



**Saulo Borges Pinheiro**

**Otimização do transporte rodoviário de  
contêineres: métodos exato e heurístico**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
para obtenção do título de Mestre pelo Programa  
de Pós-Graduação em Engenharia Logística  
(opção profissional) da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Silvio Hamacher

Rio de Janeiro  
Abril de 2013



**Saulo Borges Pinheiro**

**Otimização do transporte rodoviário de  
contêineres: métodos exato e heurístico**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre (opção profissional) pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada

**Prof. Silvio Hamacher**

Orientador e Presidente

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

**Prof. José Eugenio Leal**

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

**Prof. Luiz Felipe Roris Rodriguez Scavarda do Carmo**

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

**Prof. José Eugênio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 17 de abril de 2013.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização do autor, do orientador e da universidade.

## Saulo Borges Pinheiro

Graduado em Engenharia de Controle e Automação pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro em 2008. Trabalhou no Núcleo de Excelência em Otimização da PUC-Rio, atuando em projetos de planejamento logístico para uma grande empresa do ramo de óleo e gás. Em 2010 ingressou na Log-In Logística como *trainee*, e atualmente trabalha na área de Planejamento e Controle de Performance, desenvolvendo trabalhos de planejamento tático e sobretudo fomentando a utilização de ferramentas de otimização na empresa.

### Ficha Catalográfica

Pinheiro, Saulo Borges

Otimização do transporte rodoviário de contêineres : métodos exato e heurístico / Saulo Borges Pinheiro ; orientador: Silvio Hamacher. – 2013.

78 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2013.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Cabotagem. 3. Logística. 4. Algoritmo guloso. 5. Contêiner. 6. Rodoviário. 7. Otimização. I. Hamacher, Silvio. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

## Agradecimentos

A Deus pela minha vida, saúde, família, e por sempre colocar em meu caminho pessoas maravilhosas.

Ao Professor Silvio Hamacher por sua orientação na elaboração desta dissertação, e pela grande contribuição que o NExO propiciou à minha carreira.

Aos Professores Luiz Felipe Scavarda e José Eugênio Leal por terem ajudado a fazer do mestrado algo realmente relevante em minha vida, e por participarem da banca examinadora.

Aos meus colegas da Log-In Logística por todo o apoio, em especial Marianna Campos e Luis Henrique Godoi pela confiança em mim depositada.

Aos meus pais, Roberval e Maria Inês, por serem o alicerce de minha vida, mostrando que com bons valores e determinação podemos vencer todos os obstáculos da vida.

Às minhas irmãs, Beatriz e Naila, e ao meu afilhado, Sávio, que com seu olhar inocente de uma criança de 2 anos me faz querer lutar por um mundo melhor.

À minha mulher, Aline, por todo seu companheirismo e amor, estando sempre a ao meu lado e me fazendo tão feliz.

## Resumo

Pinheiro, Saulo Borges. Hamacher, Silvio. **Otimização do transporte rodoviário de contêineres: métodos exato e heurístico**. Rio de Janeiro, 2013. 78p. Dissertação de Mestrado (Opção profissional) – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Apesar da dimensão continental brasileira, da grandeza de sua costa e da proximidade entre o litoral e os grandes centros urbanos, o transporte de cargas em contêineres utilizando a cabotagem ainda é muito restrito no Brasil. Neste cenário, para ganhar espaço, os armadores brasileiros de cabotagem buscam oferecer serviços porta-a-porta, conseguindo economias de escala na contratação dos fornecedores que realizam as pontas rodoviárias, aumentando assim a competitividade da cabotagem com seu principal concorrente, o modal rodoviário. Neste trabalho são apresentados dois modelos que visam minimizar o custo total de contratação de fornecedores rodoviários para uma lista de demandas que devem ser atendidas. O primeiro é um modelo matemático de programação linear inteira, o segundo é um algoritmo que utiliza uma heurística gulosa. Os modelos foram desenvolvidos e testados em cenários reais, vividos por armador de cabotagem brasileiro durante um período de tempo determinado. Os resultados dos dois modelos, que são comparados entre si e com as soluções realizadas manualmente por funcionários do armador de cabotagem, mostram que as soluções dos modelos de otimização são muito melhores do que as soluções manuais. Os resultados mostram ainda que o algoritmo guloso alcança resultados muito próximos aos do método exato, mostrando ser de grande utilidade dada a facilidade de sua implantação.

