

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
CAMPUS MACAÉ  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MARCELO DA SILVA PEREIRA

ANÁLISE MULTICRITÉRIO E ROTEIRIZAÇÃO APLICADO A LOGÍSTICA DE  
TRANSBORDO EMERGENCIAL ENTRE UNIDADES *OFFSHORE* NA INDÚSTRIA  
DO PETRÓLEO

MACAÉ  
2020

MARCELO DA SILVA PEREIRA

ANÁLISE MULTICRITÉRIO E ROTEIRIZAÇÃO APLICADO A LOGÍSTICA DE  
TRANSBORDO EMERGENCIAL ENTRE UNIDADES *OFFSHORE* NA INDÚSTRIA  
DO PETRÓLEO

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado à Universidade Federal  
do Rio de Janeiro como requisito  
parcial à obtenção de título de  
bacharel em Engenharia de  
Produção. Orientador: Prof. Matheus  
Ferreira de Barros.

MACAÉ

2020

Nome: **PEREIRA**, Marcelo da Silva

Título: Análise multicritério e roteirização aplicado a logística de transbordo emergencial entre unidades *offshore* na indústria do petróleo.

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito parcial à obtenção de título de bacharel em Engenharia de Produção.

Macaé, 07 de abril de 2021

---

Prof. Matheus Ferreira de Barros, MSc.  
Professor Orientador  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

---

Prof. Isabella Fischer, MSc.  
Professora Coorientadora  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

---

Prof. Ricardo França Santos, DSc.  
Membro da Banca Examinadora  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

---

Prof. Janaina Sant Anna Gomide Gomes, DSc.  
Membro da Banca Examinadora  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

***As opiniões expressas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(a) autor(a)***

*Dedico este trabalho de conclusão ao meu avô Edegart Pereira (IN MEMORIAN) e avó Zuleika Pinheiro (IN MEMORIAN) por terem acreditado em mim, terem me dado valores e incentivos para permanecer motivado. Obrigado por mostrar que muito mais que chegar ao destino, o importante é apreciar a caminhada.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus acima de tudo. Agradeço da minha vida à toda estrutura dada para que eu pudesse alcançar o êxito neste curso. Agradeço a família e amigos colocados na minha trajetória e que tanto contribuíram para o meu aprendizado.

Agradeço aos meus pais, por terem me ensinado a ter garra e persistência, por buscar extrair de mim sempre o melhor. Agradeço a criação, a educação, o discernimento e a vida.

Agradeço a minha esposa, por estar do meu lado a todo o momento, por me incentivar na conclusão, auxiliar nas tarefas da vida e possibilitar que eu cumprisse e rompesse qualquer barreira nesse caminho. Agradeço a minha filha pela inspiração e motivação que me fizeram transformar como pessoa e me levou a concluir este curso.

Agradeço as minhas irmãs, que sempre me acompanharam e torceram pela minha vitória. Agradeço aos demais familiares pelo suporte e por me motivarem a cada encontro.

Agradeço a todos os meus amigos, em especial aos colegas de trabalho pelas tantas vezes que me ajudaram realizando trocas de escala que me permitiram realizar provas e trabalhos, e aos professores, amigos e colegas da universidade, pelas diversas ajudas, ensinamentos nas disciplinas e matérias da vida, sem os quais não alcançaria tamanha graça.

## RESUMO

A logística de transporte marítimo no setor petrolífero é diversificada e dinâmica. Na bacia de Campos, o transbordo emergencial entre unidades *offshore* envolve certa complexidade na criação do roteiro de visitas às unidades. Essa sequência de atendimento deve considerar diversos critérios simultaneamente. Considerando essa complexidade, este trabalho busca realizar uma alternativa sobre os possíveis meios de decisões de atendimento para transbordos emergenciais entre unidades de produção, tratamento e/ou armazenamento *offshore*, na indústria do Petróleo. A metodologia utilizada para tal análise é o PROMETHEE – *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations* para hierarquização sobre as questões de ordenação das demandas e a base do algoritmo PDP – *Pickup and Delivery Problem* para roteamentos das embarcações de atendimento a essas demandas. Como forma de contextualização, este trabalho inicia-se com uma introdução sobre o setor petrolífero e sua cadeia logística. Posteriormente, apresenta-se um referencial teórico sobre o histórico da indústria do petróleo, informações da cadeia de suprimentos e logística desse segmento, os fundamentos do processo decisório, da pesquisa operacional e dos demais métodos utilizados no trabalho. O capítulo de metodologia apresenta o método utilizado de forma conceitual. Segue-se então para a aplicação do método descrito e a conclusão com os resultados obtidos da aplicação, algumas considerações e propostas futuras. Na avaliação final, discute-se como pode ser promissor, o desenvolvimento de algoritmos e a utilização de métodos de priorização neste tipo de demanda.

## SÍMBOLOS, ABREVIATURAS, SIGLAS E CONVENÇÕES

ABESPETRO	Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Petróleo
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP	Analytic Hierarchy Process
AM-05	Aguardando condição de mar sob máquina
AMD	Apoio Multicritério a Decisão
ANP	Agência Nacional do Petróleo
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i>
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CSCMP	<i>Council of Supply Chain Management Professionals</i>
ELECTRE	<i>Elimination and Choice Expressing Reality</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
E&P	Exploração & Produção
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
OPEX	<i>Operational Expenditure</i>
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations</i>
PDP	<i>Pickup and Delivery Problem</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PO	Pesquisa Operacional
TSP	<i>Travelling Salesman Problem</i>
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UM	Unidade Marítima
VRP	<i>Vehicle Routing Problem</i>

## SUMÁRIO DE TABELAS

<a href="#">Tabela 1 - Matriz de desempenho das alternativas</a> .....	50
<a href="#">Tabela 2 - Funções de preferências</a> .....	52
<a href="#">Tabela 3 - Critérios selecionados vinculados a natureza da demanda</a> .....	74
<a href="#">Tabela 4 - Critérios selecionados vinculados ao roteiro da embarcação</a> .....	75
<a href="#">Tabela 5 - Critérios desconsiderados na AMD e no processo de roteirização</a> .....	75
<a href="#">Tabela 6 - Demandas de transbordo selecionadas e classificadas</a> .....	76
<a href="#">Tabela 7 - Definição das curvas de preferência sobre o processo de priorização</a> .....	77
<a href="#">Tabela 8 - Fluxos das demandas de transbordo</a> .....	78
<a href="#">Tabela 9 - Consolidação da janela de tempo das demandas de transbordo</a> .....	82
<a href="#">Tabela 10 - Pesos dos processos de análise multicritério e PDP</a> .....	82
<a href="#">Tabela 11 - Descontos da matriz de tempo</a> .....	83
<a href="#">Tabela 12 - Limite de tempo operacional das unidades</a> .....	85
<a href="#">Tabela 13 - Resultados do roteiro original</a> .....	86
<a href="#">Tabela 14 - Resultados do roteiro otimizado</a> .....	87

## SUMÁRIO DE FIGURAS

<a href="#">Figura 1 - Divisão da cadeia de suprimentos da indústria do petróleo</a>	23
<a href="#">Figura 2 – Visão geral da cadeia de suprimentos da Indústria do Petróleo</a>	24
<a href="#">Figura 3 - Fluxo de caixa de um poço de petróleo</a>	26
<a href="#">Figura 4 - Visão Macro do sistema produtivo</a>	27
<a href="#">Figura 5 - Fluxo do processo de produção primária</a>	28
<a href="#">Figura 6 - Sistema Logístico Offshore</a>	30
<a href="#">Figura 7 – Elaboração de modelo de PO</a>	42
<a href="#">Figura 8 - Classificação das ferramentas da pesquisa operacional</a>	44
<a href="#">Figura 9 - Análise por método multicritério</a>	47
<a href="#">Figura 10 - Análise por tipo de segmento de produção da cadeia de P&amp;G</a>	47
<a href="#">Figura 11 - Análise por situação geográfica das instalações</a>	47
<a href="#">Figura 12 - Classificação dos problemas de coleta e entrega</a>	59
<a href="#">Figura 13 - Fluxograma do procedimento da pesquisa</a>	65
<a href="#">Figura 14 - Fluxograma do processo de programação de transbordos direto</a>	68
<a href="#">Figura 15 - Pergunta 1 - Enquete dos critérios de priorização</a>	71
<a href="#">Figura 16 - Pergunta 2 - Enquete dos critérios de priorização</a>	72
<a href="#">Figura 17 - Localização das UM relacionadas ao transbordo</a>	79
<a href="#">Figura 18 - Roteiro original realizado pela empresa</a>	85
<a href="#">Figura 19 - Roteiro otimizado gerado pelo algoritmo</a>	86

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO .....</b>	
<b>14</b>	
1.1 - CONTEXTO .....	
14	
1.2 – OBJETIVOS .....	
15	
1.3 – MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA .....	
16	
1.4 – ESTRUTURA DO TRABALHO .....	
17	
<b>CAPÍTULO II - REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	
<b>19</b>	
2.1 – A INDÚSTRIA DO PETRÓLEO.....	
19	
2.1.1 – <i>A cadeia de suprimento do petróleo no Brasil</i> .....	
23	
2.1.2 – <i>A logística offshore de apoio na Bacia de Campos</i> .....	
30	
2.3 – O PROCESSO DECISÓRIO NAS ORGANIZAÇÕES.....	
40	
2.3.1 – <i>Apoio Multicritério a Decisão (AMD)</i> .....	
46	
2.3.2 – <i>Problema de Roteamento de Veículos</i> .....	
55	
<b>CAPÍTULO III – METODOLOGIA .....</b>	
<b>66</b>	
3.1 - CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	
66	
3.2 – FOCO DO ESTUDO .....	
66	

3.3 – PROCEDIMENTO DE PESQUISA.....	67
<b>CAPÍTULO IV – APLICAÇÃO .....</b>	<b>70</b>
4.1 – PROCESSO DE PROGRAMAÇÃO DE TRANSBORDOS DIRETOS.....	70
4.1.1 – <i>Fluxograma do processo</i> .....	70
4.1.2 – <i>Requisitos do transbordo direto</i> .....	72
4.2 – ETAPA 1 - ANÁLISE MULTICRITÉRIO.....	73
4.2.1 – <i>Definição dos Critérios</i> .....	73
4.2.2 – <i>Coleta e classificação de dados de transbordo</i> .....	78
4.2.4 – <i>Aplicação do Método PROMETHEE II</i> .....	80
4.3 – ETAPA 2 – ROTEAMENTO DAS EMBARCAÇÕES (PDP) .....	81
4.3.1 - <i>Coleta e modelagem dos dados do processo de roteamento</i> .....	83
4.3.2 – <i>Penalização da matriz tempo</i> .....	86
4.3.3 – <i>Aplicação do algoritmo PDP</i> .....	88
4.4 – ETAPA 3 – VALIDAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	91
<b>CAPÍTULO V – CONCLUSÃO.....</b>	<b>94</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>98</b>

<b>APÊNDICE A - MATRIZ DOS TEMPOS DE VIAGENS ENTRE AS UNIDADES EM MINUTOS .....</b>	
<b>104</b>	
<b>APÊNDICE B - MATRIZ DOS TEMPOS DE VIAGENS ENTRE AS UNIDADES EM MINUTOS AJUSTADA PARA DUPLAS FUNÇÕES.....</b>	
<b>105</b>	
<b>APÊNDICE C - MATRIZ DOS TEMPOS DE VIAGENS ENTRE AS UNIDADES AJUSTADA COM OS DESCONTOS DO MÉTODO PROMETHEE .....</b>	
<b>106</b>	
<b>APÊNDICE D – ENDEREÇO DE ACESSO AO ALGORITMO.....</b>	
<b>107</b>	
<b>APÊNDICE E – PERGUNTAS DO QUESTIONÁRIO SOBRE CRITÉRIOS DE PRIORIZAÇÃO .....</b>	
<b>108</b>	

## CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

### 1.1 - Contexto

Segundo a ANP, as reservas de petróleo provadas no Brasil beiram os 13,4 bilhões de barris de óleo em 2018. Essa quantidade estocada vem aumentando consideravelmente após a descoberta do pré-sal e do aumento da atividade exploratória nas áreas de águas ultra profundas das bacias brasileiras. Segundo a Abespetro (2019), o setor de petróleo e gás compreende cerca de 13% do PIB brasileiro e embora existam políticas que busquem apoio em fontes energéticas sustentáveis, a demanda por petróleo e gás cresce cada vez mais nos países emergentes, inclusive no Brasil.

Esse segmento da indústria frequentemente enfrentará diversos desafios logísticos dentro do seu processo de crescimento. Isso porque a complexidade de uma cadeia de suprimentos desse setor varia diretamente em relação ao tamanho do escopo de atuação dessas empresas. Algumas delas possuem processos que compreendem grande parte, senão, todas as etapas desse processo. A interdependência entre essas etapas causa ainda maiores riscos e incertezas para a logística da empresa, conseqüentemente, pode afetar a sua competitividade nos mercados globais.

Dentre as etapas, o segmento da cadeia de suprimentos que exige maior atenção é o *upstream*. Neste segmento se encontra toda a infraestrutura relacionada a exploração e produção de petróleo. Este setor, sozinho, consegue consumir quase 70% dos dispêndios da indústria do petróleo, dando origem a toda cadeia de valor e centralizando as possibilidades de geração de riqueza e apropriação de renda (Ferreira Filho, 2016). A logística desse segmento trabalha com projetos cuja natureza utiliza cargas superdimensionadas e pesadas que necessitam ser entregues rapidamente ao seu destino, principalmente quando se trata de áreas remotas como ocorre na exploração e produção *offshore*. Além disso, o impacto financeiro em caso de falhas ou inatividades são extremamente altos e custosos para as empresas.

Diante de inúmeras demandas logísticas, saber quais possuem maior gravidade, maior urgência e/ou tendência de piora dentre as diversas unidades

requisitantes se torna imprescindível e pode colocar a empresa frente aos seus concorrentes. Nesse imbróglio, as empresas têm investido cada vez mais em sistemas logísticos modernos que possam auxiliar na gestão logística a mitigar a maioria das falhas, dentre elas as de priorização.

Dentre as diversas modalidades de atendimento logístico offshore da empresa escolhida neste estudo, a modalidade de transbordo de materiais entre unidades marítimas na bacia de campos carece e não é contemplado com nenhum tipo de sistema de apoio a decisão, nem para priorização e nem para roteamento. Apesar de possuir um funcionamento pontual, a necessidade de organização do atendimento dessas demandas agrava sempre que há distúrbios relacionados aos barcos de apoio e/ou às condições meteoceanográficas. Por desconhecimento, o roteiro das embarcações é feito atualmente de maneira empírica pelos colaboradores, ou seja, suas análises na montagem dos requisitos de priorização e roteirização das embarcações ocorrem do senso comum, experimentação e/ou observação, sem atuação de métodos científicos existentes. Por consequência, as falhas de atendimento ou a ausência de otimização no roteiro de visitas às unidades pode resultar em perdas de prazos, reagendamento de equipes e diversos outros custos associados.

Na empresa mencionada neste trabalho, estima-se que aproximadamente 2000 transbordos emergenciais são realizados por ano. Só no ano de 2020, um custo estimado de 30 milhões de dólares associado ao tempo total de operação das embarcações é voltado para essa atividade. Outros custos indiretos associados são inúmeros e podem elevar ainda mais esse valor. Entretanto devida tamanha diversidade e possibilidades, não puderam ser estimados.

## **1.2 – Objetivos**

### **OBJETIVO GERAL**

Este estudo tem como objetivo geral propor um procedimento que otimize o processo de atendimento de transbordo entre unidades marítimas em uma empresa do setor petrolífero na bacia de campos. O foco principal buscar reduzir o tempo operacional das embarcações, portanto, reduzir o seu custo associado. Embora não seja o objetivo principal, o estudo da gestão de transbordos entre unidades

marítimas busca também fomentar a ausência de trabalhos específicos, ou não encontrados pelo autor, dentro da área específica.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A otimização do processo de atendimento de transbordos especificado como objetivo principal deste estudo visa criar uma alternativa de procedimento para o atendimento às demandas das unidades marítimas requisitantes, definindo prioridades dentre elas através do uso do método PROMETHEE e criando rotas de atendimento factíveis por meio de algoritmos de roteamento baseados na linguagem Python e no pacote de software de código aberto para otimização ORTOOLS.

Através das atividades elencadas como fundamentais para a aplicação deste procedimento, alguns objetivos específicos são necessários:

- Realizar um levantamento teórico sobre a cadeia de suprimentos, métodos de priorização e modelos matemáticos de roteamentos de veículos com ênfase no atendimento offshore;
- Mapear o processo de programação de transbordos;
- Coletar e classificar os dados do processo e modelar as informações para adequação ao estudo;
- Desenvolver um algoritmo na linguagem Python que atenda a aplicação;

### **1.3 – Motivação e Justificativa**

A motivação para a realização desse trabalho parte da atividade laboral do autor que envolve o conhecimento prático operacional sobre o processo e de suas falhas que possam vir a ocorrer durante a aplicação desse estudo. Torna-se esta, uma oportunidade ao autor de utilizar o conhecimento da academia aliado a prática do setor.

O trabalho é relevante do ponto de vista prático, pois buscar atender a uma carência no setor de transbordos da bacia de campos. Apesar das outras bacias não possuírem atualmente as mesmas características, principalmente por não terem muitas unidades próximas umas das outras, este trabalho pode ser promissor para uma futura adaptação nas bacias emergentes.

Do ponto de vista acadêmico, o trabalho envolve importantes fundamentos apresentados ao autor durante o curso que reforçam o envolvimento entre a teoria e

a prática no mercado de trabalho. Métodos e técnicas relacionados a pesquisa operacional, fundamentos básicos da engenharia do petróleo, gestão estratégica, teoria das organizações e prática de programação de computadores, foram fundamentais para a realização dessa aplicação.

#### **1.4 – Estrutura do trabalho**

No capítulo 1 de introdução, atual capítulo de leitura, foi realizado um trabalho introdutório especificando a temática, o objetivo geral, os objetivos específicos, a motivação, a justificativa e a estrutura deste documento.

No capítulo 2 apresenta-se o referencial teórico em duas partes. A primeira compõe informações sobre a cadeia de suprimentos, a gestão logística na indústria do petróleo, as bases do processo decisório e explicita também algumas ferramentas de apoio a decisão. Na segunda parte abordamos informações sobre o método PROMETHEE, seus diferentes tipos e como ocorre sua aplicação, uma apresentação sobre os problemas de roteamento de veículos, o problema do caixeiro viajante e a formulação matemática dos problemas de coleta e entrega.

No capítulo 3, descreve-se a metodologia do estudo, definindo em qual classificação se encaixa a pesquisa, o foco da abordagem e o procedimento adotado desse trabalho.

No capítulo 4, demonstra-se a aplicação deste trabalho em uma empresa do setor petrolífero na prática. Inicialmente, a introdução do capítulo de aplicação demonstra o mapeamento de processo da empresa e os requisitos para um transbordo. Na primeira etapa, realiza-se a aplicação da análise multicritério dentre as demandas selecionadas. Posteriormente, o problema é voltado para construção de rotas através dos algoritmos.

No capítulo 5 ocorre a discussão geral do trabalho. Realiza-se uma comparação entre os objetivos pretendidos específicos e o realizado, declara-se as dificuldades na realização da aplicação do procedimento e propõe-se novas abordagens relacionadas ao estudo para futuros trabalhos.

O estudo finaliza com a apresentação da bibliografia de consulta que em grande parte respalda algumas definições previamente apresentadas e os apêndices com referência ao material utilizado.

## CAPÍTULO II - REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 – A indústria do Petróleo

#### HISTÓRICO DO PETRÓLEO NO MUNDO

A palavra “petróleo” vem do latim – Petra (pedra) e Oleum (óleo). O petróleo é um composto de hidrocarbonetos em seus três estados. Contém também pequenas quantidades de compostos de enxofre, oxigênio e nitrogênio. Existem várias teorias sobre o surgimento do Petróleo, a mais provável é que o petróleo tenha surgido de restos orgânicos de vida aquática de animais e vegetais acumulados no fundo de lagos e mares sofrendo transformações químicas ao longo de milhares de anos, transformando-se em massas homogêneas viscosas de coloração negra, denominadas jazidas de petróleo (THOMAS, 2001).

Os primeiros vestígios de uso do petróleo remontam de períodos bíblicos. Na antiga Babilônia, os tijolos eram assentados com asfalto e o betume era largamente utilizado pelos fenícios na calafetação das embarcações. Os egípcios o usaram na pavimentação de estradas, para embalsamar os mortos e na construção de pirâmides, enquanto gregos e romanos o usaram para fins bélicos (THOMAS, 2001).

Antes da descoberta do primeiro poço comercial na era moderna, sabia-se que a destilação do petróleo poderia fornecer diferentes tipos de produto. Em 1810, foi realizada aquela que seria a primeira destilação do Petróleo, em Praga, obtendo-se um óleo capaz de substituir com grande vantagem os produtos até então usados para a iluminação, como o óleo de baleia e o gás de carvão (THOMAS, 2001).

O uso comercial do petróleo pelo mundo moderno iniciou-se no ano de 1859 a partir da perfuração do primeiro poço de petróleo pelo Coronel Drake nos estados unidos, em Tittusville, Pensilvânia. Esse poço detinha cerca de 21 metros de profundidade. Muito diferente dos poços de hoje com mais de 6000 metros de profundidade (LUSTOSA, 2002). Apesar do uso ainda no século XIX, foi a partir do século XX, com a chegada dos motores a combustão pelos automóveis que o petróleo ganhou projeção e perfil estratégico e a indústria do petróleo foi impulsionada.

Os EUA, pioneiros na exploração e produção comercial, detinham até o final de século XIX a dominância do comércio mundial. Para Souza (2006), Rockefeller e a *Standard Oil Company* dominaram o mercado norte americano e o nascente

mercado mundial até 1909. Após esse período, ocorreu a decisão do supremo tribunal americano que entendeu que a empresa era um monopólio e ordenou a criação de 34 empresas menores a partir dela. As sete principais empresas criadas tiveram grande destaque no comércio petrolífero internacional. Elas ficaram conhecidas como as sete irmãs.

Além dos EUA, países como Venezuela, México, Rússia, Irã e Iraque também se tornaram grandes produtores. Com o fim da segunda guerra mundial, um novo quadro geopolítico e econômico se delineia e a indústria do petróleo não fica à margem do processo. Ainda nos anos 50, os EUA continuam detendo metade da produção mundial, mas já começa a afirmação de um novo poço produtor pujante no hemisfério oriental com a, até então promessa, das reservas russas e do Oriente Médio (THOMAS, 2001).

A década de 50, também foi marcada pela intensa atividade exploratória, e começam a se intensificar as incursões no mar, com o surgimento de novas técnicas exploratórias. Com o passar dos anos, foi desenvolvida uma grande variedade de estruturas marítimas, incluindo navios, para portar os equipamentos de perfuração (THOMAS, 2001).

A partir dos anos 60, o mercado foi inundado com petróleo produzido pela Rússia e pelo Oriente Médio. Essa abundância no mercado, aliado a preços baixos, fez com que houvesse um consumo desenfreado. Também foi nos anos 60, que Arábia Saudita, Kwait, Irã, Iraque e a Venezuela criaram a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) com o objetivo, segundo a organização, de permitir aos países produtores de petróleo de exercerem soberania sobre suas reservas de petróleo, em um momento em que o mercado internacional estava dominado pelas "sete irmãs".

Já na década de 70, o movimento foi contrário à década anterior, ocorreram aumentos dos preços no mercado e redução do volume de produção das jazidas americanas por maturação destas. Além disso, houve um grande avanço em tecnologia e conhecimento sobre métodos de aquisição, processamento e interpretação de dados sísmicos, como também aprimoramento nos processos de recuperação de jazidas já existentes.

Segundo Thomas (2001), nos anos 80 e 90, os avanços tecnológicos reduziram os custos de exploração e produção, criando um novo ciclo econômico na indústria petrolífera. Em 1996, as reservas mundiais provadas eram 60% maiores

que em 1980, e os custos médios de prospecção e produção caíram cerca de 60% neste mesmo período.

A partir dos anos 2000, a demanda crescente por petróleo, principalmente na Europa e Ásia, fez com que os países buscassem soluções sustentáveis para suprir suas necessidades. Diante deste cenário, podia-se dividir os países em produtores e consumidores. Enquanto países produtores procuram aumentar suas receitas buscando novos parceiros comerciais, descobrindo novos reservatórios ou desempenhando meios para suprir a decadência de seus reservatórios, os países consumidores buscam reduzir cada vez mais sua dependência energética e sua conta, o que mecanicamente melhora a competitividade de suas indústrias. Já que um custo energético menor para as indústrias proporcionaria uma margem maior para obter preços mais competitivos de seus produtos.

Para Ferreira Filho (2016), o petróleo é o principal produto comercializado no mercado internacional que atende a uma parcela significativa na necessidade energética global. Isso significa dizer que, no atual padrão tecnológico, em que a energia é a força motriz tanto na produção quanto na comercialização de qualquer produto, o petróleo é um dos elementos-chaves da economia mundial.

## HISTÓRICO DO PETRÓLEO NO BRASIL

De acordo com Thomas (2001), as primeiras evidências de exploração do petróleo em terreno brasileiro vêm da assinatura do decreto Nº 2.266 por Marquês de Olinda, concedendo a José Barros Pimentel o direito de extrair material betuminoso em terras próximas ao rio Marau, na província da BAHIA.

Entretanto para Lustosa (2002), pode-se dizer que a história do petróleo no Brasil começou com a perfuração do primeiro poço em 1892 pelo fazendeiro Eugênio Ferreira de Camargo na cidade de Bofete (interior do estado de São Paulo). Porém, o poço de 488 metros de profundidade teve como resultado apenas água sulfurosa.

Somente em 21 de janeiro de 1939, na cidade de Lobato, interior da Bahia, sob a jurisdição do departamento nacional de produção mineral, iniciou-se a produção do poço DNPM-163 que viria a ser o descobridor de petróleo no Brasil. O poço foi perfurado por uma sonda rotativa e encontrou petróleo a uma profundidade de 210 metros. Apesar de ter sido considerado antieconômico, os resultados do

poço foram de importância fundamental para o desenvolvimento das atividades petrolíferas no país (THOMAS, 2001).

A crescente dependência do país pela importação do petróleo estrangeiro, gerou um movimento popular que culminou na criação da Petrobras em 1953. Ao empreender a tarefa, a empresa descobriu, nos seus primeiros anos de atividades, importantes campos em vários estados do nordeste, mas, em meados da década de 60 constatou que as descobertas em terra não estavam ocorrendo em volumes capazes de diminuir a dependência do petróleo importado. Decidiu então, redirecionar as exportações para o mar, iniciando perfurações de poços no litoral do nordeste, 1968, e na Bacia de Campos, em 1971 (MORAIS, 2013).

