma i , pelo helicóptero h , na rota r (unidade).

4.7. FUNÇÃO OBJETIVO

A função objetivo, a ser minimizada, é dada pela Equação (6) que representa o custo mínimo necessário para que as demandas sejam satisfeitas, levando em consideração custos por distância e tempo de viagem.

$$\text{Minimizar } \sum_{h \in H} \sum_{r \in R} ct_h * top_{hr} + \sum_{h \in H} \sum_{r \in R} cd_h * distan_{hr} \quad (6)$$

4.8. RESTRIÇÕES

A quantidade de pessoas, transportadas para a plataforma i , pelos helicópteros h , pertencentes ao conjunto H , associados às rotas r , pertencentes ao conjunto R , deve ser igual à demanda na plataforma i (Equação 7). A cada pouso, em uma plataforma, é entregue uma quantidade de pessoas, sendo recolhida, a mesma quantidade; ou seja, a demanda de cada plataforma representará a quantidade de pessoas que devem ser entregue e recolhidas, no horizonte de tempo.

$$\sum_{h \in H} \sum_{r \in R} m_{ihr} = d_i \quad \forall i \in I \quad (7)$$

O tempo que o helicóptero permanece em operação na rota (Equação 8) pode ser obtido através da distância percorrida em uma rota r e da velocidade do helicóptero h ,

multiplica-se por dois, considerando que ao partir da última plataforma da rota, o helicóptero retorna ao heliporto; e soma aos tempos de desembarque e embarque.

$$\left(2 \frac{dist_r}{8v_h}\right) + \left(\sum_{i \in I} \sum_{r \in R} desembi + \sum_{i \in I} \sum_{r \in R} emb_i\right) * q_{hr} = top_{hr} \quad \forall h \in H, \forall r \in R, \forall i \quad (8)$$

O somatório dos tempos, inspeção e operação para cada helicóptero h deve ser menor ou igual ao tempo que o helicóptero leva para percorrer a rota r , como mostra Equação 9.

$$tinsp * q_{hr} + top_{hr} = temp_{hr} \quad \forall h \in H, \forall r \in R \quad (9)$$

O tempo máximo que o piloto pode levar para completar cada rota sem intervalo deve ser menor ou igual 6 horas (360 min) multiplicado a quantidade de vezes que o helicóptero faz a rota (Equação 10).

$$temp_{hr} \leq 360 * q_{hr} \quad \forall h \in H, \forall r \in R \quad (10)$$

A Equação 11 estabelece o tempo máximo de disponibilidade no horizonte de tempo por helicóptero h , assim o tempo de operação não pode ser maior que o horizonte de tempo pré-estabelecido por cada helicóptero.

$$\sum_{i \in I} top_{hr} \leq hth_h \quad \forall h \in H \quad (11)$$

O tempo total de que o helicóptero percorre a rota deve ser menor ou igual ao horizonte de tempo total do planejamento logístico, dado pela Equação 12.

$$\sum_{r \in R} \sum_{h \in H} temp_{hr} \leq ht \quad \forall h \in H, \forall r \in R \quad (12)$$

Para melhor visualização de resultado, a Equação 13 calcula o tempo total que o helicóptero percorre a rota em dias.

$$tdias = \sum_{r \in R} \sum_{h \in H} temp_{hr}/60/8 \quad \forall h \in H, \forall r \in R \quad (13)$$

A quantidade de pessoas transportadas para plataforma i , pelo helicóptero h na rota r , não pode ultrapassar a capacidade do helicóptero h e deve transportar uma quantidade mínima de pessoas para que não tenham custos excessivos durante as viagens; descrito na Equação 14 e 15 respectivamente.

$$\sum_{i \in I} m_{hri} \leq cap_h * q_{hr} \quad \forall h \in H, \forall r \in R \quad (14)$$

$$\sum_{i \in I} m_{hri} \geq capm_h * cap_h * q_{hr} \quad \forall h \in H, \forall r \in R \quad (15)$$

A capacidade máxima de pessoas transportadas pelos helicópteros para cada plataforma em cada rota deve ser menor ou igual à demanda de cada plataforma i (Equação 16). E a capacidade mínima de pessoas transportadas pelos os helicópteros para cada plataforma em cada rota é demonstrada na Equação 17.

