

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

BRUNO NEVES AMADO

**UTILIZAÇÃO DO *BIDIMENSIONAL VARIABLE SIZED BIN
PACKING PROBLEM* PARA OTIMIZAÇÃO DA LOGÍSTICA
DE TRANSPORTES EM MULTINACIONAL DO SETOR DE
ÓLEO E GÁS**

Macaé-RJ
2022

BRUNO NEVES AMADO

**UTILIZAÇÃO DO *BIDIMENSIONAL VARIABLE SIZED BIN*
PACKING PROBLEM PARA OTIMIZAÇÃO DA LOGÍSTICA DE
TRANSPORTES EM MULTINACIONAL DO SETOR DE ÓLEO E
GÁS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ Campus Macaé, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: D.Sc. Thiago Gomes de Lima

Macaé-RJ
2022

BRUNO NEVES AMADO

UTILIZAÇÃO DO *BIDIMENSIONAL VARIABLE SIZED BIN PACKING*
PROBLEM PARA OTIMIZAÇÃO DA LOGÍSTICA DE TRANSPORTES
EM MULTINACIONAL DO SETOR DE ÓLEO E GÁS

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação em Engenharia de Produção,
Universidade Federal do Rio de Janeiro –
UFRJ, apresentado como requisito necessário
para obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Produção.

Aprovado em Macaé, 14 de Março de 2022

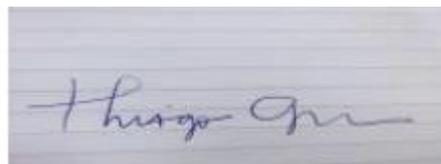
BANCA EXAMINADORA:



Prof. M.Sc. Isabella Fischer Guindani Vieira (PUC-RJ)



Prof. M.Sc. Marcelle Candido Cordeiro (UFRJ)



Prof. D.Sc. Thiago Gomes de Lima (UFRJ)

Macaé-RJ
2022

Dedico este trabalho a Deus, Pai de amor e misericórdia, por ter me sustentado até aqui, a minha família e amigos que me deram todo o suporte e incentivo para concretização desta etapa essencial para minha vida profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me sustentado nesta jornada, sendo companheiro fiel, e por ter me dado forças para superar minhas dificuldades.

Agradeço a minha família, em especial a minha irmã, por sempre ter sido a melhor irmã que eu poderia ter, o grande amor da minha vida. Aos meus pais e avós, por todo o suporte e pela confiança em meu potencial. A minha companheira, por todo amor, cumplicidade e paciência durante todos estes anos. Aos meus tios, primos e demais familiares que confiaram em meu esforço e torceram pelo meu sucesso.

Agradeço a Universidade Federal do Rio de Janeiro pela formação de excelência e a todo seu corpo docente, especialmente os professores Matheus Barros e Thiago Gomes, pelos conhecimentos transmitidos e por terem acreditado na ideia deste projeto. Sem dúvidas, pessoas muito especiais que sempre estiveram dispostas a contribuir com meu crescimento pessoal e profissional.

Agradeço a Catena Consultoria, empresa júnior da UFRJ-Macaé, pelos amigos que fiz, por todo aprendizado e por tornar um pouco mais leve minha trajetória acadêmica.

Agradeço imensamente aos meus amigos que me acompanharam durante toda a faculdade e que com certeza levarei por toda a vida. Foram muitas madrugadas de estudos, risadas, trabalhos em grupo, artigos, sempre com muito carinho e apoio ao longo desses 5 anos. Em especial para: Breno Dias, Cristiane Dutra, Peterson Cardoso, Pedro Lucena, Thamiris Rocha e Victor de Almeida.

E, por fim, a todos que, mesmo não citados aqui, de alguma forma contribuíram para que eu chegasse a este momento.

“Onde a força de vontade é grande, as dificuldades não podem sê-lo.” (Nicolau Maquiavel)

RESUMO

A gestão de custos é fundamental para as organizações, pois assegura a competitividade empresarial e a sustentabilidade dos negócios. As empresas, especialmente no setor de óleo e gás, têm buscado a redução dos custos e a otimização da cadeia de suprimentos no atual cenário de incertezas e concorrência acirrada. O presente trabalho tem como objetivo propor uma modelagem matemática e computacional de alocação de materiais em veículos para atendimento logístico *onshore* ou *offshore*. O problema consiste em minimizar a quantidade de veículos utilizados para o transporte rodoviário de cargas e reduzir os custos logísticos envolvidos. Para tanto, adotou-se a metodologia de estudo de caso em que foram utilizados dados reais para modelagem e resolução do problema. A pesquisa permitiu verificar que automatizar o processo de planejar o carregamento de materiais seria de grande benefício para a empresa, principalmente devido a redução dos custos de transporte e eliminação dos desperdícios de tempo, resultando em um carregamento enxuto e mais eficiente. Observou-se que o modelo descrito apresentou até 29% de redução de custos para os veículos *call out* e 34% para os dedicados. Dessa forma, o modelo se mostrou com alto nível de relevância para a otimização de despesas logísticas, assim como para aqueles que visam aprofundar os estudos relacionados ao *bin packing problem*.

Palavras-chave: transporte rodoviário de cargas, custos logísticos, 2D *bin packing*, Python, petróleo.

ABSTRACT

Cost management is essential for organizations to ensure business competitiveness and sustainability. Companies, especially in the oil and gas sector, have sought to reduce costs and optimize the supply chain in the current scenario of uncertainty and fierce competition. The present work aims to propose a mathematical and computational modeling of material allocation in vehicles for onshore and offshore logistic service. The problem is related to minimizing the number of vehicles used for road freight transport and reducing the logistical costs involved. To this end, the case study methodology was adopted, in which real data were used for modeling and solving the problem. The research showed that automating the process of planning the loading of materials would be a great benefit to the company, mainly due to the reduction of transport costs and elimination of time waste, resulting in a lean and more efficient loading. It was observed that the described model presented up to 29% of cost reduction for the call out vehicles and 34% for the dedicated ones. In this way, the model showed a high level of relevance for the optimization of logistical expenses, as well as for those who aim to deepen studies related to the bin packing problem.

Keywords: road cargo transport, logistical costs, 2D Bin Packing, Python, petroleum.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Modais de Transporte quanto a velocidade e volume de carga	26
Figura 2 – Número de Veículos por UF e Categoria de Transportador	37
Figura 3– Sistema Logístico offshore.....	42
Figura 4– Subdivisão da Logística de apoio offshore	43
Figura 5- Ineficiências provenientes da falta de planejamento e controle da operação	44
Figura 6– Tipologia dos problemas de C&P	46
Figura 7– Princípio da Consolidação de Cargas.....	52
Figura 8– Locais de atuação global da Empresa Y	56
Figura 9– Organograma da Empresa Y no Brasil.....	58
Figura 10– Organograma do setor Supply Chain da empresa Y	58
Figura 11– Fluxograma de Solicitação de Transporte.....	60
Figura 12– Formulário de Solicitação de Transporte	61
Figura 13– Exemplo de plano de carregamento da empresa Y	63
Figura 14– Geografia das principais rotas realizadas	65
Figura 15– Quantidade de viagens realizadas por tipo de veículo no período 2019-2020.....	68
Figura 16– Elaboração de um modelo de Pesquisa Operacional	76
Figura 17– Rotação fixa e variável das peças.....	78
Figura 18– Pseudo-código para o 2D bin packing com frota heterogênea.....	83
Figura 19– Pseudo-código detalhado	84
Figura 20– Continuação Pseudo-código detalhado	85
Figura 21– Exemplo de saída Python Cenário 1	89
Figura 22– Exemplo de saída Python Cenário 2	93

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1– Investimentos em Transporte da União.....	28
Gráfico 2– Densidade da malha rodoviária pavimentada por país (Km/1.000 Km ²).....	29
Gráfico 3– Representatividade dos Custos Logísticos em relação ao PIB brasileiro.....	32
Gráfico 4– Custos por tipo de veículo no período 2019-2020	68
Gráfico 5- Freight Spend/Revenue 2020	73
Gráfico 6– Dedicado vs Call Out	74
Gráfico 7– Dedicado vs Call Out por tipo de veículo	74
Gráfico 8– Indicador de Quilometragem percorrida	75
Gráfico 9– Percentual de Km percorrido vs não utilizado e indicador de Quilometragem percorrida por tipo de veículo.....	75
Gráfico 10– Eficiência de Carregamento por tipo de veículo em Maio/2020.....	76
Gráfico 11– Pareto de Principal rota utilizada – Macaé X Rio de Janeiro.....	79
Gráfico 12– Quantidade de veículos utilizados (Real X Algoritmo)	90
Gráfico 13– Redução de custos logísticos proposta pelo algoritmo.....	90
Gráfico 14– Taxa de ocupação de veículos (cenário real vs algoritmo)	91
Gráfico 15– Variação do tempo de execução do algoritmo frente a quantidade de materiais e veículos.....	91
Gráfico 16– Redução de custos logísticos cenário Dedicado.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vantagens e Desvantagens dos Modais de Transporte	24
Tabela 2– Matriz de Transporte de Cargas.....	27
Tabela 3– Malha rodoviária e frota de veículos no Brasil.....	28
Tabela 4– Principais rotas entre 2019-2020	64
Tabela 5– Principais veículos utilizados na Companhia Y na modalidade Dedicado, suas dimensões e capacidades	66
Tabela 6– Principais veículos utilizados na Companhia Y na modalidade Call Out, suas dimensões e capacidades	67
Tabela 7– Tipos de cargas com suas dimensões e representação.....	70
Tabela 8– Disponibilidade de veículos dedicados, call out e seus custos	79
Tabela 9– Resumo carregamentos Maio/2020	79
Tabela 10– Dados de entrada para o modelo.....	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Fatores de Influência nos custos logísticos.....	31
Quadro 2– Indicadores de desempenho para a logística e suas fórmulas.....	35
Quadro 3– Carga útil por tipo de veículo	37
Quadro 4– Classificação das ferramentas da Pesquisa Operacional	45
Quadro 5– Linhas de Serviço e descrição de suas atividades.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS

ANP – Agência Nacional do Petróleo
PIB – Produto Interno Bruto
SIGEP – Sistema de Informações Gerenciais de Exploração e Produção
PETROBRAS - Petróleo Brasileiro S/A
2VSBPP - *Bidimensional variable sized bin-packing problem*
CNT - Confederação Nacional de Transportes
CTB - Código de Trânsito Brasileiro
CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito
RT – Requisição de Transporte
CSCMP - *Council of Supply Chain Management Professionals*
TRC – Transporte Rodoviário de Cargas
ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres
GEEs – Gases de Efeito Estufa
IMA - *Institute of Management Accountants*
ILOS – Instituto de Especialistas em Logística
KPI - *Key Performance Indicator*
ETC - Empresas de Transporte Rodoviário de Cargas
TAC - Transportador Autônomo de Cargas
CTC - Cooperativas de Transporte Rodoviário de Cargas
RNTRC – Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Carga
VUC – Veículo Urbano de Carga
RENAVAM - Registro Nacional de Veículos Automotores
EPI – Equipamento de Proteção Individual
UEP - Unidades de Exploração e Produção
NPT - *Non Productive Time*
PO – Pesquisa Operacional
BPP – *Bin Packing problem*
PSL - *Product and Service Line*
ST – Solicitação de Transporte
RID - *Request ID*
FIFO - *First in First Out*
RT - Requisição de Transporte
FISPQ - Fichas de Informação de Segurança de Produtos Químicos
PDOCAS - Porto do Rio de Janeiro
PACU – Porto do Açú

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivo Geral.....	17
1.1.1	Objetivos Específicos	17
1.2	Justificativa	18
1.3	Motivação Pessoal	19
1.4	Estrutura do Trabalho	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	Contextualização da Logística	21
2.1.1	Logística de Transporte	23
2.1.2	Classificações e Modais de Transporte	24
2.1.3	Transporte Rodoviário de Cargas (TRC).....	26
2.1.4	Custos Logísticos de Transporte.....	30
2.1.5	Indicadores de Desempenho.....	33
2.1.6	Veículos utilizados no TRC.....	36
2.1.7	Tipologia de Cargas.....	39
2.2	Logística no setor petrolífero	41
2.3	Programação Binária e Inteira	44
2.3.1	Problema da Mochila.....	45
2.3.2	Bin Packing Problem	48
2.3.3	Bin Packing para frota heterogênea 2-VSBPP	50
2.3.4	Python e ORTOOLS como ferramentas de solução	52
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	54
3.1	Estudo de Caso.....	54
3.2	Contextualização da Empresa	55
4	RESULTADOS	60
4.1	Setor de Logística de Transporte	60
4.1.1	Processo de Transporte de Cargas	60
4.1.2	O Processo de Gestão de Rotas	63
4.1.3	A tipologia dos veículos	65
4.1.4	A tipologia de Cargas	69
4.1.5	A Gestão dos Custos Logísticos	71
4.1.6	Os Indicadores de Desempenho de Custos Logísticos	73
4.2	Aplicação da Modelagem Matemática	76
4.2.1	Modelo matemático aplicado ao caso.....	80
4.2.2	Aplicação do Modelo Computacional	82
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	87

5.1	Cenário 1 – <i>Call Out</i>	87
5.2	Cenário 2 – Dedicado	92
5.3	Cenário 3 – Dedicado e <i>Call Out</i>	94
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
6.1	Limitações do estudo	98
6.2	Possibilidades de Pesquisas	98
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100

1 INTRODUÇÃO

O setor de óleo e gás constitui uma atividade profundamente importante para a economia e cadeia produtiva do Brasil. Segundo a Agência Nacional do Petróleo - ANP (2020), a produção média anual em 2020 foi recorde, atingindo a marca de 2,94 milhões de barris/dia, sendo 5,5% superior à produção de 2019, principalmente devido à intensificação da exploração do pré-sal. Além da produção do petróleo e gás natural, este setor da economia é significativo em virtude de seus derivados, geração de empregos e energia para o país. Isto refletiu em cerca de 13% do PIB nacional e as principais zonas produtoras foram: Bacia de Santos (66%), Bacia de Campos (30,2%), Potiguar (1,2%) e Recôncavo (0,8%), (ANP, 2020).

Segundo Thomas (2001), em 1974 ocorreu a descoberta de poços exploráveis na Bacia de Campos. A bacia se estende do litoral de Vitória (ES) até Arraial do Cabo (RJ), com uma área aproximada de 100 mil km², sendo uma das bacias sedimentares de maior dominância explorada na costa brasileira. Com a descoberta de grandes jazidas nesta localidade, o país iniciou a exploração em águas profundas. As principais atividades de exploração e produção são desenvolvidas na cidade de Macaé-RJ.

A cidade de Macaé pertence ao norte do Estado do Rio de Janeiro, tendo uma área total de 1.216 quilômetros quadrados e população de 244.139 habitantes (IBGE, 2017). Sua extensão possui 23 quilômetros de litoral situados na bacia de Campos, responsável pela produção de 80% do petróleo e 47% do gás natural do país. Macaé teve seu *boom* econômico a partir de 1970, com a descoberta de petróleo na Bacia de Campos, o que despertou o interesse da Petrobras e viabilizou a instalação da estatal na cidade.

Consequentemente, muitas empresas prestadoras de serviços foram atraídas, totalizando até 2011, 276 indústrias, consolidando assim o setor *offshore*. A cidade foi conhecida internacionalmente durante muitos anos como a Capital do Petróleo, devido a exploração e produção de petróleo e gás natural e a forte atuação da Petrobras no município. Hoje, Macaé busca se tornar a Capital da Energia, diversificando sua matriz energética com a instalação de novas termelétricas que visam impulsionar a produção de energia através do gás natural, o que tornará a cidade referência no setor industrial do país.

Para que as operações exploratórias de óleo e gás sejam economicamente viáveis, sua cadeia de suprimentos deve ser controlada e planejada (FERREIRA FILHO, 2016). A logística *offshore* compreende as atividades de planejamento, implementação e controle do fluxo de bens

e informações cuja origem ou destino é marítimo, a fim de atender os requisitos dos clientes. 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, compõem o tripé sobre o qual se apoia a gestão das operações e logística de uma empresa.

Tratando-se do setor *offshore*, em uma plataforma de perfuração e produção de óleo e gás, faz-se necessário a disponibilização dos recursos para o atendimento das demandas da atividade. Estes recursos podem ser entendidos como pessoas, alimentos, equipamentos, ferramentas, energia, dentre outros (ARES, 2013). São exemplos de materiais a serem embarcados: tubos, motores, brocas, *skids*, produtos químicos, peças para manutenção, que são acondicionados em contêineres, cestas, caixas, *bags* (para o caso dos produtos químicos), também conhecidas como embalagens.

Estas embalagens são preparadas *onshore*, carregadas em veículos que irão disponibilizar os itens necessários aos portos pelo transporte rodoviário, onde ocorrerá o embarque dos materiais em navios cargueiros. Por fim, estas embarcações entregam os equipamentos nas sondas petrolíferas através do modal marítimo, a fim de atender a programação da produção de forma assertiva, responsiva e com o menor custo possível.

Uma estratégia muito utilizada para redução de custos logísticos é a consolidação de cargas, que, de acordo com Patniz (1996), é o processo de concentrar o volume demandado de carga em um único terminal para que, a partir deste, o transporte seja realizado através de um único fluxo até outro terminal. Para ele, uma das principais vantagens deste método seriam a redução da ociosidade dos veículos com o aproveitamento de sua capacidade máxima. Silva (2010) afirma que em determinadas empresas se fossem utilizados o transporte de carga subutilizado, isto é, sem consolidação, seus custos de transporte poderiam aumentar em até 64 vezes.

De acordo com Martins (2003), o gerenciamento dos custos logísticos visa principalmente designar políticas que possibilitem uma melhoria no serviço prestado ao cliente e a redução dos custos às empresas simultaneamente. O que está intimamente ligado a estratégia de minimizar as despesas e maximizar os lucros adotado pela maioria das companhias. Pozo (2010) afirma que a logística de transportes é a atividade mais importante da cadeia de suprimentos, pois é a responsável por absorver de um a dois terços dos custos logísticos. Deste modo, deve-se buscar formas de otimizar e consolidar cargas a fim de reduzir carregamentos

ineficientes. Alguns métodos podem ser utilizados no processo de tomada de decisão, visando a otimização das cargas, entre eles, a pesquisa operacional.

Segundo Arenales et al. (2007), a pesquisa operacional é a aplicação de métodos científicos a problemas complexos para auxiliar no processo de tomada de decisão. Essas técnicas atuam principalmente quando se faz necessário projetar, planejar e operar sistemas que requerem alocações eficientes de recursos escassos. Tradicionalmente a pesquisa operacional desempenha um importante papel nas áreas de planejamento, operação e cadeias de suprimentos. No entanto, sua aplicação tem se estendido para outros segmentos como agricultura, medicina, educação, serviços, energia e meio ambiente.

Neste contexto, entende-se que a pesquisa operacional e seus métodos podem gerar grandes contribuições à indústria do petróleo, otimizando suas operações e gerando melhores resultados. Portanto, para o presente estudo, será explorado um caso do carregamento de veículos, no qual serão utilizados os modelos de empacotamento que consistem em alocar um conjunto de peças dentro de um objeto de forma ótima. Dessa forma, pretende-se verificar a possibilidade de aumentar a utilização da área disponível dos veículos, diminuir a quantidade de viagens realizadas e conseqüentemente reduzir os custos envolvidos.

1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo aplicar o problema de *bin-packing* bidimensional com frota heterogênea, conhecido na literatura como 2VSBPP (*bidimensional variable sized bin-packing problem*), num caso de carregamento de veículo de carga de médio e grande porte de uma multinacional do setor de óleo e gás.

1.1.1 Objetivos Específicos

1 Contextualizar a logística de transportes no setor petrolífero brasileiro com ênfase no Estado do Rio de Janeiro.

2 Apresentar o modelo de programação inteira conhecido como “Problema da Mochila” ou, do inglês, *Bin packing problem*, especificamente a variação 2VSBPP (*bidimensional variable sized bin-packing problem*).

3 Especificar as variáveis, função objetivo e restrições visando desenvolver o modelo matemático e o algoritmo proposto para solução do problema. Para tal, será utilizada a linguagem de programação Python.

4 Comparar os cenários de resultados obtidos por um algoritmo com os dimensionamentos realizados pela equipe de Transportes de Carga da companhia analisada, a fim de estimar sua eficiência e analisar seus erros e sucessos.

1.2 Justificativa

Segundo a Confederação Nacional de Transportes - CNT (2016), os custos logísticos consomem 12,7% do PIB nacional, dos quais, 6,8% são referentes ao transporte. O que torna evidente a necessidade de estudar profundamente os custos de transporte. Ao realizar um estudo analítico do tema, é possível entender seus maiores impactos (trajetos, tipos de veículos, estratégias de carregamento, etc) e propor soluções que otimizem os gastos com essa parcela tão significativa da logística.

No ano de 2014 o Brasil passou por uma grave crise do petróleo, em que a maior empresa do setor, a Petrobras, reduziu em mais da metade de seu valor. Foi uma queda de cerca de US\$ 70 bilhões em capitalização de mercado, afirma o jornal *The New York Times* (2015). Diante deste cenário, empresas prestadoras de serviços para a Petrobras tiveram que se reinventar, buscando estratégias para a manutenção de suas margens de lucro, a fim de assegurar a sobrevivência neste mercado competitivo.

Nas atividades laborais da companhia em questão observou-se desperdícios de transporte, custos e tempo na equipe de Logística de carga. A alocação dos recursos nos veículos era feita de forma manual através do Microsoft Excel, o que dependendo da quantidade de itens, poderia se tornar dispendioso e improdutivo. Qualquer agrupamento equivocado poderia gerar sobrepeso nas carretas, retrabalho no carregamento ou até mesmo comprometer a segurança dos envolvidos nesta atividade. Segundo o artigo 231 do Código de Trânsito Brasileiro (CTB), veículos utilizados no transporte de carga que não se enquadrem nos limites de peso e dimensões estabelecidos pelo CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito) são autuados proporcionalmente ao peso excedente (CTB, 1997).

Ademais, a fim de atender a demanda do cliente assim que os equipamentos eram solicitados pelas sondas, muitos veículos realizavam trajetos com sua capacidade mínima utilizada, violando o princípio de consolidação de cargas.

Portanto, percebendo a necessidade da redução de custos e as oportunidades de melhorias na companhia deste estudo, o presente trabalho busca otimizar o transporte de cargas

através de modelagem matemática e computacional, objetivando ganhos de capital, tempo e segurança. As principais vantagens desta análise serão: redução dos custos logísticos, maximizando a utilização do espaço físico dos caminhões e diminuindo a quantidade de viagens; evitar multas por excesso de peso; evitar acidentes de trabalho relacionados ao carregamento de carretas; prover a solução ótima para a alocação de recursos em veículos de forma automatizada.

1.3 Motivação Pessoal

A motivação para o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso surgiu da experiência profissional no setor de transportes de uma empresa multinacional prestadora de serviços no segmento de óleo e gás, onde tive a oportunidade de estagiar.

O setor intitulado *Billing* contribuiu com informações em relação aos custos logísticos de transportes e documentações relacionadas ao transporte rodoviário no Brasil. Já o setor denominado Logística de Carga, permitiu absorver conhecimentos sobre notas fiscais, requisições de Transporte (RTs), equipamentos utilizados nas sondas *offshore* e como fazer a disposição destes em veículos de grande e médio porte para transporte de cargas. Nesta área, fui motivado a propor uma automatização para a atividade de alocação de equipamentos em carretas, de acordo com suas restrições, que antes era feita manualmente por seus colaboradores.

Esta automatização a princípio geraria ganhos financeiros e de tempo para a companhia, pois evitaria carregamentos ineficientes e designaria esta atividade humana a um *software*. Em adição aos motivos anteriores, ao pesquisar sobre a utilização do modelo de programação inteira *bin packing* aplicado ao carregamento de carretas, percebi que a literatura a respeito da mesma, tanto nacional quanto internacional, é limitada. Portanto, este trabalho visa fornecer mais literatura para pesquisadores interessados neste tema.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está organizado em cinco etapas: Introdução, Referencial Teórico, Procedimentos Metodológicos, Discussão dos Resultados e Conclusão. Na segunda etapa, o referencial teórico será contextualizado o cenário da logística de transportes no setor de óleo e gás e a modelagem matemática de programação inteira. Na terceira etapa será apresentada a empresa deste estudo de caso e as principais atividades do departamento de transportes. Na quarta etapa, serão apresentadas a aplicação do modelo computacional, os cenários obtidos pelo

algoritmo desenvolvido e as discussões dos resultados. Por fim, na quinta etapa, serão apresentadas as considerações finais, limitações das pesquisas e possibilidades para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão apresentados conceitos que embasarão o estudo a ser realizado. De modo geral pode-se dizer que os temas centrais estão relacionados a logística e cadeia de suprimentos, bem como a programação binária e inteira da pesquisa operacional. Os primeiros subtópicos abordarão uma contextualização da logística, a logística de transportes e seus principais modais, custos logísticos e indicadores de desempenho, a logística no setor petrolífero e os recursos necessários para a este tipo de operação. Em seguida, será apresentada brevemente a programação binária e inteira, o *bin packing problem*, a variação do problema conhecido como 2VSBPP (*bidimensional variable sized bin-packing problem*) e as ferramentas computacionais escolhidas para sua resolução.

2.1 Contextualização da Logística

Etimologicamente, a palavra logística deriva do verbo francês *loger* que significa alojar. Este conceito foi inicialmente empregado para fins militares, sendo a mobilização de recursos para a guerra conhecida desde os primórdios, nos impérios Bizantino, Romano, na Grécia Antiga e posteriormente na Segunda Guerra Mundial. Basicamente nestes períodos de guerra devia-se disponibilizar armas, munição, alimento, água e medicamentos de modo a atender as necessidades dos combatentes, com a quantidade adequada, menor custo e tempo possíveis. Na prática, quem executava a melhor estratégia logística tinha maiores chances de vitória.

O militar pioneiro responsável por cunhar o termo logística foi o Barão de Antoine Henri de Jomini no século XIX, quando sintetizou em seu livro intitulado Sumário da Arte da Guerra, os pilares para o sucesso no campo de batalha: a estratégia, a tática e a logística. Para ele, a logística era definida como a ação que conduz à preparação e sustentação das campanhas e podia ser classificada como a ciência dos detalhes dentro dos Estados-Maiores (JOMINI, 1836).

De modo geral, pode-se entender a logística como a competência que vincula uma organização a seus clientes e fornecedores a fim de facilitar as operações produtivas e gerar valor para o cliente final. Segundo Daskin (1985), logística é o planejamento e a operação dos sistemas físicos, informacionais e gerenciais necessários para que insumos e produtos vençam condicionantes espaciais e temporais de forma econômica. Para Moura (2006), logística é o processo de planejamento, implementação, controle do fluxo e armazenagem eficiente de matérias-primas, estoque em processo, produto acabado e informações relacionadas, desde o

ponto de origem até o ponto de consumo, com objetivo de atender aos requisitos do cliente, em uma mesma organização.