Ainda para Morais (2013), o petróleo encontrado no litoral do nordeste brasileiro não foi suficiente para mudar o panorama da alta dependência do petróleo importado. Entretanto, a perfuração de poços na Bacia de Campos levou a descoberta do campo de Garoupa, em 1974. Começava, a partir de então, um ciclo de importantes descobertas, tais como o campo de Pargo, Badejo, Namorado e Enchova, em 1974-1976 (MORAIS, 2013).

Nas décadas de 80 e 90, houve diversas descobertas importantes em diferentes localidades do país. A década de 80 foi marcada por três fatos de relevância: a constatação de ocorrência de óleo em Mossoró, no Rio Grande do Norte, apontando para o que viria a se constituir, em pouco tempo, na segunda maior área produtora de petróleo do país, as grandes descobertas dos campos gigantes de Marlim e Albacora em águas profundas da Bacia de Campos, no Rio de Janeiro, e as descobertas do Rio Urucu, no Amazonas. Na década de 90, foram descobertos os campos gigantes de Roncador e Barracuda também na Bacia de Campos, no Rio de Janeiro (THOMAS, 2001).

Em 1997, no Brasil, houve o fim do monopólio do petróleo, com a promulgação da Lei do Petróleo, que flexibilizou o monopólio estatal do setor, criou-se o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e a Agência Nacional do Petróleo (ANP). O CNPE e a ANP tornaram-se responsáveis pelas concessões de blocos exploratórios dando ao Brasil seu primeiro grande passo ao ingressar no Ranking do grupo dos 16 países do mundo que produzem mais de um milhão de barris de óleo por dia (LUSTOSA, 2002).

Finalmente em 2006, a produção passou a cobrir as necessidades do consumo nacional do petróleo, alcançando a autossuficiência, decorridos 32 anos da primeira descoberta da bacia de campos e 87 anos do começo de explorações

sistemáticas pelos órgãos federais, em 1919 (MORAIS, 2013). Foi em 2006 também que ocorreram as descobertas, na Bacia de Santos, de reservas gigantes de petróleo na camada geológica do Pré-sal, como resultado de prospecções iniciadas em 2001 e da perfuração de poços pioneiros em 2005 (MORAIS, 2013).

Todas as descobertas de petróleo dentro do histórico de existência da indústria petrolífera no país tiveram como principais motivações a necessidade da redução da dependência da importação do petróleo estrangeiro inicialmente, posteriormente a autossuficiência de produção para abastecimento do mercado interno e sua longevidade. A indústria brasileira partiu sua exploração e produção dos campos terrestres para os campos marítimos, inicialmente em águas rasas (0 a 300m de profundidade), posteriormente em águas profundas (300m a 1500m de profundidade) e ultra profundas (além dos 1500m de profundidade). A cada passo, novos desafios surgiam e foram seguidos e atendidos por avanços e descobertas tecnológicas.

De acordo com Morais (2013), a grande distância das áreas onde os hidrocarbonetos de águas profundas e ultra profundas serão produzidos e as condições do meio-ambiente onde se localizam esses reservatórios levantam diversos problemas de logística que precisam ser equacionados. Serão necessárias inovações destinadas a superar as dificuldades técnicas e logísticas decorrentes dessas grandes distâncias entre os campos de petróleo e plataformas e a costa marítima. As soluções dizem respeito aos meios mais eficientes, seguros e econômicos para o transporte de pessoal, como: barcos e helicópteros, entrega de materiais nas plataformas, disponibilidade de barcos para o lançamento de tubulações e cabos, disponibilidade de plataformas de perfuração e de intervenção (para reparos, limpezas e inspeção nos equipamentos submarinos, dutos de produção e poços), além de terminais para a exportação do gás natural, entre outros.

### **2.1.1 – A cadeia de suprimento do petróleo no Brasil**

O sucesso de uma cadeia produtiva depende em muito da qualidade da sua cadeia de suprimentos e da interação existente entre os setores. Simchi-Levi (2000) define a cadeia de suprimentos como um conjunto de abordagens utilizadas para integrar fornecedores, fabricantes, depósitos e lojas eficientemente, de forma que mercadorias sejam produzidas e distribuídas nas quantidades certas, para os locais

certos, e no tempo certo, a fim de minimizar custos globais, e ao mesmo tempo satisfazer requisitos de qualidade de serviço.

Beamon (1998) diz que, em um alto nível de integração, o processo pode ser dividido em duas partes: o planejamento de produção e controle de estoque e o processo de distribuição e logística. O gerenciamento adequado destes processos determina a extensão do funcionamento como uma unidade para satisfazer os objetivos de desempenhos exigidos.

A cadeia de suprimentos, quando otimizada, pode melhorar a competitividade de qualquer empresa através da sinergia criada entre as partes (POURIER; REITER; 1996). Ainda para Beamon (1998), no geral, a qualidade do sistema criado entre as partes é a soma dessa sinergia criada. Desta forma, pode-se definir a cadeia de suprimentos como um processo integrado onde um certo número de entidades de negócios trabalha em conjunto e esforço para (i) adquirir matéria prima, (ii) converter essas matérias primas em produtos específicos e (iii) entregar estes produtos finais aos revendedores e distribuidores.

Ao citar a integração desse processo logístico e a sinergia criada entre elas, deve-se considerar a importância do planejamento estratégico. A estratégia pode ser entendida como o “padrão global de decisões e ações que posicionam a organização em seu ambiente e têm objetivo de fazê-la atingir seus objetivos de longo prazo” (FERREIRA FILHO, 2016). Ela pode ser dividida hierarquicamente em três níveis:

1. Estratégia corporativa - busca orientar a empresa em um ambiente global, econômico, social e político.
2. Estratégia de negócios - permite que cada unidade de negócio se oriente dentro de seu respectivo nicho, estabelecendo sua própria missão e seus objetivos individuais.
3. Estratégia funcional – define o que cada função precisa considerar no seu papel em termos de contribuição para que a empresa alcance os seus objetivos estratégicos.

Sendo assim, torna-se fundamental para a sobrevivência da empresa definir em seu plano estratégico como a cadeia logística deve funcionar e em quais partes dela deve contribuir diretamente à estratégia corporativa, sendo ela inteiramente pertencente a empresa ou executada de forma terceirizada.

Quando falamos da cadeia de suprimento da indústria do petróleo, existe uma certa dificuldade. Eichman (2000) diz que a gestão da cadeia de suprimentos do setor petrolífero tem sido um dos maiores desafios encontrados por pesquisadores desta área no mundo devido sua amplitude e complexidade. Esta cadeia engloba o estágio de extração até a distribuição de produtos derivados incluindo uma complexa rede logística e vários processos de transformação que ocorre nas refinarias. De acordo com Ferreira Filho (2016) e Eichman (2000), a cadeia de suprimento do petróleo pode ser dividida em três segmentos: *upstream*, *midstream* e *downstream*. Alguns autores desconsideram o segmento *midstream*, entretanto, as atividades relacionadas a este segmento estão presentes no segmento *downstream* em suas classificações.



Figura 1 - Divisão da cadeia de suprimentos da indústria do petróleo. - Fonte: Adaptado de Ferreira Filho (2016)

A primeira etapa, o *upstream*, compreende a exploração, perfuração de poços e a produção do petróleo. Nesta etapa, o foco está nas operações que vão desde a prospecção para identificação dos reservatórios até o processo de separação primária dos seus componentes (óleo, gás e água). Inclusive, compreende também o armazenamento do petróleo antes de ser transferido para as refinarias.

O *midstream* é o segmento voltado para obtenção de matéria-prima, sejam das fontes internas à companhia ou por compra, e de refino, cujo petróleo é transformado em derivados com finalidades específicas (GLP, diesel, querosene, entre outros). Nesta etapa está vinculado o processo de compra e venda de petróleo, seu transporte, armazenamento e refino.

Por último, o segmento *downstream* preocupa-se com a logística de levar o produto das refinarias até o cliente final. Considera-se as atividades de transporte, distribuição e comercialização próprias deste segmento.

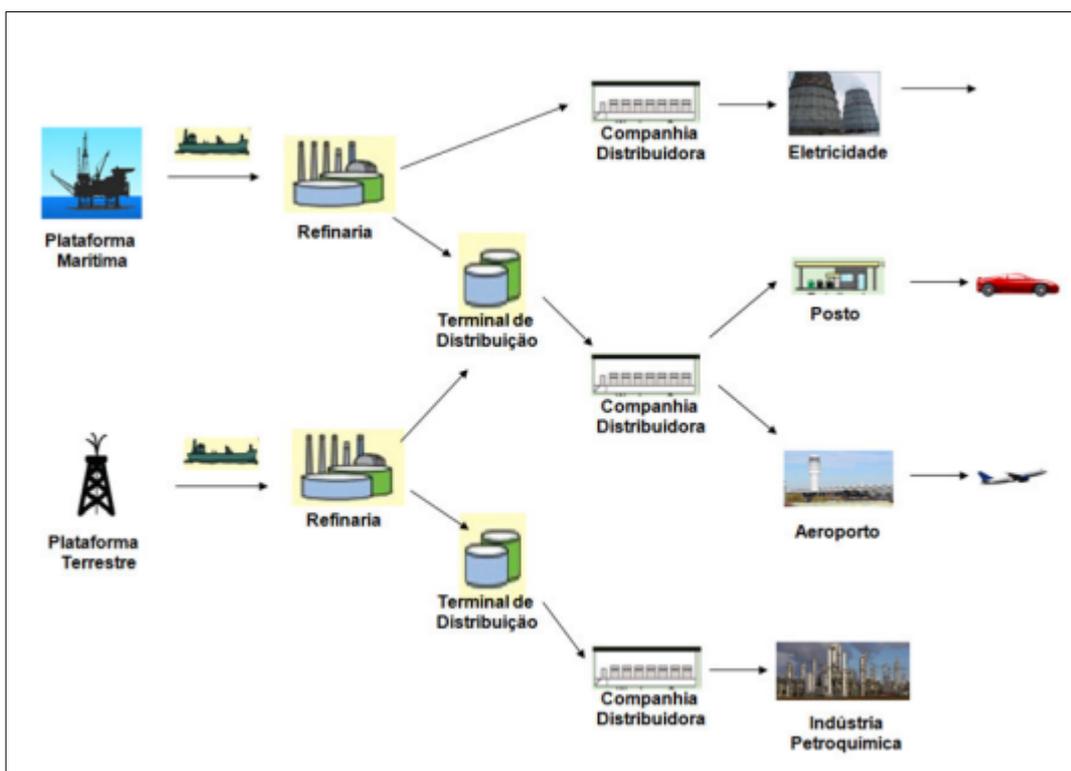


Figura 2 – Visão geral da cadeia de suprimentos da Indústria do Petróleo - Fonte: Marcellino (2013)

Com o colapso dos preços internacionais do petróleo no fim dos anos 70 e início dos 80, originou-se um amplo processo de reestruturação no setor petrolífero, levando as indústrias a se concentrar na produção, refino e distribuição, terceirizando as diversas atividades sem que gerasse perda de sua própria identidade. Essa estrutura montada, composta por diversos tipos de empresas são chamadas de fornecedores de bens e serviços ou *“oilfield services”* (Ferreira Filho, 2016).

Ainda para Ferreira Filho (2016), essas indústrias podem ser divididas em 3 partes: (i) empresas de serviços – de geologia, geofísica, perfuração, mergulho submarino, transporte aéreo, manutenção de refinarias, etc.; (ii) empresas de engenharia – projetos de refinarias, plataformas, unidades de processamento de gás natural e petróleo, etc.; (iii) empresas fornecedoras de equipamentos – construção de plataformas de perfuração e produção, fornecedores de tubulação, de tanques de armazenamento, etc.

Dentro dessa cadeia de suprimentos, o setor de exploração e produção de óleo é o que exige maior atenção. Por isso, torna-se fundamental conhecer bem sua

cadeia de valor, o fluxo do processo produtivo e a relação de dependência que esse sistema produtivo tem, frente a toda extensão da cadeia de suprimentos.

## A CADEIA DE VALOR DO E&P

A cadeia de valor deste setor inicia-se a partir das prospecções geológicas, geofísicas e geoquímicas com o objetivo de mapear determinadas áreas e indicar o seu potencial produtivo. O resultado desta etapa gera o processo de negociação das áreas que podem ser por direito ou rodadas de licitações a fim da aquisição dos blocos exploratórios por parte das empresas interessadas.

A partir da aquisição, a empresa inicia o processo de exploração da área. Esse processo, também baseado nos estudos geológicos, geofísicos e geoquímicos, possui profundidade maior que a anterior. Nesta etapa, a confirmação da existência de óleo se dá através da perfuração de poços. Muitas vezes, não há sucesso nessa operação, apesar do contínuo aperfeiçoamento das técnicas para identificação dos melhores pontos de perfuração. Por isso, os custos dessa fase são enormes e a probabilidade de sucesso é pequena.

Um poço que não apresentou produtividade ou não é comercial, nem sempre se torna um inteiro fracasso. Existem casos em que o poço se torna fundamental para avaliação da área, delimitação do reservatório, estudos e testes de formação geológicas que se tornarão importantes para um futuro projeto de poço, este sim, viável a comercialização.

A partir da obtenção de um poço comercial, a empresa necessita comunicar aos órgãos reguladores da bolsa de valores e para a ANP. Este documento é chamado de declaração de comercialidade. A portaria ANP 90/2000 define este documento como uma notificação escrita do Concessionário à ANP declarando uma jazida como descoberta comercial na área de concessão.

A etapa de desenvolvimento da produção compreende o conjunto de operações e investimentos destinados a viabilizar as atividades de produção de um campo de petróleo e gás. Todo programa de trabalho e o respectivo investimento necessário para o desenvolvimento de uma descoberta na área de concessão deve estar detalhado em um documento emitido pelo concessionário chamado programa de desenvolvimento.

Concluindo as etapas anteriores, inicia-se a etapa produtiva do poço, onde o CAPEX (investimento em bens de capital) é reduzido e o OPEX (capital destinado a

manter ou melhorar os bens físicos) aumenta drasticamente. Isso ocorre porque os investimentos para aquisição do poço estão praticamente finalizados e a maioria dos custos atuais são destinados para manter ou melhorar a sua produção. Um poço somente permanece sendo viável se a receita gerada ainda for superior ao custo de mantê-lo (OPEX). Caso contrário, deverá haver um estudo sobre a viabilidade de redução de custos de produção ou aumento da receita. Após o fim da vida útil, o poço deve ser desativado. Custos esses que deverão ser planejados e contabilizados ainda no processo de vida útil do poço.

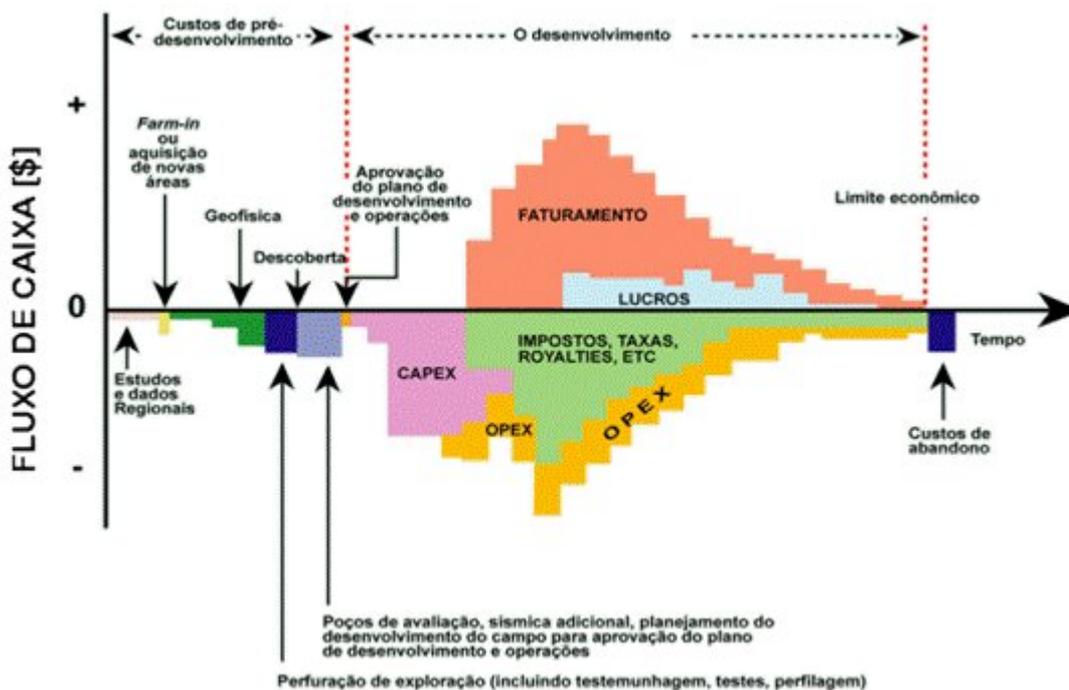
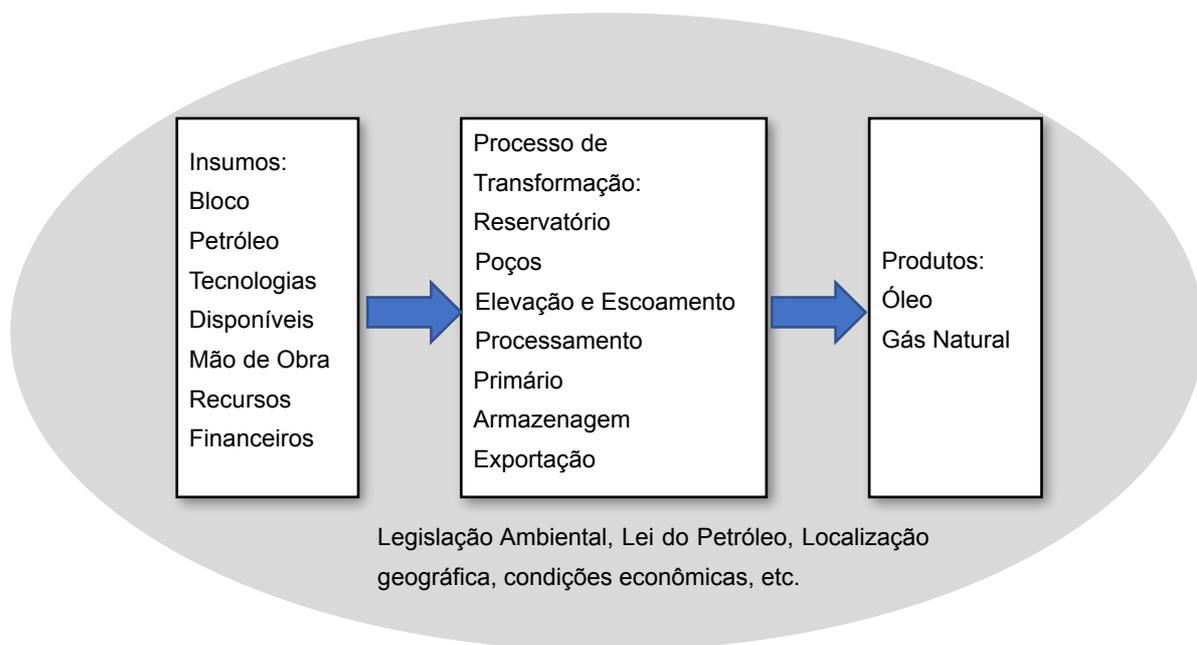


Figura 3 - Fluxo de caixa de um poço de petróleo. - Fonte: Battisti (2016)

Um sistema de produção de petróleo como um todo, abrange um conjunto de atividades envolvidas: os insumos, os produtos, o processo de transformação, o subsistema de controle e o ambiente, com suas influências e restrições. A seguir, tem-se um esquema ilustrando os principais elementos de um sistema de produção de petróleo:

Basicamente, insumos são os recursos a serem transformados mais os recursos que movem o sistema. O processo de transformação muda a forma, a composição e o local dos recursos. O sistema de controle é o conjunto de atividades que visa assegurar que as programações sejam cumpridas, que padrões sejam

Figura 4 - Visão Macro do sistema produtivo - Fonte: Adaptada de Ferreira Filho (2016)



obedecidos, que os recursos estejam sendo usados de forma eficaz e que a qualidade desejada seja obtida. Os principais produtos são o óleo, que é enviado para as refinarias, e o gás natural, que pode ser aproveitado no próprio processo produtivo ou enviado para venda de consumidores finais.

Adiante, tem-se um esquema básico da operação de uma unidade marítima voltada para a produção de óleo e gás. Neste esquema, está representado os principais fluxos do processo desde a retirada do petróleo no poço, sua separação primária, seus usos internos e exportação por gasodutos, oleodutos e navios petroleiros. Embora a apresentação seja de forma geral sobre o processo produtivo e de apoio a unidade marítima, a ilustração demonstra bem o fluxo comum do processo de separação primária das UM que fazem parte deste estudo. Entretanto, existem outros tipos de fluxos deste mesmo processo, podendo variar a depender da localização da UM, do tipo de petróleo extraído, do tipo de poço perfurado, dentre outros aspectos.

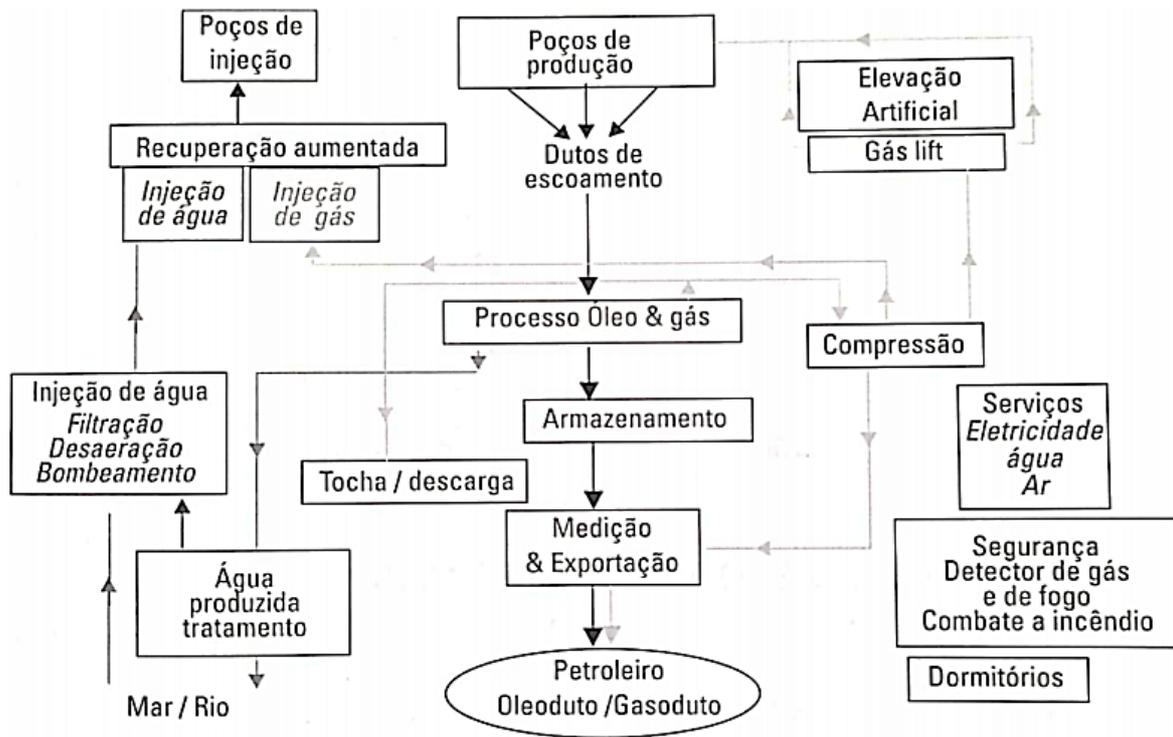


Figura 5 - Fluxo do processo de produção primária - Fonte: FERREIRA FILHO (2016)

Dentro deste estudo, iremos focar no setor de exploração e produção (*upstream*) e sua atuação dentro da cadeia de suprimentos do petróleo, mais precisamente, abranger a fundo o funcionamento da logística de apoio a operação das unidades *offshore* em sua etapa produtiva no que consiste em receber os insumos não planejados, porém emergenciais e fundamentais a manutenção das operações a bordo.

### 2.1.2 – A logística *offshore* de apoio na Bacia de Campos

A Logística, de acordo com *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP), é a parte da gestão da cadeia de suprimentos que planeja, implementa e controla, adequado e eficientemente, o fluxo e armazenamento de bens, serviços e informações relacionadas, do ponto da origem ao ponto de consumo e vice-versa, de forma a satisfazer os requisitos de um cliente.

O termo *offshore*, por sua vez, é comumente relacionado a indústria do petróleo que a qualquer outra indústria. Isso porque na indústria petrolífera, as jazidas de exploração e produção de óleo e gás podem variar quanto a sua localização, conseqüentemente variando a estratégia de atendimento logístico das unidades. Designamos *Offshore* para o segmento de atividades cuja localização é

predominantemente em meios marítimos e *Onshore* para as atividades que são exercidas predominantemente em meios terrestres.

A logística *offshore*, por sua vez, compreende as atividades de planejamento, implementação e controle do fluxo e armazenamento de bens, serviços e informações cuja origem ou destino é marítimo e que buscam por finalidade satisfazer os requisitos do cliente.

De acordo com Ferreira Filho (2016), a gestão de distribuição e dos transportes, em conjunto com a gestão de suprimentos e estoques e o projeto de infraestrutura, compõe o tripé sobre o qual se apoia a gestão das operações e logística de uma empresa. A definição estratégica dos tipos de modais de atendimento, a seleção dos operadores e o funcionamento do fluxo de atendimento podem impactar drasticamente as operações de uma unidade produtiva e conseqüentemente os custos de uma empresa.

O transporte, por muito tempo, é tratado como atividade que não agrega valor para uma empresa. São atividades consideradas desperdício e candidatas a serem eliminadas por meio de alterações de *layout* ou por mudanças dentro do processo produtivo. Entretanto, sob análise da ótica logística, o transporte é uma atividade que agrega valor. Entregas realizadas em mercados de diferentes localidades geográficas no tempo certo, sem avarias e nas quantidades desejadas, promovem um ganho de nível de serviço aos clientes.

Basicamente existem duas funções para o transporte: Movimentação de produtos e armazenagem. Esta última em casos mais raros e custos altíssimos. O planejamento logístico deve contemplar quais funções são mais pertinentes ao processo e que melhor atendam aos princípios de economia de escala e economia de distância. O princípio de economia de escala refere-se ao decréscimo do custo por unidade transportada à medida que o tamanho do carregamento aumenta. Já a economia de distância refere-se ao fato de o custo de transporte por unidade de distância decrescer à medida que a distância aumenta.

Ao observar os sistemas tecnológicos sofisticados de produção de petróleo em meios marítimos, dificilmente é levado em conta as dificuldades da sua logística *offshore*. Uma plataforma, seja ela de produção ou perfuração, ou até mesmo navios especiais, necessitam de insumos de processo, água, energia e alimentos em larga escala, indispensáveis para a manutenção das operações a bordo.