$$m_{hri} \leq d_i \quad \forall i \in I \quad (16)$$

$$m_{hri} \geq q_{hr} \quad \forall h \in H, \forall r \in R \quad (17)$$

Para calcular a autonomia do helicóptero h , faz-se necessário calcular a distância máxima percorrida em cada rota r (Equação 18).

$$q_{hr} * dist_r = distan_{hr} \quad \forall h \in H, \forall r \in R \quad (18)$$

Cada helicóptero h possui uma distância máxima a ser percorrida, e sua autonomia é descrita na Equação 19.

$$\sum_{r \in R} distan_{hr} \leq aut_h \quad \forall h \in H, \forall r \in R \quad (19)$$

As restrições de não negatividade, deste modelo, estão descritas nas Equações 15 a 17.

$$\mathbf{temp}_{hr} \geq \mathbf{0} \quad (20)$$

$$\mathbf{distan}_{hr} \geq \mathbf{0} \quad (21)$$

$$\mathbf{m}_{ihr} \geq \mathbf{0} \quad (22)$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O modelo foi concebido de forma global, podendo fazer alterações em condições pré-estabelecidas, como a quantidade de plataformas, rotas, tipo de helicóptero, custos e demanda. A validação do modelo foi realizada com um estudo de caso, utilizando dados aproximados encontrados na literatura.

Com os modelos matemáticos propostos foi possível simular um planejamento logístico minimizando os custos associados às distâncias percorridas pelos helicópteros atendendo a demanda das plataformas em um tempo mínimo.

5.1. CASO 1

Foram utilizados os 12 helicópteros disponíveis no heliporto, não restando nenhum helicóptero reserva.

O tempo total gasto para cada helicóptero percorrer as rotas é mostrado na Tabela 13.

Tabela 13: Tempo em que o helicóptero gasta para percorrer a melhor rota (min) – Caso 1

Helicópteros	Rotas					
	01	02	04	08	16	20
AW139-1		360,1	240,2	150,2	160,2	
AW139-2				300,4	160,2	220,2
AW139-3			120,1		480,7	
AW139-4			120,1		480,7	
EC225-1	600,2	540,2				
EC225-2		360,1		150,1	160,2	
EC225-3	300,1	180,0		300,3		
EC225-4			360,3		160,2	
AS365-1				150,2		
AS365-2				150,2		
AS365-3				150,2	160,2	
AS365-4		180,1		150,2		

Fonte: Acervo do Autor.

Observa-se que o helicóptero EC225-1 tem o maior tempo para percorrer a rota devido à quantidade de viagens que a percorre, 600,2 minutos como mostra na Tabela 14. Os helicópteros AW139-3 e 4 fazem o menor tempo, 120,1 minutos.

Tabela 14: Número de vezes que o helicóptero percorre a rota – Caso 1

Helicópteros	Rotas					
	01	02	04	08	16	20
AW139-1		2	2	1	1	
AW139-2				2	1	1
AW139-3			1		3	
AW139-4			1		3	
EC225-1	4	3				
EC225-2		2		1	1	
EC225-3	2	1		2		
EC225-4			3		1	
AS365-1				1		
AS365-2				1		
AS365-3				1	1	
AS365-4		1		1		

Fonte: Acervo do Autor.

Cada helicóptero percorre uma distância máxima, obedecendo à restrição exposta de autonomia da aeronave, mostrada na Tabela 15.

Tabela 15: Distância percorrida pelos helicópteros (km) – Caso 1

Helicópteros	Rotas					
	01	02	04	08	16	20
AW139-1		240	320	260	300	
AW139-2				520	300	310
AW139-3			160		900	
AW139-4			160		900	
EC225-1	360	360				
EC225-2		240		260	300	
EC225-3	180	120		520		
EC225-4			480		300	
AS365-1				260		
AS365-2				260		
AS365-3				260	300	
AS365-4		120		260		

Fonte: Acervo do Autor.

O *Solver* mostrou um resultado para o tempo total para atendimento da demanda de 6847 minutos, aproximadamente 15 dias, obedecendo ao horizonte de tempo pré-estabelecido. E como resultado da função objetivo (solução ótima) de 1631350,6.

A quantidade de pessoas transportadas deve respeitar a restrição de capacidade do helicóptero e atendimento da demanda, como mostrado na Tabela 16.