A logística é um elo imprescindível da cadeia de suprimentos, pois preconiza a transferência de bens e serviços demandados por clientes e/ou fornecedores na quantidade exata e no momento exato. Ballou (2006) argumenta que produtos e serviços não têm valor para os clientes a menos que estejam sob a posse dos clientes no momento (tempo) e onde (lugar) eles desejam consumi-los. O que demonstra a importância de estratégias logísticas assertivas, visto que os prazos devem ser cumpridos para que as expectativas dos clientes sejam atendidas.

De acordo com Faria e Costa (2012), a cadeia de suprimentos e a logística têm sido consideradas campos com maiores chances de ganhos empresariais, através da minimização de custos e aumento da variedade de produtos. Atuando nessas áreas com estas estratégias torna-se possível criar vantagens competitivas para a empresa no mercado que está inserida.

Com o enfoque em ser um diferencial competitivo que a logística vem ganhando na atualidade, o *Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP)* cunhou uma nova definição para esta área do conhecimento:

As atividades de gerenciamento de logística normalmente incluem gerenciamento de transporte de entrada e saída, gerenciamento de frota, armazenamento, manuseio de materiais, atendimento de pedidos, projeto de rede logística, gerenciamento de estoque, planejamento de oferta / demanda e gerenciamento de provedores de serviços de logística terceirizados. Em graus variados, a função de logística também inclui fornecimento e aquisição, planejamento e programação de produção, embalagem e montagem e atendimento ao cliente. Está envolvido em todos os níveis de planejamento e execução - estratégico, operacional e tático. O gerenciamento de logística é uma função integradora, que coordena e otimiza todas as atividades de logística, além de integrar as atividades de logística com outras funções, incluindo marketing, fabricação de vendas, finanças e tecnologia da informação. (CSCMP, 2018)

Para Bowersox e Closs (2001), a logística nas empresas inclui todas as atividades de movimentação de produtos e transferência de informações de, para e entre os participantes de uma cadeia de suprimentos. A missão da logística é disponibilizar produtos e serviços no local onde são necessários e no momento em que são desejados, ajudando a agregar maior valor do produto ao cliente, pelo menor custo total.

Ballou (2006) afirma que a satisfação é o fator decisivo para a retenção e fidelização dos clientes. Com a competição acirrada da economia e a concorrência cada vez mais preparada,

a intolerância a erros, atrasos e desperdícios tem sido frequente. Por este motivo, fornecer serviços logísticos eficientes não são mais um diferencial e sim um fator de sobrevivência no mercado, isto é, condição imprescindível para manter clientes.

Muitos autores classificam a logística em diversos tipos, como logística integrada, logística reversa, logística empresarial, logística de suprimentos, logística de marketing, logística de transporte, entre outras. Nas seções subsequentes deste trabalho será dado maior importância à logística de transportes, visto que é tema central do estudo proposto.

2.1.1 Logística de Transporte

A necessidade de transportar objetos data desde a era do homem primitivo, cujo estilo de vida era nômade e por isso devia carregar seus utensílios como ferramentas, alimentos, armas, etc. Entretanto, por muito tempo o transporte estava limitado pela capacidade humana, portanto itens pesados não poderiam ser carregados. Com o advento da domesticação animal e a invenção da roda em 3000 a.C., foi possível maior mobilização de cargas (CHITATA, 2013).

Para Chopra e Meindl (2007), o transporte está relacionado com o movimento de produtos de uma locação para outra, permitindo a conexão do início da cadeia de suprimentos com os consumidores finais. Transporte é um serviço de grande importância pois raramente os produtos são consumidos onde foram produzidos. Com o advento da globalização e a necessidade do comércio internacional sistemas multimodais de frete para a mobilização de cargas tornou-se ainda mais significativo.

Para entender transportes na cadeia de suprimentos é preciso abordar quatro agentes deste processo: o remetente, a transportadora, os proprietários e operadores da infraestrutura e a política de transporte. O remetente seria a parte que requer a movimentação do item entre dois pontos, a transportadora responsável por movimentar o produto, os operadores de infraestrutura são a parte que cuida dos canais como estradas, portos, aeroportos, etc e a política regula através de leis e regras a mobilização por cada modal. (CHOPRA E MEINDL, 2007)

O transporte normalmente representa o elemento mais importante em termos de custos logísticos para inúmeras empresas. A movimentação de cargas absorve de um a dois terços dos custos logísticos totais. Por isso, o operador logístico precisa ser um grande conhecedor da questão dos transportes (BALLOU, 2006).

A logística de transportes pode ser dividida em cinco modais básicos, são eles: o ferroviário, o rodoviário, o aquaviário, o aéreo e o dutoviário. A importância relativa de cada tipo pode ser medida pela distância coberta pelo sistema, pelo volume de tráfego, receita e pela natureza da composição do tráfego (BOWERSOX; CLOSS, 2001). Cada modo possui suas características próprias, custos, vantagens e desvantagens, sendo sua escolha uma atividade criteriosa.

A fim de fundamentar as bases para este trabalho e contextualizar outros segmentos da logística de transportes, serão apresentados os modais de transporte, o transporte rodoviário de cargas (TRC), seus custos e indicadores de desempenho, veículos e tipos de cargas relacionadas e a logística aplicada ao segmento de óleo e gás.

2.1.2 Classificações e Modais de Transporte

Segundo Ballou (2006), a seleção de um modal de transporte ou de um serviço oferecido dentro de um modal de transporte depende de uma variedade de características do serviço, variando da velocidade à assistência na solução de problemas. Baseado em alguns estudos, as características do serviço não são da mesma importância, e algumas são dominantes para os responsáveis pelas decisões.

As principais características, vantagens e desvantagens dos modais de transporte podem ser avaliadas na Tabela 1

Tabela 1 - Vantagens e Desvantagens dos Modais de Transporte

Modal	Vantagens	Desvantagens
Rodoviário	<ul style="list-style-type: none"> - Adequado para curtas e médias distâncias; - Alta flexibilidade; - Permite o serviço porta a porta; - Custos fixos baixos; - Complementa a atuação de outros modais, possibilitando a intermodalidade e multimodalidade. 	<ul style="list-style-type: none"> - Menor capacidade de carga frente aos outros modais; - Custo variável por quilômetro alto; - Exige grande mão de obra (1 motorista por veículo, no mínimo); - Excessivo consumo de combustíveis fósseis.
Ferroviário	<ul style="list-style-type: none"> - Adequado para longas distâncias e grandes quantidades de carga; 	<ul style="list-style-type: none"> - Altos custos fixos (via férrea, equipamentos, terminais, carga, descarga,

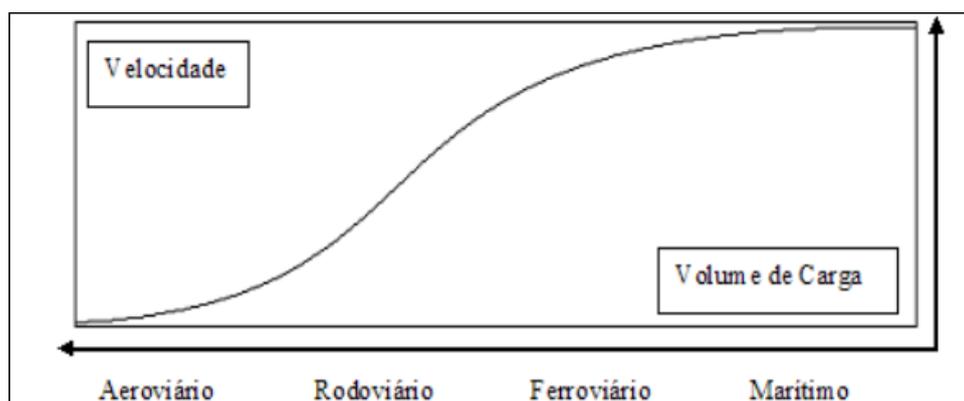
	<ul style="list-style-type: none"> - Custos variáveis baixo (combustíveis, lubrificantes e manutenção); - Baixo custo de transporte. 	<ul style="list-style-type: none"> etc); - Baixa versatilidade e flexibilidade; - Alta exposição a furtos; - Baixa velocidade e tempo de viagem irregular.
Aquaviário	<ul style="list-style-type: none"> - Custo fixo médio (navios e equipamentos); - Custo variável baixo; - Grande capacidade de carga, transportando qualquer tipo de material. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fortemente influenciado por fatores meteorológicos; - Limitado às zonas costeiras; - Lentidão na entrega da carga; - Necessidade de transporte complementar.
Dutoviário	<ul style="list-style-type: none"> - Custo variável mais baixo; - Alta Confiabilidade; - Muito utilizado na indústria petrolífera para escoamento do petróleo e gás; - Poucas interrupções na operação. 	<ul style="list-style-type: none"> - Custo fixo elevado (direitos de acesso, construção, requisitos para controles das estações e capacidade de bombeamento) - Dutos limitados ao transporte de produtos líquidos, gasosos ou semi fluidos. - Necessidade de transporte complementar.
Aéreo	<ul style="list-style-type: none"> - É o modal mais rápido; - Baixa variabilidade no tempo de entrega; - Permite embalagens menos reforçadas; - Boa confiabilidade e disponibilidade; - Pela rapidez, permite a redução de 	<ul style="list-style-type: none"> - Custos fixos alto (aeronaves e manuseio de sistemas de carga); - Custos variáveis altos (combustível, mão-de-obra, manutenção, etc.); - Restrições de tamanho e peso da carga; - Necessidade de transporte

custos de estocagem, viabilizando o	complementar.
JIT (<i>Just in Time</i>).	

Fonte: Autoria própria

Para Faria (2001), a escolha do modal a ser utilizado não deve ser baseado somente na minimização dos custos, também é necessário levar em consideração o desempenho de cada operação em termos de prazos, confiabilidade, agilidade e capacidade de carga. Nota-se pela Figura 1 que o modal marítimo apresenta maior vantagem quanto ao volume de carga transportado, porém é o tipo mais lento. Já o aeroviário, é o modal mais rápido, entretanto possui baixa capacidade em volume de carga, o que eleva os custos deste modo de transporte.

Figura 1– Modais de Transporte quanto a velocidade e volume de carga



Fonte: Faria (2001)

Os modais mais utilizados pela indústria de petróleo e gás brasileira são: rodoviário, aquaviário, aéreo e dutoviário. O modal rodoviário, foco deste estudo, transporta ferramentas ao longo do continente. O aquaviário está relacionado aos navios e sondas petrolíferas. Já o modal aéreo é empregado no transporte de pessoas para as plataformas. Por fim, o dutoviário se movimenta por pressão ou arraste de fluidos como petróleo e seus derivados, gás natural, etanol, entre outros.

No contexto da mobilização de materiais para a indústria de óleo e gás *offshore*, independentemente se será utilizado modal aéreo ou marítimo para fazer chegar os recursos nas sondas, faz-se necessário mover tais equipamentos até os portos ou aeroportos. Este é o papel do modal rodoviário que será explanado na seção 2.1.3.

2.1.3 Transporte Rodoviário de Cargas (TRC)

De acordo com Freitas (2004), o transporte rodoviário de cargas (TRC) é aquele que se

realiza em estradas de rodagem, com a utilização de veículos de médio e grande porte como caminhões e carretas. Faria (2001) recomenda que o transporte rodoviário seja utilizado para distâncias menores, para que não haja desperdícios de tempo, combustível e financeiro.

O TRC para a Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT (2008) é definido como o serviço de transporte de mercadorias, executado por transportadores remunerados, utilizando o modo rodoviário.

Ballou (2006) lista as vantagens inerentes ao transporte rodoviário da seguinte maneira: (1) o deslocamento de produtos “porta a porta”, de modo que o carregamento e descarga é de maior facilidade em detrimento de outros modais como o marítimo e aéreo; (2) flexibilidade, frequência e disponibilidade do serviço; (3) a possibilidade de escolha de rotas e diferentes capacidades de carga oferecidas; (4) velocidade e comodidade referente ao serviço porta a porta.

No Brasil, a atividade de transporte vem aumentando sua participação no PIB. Entre os anos de 1985 e 1999 sua representatividade passou de 3,7 % para 4,3 % do PIB. Entre a década de 1970 a 2000, o setor de transportes cresceu cerca de 400%, enquanto o crescimento do PIB foi de 250%. Este crescimento foi fortemente influenciado pela desconcentração geográfica da economia brasileira nas últimas décadas, na direção das regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste (FLEURY, 2003).

O modal rodoviário é preponderante na matriz agregada de transporte brasileira, sendo responsável por movimentar 61,2% do total de volume de carga no país, contra apenas 4,2% do modal dutoviário (ILOS, 2013). Essa predominância intensificou-se a partir da década de 1950, com a entrada da indústria automobilística estrangeira no país. Essa informação também pode ser comprovada pelo boletim estatístico da Confederação Nacional de Transportes (CNT), como apresenta a Tabela 2.

Tabela 2– Matriz de Transporte de Cargas

Modal	Milhões (TKU)	Participação (%)
Rodoviário	485,625.00	61.09%
Ferrovário	164,809.00	20.73%
Aquaviário	108,000.00	13.59%
Dutoviário	33,300.00	4.19%
Aéreo	3,169.00	0.40%
Total	794,903.00	100.00%

Fonte: Boletim Estatístico - CNT (2019)

De acordo com Pena (2020), a dependência do modal rodoviário no Brasil onera os cofres públicos pela necessidade de constante manutenção da pavimentação. Atualmente o país possui 1,75 milhão de quilômetros de estradas, mas apenas 10% são pavimentadas. Além disso, as estradas brasileiras possuem em média 5 anos de uso, diferentemente dos 20 anos de duração em países como Estados Unidos.

Tabela 3– Malha rodoviária e frota de veículos no Brasil

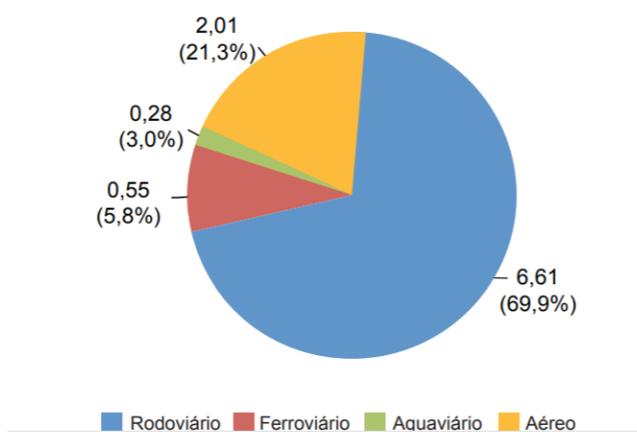
RODOVIÁRIO					
Malha Rodoviária - extensão em Km				Frota de Veículos	
	Pavimentada	Não Pavimentada	Total		
Federal	65.370	10.375	75.744	Caminhão	2.766.097
Rodovias Estaduais				Cavalo mecânico	655.047
Transitórias, Estaduais e Municipais	147.838	1.339.100	1.486.938	Reboque	1.608.078
Rede Planejada	-	-	157.309	Semi-reboque	960.352
Total	213.208	1.349.474	1.719.991	Ônibus interestaduais e internacionais*	28.544
				intermunicipais**	57.000
				fretamento*	21.827
				urbanos***	107.000
Malha Rodoviária Concessionada - extensão em Km					
Administrada por concessionárias privadas			19.678	Nº de Terminais Rodoviários	173
Administrada por operadoras Estaduais			1.195		

Fonte: Boletim Estatístico - CNT (2019)

A CNT (2019) também apresentou um gráfico em seu boletim econômico referente aos recursos investidos em 2019 pela União nos modais de transporte e pode-se observar através do Gráfico 1 que o transporte rodoviário liderava com 69,9% dos investimentos, o que corrobora a importância deste modal para o país. Dados que entraram para o cálculo foram considerados somente até dezembro de 2019.

Gráfico 1– Investimentos em Transporte da União

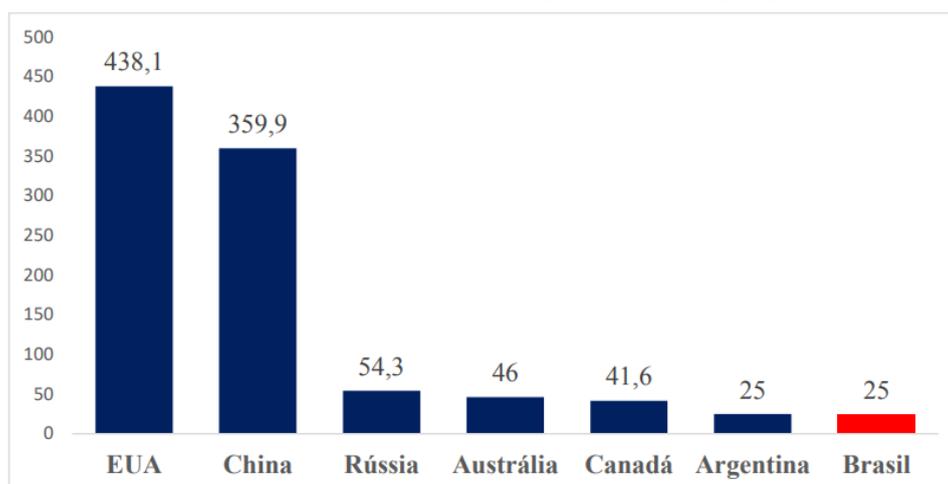
Investimentos em transporte da União por modal
(Total pago acumulado até dezembro/2019 - R\$ 9,45 bilhões)



Fonte: CNT (2019)

Embora o governo brasileiro faça altos investimentos no modal rodoviário, a infraestrutura de transportes ainda está longe da desejada. O Gráfico 2 demonstra um comparativo entre a malha rodoviária de alguns países, na qual fica evidente a precariedade das estradas no Brasil.

Gráfico 2– Densidade da malha rodoviária pavimentada por país (Km/1.000 Km²)



Fonte: Adaptado de CNT (2019)

Pena (2020) ainda ressalta o elevado consumo por combustíveis fósseis, o que eleva a dependência do petróleo que é responsável por grande parte das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera. Ele afirma que um trem com um litro de óleo diesel transporta a mesma quantidade que 4,5 caminhões com a mesma quantidade de combustível, tornando assim o transporte rodoviário até cinco vezes mais caro do que o ferroviário.

Uma das subdivisões possíveis do transporte de cargas pode ser evidenciada em função das cargas a serem transportadas, sendo separadas em duas categorias: o transporte de carga geral e o transporte de carga a granel. O transporte de carga geral está relacionado ao deslocamento de volumes que podem ser fracionados, acondicionados ou volumes unitários de grande porte sem embalagem. Neste segmento também está classificado o transporte de cargas especiais as quais exigem cuidados diferenciados, manuseio e documentação específicos. São exemplos de cargas especiais: mercadoria refrigerada, congelada, cargas vivas e cargas perigosas (RODRIGUES, 2007).

A carga geral também pode ser subclassificada com base no seu acondicionamento, sendo subdividida em:

- a) Soltas: itens avulsos, embarcados separadamente; ou
- b) Unitizadas: agrupamentos de vários itens em unidades de transporte.

Segundo Rodrigues (2007), o transporte de carga a granel trata da movimentação de cargas homogêneas, normalmente chamadas de *commodities*, que se apresentam sob a forma de sólidos, líquidos ou gases em grandes lotes. A carga a granel do tipo sólida pode ser exemplificada como safras agrícolas, grãos, rações, fertilizantes e produtos de origem mineral; os líquidos geralmente são classificados em petróleo e produtos não derivados de petróleo. O autor menciona ainda que, para aumentar a segurança, os gases normalmente são armazenados em recipientes de forma esférica ou cilíndrica, e movimentados somente após terem sido induzidos a uma mudança de fase do estado gasoso para o estado líquido.

Neste trabalho, o foco será o transporte de cargas gerais unitizadas, isto é, quando é realizada a consolidação dos materiais a serem transportados. Para Bowersox e Closs (2001), os benefícios econômicos da consolidação e fracionamento de carga nas operações logísticas são extremamente significantes, visto que através de tal atividade os custos de transportes são reduzidos, usando-se a capacidade máxima para agrupar cargas. Na consolidação, o armazém recebe os materiais de diversas fontes combinadas em quantidades exatas em um único grande embarque para um destino específico.

2.1.4 Custos Logísticos de Transporte

De acordo Faria e Costa (2004), a gestão de custos logísticos é a atividade de utilização ou desenvolvimento de novas estratégias para o gerenciamento dos respectivos custos. Tem por objetivo monitorar os custos operacionais dos serviços logísticos, por meio de indicadores, visando a acompanhar resultados, tendência e oportunidades, bem como desenvolver estudos de impacto logístico e respectivo custeio, de maneira a dar suporte ao processo de tomada de decisão em seus diversos níveis: estratégico, tático e operacional.

Os custos logísticos, segundo o *Institute of Management Accountants-IMA* (1992), referem-se ao gerenciamento de custos logísticos, que pode-se entender como “os custos de planejar, implementar e controlar todo o inventário de entrada (*inbound*), em processo e de saída (*outbound*), desde o ponto de origem até o ponto de consumo”.

Tradicionalmente, a função de custos era ligada à controladoria das empresas, mas atualmente a maioria das empresas possui um departamento com essa responsabilidade

específica, como setores de faturamento, gestão de custos e *billing* (FARIA; COSTA, 2004).

Lima (2014) classifica os custos logísticos em diretos, indiretos, fixos e variáveis. Esta segmentação está relacionada à origem dos custos, para que as empresas possam determinar e gerenciá-los efetivamente. Os custos diretos são aqueles incorporados diretamente aos produtos ou serviços, sem haver necessidade de rateios e podem ser atribuídos aos produtos, centros de custo ou departamentos. Compreendem os gastos com materiais, mão de obra e gastos gerais de fabricação, diretamente aplicados no produto. Já os custos indiretos são relacionados com a elaboração dos produtos e serviços, mas que não podem ser economicamente identificados com o que está sendo produzido e que não se relacionam com a sua execução, podem ser entendidos como impostos, serviços de terceiros, encargos gastos para o funcionamento daquele serviço logístico.

Ballou (2006) complementa definindo os custos fixos e variáveis de transporte como sendo de grande relevância para a redução dos custos e vantagem competitiva empresarial. Custos fixos são aqueles que são constantes no volume normal de operações do transportador e estão ligados a aquisição e manutenção do direito de tráfego, instalações de terminais, equipamentos de transporte e administrativos. Os custos variáveis geralmente oscilam com a distância a ser percorrida e o volume de carga a ser transportada, são exemplos deste tipo de custo: combustíveis, gastos com pneu, etc.

Para Bowersox e Closs (2001), existem diversos fatores econômicos que influenciam os custos logísticos, conforme pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1– Fatores de Influência nos custos logísticos

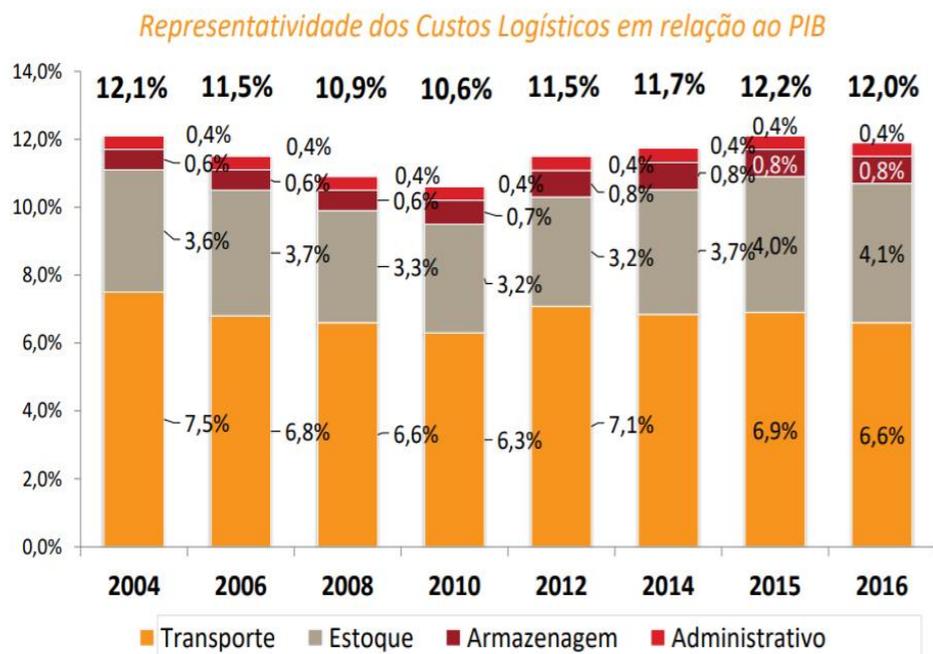
FATOR	INFLUÊNCIA
Distância	Compreende ao fator de maior influência no custo. Influencia os custos variáveis, fazendo com que o custo de frete por km rodado diminua com o aumento da distância, em virtude de os custos fixos permanecerem estáveis.
Volume	O custo de transporte unitário diminui com o aumento do volume da carga. Com uma carga cheia e a ocupação completa da capacidade do modal de transporte possibilitam a diluição dos custos por unidade transportada.
Densidade	É a relação entre peso e volume. O modal normalmente tem maior restrição de espaço do que de peso. Portanto, quanto maior for a densidade, melhor aproveitamento da relação peso/volume.
Mercado	Elementos que podem afetar os valores dos fretes, tais como a sazonalidade, facilidade de encontrar cargas de retorno, condições de tráfegos, entre outros.

Facilidade de acondicionamento	Refere-se a uniformidade das dimensões da carga. Exemplo: caixas de tamanhos diferentes dificultam a ocupação volumétrica, quanto mais uniforme melhor.
Facilidade de manuseio	Caso haja a necessidade da carga utilizar-se de equipamentos especiais para carga e descarga, os custos são maiores.
Responsabilidade	É nível de responsabilização por eventuais avarias, reclamações, roubo, incêndios, entre outros.

Fonte: Bowersox e Closs (2001)

Segundo o Instituto ILOS (2017) - Especialistas em Logística, os custos logísticos no Brasil equivalem a 12% do PIB nacional em 2016, tendo destaque para o setor de transportes, o qual totaliza 6,6% do PIB. Neste mesmo ano nos Estados Unidos, as despesas logísticas somavam 7,8% do PIB norte americano. As principais causas dos elevados gastos brasileiros com logística são: a ineficiência da matriz de transportes e as altas taxas de juros praticadas.

Gráfico 3– Representatividade dos Custos Logísticos em relação ao PIB brasileiro



Fonte: ILOS (2014)

O desbalanceamento da matriz de transportes de carga impacta não apenas a economia do Brasil como um todo, como também leva ao aumento dos gastos das empresas com logística. Cerca de 8,7% da receita líquida das empresas tem sido destinada à logística, aponta estudo realizado pelo ILOS em 2012.

Este cenário de dependência do modal rodoviário tem gerado grandes filas de caminhões e navios, bem como o aumento do preço do frete devido ao crescimento da demanda em relação

à oferta. Deste modo, é fundamental que o Governo conduza mais e melhores investimentos em infraestrutura de transporte para melhorar a disponibilidade de modais e permitir que as empresas alcancem maior eficiência, reduzindo as despesas logísticas (ILOS, 2017).