Conforme Ferreira Filho (2016), o fluxo de fornecimento começa com os fornecedores nacionais e internacionais, passa pelos armazéns e terminais

portuários e termina com o atendimento das unidades marítimas. Esse fluxo de materiais é acompanhado por um fluxo de informação que começa pelo pedido da UM ao detentor do material. Os materiais podem ser armazenados pelo armazém da operadora ou de fornecedores. A partir daí, os pedidos são transformados em requisições de transporte, coletados, unitizados e transportados até o terminal portuário, onde serão embarcados em navios que levarão o material até a unidade marítima requisitante. A figura a seguir apresenta um esquema generalista do processo:

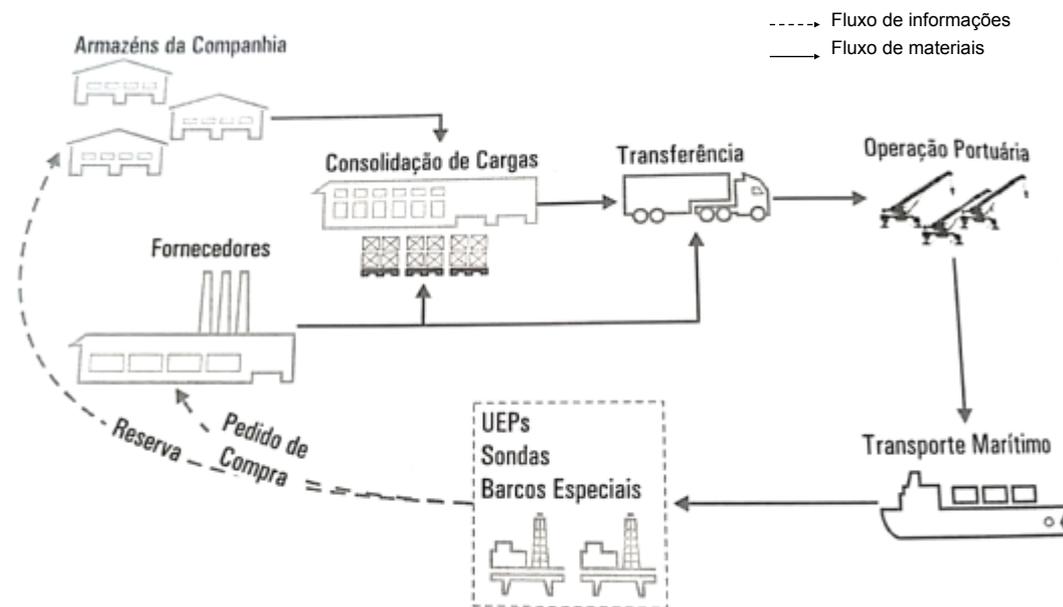


Figura 6 - Sistema Logístico Offshore - Fonte: Ferreira Filho (2016)

O objetivo principal da Logística em Operações de Apoio Marítimo (“*offshore*”) é a redução de custos com serviços e produtos de qualidade. Uma base de logística *offshore* presta todo tipo de apoio às operações nas plataformas marítimas, como suprimento de fluidos de perfuração, cimento, tubos, combustível, água e mantimentos para as tripulações etc. Por isso, a cadeia logística tem que ser muito bem elaborada. O maior custo na logística *offshore* é o custo de transporte. Em relação aos custos fixos, a maior oportunidade de ganho é durante a negociação dos afretamentos das embarcações. Já em relação aos custos variáveis (consumo de combustíveis e água), é possível a sua redução, e é por isso que uma boa localização da base de apoio *offshore* é importante, mas não é o suficiente, pois as operações portuárias também são importantes, na medida que evitam atrasos, manobras desnecessárias com rebocadores na área portuária etc. Um bom

planejamento na cadeia logística, plataforma – rebocador – porto – fornecedor, é fundamental para que as operações *offshore* reduzam seus custos (FERREIRA FILHO, 2016).

## **BASES DE APOIO *OFFSHORE***

Dentro do planejamento logístico, a definição da localização e das funções que a base de apoio *offshore* desempenhará se torna uma das decisões mais importantes tanto no contexto econômico quanto no funcional. Geralmente, uma base de apoio, possui como principais serviços: o transporte e movimentação de cargas e pessoal, realização de operações portuárias no cais, na retroárea, na área de estágio de materiais e equipamentos; armazenagem de material, em galpões, sobre o solo. Entretanto, podem abrigar outros serviços, desde que estes estejam alinhados a iniciativa estratégica da empresa.

Na bacia de campos existe duas principais bases de apoio *offshore*: o terminal marítimo de Imbetiba, localizado em Macaé e o porto do Açú, localizado em São João da Barra. O porto de Macaé é um dos mais antigos da região e foi inaugurado na metade da década 70 para viabilizar a chegada de insumos do processo exploratório da Petrobras na Bacia de Campos. Esse terminal é gerenciado pela Petrobras. Ele possui 6 atracadouros (píeres), mas tem um calado (profundidade) pequeno, de no máximo 8 metros. O porto detém uma retroárea pequena de menos de 1 km<sup>2</sup> e três dos seis píeres (os usados) possuem 90 metros de comprimento e 15 metros de largura. Com o aumento do número de unidades marítimas na bacia de campos e de novas descobertas de campos de produção de óleo e gás, o porto de Macaé foi se tornando pequeno e apresentando dificuldades no setor operacional. Seu uso foi drasticamente reduzido a partir da criação do porto do Açú.

O Porto do Açú opera desde 2014, possui uma área total de 130 km<sup>2</sup> e opera sob gestão privada da empresa Prumo. São 9 terminais, divididos em áreas *offshore* e *onshore*. Basicamente é composto por um terminal de minério de ferro, um terminal de petróleo, um terminal de combustíveis marítimos, um terminal multicargas, um terminal para serviços integrados de óleo e gás, dois terminais de produção de dutos flexíveis (NOV e Technip), um terminal InterMoor voltados para serviços de ancoragem e o terminal Edson Chouest que possui nove berços marítimos voltados para diversos fins. O porto do Açú é hoje um dos maiores

complexos de infraestrutura do País: tem o terceiro maior terminal de minério de ferro do Brasil, é responsável por 25% das exportações brasileiras de petróleo, ergueu o maior parque térmico da América Latina, abriga a maior base de apoio *offshore* do mundo e já é o terceiro maior porto nacional em movimentação de cargas.

Com base em estratégia pautada por eficiência e economicidade, o Porto de Imbetiba divide com o Complexo Portuário do Açu, toda a logística da Petrobras para manter as operações de produção da Bacia de Campos. Em uma dimensão *offshore* que atinge os extremos das Bacias do Espírito Santo e de Santos, os dois terminais dividem as tarefas de abastecer as mais de 50 unidades em operação em uma das principais áreas de produção de petróleo do país, além de garantir todo o suporte técnico e de segurança para as atividades que dão a sustentabilidade das cidades do Norte Fluminense. (O DEBATE, 2017)

#### A INTERMODALIDADE DA LOGÍSTICA OFFSHORE

Na logística de apoio às UM, pode-se recorrer às três modalidades de transporte: Terrestre, Marítimo e Aéreo. Em suma, toda chegada de cargas à base *offshore* ocorre de forma rodoviária, salvo em exceções cuja ferrovia possui certa proximidade. O atendimento *offshore* ocorre de forma intermodal, ou seja, utilizando múltiplos modais de transporte. Isso porque a chegada e saída de materiais das UM podem variar entre os modais marítimo e aéreo. O objetivo da intermodalidade consiste em buscar atender ao menor custo total e atingir alta performance no processo como um todo. Apesar disso, essa opção possui pontos de atenção. Os principais problemas no setor intermodal envolvem a troca de informações para facilitar as transferências de carregamento entre os diferentes modos, pois essas transferências normalmente envolvem atrasos consideráveis, prejudicando o desempenho do tempo de entrega (CHOPRA; MEINDL; 2004).

O modal aéreo é comumente realizado por meio de helicópteros e utilizado principalmente no transporte de passageiros dos aeroportos para às UM e vice-versa. Utiliza-se também o transporte para transbordo aéreo, cuja movimentação de passageiros ocorre entre UM, embora estes casos ocorram raramente. Já na movimentação de materiais, o transporte aéreo não possui tamanha relevância quanto o marítimo, exceto em situações urgentes, fora da normalidade, cujo material possui dimensões e peso aceitáveis para a aeronave e o item é crítico para o

desempenho da UM. A operação dos helicópteros é diurna e enquanto houver boa visibilidade de navegação. Nos casos críticos relacionados à saúde, o desembarque de passageiros ocorre em voos emergenciais que ficam de prontidão 24 horas por dia.

O transporte de modal terrestre é feito usualmente por caminhões e carretas na movimentação de materiais e por meio dutoviário em alguns casos de cargas a granel. Em alguns casos, o meio ferroviário também ocorre, porém são casos restritos que dependem de uma infraestrutura previamente instalada aliada a iniciativas governamentais. No meio rodoviário, a frota é heterogênea e possui variações cujo uso dependerá das dimensões e pesos dos itens a serem movimentados. Quando são parte de empresas de grande porte, certas rotas são consolidadas e possuem transportes e horários planejados. Rotas consolidadas e rotineiras são conhecidas como *clusters*. Funcionam como ônibus com pontos de parada para carregamento e descarregamento de materiais e horários de trabalho definidos.

No caso dos transportes de cargas a granel, o modal pode variar conforme o destino destas cargas, intercalando entre rodoviário e o dutoviário. Nos casos de transporte de água e diesel, principais fluidos consumidos pelas UM, são utilizados dutos. Nos portos, os navios de apoio são abastecidos pelo volume de fluido requisitados que serão posteriormente entregues às UM. Alguns portos são distantes dos pontos de fornecimento de diesel, nestes casos costuma-se usar navios tanque para abastecimento dos portos.

Assim como ocorre no transporte de fluidos, o modal dutoviário possui grande relevância no setor de exploração e produção. Isso porque o transporte de petróleo bruto, derivados do petróleo e gás natural utilizam esse meio em sua movimentação. Geralmente, torna-se vantajoso quando os materiais possuem fluxo estáveis e grandes, e os pontos de coleta e entrega são pequenos. Inicialmente esse modal exige um aporte de investimento considerável para montagem de sua infraestrutura, entretanto os custos são justificados quando comparamos com outros meios.

Entre todos os tipos de modais relacionados a logística da indústria do petróleo, o modal marítimo possui maior relevância e importância. Este é o principal meio utilizado no embarque e desembarque de materiais nas unidades marítimas devido sua capacidade de transportar grande quantidade de cargas. No ano de 2020, o transporte de cargas pelo modal marítimo na bacia de Campos vinculado a

empresa mencionada neste estudo foi de 600 milhões de toneladas enquanto que no modal aéreo não chega à 100 mil toneladas.

O transporte marítimo é regido pela Lei nº 9.432 de 8 de janeiro de 1997. Nela, estão descritas as definições das diferentes modalidades de transporte marítimo, inclusive das embarcações de navegação de apoio, transporte principal envolvido neste trabalho, e das demais embarcações envolvidas no atendimento às UM.

Para os efeitos desta Lei, são estabelecidas as seguintes definições:

I - afretamento a casco nu: contrato em virtude do qual o afretador tem a posse, o uso e o controle da embarcação, por tempo determinado, incluindo o direito de designar o comandante e a tripulação;

II - afretamento por tempo: contrato em virtude do qual o afretador recebe a embarcação armada e tripulada, ou parte dela, para operá-la por tempo determinado;

III - afretamento por viagem: contrato em virtude do qual o fretador se obriga a colocar o todo ou parte de uma embarcação, com tripulação, à disposição do afretador para efetuar transporte em uma ou mais viagens;

IV - armador brasileiro: pessoa física residente e domiciliada no Brasil que, em seu nome ou sob sua responsabilidade, apresta a embarcação para sua exploração comercial;

V - empresa brasileira de navegação: pessoa jurídica constituída segundo as leis brasileiras, com sede no País, que tenha por objeto o transporte aquaviário, autorizada a operar pelo órgão competente;

VI - embarcação brasileira: a que tem o direito de arvorar a bandeira brasileira;

VII - navegação de apoio portuário: a realizada exclusivamente nos portos e terminais aquaviários, para atendimento a embarcações e instalações portuárias;

VIII - navegação de apoio marítimo: a realizada para o apoio logístico a embarcações e instalações em águas territoriais nacionais e na Zona Econômica, que atuem nas atividades de pesquisa e lavra de minerais e hidrocarbonetos;

IX - navegação de cabotagem: a realizada entre portos ou pontos do território brasileiro, utilizando a via marítima ou esta e as vias navegáveis interiores;

X - navegação interior: a realizada em hidrovias interiores, em percurso nacional ou internacional;

XI - navegação de longo curso: a realizada entre portos brasileiros e estrangeiros;

XII - suspensão provisória de bandeira: ato pelo qual o proprietário da embarcação suspende temporariamente o uso da bandeira de origem, a fim de que a embarcação seja inscrita em registro de outro país;

XIII - frete aquaviário internacional: mercadoria invisível do intercâmbio comercial internacional, produzida por embarcação.

XIV - navegação de travessia: aquela realizada:

a) transversalmente aos cursos dos rios e canais;

b) entre 2 (dois) pontos das margens em lagos, lagoas, baías, angras e enseadas;

c) entre ilhas e margens de rios, de lagos, de lagoas, de baías, de angras e de enseadas, numa extensão inferior a 11 (onze) milhas náuticas;

d) entre 2 (dois) pontos de uma mesma rodovia ou ferrovia interceptada por corpo de água. (BRASIL, 1997, Art. 2)

## TIPOS DE NAVIOS E EMBARCAÇÕES DE APOIO *OFFSHORE*

Além dos navios petroleiros, responsáveis por estocar e movimentar volumes de petróleo em tanques entre diversos portos, por navegação de cabotagem ou longo curso, existe também outros tipos de embarcações indispensável para a manutenção das operações *offshore*. O transporte marítimo de apoio *offshore* se

apresenta baseado nas necessidades da estrutura de exploração. Pode-se destacar como algumas dessas necessidades: apoio de suprimento de alimentos, combustível, peças de reposição, segurança das atividades, combate a incidentes, evacuação de pessoal, movimentação da plataforma. Segundo Ferreira Filho (2016), algumas embarcações importantes dessa frota são:

- Navio Supridor (*supply ship*) ou navio de suprimento de plataforma (*platform supply vessel* ou PSV) - É um navio especificamente desenhado para atender as plataformas de petróleo em alto-mar cuja principal função é transportar pessoas, alimentos e equipamentos;
- Navio de pesquisa sísmica em águas profundas (*deep research vessel*) - É um navio que tem como propósito a pesquisa sísmica nas etapas de exploração. A pesquisa é o primeiro passo para identificar novas reservas de petróleo e gás;
- Embarcação de prontidão (*stand-by vessel*) – Embarcações posicionadas permanentemente nas cercanias de uma instalação com a tarefa de evacuar a tripulação da plataforma em caso de emergência;
- Combate a Incêndio e SOS (*fire fighting*) – É um navio que possui bombas e canhões de incêndio com capacidade de aplicar jatos à vazão de até 10.000 m<sup>3</sup> de água por hora, para atender, em caso de emergência, as solicitações de socorro em plataformas e/ou embarcações;
- Navio de Lançamento de linha (*pipe-laying vessel*) – É um navio que lança e recolhe linhas no mar, utilizadas para conectar as plataformas a sistemas de produção de petróleo.
- Navios de suporte às operações de ROV (*remote operation vehicle*) (*ROV Support Vessel*) – É um navio equipado com DP (Dynamic Positioning) e outros equipamentos para operações com veículo de operação remota.
- Navio de suporte ao mergulho (*diving support vessel*) – É um navio de apoio às operações de mergulho de “superfície” ou saturado, dotados de vários equipamentos especiais.
- Navios de reboque e manuseio (AHTS – *anchor handling tug supply*) – É um navio utilizado para rebocar ou posicionar uma plataforma de petróleo.
- Navios de suprimentos de múltiplas tarefas (*multi purpose supply vessels* – MPSV) – É um navio capaz de prover uma larga faixa de serviços de manutenção para campos petrolíferos. Possui sofisticados equipamentos, como posicionamento dinâmico e combate a incêndio.

## MODALIDADES DE ATENDIMENTO MARÍTIMO

Na Baía de Campos, a entrega de materiais pode ocorrer de três formas distintas: *clusters*, transbordos e NS3. Apesar de possuírem o mesmo objetivo, levar os insumos necessários a unidade requisitante, estas três formas possuem procedimentos operacionais diferentes uma da outra. Isso porque quando comparadas uma com a outra, elas apresentam propriedades hierárquicas do ponto de vista da gestão logística.

*Cluster* é a modalidade de entrega feita por embarcações de grande porte, geralmente PSV's, que realizam o transporte de materiais previamente planejados e requisitados pelas UM com origem no porto e destino para a UM demandante. Esta modalidade funciona como um ônibus, onde há o local de partida (porto) e as UM são pontos onde as embarcações podem parar para receber e deixar cargas. Os *clusters* possuem roteiro fixo e ao final dos atendimentos, retornam ao porto para recomençar uma nova viagem. Sua maior vantagem é poder levar um grande número de cargas, possuir uma operação mais estável com as unidades e o baixo custo comparado às demais modalidades. Sua desvantagem é a velocidade de navegação, o que dificulta a chegada de materiais em casos mais urgentes.

Transbordos é a modalidade de entrega realizada por embarcações de pequeno ou médio porte, geralmente rebocadores, cujos materiais são coletados em UM e entregues em UM. Basicamente, este transporte realiza a movimentação de materiais emprestados entre as plataformas. São como taxis que operam de um ponto ao outro dentro da baía de campos. Quase nunca vão ao porto, exceto para abastecimento interno e troca de turma da operação. Uma UM não necessita mais planejar previamente a entrega de um material por *cluster* se houver uma outra UM próxima com o mesmo material sobressalente. Neste caso, a UM demandante requisitaria um pedido de transbordo desse material. A maior vantagem dessa modalidade é a flexibilidade e rapidez no atendimento. Sua desvantagem é o baixo espaço para cargas e sua impossibilidade de ir ao porto.

NS3 é a modalidade de entrega realizada por embarcações de pequeno ou médio porte, geralmente rebocadores AHTS, cujos materiais possuem alta criticidade e importância no processo das UM. Estas embarcações atendem as demandas de maior prioridade da baía. Suas partidas são realizadas geralmente nos portos e seu atendimento requer poucas unidades marítimas para atendimento,

não sendo necessário nenhum planejamento complexo para a criação da rota. A frota de embarcações de atendimento possui os transportes marítimos mais ágeis e leves. A sua maior desvantagem é o alto custo operacional. Existe uma grande necessidade de evitar pedidos de NS3, pois onera demasiadamente os custos da UM.

Quando observamos as três modalidades de atendimentos, verificamos que não há dificuldade no atendimento de *cluster* e NS3, pois estas possuem rotas previamente bem definidas e de fácil planejamento. Infelizmente, não encontramos o mesmo cenário para a realização de transbordos quando estes possuem inúmeras demandas. Neste caso, deve-se levar em conta a distância entre as unidades para atendimento, a gravidade e urgência das demandas e o quanto a ausência ou atraso no atendimento podem impactar nas operações dessas UM.

### **2.3 – O Processo Decisório nas Organizações**

A tomada de decisão, segundo Chiavenato (1997), é o processo de análise entre várias alternativas disponíveis do curso de ação que a pessoa deverá seguir. Para Liczbinski (2003), a tomada de decisão é um processo complexo e envolve diversos fatores internos e externos ligados à organização. Entre eles destacam-se: Ambiente, risco e incerteza, custo e qualidade requerida pelo produto ou serviço, agentes tomadores de decisão, cultura organizacional e o próprio mercado.

Todo processo decisório deve levar em conta os objetivos estratégicos das empresas. A tomada de decisão deve minimizar as incertezas, riscos e complexidades inerentes ao processo, com intuito de que seja escolhida a decisão eficaz entre as diversas alternativas disponíveis, tornando-se fundamental o valor e a qualidade da informação (BELFIORE; FÁVERO, 2013).

Uma decisão que não esteja respaldada em evidências pode criar verdadeiras armadilhas. Para Hammond *et al.* (2004), as decisões sob condições de incerteza corroboram para um ambiente de armadilhas psicológicas que interferem no processo decisório. Para dificultar a possibilidade de erros no processo decisório, sugere-se a devida atenção para uma série de oito fatores que buscam mostrar esses erros mais comuns: trabalhar com o problema errado; deixar de identificar seus objetivos principais; não ser capaz de criar uma margem de alternativas boas e criativas; examinar superficialmente consequências importantes de suas alternativas; pensar de maneira inadequada sobre as negociações; ignorar a

incerteza; não avaliar sua capacidade de suportar o risco; e não planejar com antecedência ao tomar decisões interligadas no tempo.

As inúmeras transformações e mudanças de cunho político, econômico, social, cultural e tecnológico causadas por consequência da globalização exigem que as organizações produzam respostas rápidas e adequadas. Essa necessidade quando não atendida pode pôr fim a saúde da empresa sob a pena de perda de competitividade dentro do seu mercado.

Uris (1989) descreve as seguintes etapas no processo de tomada de decisão:

- I. Análise e identificação da situação: A situação do ambiente onde o problema está inserido deve ser claramente identificado através do levantamento de informações, para que se possa chegar a uma decisão segura e precisa.
- II. Desenvolvimento de alternativas: Em função do levantamento das informações, ou seja, da coleta de dados, pode se chegar a possíveis alternativas para a resolução do problema proposto.
- III. Comparação entre as alternativas: Levantamento das vantagens e desvantagens de cada alternativa.
- IV. Classificação dos riscos de cada alternativa: As decisões sempre envolvem riscos, seja em um grau quase nulo, seja um alto grau de risco, ou seja, em um estágio intermediário de risco entre o quase nulo e o alto grau. Temos sempre que levar em consideração o grau de risco que temos em cada alternativa e escolher a alternativa que apresente comprovadamente o menor grau de risco. Porém, é necessário, muitas vezes, se combinar o grau de risco com os objetivos a serem alcançados. Às vezes, o grau de risco que se corre é muito grande, porém, o objetivo a ser alcançado, se alcançado, nos trará benefícios maiores em relação às alternativas menos arriscadas.
- V. Escolher a melhor alternativa: Tendo o conhecimento das vantagens, desvantagens e riscos o decisor é capaz de identificar a alternativa que melhor solucione seu problema.
- VI. Execução e avaliação: A alternativa escolhida fornecerá resultados que deverão ser comparados e avaliados com as previsões anteriores.

## TIPOS DE ABORDAGEM DO PROCESSO DECISÓRIO

Durante a etapa de avaliação e classificação das alternativas, o agente decisor deverá, utilizando algum procedimento ou método, escolher a “melhor

solução” que poderá ser aplicada. Nesse processo, o decisor poderá escolher que tipo de abordagem poderá realizar, seja de forma qualitativa ou quantitativa.

A abordagem qualitativa se aplica em problemas simples, corriqueiros, repetitivos, com pouco impacto financeiro ou social, onde é fundamental a experiência do decisor (ou de sua equipe de analistas) em situações anteriores semelhantes. Nestes casos, adota-se uma solução similar àquela já utilizada com sucesso num problema semelhante.

Já a abordagem quantitativa é recomendada quando os problemas são complexos, novos, envolvem grande volume de recursos humanos, materiais e financeiros, têm alto impacto no ambiente onde se insere (empresa ou sociedade). Aqui, recomenda-se o uso dos preceitos da ótica científica e os métodos quantitativos (algoritmos) disponíveis a obtenção de uma solução. Nesta abordagem, o uso de ferramentas computacionais para dar suporte ao processo de decisão se torna fundamental. O desenvolvimento de sistemas se faz necessário de forma a auxiliar os gestores para que pudessem enfrentar os desafios de seu mercado e tomar decisões mais assertivas e pautadas em fatos e dados mais precisos e consistentes.

## RACIONALIDADE DA DECISÃO

Esse conjunto de etapas do processo decisório descritas anteriormente faz parte do conceito de racionalidade na decisão. A racionalidade é a capacidade de usar a razão para conhecer, julgar e elaborar pensamentos e explicações e é ela que habilita o homem a escolher entre alternativas, a julgar os riscos decorrentes das suas consequências e efetuar uma escolha consciente da melhor alternativa. Na verdade, a racionalidade se ocupa da seleção de alternativas que mais se encaixem em algum sistema de valores e são, até certo ponto, uma aceitação do razoável. A alternativa escolhida normalmente representa apenas a mais adequada entre os disponíveis, portanto não representa a intenção de se atingir os objetivos visados em toda sua plenitude (PERDIGÃO *et al.*, 2012)

Isso fica claro quando se realiza a comparação entre os resultados de apoio a decisão baseado em métodos quantitativos e os resultados reais obtidos. A decisão por método quantitativo tende a se basear em variáveis conhecidas, mensuráveis e de resultado calculado. Porém, quando observamos as situações reais, elas podem se comportar de maneira diferente devido a inúmeros fatores internos e externos a

decisão que não podem ser previamente mensuráveis, mas corroboram com o resultado da decisão.

Esse cenário corrobora com a teoria da decisão racional. Nela, o levantamento das alternativas possíveis a um problema é considerado de maneira absoluta pelo indivíduo decisor embora sua preferência seja guiada por fatores psicológicos ou não mensuráveis de maneira individualista, ou seja, o decisor tem preferências entre as alternativas de escolha disponíveis que lhes permitem indicar qual opção ele prefere. Logo, sabe-se que o ser humano possui sua racionalidade sempre relativa ao sujeito que decide, não existindo uma única racionalidade vista como superior. Considerando este conceito, vislumbra-se que o decisor pode não alcançar todas as alternativas disponíveis em um processo. É a definição do conceito de racionalidade limitada do decisor.

## MODELOS DE APOIO À DECISÃO

Realizar decisões faz parte do cotidiano de gerentes e diretores de uma organização. Quando uma decisão chega ao nível tático e estratégico, significa que os meios triviais não atendem por completo e se faz necessário um estudo mais aprofundado da complexidade da decisão. O entendimento dessa complexidade se dá através da estruturação do problema em “mapas”, especificando o que está ocorrendo e o que é possível realizar sobre ele. O “mapa” resultante da estruturação do problema é chamado de modelo.

Um modelo é uma representação externa e explícita de parte da realidade vista pela pessoa que deseja usar aquele modelo para entender, mudar, gerenciar e controlar parte daquela realidade. (PIDD, 1998, p.25)

Vários são os modelos existentes para a condução do processo decisório. Bethlem (1987) elenca sete tipos diferentes, a saber: o modelo Militar, o modelo de Kepner e Tregoe, o modelo de Pesquisa Operacional, o modelo Creative Problem Solving Institute (C.P.S.I.), o modelo de Guilford, o modelo de Mintzberg e o modelo de Simon. A esta relação adicionamos o modelo genérico de Dewey (1953).