Tabela 16: Quantidade de pessoas transportadas pelos helicópteros – Caso 1

Helicópteros	Rotas	P01	P02	P03	P04	P05
AW139-1	02		24			
AW139-1	04			24		
AW139-1	08				9	
AW139-1	16					12
AW139-2	08				24	
AW139-2	16					12
AW139-2	20			1		11
AW139-3	04			12		
AW139-3	16					32
AW139-4	04			9		
AW139-4	16					36
EC225-1	01	100				
EC225-1	02		70			
EC225-2	02		50			
EC225-2	08				23	
EC225-2	16					23
EC225-3	01	50				
EC225-3	02		25			
EC225-3	08				50	
EC225-4	04			74		
EC225-4	16					23
AS365-1	08				11	
AS365-2	08				11	
AS365-3	08				11	
AS365-3	16					11
AS365-4	02		11			
AS365-4	08				11	

Fonte: Acervo do Autor.

5.1.1. Scheduling 1

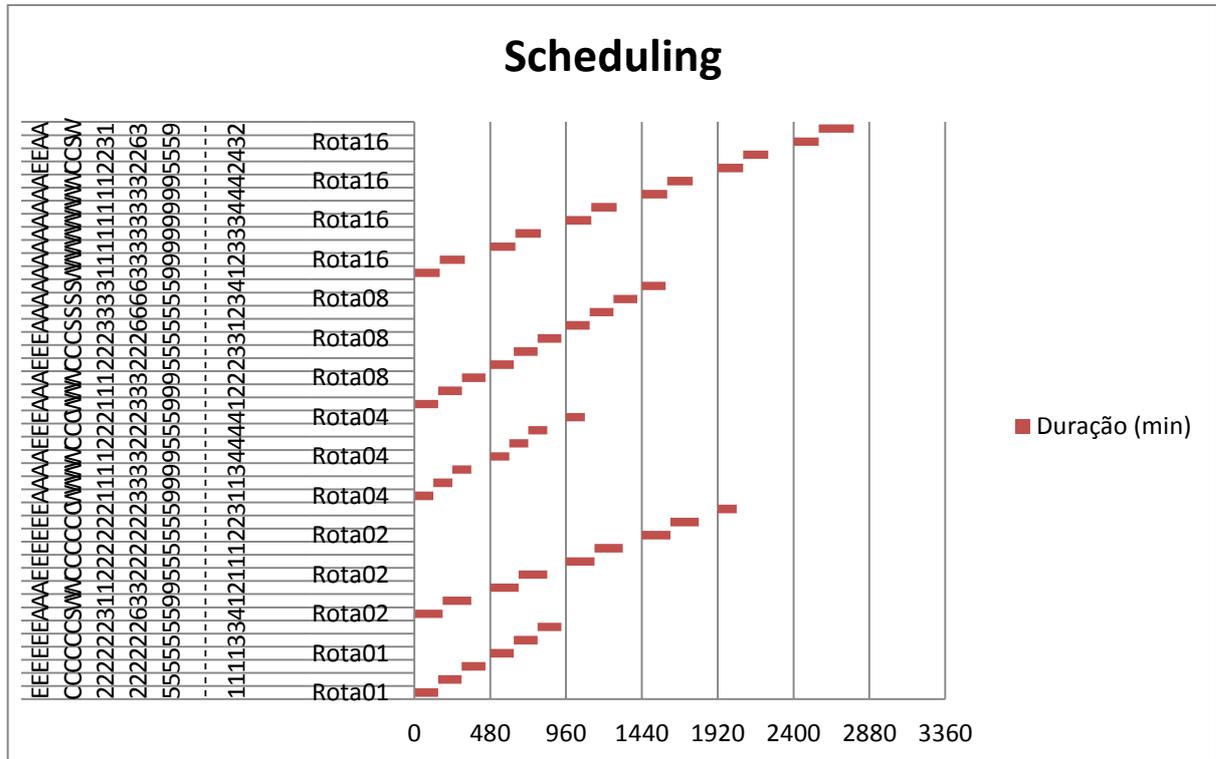
O planejamento de tarefas (scheduling) consiste em alocar tarefas aos pilotos, ou seja, determinar qual helicóptero irá fazer uma determinada rota em um período determinado.