Faria e Costa (2007) afirmam que a atividade de transportes é considerada um dos subprocessos mais relevantes da logística. Devido ao seu grande impacto nos custos, uma boa opção para mitigar esta característica é a utilização do frete de retorno. Através deste frete de retorno são implementados ciclos fechados, onde o veículo vai e volta transportando mercadorias.

Outra estratégia para reduzir os custos de transporte é a consolidação de cargas. Para Bowersox e Closs (2001), os benefícios econômicos da consolidação e fracionamento de carga nas operações logísticas são extremamente significantes, visto que através de tal atividade os custos de transportes são reduzidos, usando-se a capacidade máxima para agrupar cargas. No entanto, faz-se necessário escolher o tipo de veículo correto, pois geralmente quanto maior sua capacidade e especificidade maior é o custo de frete.

A gestão de riscos aliada a uma administração de custos logísticos eficiente é vital para a redução de prejuízos. O serviço de transportes está sujeito a diversos tipos de riscos, como perda e extravio de carga, roubos, atraso e/ou cancelamento de entrega, acidentes e avarias, dentre outros. Neste cenário, muitas empresas são obrigadas a investirem em seguros, escoltas armadas, sistemas de rastreamento e métodos de indenização por extravios, danos ou perdas.

Dessa forma, o custo de transporte requer cuidadosa consideração nos raciocínios da Logística Integrada, pela sua importância nos custos logísticos e pela multiplicidade de *trade-offs* com os demais custos logísticos. Por exemplo, a escolha de um modal de transporte com custos de frete menores, porém, com menor frequência e maior tempo de viagem, resulta em maior custo de manutenção de inventários (FARIA et al, 2004).

2.1.5 Indicadores de Desempenho

Para Francischini (2017), a necessidade de mensurar o desempenho dentro de uma organização surge com o objetivo de se obter metas e parâmetros padrões quantitativos e qualitativos nos processos e departamentos de um sistema existente. Podendo assim, adaptar-se quando necessário a mudanças em busca de um objetivo qualquer.

No campo da logística, Ballou (2006) afirma que a tarefa da medida de desempenho é promover informações sobre o desempenho das atividades logísticas, especialmente quando a variabilidade exceder uma amplitude aceitável.

Os indicadores de desempenho também são conhecidos popularmente como KPI (*Key Performance Indicator*), que pode ser entendido como a ferramenta chave de gestão para avaliar a performance de um processo. O ideal é que os KPI sejam disponibilizados em tempo real, por meio de painéis de controle automatizados, proporcionando muito mais agilidade ao acompanhamento, ajuste e auxílio para os gestores tomarem decisões rapidamente (Siteware, 2018).

De acordo com Faria e Costa (2012), para que as empresas mantenham sua continuidade e competitividade, devem analisar seu desempenho através dos indicadores de desempenho. Estes indicadores servem para dar perspicácia direta aos elementos essenciais do processo de gestão, que é importante na Logística, na qual um bom controle requer medidas que relacionam tempo, lugar, quantidade, qualidade e custos.

O desenvolvimento de uma cultura operacional compatível com a estratégia da companhia é bastante influenciado pelo monitoramento de indicadores que acompanham os processos que agregam valor ao negócio. Ou seja, os indicadores de desempenho são um meio para se analisar o cumprimento dos objetivos previamente traçados pelo planejamento estratégico.

Ainda para Faria e Costa (2012), no momento da criação dos indicadores deve-se considerar os objetivos dos indicadores, para que possa atuar nas causas do desempenho, alinhados à estratégia corporativa. Os indicadores que permitem aos gestores atuar e decidir as estratégias com mais eficiência têm algumas das seguintes características:

- a) São independentes: cada indicador mede um aspecto, relacionado aos objetivos estratégicos, mas ao mesmo tempo têm conexão com outros indicadores;
- b) Possuem cálculos simples e, geralmente, acumulam os dados dos períodos planejados e reais;
- c) Sua definição é invariável e são representativos das medidas nele definidas; e

d) Define, de forma clara, a extensão do problema.

O Quadro 2 apresenta alguns indicadores e suas fórmulas aplicadas à gestão de custos logísticos e de seus recursos, como o custo de transporte da distribuição e o fator da ocupação da frota.

Quadro 2– Indicadores de desempenho para a logística e suas fórmulas	
Indicadores de Desempenho	Fórmulas
CUSTOS LOGÍSTICOS	
Custos logísticos de abastecimento	$\text{Custo total do abastecimento} / \text{Valor total das compras}$
Custos de transporte da distribuição	$\text{Custo total de fretes de distribuição} / \text{receita operacional líquida} \times 100\%$
Custo de transporte de abastecimento	$\text{Custo de fretes de recebimentos} / \text{receita operacional líquida} \times 100\%$
Custo de manutenção do inventário - Matéria-prima	$(\text{Valor médio de estoque de matérias primas} \times \text{Taxa de Oportunidade}) / \text{Receita operacional líquida} \times 100\%$
Custo de manutenção do inventário - Produtos em processo	$(\text{Valor médio de estoque de produtos em processo} \times \text{Taxa de Oportunidade}) / \text{Receita operacional líquida} \times 100\%$
Custo de manutenção do inventário - Produtos acabados	$(\text{Valor médio de estoque de produtos acabados} \times \text{Taxa de Oportunidade}) / \text{Receita operacional líquida} \times 100\%$
Custo de armazenagem/movimentação própria	$(\text{Custo de armazenagem/movimentação própria}) / \text{Receita operacional líquida} \times 100\%$
Custo de armazenagem/movimentação com terceiros	$(\text{Custo de armazenagem/movimentação com terceiros}) / \text{Receita operacional líquida} \times 100\%$
UTILIZAÇÃO DE RECURSOS	
Taxa de ocupação de espaços de estocagem	$\text{Espaço utilizado} / \text{Espaço disponível total (incluindo áreas de circulação)} \times 100\%$
Fator de ocupação da frota de veículos industriais (empilhadeira etc)	$\text{Tempo de utilização de veículos} / \text{Tempo total disponível} \times 100\%$
Fator de ocupação da frota (transporte)	$\text{Volume transportado} / \text{Volume disponível} \times 100\%$

Fonte: Adaptado de Faria e Costa (2012)

Wilhelm et al. (2012) complementa afirmando que ao medir seu desempenho pelos indicadores, as organizações buscam estabelecer o grau de evolução ou de estagnação de seus processos, bem como da adequação ao uso de seus bens e serviços, fornecendo dados a fim de tomar ações preventivas e/ou corretivas que contribuam para a conquista das metas previamente estabelecidas pela empresa.

Deste modo, fica claro a importância da criação, manutenção e interpretação dos indicadores de desempenho. O sistema de mensuração do desempenho deve ser revisto regularmente para definir se estão sendo úteis ou não ao processo de gestão logística, pois não adianta ter instrumentos, se estes não forem eficientes e eficazes. (FARIA; COSTA, 2012)

2.1.6 Veículos utilizados no TRC

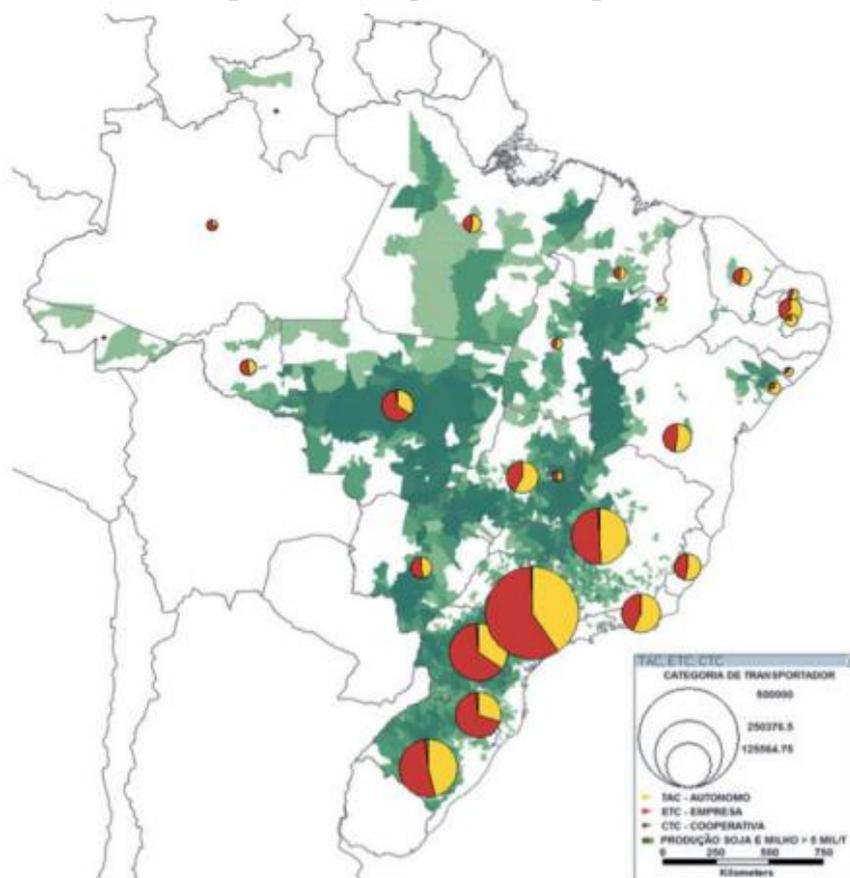
O termo veículo é originário do latim *vehiculum* e está relacionado a todo e qualquer meio de transporte e movimentação, seja ele motorizado ou não, utilizado em quaisquer vias (terrestres, marítimas ou aéreas) para transportar qualquer tipo de objeto, pessoas ou animais.

O Código de Trânsito Brasileiro (CTB), em seu glossário, apresenta dois termos relacionados aos veículos presentes no transporte rodoviário de cargas: trator e reboque. De acordo com o CTB, o termo trator indica o veículo automotor construído para realizar trabalhos agrícola, de construção, pavimentação e para tracionar outros veículos e equipamentos. Já a palavra reboque está ligada ao veículo que é engatado através de um veículo automotor e tem a função de acondicionar a carga a ser transportada.

Segundo Lopes (2015), a atividade de TRC é realizada pelas Empresas de Transporte Rodoviário de Cargas – ETC (53,5%), seguida do Transportador Autônomo de Cargas – TAC (45,8%). O residual compete às Cooperativas de Transporte Rodoviário de Cargas – CTC (0,7%). Dentre estas categorias, os autônomos apresentaram em 2015 uma idade média de frota de 19,7 anos e as empresas do ramo 8,6 anos. A título de comparação, nos Estados Unidos a idade média dos veículos particulares e caminhões leves é de 11,4 anos e a dos caminhões comerciais corresponde a 6,6 anos.

Lopes (2015) ainda apresenta a distribuição dos veículos de carga no país. A região de maior concentração é a sudeste, com 44,6% da frota nacional, com destaque para o estado de São Paulo que responde por 25,5%, sendo o primeiro estado no ranking de ETC (empresas) e TAC (autônomos). A Figura 2 ilustra esta distribuição no território brasileiro.

Figura 2 – Número de Veículos por UF e Categoria de Transportador



Fonte: Lopes (2015) adaptada de dados do RNTRC, ANTT (2015)

De acordo com o Ministério dos Transportes (2014), os veículos são classificados de acordo com sua distribuição de eixos e sua capacidade de carga útil conforme apresenta o Quadro 3. Os valores do quadro são independentes do tipo de carroceria, não havendo diferença entre veículos de carga geral, a granel, refrigerada, líquida etc.

Quadro 3– Carga útil por tipo de veículo

Tipo de Veículo	Números de Eixos	Carga útil
Caminhão simples CS	2 eixos	8 toneladas
Caminhão simples CS	3 eixos	14 toneladas
Reboque - R	2 eixos	13 toneladas
Reboque - R	3 eixos	19 toneladas
Semirreboque - SR	1 eixo	12 toneladas
Semirreboque - SR	2 eixos	18 toneladas
Semirreboque - SR	3 eixos	23 toneladas
Cavalo Trator - CT	2 eixos	5 toneladas
Cavalo Trator - CT	3 eixos	8 toneladas
Semirreboque - SR	2 eixos separados por distância superior a 2m 40.	19 toneladas

Semirreboque - SR	1 eixo simples de quatro rodas e 1 eixo duplo de oito rodas separados por distância	23 toneladas
Semirreboque - SR	4 eixos ou mais	25 toneladas

Fonte: Ministério dos Transportes (2014)

Segundo Lima et al (2014), os principais veículos de carga presentes no transporte rodoviário brasileiro são:

- Veículo Urbana de Carga (VUC): são veículos de pequeno porte adaptados para transitar em grandes cidades. Seu principal benefício é a agilidade em fazer pequenas entregas entre clientes e fornecedores na área urbana. As carrocerias mais utilizadas são baú, refrigerado e frigorífico.
- Caminhão Toco: este caminhão possui dois eixos e capacidade máxima de carga de 6.000 kg. As carrocerias mais comuns são bau e grade baixa. Geralmente é utilizado para mobilização de produtos de distribuição e carga seca.
- *Truck*: é usado em diversas operações logísticas e conta com 3 eixos, com capacidade máxima de 14.000 kg. Possui grande diversidade de carrocerias como baú, grade baixa, sider e graneleira.
- Carretas ou Cavalos Mecânico: são veículos articulados e, portanto, possuindo unidades de tração e de carga em módulos separados. Estas duas unidades são denominadas cavalos mecânicos e semirreboques. Tem capacidade de até 25.000 kg. Os semirreboques são equipamentos que não apresentam qualquer eixo na dianteira, mas tão somente na traseira, devendo ser acoplados aos cavalos mecânicos. Eles podem ser dos mais diversos tipos: abertos, fechados, plataformas, cegonheiras, tanques, baús, cada qual apropriado a um tipo específico de carga
- Cavalos Mecânico Trucado: de diferença da carreta comum pois tem um eixo dianteiro e dois traseiros. Carrega até 32.000 kg, e consegue manter a pressão menor quando as rodas estão no chão.

De acordo com Lopes (2015), entre os anos de 2008 e 2014 a frota circulante brasileira cresceu significativamente, devido a linhas de crédito e ao programa Procaminhoneiro. Esses incentivos contribuíram para reduzir 2,3 anos na idade média da frota nacional, o que permitiu a ampliação e modernização dos caminhões.

Com o crescimento do número de veículos pesados no país e as diferentes composições

veiculares, novas classificações foram elaboradas pelos órgãos brasileiros. De acordo com o Registro Nacional de Veículos Automotores (RENAVAM, 2020), a frota brasileira de veículos de carga era de 11,53 milhões em agosto de 2020, dividida entre caminhonetes (40,7%), caminhões (23,8%), reboques (17,0%), semirreboques (9,3%), além de outros 22 tipos (9,2%).

Os veículos utilizados para o transporte de cargas na indústria do petróleo, especificamente na empresa abordada neste estudo, serão descritos na seção 3.2.1.3.

2.1.7 Tipologia de Cargas

Segundo dados da CNT (2011), no Brasil são transportados pelo modo rodoviário aproximadamente 100 milhões de toneladas de mercadorias a cada mês. Do total de cargas transportadas, 46% correspondem ao denominado transporte rodoviário de cargas industriais por terceiros, efetuado por empresas e autônomos, entre os estados do país.

Guimarães (2016) afirma que existem duas principais formas de caracterização das cargas do TRC. A primeira leva em consideração os aspectos físicos das mercadorias, sendo divididas em granel sólido, granel líquido e carga seca. A segunda refere-se a cargas que exigem tratamentos especiais, como cargas fracionadas, carga frigorificada, químicos ou perigosos e veículos.

- Granel Sólido: refere-se a matérias primas que normalmente não se pode embalar, encaixotar ou acondicionar e muitas vezes são *commodities*. São exemplos de granel sólido: grãos, minérios, carvão, cascalho, etc. Geralmente utilizam-se carretas e *trucks* para transporte deste tipo de carga.
- Granel Líquido: carga líquida não perigosa como água, leite, suco, etc. Normalmente são transportados em veículos específicos que possuem carroceria em tanque de aço, por exemplo: carretas tanque, caminhão pipa, caminhão cisterna.
- Carga fracionada: trata do transporte de pequenos volumes, no qual em um veículo são dispostos itens de diversos clientes que sozinhos não seriam capazes de utilizar a ocupação total do veículo. Este tipo de carga utiliza pequenos veículos, como os VUCs, e atende em grande parte coletas de cargas aeroviárias e *e-commerce*.
- Químicos e Produtos perigosos: são produtos que apresentam riscos à saúde e segurança do ser humano e/ou do meio ambiente, são eles: petróleo, gás natural, materiais corrosivos e radioativos, explosivos, sólidos ou líquidos inflamáveis, gases tóxicos,

entre outros. Para realizar este tipo de transporte deve-se possuir veículo preparado, sinalizado e condutor treinado em casos de vazamentos.

- Carga frigorificada: pode ser subdividida em carga perecível (frutas, legumes, verduras) e carga congelada (carnes). São produtos que requerem redução da temperatura para preservar sua integridade, e por isso devem ser transportados em carroceria do tipo baú refrigerado.
- Carga Unitizada: é aquela transportada por meio de Unidade de Carga, conhecida internacionalmente como contêiner. Unitização é a operação física de colocação de um ou de volumes diversos em uma unidade de carga,
- Carga viva: trata-se da locomoção de espécies vivas, isto é, animais como suínos e bovinos. Sendo uma carga bastante específica, é necessário usar carrocerias fechadas, como a boiadeira, que conta com entradas de ar, garantindo que o animal tenha uma boa ventilação.
- Veículos: constituem carros e motos os quais são transportados por caminhão cegonha.

O tipo de carroceria mais utilizado em todas as categorias é a carroceria aberta, que permite o transporte de carga seca ou carga geral, oferecendo maior flexibilidade para se movimentar grande variedade de produtos. Entretanto, outros tipos de veículos podem ser utilizados de acordo com as especificações da carga transportada, como carroceria baú, carretas tanque, pranchas, etc. O que demonstra a íntima relação carga-veículo, sendo a tipologia da carga decisiva para a tomada de decisão de qual carreta utilizar.

A Lei nº 10.233, de 5 de junho de 2001, ao promover uma reestruturação no setor federal de transporte, estabeleceu, em seu artigo 22, inciso VII, competência à ANTT para regulamentar o transporte de produtos perigosos em rodovias e ferrovias, estabelecendo padrões e normas técnicas complementares relativos a esse tipo de operação.

Segundo Bertelli (2015), às cargas perigosas podem ser entendidas como gases, explosivos, líquidos e sólidos inflamáveis, químicos, corrosivos e materiais radioativos. Para que esses materiais possam ser mobilizados de forma adequada e segura, não só o motorista deve ser capacitado para efetuar a movimentação da carga, mas o veículo também precisa ser inspecionado e seguir determinados requisitos. É obrigatório portar nota fiscal com as informações do produto, declaração do expedidor sobre o acondicionamento adequado, ficha de emergência e envelope para transporte, emitidos pelo fornecedor e usados em caso de acidentes.

Além disso, Bertelli (2015) ressalta a importância de possuir nesses transportes equipamentos para situações de emergência, sempre levando em conta o tipo do produto, bem como equipamentos de proteção individual (EPIs) para uso do condutor e do auxiliar, em casos de acidente, derrames, entre outros.

Na indústria de serviços de óleo e gás, foco deste trabalho, a maioria das cargas transportadas são unitizadas, porém não se restringe a este tipo, havendo também cargas explosivas para canhoneio dos poços de petróleo, radioativas e químicas para testes e estimulação dos poços. Os contentores utilizados na empresa abordada neste estudo serão descritos na seção 4.1.4.

2.2 Logística no setor petrolífero

Atualmente a logística tem se tornado uma área de conhecimento extremamente importante para o segmento de óleo e gás, devido a alta de demanda de serviços de suporte às operações petrolíferas. Além disso, quanto ao fator financeiro, os custos logísticos envolvidos neste segmento do mercado são muito elevados, devido ao grande fluxo de pessoas, materiais e serviços requeridos por essa indústria (ARES, 2013).

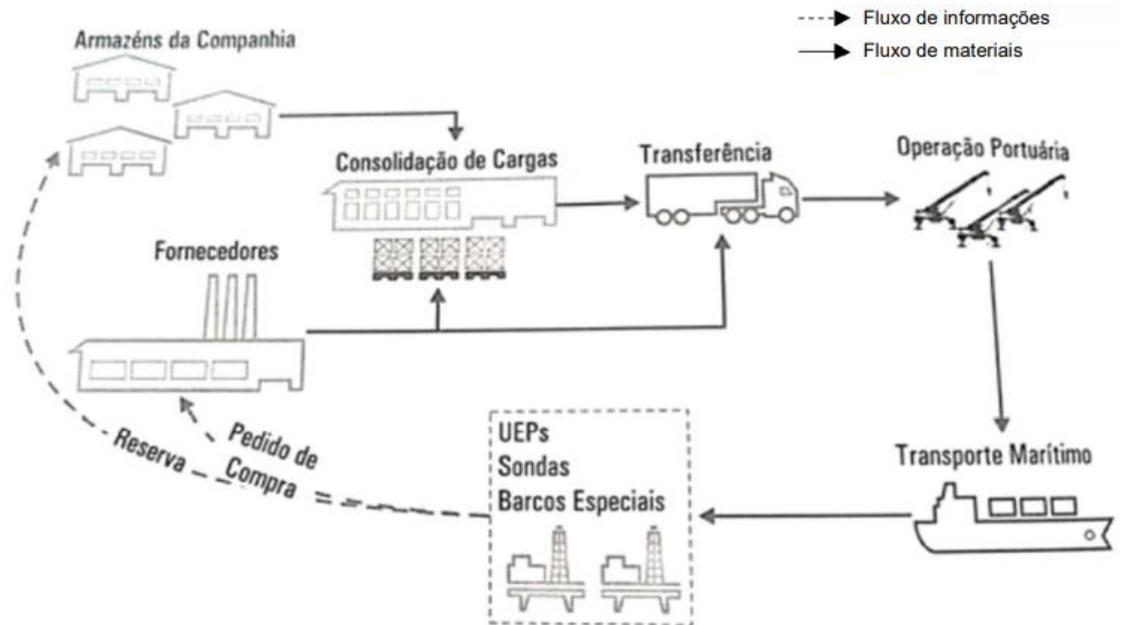
A exploração e produção de petróleo em alto mar implica em grandes desafios para a logística *offshore*, são eles: grande número de *players* em diferentes continentes, grandes distâncias percorridas que acabam por elevar o *lead time*, custos de transporte e armazenamento de estoques, ambiente sujeito a eventos inesperados (condições climáticas, marés, ventos, etc), dentre outros (BRANSKI; ESTEVES, 2018).

Por estes motivos, é de máxima importância que o projeto dos poços de petróleo possa ser bem planejado e executado, levando em consideração todas as etapas da cadeia de suprimentos. Assim, faz-se possível oferecer um elevado nível de serviço às unidades marítimas, com a utilização ótima dos ativos necessários à operação.

Para Ferreira Filho (2016), o fluxo do processo da logística *offshore* compreende fluxos de materiais e informações e se inicia pela demanda das Unidades de Exploração e Produção (UEPs) por insumos. Esta demanda gera pedidos de compra para fornecedores nacionais e internacionais que são entregues nos armazéns das companhias. Em seguida, os pedidos são transformados em requisições de transporte que iniciam o processo de mobilização dos materiais para as sondas. As cargas são unitizadas, carregadas em veículos apropriados e

transferidas até o terminal portuário, onde serão embarcadas em navios que disponibilizarão os insumos nas unidades marítimas. A Figura 3 apresenta um esquema generalista do processo.

Figura 3– Sistema Logístico offshore

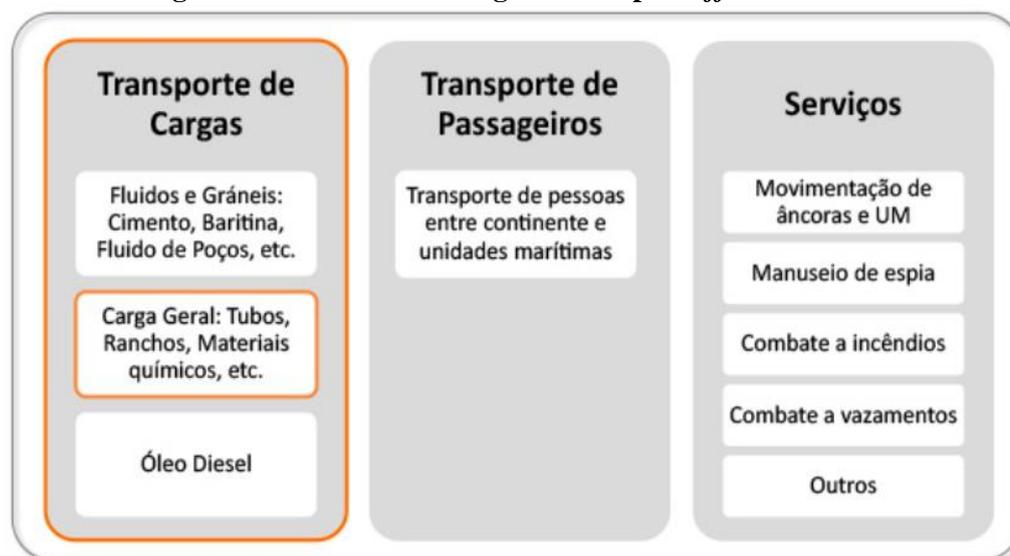


Fonte: Ferreira Filho (2016)

De todo o material enviado para as plataformas cerca de 75% retorna para as bases (MORAIS, 2013). O que indica que apenas 25% são consumíveis que não retornam e que o fluxo de materiais e pessoas ocorre tanto no sentido de embarque como de desembarque, também conhecido como *backload*. Neste sentido, os transportes realizados atendem esta via de mão dupla, enviando e recebendo recursos.

Segundo Ares (2013), a logística de apoio *offshore* pode ser dividida em três grandes áreas, como esquematiza a Figura 4:

Figura 4– Subdivisão da Logística de apoio *offshore*

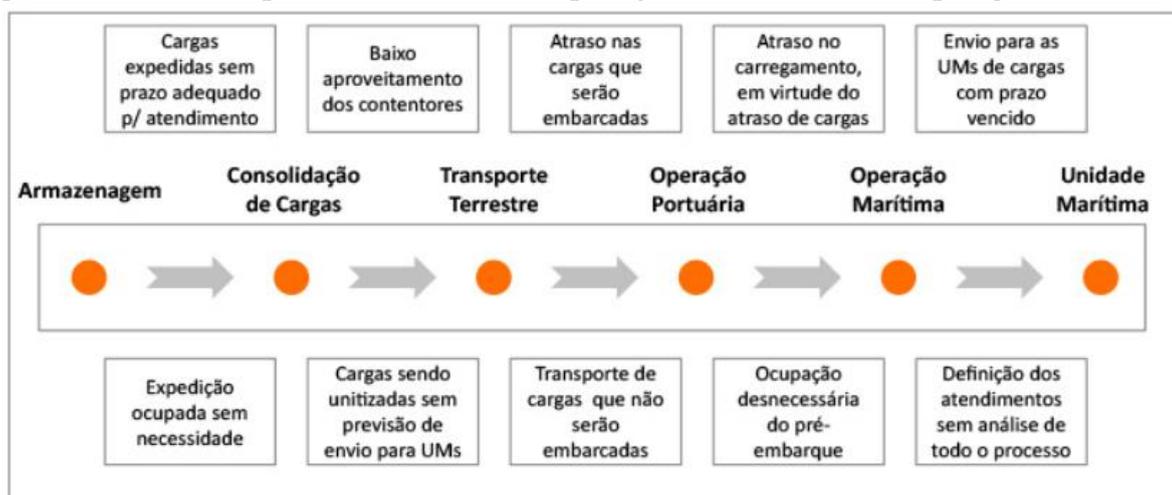


Fonte: ILOS (2013)

- **Logística de Cargas:** é responsável por movimentar e disponibilizar todo tipo de carga para a operação de perfuração e produção de petróleo das unidades marítimas. Os tipos de cargas podem ser gerais (tubos, ferramentas, equipamentos submarinos, etc), alimentos, grãos sólidos e líquidos (cimento, produtos químicos, bentonita, fluidos de poços, etc) e óleo diesel.
- **Logística de Pessoas:** cuida do embarque e desembarque de pessoas entre o continente e as unidades marítimas. Esta movimentação é feita através do modal aéreo, especificamente por helicópteros, e tem grande foco na segurança dos envolvidos.
- **Serviços:** trata-se de embarcações prestadoras de serviço às sondas de produção e perfuração. Estes serviços variam desde a movimentação de âncoras até combates a incêndios e vazamentos.