Todos esses modelos citados acima são conhecidos e a busca por seu conteúdo possui fácil acesso. Neste estudo iremos abordar com maior profundidade como funciona o processo decisório do modelo de pesquisa operacional. A escolha se deve pela natureza da proposta do trabalho. A roteirização e priorização de

demandas envolve um processo complexo com várias alternativas e decisões que podem causar grande impacto financeiro, operacional e material nas empresas, e o uso de um método quantitativo como processo decisório neste contexto se torna mais adequado.

## MODELO DE PESQUISA OPERACIONAL

A pesquisa operacional busca desenvolver modelos que representem um sistema real de forma a auxiliar o processo de tomada de decisão. Esse modelo construído será solucionado com técnicas e métodos, validado de forma que o objetivo em questão seja atingido. A figura a seguir, representa as fases do estudo para a elaboração de um modelo de pesquisa operacional. Sua implementação, porém, pode variar em função do tipo de problema e ambiente considerado:

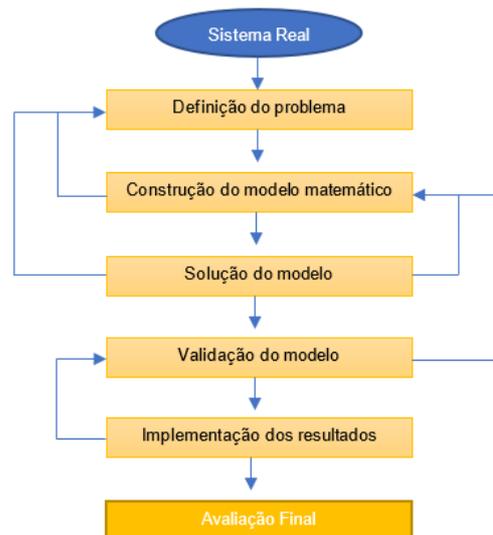


Figura 7 – Elaboração de modelo de PO - Fonte: Adaptado de Belfiore e Fávero (2013)

De acordo com Belfiore e Fávero (2013), cada uma das seis fases pode ser descrita da seguinte forma:

### 1. Definição do problema:

Nesta fase, ocorre a definição dos objetivos a serem atingidos, as alternativas possíveis e evidentes para a solução, as limitações técnicas do sistema e as relações do sistema com outras empresas e com o ambiente externo.

### 2. Construção do modelo matemático:

Um modelo é um conjunto de equações (função objetivo e restrições de igualdade) e inequações (restrições de desigualdade) que tem como objetivo otimizar a eficiência do sistema e oferecer subsídios para que o tomador de decisão identifique as limitações dele. (BELFIORE; FÁVERO, 2013)

### 3. Solução do modelo:

Nesta fase ocorre a utilização de diversas técnicas diferentes que buscam solucionar o modelo proposto. Para a programação linear, o método mais popular é o método Simplex. Já na programação inteira, um dos métodos mais utilizadas é o *branch-and-bound*.

### 4. Validação do modelo:

Um modelo se torna válido se conseguir representar ou prever, com precisão aceitável, o comportamento do sistema em estado. Geralmente se utiliza dados históricos para prever sua eficácia ou dados empíricos que serão anotados com o sistema em funcionamento sem interferência, até que o teste possa ser realizado.

### 5. Implementação dos resultados:

Após a validação do modelo, a implementação dos resultados deve ser controlada e acompanhada por uma equipe responsável que deverá detectar e corrigir possíveis mudanças de valores na nova solução. Algumas dessas mudanças podem fazer com que os modelos sejam reformulados.

### 6. Avaliação Final:

Nesta fase ocorre a verificação final se o objetivo foi alcançado.

Os modelos da pesquisa operacional podem ser classificados com base nos tipos de variáveis relacionadas. Em sua maior parte, os modelos podem ser classificados em determinísticos ou estocásticos. Os modelos determinísticos são aqueles em que todas as variáveis envolvidas em sua formulação são constantes e conhecidas. Geralmente são relacionados a processos analíticos (sistemas de equações) que geram a solução ótima. Já os modelos estocásticos utilizam uma ou mais variáveis aleatórias em que pelo menos uma de suas características operacionais é definida por meio de funções de probabilidade. Geralmente geram mais de um resultado e

apresentam cenários diferentes para análise. Sua resolução é baseada em métodos numéricos.

Segundo o trabalho de Eom e Kim (2006, apud Belfiore e Fávero, 2013), as ferramentas da pesquisa operacional podem ser classificadas conforme a divisão abaixo:

Modelos Determinísticos	Modelos Estocásticos	Outras Técnicas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Programação Linear</li><li>• Programação em redes</li><li>• Programação Binária e Inteira</li><li>• Programação por metas ou multiobjetivo</li><li>• Programação não linear</li><li>• Programação Dinâmica</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Teoria das filas</li><li>• Modelos de simulação</li><li>• Programação Dinâmica estocástica (Cadeia de Markov)</li><li>• Teoria dos jogos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Metodologia multicritério de apoio a decisão (AMD)</li><li>• Análise envoltória de dados (AED)</li><li>• Inteligência Artificial</li><li>• Inteligência Computacional</li><li>• Heurísticas e meta-heurísticas</li><li>• Outras</li></ul>

Figura 8 - Classificação das ferramentas da pesquisa operacional - Fonte: Adaptado de Eom e Kim (2006, apud Belfiore e Fávero, 2013)

Embora citado a existência de tantas outras ferramentas da pesquisa operacional, este estudo concentrará seu conteúdo na explicação de dois tipos que são essenciais para o conhecimento e acompanhamento da proposta do trabalho. A análise multicritério como ferramentas de apoio à decisão na seleção, ordenação e classificação de demandas e a programação inteira como ferramenta essencial para entendimento do algoritmo de roteamento de veículos.

### 2.3.1 – Apoio Multicritério a Decisão (AMD)

Na década de 70, diante da ineficiência de alguns modelos convencionais de pesquisa operacional para realizar análises de problemas gerenciais, surgiram novos estudos centrados em soluções construtivas. O surgimento da análise multicritério de apoio a decisão nesse período buscou atender essa necessidade.

A metodologia multicritério de apoio à decisão tem por finalidade estudar problemas com vários critérios simultaneamente, buscando selecionar a melhor escolha dentre um conjunto de alternativas. (BELFIORE; FÁVERO, 2013)

De acordo com Vincke (1986), o AMD pode ser classificado em três tipos: a programação matemática multiobjetivo; a teoria da utilidade multiatributo (MAUT); e métodos de sobreclassificação (*outranking methods*).

No primeiro tipo, a finalidade é encontrar uma solução ótima para a função-objetivo. Apesar de possuir certas limitações, os princípios de otimização matemática ainda são vastamente aplicados, em razão do seu vigor matemático e da sua formulação mais evidente. No segundo tipo, a teoria tem como princípio o conceito de agregação dos diferentes critérios em única função-utilidade que deve ser otimizada. Já no terceiro tipo, abrangem métodos que fazem comparação entre ações potenciais por meio de relações binárias.

Existem diversas vertentes e fontes de pesquisa associados à AMD, entretanto as principais linhas de estudo são a Escola Americana, alinhada a MAUT, e a Escola Francesa, alinhada ao *outranking methods*, as quais são representadas, fundamentalmente, pelos métodos: *Analytic Hierarchy Process* (AHP) na escola americana, *Elimination and Choice Expressing Reality* (ELECTRE) e *Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations* (PROMETHEE) na escola francesa. Para Roy e Vanderpooten (1995), a escola francesa possui a tendência de que as preferências dos decisores influenciem menos nas escolhas das alternativas, caso oposto ao da escola americana que se realiza com influência direta do decisor ou grupo de decisão. Já Acolet (2008, apud Leite e Freitas, 2012), afirma que a escola francesa trabalha com a incomparabilidade entre duas alternativas, não impondo a necessidade de hierarquização das alternativas e não havendo necessariamente função matemática para definição de valor as alternativas.

Conforme citado anteriormente a principal diferença entre o método americano AHP e os métodos das escolas europeias ELECTRE e PROMETHEE é a incomparabilidade entre alternativas na realização dos métodos franceses e a influência do decisor nos resultados no método AHP. O método americano é compensatório, enquanto o europeu é não compensatório. Isso porque essa definição está relacionada com a comparação dos critérios. A compensação questiona se as vantagens de um atributo podem ser ou não trocadas pelas desvantagens de outro. Quando ocorre a decisão entre um ou outro critério, faz-se necessário estabelecer uma relação de compensação.

Segundo Leite e Freitas (2012), o método AHP possui como vantagem ser mais conhecido academicamente e no meio empresarial. Além disso, este método consegue representar claramente as preferências dos decisores principalmente em situações em que predominam restrições qualitativas e o grupo de decisão é composto por pessoas com interesses e visões divergentes.

Ainda na pesquisa de Leite e Freitas (2012), as principais vantagens do ELECTRE são as definições do relacionamento de dominância que possibilitam abrir maior leque de possibilidades para uma análise de sensibilidade, ou seja, o método introduziu o conceito de limites de indiferença, que por sua vez, significam o limiar que uma alternativa pode transitar até ser indiferente à outra.

Já o PROMETHEE, torna-se uma vertente ou ramificação do método ELECTRE. Este método foi escolhido na hierarquização de demandas desse trabalho, devido sua menor necessidade de inputs, sua fundamentação não compensatória e possuir uma ferramenta visual própria que auxilia na clareza do entendimento do estudo.

## APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

De acordo com Neves *et al.* (2015), o uso de ferramentas AMD no contexto do planejamento e da gestão na indústria do petróleo tem sido amplamente divulgado e evoluído com o passar dos anos. Neves *et al.* (2015) realizou um levantamento abrangendo 48 estudos científicos diferentes abordando a metodologia multicritério desde 1996. Eles analisaram quais os métodos mais presentes e em que segmento da indústria do petróleo foram empregados. Dentre as diversas vertentes, a mais utilizada foi o método AHP (60,94%), o segmento que possui mais utilização do AMD é o Midstream (56,25%) e a maior parte dos trabalhos possui localização onshore (47,92%), conforme observamos nas figuras 9, 10 e 11:

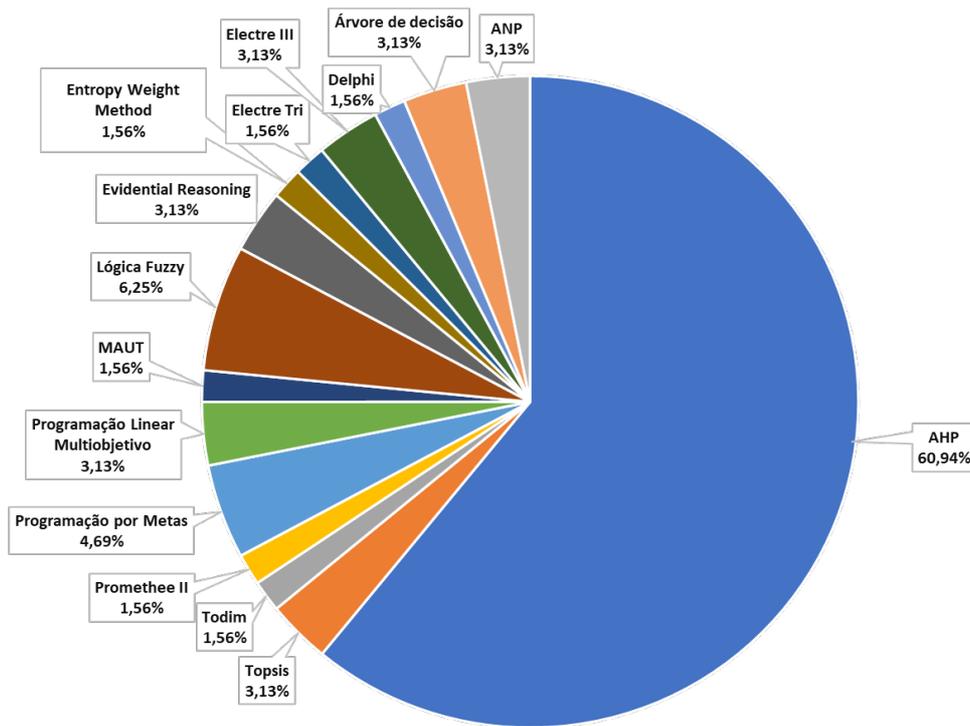


Figura 9 - Análise por método multicritério - Fonte: Adaptado de Neves *et al.* (2015)

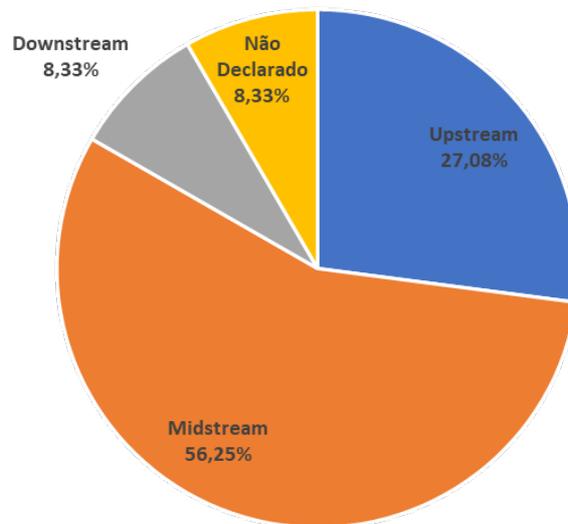


Figura 10 - Análise por tipo de segmento de produção da cadeia de P&G – Fonte: Adaptado de Neves *et al.* (2015)

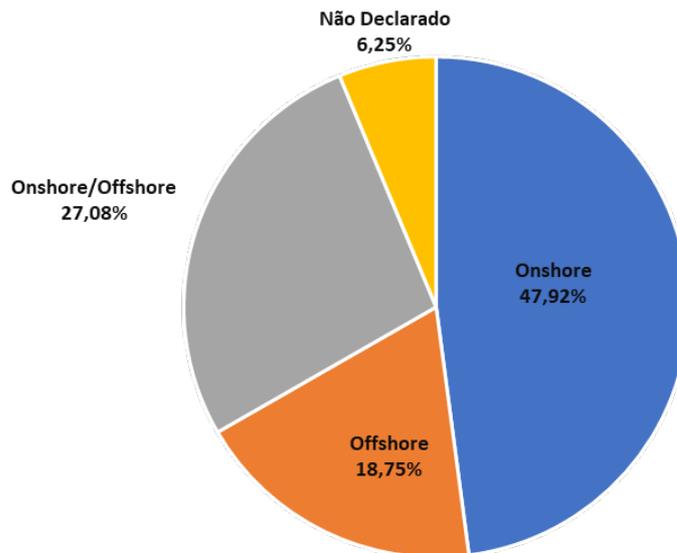


Figura 11 - Análise por situação geográfica das instalações - Fonte: Adaptado de Neves *et al.* (2015)

A apresentação dessa análise expõe o tamanho da particularidade desse trabalho, principalmente quando relacionamos com o que é popularmente apresentado. O trabalho busca se posicionar frente aos desafios do segmento *Upstream* utilizando uma ferramenta AMD (PROMETHEE) de baixa adesão no contexto petrolífero. Além disso, nenhum dos presentes trabalhos da análise realizada envolvia o cenário de otimização de transbordos emergenciais offshore. O que torna o trabalho ainda mais pertinente e necessário.

## METODO PROMETHEE

O PROMETHEE (*Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations*) é um método de análise multicritério apresentado por Brans, Vincke e Mareschal em 1984, que utiliza como base a relação de sobreclassificação introduzida por Roy, pioneiro na utilização deste tipo de desenvolvimento (MOREIRA, 2009). Esse tipo de relação de sobreclassificação consiste em comparações par a par das alternativas, indicando o desempenho de cada uma para um determinado critério.

Frequentemente, muitos autores destacam que este método é uma ramificação do método ELECTRE, entretanto, segundo Campos (2011, apud Leite e Freitas, 2012), enquanto o método predecessor faz-se necessário a atribuição de vários parâmetros que podem ser dificilmente mensurados pelo decisor, o método

PROMETHEE se mostra mais robusto a variações dos parâmetros, promovendo a sua aplicação principalmente em sistemas de preferências nebulosas embora permaneçam expostos a subjetividades.

## TIPOS DE PROMETHEE

Assim como o método ELECTRE, o PROMETHEE possui uma família que variam basicamente nas objetividades e nos métodos matemáticos de sua resolução. As principais vertentes do PROMETHÉE são (I, II, III, IV, V e VI), contudo Campos (2011, apud Leite e Freitas, 2012) também cita a existência do PROMETHEE & GAIA (*Geometric Analysis for Interactive Aid*), que é um complemento visual do método, auxiliando na análise dos pesos de cada critério sobre as alternativas. Resumidamente, a seguir definimos as finalidades de cada tipo a partir de Brans *et al.* (2005):

- PROMETHEE I – utilizada em problemática de escolha, estabelecendo uma pré-ordem parcial entre as alternativas.
- PROMETHEE II – aplicada em problemática de ordenação, através de pré-ordem completa entre as alternativas.
- PROMETHEE III – ampliada a noção de indiferença, com tratamento probabilístico dos fluxos.
- PROMETHEE IV – utilizada em problemáticas de escolha e ordenação, em situações com conjunto de soluções viáveis contínuo.
- PROMETHEE V – implementada em problemáticas com necessidade de priorização de alternativas, sujeitas a restrições. Uma lógica de programação inteira é estabelecida.
- PROMETHEE VI – destinada às situações em que o decisor não consegue estabelecer um valor fixo de peso para cada critério.
- PROMETHEE GAIA – extensão dos resultados do PROMETHEE, através de um procedimento visual e interativo.

No caso deste estudo, utilizaremos o método PROMETHEE II para classificar da melhor alternativa para a pior com base em critérios pré-definidos. A construção do método inicia-se com uma matriz na qual as alternativas estão localizadas nas

linhas e as colunas são os critérios. Nesta matriz será realizado uma avaliação de desempenho de cada alternativa com base nos critérios abordados.

	Critério1 (K <sub>1</sub> )	Critério2 (K <sub>2</sub> )	Critério3 (K <sub>3</sub> )	...	Critério "m" (K <sub>m</sub> )
Alternativa 1 (A <sub>1</sub> )	g <sub>1</sub> (A <sub>1</sub> )	g <sub>2</sub> (A <sub>1</sub> )	g <sub>3</sub> (A <sub>1</sub> )	...	g <sub>m</sub> (A <sub>1</sub> )
Alternativa 2 (A <sub>2</sub> )	g <sub>1</sub> (A <sub>2</sub> )	g <sub>2</sub> (A <sub>2</sub> )	g <sub>3</sub> (A <sub>2</sub> )	...	g <sub>m</sub> (A <sub>2</sub> )
Alternativa 3 (A <sub>3</sub> )	g <sub>1</sub> (A <sub>3</sub> )	g <sub>2</sub> (A <sub>3</sub> )	g <sub>3</sub> (A <sub>3</sub> )	...	g <sub>m</sub> (A <sub>3</sub> )
...	...	...	...	...	...
Alternativa "n" (A <sub>n</sub> )	g <sub>1</sub> (A <sub>n</sub> )	g <sub>2</sub> (A <sub>n</sub> )	g <sub>3</sub> (A <sub>n</sub> )	...	g <sub>m</sub> (A <sub>n</sub> )

Tabela 1 - Matriz de desempenho das alternativas - Fonte: Brans *et al.* (2005)

Cada critério possui um determinado peso ( $w_j$ ) e estes pesos devem atender a regra básica da equação abaixo:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1$$

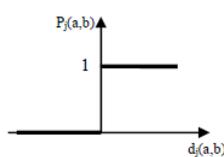
Cada alternativa desempenha junto ao critério um tipo de comportamento. Segundo Brans *et al.* (1986), esse comportamento pode ser verificado através de seis funções principais que chamamos de funções de preferências ou critério generalizado. A cada critério, a função de preferência traduz a diferença entre as avaliações obtidas por duas alternativas em um grau de preferência variando entre zero e um. É de responsabilidade do decisor a definição da representação do comportamento (função de preferência) que dado critério possui frente as diferentes alternativas.

Além disso, as funções de preferência podem possuir atributos que auxiliam o decisor na definição da função. São chamados de limites de preferência (p) e indiferença (q). O limite (q) representa o limite de indiferença, o maior valor para  $[F_j(a) - F_j(b)]$  abaixo do qual existe uma indiferença. O limite (p) representa o

limite de preferência, o menor valor para  $[F_j(a) - F_j(b)]$  acima do qual existe uma preferência estrita (Cavalcante; Almeida; 2005).

Brans *et al.* (1986), explicita bem como cada função de preferência pode se comportar dentro do método PROMETHEE II. A seguir, será apresentado uma definição de cada uma delas e logo após o gráfico de seus respectivos comportamentos:

- Verdadeiro Critério: A função assume zero se a diferença de desempenhos entre as alternativas for menor ou igual a zero e assume valor um se a diferença for maior que zero.
- Quase Critério: A função assume valor zero se a diferença de desempenho entre as alternativas for menor que (q) e assume valor um se a diferença for maior ou igual este índice.
- Pseudo Critério: A função permanece em seu ponto de máximo quando a diferença de desempenho for superior ao índice de preferência (p) e será nula para diferenças de desempenho menor que zero. Nesta função existe um crescimento linear da função no intervalo  $0 \leq D_i(a, b) \leq p$ .
- Critério de Nível: A função apresenta valor máximo para diferenças de desempenho superiores a (p) e valor nulo para diferenças de desempenhos inferiores a (q). Para o critério de nível  $F_i(a, b)$  assume valor 0,5 para o intervalo  $q < D_i(a, b) \leq p$ .
- Critério Preferência Linear: A função permanece em seu ponto de máximo quando a diferença de desempenho é superior ao índice de preferência (p) e será nula para diferenças de desempenho menor que o índice de indiferença (q). No critério de preferência linear existe um crescimento da função para o intervalo de  $q \leq D_i(a, b) \leq p$ .
- Critério de Gauss: A preferência cresce seguindo uma curva normal.

Tipos de funções de preferência		Parâmetros
1. Função Verdadeiro Critério		-

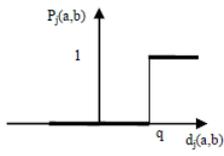
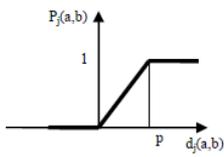
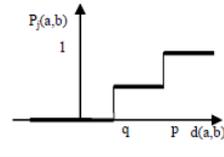
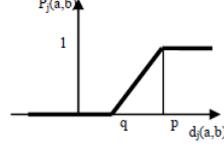
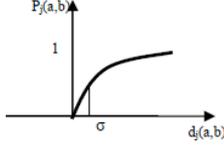
2. Função Quase Critério		q
3. Função Pseudo Critério		p
4. Função Critério de Nível		q, p
5. Função Critério Preferência Linear		q, p
6. Função Critério de Gauss		$\sigma$

Tabela 2 - Funções de preferências – Fonte: Brans *et al.* (1986)

Após a definição das funções de preferência para cada critério, partimos para a obtenção do grau de sobreclassificação  $\pi(a, b)$  para cada par de alternativas  $(a, b)$ . Esse grau de sobreclassificação pode ser obtido através da fórmula a seguir:

$$\pi(a, b) = \frac{1}{W} \sum_{i=1}^m W_i F_i(a, b)$$

O grau de sobreclassificação nos auxilia a obter os fluxos de entrada e de saída. O fluxo de saída explica o quanto uma alternativa sobreclassifica as demais e o fluxo de entrada explica o quanto ela é sobreclassificada. A diferença entre os dois fluxos é chamada de fluxo líquido final, variável esta que estamos buscando para ordenar as alternativas. Quanto maior o fluxo líquido final, maior importância a alternativa terá no ranking ordenado final. Listamos as fórmulas do fluxo de entrada, saída e líquido final a seguir:

Fluxo de Saída

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum \pi(a, b)$$

Fluxo de Entrada

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum \pi(b, a)$$

Fluxo Líquido Final

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$$

O PROMETHEE II estabelece uma ordem de classificação decrescente com base no fluxo líquido final que servirá como apoio ao tomador de decisão. Além dos processos que exigem uma classificação completa das alternativas cujo PROMETHEE II é utilizado, a família PROMETHEE propõe diversas outras opções de apoio ao tomador de decisão. Entretanto, para focar apenas nas ferramentas utilizadas, este estudo explicitará apenas este membro da família.

### 2.3.2 – Problema de Roteamento de Veículos

Segundo o FIESP (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo), os gastos das pequenas empresas com logística chegam a 6,6% do seu faturamento. Enquanto as empresas de médio e grande porte têm custo de 6,1% e 7,5% do que arrecadam com as vendas, respectivamente. A busca por meios que possam reduzir os custos logísticos desses produtos, tornou-se um objetivo em comum entre todas as empresas com funções logísticas relevantes. Conseqüentemente, na última década, ocorreram diversos avanços dentro da pesquisa operacional relacionadas ao tema, principalmente vinculados a montagem de rotas de veículos de atendimento, ponto focal deste trabalho.

O problema de roteamento de veículo apareceu pela primeira vez num estudo sobre entregas de gasolina publicado por George Dantzig e John Ranser em 1959. Este problema busca responder a seguinte pergunta: “Qual é o conjunto ideal de rotas para uma frota de veículos percorrer para entregar os pedidos a um determinado conjunto de clientes?”. Trata-se de uma ramificação do TSP (*Traveling Salesman Problem* ou Problema do Caixeiro-Viajante), questão clássica de roteamento da pesquisa operacional.

A resolução desse tipo de problema nem sempre é considerado simples e passa por modelagem de programação inteira ou otimização combinatória. Embora, alguns autores também apresentem soluções por meio da programação dinâmica.

Como referência teórica desta aplicação, apresenta-se primeiramente os fundamentos básicos da programação inteira para posteriormente aprofundar-se sobre o problema do caixeiro-viajante, roteamento das embarcações com coleta e entrega, objetivo deste estudo.

## PROGRAMAÇÃO INTEIRA

A construção de um modelo faz parte do processo decisório. Um modelo é a representação de um sistema real, no qual são especificados os objetivos, as limitações e as variáveis incógnitas responsáveis por atingir tal objetivo.

Essas variáveis incógnitas também conhecidas como variáveis de decisão são determinadas pela solução do modelo. O objetivo é representado por uma função matemática que determina o valor alvo que se pretende alcançar através da manipulação das variáveis de decisão. Já as limitações ou restrições são representadas por um conjunto de equações e inequações que as variáveis de decisão devem satisfazer. A depender do problema, vários tipos de modelo de programação podem ser utilizados na busca de resolvê-los.

Segundo Belfiore e Fávero (2013), um problema é classificado como programação inteira quando todas as variáveis de decisão do modelo são discretas, isto é, podem assumir valores dentro de um conjunto finito ou uma quantidade enumerável de valores, provenientes de uma contagem. Quando as variáveis de decisão são parte discretas e parte contínuas, o modelo é chamado de programação inteira mista (PIM).