As restrições consideradas para formulação do planejamento foram:

- Uma rota não poderia superar o tempo de trabalho limite, por dia.
- Se duas rotas tiverem um pouso em uma plataforma em comum, elas não podem ocorrer ao mesmo tempo. Caso contrário, podem ocorrer ao mesmo tempo.

A Figura 11 representa o scheduling para o Caso 1.

Figura 11: Scheduling – Caso 1



Fonte: Acervo do Autor.

De acordo com o *scheduling* serão necessários 5 dias e 6 horas para a realização de todas as rotas, atendendo então o horizonte de tempo pré-estabelecido pelo modelo. A determinação da quantidade de almoço é feita por dia, portanto terá 6 horas para almoço, considerando que cada almoço ou descanso é realizado com 1 hora.

Por se tratar de modelagem complexa, inúmeras variáveis, segue abaixo Tabelas 17 e 18 com dados do *Gams*, com tempo de realização da modelagem de .

Tabela 17: Estatísticas do Modelo 1

Estatística do modelo	
Bloco de equações	16
Bloco de variáveis	9
Elementos não nulos	16590
Equações Individuais	5986
Variáveis Individuais	3352
Variáveis Discretas	2232
Tempo de geração	0,141s
Tempo de execução	0,141s

Fonte: Acervo do Autor.

Tabela 18: Resumo de resolução – Modelo 1

Resumo de resolução	
Nome	logística
Tipo	PIM
Solver	CPLEX
Objetivo	obj
Direção	Minimizar
Estado do solver	1 Realização normal
Estado do modelo	8 Soluções inteiras
Valor objetivo	1631350,612
Uso de recurso	1,51
Iterações	787

Fonte: Acervo do Autor.

5.2. CASO 2

Analisando os dados gerados pelo *Solver*, foram utilizados apenas 8 helicópteros (2 modelos AW139 e EC225) dos 12 helicópteros disponíveis no heliporto, sendo otimizada a frota comparando ao modelo anterior.

Alterando a distância entre as plataformas para o Caso 2, o *Solver* utilizado no trabalho obtém os resultados como mostrados nas tabelas a seguir.

A Tabela 19 detalha o tempo que cada helicóptero percorre as rotas escolhidas.

Tabela 19: Tempo em que o helicóptero gasta para percorrer a melhor rota (min) – Caso 2

Helicópteros	Rotas					
	01	02	04	05	08	16
AW139-1	240,1				180,2	320,4
AW139-2					180,2	480,7
AW139-3			160,1			320,4
AW139-4				220,1		320,4
EC225-1	480,2	150,1			180,1	
EC225-2			160,1		180,1	160,2
EC225-3		600,4			180,1	
EC225-4		150,1	320,2		180,1	

Fonte: Acervo do Autor.

Como mostrado acima, o helicóptero que demanda o maior tempo para percorrer a rota é o EC225-3, 600,4 minutos, por fazer quatro vezes (Tabela 20) a Rota 2 e ter maior distância que a Rota 1. Os helicópteros EC225-1 e 4 gastam menor tempo para percorrer as rotas, com 150,1 minutos.

Tabela 20: Número de vezes que o helicóptero percorre a rota – Caso 2

Helicópteros	Rotas					
	01	02	04	05	08	16
AW139-1	2				1	2
AW139-2					1	3
AW139-3			1			2
AW139-4				1		2
EC225-1	4	1			1	
EC225-2			1		1	1
EC225-3		4			1	
EC225-4		1	2		1	

Fonte: Acervo do Autor.

A distância máxima percorrida por cada helicóptero é dada na Tabela 21, obedecendo aos critérios da autonomia da aeronave.

Tabela 21: Distância percorrida pelos helicópteros (km) – Caso 2

Helicópteros	Rotas					
	01	02	04	05	08	16
AW139-1	200				270	600
AW139-2					270	900
AW139-3			170			600
AW139-4				175		600
EC225-1	400	140			270	
EC225-2			170		270	300
EC225-3		560			270	
EC225-4		140	340		270	

Fonte: Acervo do Autor.

O helicóptero AW139-2 possui autonomia máxima de 1200 km e percorreu 900 km na Rota 16, como mostra acima.