Como pode ser observado, a operação logística apresenta processo extenso e financeiramente dispendioso. Caso seu planejamento ocorra de forma descentralizada podem ocorrer gargalos no processo, impactando diretamente na lucratividade das operações com o aumento dos custos logísticos. Para que esses desvios sejam mitigados é fundamental que exista um setor de Planejamento e Controle que visualize o processo como um todo, de modo a integrar e sincronizar todos os elos da cadeia (ARES, 2013). A Figura 5 demonstra possíveis falhas na logística *offshore*.

Figura 5- Ineficiências provenientes da falta de planejamento e controle da operação



Fonte: ILOS (2013)

Desvios nos processos logísticos podem gerar prejuízos irreversíveis para as operações, como paradas de produção não programadas e atrasos no cronograma de perfuração de um poço. Estes impactos causam custos da má qualidade impostos pelos clientes, podendo ocasionar em multas e redução das receitas previstas.

Ademais, sondas de petróleo paradas geram tempo não produtivo ou, do inglês, NPT (*Non Productive Time*). As consequências do NPT são diversas, como a perda da extração dos barris de petróleo, formação de hidratos na tubulação de produção e todas as despesas que continuam sendo geradas mesmo que a sonda esteja inoperante. Deste modo, um gerenciamento eficiente da logística é de suma importância para a sobrevivência das companhias de petróleo neste mercado tão competitivo.

2.3 Programação Binária e Inteira

A pesquisa operacional (do inglês, *Operational Research*) foi desenvolvida na década de 1940 na Inglaterra durante a Segunda Guerra Mundial, para a solução de problemas de natureza logística, tática e de estratégia militar. O avanço da Pesquisa Operacional foi possível graças ao aumento da velocidade de processamento e quantidade de memória dos computadores nos últimos anos. Atualmente, engloba diversas técnicas a fim de auxiliar a tomada de decisão em diversos segmentos industriais e comerciais, como a programação linear e a teoria das filas (BELFIORE E FÁVERO, 2013).

Segundo Belfiore e Fávero (2013), as ferramentas da pesquisa operacional podem ser

resumidas conforme o Quadro 4.

Quadro 4– Classificação das ferramentas da Pesquisa Operacional

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

Fonte: Adaptado de Belfiore e Fávero (2013)

Uma importante área de conhecimento dos modelos determinísticos é a Programação Binária e Inteira, também conhecida como otimização discreta, que consiste em uma extensão da programação linear na qual as variáveis podem ser binárias ou inteiras, respectivamente. O problema de programação inteira ocorre quando todas as variáveis de decisão do modelo são discretas, já nos casos em que as variáveis de decisão são binárias, isto é, 0 ou 1, tem-se um problema de programação binária.

Segundo Arenales (2007), estes modelos têm vasta aplicação na indústria de energia, transportes, telecomunicações, circuitos eletrônicos, biologia molecular, finanças, etc. A principal característica das variáveis discretas é decidir se um produto será fabricado ou não em um período, escolher o melhor local, determinar a melhor rota de distribuição, dentre outras aplicações. O Problema da Mochila, que será abordado na seção 1.6.1, trata-se de um problema de programação binária ($x \in B^n$), no entanto pode ser formulado como um problema de programação inteira, desde que a variável de decisão x_j corresponda ao número de objetos do tipo j alocados na mochila (pode-se levar mais de um objeto do mesmo tipo) (BELFIORE E FÁVERO, 2013).

2.3.1 Problema da Mochila

Segundo Arenales (2007), uma mochila pode ser entendida como uma espécie de saco

que permite carregar itens pessoais. Problemas da mochila envolvem a escolha de itens a serem colocados em uma ou mais mochilas, respeitando suas limitações, buscando-se maximizar uma função objetivo que expresse determinada utilidade.

O problema da mochila encontra-se inserido nos problemas de corte e empacotamento (do inglês, *cutting and packing* – C&P), que são considerados clássicos dentro da pesquisa operacional, devido sua alta complexidade tanto matemática como computacional (MARTÍNEZ, 2014). A tipologia e as características dos problemas de C&P podem ser observados na Figura 6.

Figura 6– Tipologia dos problemas de C&P

Características	Tipos
Dimensão	<ul style="list-style-type: none"> • 1-Dimensão • 2-Dimensões • 3-Dimensões • N-Dimensões, $N > 3$.
Tipo de Alocação	<ul style="list-style-type: none"> • Todos os objetos e uma seleção dos itens. • Uma seleção dos objetos e todos os itens.
Arranjo dos objetos grandes	<ul style="list-style-type: none"> • Um objeto. • Tipos idênticos. • Diferentes tipos.
Arranjo dos itens pequenos	<ul style="list-style-type: none"> • Poucos itens (de diferentes formatos). • Muitos itens de vários formatos diferentes. • Muitos itens de poucos diferentes formatos (não congruentes). • Formatos congruentes.

Fonte: Martínez (2014)

Os problemas de empacotamento apresentam uma alta complexidade matemática (não polinomial), sendo considerados *NP-Hard* num sentido forte. Esta característica foi comprovada quando Garey e Johnson (1979) e Martello et al. (2003) provaram que o problema da mochila de uma dimensão é *NP-Hard*. Enquadrar-se nesta categoria de problemas não significa que seja impossível de se resolver, mas que deve-se propor algoritmos de solução que explorem a modelagem matemática de forma eficiente, a fim de se encontrar soluções à maioria das instâncias do problema em tempos de execução relativamente razoáveis.

Martínez (2014) considera que os problemas de corte e empacotamento são de grande interesse tanto para o segmento acadêmico como industrial. O avanço nas pesquisas sobre este tema beneficia empresas de corte de madeira, papel, metal, tecido e vidro, indústrias do

transporte e armazenamento de materiais dentro de caminhões e contêineres. Empregar tal modelo a estas indústrias permite maximizar o uso de matérias primas, fator que incide diretamente no custo final do produto, bem como maximizar a área utilizada em veículos, reduzindo o frete pago.

Ainda para Martínez (2014), às pesquisas nas áreas de pesquisa operacional e engenharia de produção têm sido fomentadas devido ao grande interesse por metodologias que apresentem soluções para os problemas de corte e empacotamento. Objetivando desta forma, modelos matemáticos e algoritmos que melhorem cada vez mais o desempenho tanto em qualidade como em tempo de resposta computacional, e a incorporação de restrições práticas que representem situações reais na indústria.

A primeira menção ao Problema da Mochila foi feita por Dantzig (1957), que exemplificou o problema da seguinte forma: uma pessoa planeja uma viagem sem poder carregar mais do que 70 libras de diferentes itens, tais como comida, roupas, utensílios, etc. Cada item possui um peso e um valor de utilidade determinado. O objetivo do viajante é levar consigo em sua mochila os itens “mais úteis possíveis” (soma linear das utilidades dos itens selecionados).

Conforme modelou Dantzig (1957), considere n itens, sendo l_j o peso do j -ésimo item e u_j o valor (utilidade) de tal item. Considere também a capacidade L da mochila, que no exemplo de Dantzig era de 70 libras e a variável de decisão binária x_j , onde $x_j = 1$ se o j -ésimo item é selecionado, e $x_j = 0$ caso contrário. Este modelo também é conhecido como problema da mochila 0-1 e o objetivo é maximizar a função objetivo abaixo:

$$\max \sum_{j=1}^n u_j x_j \quad (1)$$

Sendo:

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{se o item } j \text{ é alocado na mochila} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n l_j x_j \leq L \quad (2)$$

$$x \in B^n \quad (3)$$

A **Error! Reference source not found.** representa a soma das utilidades dos itens que são alocados na mochila. Já a **Error! Reference source not found.** garante que a capacidade física não seja desrespeitada, isto é, a soma dos pesos dos itens alocados não deve ultrapassar a capacidade L da mochila. A **Error! Reference source not found.** representa o tipo de variáveis, neste caso, binárias.

Estes problemas podem ser subdivididos em uma “família” de problemas da mochila de acordo com cada objetivo e peculiaridade, como o Problema da Mochila 0-1, mochila inteira, múltiplas mochilas, *bin packing*, entre outros (ARENALES et al, 2007).

O *bin packing problem* (BPP), por exemplo, possui diversas aplicações práticas, como: carregamento de itens em contêiner, carregamento de caminhões, agendamento de turnos de trabalho, gravação de dados em mídias removíveis, dentre outros (BRANDÃO; PEDROSO, 2012). Consequentemente, muitas variações do problema original são propostas na literatura; sendo uma delas a inclusão da restrição de incompatibilidade de itens na mesma mochila.

Este trabalho se limita a uma das variações do problema original, o problema de *bin-packing* bidimensional com frota heterogênea, ou do inglês *bidimensional variable sized bin-packing problem* (2VSBPP). Essa formulação trata da distribuição física de itens em diferentes veículos visando minimizar o frete total e é encontrada em situações práticas de logística e transporte de cargas (CUNHA E REIS, 2015).

2.3.2 Bin Packing Problem

Nessa seção, objetiva-se apresentar a modelagem e as características do *Bin Packing Problem*, problema que será chamado de *Bin Packing* neste trabalho. É de grande importância explicitar este conceito pois é a base do modelo que será utilizado posteriormente.

De acordo com Inajeros Filho (2015), o *Bin Packing* consiste em empacotar itens em mochilas, respeitando suas capacidades, com a finalidade de alocar todos os itens utilizando o menor número de mochilas possível. A diferença deste modelo para outros problemas da mochila, é que neste caso trata-se de um problema de minimização da quantidade de mochilas utilizadas, enquanto os demais visam maximizar a utilidade que dependerá de cada item a ser escolhido.

A modelagem clássica do *Bin Packing* apresentada por Martello e Toth (1997) é dada

por: sejam n mochilas e n itens, deve-se incluir todos os itens na menor quantidade de mochilas. No *Bin Packing*, todas as mochilas tem a mesma capacidade, neste caso L . A variável x_{ij} assume o valor 1 caso o item j seja alocado na mochila i , e 0 caso contrário. A variável l_j representa os pesos individuais de cada item a ser empacotado. Já a variável $y_i = 1$ se a mochila i é utilizada e 0 caso não seja. Deste modo, considere a função objetivo de minimização como segue:

$$\min \sum_{i=1}^n y_i \quad (4)$$

Onde:

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{se a mochila } i \text{ é usada} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se o item } j \text{ é alocado na mochila } i \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n l_j x_{ij} \leq L y_i, \text{ para } i = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \text{ para } j = 1, \dots, n \quad (6)$$

$$y_j \in \{0,1\}, \text{ para } j = 1, \dots, n \quad (7)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \text{ para } i, j = 1, \dots, n \quad (8)$$

A função objetivo 4 minimiza o número de mochilas utilizadas. Note que o limitante superior ao número de mochilas é igual ao número de itens n . Já a restrição 5, impõe que se a mochila i é utilizada, então sua capacidade L não pode ser violada. A restrição 6 assegura que cada item j é colocado em uma única mochila. Por fim, as restrições 7 e 8 indicam o tipo de variáveis.

Golden (1976), um dos pioneiros no estudo dos problemas de empacotamento, aborda a relevância do estudo do *bin packing* no planejamento da produção de diversos segmentos industriais, pois é um problema que visa minimizar os efeitos negativos gerados pelo desperdício de materiais e também são relevantes no contexto de atividades como armazenagem, movimentação e transporte, visando minimizar capacidades ociosas. Ademais, as variações bidimensionais e tridimensionais do *bin packing* permitem maior especificidade e

robustez nas questões de carregamento de contêineres, beneficiando ainda mais os setores logísticos das companhias.

2.3.3 Bin Packing para frota heterogênea 2-VSBPP

O problema da Mochila bidimensional com frota heterogênea surge de problemas de corte e empacotamento, especialmente na aplicação de carregamento de contêineres. Em sua formulação original trata-se de um problema de otimização inteira não-linear, e até então este problema tem sido resolvido através de heurísticas de decomposição (INAREJOS FILHO, 2015).

Existem critérios e restrições adicionais que podem ser incluídos ao modelo, principalmente quanto aos itens. Em determinados casos, produtos alimentícios não podem ser carregados juntos com químicos, cargas radioativas não devem ser transportadas com equipamentos comuns, por exemplo. Nos problemas bidimensionais as peças (também chamadas de itens) se definem como pequenos retângulos, os quais devem ser localizados fisicamente sobre objetos retangulares de um tamanho maior chamados mochilas ou *bins*, respeitando a capacidade de cada tipo de *bin*. Neste estudo não se consideram as restrições de orientação das peças, ou seja, não é permitido a rotação dos itens (MARTÍNEZ, 2014).

O 2-VSBPP é utilizado quando duas dimensões do objeto são relevantes no processo de corte ou empacotamento. Esse problema consiste basicamente em cortar ou empacotar os objetos para produzir ou arrumar os itens de maneira a atender a demanda associada a eles otimizando alguma função objetivo que podem ser, a maximização do lucro ou a minimização da perda ou resíduo de material (CHEN et al, 1995).

O *bin packing* bidimensional com *bins* heterogêneos (2-VSBPP) permite a utilização de diferentes tipos de veículos (*bins*), com diferentes custos e capacidades associadas. Além disso, demanda o carregamento de itens distintos, com seus próprios pesos e tamanhos, sendo necessária a análise em duas instâncias do problema, peso e volume (MARTÍNEZ, 2014).

O modelo pode ser descrito da seguinte forma: considere $j = 1, \dots, n$ objetos com seus respectivos pesos w_j^1 e volumes w_j^2 , e $i = 1, \dots, m$ *bins* ou mochilas, para os quais são conhecidos seus custos c_i e suas capacidades em peso b_i^1 e volumétrica b_i^2 . O objetivo é determinar a alocação dos n objetos aos m *bins*, de modo a minimizar o custo total dos *bins* utilizados, e respeitando as restrições de capacidade de cada tipo de *bin*. Pode-se assumir, sem perda de

generalidade, que todos os objetos possuem um tamanho inferior à capacidade do menor *bin* e que o número de bins disponíveis seja o suficiente para assegurar a viabilidade do problema. Definem-se ainda as seguintes variáveis de decisão, $x_{ij} = 1$ quando o item é alocado ao *bin* i , e recebe o valor zero caso contrário; y_i também é uma variável binária e assume o valor 1 se o *bin* i é utilizado na solução, e zero caso contrário. (REIS; CUNHA, 2015)

Deste modo, a modelagem matemática do 2-VSBPP pode ser escrita da seguinte forma:

$$\text{Min } \sum_{i=1}^m c_i y_i \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j^1 x_{ij} \leq b_i^1 y_i \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j^2 x_{ij} \leq b_i^2 y_i \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (12)$$

$$x_{ij} \in [0,1] \quad \forall i = 1, \dots, m \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (13)$$

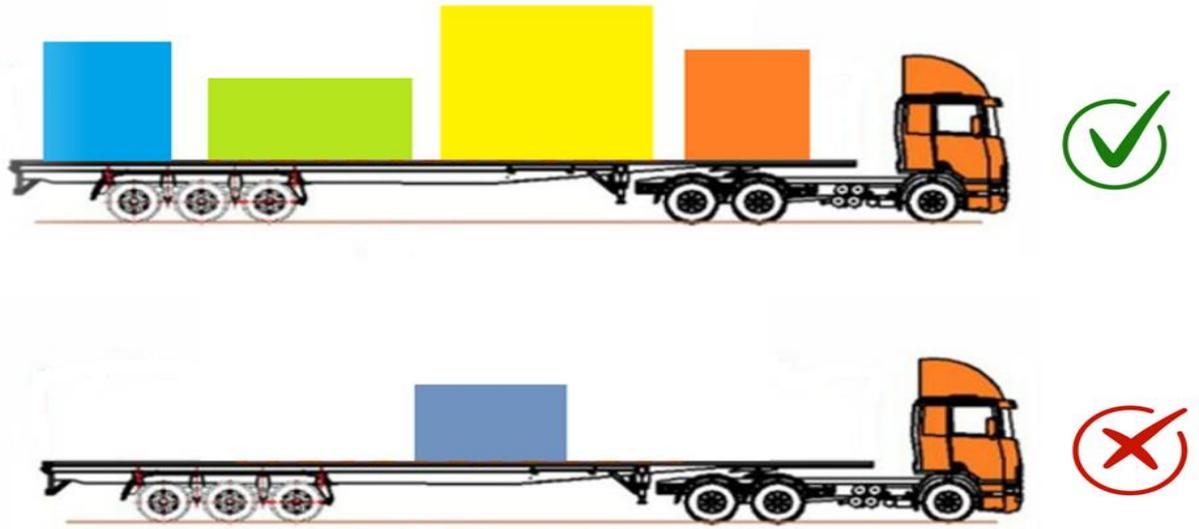
$$y_i \in [0,1] \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (14)$$

A função objetivo 9 visa minimizar o custo total de veículos (*bins*) a serem utilizados em determinado plano de carregamento. A restrição 10 assegura que a capacidade de peso de cada veículo não seja violada. A restrição 11 garante que a capacidade volumétrica de cada veículo não seja desrespeitada. A restrição 12 impõe que cada objeto j deve ser alocado em exatamente um veículo. Por fim, as restrições 13 e 14 asseguram a integralidade das variáveis de decisão (REIS; CUNHA, 2015).

A aplicação do 2-VSBPP é de grande relevância pois otimiza a quantidade de veículos utilizados, reduz os custos logísticos envolvidos e aumenta o aproveitamento físico de cada *bin*. Geralmente, quando maior e mais específico o veículo demandado, maior é o custo para sua contratação, principalmente se houver subutilização de carregamento. Nesta linha de pensamento, Bowersox e Closs (2001) afirmam que o princípio da economia de escala determina que quanto maior a capacidade de transporte de um veículo e também quanto maior sua utilização, maior será a economia na operação. A técnica de consolidação de cargas é

ilustrada na Figura 7.

Figura 7– Princípio da Consolidação de Cargas



Fonte: Autoria Própria

Como o 2-VSBPP é *NP-Hard*, ou seja, possui alta complexidade computacional e não pode ser resolvido em tempo polinomial, os trabalhos disponíveis na literatura adotam heurísticas ou meta-heurísticas para sua resolução. O termo heurística vem do grego e significa descobrir. Uma heurística pode ser definida como um procedimento de busca guiada pela intuição, por regras e ideias, visando encontrar uma boa solução. Já a meta-heurística representa uma combinação de procedimentos de busca com estratégias de mais alto nível, incluindo intensificação e diversificação, buscando escapar de ótimos locais com o intuito de encontrar soluções muito próximas do ótimo global, porém sem a garantia da otimalidade. (BELFIORE E FÁVERO, 2013). Alguns exemplos de heurísticas e meta-heurísticas são: busca decomposta, *Next-Fit* (NF), *First-Fit* (FF), etc.

Neste trabalho, como o tempo de execução do algoritmo não é de grande relevância, a resolução do 2-VSBPP será realizada de modo exato, sem a utilização de heurísticas, através da linguagem de programação Python aliada ao pacote de otimização denominado ORTOOLS, da Google.

2.3.4 Python e ORTOOLS como ferramentas de solução

Segundo Arenales (2007), existem diversos tipos de linguagens computacionais populares como GAMS, AMPL, MPL, AIMMS, OPL, LINGO, etc que permitem escrever

modelos de programação linear e não linear em um formato próximo a notação algébrica. As empresas que idealizadoras destas linguagens desenvolvem pacotes de otimização como o CPLEX e o LINDO. Estas linguagens permitem que os usuários concentrem a atenção na modelagem, reduzem fontes de erros, aceleram o desenvolvimento do modelo e facilitam a compreensão e possíveis modificações.

Com o advento da ciência de dados, a linguagem Python vem crescendo no mercado, sendo uma das mais utilizadas atualmente. Códigos em Python para otimização estão sendo cada vez mais recorrentes, devido a linguagem amigável, possibilidade de colaboratividade e aos pacotes como o PUPL e o OR-Tools.

A linguagem de programação Python foi criada no início dos anos de 1990 por Guido van Rossum nos Países Baixos e desde a sua primeira versão a linguagem tem código aberto. Atualmente, a linguagem é desenvolvida com a contribuição de várias pessoas e é mantida pela Python Software Foundation (PFS, 2010). Pesquisas recentes mostram que Python está se tornando a linguagem mais popular da atualidade (The Economist, 2018).

OR-Tools é definido como um pacote de software de código aberto para otimização, ajustado para enfrentar os problemas mais difíceis do mundo em roteamento de veículos, fluxos, programação inteira e linear e programação de restrição (OR-TOOLS, 2021).

Portanto, neste trabalho, escolheu-se utilizar a linguagem de programação Python aliada ao pacote de otimização ORTOOLS, devido a sua versatilidade e fácil utilização. Essas duas ferramentas juntas permitem: clareza de código e modelagem de alto nível, alto desempenho e extensibilidade e configurabilidade.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste tópico será apresentada a metodologia escolhida para este estudo, como também será feita uma contextualização da empresa analisada, apresentando suas linhas de serviço e funções de suporte a fim de demonstrar esquematicamente a hierarquia organizacional.

3.1 Estudo de Caso

De acordo com Gil (2002), o processo de pesquisa é racional e sistemático e objetiva proporcionar respostas para os problemas que estão em análise. Para ele, a identificação do tipo de pesquisa que deverá ser realizada é um passo fundamental, visto que fornece um caráter estrutural e científico ao estudo. Segundo Gerhardt e Silveira (2009), a metodologia é o estudo dos caminhos (métodos) a serem percorridos para se realizar uma pesquisa, isto é, para fazer ciência. Estes métodos permitem um melhor entendimento do objeto analisado e a formulação de conclusões para atingir os objetivos propostos.

Neste trabalho a metodologia de pesquisa utilizada é o estudo de caso, que tem por finalidade avaliar ou descrever situações dinâmicas onde o elemento humano está presente. Para Yin (2015), o estudo de caso é uma metodologia desafiadora pois deve ser executada de forma rigorosa para que sejam obtidos dados satisfatórios. Além disso, a ferramenta aplica-se quando uma pergunta “como” ou “por que” está sendo feita sobre um conjunto de eventos atuais, os quais o pesquisador tem pouco ou nenhum controle.

O estudo de caso é um trabalho de caráter empírico que investiga um dado fenômeno dentro de um cenário real contemporâneo por meio de análise aprofundada de um ou mais objetos de estudo, denominados casos (CAUCHICK; SOUSA, 2012). É, portanto, um dos métodos de pesquisa mais utilizados atualmente, que permite a observação de um caso real, a formulação de teoria, coleta e análise dos dados e geração de relatório contendo os resultados.

Gerhardt e Silveira (2009) afirmam que as pesquisas, quanto sua abordagem, podem ser classificadas em qualitativas e quantitativas. As pesquisas qualitativas preocupam-se majoritariamente por descrever os aspectos da realidade que não podem ser quantificados. Em contrapartida, a pesquisa quantitativa é centrada na objetividade, atentando-se a representatividade numérica e linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno.

Em virtude disto, este trabalho trata de um estudo de caso único realizado numa empresa

multinacional de serviços no setor de óleo e gás, objetivando descrever os procedimentos adotados pelo setor de Transportes de Carga. Pode-se classificar este estudo como predominantemente quantitativo pois se baseia em dados numéricos e se caracteriza pela formulação de um modelo matemático que busca gerar uma solução ótima para o problema carregamento de frota heterogênea.

3.2 Contextualização da Empresa

A Empresa Y deste estudo de caso é uma multinacional centenária e de grande destaque para a indústria de Óleo e Gás. É uma das principais prestadoras de serviços e produtos para os campos petrolíferos de todo o globo. Atualmente conta com cerca de quarenta mil funcionários que representam mais de 130 nacionalidades e atua em 70 países. Neste estudo de caso, a planta analisada é localizada na cidade de Macaé, situada na região Norte Fluminense do estado do Rio de Janeiro, Brasil.

Buscando maximizar seus locais de atuação, a companhia divide-se na seguinte estrutura regional: Golfo do México (GOM), América Latina (LATAM), América do Norte (NAL), Oriente Médio e África do Norte (MENA), Ásia Pacífico (AP) e Eurásia, Europa e África Subsaariana (EESSA). A representação pode ser vista na Figura 8.

A multinacional atua na indústria petrolífera com produtos e serviços através de linhas de serviços (*Product and Service Lines - PSL's*) pertencentes aos segmentos de Perfuração e Avaliação e Completação e Produção. Os PSLs e suas descrições são demonstradas na Quadro 5.