Ainda segundo Belfiore e Fávero (2013), nos casos que as variáveis de decisão são binárias ou *dummy*, isto é, só podem assumir valores 1 ou 0, temos um modelo de programação binária (PB). Já quando parte das variáveis de decisão são binárias e parte são contínuas, chamamos de modelo de programação binária mista (PBM). Quando se tem no mesmo modelo, variáveis binárias e discretas, são chamados de modelos de programação binária e inteira (PIB). Alguns autores, entretanto, não diferenciam as variáveis binárias das variáveis discretas, chamando esses tipos de modelo programação inteira, generalizando suas diferenças.

A resolução desses tipos de problemas pode ser desenvolvida por métodos de solução exata como o *branch-and-bound*, *branch-and-cut*, plano de cortes, entre outros. Entretanto, existem problemas de programação binária e inteira que são NP-completos, isto é, não podem ser resolvidos em tempo polinomial em função da alta complexidade computacional. Como alternativa aos métodos exatos, algoritmos aproximados como heurísticas e meta-heurísticas vêm sendo proposto para resolver esse tipo de problema (BELFIORE; FÁVERO, 2013).

Podemos citar diversos exemplos de problemas que utilizam a modelagem por programação inteira, como por exemplo, problema de designação de tarefas, problema do caminho mais curto, problema da mochila, problema de orçamento de capital com variáveis binárias, programação da produção, problema do caixeiro-viajante, entre outros.

#### PROBLEMA DO CAIXEIRO-VIAJANTE (TSP)

O problema do caixeiro-viajante ou *Traveling Salesman Problem* é um problema clássico da pesquisa operacional. Seus estudos surgiram no século XVIII por um matemático irlandês chamado Sir Willian Rowan Hamilton e um matemático britânico chamado Thomas Penyngton Kirkman. Posteriormente diversos outros estudiosos buscaram aprimorar seu modelo e algoritmo, resultando em sua forma geral conhecida hoje e apresentada em 1930 em Harvard. Este modelo, apesar de rotulado para um problema de roteamento que considera a distância entre cidades ou localidades, também pode ser utilizado para diversas outras finalidades. Suas aplicações são inúmeras variando de modelos para otimização combinatórias, passando por planejamento de recursos, sequenciamento de DNA e fabricação de circuitos eletrônicos. (BERGEL, 2020)

A origem do TSP advém de um jogo cujo desafio consistia em encontrar uma rota por meio dos nós de um dodecaedro (sólido regular com 20 nós, 30 arcos e 12 faces) de tal modo que a rota iniciasse e terminasse no mesmo nó, sem nunca repetir uma visita (BELFIORE; FÁVERO, 2013). Analogamente, o caixeiro-viajante apresenta definição semelhante onde dado um conjunto de cidades e o custo de viagem (ou distância) entre cada par possível, o problema do caixeiro-viajante, é encontrar o melhor caminho possível para visitar todas as cidades e retornar ao ponto de início minimizando o custo de viagem (ou distância viajada). (MATAI *et al.*, 2010)

Aparentemente simples, o caixeiro-viajante na realidade é um problema muito difícil que faz parte de um grupo de problemas de complexidade computacional chamado *NP-hard*, um subconjunto de NP, que por sua vez, é conjunto de problemas de decisão cujas soluções podem ser verificadas em tempo polinomial. A complexidade do caixeiro-viajante compreende em analisar as possíveis soluções factíveis dentro de um subconjunto de rotas que cobrem todas as  $n$  cidades a serem visitadas. Basicamente esse conjunto pode ser encontrado com base na equação abaixo, onde “ $n$ ” é o número de cidades a serem visitadas:

$$S = \frac{(n - 1)!}{2}$$

Além da sua complexa resolução, segundo Matai *et al.* (2010) o problema do caixeiro-viajante pode ser classificado em três tipos: o problema do caixeiro-viajante simétrico, o problema do caixeiro-viajante assimétrico e o problema do caixeiro-viajante múltiplo. Basicamente, os dois primeiros se diferenciam pelo custo ou distância entre cidades visitadas que podem ter valores diferentes a depender se o caixeiro viajante está indo da cidade “ $i$ ” para cidade “ $j$ ” ou está indo da cidade “ $j$ ” para a cidade “ $i$ ”. No primeiro, os valores são iguais, enquanto no caso assimétrico são diferentes. Já no terceiro tipo, existem diversas ramificações do problema que variam conforme o cenário existente. Os problemas podem apresentar múltiplos depósitos, múltiplos viajantes, janela de tempo, entre outras restrições.

Uma das formas mais importante e fácil para visualizar os atendimentos do caixeiro-viajante é pela teoria dos grafos, deve-se considerar que  $S$  é um subgrafo não orientado de  $G = (N, A)$ , sendo  $N$  é o conjunto das  $n$  cidades e  $A$  é o conjunto de arcos entre as cidades.  $|S|$  representa o número de nós desse subgrafo. Essa representação facilita a modelagem matemática do problema.

Existem diversas formulações para o problema do caixeiro-viajante simétrico, sendo o algoritmo “Concorde” (2006) o mais refinado até o momento. Apesar disso, pela maior facilidade no entendimento do problema, apresenta-se a seguir, a formulação feita por Dantzig, Fulkerson e Johnson (1954):

Parâmetros do modelo

$C_{ij} \rightarrow$  Custo ou distância da cidade  $i$  para a cidade  $j$ ;  $i = 1, \dots, n$ ;  $j = 1, \dots, n$ .

## Variáveis de decisão

*se o caixeiro vai diretamente da cidade "i" para a cidade "j",  $i \neq j$   
caso contrário*

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

## Formulação matemática

$$F_{obj} = \min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} x_{ij} \quad (0)$$

Sujeito A:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad \forall_{ij} \in N \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad \forall_{ij} \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1, \quad \forall S \subset N \quad (3)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall_{i,j} \in N \quad (4)$$

Neste modelo, a função objetivo (0) busca minimizar o custo ou a distância total da rota. Já quanto as restrições, as duas primeiras (1) e (2) garantem que cada nó seja visitado apenas uma vez, obrigando o problema a atender a duas condições óbvias:

- Exatamente uma cidade deve ser visitada imediatamente após a cidade i;
- Exatamente uma cidade deve ser visitada imediatamente antes da cidade j;

Apesar do atendimento as condições acima, não podemos garantir que a resolução gere apenas uma rota, podendo ser criada várias outras sub-rotas. Neste caso, a restrição (3) busca excluir a possibilidade de criação dessas sub-rotas. Já a restrição (4) especifica que as variáveis de decisão devem ser exclusivamente binárias.

De acordo com Matai *et al.* (2010), o problema do caixeiro viajante múltiplo é geralmente tratado como um problema de roteamento de veículo relaxado (VRP) onde não há restrições de capacidade. Portanto, as formulações e métodos de solução para o VRP também são igualmente válidos e verdadeiros, se uma grande capacidade for atribuída aos veículos ou vendedores. Contudo, quando temos apenas um único vendedor ou veículo, o problema do caixeiro-viajante múltiplo se torna um problema de caixeiro viajante único.

## PROBLEMA DE COLETA E ENTREGA (PDP)

O roteamento de veículos é um grupo de problemas que possui mais de 50 anos de estudos, sendo o primeiro trabalho datado na década de 50 (DANTZIG; RAMSER, 1959). Dentro desses quase 70 anos de estudo, o VRP tem se expandido e inúmeras variações tem surgido com base nos aspectos e características da vida real. Podemos encontrar essas ramificações do problema original através da variação da capacidade dos veículos, adicionando uma janela de tempo para atendimento aos pontos de visita, performando coletas e entregas de materiais simultaneamente ou não durante as rotas, alterando o número de depósitos, entre outros.

Essa vasta ramificação dos problemas de roteamento de veículos é representada pela academia muitas vezes através de siglas. Entretanto, nem sempre estes problemas são nomeados iguais nas referências acadêmicas.

De acordo com Parragh *et al.* (2008), os problemas de roteamento com coleta e entrega podem ser divididos em dois tipos: os problemas de roteamento cujos transportes partem e retornam com cargas dos depósitos enquanto atendem os clientes realizando coleta e entrega de materiais e os casos cujas trocas de materiais ocorre apenas entre clientes, sem a ocorrência de partida ou chegada do depósito com cargas.

Parragh *et al.* (2008) afirma que nos casos com coleta e entrega de materiais exclusiva entre clientes, as demandas podem ser emparelhadas ou

desemparelhadas. Nos casos desemparelhados, os materiais são homogêneos, portanto, uma coleta realizada em determinado local pode atender quaisquer demandas de entrega para outros clientes. Já nos casos de demanda emparelhadas, todo ponto de coleta é associado a um determinado local de entrega, ou seja, determinada carga coletada sempre possui um destino específico que é um ponto de entrega.

A fim de trazer transparência a classificação dada, a seguir apresenta-se uma adaptação da classificação de Parragh *et al.* (2008).

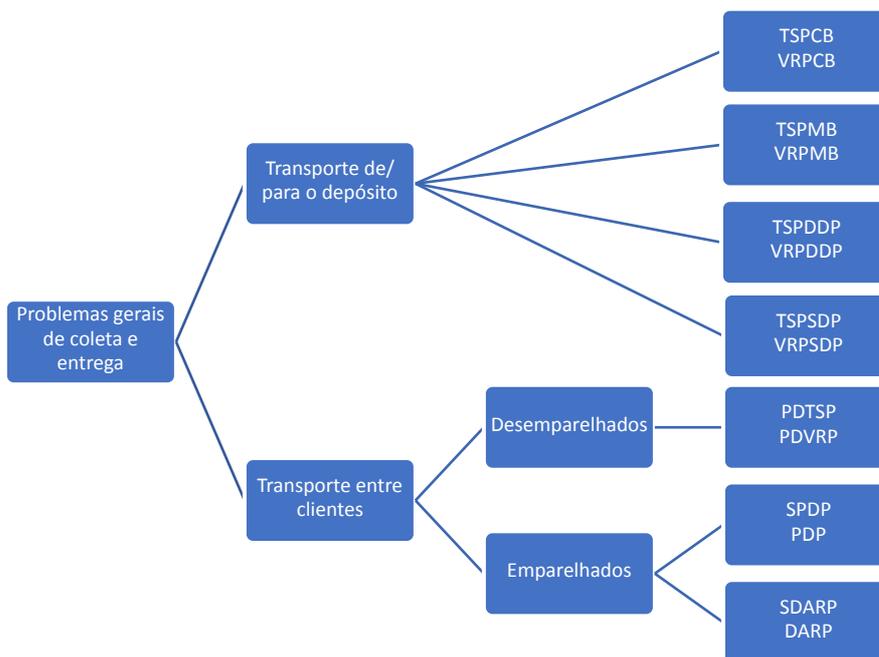


Figura 12 - Classificação dos problemas de coleta e entrega adaptado de Parragh *et al.* (2008)

Ao observar a classificação, verifica-se que há dois tipos de siglas associadas a cada final de ramificação. A sigla superior refere-se a problemas de roteamento com veículo simples, enquanto a sigla inferior refere-se a múltiplos veículos.

O foco deste trabalho é tratar demandas de coleta e entrega entre clientes com múltiplos veículos cujos materiais são heterogêneos e possuem destinos específicos de coleta e entrega, ou seja, são demandas emparelhadas. Neste tipo de caso, nota-se pela classificação que há dois tipos: DARP (*Dial-a-ride Problem*) e PDP (*Pickup and Delivery Problem*). A diferença entre eles está predominantemente no tipo de demanda de atendimento. DARP são utilizados para roteamento de veículos com embarque e desembarque de passageiros, enquanto PDP é utilizado para coleta e entrega de materiais. Essa diferença geralmente é expressa em termos de restrições ou objetivos adicionais durante a modelagem do problema que

explicitamente levam a conveniência ou inconveniência do usuário para conta (Parragh *et al.*, 2008).

Para formular o problema de coleta e entrega de materiais do nosso estudo, o PDP, se faz necessário expor as notações utilizadas para a modelagem. Com base no estudo de Parragh *et al.* (2008), define-se:

#### Notação

$n$  → número de vértices de coleta;

$\tilde{n}$  → número de vértices de entrega; nos casos de coleta e entrega emparelhados  $n=\tilde{n}$ ;

$P$  → Conjunto dos vértices de coleta;  $P = \{1, \dots, n\}$

$D$  → Conjunto dos vértices de entrega;  $D = \{n + 1, \dots, n + \tilde{n}\}$

$K$  → Conjunto de veículos;

$q_i$  → Demanda no vértice  $i$  ;

vértices de coletas são associados a valores positivos,

vértices de entrega com valores negativos

no depósito inicial e no depósito final, a demanda é zero;  $q_0 = q_{n+\tilde{n}+1} = 0$

$e_i$  → Horário mais cedo para começar o serviço no vértice  $i$ ;

$l_i$  → Horário limite para começar o serviço no vértice  $i$ ;

$d_i$  → Duração do serviço no vértice  $i$ ;

$L_i$  → Tempo máximo de viagem do usuário  $i$ ;

$c_{ij}^k$  → Custo de percorrer o arco ou aresta  $(i, j)$  com o veículo  $k$ ;

$t_{ij}^k$  → Tempo de viagem do vértice  $i$  para o vértice  $j$  com o veículo  $k$ ;

$C^k$  → Capacidade do veículo  $k$ ;

$T^k$  → Duração máxima da rota do veículo  $k$ ;

Além dos parâmetros da modelagem, algumas variáveis de decisão durante o processo de otimização são determinadas e precisam ser explicitadas antes da formulação matemática do nosso problema.

*Se o arco  $(i, j)$  é percorrido pelo veículo  $k$   
caso contrário*

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

$B_i^k \rightarrow$  Início do serviço do veículo  $k$  no vértice  $i$ ;

Todo problema de coleta e entrega pode ser modelado por grafos. Sendo  $G = (V, A)$ , onde  $V$  é o conjunto de todos os vértices  $V = \{0, n + \tilde{n} + 1\} \cup P \cup D$ , e  $A$  é o conjunto de todos os arcos  $A = \{(i, j) : i, j \in V, i \neq n + \tilde{n} + 1, j \neq 0, i \neq j\}$ . Entretanto, a modelagem matemática se torna fundamental quando se tratar de muitas variáveis e quando faltar maior transparência no processo de otimização. Para exemplificar, Cordeau *et al.* (2001) formulou um problema de coleta e entrega de materiais com janela de tempo com múltiplos veículos, similar ao problema de roteamento deste estudo.

#### F. Objetivo

$$F_{obj} = \min \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij}^k x_{ij}^k \quad (5)$$

Sujeito a:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j: (i,j) \in A} x_{ij}^k = 1, \quad \forall i \in P \cup D \quad (6)$$

$$\sum_{j: (0,j) \in A} x_{0j}^k = 1, \quad \forall k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{i: (i,n+\tilde{n}+1) \in A} x_{i,n+\tilde{n}+1}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (8)$$

$$\sum_{i: (i,j) \in A} x_{ij}^k - \sum_{i: (j,i) \in A} x_{ji}^k = 0 \quad \forall j \in P \cup D, \quad k \in K \quad (9)$$

$$x_{ij}^k = 1 \rightarrow B_j^k \geq B_i^k + d_i + t_{ij}^k \quad \forall (i, j) \in A, \quad k \in K \quad (10)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in A, \quad k \in K \quad (11)$$

A função objetivo mencionada acima na equação (5) busca minimizar o custo de roteamento total. Esse custo é minimizado respeitando as restrições (6) que garante que cada vértice seja visitado exatamente uma vez. As restrições (7) e (8) declaram que cada veículo deve partir inicialmente do depósito e retornar a ele ao final da rota. Um fator importante desta restrição é que não significa que todos os veículos deverão ser usados. Um veículo pode ter um arco que seja  $(0, n+\tilde{n}+1)$ , ou seja, não deixará o depósito. A conservação de fluxo deve ser garantida pela equação (9), ou seja, o mesmo barco que chega no vértice deve ser o mesmo que se retira dele posteriormente. A restrição (10) utiliza variáveis de tempo para evitar a formação de sub-rotas. Já a equação (11) especifica o tipo de variável de decisão como binária.

A base do modelo matemático apresentado acima ainda não atende ao propósito de um PDP, pois do jeito que se encontra, o modelo atenderá demandas com características homogêneas, ou seja, desemparelhadas. Para que o PDP com demandas emparelhadas seja atendido, deve-se adicionar mais duas restrições a saber:

$$\sum_{j:(i,j) \in A} x_{ij}^k - \sum_{j:(n+1,j) \in A} x_{n+1,j}^k = 0 \quad \forall i \in P, \quad k \in K \quad (12)$$

$$B_i^k \leq B_{n+i}^k \quad \forall i \in P, \quad k \in K \quad (13)$$

Nestas duas restrições, são declarados que a origem e o destino dos pedidos devem ser atendidos pelo mesmo veículo na equação (12). Enquanto na equação (13) garante que as entregas devem ocorrer após a coleta. Apesar de óbvio, o modelo matemático deve entender esses tipos de restrição. Agora, ao adicionar estas restrições, nosso modelo matemático de atendimento ao PDP está coerente.

## RESTRIÇÕES ADICIONAIS

Algumas características do processo a ser modelado podem revelar necessidade de ajustes ou restrições adicionais. É o caso dos clientes que possuem determinado período para que o veículo opere com eles, ou seja, um veículo somente poderá operar com o cliente, caso este esteja dentro de uma janela de tempo pré-determinada. Outro caso que necessita de adição de nova restrição é a duração máxima que uma rota deve respeitar. Nestes casos, podemos adicionar as restrições (14) e (15) respectivamente a seguir:

$$e_i \leq B_i^k \leq l_i \quad \forall i \in V, \quad k \in K \quad (14)$$

$$B_{n+\tilde{n}+1}^k - B_0^k \leq T^k \quad \forall k \in K \quad (15)$$

Além das restrições já apresentadas, existem outras que podem ser adicionadas ao modelo para refinamento e aprimoramento. Uma das mais utilizadas é a restrição que faz referência a capacidade de carga do veículo. Nas equações (16) e (17) apresentam-se as restrições para fim de conhecimento e futuros estudos:

$$x_{ij}^k = 1 \rightarrow Q_j^k = Q_i^k + q_j \quad \forall (i, j) \in A, \quad k \in K \quad (16)$$

$$\max\{0, q_i\} \leq Q_i^k \leq \min\{C^k, C^k + q_i\} \quad \forall i \in V, \quad k \in K \quad (17)$$

Basicamente, estas restrições garantem que a capacidade do veículo não seja ultrapassada ao longo do atendimento da rota. Note que há uma nova variável de decisão que corresponde a carga total do veículo  $k$  no vértice  $i$  ( $Q_i^k$ ). As restrições de capacidade não são essenciais ao modelo, entretanto são uma extensão importante em casos de coleta e demanda mais críticos.

## **CAPÍTULO III – METODOLOGIA**

O trabalho proposto busca uma solução considerável sobre um problema complexo a partir da concatenação de diferentes métodos da bibliografia da pesquisa operacional. Essa concatenação engloba métodos de diferentes finalidades, porém são utilizados distintamente, considerando seus aspectos de aplicação e os aspectos do problema central.

### **3.1 - Classificação da Pesquisa**

Seguindo a ótica de Duarte e Furtado (2014), as pesquisas podem ser caracterizadas com base na sua abordagem em relação aos dados, quanto a natureza dos dados coletados, quanto aos objetivos do autor e quanto ao procedimento adotado.

Este trabalho possui uma abordagem quantitativa, cuja coleta de dados possui natureza primária. Quantitativo pois os dados envolvidos e o seu resultado são realizados de forma mensuráveis, buscando traduzir os aspectos do problema a uma linguagem mais matemática, evitando trazer as subjetividades do processo. Já sua fonte é primária, pois estes dados são extraídos diretamente das bases do sistema da empresa e das respostas dos principais colaboradores que convivem com o evento.

O objetivo desta pesquisa possui caráter exploratório, pois proporciona maior familiaridade com o problema e busca através da pesquisa bibliográfica e das respostas dos questionamentos, proporcionar maior clareza dos principais aspectos do processo.

A metodologia de pesquisa é caracterizada como uma pesquisa-ação prática, cujo autor define técnicas e métodos para as diversas etapas do projeto por meio de suas experiências e ideias. O procedimento busca detalhar o passo a passo do autor para encontrar uma solução que seja factível e mais próximo da solução ótima, ao mesmo tempo que gera conhecimentos para aplicações práticas dirigidas à solução de problemas semelhantes.

### **3.2 – Foco do estudo**

Este estudo é realizado sobre a atividade logística de uma empresa de petróleo que possui diversas unidades de produção, tratamento e alocação de fluidos *offshore*.

A necessidade de aquisição de recursos de maneira emergencial dessa empresa leva cada unidade *offshore* a compartilhar seus recursos entre si por meios marítimos. O transbordo marítimo é a atividade de transferência dos materiais entre essas unidades e em sua maioria, ocorre de uma única unidade diretamente para outra.

O ponto focal do problema parte da ordenação de atendimento de uma lista de demandas de transbordo e da forma como ocorre o seu atendimento pelas embarcações destinadas a esse propósito.

### 3.3 – Procedimento de pesquisa

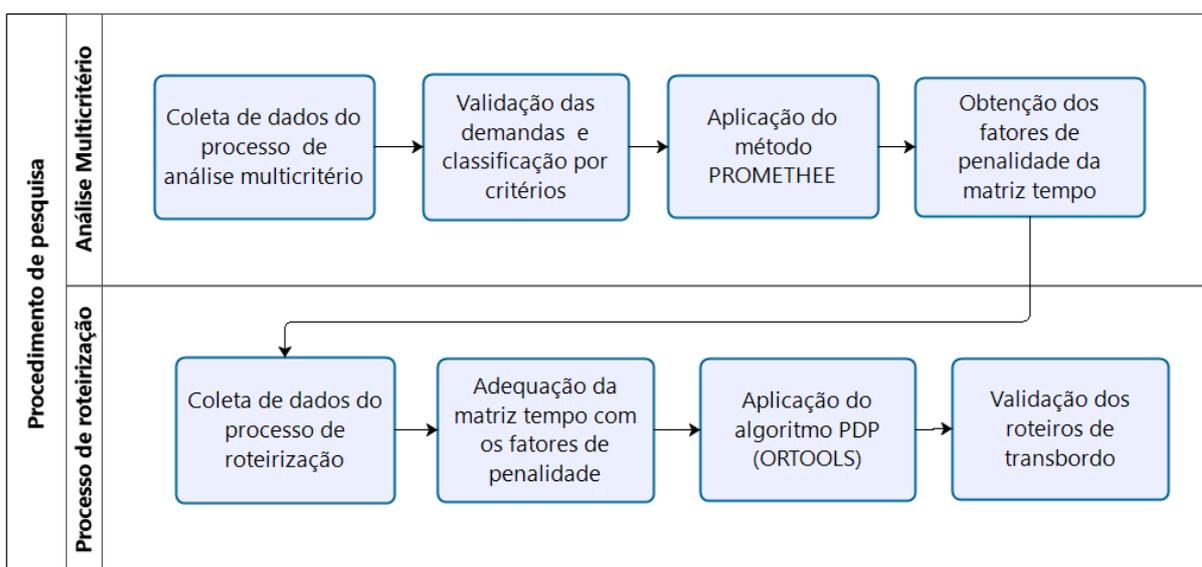


Figura 13- Fluxograma do procedimento da pesquisa. - Fonte: Autoria própria

Para uma melhor visualização das etapas da pesquisa, foi elaborado o fluxograma a seguir. Cada atividade é descrita resumidamente dentro de cada quadro e serão detalhadas mais adiante no capítulo de aplicação.

O procedimento desta pesquisa parte da coleta de dados do problema. Essa coleta busca saber qual o fluxo das informações do processo, quais os requisitos para um transbordo e quais os seus critérios para a priorização. Todas as especificações foram definidas a partir de questionários virtuais criados pelo site

“*monkeysurvey.com*” e respondidos pelos colaboradores, padrões de processo vinculados a programação de transbordos existentes na empresa e informações retiradas diretamente dos sistemas de acompanhamento.

Da posse dessas informações e de sua organização, são obtidas as entradas e critérios do procedimento de análise multicritério. Os transbordos como dados de entrada foram selecionados dentro de um momento conturbado do processo de atendimento cuja lista de demandas houvesse ao menos dez demandas em espera tornando o ambiente propício para aplicação do procedimento. Não houve aleatoriedade na escolha, apenas adequação em um cenário específico. Nesta etapa também foram delimitados quais os critérios válidos e como devem ser os comportamentos de cada um deles diante da amplitude de valores que estes podem aceitar. Para esta análise foi escolhido o método PROMETHEE, cuja aplicação simples permite abranger facilmente qualquer conceito ou parâmetros, os quais tenham uma interpretação física ou econômica, dentro do seu procedimento de sobreclassificação por critérios. Os resultados da análise multicritério são obtidos de forma ranqueada, na qual cada alternativa de transbordo é identificada pelo seu fluxo líquido final. Esta análise é feita com o programa “*Visual PROMETHEE*”, versão 1.4.0.0 e licenciado para uso exclusivamente acadêmico.

Já no processo de roteirização, processo distinto à análise multicritério, ocorre a coleta de dados dos tempos de viagem entre as unidades envolvidas das demandas de transbordo, a temporalidade operacional dessas unidades e quantas embarcações estão disponíveis para o atendimento a essas demandas. Dentro da matriz dos tempos de viagem entre as unidades, ocorre a adequação e penalização desses tempos diretamente proporcional a colocação da demanda no ranking de priorização, ou seja, quanto mais priorizada a demanda na ordenação da análise multicritério, maior será o desconto no tempo do trajeto da matriz de tempo, de forma a promover o seu atendimento dentro do processo. Todos os dados são essenciais para a execução do algoritmo VRPDP cujo resultado nos trará o roteiro das embarcações. O algoritmo utilizado possui como principal referência, um software *open source* chamada ORTOOLS, versão 7.6.7691, criado pela Google e responsável pelas principais funções do processo de roteirização. Seu código neste estudo foi adaptado para a linguagem Python e executado na IDE PyCharm, versão 2020.1.4. A responsabilidade da montagem e adaptação do algoritmo foi realizada pelo próprio autor com base nos exemplos e funções pré-programadas.

No próximo capítulo, encontra-se detalhado o procedimento de aplicação da pesquisa, desde a obtenção dos dados até o processo de validação do roteiro construído.

## **CAPÍTULO IV – APLICAÇÃO**

A aplicação deste estudo foi realizada sobre as necessidades logísticas entre unidades *offshore* de uma empresa de extração e produção de petróleo. Para efeitos descritivos o nome “EP” será usado quando esta for mencionada. Além disso, todo material, procedimentos e dados descritos no decorrer do texto foram adaptados para que não houvesse alusão a sua identidade.

A EP é uma multinacional de grande porte que possui atuação nas diversas fases do processo petrolífero e possui presença nas principais bacias hidrográficas nacionais cujo petróleo é encontrado. No caso deste estudo, sua aplicação será feita na Bacia de Campos e na relação de transbordos diretos entre suas unidades marítimas.

Cada unidade marítima varia conforme sua finalidade, estrutura, localização e estratégia. Apesar disso, elas necessitam de serviços, equipamentos e insumos muitas vezes similares umas das outras, podendo variar em poucos aspectos. Essa similaridade justifica o uso recorrentes de transbordos de materiais entre elas, tornando esta opção logística cada vez mais importante para uma atuação com maior diligência sobre suas demandas.