O tempo total para atendimento da demanda foi de 5165,3 minutos, aproximadamente 11 dias, na qual eram exigidos quinze dias como horizonte de tempo. A solução ótima do Caso 2 foi de 1254730,5, como resultado da função objetivo.

Na Tabela 22 têm-se a quantidade de pessoas transportadas pelas aeronaves para atendimento das plataformas.

Tabela 22: Quantidade de pessoas transportadas pelos helicópteros – Caso 2

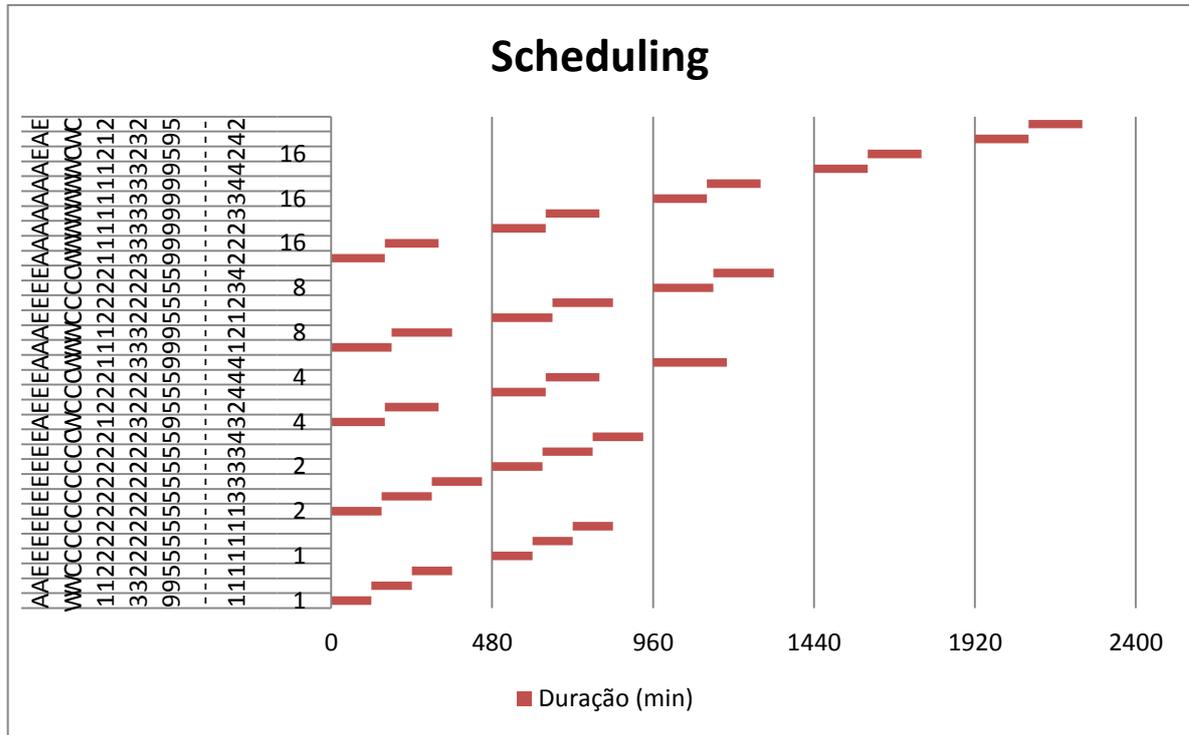
Helicópteros	Rotas	P01	P02	P03	P04	P05
AW139-1	01	22				
AW139-1	08				12	
AW139-1	16					23
AW139-2	08				12	
AW139-2	16					36
AW139-3	04			12		
AW139-3	16					24
AW139-4	05	7		3		
AW139-4	16					24
EC225-1	01	91				
EC225-1	02		25			
EC225-1	08				23	
EC225-2	04			25		
EC225-2	08				25	
EC225-2	16					23
EC225-3	02		100			
EC225-3	08				25	
EC225-4	02		25			
EC225-4	04			50		
EC225-4	08				23	

Fonte: Acervo do Autor.

5.2.1. *Schedulling 2*

Para o Caso 2, o *schedulling* também foi realizado de acordo com o Caso 1. A Figura 12 mostra o planejamento das rotas no período determinado.

Figura 12: *Schedulling* – Caso 2



Fonte: Acervo do Autor.