Figura 8– Locais de atuação global da Empresa Y
Western Hemisphere Eastern Hemisphere



Fonte: Empresa Y

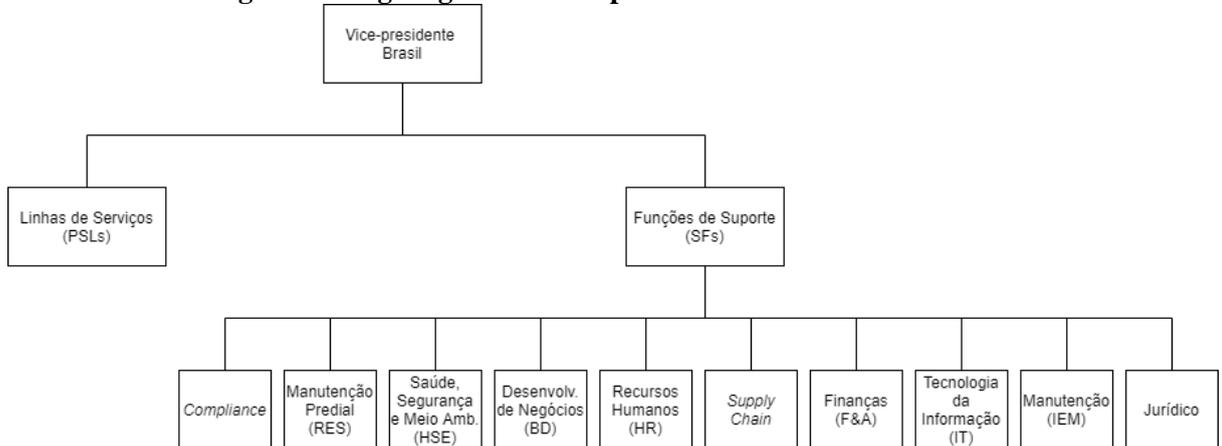
Quadro 5– Linhas de Serviço e descrição de suas atividades

Perfuração e Avaliação	
Baroid	Fornece sistemas de fluido de perfuração, aditivos de desempenho, controle de sólidos e serviços de gerenciamento de resíduos para perfuração de petróleo e gás, completação e operações de <i>workover</i> .
Drill Bit and Services	Fornece brocas de rocha cônica, brocas cortadoras fixas e ferramentas de fundo de poço relacionadas usadas na perfuração de poços de petróleo e gás. Além disso, equipamentos e serviços de testemunhagem são fornecidos para adquirir testemunhos da formação perfurada para avaliação.
Landmark	É o provedor líder de soluções de tecnologia de dados e análises, ciência, software e serviços para a indústria de exploração e produção de petróleo e gás.
Sperry Drilling	Fornece sistemas e serviços de perfuração. Esses serviços incluem perfuração direcional e horizontal, medição durante a perfuração, perfilagem durante a perfuração, sistemas multilaterais, aplicações subequilibradas e sistemas de informação do local da sonda.
Testing and Subsea	Fornece aquisição e análise de informações dinâmicas de reservatório e soluções de otimização de reservatório usando ferramentas de teste de fundo de poço, serviços de aquisição de dados usando telemetria e gravação de memória eletrônica, amostragem de fluido, teste de poço de superfície, sistemas de segurança submarinos e serviços de engenharia de reservatório.
Wireline and Perforating	Inclui serviços de wireline de furo aberto que fornecem informações sobre avaliação de formação, incluindo resistividade, porosidade e densidade, mecânica de rocha e amostragem de fluido. Os serviços de perfuração incluem serviços e produtos de perfuração transportada por tubos. Os serviços sísmicos de sondagem incluem análise de fratura e mapeamento.
Consulting and Project Management	Fornece gerenciamento de projetos de campos petrolíferos e soluções integradas para empresas petrolíferas independentes, integradas e nacionais.
Completção e Produção	
Cementing	Os serviços deste PSL envolvem ligar o poço e o revestimento do poço enquanto isola as zonas de fluido e maximiza a estabilidade do poço. Além disso, fornece equipamentos de revestimento.
Completion Tools	Oferece soluções de completação projetadas com boa relação custo-benefício que atendem aos requisitos dos clientes com tecnologia específica e qualidade de serviço diferenciada. É fornecido uma gama completa de soluções e serviços de fundo de poço para os clientes completarem seus poços, incluindo produtos e serviços convencionais de completação, completações inteligentes, sistemas de suspensão de liner, sistemas de controle de areia, ferramentas de serviço de poço e sistemas multilaterais.
Production Enhancement	Inclui serviços de estimulação, bombeamento de controle de areia, mapeamento de fratura microssísmica Pinnacle e monitoramento de reservatório, vasos de estimulação e serviços de nitrogênio.
Artificial Lift	Oferece três métodos de elevação - bombas submersíveis elétricas (ESPs), bombas de cavidade progressiva (PCPs) e bombas de haste de superfície (SRPs), incluindo os pacotes de superfície associados para energia, controle e monitoramento de todo o sistema de elevação.
Multi-Chem	É o PSL que fornece produtos químicos de produção, desenvolve soluções personalizadas para resolver problemas como gerenciamento de integridade, garantia de fluxo, recuperação aprimorada de óleo e gás, uso e reutilização de gerenciamento de água, fraturamento e tratamentos de dutos.
Pipeline & Process Services	Opera globalmente fornecendo uma gama completa de serviços de pré-comissionamento, comissionamento, manutenção e descomissionamento para as indústrias de construção, comissionamento e manutenção de dutos e plantas de processo, tanto onshore quanto offshore.
Production Solutions	Aumenta o desempenho do poço por meio de soluções de intervenção personalizadas e execução confiável, com o auxílio da frota de flexitubo e unidades de trabalho hidráulico (HVVO).

Fonte: Empresa Y

Além das linhas de serviço, a companhia conta com funções de suporte, que visam apoiar os PSLs nas atividades cotidianas a fim de entregar resultados ao cliente final, são elas: Finanças (F&A), Recursos Humanos (HR), *Supply Chain*, Tecnologia da Informação (IT), setor de Saúde, Segurança e Meio Ambiente (HSE), Desenvolvimento de Negócios (BD), Comunicação e Marketing, dentre outras. Tanto as linhas de serviço (PSL) quanto às funções de suporte (SF) no Brasil respondem ao vice presidente do país. A representação pode ser vista na Figura 9:

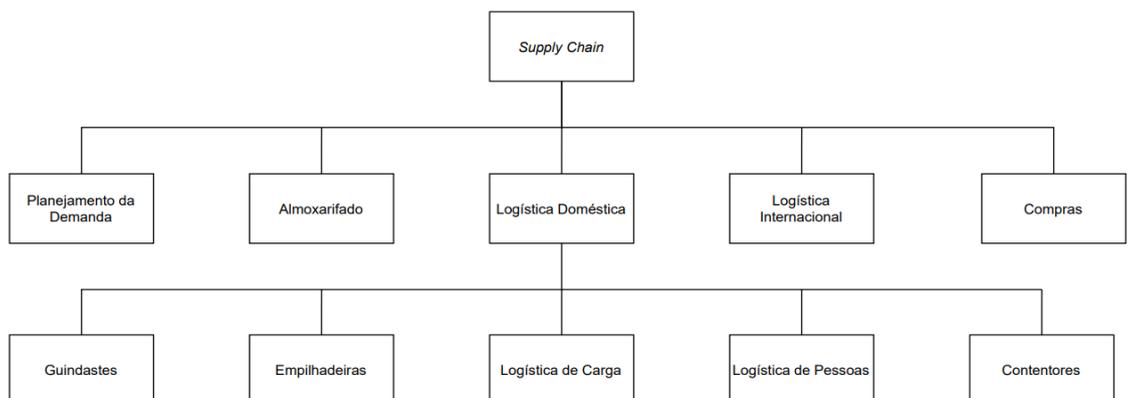
Figura 9– Organograma da Empresa Y no Brasil



Fonte: Empresa Y

Na função de suporte *Supply Chain*, inclui-se o segmento de Logística Doméstica, que é responsável por prover soluções de transporte e içamento de cargas para toda base de Macaé. Neste departamento existem algumas subdivisões: Logística de Carga, Logística de Pessoal, setor de Empilhadeiras, setor de Guindastes e gerenciamento de contentores. Sua representação está na Figura 10:

Figura 10– Organograma do setor Supply Chain da empresa Y



Fonte: Empresa Y

O foco deste estudo de caso está no departamento de Logística de Carga, mais precisamente na atividade de carregamento de carretas. O setor da Logística de Carga atende a todos os demais segmentos da empresa, principalmente aos PSLs e almoxarifado, provendo soluções de transporte de materiais entre fornecedores e clientes. Este setor é responsável pela emissão de toda documentação necessária às movimentações, determina o tipo de veículo a ser utilizado, inspeciona os carregamentos, avalia os custos logísticos de cada viagem e entrega ou coleta qualquer tipo de equipamento onde e quando necessário.

4 RESULTADOS

Esta seção será dividida em duas partes. Na primeira parte serão apresentados os dados obtidos na pesquisa de campo, isto é, como é feita a organização do setor de logística de transporte: o processo de transporte de cargas, a tipologia dos veículos e das cargas utilizadas, o gerenciamento dos custos logísticos e os indicadores de desempenho desenvolvidos pela companhia.

Na segunda etapa será apresentada a aplicação da modelagem matemática e computacional, demonstrando os dados de entrada do modelo, as restrições do problema e os recortes feitos, o modelo matemático obtido e o algoritmo proposto em linguagem estruturada.

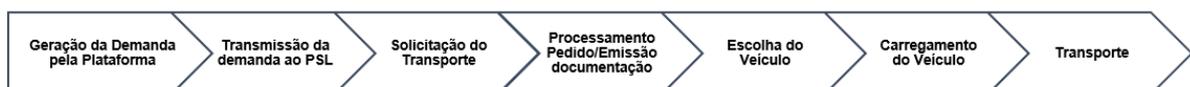
4.1 Setor de Logística de Transporte

O setor de logística de transporte é um dos segmentos chave para entrega de produtos e serviços aos clientes finais da companhia Y. Conforme observado no organograma da figura 10, a logística de transporte ou logística doméstica, possui 5 subdivisões sendo uma delas a logística de cargas. Esta área é responsável pelas movimentações de materiais da base operacional da empresa para aeroportos, portos, fornecedores, clientes, etc e será detalhada na próxima seção.

4.1.1 Processo de Transporte de Cargas

O processo de logística de carga se inicia através da demanda por algum recurso na plataforma que a empresa Y atende. Assim que esta demanda é identificada, a equipe do PSL é acionada para que a solicitação de transportes seja iniciada. O fluxo de processo é ilustrado pela Figura 11:

Figura 11– Fluxograma de Solicitação de Transporte



Fonte: Autoria própria

Cada PSL possui um ou mais funcionários designados para receberem esta demanda, interpretarem e transmitirem esta informação para a equipe de Logística de carga, estes funcionários são denominados *focal points*. Ao receberem a informação de quais materiais devem embarcar ou desembarcar, os *focal points* preenchem um formulário padrão de

- Dimensões e peso da carga;
- Data de embarque/desembarque;
- Valor do equipamento;
- Lacre e eslinga;
- Centro de Custo;
- Detalhamento de carga.

Estes dados devem ser inseridos na RT com a maior acuracidade possível, pois é sobre este documento que toda a mobilização dos equipamentos até chegar na sonda é feita. A RT não regula somente o transporte terrestre de cargas, mas também é utilizada no içamento das cargas para os navios e das embarcações para as sondas, com o auxílio de guindastes e outros instrumentos específicos. Qualquer erro no preenchimento da RT pode gerar inconvenientes como o atraso das operações, perda de embarcação (*No Show*) e até mesmo acidentes de trabalho.

Após a emissão da RT, os analistas geram as demais documentações, como notas fiscais de transporte, romaneios, agendamento de entrada no porto, e reúnem fichas de emergência (FE) e Fichas de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) no caso de produtos perigosos. Todos estes arquivos são encaminhados ao PSL e à empresa transportadora, para que os *stakeholders* tenham ciência e controle dos dados da movimentação. No momento do transporte, o motorista deve ter impresso todos os documentos, para que esteja em conformidade com a legislação imposta pela ANTT e possa apresentá-los em caso de barreiras da polícia rodoviária federal, balanças e pedágios.

Assim que os materiais são programados pelo cliente para embarque ou desembarque das plataformas, os especialistas criam um plano de alocação dos itens nas carretas, levando em conta três fatores: restrições de cada tipo de veículo, disponibilidade da transportadora e custos. Este plano é criado manualmente através do *Microsoft Excel*, de acordo com a *expertise* dos funcionários. Essa prática pode levar a desvios e não apresentar uma solução ótima de carregamento. Um plano de carregamento hipotético é apresentado na Figura 13:

Figura 13– Exemplo de plano de carregamento da empresa Y

DATA EMBARQUE	RT	ITEM	ORIGEM	DESTINO	DESCRIÇÃO	LACRE	C	L	A	PESO	QUANT	PSL	RID	VEICULO	NF-DT SAIDA
20/05/2020	639124586	1	P-76	PDOCAS	TANQUE CRIOGÊNICO TH-25 - 12821706		3.000	2.440	2.600	5000.00	1	HPS	10052744	CT-1	142
20/05/2020	639124586	2	P-76	PDOCAS	TANQUE CRIOGÊNICO TH-24 - 12821705		3.000	2.440	2.600	5000.00	1	HPS	10052744	CT-1	142
20/05/2020	639124586	3	P-76	PDOCAS	TANQUE CRIOGÊNICO TH-33 - 12821864		3.000	2.440	2.600	5000.00	1	HPS	10052744	CT-1	142
20/05/2020	639124586	4	P-76	PDOCAS	TANQUE CRIOGÊNICO TH-36 - 12821867		3.000	2.440	2.600	5000.00	1	HPS	10052744	CT-1	142
20/05/2020	639143318	1	NS40	PDOCAS	CONTAINER 804818-5 LINGADA: 702879-2	883	2.990	2.430	2.590	5722.00	1	SPERRY	10052744	CT-2	145
20/05/2020	639124586	5	P-76	PDOCAS	TANQUE CRIOGÊNICO TH-40 - 12821871		3.000	2.440	2.600	5000.00	1	HPS	10052744	CT-2	145
20/05/2020	639132748	1	P-76	PDOCAS	TANQUE CRIOGÊNICO TH-27 / 12821858		3.000	2.440	2.600	5000.00	1	HPS	10052744	CT-2	146
20/05/2020	639135292	1	SS75	PDOCAS	CONTAINER 510810-1 / 12311040	885	1.680	1.980	2.770	1948.00	1	BAROID	10052745	CT-2	146
20/05/2020	639127298	1	NS41	PDOCAS	CONTAINER 510773-3 ESLINGA 33427-5	12985	6.080	2.440	2.590	4578.00	1	BAROID	10052745	CT-3	322
20/05/2020	639127298	2	NS41	PDOCAS	CONTAINER 804880-0 ESLINGA 702487-8	12986	6.080	2.440	2.590	3800.00	1	BAROID	10052745	CT-3	323
22/05/2020	639165520	1	PDOCAS	SS77	CONTAINER DE SERVIÇO C-1413 12713803 ESLINGA: C-1413/1	94978	4.320	2.440	2.720	4760.00	1	HCT	10052911	TK-1	46

Fonte: Empresa Y

Uma vez que o veículo foi selecionado e se encontra disponível na área de carregamento a equipe da área de carga e descarga é acionada para dar início às inspeções na carga para assegurar conformidade com as normas de segurança e legislações. Em seguida, com o auxílio do setor de empilhadeiras e guindastes, são realizados os carregamentos dos veículos. Por fim, é feita a amarração da carga e inspeção visual para garantir que a carreta tem condições de seguir viagem. O motorista recebe as documentações e inicia o transporte no trajeto especificado.

4.1.2 O Processo de Gestão de Rotas

A base de Macaé da Companhia Y é a maior planta da empresa no Brasil, possuindo também locações nas cidades de Catu - BA e Mossoró - RN. A logística da base de Macaé atende as demandas das sondas petrolíferas em todo o território brasileiro, inclusive as demandas de transferências entre bases. As rotas acordadas em contratos com as transportadoras terceirizadas abrangem todo o país e são mais de 200 rotas predefinidas. Dessa maneira, foram analisados os dados em registro da Y em um período de doze meses, do mês de novembro de 2019 a outubro de 2020, e feito o levantamento das rotas mais utilizadas.

As principais rotas realizadas pela companhia neste período podem ser observadas na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4– Principais rotas entre 2019-2020

Rotas mais utilizadas	Porto	Distância Média (km)	Duração Média (h)	Quantidade de Viagens
MACAÉ - RJ X MACAÉ - RJ	PMAC/Urbano	Variável	Variável	4074
RIO DE JANEIRO - RJ X MACAÉ - RJ	PDOCAS	217,6	6	4640
MACAÉ - RJ X RIO DE JANEIRO - RJ	PDOCAS	217,6	6	2623
MACAÉ - RJ X SÃO JOÃO DA BARRA - RJ	PACU	142	5	1172
SÃO JOÃO DA BARRA - RJ X MACAÉ - RJ	PACU	142	5	924
MACAÉ - RJ X NITERÓI - RJ	Nitshore/Brasco	170	5	424
NITERÓI - RJ X MACAÉ - RJ	Nitshore/Brasco	170	5	392
RIO DE JANEIRO - RJ X RIO DE JANEIRO - RJ	PDOCAS	Variável	Variável	366
MACAÉ - RJ X CATU - BA	Entre Bases	1501	18	217
CATU - BA X MACAÉ - RJ	Entre Bases	1585	18,5	190
RIO DAS OSTRAS- RJ X MACAÉ - RJ	Urbano	29	Variável	174
MACAÉ - RJ X MOSSORÓ - RN	Entre Bases	2407	28	131
MOSSORÓ - RN X MACAÉ - RJ	Entre Bases	2417	28	58
MACAÉ - RJ X RIO DAS OSTRAS- RJ	Urbano	29	Variável	58

Fonte: Autoria própria

As movimentações realizadas podem ser categorizadas como urbanas, entre bases e viagens (Base X Porto). Os trechos urbanos são realizados na cidade de Macaé, ou até mesmo no município vizinho Rio das Ostras, e normalmente são idas a fornecedores locais ou embarques pelo Porto de Macaé (PMAC). Os trajetos entre bases encontram-se no eixo Macaé-Catu-Mossoró e tem o objetivo de transferir recursos entre as locações.

Já as viagens para os portos de outras cidades, reúnem a maior quantidade de viagens, através do Porto do Rio de Janeiro (PDOCAS), Porto do Açu (PACU) em São João da Barra e Porto de Niterói (Nitshore ou Brasco). Na equipe de Logística de Carga, a distribuição do trabalho é feita por Porto ou categoria de mobilização. Os veículos da modalidade Dedicada são de livre uso podendo exercer qualquer rota a fim de atender as necessidades dos PSLs. A Figura 14 representa as principais rotas realizadas do atendimento das demandas da companhia.

Figura 14– Geografia das principais rotas realizadas



Fonte: Adaptado de publicdomainvectors.org

Ao iniciar uma viagem, toda carreta possui um sistema de GPS atrelado ao veículo que permite que os analistas de logística possam acompanhar todo o trajeto realizado. Além disso, antes de sair das locações da empresa, os motoristas devem abrir o *Journey Management* que é uma espécie de gerenciador de viagem. Este gerenciador também monitora o percurso, mas se preocupa principalmente com a segurança do motorista no trânsito.

Ao abrir o *Journey Management* o motorista é questionado quantas horas dormiu antes da movimentação, se está seguro e confiante para realizar a viagem, se acompanhou a amarração da carga e está de acordo, entre outros. Ademais, o gerenciador permite controlar outras normas de segurança estabelecidas pela empresa, como: a cada duas horas de viagem o motorista deve fazer uma parada de 15 minutos e o total de horas que o motorista pode permanecer na direção são 10 horas.

4.1.3 A tipologia dos veículos

Os veículos disponíveis para as movimentações são fornecidos por três principais empresas terceirizadas, e podem ser dedicados (contratados) ou *Call Out* (solicitação pontual). A escolha do veículo mais apropriado para cada tipo de mobilização é tarefa do especialista de logística. Essa definição leva em conta as características da carga a ser transportada, como dimensões, peso, carga perigosa ou não e as capacidades de cada tipo de veículo.

No período deste estudo, a Companhia Y tinha firmado em contrato com as terceirizadas seis diferentes tipos de veículos dedicados e nove tipos na modalidade *Call Out*. A Tabela 5 mostra os veículos do contrato dedicado, suas dimensões e capacidades em toneladas.

Tabela 5– Principais veículos utilizados na Companhia Y na modalidade Dedicado, suas dimensões e capacidades

	Tipo de veículo	Dimensões (c x l x a)	Capacidade (Ton)	Veículo
DEDICADO	Carreta Comum	14 x 2,44 x 2,90	22	
	Extensível 4x2	21 x 2,44 x 2,90	22	
	Extensível 6x2	21 x 2,44 x 2,90	26	
	Prancha 6x2	12 x 3 x 2,90	30	
	Toco 6 ton	6 x 2,10 x 2,90	6	
	Truck	8 x 2,44 x 2,90	8	

Fonte: Autoria própria

Os veículos da modalidade *Call Out* disponibilizados pelas empresas terceirizadas podem ser observados na Tabela 6. Normalmente são escolhidos *call out* quando não há nenhum veículo dedicado disponível ou a carga a ser transportada tem características peculiares e necessita de um carro específico. Em alguns casos, por se tratar de uma solicitação fora de contrato e pelas especificidades do equipamento, movimentações neste regime podem ter custos elevados.

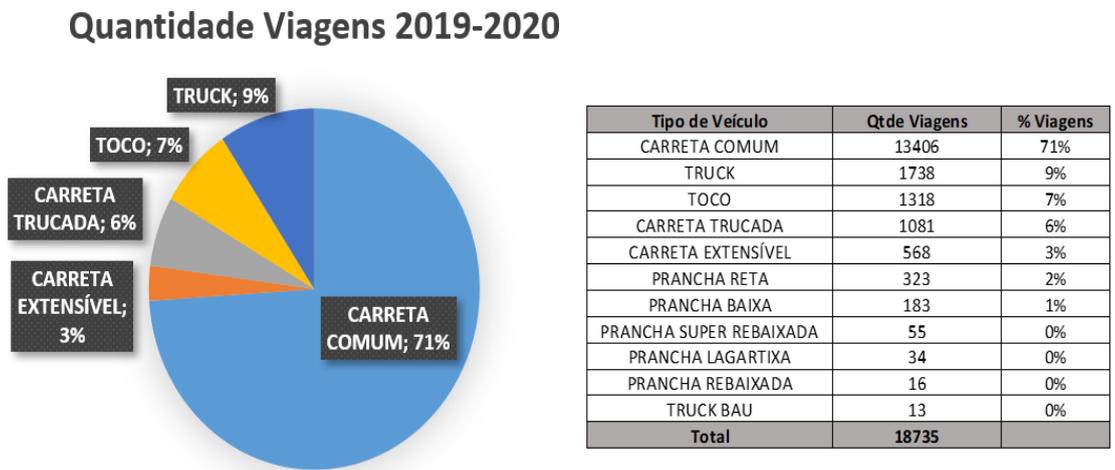
Tabela 6– Principais veículos utilizados na Companhia Y na modalidade Call Out, suas dimensões e capacidades

	Tipo de veículo	Dimensões (c x l x a)	Capacidade (Ton)	Veículo
CALL OUT	Prancha Super Rebaixada	12 x 3 x 3,5	26	
	Prancha Rebaixada	15 x 3 x 2,90	30	
	Prancha Baixa	7 x 3 x 2,90	30	
	Caminhão Munck	7 x 2,10 x 2,5	12	
	Prancha Lagartixa	25 x 3 x 3,5	30	
	Toco 1 Ton	7,20 x 2,10 x 2,90	1	
	Toco 3,5 t	7,20 x 2,10 x 2,90	3,5	

Fonte: Autoria própria

O veículo mais utilizado no período analisado foi a carreta comum, devido a quantidade dedicada deste tipo de veículo presentes no contrato e as suas dimensões, que permitem atender a maioria das demandas dos PSLs. A distribuição de viagens por tipo de veículo pode ser verificada na Figura 15:

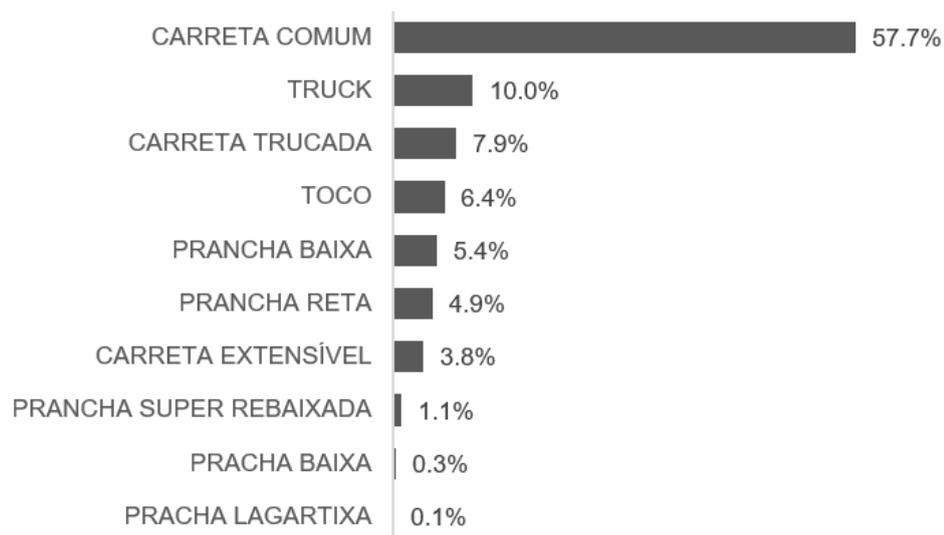
Figura 15– Quantidade de viagens realizadas por tipo de veículo no período 2019-2020



Fonte: Autoria própria

Do ponto de vista dos custos logísticos de transporte, as carretas comuns têm um grande impacto de mais da metade dos custos entre os anos de 2019 e 2020. A representação do percentual dos custos por tipo de veículo pode ser encontrada no Gráfico 4:

Gráfico 4– Custos por tipo de veículo no período 2019-2020



Fonte: Autoria própria

Neste cenário, nota-se um desequilíbrio nas despesas de transportes por estarem concentradas principalmente nas carretas comuns. Pela versatilidade deste equipamento, a empresa acaba contratando um grande número deste tipo de veículo para ficarem ao dispor, no entanto podem acabar ficando ociosas ou serem subutilizadas ao trafegarem com sua capacidade mínima utilizada.

4.1.4 A tipologia de Cargas

De acordo com normas da Marinha Brasileira, toda carga a ser embarcada deve ser unitizada, isto é, deve ser alocada dentro de contentores. Estes equipamentos funcionam como uma espécie de embalagem e permitem agrupar seu conteúdo, minimizando possíveis perdas ou extravios. Caso essas normas não sejam atendidas, a carga pode não ser recebida pelo porto, causando o cancelamento do embarque. Estas embalagens podem conter uma grande variedade de objetos, como tubos, ferramentas, equipamentos de laboratório, produtos químicos, dentre outros que são necessários para as operações *offshore*.

Além disso, devem passar por inspeções e pinturas periódicas a fim de atender a regulamentação a respeito de sua condição física, devem estar em bom estado de conservação, sem corrosão e com suas certificações na validade. Em caso de transporte de produtos químicos, as embalagens devem conter placas de identificação do químico de acordo com as fichas de emergência (FE) e fichas de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ). Essas placas carregam informações importantes quanto a composição do químico, inflamabilidade, EPI necessário para manuseio e ações necessárias em caso de derramamento.

Os contentores utilizados para transporte de cargas pela Companhia Y podem ser classificados em seis principais tipos: *big bag*, tanque criogênico, *skid*, *container*, caixa metálica e cesta metálica, como mostra a Tabela 7:

Tabela 7– Tipos de cargas com suas dimensões e representação

Equipamento	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Representação
Big Bag	1,2	1,2	0,9	
Tanque Criogênico	3,0	2,44	2,6	
Skid	6,20	2,45	2,93	
	8,23	2,44	2,90	
Container	1,66	1,96	2,77	
	4,32	2,43	2,72	
	6,06	2,44	2,60	
Caixa Metálica	1,81	1,77	1,22	
	2,50	1,50	1,26	
	3,5	1,5	1,26	
Cesta Metálica	8,3	1,2	1,1	
	14,26	1,2	1,2	
	14,26	1,2	1,2	

Fonte: Autoria própria

As dimensões apresentadas na Tabela 7 são medidas reais e serão utilizadas no modelo matemático a ser proposto, assim como nos testes do algoritmo que serão realizados no Python. As variáveis de comprimento, largura, altura e peso dos contentores são consideradas diariamente pelos analistas de logística, funcionários de área responsáveis pelo carregamento dos veículos e agentes portuários. Sem estas informações bem definidas, torna-se inviável a mobilização de recursos para as sondas de forma segura e eficiente.