### **4.1 – Processo de programação de transbordos diretos**

Para descrever o procedimento de programação das demandas de transbordos, o uso de algumas ferramentas de mapeamento do processo se torna viável. Deve-se buscar quem são os principais stakeholders do processo, qual a função de cada um deles no processo, como ocorre o fluxo de informações do pedido até a programação na embarcação, quais os requisitos para que um transbordo direto seja validado e como ocorre a programação da demanda no sistema e o seu atendimento pela embarcação.

#### **4.1.1 – Fluxograma do processo**

Todo pedido de transbordo deve ser realizado através de um formulário eletrônico de transporte, conhecido como RT. O acesso a esse formulário se dá pelo sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*) da empresa, software que busca auxiliar na tomada de decisões gerenciais e na disponibilidade e integração das

informações entre setores. Este documento possui todas as informações pertinentes ao material que será transbordado, o trajeto a ser realizado e sobre os responsáveis pela requisição, programação e atendimento.

O processo de programação de transbordos passa por 3 setores distintos: Setor requisitante (UM), Setor de Validação (Centro de Controle) e setor de programação (Logística de apoio). O fluxograma a seguir mostra o caminho percorrido pelo formulário de requisição de transporte até sua programação:

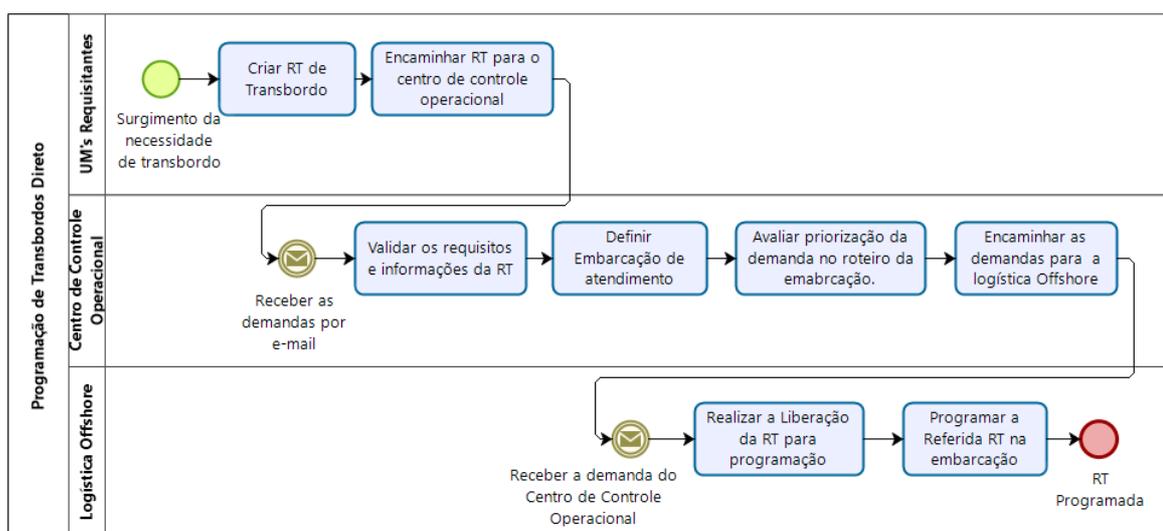


Figura 14- Fluxograma do processo de programação de transbordos direto - Fonte: Elaborado pelo autor

No processo de programação de transbordo direto, cada setor possui sua responsabilidade, entretanto, cabe ao centro de controle operacional a importância de avaliar se a demanda pode ser atendida por outro tipo de transporte ou até mesmo outro modal, como o aéreo, por exemplo. Além disso, o centro de controle operacional ao definir a embarcação de atendimento, se este for o caso, deverá avaliar qual a ordem de prioridade das demandas existentes e o trajeto de atendimento.

A fim de facilitar a validação do processo de programação dessas RT's, os pedidos seguem um modelo que evidenciava algumas informações no e-mail direcionado ao centro de controle. São elas: Número da RT, descrição do material e motivo do transbordo. A negativa de uma dessas informações invalidava o pedido e o transbordo não acontecia.

Posteriormente, esse modelo entrou em desuso pois não compreendia todas as informações necessárias para auxiliar o centro de controle na definição da classificação de prioridade de atendimento. Portanto, após o estudo deste processo, além do número da RT, descrição do material e motivo do transbordo, foram incluídos na obrigatoriedade do pedido, a data da necessidade, a data de disponibilidade do material na coleta, o impacto atual e futuro do não atendimento do transbordo.

#### **4.1.2 – Requisitos do transbordo direto**

Para a EP, todo transbordo direto parte na maioria das vezes da falha de planejamento da UM requisitante, portanto, suas demandas são tratadas no contexto logístico da empresa como demandas emergenciais. Apesar da forma como é tratada, não há ações corretivas de tratamentos dos desvios de planejamento na gestão dessas UM. Essa ausência de uma análise mais corretiva e de uma atuação mais rigorosa sobre as falhas de planejamento contribuem com a geração de uma enorme lista de transbordos diretos a serem realizados a pedido dessas UM.

Para prevenir a ocorrências de transbordos diretos cujas demandas possuem baixa importância, a EP adotou em seu procedimento padrão de execução alguns requisitos para que o transbordo seja atendido. Além de requisitos, a sequência na qual foi determinada auxiliará no processo de definição dos critérios deste procedimento. A fim de caracterizar a criticidade e necessidade de transbordo emergencial, a demanda deverá atender a um dos itens abaixo:

- Risco iminente a segurança das pessoas e instalações;
- Impacto a habitabilidade (rancho, água, diesel, baleeira ...);
- Recuperação de perda de produção e/ou risco de perda de produção;
- Equipamento SO (segurança operacional) - equipamento ou material necessário para a normalização de equipamento de segurança operacional em redundância (guindaste, baleeira, gerador de emergência, bomba de incêndio...);
- Atendimento a item legal com prazo curto de vencimento (Pendências de Marinha, ANP, IBAMA, entre outros).

## **4.2 – Etapa 1 - Análise Multicritério**

Conforme o procedimento de programação já descrito anteriormente, os transbordos são recebidos e validados pelo Centro de controle operacional. Ao tempo das chegadas de e-mails com os pedidos, ocorrem simultaneamente a programação e o atendimento de outros. Não há uma frequência definida de chegada desses pedidos, entretanto, as condições de atendimento pelas embarcações tendem a piorar conforme a previsão meteoceanográfica da região e/ou inoperância das embarcações.

Em cenários adversos para as embarcações, conhecidas como AM-05 nos casos de péssimas condições meteoceanográficas, criamos listas de transbordo aguardando atendimento. Essas listas dificultam a definição das prioridades pelo console de logística do centro de controle e de quais roteiros estas demandas podem ser atendidas de forma otimizada.

Para a aplicação do nosso estudo, foram coletados 10 transbordos já validados pelos requisitos definidos pelo padrão de execução da empresa e que aguardavam em listas de atendimento. A partir desses transbordos, serão feitas todas as etapas do procedimento.

### **4.2.1 – Definição dos Critérios**

A primeira necessidade encontrada no processo de hierarquização das demandas parte da definição dos critérios que podem ser empregados para determinar a prioridade destas. Para isso, foi realizado uma pesquisa entre os colaboradores para definir o que de fato é considerado no momento da priorização.

A pesquisa foi baseada em uma enquete e distribuída para aqueles que possuem relação com a tarefa, mais especificamente coordenadores e técnicos de operação do console de logística. Dos 10 colaboradores a quem a pesquisa foi destinada, 8 respostas foram obtidas, sendo 4 respostas dos coordenadores e 4 respostas dos técnicos de operação. As principais perguntas que compreendem a enquete estão no apêndice E deste trabalho.

A seguir, apresenta-se o resultado das duas perguntas iniciais com as porcentagens associadas:

## 1ª Pergunta

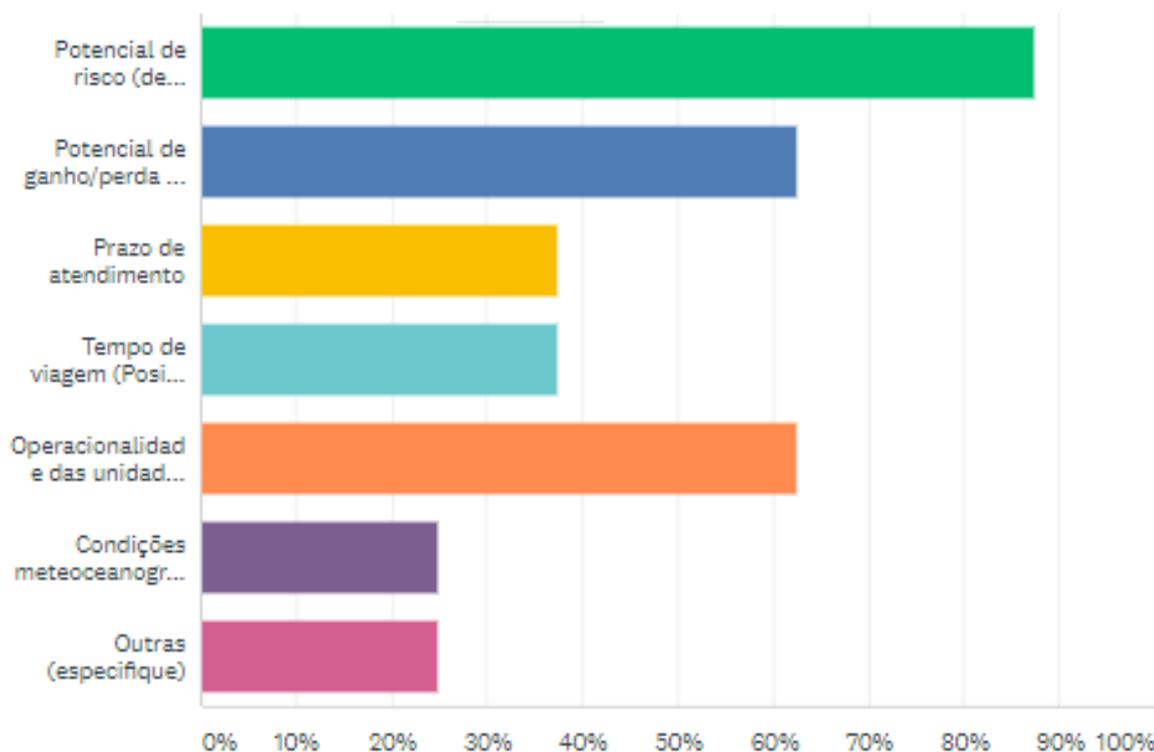


Figura 15 – 1º Pergunta - Enquete dos critérios de priorização - Fonte: Autoria própria com base no formulário MonkeySurvey.com

Nesta etapa, não se considera definir a hierarquia dos critérios, mas descobrir quais os fatores mais influenciam na decisão de uma priorização. Através dos resultados, constata-se que o potencial de risco, seja ele associado a segurança, a saúde ou a habitabilidade, é o fator de maior atenção. Após este, em segundo e terceiro mais citados, segue o fator relacionado ao potencial de ganho/perda de produção cuja demanda pode gerar e sobre a operacionalidade das unidades. Este último engloba situações de guindastes inoperantes, UM em operações com outras embarcações que inviabilizam o atendimento da embarcação de transbordo, turno de operação da movimentação de carga das UM na qual ocorre a coleta e entrega do material, entre outros.

Na opção “Outros”, o colaborador é direcionado a especificar quais outros critérios não especificados podem influenciar. Entretanto, as respostas não apresentaram diferença significativa que não pudessem ser associadas a alternativas já existentes.

## 2ª Pergunta

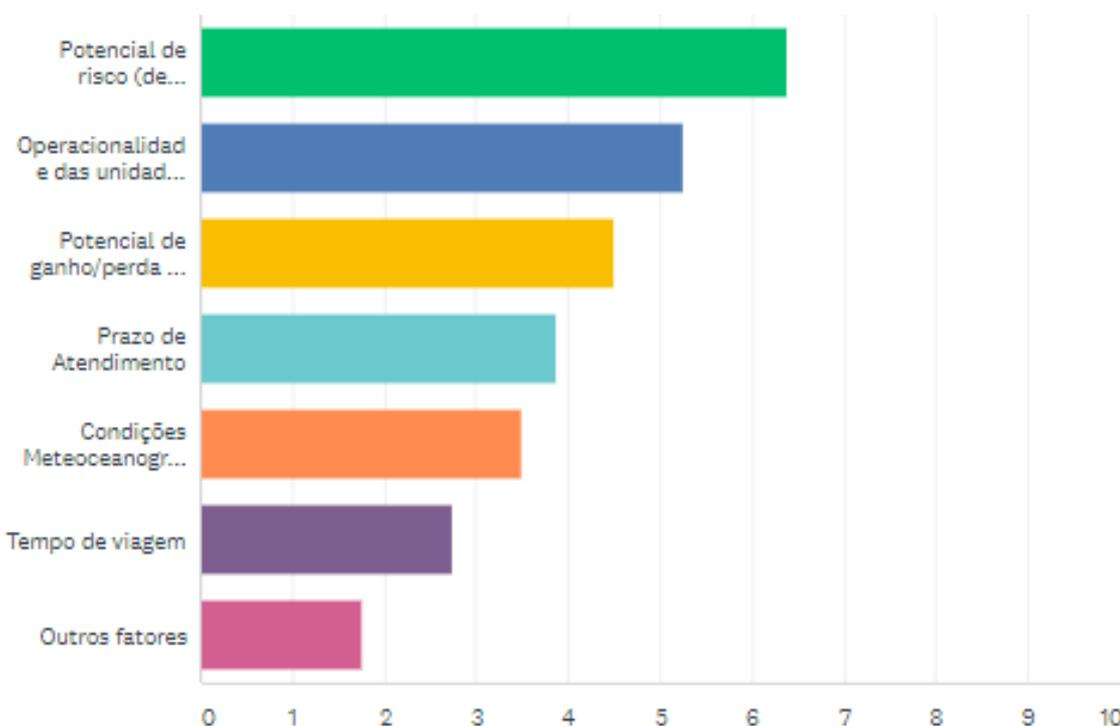


Figura 16 – 2º Pergunta - Enquete dos critérios de priorização - Fonte: Autoria própria com base no formulário MonkeySurvey.com

Na segunda questão, o objetivo era hierarquizar os critérios existentes do mais importante para o menos importante. Os colaboradores eram motivados a definir uma hierarquia com as alternativas existentes. No resultado, não houve novidades, sendo o potencial de risco em primeiro, a operacionalidade das unidades em segundo e o potencial de ganhos/perdas de produção em terceiro.

Já na terceira questão, os colaboradores puderam escrever livremente sobre o que consideravam empecilho para uma boa decisão e quais eram os principais desafios. Em sua maioria, as respostas citavam falhas na comunicação, falhas de recursos operacionais ou de procedimento. As respostas foram associadas em

grupos de falhas para a melhor visualização do empecilho ou desafio de maior recorrência.

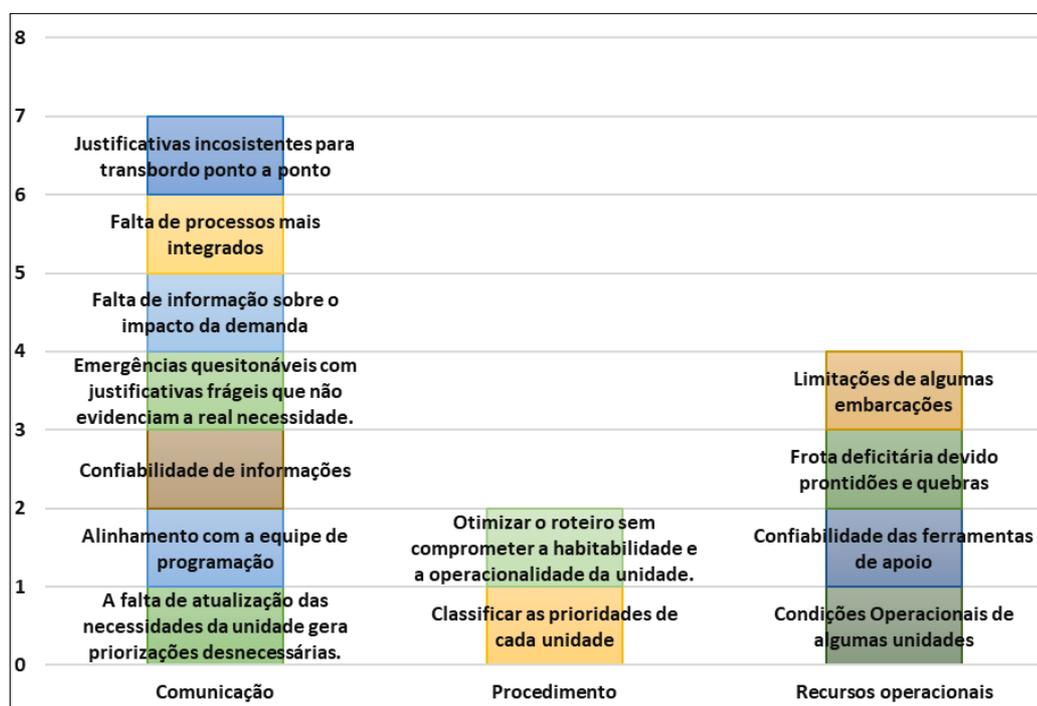


Tabela 3 - Respostas da 3ª pergunta do questionário sobre critérios de priorização. - Fonte: Autoria própria com base nas respostas do questionário *Monkeysurvey.com*

A partir dessas informações, avaliou-se que alguns critérios eram associados ao roteiro adotado pelas embarcações e outros eram associados diretamente a natureza da demanda. Além disso, o critério “Operacionalidade das unidades envolvidas” foi tratado como uma falha no procedimento, mais precisamente na comunicação entre o centro de controle e as unidades marítimas. Um novo modelo de e-mail para requerer transbordos pelas UM foi proposto. Sua correção resumiu-se em contemplar, além das informações sobre a demanda, informações operacionais das unidades envolvidas. Com isso, forçava o requisitante da demanda a dialogar com a unidade de coleta e avaliar pormenores que poderiam criar empecilhos ao atendimento. Este fator, portanto, foi desconsiderado do processo de análise multicritério e roteirização e deve ser incluído como limitação do estudo desenvolvido.

Devido à dificuldade de previsibilidade, adaptação e/ou por possuir dados pouco significativos, os critérios “condições meteoceanográficas” e “outros” também foram desconsiderados no nosso procedimento e foram incluídos nas limitações do estudo. Um fator a considerar posteriormente, as condições meteoceanográficas

poderão ser incluídas em uma estrutura de programa de roteamento mais complexo e mais prático.

O critério “potencial de ganho/perda de produção” foi desmembrado em outros dois, um se associando aos impactos atuais e o outro aos impactos futuros dentro do contexto produtivo. Ambos fazem referência a cenários caso não ocorra o atendimento a demanda e são medidos em volume de produção. Apesar da divisão, estes critérios possuem o mesmo peso, conforme definido na enquete.

O critério “Prazo de Atendimento” relaciona-se com as duas etapas do procedimento. Primeiramente, refere-se à validade da demanda pela UM e posteriormente servirá de insumo para limitar o atendimento da embarcação através de janelas de tempo para cada UM.

A seguir, expõe-se uma síntese dos critérios utilizados, com a divisão das notas dadas pelos colaboradores, a porcentagem de cada nota e a pontuação final que cada critério recebeu. A pontuação segue a fórmula:

$$Score = \frac{W1X1 + W2X2 + W3X3 + W4X4 + W5X5 + W6X6 + W7X7}{Total\ de\ respostas\ obtidas}$$

Sendo,

W = Peso da posição ranqueada

X = Quantidade por resposta escolhida

- Critérios vinculados a demanda (Análise Multicritério):

	(+ Importar ← → Importante)							Score
	7	6	5	4	3	2	1	
Potencial de risco (de saúde, habitabilidade, ambiental, segurança...)	75.00%	0.00%	12.50%	12.50%	0.00%	0.00%	0.00%	6,375
Critério vinculado aos potenciais riscos causados pela falta de atendimento a demanda que impactam diretamente no SMS (Saúde, meio ambiente e segurança) e habitabilidade das unidades envolvidas.	Votos							
Impacto atual na produção	0.00%	37.50%	25.00%	12.50%	0.00%	25.00%	0.00%	4,500
Critério voltado para a condição atual da unidade emitente da RT em termos de perda de produção. Critério oscilará de acordo com o tamanho da perda da unidade. Caso não haja perda, o valor é nulo.	Votos							
Potencial de impacto na produção	0.00%	37.50%	25.00%	12.50%	0.00%	25.00%	0.00%	4,500
Critério voltado para a condição futura da unidade emitente da RT em termos das consequências do não atendimento a demanda. A priorização se dará a partir das maiores perdas para os maiores ganhos.	Votos							
Prazo de Atendimento	0.00%	12.50%	12.50%	50.00%	12.50%	0.00%	12.50%	3,875
Critério em referência a validade do pedido do transbordo em termos do vencimento de prazos da demanda. Prazos mais curtos possuem maior prioridade quando comparados a prazos mais longos.	Votos							

Tabela 4 - Critérios selecionados vinculados a natureza da demanda - Fonte: Autoria própria

- Critérios vinculados ao roteiro da embarcação (Processo de roteirização):

	(+ ) Importar ←-----→ Importante							Score
	7	6	5	4	3	2	1	
<b>Prazo de Atendimento</b>	0.00%	12.50%	12.50%	50.00%	12.50%	0.00%	12.50%	3,875
Critério em referência a validade do pedido do transbordo em termos do vencimento de prazos da demanda. Prazos mais curtos possuem maior prioridade quando comparados a prazos mais longos.	0	1	1	4	1	0	1	
<b>Tempo de viagem</b>	0.00%	0.00%	0.00%	12.50%	50.00%	37.50%	0.00%	2,750
Critério referente a posição das embarcações no mapa e a diligência de atendimento pela embarcação.	0	0	0	1	4	3	0	

Tabela 5- Critérios selecionados vinculados ao roteiro da embarcação - Fonte: Autoria própria

- Critérios desconsiderados:

	(+ ) Importar ←-----→ Importante							Score
	7	6	5	4	3	2	1	
<b>Condições Meteoceanográficas futuras</b>	0.00%	12.50%	12.50%	12.50%	37.50%	25.00%	0.00%	3,500
Critério vinculado as condições meteoceanográficas, como velocidade do vento, altura das ondas, corrente marítima, entre outros.	0	1	1	1	3	2	0	
<b>Outros fatores</b>	12.50%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	87.50%	1,750
Fatores não considerados nas alternativas	1	0	0	0	0	0	7	

Tabela 6- Critérios desconsiderados na análise multicritério e no processo de roteirização - Fonte: Autoria própria.

#### 4.2.2 – Coleta e classificação de dados de transbordo

A classificação das demandas parte de uma lista pré-existente de transbordos aguardando atendimento. Abaixo, há 10 demandas de transbordo selecionadas, retiradas de uma situação real, na qual seria necessário a aplicação do procedimento.

Gravidade das demandas conforme padrão de execução da empresa EP em ordem de prioridade:  1- Risco Iminente às pessoas e instalações - <b>5 pontos</b> 2- Risco a habitabilidade - <b>4 pontos</b> 3- Perda/Ganho de produção - <b>3 pontos</b> 4- Perda de redundancia de equipamentos SO - <b>2 pontos</b> 5- Conformidade Legal - <b>1 ponto</b>				Potencial de risco (saúde, habitabilidade, ambiental, segurança...)	Impacto Atual na produção	Potencial de impacto na produção	Vencimento da demanda	Vencimento da demanda (Janela de tempo)	Tempo de viagem
				Padrão	bbl/h	bbl/h	h	h	h
Partida	Chegada	Produção (bbl/h)	Demanda	Maior prioriza	Menor Prioriza	Menor prioriza	Menor prioriza	Caixeiro Viajante	
P-A13	x P-A8	790	Refil de Biocida de Choque	3	0	-160	60		
P-A8	x P-A6	718	Diafragma da bomba de H2S	3	0	-718	24		
P-A6	x P-A8	790	Pendência IBAMA	1	0	-790	24		
P-A25	x P-A24	0	Correia para ar condicionado	4	0	0	24		
P-A23	x P-A21	178	Dissolvan - Desemulsificante	3	0	-178	36		
P-A21	x P-A24	0	Material kit SOPEP reserva	2	0	0	36		
P-A3	x P-A11	1826	Scavtreat - Sequestrante de H2S	3	-62,5	-1826	12		
P-A10	x P-A16	1604	HW Oceanic - Fluido hidráulico	3	0	-1604	48		
P-A4	x P-A11	1826	Material para bandagem de linha	5	-913	-913	24		
P-A4	x P-A15	1356	Óleo Lubrificante para compressor	3	-678	-950	12		

Tabela 7- Demandas de transbordo selecionadas e classificadas - Fonte: Autoria própria

Na primeira coluna encontra-se as unidades nas quais serão feitas as coletas de materiais. Já na segunda e terceira colunas, respectivamente, encontram-se as unidades requisitantes desses transbordos e sua produção média diária.

O primeiro requisito de priorização foi definido através do padrão de execução da empresa e comentado anteriormente no item sobre requisitos de um transbordo. Além de requisito, a classificação apresentada promove uma forma de definir o que prioridade de atendimento. Foi atribuído uma escala de cinco pontos, onde os elementos de maior gravidade recebiam a maior pontuação. Neste caso, risco iminente representava 5 pontos, habitabilidade tem 4 pontos, perda/ganho de produção possui 3 pontos, Perda de redundância de segurança operacional possui 2 pontos e conformidade legal 2 pontos. Outras classificações que porventura possam aparecer na lista, apesar de não atender aos requisitos de transbordo, serão considerados tendo apenas 1 ponto.

O segundo, o terceiro e o quarto requisitos tiveram suas informações retiradas do e-mail que originou o pedido. Com o novo modelo de e-mail para pedidos de transbordo, ficou mais prático preencher as informações sobre o prazo de atendimento, impacto atual e futuro na produção. Estes critérios mostram que qualquer demanda de uma unidade, de alguma forma relaciona-se direta ou indiretamente com o seu *Core Business*, neste caso a produção de óleo. A métrica

utilizada para os impactos atuais e para o potencial de impacto é definido em barril por hora (bbl/h), enquanto a validade da demanda é definida em horas (h).

De todos os critérios, apenas a classificação por requisito de transbordo utiliza uma relação crescente, ou seja, quanto maior o número atribuído pela demanda, maior será a sua necessidade de priorização. Já os demais critérios, possui uma relação inversa, quanto menor o valor atribuído, maior a necessidade de priorização.

O desempenho das alternativas com base nos critérios pré-estabelecidos, no método PROMETHEE II, é verificado através do comportamento da curva da função de preferência. A figura abaixo representa a forma como foi definido esse comportamento.