Para concluir o roteamento dos helicópteros serão necessários 4 dias e 5 horas, menor tempo que o Caso 1, atendendo o período pré-determinado de 15 dias do modelo.

As Tabelas 23 e 24 apresentam os dados do modelo 2 gerados pelo *solver GAMS*, com tempo decorrido de !

Tabela 23: Estatísticas do Modelo 2

Estatística do modelo	
Bloco de equações	16
Bloco de variáveis	9
Elementos não nulos	16590
Equações Individuais	5986
Variáveis Individuais	3352
Variáveis Discretas	2232
Tempo de geração	0,046s
Tempo de execução	0,046s

Fonte: Acervo do Autor.

Tabela 24: Resumo de resolução – Modelo 2

Resumo de resolução	
Nome	logística
Tipo	PIM
Solver	CPLEX
Objetivo	obj
Direção	Minimizar
Estado do solver	1 Realização normal
Estado do modelo	8 Soluções inteiras
Valor objetivo	1254730,533
Uso de recurso	0,263
Iterações	512

Fonte: Acervo do Autor.

6. CONCLUSÃO

Ao ser analisado desde os momentos iniciais da exploração em plataformas *offshore* no Brasil, vê-se uma contínua e acelerada ascensão, e diversas metamorfoses ocorridas ao longo dos tempos, com expressivo desenvolvimento socioeconômico, para o país, bem como seu reconhecimento internacional.

Com o aumento da exploração e produção de petróleo, faz-se necessário um planejamento logístico para atender o cliente com eficácia, otimizando o fluxo de pessoas para as plataformas de maneira que não faça interferência no processo produtivo, bem como o planejamento de frotas de helicópteros num curto período estabelecido.

O funcionamento harmônico de todo processo enfatiza-se a relação; homens, custos operacionais e tempo despendido, abordando a minimização de custos e maximização de lucros, visando, sobretudo a eficácia do modelo desenvolvido, fazendo com que tenha uma economia significativa para as empresas, tornando-se competitiva e atendendo as expectativas dos clientes.

A programação linear inteira mista vem sendo muito utilizada para resolver problemas com inúmeras variáveis, com recursos limitados atendo a um objetivo, que neste caso é a minimização de custos.

Comparando os dois casos utilizados no trabalho, foi possível observar a otimização da frota no Caso 2, pois serão usados 8 helicópteros de apenas 2 modelos (AW139 e EC225), além de concluir a rota em menor tempo. Por este fato, torna-se fácil a manutenção, reposição de peças e terão helicópteros reservas para substituição.

A otimização, referente ao transporte modal aeroviário, faz parte dos referenciais para o sucesso operacional, dentre a diversidade de novos requisitos que surgem, segurança e agilidade.

A evolução e a descrição do cenário deste projeto mostraram resultados consistentes; ressaltando a dificuldade de encontrar dados reais não foi possível mensurar e comparar ao exposto, fator que culminou em determinados problemas encontrados durante a pesquisa.

No tocante à exposição e consecução do projeto, espera-se que o mesmo venha permear não tão somente expressões econômicas em si, mas, que de fato ultrapasse as fronteiras de interesses privativos e possa satisfazer a sociedade como um todo.

7. REFERÊNCIAS

ABEPRO. **Associação Brasileira de Engenharia de Produção**. Disponível em <<http://www.abepro.org.br/>>. Acesso em 16 de Janeiro de 2014.

AERODINÂMICA CONSULTORIA E SERVIÇOS S/C LTDA. Disponível em <<http://www.aerodinamica.com.br/PORTUGUES/as365nspec.html>>. Acesso em 05 de Junho de 2014.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **World Energy Outlook 2009**. Paris, 2009. 698 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO (ANP). **Anuário estatístico de petróleo, gás natural e biocombustíveis**. 2008. ISSN 1983-5884.

ARANELES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional**: para cursos de engenharia. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 6ª ed.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**: logística empresarial. Porto Alegre: Bookman, 2006.

_____. **Logística Empresarial**: transportes, administração de materiais e distribuição física. São Paulo: Atlas, 1993.

BARBAROSOĞLU, G.; ÖZDAMAR, L.; ÇEVİK, A. An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations. **European Journal of Operational Research**, v. 140, 2002, p. 118–133.