4.1.5 A Gestão dos Custos Logísticos

Os custos logísticos da Empresa Y são gerenciados pelo setor de faturamento ou *billing* e supervisionados pela gestão de transportes da companhia. Estes custos resumem-se nos encargos gerados mensalmente pelos transportes Base-Porto, Base-Fornecedor e Base-Base nas modalidades *Call Out* e Dedicado. Quando ocorrem transportes utilizados por mais de um PSL, o setor de faturamento faz o devido rateio e lançamento das despesas no centro de custo de cada linha de serviço.

- **Dedicado**

Os custos de Transporte na modalidade Dedicado são definidos pela soma dos seguintes fatores:

Custo de Frete: na modalidade de transporte dedicado o custo do frete é fixo mensal e referente a uma franquia de quilometragem. Caso ultrapasse a franquia será cobrado um adicional por quilômetro excedido. Este valor varia de acordo com o veículo. Além disso, a taxa de utilização está ligada a quantidade de tempo que o veículo dedicado esteve disponível para determinada mobilização.

Custos adicionais: Os custos adicionais são pedágio, *ad-valorem*, batedores, escoltas e além desses é cobrado custo dos quilômetros excedentes à franquia.

Horas Extras: no contrato dedicado o carro está disponível 10 horas por dia. Sempre que um transporte durar mais de 10 horas contando o tempo para carregar, tempo de transporte e tempo para descarregar, será cobrado um valor por hora adicional a depender do veículo.

Então, o custo do transporte é definido pela soma do custo do frete e custos adicionais:

$$Custo DD = FV + TU + ICMS + AD + P + QE + HE + E \quad (15)$$

onde,

FV = frete valor

TU = Taxa de Utilização

ICMS = imposto por circulação interestadual de mercadorias

AD = adicional de periculosidade

P = pedágios

QE = quilometragem excedente

HE = hora extra

E = escolta ou batedores

- ***Call Out***

Os custos de Transporte na modalidade de Call Out são definidos pela soma dos seguintes fatores:

Custo de Frete: no contrato de Call Out são definidos os valores cobrados de acordo com o trecho e veículo utilizados.

Custos adicionais: nos custos adicionais estão incluídos custos com pedágio, ICMS, ad-valorém, batedores e escoltas. Quando a carga transportada é classificada como oversize, ou seja, ultrapassam as dimensões limite, é necessário o uso de um veículo batedor para garantir a segurança e auxiliar na movimentação. E quando a carga transportada é explosiva é obrigatório, por lei, o acompanhamento de uma escolta armada. Além disso, quando a carga é classificada como “carga perigosa” é cobrado 30% a mais no valor do frete definido em contrato.

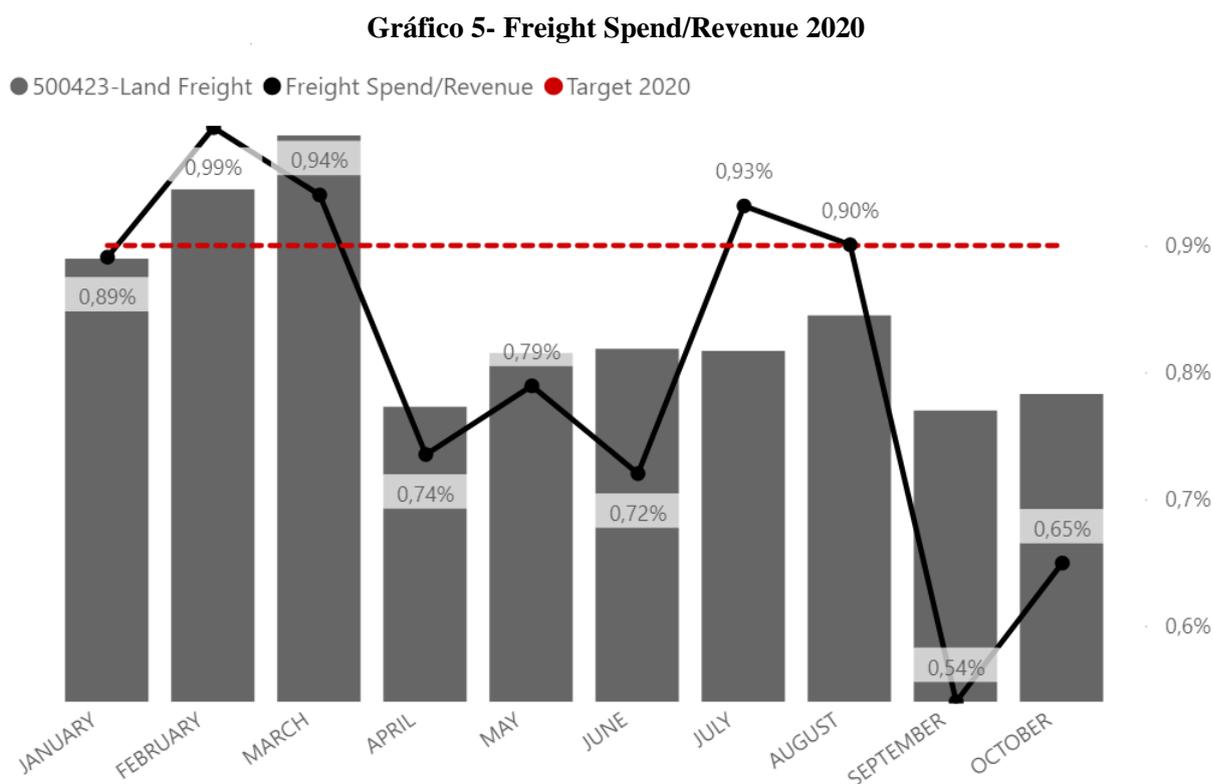
Os custos *Call Out* também podem ser representados pela fórmula 15, porém esses custos normalmente possuem algumas peculiaridades: o frete valor (FV) normalmente é mais caro do que na tabela da modalidade dedicado, caso o transporte se caracterize como um retorno (Porto X Base) o frete valor recebe um desconto de 50% e se a carreta precisar pernoitar no trajeto/destino cobram-se diárias.

4.1.6 Os Indicadores de Desempenho de Custos Logísticos

Freight Spend/Revenue: este indicador determina a parcela de representatividade dos custos logísticos de carga com as receitas da companhia. Basicamente, divide-se os custos de frete pela receita mensal como demonstra a fórmula a seguir.

$$\% \text{ Freight Spend / Revenue} = \frac{\text{Custos logísticos de frete}}{\text{Receita mensal}} \quad (16)$$

Durante um grande período o percentual máximo de custos em detrimento das receitas foi de 1,4%, porém com a crise do petróleo de 2014 o mercado se tornou mais instável e a redução dos custos uma estratégia necessária, por isso o *target* passou a ser 0,9%. O Gráfico 5 abaixo ilustra o desempenho deste indicador na companhia em análise.



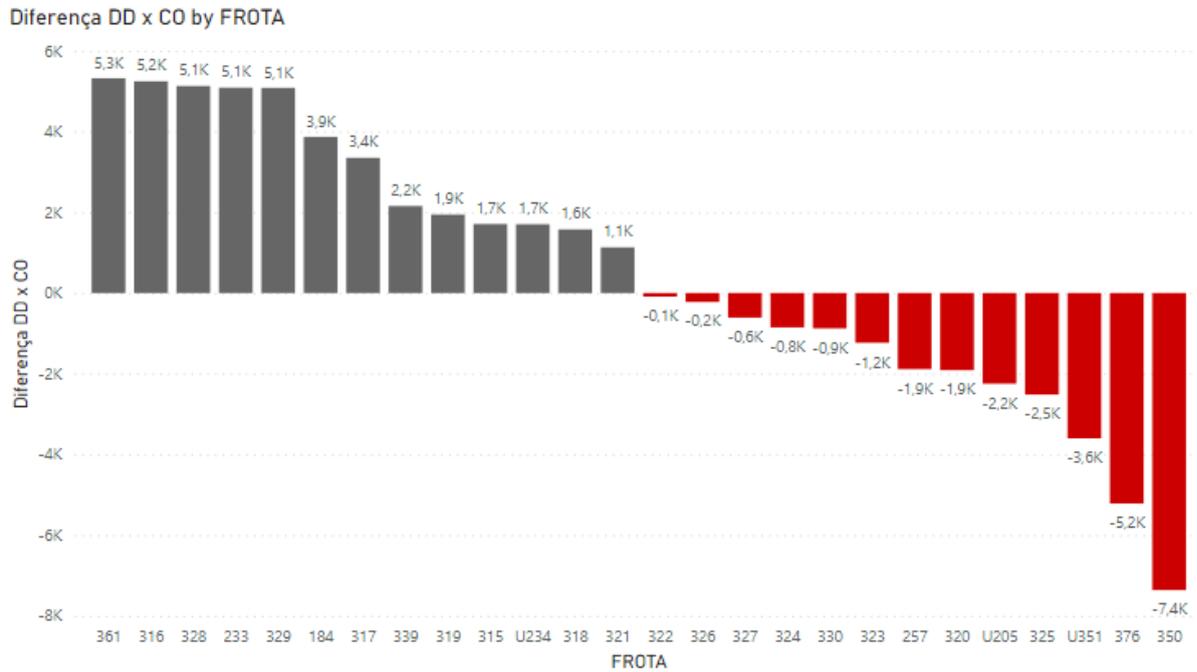
Fonte: Empresa Y

Dedicado X Call Out: análise comparativa entre as duas modalidades de contrato de transporte de cargas, Dedicado e *Call Out*. Este indicador visa comparar os custos logísticos de transporte entre as carretas dedicadas e veículos *call out* para um mesmo trajeto. O grande objetivo da análise é definir qual modalidade é mais financeiramente vantajosa para determinada viagem. O KPI DD X CO pode ser obtido pela fórmula 17 abaixo, caso o resultado seja positivo o dedicado é o mais vantajoso, caso contrário o *call out* é a melhor opção.

$$DD \times CO = \text{Custo } CO - \text{Custo } DD \text{ (17)}$$

O Gráfico 6 apresenta esta métrica, apresentando os ganhos em cinza e as perdas em vermelho. Os valores presentes no gráfico foram multiplicados por um fator para manter o sigilo as informações da companhia.

Gráfico 6– Dedicado vs Call Out



Fonte: Empresa Y

O Gráfico 7 segmenta por tipo de veículo as perdas e ganhos na escolha das modalidades pelos analistas de logística, neste gráfico fica evidente que a carreta trucada dedicada seria melhor utilizada caso fosse contratado de forma *call out*.

Gráfico 7– Dedicado vs Call Out por tipo de veículo

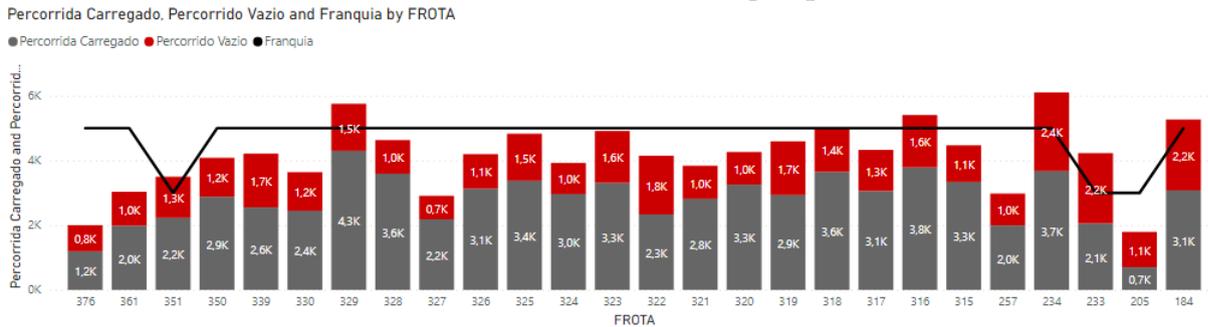


Fonte: Empresa Y

Quilometragem percorrida: objetiva analisar se a frota dedicada está sendo bem

utilizada. As cotas de quilometragem acordadas com as terceirizadas são 3500 e 5000 km. Em determinados meses essas cotas podem ser subutilizadas caracterizando o baixo uso de determinado veículo, ou exceder a quilometragem contratada, gerando custos adicionais. O Gráfico 8 apresenta este indicador, segmentando a quilometragem percorrida por carregada e vazia.

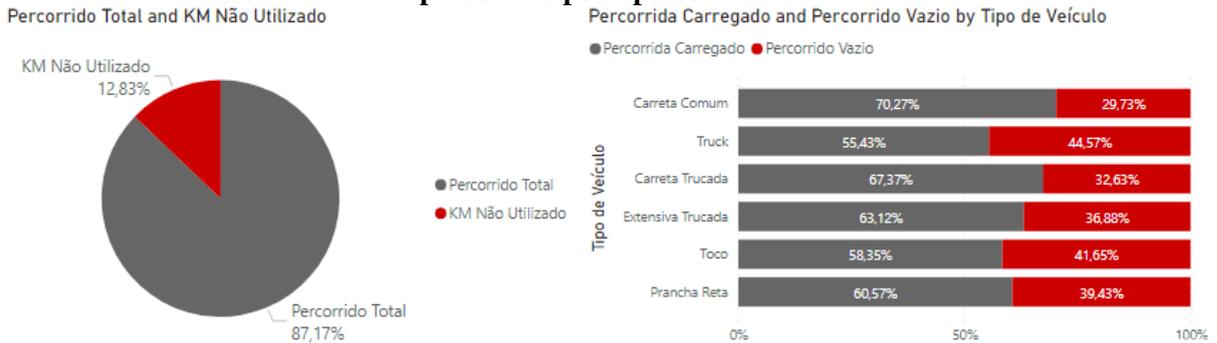
Gráfico 8– Indicador de Quilometragem percorrida



Fonte: Empresa Y

Está métrica também pode ser observada por tipo de veículo como apresentam os gráficos abaixo:

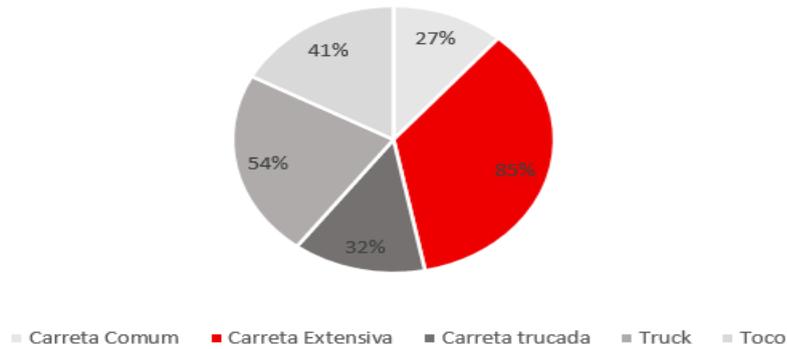
Gráfico 9– Percentual de Km percorrido vs não utilizado e indicador de Quilometragem percorrida por tipo de veículo



Fonte: Empresa Y

Eficiência de Carregamento: este KPI objetiva verificar se a capacidade física das carretas é utilizadas da melhor maneira, isto é, não estão realizando trajetos com pouca carga. Seu cálculo se dá através do somatório da área utilizada e pesos das cargas nos transportes realizados em determinado mês. Estes valores são comparados a capacidade máxima do veículo utilizado, assim calcula-se a porcentagem de utilização de cada carregamento e por fim estima-se a média percentual de eficiência de carregamento do mês por tipo de veículo. O indicador de eficiência pode ser observado conforme o gráfico 10 em que se estimou o desempenho dos carregamentos de determinado mês de 2020.

Gráfico 10– Eficiência de Carregamento por tipo de veículo em maio/2020



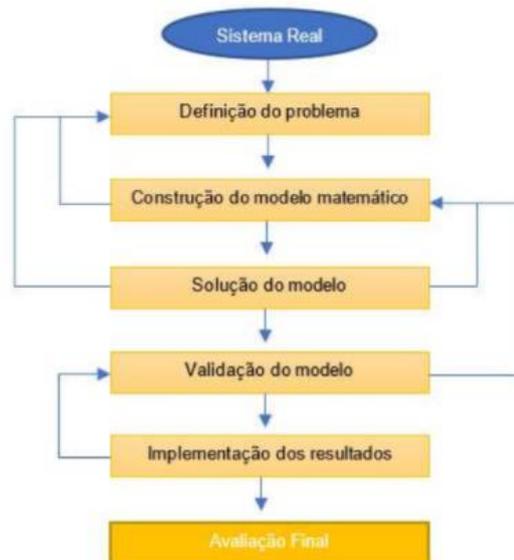
Fonte: Empresa Y

Este KPI foi fundamental para o desenvolvimento deste estudo, afinal o veículo mais utilizado pela companhia, a carreta comum, é o que possui menor eficiência de carregamento, o que demonstra que frequentemente são realizados transportes que geram prejuízo econômico à empresa.

4.2 Aplicação da Modelagem Matemática

Para a aplicação da modelagem matemática e computacional utilizou-se como base o passo a passo de elaboração de um modelo de PO apresentado por Fávero e Belfiore (2013), no segundo capítulo de sua obra. As fases realizadas na aplicação estão discriminadas conforme o fluxograma abaixo.

Figura 16– Elaboração de um modelo de Pesquisa Operacional



Fonte: Adaptado de Belfiore e Fávero (2013)

A definição do problema foi realizada no setor de logística da empresa Y, em contato com seus analistas e demais colaboradores, que percebiam a ineficácia do processo de alocação de materiais em carretas, sendo dispendioso em tempo e dinheiro. Uma base de dados de todos os carregamentos e transportes realizados foi coletada em um período de um ano.

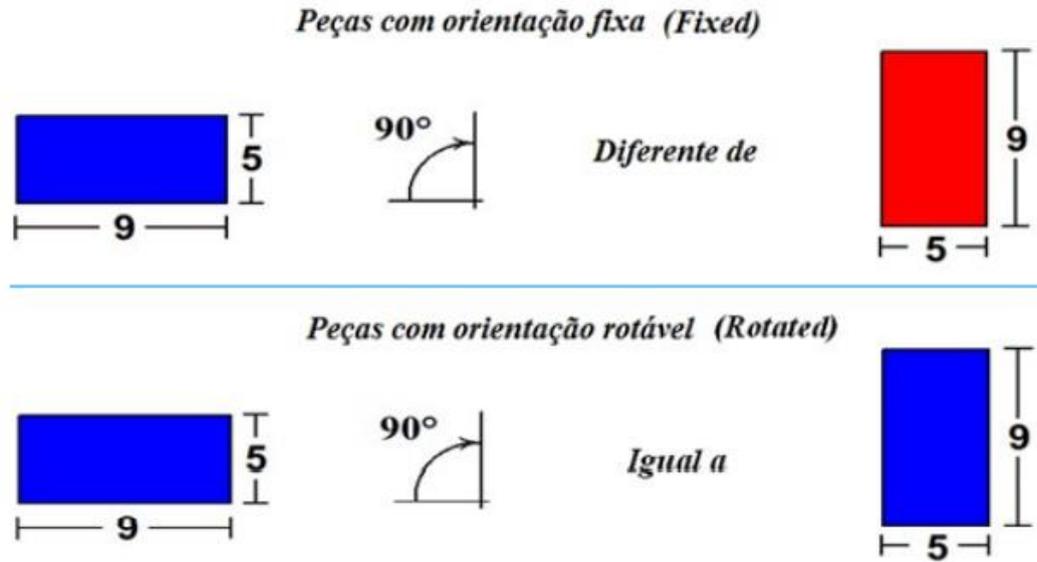
Conforme descrito anteriormente, o problema consiste basicamente em minimizar a quantidade de veículos utilizados para o transporte de cargas realizado por empresas terceirizadas, sendo para isso proposto um modelo matemático de programação linear-inteira. Conseqüentemente à redução de veículos utilizados, espera-se reduzir os custos logísticos de transporte da companhia. Este modelo tomará como base o funcionamento do setor de logística de carga de uma empresa do setor de óleo e gás. Para melhor entendimento serão descritos as variáveis e características do modelo proposto.

As variáveis escolhidas e que são as mais importantes para o negócio foram o comprimento e o peso de cada material, o que confere o caráter bidimensional ao problema. Além disso, o modelo compreende os diversos tipos de veículos e suas capacidades, e aliado a estes dados existem os custos de cada veículo, seja ele dedicado ou *call out*.

Os materiais podem ser entendidos como peças retangulares a serem alocadas na caçamba dos veículos, também retangulares. A forma como os materiais são dispostos nos veículos é chamada de padrão. O objetivo do modelo matemático é alcançar o padrão de empacotamento mais eficiente que otimiza a função objetivo, minimizando a quantidade de veículos utilizadas e o custo total e simultaneamente maximizar a área utilizada em cada *bin*.

Na maioria dos carregamentos, adota-se a peça com orientação fixa, isto é, o material possui sentido único e não é possível rotacioná-lo. Dessa forma, as peças devem ser posicionadas ao longo do comprimento de todo o semireboque da carreta, do sentido mais próxima à cabine do motorista até o limite posterior, respeitando as capacidades físicas do veículo. Esta restrição é ilustrada pela Figura 17.

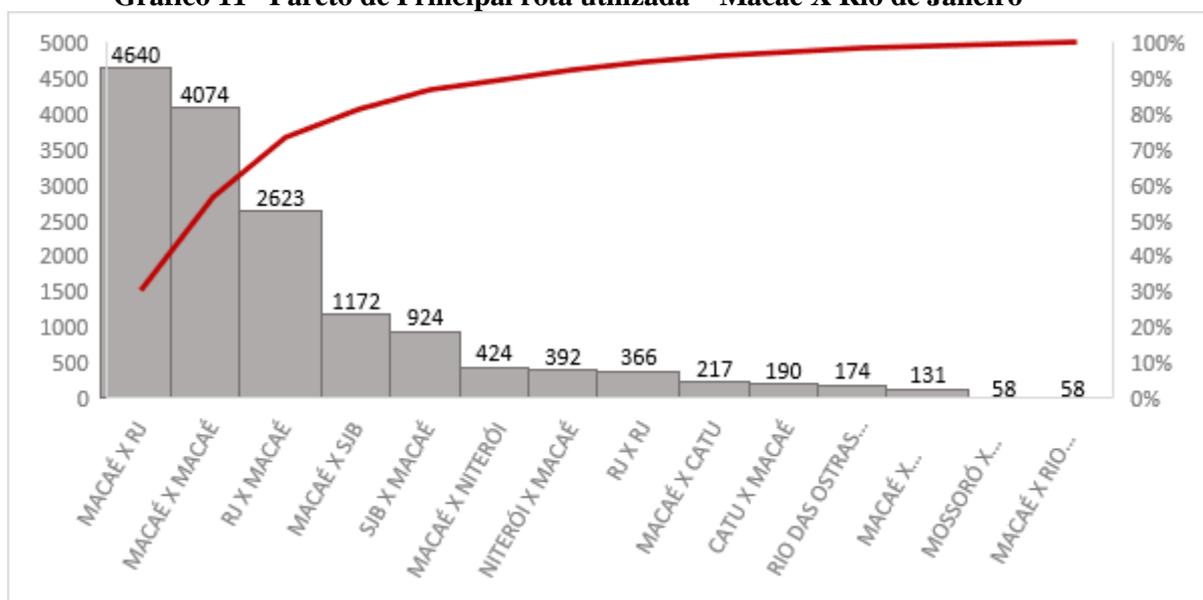
Figura 17– Rotação fixa e variável das peças



Fonte: Martínez (2014)

Outra restrição ao carregamento está relacionada ao posicionamento entre as peças, que impede de uma peça ser colocada ao lado de outra peça no mesmo *bin*. Portanto, os materiais devem ser dispostos em fila única no veículo. Ademais, também não é permitido carregar produtos químicos junto de material explosivo ou radioativo, por questões de segurança e meio ambiente.

A fim de simplificar o problema, como os custos variam de acordo com o tipo de veículo e a rota a ser realizada, foi considerada apenas a rota Base-Porto mais atendida no ano de 2020. Para selecionar a rota mais utilizada, realizou-se um gráfico de Pareto para análise como demonstra o Gráfico 11. Deste modo, a rota escolhida foi Macaé X Rio de Janeiro (Porto de PDOCAS), ou a movimentação de retorno Rio de Janeiro X Macaé. Vale ressaltar, que os custos logísticos pouco diferiam em relação ao transporte de ida ou volta de determinado origem ou destino, como no caso específico de PDOCAS.

Gráfico 11– Pareto de Principal rota utilizada – Macaé X Rio de Janeiro

Fonte: Empresa Y

O modelo proposto irá considerar 6 principais tipos de veículos oferecidos pelas terceirizadas nas modalidades dedicado e *call out*. As quantidades disponibilizadas pelas empresas bem como os custos de cada tipo de veículo considerados para o modelo matemático estão descritas na Tabela 8.

Tabela 8– Disponibilidade de veículos dedicados, call out e seus custos

Tipo de Veículo	Dedicado		Call Out	
	Quantidade Disponível	Custo (R\$)	Quantidade Disponível	Custo (R\$)
Carreta Comum	18	R\$ 1,259.50	11	R\$ 1,408.00
Carreta Extensiva	1	R\$ 2,225.00	3	R\$ 3,385.80
Carreta Trucada	2	R\$ 1,637.35	4	R\$ 1,584.00
Prancha Reta	1	R\$ 1,889.25	3	R\$ 2,816.00
Truck	2	R\$ 858.00	5	R\$ 1,232.00
Toco	1	R\$ 575.00	6	R\$ 1,100.00

Fonte: Empresa Y

Como o exercício de dimensionamento de cargas em veículos é periódico, isto é, dá-se de forma semelhante mensalmente, escolheu-se determinado mês do ano de 2020 como amostra de materiais a serem testados pelo modelo matemático e computacional. A Tabela 9 apresenta todos os dias do mês analisado com a quantidade de materiais e veículos utilizados, bem como o custo logístico diário para a rota Macaé X Rio de Janeiro.