Critérios	Curva
Potencial de risco (de saúde, habitabilidade, ambiental, segurança...)	Usual
Impacto atual na produção	Curva V ( $p=1.000$ bpd)
Potencial de impacto na produção	Curva V ( $p=3.000$ bpd)
Prazo de Atendimento	Usual

Tabela 8- Definição das curvas de preferência sobre o processo de priorização - Fonte: Elaborado pelo autor.

Nos critérios apresentados, apenas potencial de risco e prazo de atendimento possuem um comportamento linear. Já o critério relacionado ao impacto atual e ao potencial de impacto, obedecem ao comportamento de uma curva V. Essa função possui um comportamento linear até certo ponto. A partir dele todos os valores acabam por receber o mesmo tratamento. No critério impacto atual, o ponto que define esse comportamento equivale a 42 bbl/h. Este ponto é o gatilho utilizado pela gerência imediata para uma registros obrigatórios nos boletins internos da companhia. Essa análise é feita diariamente. Já no critério relacionado ao potencial de impacto, o gatilho é de 125 bbl/h. Quando uma unidade atinge esse nível de perda, a gerência geral da empresa deve ser comunicada e inicia-se um processo de tratamento de anomalias, a fim de verificar quais as principais causas de perda e quais os planos de ação correntes para buscar a solução do problema.

#### 4.2.4 – Aplicação do Método PROMETHEE II

A primeira etapa do procedimento finaliza com a consolidação da classificação das opções de transbordo. Nesta etapa, a utilização do programa Visual PROMETHEE foi fundamental para definição da classificação em pouco tempo, o que seria bastante trabalhoso de realizar no modo manual.

Após a inserção dos critérios e de seus respectivos comportamentos conforme definido no item anterior, inserimos também as opções de transbordos candidatas a priorização. A partir da inserção desses dados, conclui-se na seguinte matriz de fluxo líquido final:

Ranking	Demandas	Fluxo Líq.	Fluxo(+)	Fluxo(-)
1	P-A4 x P-A11	0,3767	0,4233	0,0467
2	P-A25 x P-A24	0,3033	0,3867	0,0833
3	P-A3 x P-A11	0,1867	0,26	0,0733
3	P-A4 x P-A15	0,1867	0,26	0,0733
5	P-A8 x P-A6	0,0467	0,1667	0,12
6	P-A23 x P-A21	-0,0933	0,12	0,2133
7	P-A10 x P-A16	-0,1633	0,0967	0,26
8	P-A13 x P-A8	-0,21	0,0733	0,2833
9	P-A6 x P-A8	-0,2833	0,0933	0,3767
10	P-A21 x P-A24	-0,35	0,0833	0,4333

Tabela 9- Fluxos das demandas de transbordo - Fonte: Programa VISUAL PROMETHEE

O fluxo obtido será utilizado dentro do processo de roteamento das embarcações como descontos na matriz de tempo de viagem. Observando a tabela de fluxo, nota-se que os transbordos P-A3 x P-A11 e P-A4 x P-A15 possuem o mesmo valor. Neste caso, ambos terão a mesma penalidade no tempo de suas respectivas viagens.

#### 4.3 – Etapa 2 – Roteamento das embarcações (PDP)

A segunda etapa do procedimento consiste em definir as rotas das embarcações disponíveis para atendimento aos transbordos. Nesta etapa, conforme dito na metodologia, todo processo é baseado em algoritmos codificados na linguagem *python*, cuja principal biblioteca é o OR-Tools<sup>1</sup>, idealizada pela google, fornece as principais funções e procedimento de otimização.

<sup>1</sup> Disponível em <https://developers.google.com/optimization>. Acesso em 12/05/2021.

Embora todo esforço de cálculo seja feito pelo algoritmo, a transparência do problema envolvido deve ser importante para uma análise mais precisa sobre o processo. Segundo a taxonomia de Breakers *et al.* (2016), este trabalho pode ser classificado da seguinte maneira:

#### Características do Cenário

- Número de paradas - Conhecida
- Divisão da carga - Não permitida
- Quantidade de demanda - Não aplicável
- Tempo de pedidos de novos clientes - Não aplicável
- Tempo de espera nos locais - 120 minutos
- Estrutura de janela de tempo - Janela de tempo restrita
- Horizonte de tempo - Período simples
- Abordagem das demandas - Clientes requerem coletas e entregas simultâneas
- Restrição de cobertura dos nós - Restrição de precedência e emparelhamento

#### Características físicas do problema

- Desenho da rede de transporte – Não direcional
- Local de endereço dos clientes - Nós
- Número de pontos de origem - Origem simples
- Tipo de janela de tempo - Restrito aos clientes
- Número de veículos - Número limitado – 3 veículos
- Consideração da capacidade - Capacidade desconsiderada
- Homogeneidade do veículo - Veículos iguais
- Tempo de viagem - Determinístico

#### Objetivos

- Dependente do tempo de viagem

#### Característica da informação

- Evolução da informação - Estática
- Qualidade da informação - Conhecida
- Disponibilidade da informação - Local
- Processamento da informação - Centralizada
- Dados usados - Dados reais

### 4.3.1 - Coleta e modelagem dos dados do processo de roteamento.

Durante a etapa de coleta de dados para a roteirização, define-se a quantidade de embarcações que devem atender as demandas de transbordos, a janela operacional de atendimento das unidades, o tempo de viagem entre cada uma das unidades envolvidas do processo, os transbordos a serem realizados, as rotas inicialmente propostas e a localização de partida da embarcação.

Neste procedimento foi definido três barcos para atendimento as alternativas de transbordo vigente. Esse número é baseado na quantidade de barcos que a empresa possui disponíveis para a realização do trabalho. Entretanto, o algoritmo é aberto para aumento ou decréscimo desse número.

A inserção dos dados no algoritmo de roteamento depende da modelagem desses dados. Os dados mais importantes são alocados dentro de uma função de criação de modelo de dados (“create\_data\_model”). Dentro dessa função, a variável “Data” representa uma lista dicionário com todos os dados admitidos.

```
data = {'time_matrix': [...], 'time_windows': [...], 'initial_routes': [...], 'pickups_deliveries': [...], 'num_vehicles': 3, 'depot': 0}
```

Desta forma, o item do dicionário que representa o número de embarcações a serem utilizadas está descrito como “num\_vehicles”: 3”. Os demais itens, “time\_matrix”, “time\_windows”, “initial\_routes”, “pickups\_deliveries” e “depot” são respectivamente, a matriz de tempo de transporte entre vértices, a janela de tempo de operação de cada vértice, as rotas inicialmente propostas já definidas previamente pela operação, os transbordos obrigatórios a serem realizados já definidos em etapa anterior e o ponto de partida das embarcações.

Com exceção da janela de tempo, o ponto de partida das embarcações e o número de embarcações, todos os demais itens acima se apresentam na forma de matriz na linguagem python, na qual cada linha é separada por colchetes e cada item de cada linha é separado por vírgulas dentro desses colchetes. A janela de tempo, por sua vez, é definida como uma lista de pares ordenados, no qual os pares se apresentam entre parênteses e separados por vírgula.

Em nosso algoritmo, o ponto de partida das embarcações é independente e aleatório, portanto, alocamos um valor nulo no valor da variável “depot”.

Antes de apresentarmos como ocorre a coleta dos demais dados do algoritmo, torna-se importante visualizar como os transbordos escolhidos estão dispostos. A melhor forma é através do mapa das localizações das unidades. Segue, um esquema gráfico baseado na localização real das unidades:

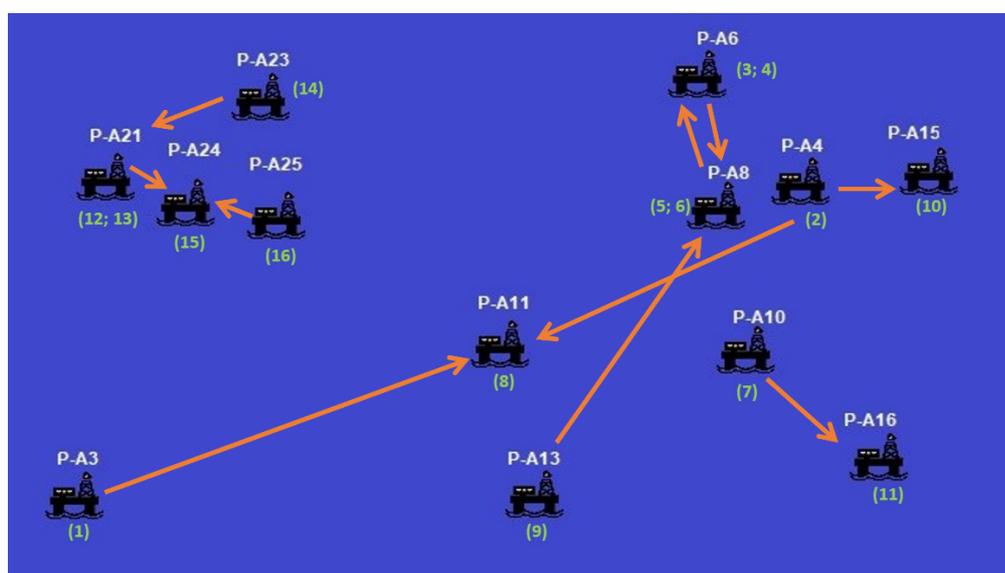


Figura 17 - Localização das UM relacionadas ao transbordo. - Fonte: Autoria Própria

### A) Matriz de tempo das viagens

Dentre as atividades pertinentes, a obtenção dos tempos das viagens é a mais trabalhosa. Para isso, utilizamos programas de geolocalização disponíveis na própria empresa. Foram coletadas todas as distâncias entre as unidades envolvidas e encontrado seu respectivo tempo de viagem com base na velocidade média de 6 nós. Essa velocidade média foi obtida através do histórico das médias de velocidade de atendimento das embarcações em roteiros anteriores.

A organização dos dados é apresentada em uma matriz cuja primeira coluna equivale à identificação das unidades de coleta de carga e a primeira linha equivale à identificação das unidades requisitantes. Nas associações entre linha e coluna, foi

inserido manualmente os tempos de suas respectivas viagens. A matriz pode ser vista no Apêndice A deste estudo.

Para efeito de cálculo do algoritmo de roteamento, unidades que realizam duplo trabalho, ou seja, são unidades de coleta e unidades requisitantes ao mesmo tempo, foram criadas linhas e colunas virtuais com os mesmos tempos que as originais e distância entre elas nula. Isso foi realizado, pois o algoritmo não reconhece unidades que possuem dupla função dentro do procedimento. Após a alteração, a matriz resultante pode ser vista no Apêndice B deste estudo.

### **B) Janela operacional das unidades requisitantes e fornecedoras.**

A janela operacional está ligada diretamente a validade das demandas. Esta informação é obtida através dos e-mails dos pedidos de transbordo e foi apresentada anteriormente na oitava coluna da tabela 7 deste mesmo procedimento.

Para a definição da janela operacional de cada unidade, deve-se seguir algumas regras básicas:

1. Quando há uma unidade sendo requisitante de duas ou mais demandas de transbordos, normalmente utiliza-se o menor tempo de validade dentre as demandas. O mesmo ocorre no caso das unidades fornecedoras.
2. Nos casos cuja unidade é fornecedora e requisitante ao mesmo tempo (dupla função), conforme relatado na seção anterior, cria-se uma unidade virtual com os mesmos tempos de viagem para as demais unidades e esta é inserida na planilha, tanto na coluna quanto na linha.
3. A unidade virtual, apesar de ser vinculada à uma unidade única real, pode possuir dois tempos de operação diferentes: um como unidade fornecedora de materiais e outro como unidade requisitante.
4. A janela de tempo de operação das unidades fornecedoras dos materiais deve ser menor ou igual a janela de tempo da unidade requisitante. Caso contrário, a configuração abriria o precedente de passagem da embarcação por uma unidade fornecedora num prazo maior do que compreende a validade da demanda.

Plataforma	Operação Original	Transbordo Python	Transbordo Original	Vencimento da demanda	Janela de tempo ajustada
P-A3	PICKUP	(01, 08)	P-A3 x P-A11	[0, 720]	(0, 720)
P-A4	PICKUP	(02, 08)	P-A4 x P-A11	[0, 1440]	(0, 720)
		(02, 10)	P-A4 x P-A15	[0, 720]	
P-A6	PICKUP	(03, 06)	P-A6 x P-A8	[0, 1440]	(0, 1440)
P-A6	DELIVERY	(05, 04)	P-A8 x P-A6	[0, 1440]	(0, 1440)
P-A8	PICKUP	(05, 04)	P-A8 x P-A6	[0, 1440]	(0, 1440)
P-A8	DELIVERY	(09, 06)	P-A13 x P-A8	[0, 3600]	(0, 1440)
		(03, 06)	P-A6 x P-A8	[0, 1440]	
P-A10	PICKUP	(07, 11)	P-A10 x P-A16	[0, 2880]	(0, 2880)
P-A11	DELIVERY	(01, 08)	P-A3 x P-A11	[0, 720]	(0, 720)
		(02, 08)	P-A4 x P-A11	[0, 1440]	
P-A13	PICKUP	(09, 06)	P-A13 x P-A8	[0, 3600]	(0, 1440)
P-A15	DELIVERY	(02, 10)	P-A4 x P-A15	[0, 720]	(0, 720)
P-A16	DELIVERY	(07, 11)	P-A10 x P-A16	[0, 2880]	(0, 2880)
P-A21	PICKUP	(12, 15)	P-A21 x P-A24	[0, 2160]	(0, 2160)
P-A21	DELIVERY	(14, 13)	P-A23 x P-A21	[0, 2160]	(0, 2160)
P-A23	PICKUP	(14, 13)	P-A23 x P-A21	[0, 2160]	(0, 2160)
P-A24	DELIVERY	(16, 15)	P-A25 x P-A24	[0, 1440]	(0, 1440)
P-A25	PICKUP	(16, 15)	P-A25 x P-A24	[0, 1440]	(0, 1440)

Tabela 10- Consolidação da janela de tempo das demandas de transbordo - Fonte: Autoria própria

### 4.3.2 – Penalização da matriz tempo

Considerando os critérios que são envolvidos no procedimento, pode-se definir o peso que cada etapa separadamente terá. Essa separação é muito importante pois nos entregará a porcentagem máxima de penalização que será aplicada na matriz tempo dentro do processo de roteamento das embarcações a ser visto adiante.

Critérios	Score	Pesos	
Potencial de risco (de saúde, habitabilidade, ambiental, segurança...)	6,375	25%	PROMETHEE II aprox 75%
Impacto atual na produção	4,500	17%	
Potencial de impacto na produção	4,500	17%	
Prazo de Atendimento	3,875	15%	
Prazo de Atendimento	3,875	15%	PDP aprox 25%
Tempo de viagem	2,750	11%	

Tabela 11 - Pesos dos processos de análise multicritério e PDP - Fonte: Autoria própria

Cada par ordenado da matriz tempo apresentada na seção 4.3.1 – item A representa o tempo de locomoção de uma embarcação entre as unidades do eixo X e o eixo Y. Nossa penalização consiste em realizar um desconto sobre o tempo de

atendimento das unidades envolvidas nas demandas de transbordo. Considerando o peso do método PROMETHEE de 75%, definimos o desconto máximo da matriz de tempo. Basicamente, quando a demanda tiver alcançado o nível mais alto possível do fluxo líquido final (+1), realizamos um desconto de 75% do tempo. Quando o fluxo líquido final for o menor possível (-1), o desconto é nulo. Esse cálculo é baseado na colocação da demanda no ranking de prioridades resultante da aplicação do método PROMETHEE.

Antes da efetiva aplicação da penalidade, devemos converter o fluxo líquido final obtido do resultado do PROMETHEE em uma porcentagem de desconto relacionado a cada demanda. Para isso, utilizamos a seguinte fórmula abaixo:

$$Desconto = \frac{((PHI + 1) * 0,75)}{2}$$

Com isso, resultamos na seguinte tabela de descontos para as prioridades de transbordo:

Demandas de Transbordo	Phi	Desconto na matriz tempo
P-A4 x P-A11	0,377	51,63%
P-A25 x P-A24	0,303	48,87%
P-A3 x P-A11	0,187	44,50%
P-A4 x P-A15	0,187	44,50%
P-A8 x P-A6	0,047	39,25%
P-A23 x P-A21	-0,093	34,00%
P-A10 x P-A16	-0,163	31,38%
P-A13 x P-A8	-0,210	29,63%
P-A6 x P-A8	-0,283	26,88%
P-A21 x P-A24	-0,350	24,38%

Tabela 12- Descontos da matriz de tempo - Fonte: Autoria própria

A aplicação da penalidade na matriz tempo deve levar em consideração dois aspectos principais:

- A simetria entre as unidades envolvidas. Tanto o par ordenado (x, y), quanto o par (y, x) devem fazer parte do desconto relacionado ao transbordo. Ex: O par (P-A10, P-A16) deve ser descontado tanto quanto o par (P-A16, P-A10).

- As linhas e colunas virtuais criadas para unidades que possuem dupla função, ou seja, requisitante e fornecedora de materiais. Nestes casos, todos os tempos relacionados a determinada unidade de transbordo devem sofrer o desconto. Ex: P-A8 possui duas linhas e colunas vinculadas a esta unidade, uma como unidade de coleta e outra como unidade requisitante. O transbordo P-A8 x P-A6 deve sofrer desconto tanto na linha/coluna P-A8 (*Pickup*) quanto na linha/coluna P-A8 (*Delivery*).

Ao final dos ajustes, obtemos a matriz de tempo ajustada que pode ser encontrada no Apêndice C deste estudo. Os elementos da matriz marcados na cor laranja são os tempos dos transbordos descontados e suas simetrias. Já os elementos marcados na cor lilás, são os tempos descontados vinculados as unidades de dupla função. As marcações possuem efeito de transparecer a etapa do procedimento, o que não altera ou diferencia a forma como elas são descontadas. Cada elemento destacado possui o seu respectivo desconto baseado na tabela de descontos criada com base no resultado da análise PROMETHEE.

#### 4.3.3 – Aplicação do algoritmo PDP

Após a definição dos transbordos envolvidos, da quantidade de barcos envolvidos, da matriz penalizada e da janela de tempo. Aplica-se as referidas entradas dentro do algoritmo construído. O algoritmo está disponível no endereço web listado no Apêndice D deste estudo. Considerando o modelo matemático proposto no referencial teórico, temos as seguintes variáveis:

$n = 9$  *vértices de coleta*

$\tilde{n} = 7$  *vértices de entrega*

$P = \{P-A3, P-A4, P-A6, P-A8, P-A10, P-A13, P-A21, P-A23, P-A25\}$

$D = \{P-A6, P-A8, P-A11, P-A15, P-A16, P-A21, P-A24\}$

$K = \{k_1, k_2, k_3\}$

$A = \{(i, j) : i, j \in V, i \neq n + \tilde{n} + 1, j \neq 0, i \neq j\}$ ,

o n d e

$V = \{0, n + \tilde{n} + 1\} \cup P \cup D$

P é o conjunto dos vértices que ocorrem coleta.

D é o conjunto dos vértices que ocorrem entrega.

$\{0, n+\tilde{n}+1\}$  é o conjunto do ponto de origem da embarcação (ponto de início  $\{0\}$  onde a embarcação sai vazia) e o ponto de destino da embarcação ao final do atendimento (ponto final  $\{n+\tilde{n}+1\}$  onde a embarcação chega após o roteiro).

No caso do nosso procedimento, desconsideramos esses pontos, tanto o de início quanto o ponto final da embarcação. Levamos em conta apenas o tempo de atendimento a partir da chegada para coleta na primeira unidade e na entrega da demanda na última unidade.

Plataforma	Janela de tempo ajustada (ei, li)
P-A3	(0, 720)
P-A4	(0, 720)
P-A6	(0, 1440)
P-A6	(0, 1440)
P-A8	(0, 1440)
P-A8	(0, 1440)
P-A10	(0, 2880)
P-A11	(0, 720)
P-A13	(0, 1440)
P-A15	(0, 720)
P-A16	(0, 2880)
P-A21	(0, 2160)
P-A21	(0, 2160)
P-A23	(0, 2160)
P-A24	(0, 1440)
P-A25	(0, 1440)

Tabela 13- Limite de tempo operacional das unidades. - Fonte: Autoria própria

Uma das alterações mais sensíveis no algoritmo realizado é que o custo de percurso associado no trajeto (i, j) pelo veículo k na função objetivo é trocada pelo tempo a fim de minimizar o tempo de percurso total. Assim, resultamos na seguinte função objetivo:

$$F_{obj} = \min \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} t_{ij}^k x_{ij}^k$$

Este procedimento não considera a posição inicial das embarcações, haja visto que naturalmente, quando não acionadas, estas são divididas e posicionadas

em lugares estratégicos do mapa de forma a atuar o mais rápido possível assim que acionada por unidades próximas.

Ainda como possibilidade de insumo para análise a efeito comparativo, incluímos no mesmo algoritmo a solução oferecida pelos colaboradores da empresa e realizado durante as operações reais da empresa. O intuito da inclusão é enriquecer a análise a ser feita na próxima seção. Adiante apresentamos o esquema gráfico desenvolvido pelo autor com base no que atendimento realizado pela empresa e a tabela resultante do processamento feito pelo algoritmo.

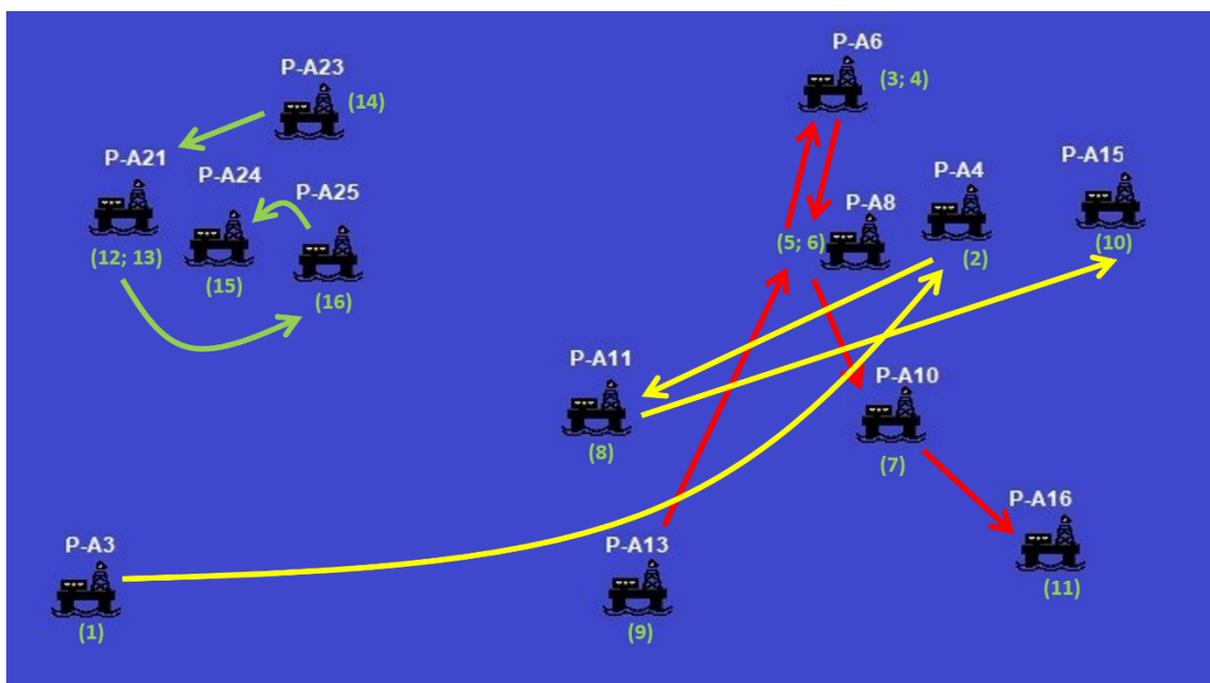


Figura 18- Esquema gráfico do roteiro original realizado pela empresa. - Fonte: Autoria própria

		Rota Percorrida						TOTAL
Embarcação 1	Rota	P-A3	P-A4	P-A11	P-A15			644
	Tempo Acum. (min)	0	319	465	644			
Embarcação 2	Rota	P-A13	P-A8	P-A6	P-A8	P-A10	P-A16	375
	Tempo Acum. (min)	0	162	206	250	315	375	
Embarcação 3	Rota	P-A23	P-A21	P-A25	P-A24			93
	Tempo Acum. (min)	0	49	87	93			
Total de minutos para todas as embarcações								1112

Tabela 14- Resultados do roteiro original. - Fonte: Autoria própria

Abaixo, apresenta-se o roteiro adaptado e encontrado pelo algoritmo como solução factível e mais otimizada:

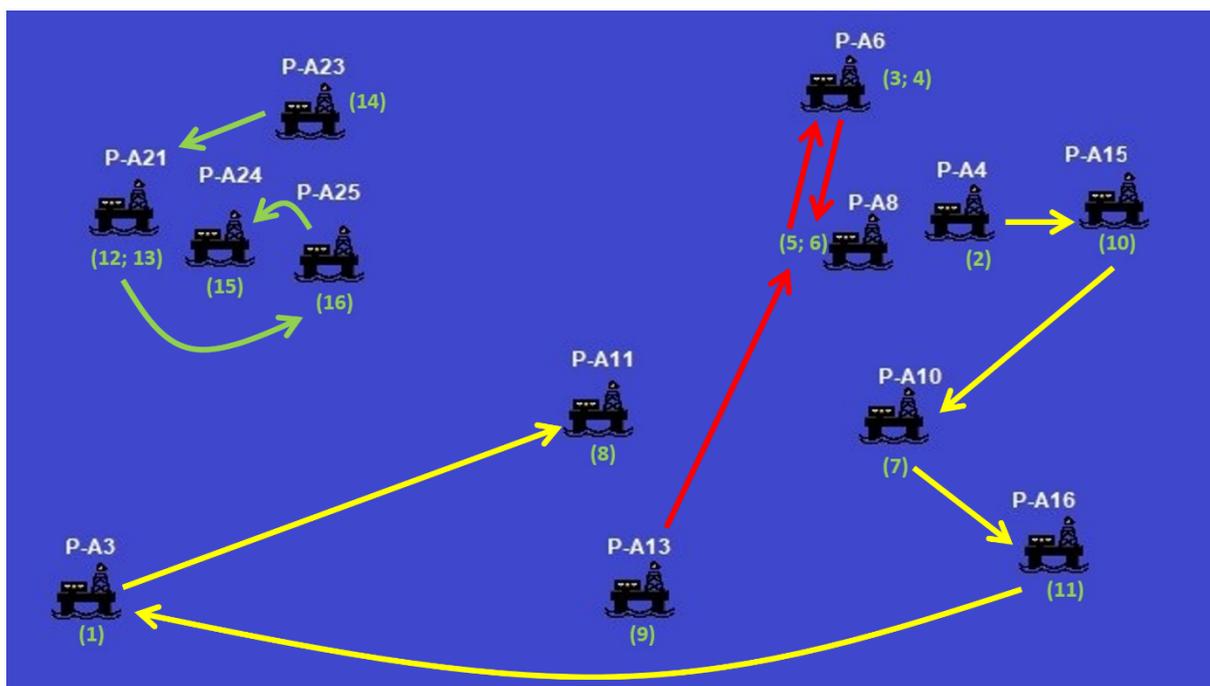


Figura 19- Esquema gráfico do roteiro otimizado gerado pelo algoritmo. - Fonte: Autoria Própria

		Rota Percorrida						TOTAL
Embarcação 1	Rota	P-A23	P-A21	P-A25	P-A24			93
	Tempo Acum. (min)	0	49	87	93			
Embarcação 2	Rota	P-A4	P-A15	P-A10	P-A16	P-A3	P-A11	671
	Tempo Acum. (min)	0	38	130	190	498	671	
Embarcação 3	Rota	P-A13	P-A8	P-A6	P-A8			250
	Tempo Acum. (min)	0	162	206	250			
Total de minutos para todas as embarcações								1014

Tabela 15- Resultados do roteiro otimizado. - Fonte: Autoria Própria

Uma questão a se considerar é que os resultados aqui apresentados são tempos médios e não levam em conta o tempo de operação com as unidades. Este tempo de operação pode variar conforme a carga a ser transportada e a quantidade de lingadas realizadas pelo guindaste das unidades. Entretanto, estes tempos tornam-se irrelevantes comparados ao tempo de navegação dessas embarcações e a quantidade de cargas mínimas que elas transportam. Portanto, os tempos apresentados aqui tratam-se de um tempo médio baseado somente na navegação.