BATISTA, B. C. D. **Análise das operações com embarcações de apoio offshore na bacia de campos– RJ**. 2005. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BERTAGLIA, P. R. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Abastecimento: Entendendo a cadeia de abastecimento integrada**. São Paulo: Atlas, 2001.

BODIN, L.D.; B. GOLDEN; A. ASSAD; BALL M. Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art. **Computers and Operations Research**, v.10, n.2, 1983, p. 63-211.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logistical Management**. The Integrated Supply Chain Process. New York: McGraw Hill, 1996.

BRITTAN, D.; DOUGLAS, S. Offshore Crew Supply - Modern Marine Options Challenge Helicopters. **Society of Petroleum Engineers**, 2009.

CARRERA, M. A. **A competitividade através da estratégia logística**. Dracena, mar. 2008.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimento**: estratégia, planejamento e operação. Tradução Claudia Freire. São Paulo: Prentice Hall, 2003. 465 p.

CHRISTOPHER, M.. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**. 1ª ed. São Paulo: Pioneira. 1997.

COLLINS, J. C.; PORRAS, J. I. Building your Company's Vision. **Harvard Business Review**, September – October 1996, p 65-77.

COUILLARD, J. A decision support system for vehicle fleet planning. **North- Holland: Decision Support Systems**. v. 9. n. 2, 1993, p 149-159.

DAGANZO, C. F. **Logistics systems analysis**. 2ª ed, Editora Springer, 1996.

DANTZIG, G.; RAMSER, J. The truck dispatching problem. **Management Science**, v. 6, n. 1, Oct., 1959, p 80–91.

DASKIN, M. S. Logistics: An overview of the state of the art and perspectives on future research. **Transportation Science A**, v. 39 A, n. 5/6, p 383-398, 1985.

EHRlich, P. J. **Pesquisa Operacional**: curso introdutório. São Paulo: Altas, 1985. 5ª ed.

ELLENRIEDER, A. V. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: Almeida Neves Editores Ltda, 1971.

ENOMOTO, L. M.; LIMA, R. S. Análise da distribuição física e roteirização em um atacadista. **Produção**, v. 17, n. 1, p. 94-108, Jan./Abr. 2007.

FIALA TIMLIN, M. T.; PULLEYBLANK, W. R. Precedence Constrained Routing and Helicopter Scheduling: Heuristic Design. **Interfaces**, v 22, n 3, 1992, p 100-111.

FILHO, A. O. C. **Logística**: Novos Modelos. 2.ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

FLEURY, P. F. **Perspectivas para a Logística Brasileira**. Artigo do Centro de Estudos em Logística – COPPEAD – UFRJ, 1998.

FURTADO, A. T.; FREITAS, A. G. (2004). Nacionalismo e aprendizagem no programa de Águas profundas da Petrobrás. **Revista Brasileira de Inovação**, v 3, n 1, 2004, p 55–86.

GALVÃO, R. D.; GUIMARÃES, J. The control of helicopter operations in the Brazilian oil industry: Issues in the design and implementation of a computerized system. **Eur. J. Oper. Res.**, v 49, n 2, 1990, p 266–270.

GAVIRA, M. O. **Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento**. 2003. 163 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos.

GOEKING, W. Instalações offshore: pioneirismo brasileiro. **O Setor Elétrico**, São Paulo, edição 50, Mar 2010.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Otimização combinatória e programação linear**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. 2ª ed.

GOMES, E. F. **Gerenciamento dos processos logísticos: um estudo do sistema de medição de desempenho em centro de distribuição.** 2008. 111 p. Dissertação (Mestrado em Administração). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

GÓMEZ S., C. G.; CRUZ-REYES, L.; GONZÁLEZ B., J. J.; FRAIRE H., H. J.; PAZOS R., R. A.; MARTÍNEZ P., J. J. Ant colony system with characterization-based heuristics for a bottled-products distribution logistics system. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, v. 259, Part B, 2013, p. 965-977.

HALL, R. W. Research opportunities in logistics. **Transportation Research – A**, v. 19A, nº 5/6, 1985, p. 399-402.

LAMBERT, D. M.; STOCK, J. R.; ELLRAM, L. M. **Fundamentals of Logistics Management.** McGraw-Hill, Homewood, IL, New York.1998.