Tabela 9– Resumo carregamentos Maio/2020

Dia	Quantidade Materiais	Quantidade Veículos	Custo (R\$)
-----	----------------------	---------------------	-------------

1	1	1	R\$ 1,742.73
2	4	1	R\$ 1,419.08
3	31	15	R\$ 24,179.81
4	22	9	R\$ 13,490.73
5	8	3	R\$ 5,228.76
6	2	1	R\$ 1,419.08
7	18	6	R\$ 9,166.98
8	14	4	R\$ 6,920.93
9	19	9	R\$ 21,770.67
10	0	0	R\$ -
11	17	5	R\$ 7,095.42
12	27	10	R\$ 22,623.19
13	13	6	R\$ 9,302.13
14	2	1	R\$ 1,986.21
15	0	0	R\$ -
16	22	6	R\$ 11,439.09
17	5	3	R\$ 4,807.03
18	9	3	R\$ 7,911.16
19	6	3	R\$ 5,192.60
20	4	1	R\$ 1,940.69
21	4	2	R\$ 4,061.20
22	5	2	R\$ 2,886.45
23	4	2	R\$ 3,124.26
24	2	1	R\$ 3,476.57
25	0	0	R\$ -
26	21	8	R\$ 14,464.89
27	0	0	R\$ -
28	0	0	R\$ -
29	6	3	R\$ 4,708.95
30	6	2	R\$ 748.55
Total	272	107	R\$ 191,107.17

4.2.1 Modelo matemático aplicado ao caso

Para construção do modelo matemático proposto foram consideradas as entradas descritas anteriormente e dados reais coletados na empresa estudada. O modelo foi baseado no *bin packing* bidimensional com *bins* heterogêneos (2-VSBPP) previsto na literatura e apresentado por (Reis e Cunha, 2015), que permite posicionar materiais de diversos pesos e comprimentos em diferentes tipos de veículos, com custos e capacidades associadas distintas.

O problema tem como objetivo alocar m objetos em n veículos de modo a minimizar o custo total dos *bins* utilizados, respeitando as restrições de capacidade de peso e comprimento

de cada tipo de *bin*. Vale ressaltar que todos os itens devem ser alocados em algum *bin*, o que garante que todos os materiais serão carregados para transporte. Por isto, o modelo matemático minimiza a quantidade de veículos utilizados e seus custos e, como consequência, acaba por maximizar a quantidade de itens distribuídos na frota, otimizando assim todo o processo de carregamento.

Parâmetros:

m = refere-se a quantidade de materiais a serem carregados

n = informa a quantidade de veículos disponíveis para o plano de carregamento

i = índice que representa o conjunto de objetos $\{1, 2, \dots, m\}$

j = índice que representa o conjunto de veículos $\{1, 2, \dots, n\}$

c_j = custo logístico de transporte associado ao veículo j

p_i = informa o peso unitário de cada objeto i a ser carregado

a_j = determina a capacidade máxima em peso do veículo j

k_i = informa o comprimento de cada objeto i a ser carregado

b_j = determina a capacidade máxima em comprimento do veículo j

Variáveis de Decisão:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se a carga } i \text{ é alocada no veículo } j \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 1 & \text{se o veículo } j \text{ é utilizado} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Função Objetivo:

$$\text{Min } \sum_{j=1}^n c_j y_j \quad (18)$$

Restrições:

$$\sum_{i=1}^m p_i x_{ij} \leq a_j y_j \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^m k_i x_{ij} \leq b_j y_j \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (20)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (21)$$

$$x_{ij} \in [0,1] \quad \forall i = 1, \dots, m \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (22)$$

$$y_j \in [0,1] \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (23)$$

Como apresentado anteriormente no t3pico 2.3.3, o 2-VSBPP pode ser descrito da seguinte forma: considere $i = 1, \dots, m$ objetos com seus respectivos pesos p_i e comprimentos k_i , e $j = 1, \dots, n$ bins, para os quais s3o conhecidos seus custos c_j e suas capacidades em peso a_j e comprimento b_j . O objetivo 3e determinar a aloca33o dos m objetos aos n bins, de modo a minimizar o custo total dos bins utilizados, e respeitando as restri33es de capacidade de cada tipo de bin. Definem-se as vari3aveis de decis3o, $x_{ij} = 1$ quando o item i 3e alocado ao bin j , e recebe o valor zero caso contr3rio; y_j tamb3m 3e uma vari3avel bin3ria e assume o valor 1 se o bin i 3e utilizado na solu33o, e zero caso contr3rio.

A fun33o objetivo 18 visa minimizar o custo total de ve3culos a serem utilizados em determinado plano de carregamento da empresa Y. A restri33o 19 assegura que a capacidade de peso de cada ve3culo n3o seja violada. A restri33o 20 garante que a capacidade comprimento de cada ve3culo n3o seja desrespeitada. A restri33o 21 imp3e que cada objeto i deve ser alocado em exatamente um ve3culo j . Por fim, as restri33es 22 e 23 asseguram a integralidade das vari3aveis de decis3o

Vale refor3ar que o modelo matem3tico proposto 3e relativamente simples, para que seja de f3cil entendimento pelos analistas de log3stica e as sa3idas do modelo computacional sejam facilmente interpretadas. Por3m, o 2-VSBPP 3e um problema de classe *NP-Hard*, o que implica em crescimento exponencial da complexidade computacional conforme se aumenta o volume de dados envolvidos. Por este motivo sua solu33o normalmente 3e realizada atrav3s de heur3sticas, para aumentar a velocidade de resposta do algoritmo. Como a velocidade n3o 3e o ponto alvo da melhoria no escopo de trabalho dos analistas, e sim a automatiza33o do processo, optou-se por realizar a modelagem exata do problema.

4.2.2 Aplica33o do Modelo Computacional

A implementa33o do modelo matem3tico do 2D bin packing com frota heterog3nea aplicado ao contexto da companhia Y foi realizada em linguagem computacional Python 3.8,

no IDE Jupyter Anaconda, em um computador com processador i5-6300U de 2,4 GHz e memória RAM de 8,0 GB. As instâncias de teste utilizadas estão disponíveis na OR Library da Google, tendo sido também utilizadas por Reis (2013), Cunha et. al (2008) e muitos outros pesquisadores.

Os testes realizados foram desenvolvidos para os 6 tipos de veículos disponíveis e 45 tipos de materiais diferentes em peso e comprimento, levando em consideração tanto a modalidade dedicada quanto *call out*. As entradas do modelo computacional foram apresentadas em planilhas de Excel, onde foram inseridos os dados coletados na empresa Y. Essas planilhas servem como entrada para o Python que executa o modelo de otimização e retorna à solução ótima.

Para melhor compreensão do funcionamento do algoritmo do 2-VSBPP, foi desenvolvido um pseudo-código em linguagem estruturada, como pode ser observado na Figura 18.

Figura 18– Pseudo-código para o 2D bin packing com frota heterogênea

```

Para j em bins
  Para x em itens
    Minimizar  $C_j * y_j$ 
  FimPara
FimPara
Numbins = 0
CustoTotal = 0
Enquanto não tiver alocado todos os itens fazer
  Enquanto comprimento e peso do item caibam no bin j fazer
    Selecionar o item de menor comprimento e peso que caiba no bin j
    Adicionar o item de menor comprimento e peso ao bin de menor custo  $C_j$ 
    Subtrair às capacidades do bin o comprimento e peso do item selecionado
    Marcar o item selecionado como já utilizado
    NumBins += 1
    CustoTotal +=  $C_j$ 
  FimEnquanto
Fim Enquanto

```

Fonte: Autoria própria

Como o modelo possui algumas peculiaridades em seu código devido à biblioteca de otimização OR-TOOLS, foi elaborado uma apresentação mais detalhada do algoritmo desenvolvido, como demonstra a Figura 19.

Figura 19– Pseudo-código detalhado

Cria mip solver com o processo interno de SCIP

Variáveis

$x[i, j] = 1$ se o item é alocado no bin j , 0 caso contrário.

Para i em itens fazer

Para j em bins fazer

$X[i][j] \leftarrow 0$ ou 1

FimPara

FimPara

$y[j] = 1$ se o bin j é utilizado, 0 caso contrário.

Para j em bins fazer

$Y[j] \leftarrow 0$ ou 1

FimPara

Restrições

Cada item deve ser alocado em exatamente 1 bin.

Para i em itens fazer

Solver.Add(Soma($X[i][j]$) para j in bins == 1)

FimPara

O total de itens alocados em cada bin não pode exceder a capacidade de peso do bin.

Para j em bins fazer

Solver.Add(Soma($X[i][j]$)*Peso[i] para i em itens \leq CapacidadePeso[j])

FimPara

O total de itens alocados em cada bin não pode exceder a capacidade de comprimento do bin.

Para j em bins fazer

Solver.Add(Soma($X[i][j]$)*Comprimento[i] para i em itens \leq CapacidadeComprimento[j])

FimPara

Função Objetivo

Minimizar o número de bins utilizados

objetivo = solver.objective()

Para j em bins fazer

Para i em itens fazer

objetivo.SetCoefficient($Y[j]$, Custo[j])

objetivo.SetMinimization()

FimPara

FimPara

Fonte: Autoria própria

Figura 20– Continuação Pseudo-código detalhado

```

status = solver.Solve()
Se status == pywraplp.Solver.OPTIMAL:
    num_bins = 0
    Para j em bins
        bin_items = []
        bin_peso = 0
        bin_comprimento = 0
        Imprima('Bin ', j, '\n')
        Para i em itens
            Se x[i, j].solution_value() > 0:
                bin_items.append(i)
                bin_peso += Peso[i]
                bin_comprimento += Comprimento[i]
                Imprima('Item', i, '- Peso:', Peso[i], '/ Comprimento', Comprimento[i])
            FimSe
        Se bin_peso > 0:
            num_bins +=1
        Imprima ('Bin Weight:',bin_weight,'Bin Comp:',bin_comp, '\n')
        FimSe
    FimPara
    Imprima (Quantidade de bins utilizados:', num_bins, '\n')
    Imprima ('Custo Total:', objetivo '\n')
    Imprima (Tempo = ', solver.WallTime(), ' milissegundos')
    FimPara
Se não
    Imprima ('O problema não possui solução ótima.')
FimSe

```

Fonte: Autoria própria

O objetivo das análises é comparar a qualidade dos resultados obtidos pelo modelo computacional com os dimensionamentos realizados pelos analistas de logística. Os resultados obtidos revelam a melhor solução encontrada nas execuções e o custo mínimo da seleção da quantidade ótima de veículos.

O modelo assume que, para retornar à solução ótima, todos os objetos possuem comprimentos e pesos inferiores à capacidade do menor veículo e que o número de veículos disponíveis seja suficientemente elevado para assegurar o carregamento de todos os itens. Caso essas restrições não sejam aceitas, o programa retorna uma mensagem de que não existe solução ótima para o problema.

O modelo computacional se baseia em um cenário real e leva em consideração dados e

características do sistema logístico existente na Companhia Y. Após processamento desses dados pelo Python, o relatório final contendo os resultados de carregamentos é de fácil entendimento e análise de forma a auxiliar a tomada de decisão da equipe de logística.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para validação do modelo foram construídos alguns cenários levando em consideração informações reais coletadas do banco de dados da empresa Y, como por exemplo diferentes tipos de materiais, diferentes tipos de veículos, rotas e custos associados. É importante ressaltar que, no cenário real quando considerado um horizonte de 1 mês tem-se em média um total de 2210 solicitações de transporte, com aproximadamente 90 rotas diferentes, para serem atendidas com o total de 57 veículos disponíveis.

Devido à complexidade do modelo matemático estabelecido para o problema, que está associada ao número considerável de variáveis e restrições presentes no modelo, foi necessário estipular cenários em menor escala. Assim, optou-se pela rota de maior relevância (Rota Base X Porto – Macaé X Rio de Janeiro e Rota Porto X Base – Rio de Janeiro X Macaé) no período de Maio de 2020, para 6 tipos distintos de veículos (Carreta comum, carreta extensiva, carreta trucada, prancha reta, truck e toco), tanto na modalidade dedicada quanto *call out*.

Desta forma, o estudo buscou simular 3 diferentes cenários, variando os custos das modalidades dedicado e *call out* nos carregamentos otimizados pelo programa. A análise consistirá em comparar os carregamentos, custos, tipo de veículos e tempos obtidos pelo algoritmo com o que foi realmente executado na companhia. Assim será possível analisar o comportamento do modelo ao passo que se aumenta a complexidade dos cenários.

Para resolução do modelo foi utilizado o software Python 3.8, no IDE Jupyter Anaconda e as saídas foram apresentadas em gráficos desenvolvidos no Excel. O solver presente na biblioteca OR-TOOLS busca minimizar os custos e a quantidade de veículos utilizados, apresentando na sua saída a melhor configuração de veículos para transportar todos os materiais necessários às operações *off-shore*.

5.1 Cenário 1 – *Call Out*

Para o primeiro cenário, foram considerados apenas os veículos da modalidade *call out* disponíveis. Isto é, os custos inseridos no modelo foram os custos da frota *call out*, como apresenta a Tabela 8, custos estes normalmente mais altos.

Os dados de entrada para o modelo estão apresentados na Tabela 10 cujas informações de cada material bem como a configuração de carregamento realizada no cenário real podem

ser observadas.

Tabela 10– Dados de entrada para o modelo

DATA	PORTO	DESCRIÇÃO	C	L	A	PESO	QUANT	RID	FROTA	VEICULO	TIPO VEICULO
01/05/2020	PDOCAS	BIGBAGS CLORETO DE POTÁSSIO TIPO1 212395	1.200	1.200	0.900	7.500.00	10	10052240	318	1	CARRETA COMUM
02/05/2020	PDOCAS	CONTAINER 509857-2 ESLINGA 32841-1	2.990	2.440	2.600	3.935.52	1	10052089	319	2	CARRETA COMUM
02/05/2020	PDOCAS	CONTAINER DE 10' 509791-6 - ESLINGA: 29951/03	3.000	2.440	2.580	4.800.00	1	10052344	319	2	CARRETA COMUM
02/05/2020	PDOCAS	CONTAINER 511648-1 ESLINGA 31987-5	1.660	1.960	2.770	3.350.00	1	10052281	319	2	CARRETA COMUM
02/05/2020	PDOCAS	2 BIG BAGS DE BARAZAN - D 212324	1.400	1.200	0.900	1.500.00	2	10052281	319	2	CARRETA COMUM
03/05/2020	PDOCAS	10 BIG BAGS DE BARAZAN - D 212324	1.400	1.200	0.900	7.500.00	10	10052421	324	3	CARRETA COMUM
03/05/2020	PDOCAS	CESTA DNV 33050 - E/N: 12149894- LINGADA: 33035-1	10.000	1.220	1.100	7.692.00	1	10051910	328	4	CARRETA COMUM
03/05/2020	PDOCAS	TANQUE 30 BBL 13082527 COM ESLINGA: BR-MC-10058-12128	2.500	2.350	2.600	2.200.00	1	10051549	328	4	CARRETA COMUM
03/05/2020	PDOCAS	CONTAINER DE ACESSÓRIOS - 12834385- ESLINGA: 12834388-SLG	6.030	2.440	2.780	8.000.00	1	10052386	323	5	CARRETA COMUM
03/05/2020	PDOCAS	UNIDADE CRIOGÊNICA UN-07 - 12833097- ESLINGA: 1036803-1-3	3.960	2.430	2.670	11.388.00	1	10052386	323	5	CARRETA COMUM
03/05/2020	PDOCAS	TANQUE CRIOGÊNICO TH-29 - 12821860	3.000	2.440	2.600	11.174.00	1	10052386	325	6	CARRETA COMUM
03/05/2020	PDOCAS	TANQUE CRIOGÊNICO TH-30 - 12821861	3.000	2.440	2.600	11.674.00	1	10052386	325	6	CARRETA COMUM
03/05/2020	PDOCAS	TANQUE CRIOGÊNICO TH-71 - 12821902-ESLINGA: S11788/7	4.000	2.440	2.600	15.461.00	1	10052386	376	7	CARRETA EXTENSIVA
03/05/2020	PDOCAS	TANQUE CRIOGÊNICO TH-74 - 12821905-ESLINGA: S11788/4	4.000	2.440	2.600	11.674.00	1	10052386	376	7	CARRETA EXTENSIVA
.
30/05/2020	PDOCAS	1 BIG BAGS BARAZAN D 212324	1.200	1.200	0.900	500.00	1	10054111	ct1	103	CARRETA COMUM
30/05/2020	PDOCAS	3 BIG BAGS BARAZAN D 212324	1.200	1.200	0.900	2.250.00	3	10054111	ct1	103	CARRETA COMUM

Fonte: Companhia Y

A partir dos dados de entrada foi executado o modelo no software Python, buscando a solução ótima do problema. Assim, a Figura 21 apresenta um exemplo para o status final do processo de busca, onde descreve-se cada material alocado em determinado *bin* (veículo) com suas dimensões, quantidade de veículos utilizados, custo total da mobilização e tempo de execução. Deste modo, foram realizadas várias iterações no algoritmo para cada dia do período analisado, como na Figura 21, a fim de obter a otimização para todo o mês. A figura 21 representa apenas um dia do período analisado.

Figura 21– Exemplo de saída Python Cenário 1

```

Bin 0

Item 0 - weight: 2801 / lenght: 2.5
Item 3 - weight: 2274 / lenght: 1.35
Item 6 - weight: 1500 / lenght: 1.2
Total value: 1100
Bin Weight: 6575 Bin Lenght: 5.05

Bin 1

Item 1 - weight: 2920 / lenght: 8.3
Item 2 - weight: 1812 / lenght: 1.83
Item 4 - weight: 675 / lenght: 1.2
Item 5 - weight: 675 / lenght: 1.2
Total value: 1408
Bin Weight: 6082 Bin Lenght: 12.53

Bin 2

Item 7 - weight: 5473 / lenght: 14.3
Total value: 1408
Bin Weight: 5473 Bin Lenght: 14.3

Num bins used: 3

Total Cost: R$ 3.916,00

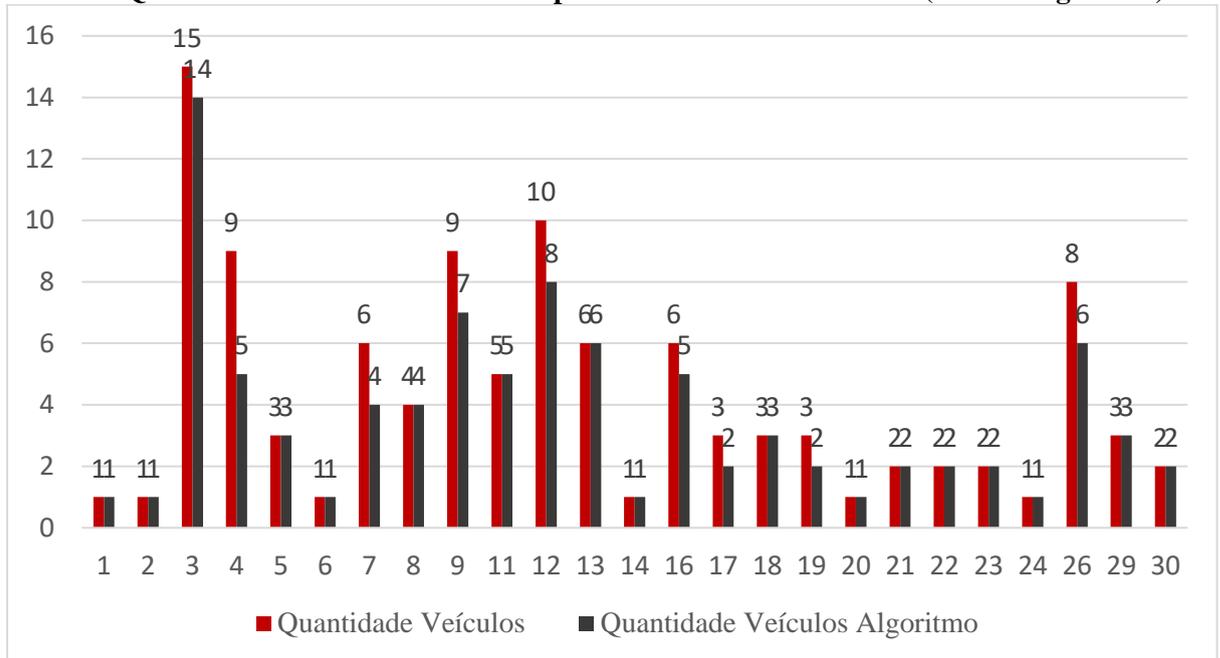
Time = 8 milliseconds

```

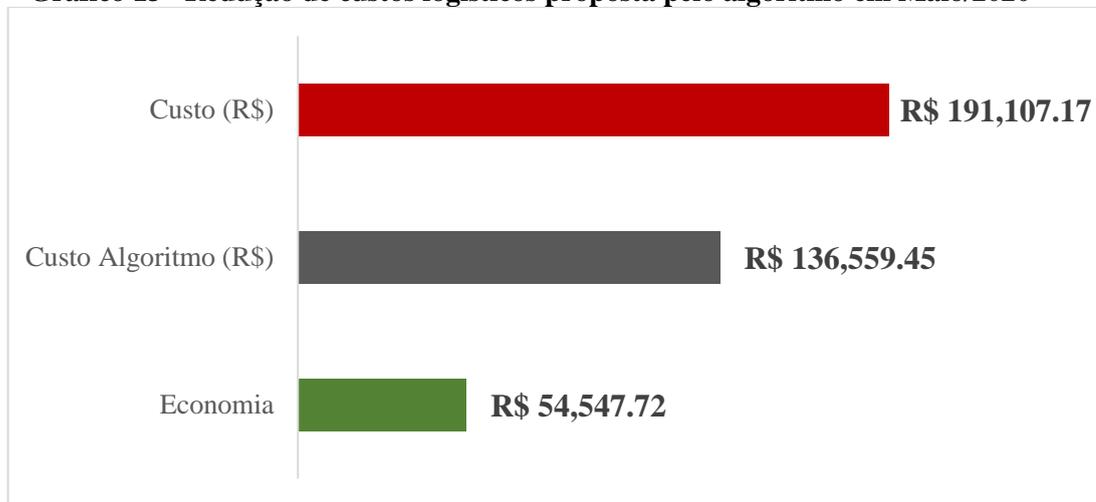
Fonte: Autoria própria

Para o cenário *Call Out*, o modelo computacional mostrou-se eficiente para obtenção das soluções ótimas para o problema de carregamento de materiais. Como pode ser observado no Gráfico 12, o algoritmo adotou uma quantidade menor ou igual de veículos para realização dos carregamentos, comparado às escolhas feitas pelos analistas de logística. O que indica que para este cenário, não houveram erros significativos como aumento do número de veículos, custos maiores do que o cenário reais ou desrespeito às restrições, de modo que o modelo se mostrou confiável.

Com relação aos custos logísticos, caso o algoritmo fosse utilizado para os carregamentos do mês de maio/2020, isto representaria uma economia de 29% para a companhia. Portanto, a solução ótima encontrada para o cenário 1 foi de R\$ 136.559,25 de custos logísticos e a utilização de 91 veículos ao longo de todo período analisado. Diante de R\$ 191.107,17 e 107 carretas usadas no contexto real, como apresenta o Gráfico 13.

Gráfico 12– Quantidade de veículos utilizados por dia no mês de Maio/2020 (Real X Algoritmo)

Fonte: Autoria própria

Gráfico 13– Redução de custos logísticos proposta pelo algoritmo em Maio/2020

Fonte: Autoria própria

A taxa de ocupação das carretas comuns por exemplo, melhorou de 27% como apresenta o KPI carregamento de frota (seção 4.1.6) para 75%. O que demonstra que o algoritmo foi de grande ajuda para otimizar os carregamentos deste tipo de veículo, que é o mais utilizado pela operação.

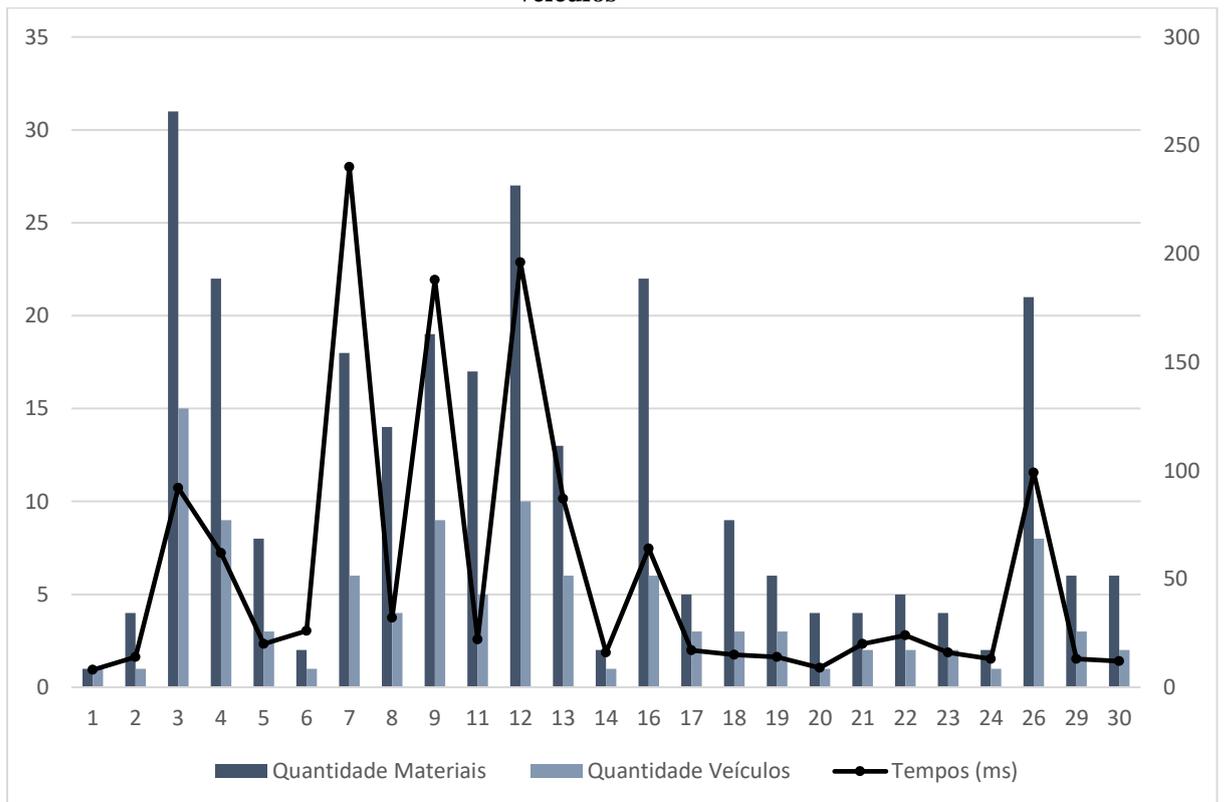
Gráfico 14– Taxa de ocupação de veículos (cenário real vs algoritmo)



Fonte: Autoria própria

Com relação ao tempo de execução, a média dos tempos obtidos pelo algoritmo foi de 44 milissegundos. Como era de se esperar, o tempo de execução é diretamente proporcional a quantidade de materiais e veículos inseridos no modelo, como pode ser analisado no Gráfico 15. Ou seja, na maioria das vezes em que se tinha um elevado número de materiais a serem alocados, consequentemente a quantidade demandada de veículos também aumentava, assim como o tempo para o modelo computar as informações e gerar o resultado ótimo.

Gráfico 15– Variação do tempo de execução do algoritmo frente a quantidade de materiais e veículos



Fonte: Autoria própria

Ainda com relação ao tempo de execução, o algoritmo se mostrou extremamente mais

eficiente do que a atividade humana dos analistas de logística. Em média, um analista demora entre 10 e 20 minutos para criar um plano de carregamento manual envolvendo um grande número de carretas e materiais. Já o programa para realizar a mesma atividade, necessitou de apenas alguns milissegundos, o que agregaria maior velocidade e confiabilidade ao trabalho dos analistas logísticos, melhorando as condições de trabalho dos mesmos.