#### 4.4 – Etapa 3 – Validação e discussão dos resultados

A validação do roteiro otimizado deve atender a três requisitos básicos:

- A rota deve atender em seu roteiro uma ordem que atenda a todos os transbordos, respeitando as restrições de precedência e emparelhamento;
- Todas as passagens pelas unidades devem estar com os horários dentro da janela de tempo pré-estabelecida;
- O roteiro não deverá passar mais de uma vez por uma unidade, exceto quando esta tiver dupla função;

Diante dos resultados, identificamos que o roteiro otimizado atende aos 3 requisitos básicos. Portanto, torna-se uma solução factível para o problema.

Quando comparados, o roteiro original e o roteiro otimizado apresentam pouca diferença. Uma das embarcações, inclusive apresentou exatamente a mesma rota. A definição empírica do roteiro construído pelos colaboradores logísticos apresentou uma boa opção possivelmente graças a experiência já obtida nesta tarefa e pelo auxílio de ferramentas de geolocalização utilizadas para monitoramento remoto das embarcações.

No geral, os resultados nos mostram uma diferença de 98 minutos de operação a menos para o conjunto de rotas otimizadas, considerando o somatório total entre todos os tempos de operação das embarcações. Essa economia será refletida diretamente em menor custo de consumo de diesel e indiretamente em manutenções das embarcações. Talvez essa pequena economia não seja considerada como relevante num curto prazo, porém a longo prazo pode-se tornar uma boa opção.

Se considerarmos que em 2020, a empresa teve um custo estimado em 30 milhões de dólares apenas com transbordo associado ao tempo de uso da embarcação e considerarmos também que a porcentagem de redução em minutos deste roteiro apresentado fosse extrapolada para a carga horária realizada anual, teríamos assim uma economia de aproximadamente 2,5 milhões de dólares. É claro que estamos tratando de uma conta superficial que não leva em conta as variações de roteiros que podem ser apresentados e outros custos associados.

Outro fator importante a observar é o tempo de vacância da embarcação. Ter sempre uma embarcação disponível ou vaga para eventual necessidade emergencial é importante. Quando observamos nesse contexto, vemos que ambos os roteiros permitem a disponibilidade de uma embarcação após 93 minutos de operação. Entretanto, a segunda embarcação a estar disponível com maior brevidade é a embarcação 3 do roteiro otimizado.

Quando observado os atendimentos na perspectiva da hierarquia de prioridades obtidas pelo método PROMETHEE, verifica-se que o algoritmo consegue simultaneamente otimizar uma rota e atender os critérios estabelecidos pelos especialistas. Nem sempre haverá uma proximidade com o ranking de prioridades, pois se trata de um processo multiobjetivo que depende não só dos critérios estabelecidos como também das meta-heurísticas utilizadas durante a otimização da rota. Entretanto, o resultado obtido consegue atender as demandas sempre dentro dos prazos pré-estabelecidos.

## CAPÍTULO V – CONCLUSÃO

A realização deste estudo possibilitou desenvolver considerações sobre os objetivos inicialmente propostos e sobre o resultado obtido no processo de programação de transbordos emergenciais. Naturalmente, observa-se um espaço para buscar a otimização do processo como um todo.

No referencial teórico, foi possível conhecer os principais fatos históricos que nortearam as empresas de petróleo em seu desenvolvimento. Posteriormente, foi avaliado o funcionamento atual de toda cadeia de suprimentos e como ela corrobora para o desenvolvimento da cadeia de valor das empresas do setor. Além disso, o foco dado a gestão de transportes possibilitou gerar uma base de conhecimento para introduzir posteriormente o processo de programação de transbordo através do mapeamento deste processo na bacia de campos em uma empresa relacionada diretamente com o setor estudado.

Embora os conceitos tenham sido bem explicitados no capítulo de referencial teórico, as empresas ou segmentos internos a ela tendem a ter estruturas e comportamentos diferentes. Essas mudanças quase sempre seguem características do local de exploração e/ou extração de onde a empresa se encontra localizada. Nesse estudo, a referência foi a bacia de campos, localizada no norte do estado do Rio de Janeiro.

Na segunda parte do referencial teórico, foi apresentado os conceitos relativos ao processo decisório dentro das organizações e a metodologia PROMETHEE, do qual apresentou-se resultados consideráveis e satisfatórios, por sua vez, insumo para a primeira parte da aplicação deste estudo. Além disso, o desenvolvimento sobre a origem dos problemas de roteamento e a apresentação dos problemas de coleta e entrega foram fundamentais para a conclusão da etapa de aplicação. Não obstante, foi preciso delimitar a problemática de roteamento devido a quantidades de variações existentes sobre o tema.

O referencial teórico atendeu bem ao objetivo específico previamente proposto no trabalho e conseguiu contribuir para um maior entendimento durante a etapa de mapeamento do processo da empresa selecionada. Por sua vez, o mapeamento pronto, também objetivo específico deste trabalho, esclareceu as diferenças existentes entre a teoria e a prática. As diferenças em sua maioria partem das particularidades da atuação da empresa e da localização das unidades

marítimas envolvidas. Também foi possível ajustar o procedimento de forma que minimize os desvios que outrora eram encontrados, evitando assim os retrabalhos que geram perda de HH dentro dos setores envolvidos com a cadeia.

O desenvolvimento de um algoritmo que pudesse ler as demandas de transbordo e desenvolver uma rota de atendimento levando em conta uma matriz penalizada e uma janela de tempo atendeu plenamente ao objetivo desse estudo. Entretanto, o cumprimento do objetivo só foi possível após a coleta dos dados, definição das entradas do algoritmo e modelagem das informações para que o algoritmo pudesse ser lido. Ambas etapas, a coleta e modelagem das informações e a criação do algoritmo, foram objetivos específicos previamente propostos neste trabalho.

Diante das considerações aqui apresentadas, mostra-se vantajosa a utilização de algoritmos ou de processos similares de priorização por rotas para o desenvolvimento de processos mais econômicos e eficientes. Embora o algoritmo seja eficiente, vale frisar que todo o resultado deve ser passível de análise e ajuste do programador logístico. Neste caso, o algoritmo passa a ser uma ferramenta de apoio a decisão.

Para futuros trabalhos, evidenciamos alguns pontos de melhoria:

- Avaliar o quanto de desconto na matriz penalizada pode influenciar no resultado final da rota;
- Desenvolver um algoritmo mais completo que minimize o uso do trabalho manual para montagem de matrizes e permita inserção de dados de entrada no próprio algoritmo de maneira automatizada por meio de arquivos, evitando assim a inserção de valores diretamente no código;
- Ampliar as informações das cargas a serem transportadas, incluindo as suas dimensões e peso; posteriormente, adaptar o algoritmo para que haja restrição por carga e tamanho;
- Avaliar a extensão da eficácia do uso desse estudo com base no funcionamento logístico das demais bacias sedimentares cujas empresas petrolíferas operam pela modalidade de transbordos diretos;

Quanto as limitações do estudo, ressaltamos alguns pontos de observação. Ainda não há uma avaliação concreta do quanto essas limitações podem influenciar no resultado final, mas são importantes para delimitarmos o estudo apresentado.

- O processamento das matrizes de transbordo com um número muito grande de demandas pode inviabilizar os resultados devido a quantidade enorme de memória a ser envolvida. Há, neste sentido, uma limitação operacional e/ou técnica no campo computacional;
- Este algoritmo visa pela passagem única nas unidades relacionadas aos transbordos, exceto quando esta possui dupla função. Entretanto, a depender da quantidade de transbordos programados, tornar-se inviável a passagem em todas as unidades fornecedoras antes do atendimento a unidade requisitante dentro do tempo estimado. Neste caso deve ser avaliado junto ao gerente da unidade, a retirada do escopo ou postergação de atendimento das demandas cuja validade possuem maior prazo;
- O pacote de software de otimização ORTOOLS utilizada pelo algoritmo possui diversas funções e procedimentos que não foram exploradas e podem auxiliar ainda mais na construção do algoritmo. Apesar disso, estas muitas vezes podem não ser flexíveis;
- A utilização de heurísticas e meta-heurísticas automáticas, ou seja, aquelas que tentam buscar a heurística que apresente a melhor solução. Diante desse cenário, voluntariamente não há referenciais sobre o assunto nesse estudo e nem foi comparado processos heurísticos de maior otimização dentro do estudo;
- Em nosso algoritmo, desconsideramos a variável de carga devido a frequência das demandas ser pontual;
- Na realização da pesquisa entre os colaboradores (enquete sobre os critérios adotados), não houve distinção de peso quanto aos resultados dos técnicos e coordenadores, ou seja, há equidade de peso nas respostas da enquete;
- A operacionalidade das unidades envolvidas, as condições meteoceanográficas do cenário de transbordo, o tempo de operação das unidades com a embarcação, o tempo de deslocamento da embarcação até a primeira unidade e outros motivos de baixa relevância relatados na enquete da pesquisa não foram considerados pelo algoritmo;

Pelos resultados encontrados a pesquisa alcançou seus objetivos e mostra-se como mais uma ferramenta para auxílio na tomada de decisão pelos gestores de

transporte na busca de uma melhor eficiência de atendimento. Além disso, o estudo apresentado consegue fomentar uma discussão mais ampla sobre a atividade de transbordo offshore que conseqüentemente trará resultados ainda mais promissores para as diversas organizações envolvidas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. “Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2019”. Rio de Janeiro, RJ. 2019

BATTISTI, N. *VPL Analysis with a oil exploration project*. DOI: 10.13140/RG.2.2.26352.05120. 2016

BEAMON, B.M.; WARE, T.M. *A process quality model for the analysis, improvement and control of supply chain systems*, Logistics Information Management, Vol. 11 No. 2, pp. 105-113. 1998. <https://doi.org/10.1108/09576059810209991>

BELFIORE, P.; FÁVERO, L. P. *Pesquisa Operacional para Cursos de Engenharia*. Rio de Janeiro. Elsevier, 2013.

BERGEL, A. *et al. Agile Artificial Intelligence in Pharo. A press, 2020. Open WorldCat*, <https://link.springer.com/10.1007/978-1-4842-5384-7>.

BETHLEM, Agrícola. Modelo de processo decisório. *Revista de Administração*, São Paulo, v. 22, n. 3, jul/set, 1987

BRANS, J. P., *et al. “How to Select and How to Rank Projects: The Promethee Method”*. *European Journal of Operational Research*, vol. 24, no 2, Fevereiro de 1986, p. 228–38. DOI.org (Crossref), doi:10.1016/0377-2217(86)90044-5.

BRANS, J. P.; *et al. PROMETHEE methods*. In: Figueira, J., Greco, S. e Ehrgott, M. (eds.) *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, cap. 5, p. 163-186. New York: Springer Science, 2005.

BRAEKERS, K.; RAMAEKERS, K.; VAN NIEUWENHUYSE, I. *The vehicle routing problem: State of the art classification and review*. *Computers & Industrial Engineering*, v. 99, p. 300-313, 2016.

CHIAVENATO, I. *Introdução à Teoria da Administração*. 5 ed. São Paulo: Makron Books, 1997.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: estratégia, planejamento e operação*. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

CORDEAU JF, *et al.* VRP with time windows. In: Toth P, Vigo D (eds.). *The Vehicle Routing Problem*. SIAM, Philadelphia, PA, vol. 9, 175–193. 2001.

COSTA, P. J; DIAS, J. M; GODINHO, P. M. J. *Logística*. Imprensa da Universidade de Coimbra, 2010.

DANTZIG, G. B., e J. H. RAMSER. “*The Truck Dispatching Problem*”. *Management Science*, vol. 6, no 1, p. 80–91. doi:10.1287/mnsc.6.1.80. outubro de 1959

DANTZIG, G.; FULKERSON, R.; JOHNSON, S. Solution of a large-scale traveling-salesman problem. *Journal of the operations research society of America*, v. 2, n. 4, p. 393-410, 1954.

DUARTE, S. V.; FURTADO, M. S. V. *Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) em Ciências Sociais Aplicadas*. São Paulo: Saraiva, 2014.

DUMAS, Y.; *et al.* “The Pickup and Delivery Problem with Time Windows”. *European Journal of Operational Research*, vol. 54, no 1, setembro de 1991, p. 7–22. DOI.org (Crossref), doi:10.1016/0377-2217(91)90319-Q.

EICHMANN, D. A. *Creating a high-performance downstream petroleum supply chain. Achieving Supply Chain Excellence through Technology*, p. 229-232, 2000.

FERREIRA FILHO, V. M. *Gestão De Operações E Logística Na Produção De Petróleo*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

FIESP. *Carga Extra na Indústria Brasileira. Parte 2 – Custos com logística*. Departamento de competitividade e tecnologia. P. 12 a 15. janeiro, 2012.

FURTADO, M. G. S., *et al.* “O problema de coleta e entrega com janelas de tempo na indústria petrolífera: modelos e métodos *branch-and-cut*”. *Gestão & Produção*, vol. 24, no 3, outubro de 2017, p. 501–13. DOI.org (*Crossref*), doi:10.1590/0104-530x2297-16.

GOMES, L. F. A. M. Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério. São Paulo: Atlas, 2002.

HAMMOND, J.S.; KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. Decisões inteligentes: somos movidos a decisões – como avaliar alternativas e tomar a melhor decisão. Tradução de Marcelo Filardi Ferreira. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 11<sup>a</sup> reimpressão.

LEITE, I. M. S.; FREITAS, F. F. T. Análise comparativa dos métodos de Apoio multicritério a decisão: AHP, ELECTRE e PROMETHEE. XXXI Encontro Nacional de Engenharia De Produção: Rio Grande do Sul, 2011.

LICZBISCKI, C. R., *et al.* “Informações fundamentais ao gerenciamento das atividades da cadeia de valor - O caso das pequenas empresas industriais de produtos alimentares”. *Revista Produção Online*, vol. 3, no 1, março de 2003. DOI.org (*Crossref*), doi:10.14488/1676-1901.v3i1.617.

LUSTOSA, M. C. J. Meio ambiente, inovação e competitividade na Indústria Brasileira: a cadeia produtiva do petróleo. 245 f. Tese (Doutorado em Economia) -Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

MARCELLINO, F. J. M. Planejamento integrado da cadeia de suprimentos da indústria do petróleo baseado em agentes holônicos. 2013. Tese (Doutorado em Sistemas Digitais) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

MARINS, F. A. S. Introdução à Pesquisa Operacional. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 2011.

MATAI, R.; SINGH, S.; MITTAL, M. *Traveling salesman problem: an overview of applications, formulations, and solution approaches. Traveling salesman problem, theory and applications*, v. 1. Rijeka, Croácia. 2010.

MILANI, J. A.; *et al.* A indústria do petróleo como uma organização complexa: modelagem de negócios e processo decisório. *Production*, v. 17, n. 1, p. 8-32, 2007.

MORAIS, J. M. Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da Petrobras na exploração e produção offshore. Brasília: Ipea: Petrobras, 2013. Disponível em: <[https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/livro\\_petrobras\\_aguas\\_profundas.pdf](https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/livro_petrobras_aguas_profundas.pdf)>. Acesso em: 15 fev. 2021.

MOREIRA, M. Priorização dos modos de falha de equipamentos utilizando os métodos de análise multicritério PROMETHEE e Fuzzy-PROMETHEE. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

NEVES, R. B.; PEREIRA, V.; COSTA, H.G. Auxílio multicritério à decisão aplicado ao planejamento e gestão na indústria de petróleo e gás. *Production*, v. 25, n. 1, p. 43-53, 2015.

O DEBATE. “Porto de Imbetiba divide com Açu a logística *offshore* da Petrobras”. Disponível em: <http://www.odebateon.com.br/site/noticia/detalhe/39993/porto-de-imbetiba-divide-com-acu-a-logistica-offshore-da-petrobras>. Acesso em: 23 de dezembro de 2020.

OR-TOOLS 7.2. Laurent Perron and Vincent Furnon. <https://developers.google.com/optimization/>.

PARRAGH, S. N., *et al.* “A Survey on Pickup and Delivery Problems: Part II: Transportation between Pickup and Delivery Locations”. *Journal Für Betriebswirtschaft*, vol. 58, no 2, junho de 2008, p. 81–117. DOI.org (Crossref), doi:10.1007/s11301-008-0036-4.

PERDIGÃO, JG de L. *et al.* Processo decisório: um estudo comparativo da tomada de decisão em organizações de segmentos distintos. IX Seget (Simpósio em excelência em gestão e tecnologia), 2012.

PETROBRAS. “Participação do setor de petróleo e gás chega a 13% do PIB brasileiro”. Disponível em: <https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/participacao-do-setor-de-petroleo-e-gas-chega-a-13-do-pib-brasileiro.htm>. Acesso em 18 de março de 2021

PIDD, M. Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

POIRIER, C. C.; REITER, S. E. Supply Chain Optimization: Building the Strongest Total Business Network. San Francisco: Berrett-Koehler Publishers, 1996.

ROPKE, S.; CORDEAU, J. F.; LAPORTE, G. *Models and branch-and-cut algorithms for pickup and delivery problems with time windows*. Networks: An International Journal, v. 49, n. 4, p. 258-272, 2007.

ROPKE, S.; CORDEAU, J.F. *Branch and cut and price for the pickup and delivery problem with time windows*. Transportation Science, v. 43, n. 3, p. 267-286, 2009.

ROPKE, S.; David P. “An Adaptive Large Neighborhood Search Heuristic for the Pickup and Delivery Problem with Time Windows”. *Transportation Science*, vol. 40, no 4, novembro de 2006, p. 455–72. DOI.org (Crossref), doi:10.1287/trsc.1050.0135.

ROY, B.; VANDERPOOTEN, D. *The European school of MDCA: Emergence, basic features and current works*. Paris: Université Paris Dauphine. 2005.

SIMCHI-LEVI, D; KAMINSKI, P.; SIMCHI-LEVI. Cadeia de Suprimentos: Projetos e Gestão. Porto Alegre: Editora Bookman, 2003.

SOUZA, F. R. Impacto do preço do petróleo na política energética mundial. 2006. 160f. Dissertação. Mestrado em Ciências em Planejamento Energético - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CAVALCANTE, C. A. V.; ALMEIDA, A. T. Modelo multicritério de apoio a decisão para o planejamento de manutenção preventiva utilizando PROMETHEE II em situações de incerteza. *Pesquisa Operacional*, v. 25, n. 2, p. 279-296, 2005.

VINCKE, P. "Analysis of Multicriteria Decision Aid in Europe". *European Journal of Operational Research*, vol. 25, no 2, maio de 1986, p. 160–68. DOI.org (Crossref), doi:10.1016/0377-2217(86)90082-2.

THOMAS, J. E. *Fundamentos de Engenharia de Petróleo*, 2ª edição, Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2001.

URIS, A. *O Livro de Mesa do Executivo*. São Paulo, Editora Pioneira. 1989

## APÊNDICE A - Matriz dos tempos de viagens entre as unidades em minutos

Minutos	P-A3	P-A4	P-A6	P-A8	P-A10	P-A11	P-A13	P-A15	P-A16	P-A21	P-A23	P-A24	P-A25
P-A3	0	319	314	297	276	173	168	357	308	146	189	152	152
P-A4	319	0	49	22	71	146	179	38	119	249	216	216	211
P-A6	314	49	0	44	108	146	200	81	168	222	179	189	184
P-A8	297	22	44	0	65	125	162	60	119	227	195	195	189
P-A10	276	71	108	65	0	103	114	92	60	238	216	206	200
P-A11	173	146	146	125	103	0	65	179	152	141	135	114	103
P-A13	168	179	200	162	114	65	0	211	141	189	195	168	157
P-A15	357	38	81	60	92	179	211	0	119	287	254	254	249
P-A16	308	119	168	119	60	152	141	119	0	292	276	265	254
P-A21	146	249	222	227	238	141	189	287	292	0	49	27	38
P-A23	189	216	179	195	216	135	195	254	276	49	0	38	44
P-A24	152	216	189	195	206	114	168	254	265	27	38	0	6
P-A25	152	211	184	189	200	103	157	249	254	38	44	6	0

Matriz dos tempos de viagens entre as unidades em minutos. - Fonte: Autoria própria

## APÊNDICE B - Matriz dos tempos de viagens entre as unidades em minutos ajustada para duplas funções

Minutos	P-A3	P-A4(P)	P-A6(P)	P-A6(D)	P-A8(P)	P-A8(D)	P-A10	P-A11(D)	P-A13	P-A15	P-A16	P-A21(P)	P-A21(D)	P-A23	P-A24(D)	P-A25
P-A3	0	319	314	314	297	297	276	173	168	357	308	146	146	189	152	152
P-A4(P)	319	0	49	49	22	22	71	146	179	38	119	249	249	216	216	211
P-A6(P)	314	49	0	0	44	44	108	146	200	81	168	222	222	179	189	184
P-A6(D)	314	49	0	0	44	44	108	146	200	81	168	222	222	179	189	184
P-A8(P)	297	22	44	44	0	0	65	125	162	60	119	227	227	195	195	189
P-A8(D)	297	22	44	44	0	0	65	125	162	60	119	227	227	195	195	189
P-A10	276	71	108	108	65	65	0	103	114	92	60	238	238	216	206	200
P-A11(D)	173	146	146	146	125	125	103	0	65	179	152	141	141	135	114	103
P-A13	168	179	200	200	162	162	114	65	0	211	141	189	189	195	168	157
P-A15	357	38	81	81	60	60	92	179	211	0	119	287	287	254	254	249
P-A16	308	119	168	168	119	119	60	152	141	119	0	292	292	276	265	254
P-A21(P)	146	249	222	222	227	227	238	141	189	287	292	0	0	49	27	38
P-A21(D)	146	249	222	222	227	227	238	141	189	287	292	0	0	49	27	38
P-A23	189	216	179	179	195	195	216	135	195	254	276	49	49	0	38	44
P-A24(D)	152	216	189	189	195	195	206	114	168	254	265	27	27	38	0	6
P-A25	152	211	184	184	189	189	200	103	157	249	254	38	38	44	6	0

Matriz dos tempos de viagens entre as unidades em minutos ajustada para duplas funções. - Fonte:  
Autoria Própria

## APÊNDICE C - Matriz dos tempos de viagens entre as unidades ajustada com os descontos do método PROMETHEE

Minutos	P-A3	P-A4(P)	P-A6(P)	P-A6(D)	P-A8(P)	P-A8(D)	P-A10	P-A11(D)	P-A13	P-A15	P-A16	P-A21(P)	P-A21(D)	P-A23	P-A24(D)	P-A25
P-A3	0	319	314	314	297	297	276	96	168	357	308	146	146	189	152	152
P-A4(P)	319	0	49	49	22	22	71	70	179	21	119	249	249	216	216	211
P-A6(P)	314	49	0	0	32	32	108	146	200	81	168	222	222	179	189	184
P-A6(D)	314	49	0	0	26	26	108	146	200	81	168	222	222	179	189	184
P-A8(P)	297	22	26	26	0	0	65	125	114	60	119	227	227	195	195	189
P-A8(D)	297	22	32	32	0	0	65	125	114	60	119	227	227	195	195	189
P-A10	276	71	108	108	65	65	0	103	114	92	41	238	238	216	206	200
P-A11(D)	96	70	146	146	125	125	103	0	65	179	152	141	141	135	114	103
P-A13	168	179	200	200	114	114	114	65	0	211	141	189	189	195	168	157
P-A15	357	21	81	81	60	60	92	179	211	0	119	287	287	254	254	249
P-A16	308	119	168	168	119	119	41	152	141	119	0	292	292	276	265	254
P-A21(P)	146	249	222	222	227	227	238	141	189	287	292	0	0	20	20	38
P-A21(D)	146	249	222	222	227	227	238	141	189	287	292	0	0	32	32	38
P-A23	189	216	179	179	195	195	216	135	195	254	276	32	32	0	38	44
P-A24(D)	152	216	189	189	195	195	206	114	168	254	265	20	20	38	0	3
P-A25	152	211	184	184	189	189	200	103	157	249	254	38	38	44	3	0

Matriz dos tempos de viagens entre as unidades ajustada com os descontos do método PROMETHEE

**APÊNDICE D – Endereço de acesso ao algoritmo**

Endereço do repositório: <https://github.com/mardockrj/TCC>

Algoritmo com a matriz penalizada – “Rota para TCC (JT+D).py”

Algoritmo com a matriz completa – “Rota para TCC (JT+D)+MR.py”

## **APÊNDICE E – Perguntas do questionário sobre critérios de priorização**

### **Pergunta 1**

Suponhamos a existência de um cenário de AM-5 prolongado no qual lhe sobra tempo para definir quais demandas de uma lista de transbordo deverão ocorrer primeiro. Quais critérios devem ser considerados na hora de priorizar o atendimento dessas demandas pelas embarcações de transbordo? Segue Opções:

- Potencial de risco (Segurança, Saúde, Habitabilidade)
- Potencial de ganho/perda de produção
- Prazo de atendimento
- Tempo de viagem (posição da embarcação de atendimento)
- Operacionalidade das unidades envolvidas
- Condições meteoceanográficas
- Outros

### **Pergunta 2**

Se pudéssemos hierarquizar os critérios de escolha do mais importante para o menos importante, como você os classificaria? (7= mais importante / 1=menos importante).

- As opções eram idênticas as alternativas da questão anterior.

### **Pergunta 3**

Ainda no cenário da pergunta 1, para você quais os principais desafios ou empecilhos enfrentados para priorizar um montante elevado de demandas no processo de roteirização das embarcações de transbordo?

- Pergunta com resposta aberta e livre.