LAPORTE, G.; M. GENDREAU; J.Y. POTVIN e F. SEMET. Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem. **International Transactions in Operational Research**, v 7, n 4/5, 2000, p 285-300.

MACHADO, A. M. **Modelo matemático para apoio à gestão da logística de empregados de plataformas offshore de exploração de petróleo.** 2013. 135 p. Dissertação (Mestrado em Gestão Pública). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

MARTINS, F. A. S.; SILVA, A. F.; SILVA, G. M.; ANDRADE LOPES, P. R. M. **Pesquisa Operacional: desenvolvimento e otimização de modelos matemáticos por meio da linguagem GAMS.** São Paulo, 2011. 107 p. Apostila da Universidade Estadual Paulista (UNESP).

MARTINS, R.S.; XAVIER, W.S.; SOUZA, O. V.; MARTINS G. S. Transport management in small and médium-sized enterprises in Brazil. **Journal of Operations and Supply Chain Management**, v. 3, nº 1, p.55-66, 2010.

MEDEIROS, O. M. **Pesquisa operacional.** Revista da ETRN. Natal, ano 12, v 2, p 53-60, 2000.

MENEZES, F.; MORENO, L.; UCHOA, E.; ABELEDO, H.; NASCIMENTO, N. C. Optimizing Helicopter Transport of Oil Rig Crews at Petrobras. **Interfaces**, v 40, n 5, 2010, p 408–416.

MOORE, J.; WEATHERFORD, L. **Tomada de decisão em administração com planilhas eletrônicas.** Porto Alegre: Bookman, 2005.

MORENO, L.; ARAGÃO, M. P.; UCHOA E. Column Generation Based Heuristic for a Helicopter Routing Problem. **Experimental Algorithms, Lecture Notes in Computer Science**, v. 4007, 2006, p 219-230.

NETO, J. B. O; COSTA, A. J. D. A Petrobrás e a exploração de Petróleo Offshore no Brasil: um approach evolucionário. **RBE**, Rio de Janeiro, v. 61, n. 1, p 95-109, 2007.

ONO, R. T. **Estudo de viabilidade do transporte marítimo de contêineres por cabotagem na costa brasileira**. 2001. 151 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

OZDAMAR, L. Planning helicopter logistics in disaster relief. **OR Spectrum**, v 33, n 3, 2011, p 655-672.

PETROBRÁS. **Petróleo no mar e a primeira plataforma**. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/quem-somos/trajetoria/>>. Acesso em: 4 de Dezembro de 2013.

PETROBRÁS. **Fatos e dados**. Disponível em: <<http://fatosedados.blogspot.com.br/2014/01/15/reservas-provadas-no-pre-sal-cresceram-43-em-2013/>>. Acesso em: 24 de Outubro de 2014.

POZO, H. **Administração de Recursos Materiais e Patrimoniais**. 2 ed. São Paulo: Atlas S. A., 2002.

REVELLE, C.S., EISELT, H.A., DASKIN, M.S.: A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science. **European Journal of Operational Research**, v. 184, n. 3, 2008, p. 817-848.

SANTOS, R. F.; SOUZA JUNIOR, E. C.; BOUZADA, M. A. C. A aplicação da programação inteira na solução logística do transporte de carga: o solver e suas limitações na busca pela solução ótima. **Revista Produção Online**, Florianópolis, SC, v.12, n. 1, p. 185-204, jan./mar. 2012.

SARUBBI, J. F. M. **Problemas de Roteamento com custos de carga**. 2008. 181 p. Tese (Doutorado em Ciência da Computação). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SENA, N. S. **Planejamento de rede logística de transporte aéreo de pessoas para atividades de exploração e produção de petróleo em bacia marítima utilizando programação inteira mista**. 2011. 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE). Rio de Janeiro.

SOLETTI, J. I.; CARVALHO, S. H. V.; SOUSA, C. J.; OLIVEIRA JUNIOR, A. M. Helicopter routing problem applied to offshore platforms. **Engineering Optimization IV**, Sep 2014 , p 901-904.

SOLETTI, L. **Planejamento e distribuição de derivados de petróleo via transporte marítimo**. 2006. 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

STALK, Jr, G.; HOUT, T. M. **Competindo Contra o Tempo**. Rio de Janeiro: Campus. 1993.