5.2 Cenário 2 – Dedicado

Para o segundo cenário foram utilizados os custos referentes os veículos dedicados, isto é, aqueles disponíveis no contrato com as terceirizadas. Estes custos geralmente são menores do que na modalidade *call out*, pois não se tratam de solicitações de transporte pontuais e sim veículos que estão à disposição da operação e suas despesas já contabilizadas no escopo dos projetos.

Deste modo os materiais, quantidades de veículos dedicados disponíveis e seus custos foram inseridos no modelo computacional, dia por dia, sendo obtido resultados conforme apresenta a Figura 22. Esta figura representa a saída do programa na modalidade dedicado para um dia arbitrário do mês de Maio/2020. Estes resultados podem ser facilmente lidos pelo operador responsável pelo carregamento da carreta, o que torna também o seu trabalho mais eficiente.

Figura 22– Exemplo de saída Python Cenário 2

```

Cenário 2 - Veículos Dedicados
Bin 0

Item 4 - weight: 1712.4 / length: 1.35
Item 11 - weight: 2151 / length: 1.66
Item 12 - weight: 1876.7 / length: 1.35
Total value: 575
Bin Weight: 5740.1 Bin Length: 4.3599999999999999

Bin 1

Item 1 - weight: 9750 / length: 1.2
Item 3 - weight: 2714 / length: 1.35
Item 6 - weight: 6546 / length: 3
Item 10 - weight: 4040 / length: 6.058
Total value: 1259
Bin Weight: 23050 Bin Length: 11.608

Bin 2

Item 0 - weight: 5250 / length: 1.4
Item 8 - weight: 7901.2 / length: 3
Item 9 - weight: 6007.55 / length: 3
Item 15 - weight: 4578 / length: 6.06
Total value: 1259
Bin Weight: 23736.75 Bin Length: 13.46

Bin 3

Item 5 - weight: 6546 / length: 3
Item 7 - weight: 7690 / length: 3
Item 13 - weight: 2850 / length: 2.991
Item 14 - weight: 610 / length: 1.35
Item 20 - weight: 2962 / length: 1.66
Item 21 - weight: 2790 / length: 1.66
Total value: 1259
Bin Weight: 23448 Bin Length: 13.661

Bin 4

Item 2 - weight: 4500 / length: 1.2
Item 16 - weight: 3800 / length: 6.06
Item 17 - weight: 1948 / length: 1.66
Item 18 - weight: 4500 / length: 1.2
Item 19 - weight: 4500 / length: 1.2
Total value: 1259
Bin Weight: 19248 Bin Length: 11.319999999999999

Num bins used: 5

Total Cost: R$ 5.611,00

Time = 103 milliseconds

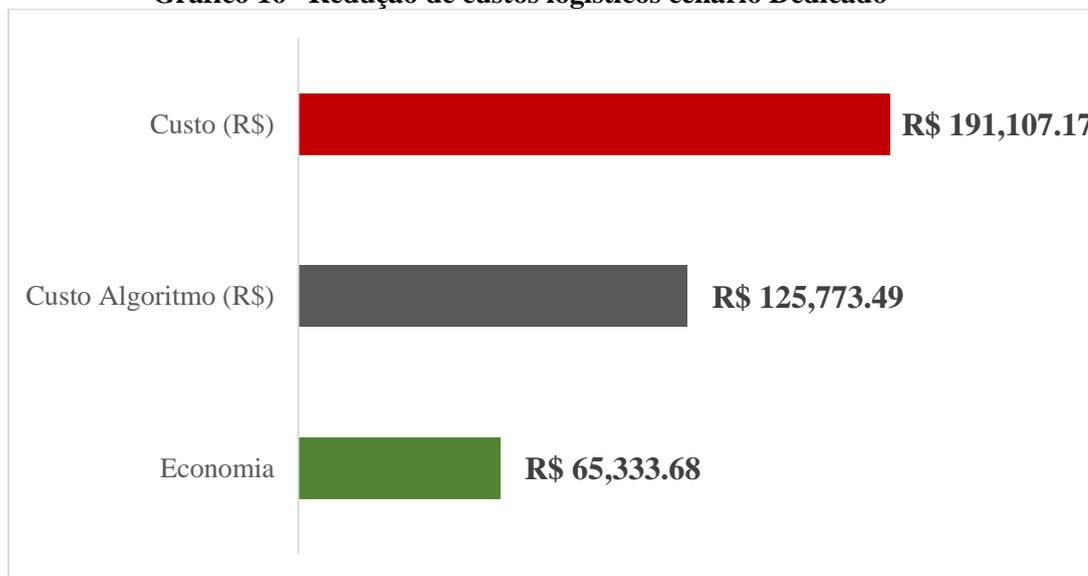
```

Fonte: Autoria própria

Como a base de dados utilizada foi a mesma do cenário 1, pode-se assumir um mesmo resultado referente aos tempos de execução obtidos pelo algoritmo e quanto a solução ótima de carregamento encontrada. A particularidade deste cenário diz respeito a utilização dos 25 veículos dedicados contratados e seus custos associados. Neste contexto, a solução ótima encontrada para o cenário 2 foi de R\$ 125.773,49 de custos logísticos e a utilização de 91 veículos ao longo de todo período analisado, o que representa uma economia de 34% comparado ao executado na prática. O Gráfico 16 demonstra a economia que a empresa teria

caso utilizasse apenas dedicados nos transportes de maio/2020, seguindo a configuração de disposição de materiais proposta pelo modelo.

Gráfico 16– Redução de custos logísticos cenário Dedicado



Fonte: Autoria própria

Em determinados dias analisados, observou-se que o custo do transporte dedicado na prática foi muito maior do que o custo proposto pelo algoritmo, isso deve-se a taxa de utilização do cálculo do frete dedicado. Essa taxa está relacionada ao tempo que o veículo leva para realizar a entrega ou coleta dos materiais, por exemplo, as carretas podem ficar paradas no porto aguardando liberação, e este tempo de espera é contabilizado no cálculo do frete. Por se tratar de um fator extremamente variável, o modelo matemático e computacional não tem a capacidade de estimar tais valores, o que gerou uma diferença nos dias analisados.

Como era de se esperar, a economia apontada pelo algoritmo foi maior do que do cenário 1, pois de modo geral os custos dedicados são menores. Esta redução de custos obtida pelo cenário 2 se aplicada no setor de logística de transportes da empresa Y teria um impacto extremamente positivo, pois as despesas com a frota dedicada oneram significativamente suas receitas. Dessa forma, a companhia poderia repensar os custos e possivelmente reduzir a quantidade de veículos dedicados contratados a fim de amenizar os custos fixos deste segmento.

5.3 Cenário 3 – Dedicado e *Call Out*

Para o terceiro e último cenário, foram considerados veículos dedicados e *call out*

simultaneamente. Os equipamentos utilizados foram os mesmos, referente ao mês de Maio/2020, o que difere neste cenário é a maior disponibilidade de carretas, totalizando 57 veículos com dimensões e capacidades distintas. Além disso, os custos envolvidos também são diferentes, devido aos cálculos de frete dedicado e *call out* exemplificados na seção 4.1.5.

Deste modo, o principal objetivo do cenário 3 é que o modelo computacional escolha o padrão ótimo de materiais em veículos com o menor custo de frete total, levando em consideração a disponibilidade de veículos em ambas modalidades. Isto é, após a alocação dos materiais em determinado tipo de veículo o algoritmo deve escolher entre a modalidade mais barata, caso o veículo-modalidade esteja disponível (Carreta Trucada – *Call out*, por exemplo).

O algoritmo não se mostrou eficiente em analisar essas duas formas de modalidade de transporte, visto que a variável y_j não possui um índice que determine se o veículo é dedicado ou *call out*. Esse mesmo índice seria responsável por variar entre diferentes tipos de custos dos diferentes veículos. Isso significa que o modelo não é capaz de escolher entre um veículo dedicado e um *call out* levando em conta o menor custo e a disponibilidade da frota.

Outro fator limitante ao cenário 3 é a falta da matriz de disponibilidade de frota das empresas terceirizadas no modelo computacional, o que faz o modelo acreditar que em toda execução existirá o total de 57 carretas disponíveis para carregamento e transporte, o que não é verdade. Portanto, os resultados obtidos com o cenário 3 não foram conclusivos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho objetivou aplicar o problema de *bin-packing* bidimensional com frota heterogênea, conhecido na literatura como 2VSBPP (*bidimensional variable sized bin-packing problem*), num caso de carregamento de veículo de carga de médio e grande porte de uma multinacional do setor de óleo e gás. Para tanto buscou-se contextualizar teoricamente a logística de transportes no setor petrolífero brasileiro, descrever a variação do Problema da Mochila conhecido como 2VSBPP ou 2D *bin packing problem* aplicado ao carregamento de veículos, bem como sintetizar os aspectos fundamentais para a modelagem matemática e computacional, aliando a Programação Linear Binária e Inteira com a linguagem de programação Python. Por fim, foi possível comparar os cenários de resultados obtidos por um algoritmo com os dimensionamentos realizados pela equipe de transportes de carga da companhia analisada, a fim de estimar sua eficiência.

Em relação a logística de transportes no Brasil, observou-se que o modal rodoviário é o preponderante e de maior relevância para o país. Os custos envolvidos com este modal impactam em 6,6% do PIB nacional, o que representa uma parcela significativa das receitas, sendo as principais causas a ineficiência da matriz de transportes e as altas taxas de juros. Um dos setores da economia que é impactado por esses altos custos é o setor de Energia, especificamente o de óleo e gás, devido ao grande fluxo de pessoas, materiais e serviços requeridos por essa indústria. Na cidade de Macaé no estado do Rio de Janeiro, sede da Petrobras e de inúmeras multinacionais prestadoras de serviços, estes custos logísticos tornam-se evidentes girando fortemente a economia local. Com a crise do petróleo de 2014 o mercado se tornou mais instável e a redução dos custos uma estratégia necessária para estas empresas que visavam garantir suas margens de lucro e se manter competitivas no mercado. Portanto, os custos logísticos se mostraram como um possível alvo de melhorias e otimizações, de modo a tornar a cadeia de suprimentos petrolífera mais enxuta e econômica.

Sobre os métodos utilizados para esta possível redução de custos, optou-se pela Pesquisa Operacional, e o modelo de programação binária *bidimensional bin packing problem* para frota heterogênea (2-VSBPP). A pesquisa permitiu explicitar os modelos do Problema da Mochila (Mochila 0-1) e do *Bin packing problem*, que foram bases fundamentais para compreensão do modelo 2D e com diversos tipos de veículos que foi o foco do estudo. Observou-se que o uso deste modelo é altamente recomendável para o setor de óleo e gás, bem como todos os

segmentos da economia que objetivem minimizar os custos de transporte através da maximização da área utilizada dos veículos. Neste sentido, percebeu-se que o modelo proposto se adere a problemática da empresa analisada, gerando resultados interessantes em termos de tempo e dinheiro.

Após a execução do modelo computacional desenvolvido em Python, realizou-se a apresentação dos resultados em três cenários quanto a modalidade de transporte a ser realizado: dedicados, *call out* e dedicados e *call out* simultaneamente. Para o cenário da frota *call out*, obteve-se uma economia de 29% para o período analisado com a utilização de menos 16 carretas em comparação ao contexto real. Neste cenário, a taxa de ocupação das carretas comuns aumentou para 75% e o tempo médio de execução do algoritmo foi de 44 milissegundos, muito mais rápido do que a análise manual.

Já o cenário dedicado, apresentou uma economia de 34% com a mesma configuração de materiais em veículos do cenário 1. Em determinados dias analisados, observou-se que o custo do transporte dedicado na prática foi muito maior do que o custo proposto pelo algoritmo, isso deve-se a taxa de utilização do cálculo do frete dedicado, que não pode ser mensurado pelo modelo. Esta redução de custos obtida pelo cenário 2 se aplicada no setor de logística de transportes da empresa Y teria um impacto extremamente positivo, pois as despesas com a frota dedicada oneram significativamente suas receitas.

O cenário 3 em que havia a mistura da frota dedicada e *call out* foi inconclusivo, pois a variável relacionada aos veículos no modelo matemático não possuía um índice que determinasse se o veículo era dedicado ou *call out*. Isto impossibilitou ao modelo enxergar estas duas modalidades de transporte e retornar a solução de menor custo.

Vale ressaltar que aumentar a utilização das carretas diminui a quantidade de viagens, o que por si só já reduz os custos logísticos. Além de ter um software que respeita a capacidade máxima em peso dos diferentes tipos de veículos, mitiga o risco de multas por excesso de peso aferidos pelas balanças presentes nas rodovias. Evitar o sobrepeso também torna o transporte mais seguro, o que evita acidentes de trabalho relacionados ao carregamento de carretas.

Em virtude dos fatos, a estrutura do presente trabalho contribuiu para compreender e resolver um problema de otimização dos carregamentos de veículos de uma multinacional do setor petrolífero. A metodologia de estudo de caso se mostrou bastante assertiva para entender

o funcionamento do setor de logística de cargas, obter as bases de dados que foram cruciais à execução do modelo computacional e compreender uma problemática com diversas variáveis envolvidas.

Para tanto, o modelo descrito tem alto nível de relevância para os profissionais da engenharia, computação e matemática que pretendem se aprofundar, implantar, coordenar ou mesmo avaliar operações que visem a redução de custos logísticos de transporte através da automatização computacional. Sendo assim, este trabalho se mostra como um importante instrumento de conhecimento para a otimização de carregamentos e minimização dos custos relacionados a logística de transportes de carga.

6.1 Limitações do estudo

Entre as principais limitações da pesquisa, deve-se ressaltar a carência de literatura referente ao 2-VSBPP, poucos trabalhos foram identificados nas bases de pesquisa Capes, Scopus e Google Acadêmico que adotaram o modelo de programação binária e inteira como objeto de estudo no ramo do petróleo e gás. Dado a complexidade dos carregamentos realizados pela companhia na prática, não foi possível solucionar a problemática de forma integral, sendo necessário estabelecer alguns recortes que norteariam o estudo de caso. Ademais, uma limitação estrutural dos sistemas da empresa seria a incerteza da disponibilidade dos veículos, isto é, não havia em tempo real uma lista de veículos disponíveis para transporte.

6.2 Possibilidades de Pesquisas

Acerca das propostas para trabalhos futuros notam-se oportunidades em desenvolver um aplicativo mais amigável e de fácil utilização pelos analistas de logística, para que eles não percam tempo dimensionando os veículos necessários no carregamento e tenham a certeza que a escolha dos veículos é a mais econômica e eficiente, tornando o serviço mais lucrativo.

Outra possibilidade seria inserir restrições que tornem o modelo ainda mais próximo da realidade e das exigências solicitadas pelos clientes, como as boas práticas de não mobilizar produtos químicos, explosivos e radioativos juntos; reservar 1 metro aproximadamente à frente e atrás dos contentores de 6 metros, permitindo o sistema de *lock* que gera maior segurança; quando houver carregamento de muitos *big bags*, não permitir outros tipos de equipamentos como caixas, cestas ou contentores no mesmo carregamento.

Além disso, o algoritmo não leva em consideração a disponibilidade real dos veículos. Para o programa, todo o dia a quantidade total de veículos dedicados/*call out* está disponível para uso, porém na prática não é o que acontece. Por exemplo, veículos utilizados no dia anterior podem ainda estar em trajeto, isto é, ocupados e não poderiam ser considerados na análise. Logo, o ideal seria que as transportadoras terceirizadas informassem diariamente a quantidade e os tipos de veículos disponíveis e essa informação ser inserida no código.

Por fim, como o estudo se limitou ao aspecto bidimensional do *bin packing*, pode ser interessante testar o modelo tridimensional para os casos específicos cujos carregamentos permitam o empilhamento de cargas, como o caso dos *big bags*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Boletim da produção de petróleo e gás natural 2020**. Rio de Janeiro, ANP, 2020 Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins-anp/bmp/2020/2020-12-boletim.pdf>>. Acesso em: 10 de outubro de 2021.
- ANTT. Agência Nacional de Transporte Terrestre, 2008. Página inicial. Disponível em: <<https://www.gov.br/antt/pt-br>> Acesso em: 25 de fev de 2022
- ARENALES, M. N. et al. **Pesquisa operacional para cursos de engenharia**. 2ª Edição: Elsevier:Brasil, 2007.
- ARES, Gabriel. **Logística de apoio off shore: Integração e sincronização da cadeia de atendimento às unidades marítimas**. 2013. Disponível em: <<http://www.ilos.com.br/web/logistica-de-apoio-offshore-integracao-e-sincronizacao-da-cadeia-de-atendimento-as-unidades-maritimas/>>. Acesso em: 15 maio 2020.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BELFIORE, P.; FÁVERO, L. P. **Pesquisa Operacional para Cursos de Engenharia**. Rio de Janeiro. Elsevier, 2013.
- BERTELLI, Gustavo. **Transporte de produtos perigosos requer atendimento à legislação específica e atenção especial**. Guia do TRC (2015). Disponível em: <<http://www.guiadotrc.com.br/noticiaID2.asp?id=30762>>. Acesso em: 18 de agosto de 2021.
- BRANDÃO, F. D. A; PEDROSO, J. P. **Bin Packing and Related Problems: Pattern-Based Approaches**. Universidade do Porto (Tese de Mestrado). 2012.
- BRANSKI, R. M; ESTEVES, R. L. Logística na cadeia de petróleo offshore: Brasil, Noruega e Golfo do México. In: **XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Alagoas, 2018.
- BRASIL. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. **Diário Oficial da União**: seção1, Brasília, DF, 24 setembro 1997.
- BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J. **Logística empresarial: o processo de integração da Cadeia de Suprimento**. Tradução Equipe do Centro de Estudos em Logística; Adalberto Ferreira das Neves; coordenação da revisão técnica Paulo Fernando Fleury, César Lavallo. São Paulo: Atlas, 2001.
- CHEN, C.S.; LEE, S.M. and Shen, Q.S. An analytical model for the container loading problem. *European Journal of Operational Research*, 80, 68-76, 1995.
- CHITATA, Joaquim Andre Gomes. **A história dos transportes**, 2013 Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/JoaquimAndreGomesChi/a-historia-dos-transportes>>. Acesso em: 7 de janeiro de 2021.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: estratégia, planejamento e operação**. São Paulo: Prentice Hall, 2007.

CNT. **Custo logístico consome 12,7% do PIB do Brasil**. Brasília: Confederação Nacional do Transporte, 2016 Disponível em: < <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/custo-logistico-consome-12-do-pib-do-brasil>> Acesso em: 7 de fevereiro de 2022.

CSCMP. Council of Supply Chain Management Professionals. Disponível em: < <http://cscmp.org/>> Acesso em: 15 de março de 2021.

CUNHA, C. B.; REIS, J. V. A. **Uma meta-heurística de busca decomposta em vizinhança variável para o problema bidimensional de agrupamento de entregas em veículos de uma frota heterogênea**. The Journal of Transport Literature. Universidade de São Paulo. Brasil, 2015.

_____. **Código de Trânsito Brasileiro. Brasília, 1997**. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9503.htm>. Acesso em: 5 de agosto de 2021.

_____. **Boletim Unificado 2020**. Disponível em: < <https://cnt.org.br/boletins>>. Acesso em: 20 de junho de 2021.

DANTZIG, G. B. (1957). **Discrete-variable extremum problems**. Operations Research, 5(2): 266-288.

DASKIN, M.S. (1985). **Logistics: an overview of the state of the art and perspectives on future research**. Transportation Research - A, Vol. 19A, N° 5/6, págs. 383- 393.

FARIA, Ana Cristina de; ROBLES, Léo Tadeu; BIO, Sérgio Rodrigues. **Custos logísticos: discussão sob uma ótica diferenciada**. Congresso Brasileiro de Custos. Porto Seguro-BA, 2004.

FARIA, Ana Cristina de; COSTA, Maria de Fátima Gameiro da. **Gestão de custos logísticos**. São Paulo: Atlas, 2012.

FARIA, Sérgio Fraga Santos. **Fragments da História dos Transportes**. São Paulo: Aduaneiras, 2001.

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

FLEURY, P. F. Terceirização logística no Brasil. In: FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F.; WANKE, P. (Eds.). **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento do fluxo de produtos e dos recursos**. São Paulo: Editora Atlas, 2003.

FRANCISCHINI, P. G.; FRANCISCHINI, A. S. N. **Indicadores de desempenho: dos objetivos à ação – métodos para elaborar KPIs e obter resultados**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2017

FREITAS, Maxsoel Bastos de. **Transporte rodoviário de cargas e sua respectiva responsabilidade civil**. Teresina, 2004. Disponível em: <

<https://jus.com.br/artigos/5231/transporte-rodoviario-de-cargas-e-sua-respectiva-responsabilidade-civil>>. Acesso em: 10 de outubro de 2021.

GAREY, M. R.; JOHNSON, D. S. **Computers and intractability: a guide to the theory of NP-completeness**. San Francisco: W. H. Freeman, 1979.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa**. Plageder, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOLDEN, B. Approaches to the cutting stock problem. **AIIE Transactions**, New York, v. 8, n. 2, p. 265-274, 1976.

GUIMARÃES, Eduardo Augusto. **Transporte rodoviário de carga (TRC): características estruturais e a crise atual**. Confederação Nacional da Indústria (CNI). Brasília, 2016.

ILOS, Especialistas em Logística e *Supply Chain*. **Custos logísticos no Brasil 2017**. Disponível em: <https://www.ilos.com.br/DOWNLOADS/PANORAMAS/Nova_Brochura%20CustosLog2017.pdf>. Acesso em: 23 de junho de 2021.

INAREJOS FILHO, O. **Sobre a não linearidade do problema da mochila compartimentada**. (Tese de Mestrado). Curso de Matemática, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2015.

INSTITUTE OF MANAGEMENT ACCOUNTANTS (IMA). **Cost Management for Warehousing**. [S.I.]: National Association of Accountants, 4-K, September, 1989. (Statements on Management Accounting).

JOMINI, Baron. **The Art of War**. A New Edition, with Appendices and Maps. Translated from the french by Capt. G.H. MENDELL, and Lieut. W.P. CRAIGHILL, U.S. ARMY. Originally published in 1862. Extraído do “The Project Gutenberg EBook of The Art of War, by Baron Henri de Jomini –Disponível em: <<https://www.gutenberg.org/files/13549/13549-h/13549-h.htm>> Acesso em: 30 de agosto de 2021.

LIMA, M. P. **Custos logísticos na economia brasileira**. Revista Tecnológica, COPPEAD/UFRJ, Rio de Janeiro, 2014.

LOPES, Elisangela Pereira (2015). **Características do Transporte Rodoviário de Carga – TRC: infraestrutura logística e estrutura de mercado**. Disponível em:<https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/artigostecnicos/artigo-09_0.39921000%201514912078.pdf> Acesso em: 30 de agosto de 2021.

MARTELLO, S.; MONACI, M.; VIGO, D. **An exact approach to the strip-packing problem**, **Infoms Journal on Computing**, Linthicum, v. 15, n. 3, p. 310–319, 2003.

MARTÍNEZ, D. A. **Estudo dos problemas de corte e empacotamento**. (Tese de Doutorado). Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2014.

MARTINS, Eliseu. **Contabilidade de custos**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MIGUEL, Paulo A. Cauchick ; SOUSA, Rui. **O Método do Estudo de Caso na Engenharia de Produção**. In MIGUEL, Paulo A. Cauchick (coord.) - Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. 2.^a ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. ISBN 978-85-352-4850-0. Cap. 6, p. 131-148

MORAIS, J. M. DE. **Petróleo Em Águas Profundas - Uma história tecnológica da PETROBRAS na exploração e produção offshore**. 1. ed. Brasília: PETROBRAS, 2013.

MOURA, Benjamim. **Logística: Conceitos e Tendências**. Lisboa: Centro Atlântico, 2006. 345 p.

OR-TOOLS 7.2. Laurent Perron and Vincent Furnon. Disponível em: <<https://developers.google.com/optimization/>>. Acesso em: 8 de março de 2021.

OS principais veículos utilizados no Transporte Rodoviário Brasileiro de Cargas. **Blog TruckPad**, 2017. Disponível em < Principais tipos de veículos de carga usados nas rodovias - Blog TruckPad> Acesso em: 25 de fev de 2022

PANITZ, C. E. P.: **Organização e gerenciamento de frota e terminais em empresas de transporte de carga através de modelos de pesquisa operacional**. Porto Alegre, 1996.

PENA, Rodolfo F. Alves. **Transporte rodoviário no Brasil**. 2020 Disponível em: <<https://www.preparaenem.com/geografia/transporte-rodoviario-no-brasil.htm>>. Acesso em: 15 de março de 2021.

POZO, Hamilton. **Administração de Recursos Materiais e Patrimoniais: Uma Abordagem Logística**. São Paulo: Atlas, 2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MACAÉ. **Bem vindo a Macaé: Capital Nacional do Petróleo**. Disponível em: <<http://www.macaerj.gov.br/cidade/conteudo/titulo/capital-nacional-do-petroleo>>. Acesso em: 16 de agosto de 2021.

PFS. Python Software Foundation c2001 à 2022. Página inicial. Disponível em: <<https://www.python.org/psf/>> Acesso em: 15 de fev de 2022

REIS, Jorge Von Atzingen dos; CUNHA, Claudio Barbieri da. Uma meta-heurística de busca decomposta em vizinhança variável para o problema bidimensional de agrupamento de entregas em veículos de uma frota heterogênea. Universidade de São Paulo. **Journal of Transport Literature**, 9(1), 40-44, Jan. 2015.

REGISTRO NACIONAL DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – RENAVAL. **Frota de Veículos – 2020**. Disponível em: <<https://www.gov.br/infraestrutura/ptbr/assuntos/transito/conteudo-denatran/frota-de-veiculos-2020>>. Acesso em: 10 de outubro de 2020.

RODRIGUES, P. R. A. **Introdução aos sistemas de Transporte no Brasil e à Logística Internacional**. 3^a Edição, revisada e ampliada. Aduaneiras, São Paulo, 2007.

SILVA, M. R. **Uma contribuição ao projeto de redes de transporte de carga parcelada.** São Paulo, 2010.

SITWARE, 2018. **O que é KPI logístico, como calcular e para que serve.** Disponível em: <<https://www.siteware.com.br/blog/processos/kpi-logistica-exemplo/>>. Acesso em: 9 de setembro de 2021.

THE ECONOMIST. **Python is becoming the world's most popular coding language.** 2018. Disponível em: <www.economist.com/graphic-detail/2018/07/26/python-is-becoming-the-worlds-most-popular-coding-language>. Acesso em : 17 de dezembro de 2020.

THE NEW YORK TIMES. **Breaking news, world news & multimedia.** Nova Iorque, 2015.

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

WILHELM, L.; SOUSA, M. A. B.; PREDEBON, E. A.; SOUSA, P. D. B.; MARTINS, E. S. **Avaliação de Desempenho Logístico dos Fornecedores de um Atacado de Gêneros Alimentícios.** Disponível em: <http://www.aedb.br/seget/artigos06/627_Avaliacao%20de%20desempenho%20logistico_Seg%202006.pdf> Acesso em: 08/04/2020.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e métodos.** Bookman editora.2015.