## Palavras-chave

Cabotagem, Logística, Algoritmo Guloso, Contêiner, Rodoviário, Otimização.

## Abstract

Pinheiro, Saulo Borges. Hamacher, Silvio. (Advisor) **Containers road transportation optimization: exact and heuristics methods.** Rio de Janeiro, 2013. 78p. M. Sc. Dissertation – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Despite the Brazilian continental scale, the magnitude of its coastline and the proximity between the coast and the large urban centers, the transport of cargo in containers using cabotage is still very limited in Brazil. In this scenario, the Brazilian cabotage ship-owners seek to provide door-to-door services, achieving economies of scale in procurement for suppliers that perform road ends, thus increasing the competitiveness of cabotage with its main competitor, the transportation by trucks. This work presents two models that aim to minimize the total cost of hiring road suppliers to a list of demands that must be performed. The first is a mathematical model based on integer linear programming, the second is an algorithm that uses a greedy heuristic. The models were developed and tested in real scenarios, experienced by a Brazilian cabotage ship-owner for a period of time. The results of the two models, which are compared among each other and with the manually solutions performed by the company's employees, show that the solutions of optimization models are much better than the manual solutions. The results also show that the greedy algorithm achieves very close results to the exact method, proving to be very useful given the ease of its implementation.

## Keywords

Cabotage, Logistics, Greedy Algorithm, Container, Road, Optimization

## Sumário

1. Introdução	11
2. Pesquisa Bibliográfica	16
2.1. Modal Rodoviário	16
2.2. Modal Ferroviário	17
2.3. Modal Aquaviário	18
2.4. Multimodalidade	19
2.5. Contêiner	20
2.6. Utilização de Otimização no Transporte Aquaviário	20
2.7. Algoritmo Guloso	22
3. Estudo de caso	24
3.1. Descrição do Negócio	24
3.2. Seleção das Transportadoras	29
4. Modelagens do Problema	33
4.1. Programação Linear	33
4.2. Algoritmo Guloso	37
5. Avaliação dos Resultados	49
6. Conclusão	54
6.1. Estudos Futuros	57
Referências Bibliográficas	58
Apêndice 1 – Demandas	61
Apêndice 2 – Capacidade Ofertada	65
Apêndice 3 – Tabela de Fretes	67
Apêndice 4 – Resultados Obtidos	73

## Lista de Figuras

Figura 1: Macro fluxo do algoritmo

41



## Lista de Tabelas

Tabela 1: Evolução do total transportado por cabotagem, por natureza da carga	12
Tabela 2: Portos atendidos por cada serviço	25
Tabela 3: Notação de classificação dos tipos de caminhões	28
Tabela 4: Matriz de Caminhões Substitutos	32
Tabela 5: Passo 1, demandas a atender	42
Tabela 6: Passo 2, capacidades ofertadas pelas transportadoras	42
Tabela 7: Passo 3, saldo de caminhões por tipo	43
Tabela 8: Passo 4, ordem de substituição de caminhões por tipo	43
Tabela 9: Passo 5, veículos aptos a atender cada demanda	44
Tabela 10: Passo 7, definição dos ganhos	44
Tabela 11: Passo 8, ordem de execução da alocação	45
Tabela 12: Passo 9, alocação da primeira demanda	45
Tabela 13: Passo 9, capacidade após a primeira alocação	45
Tabela 14: Passo 9, alocação da segunda demanda	46
Tabela 15: Passo 9, capacidade após a segunda alocação	46
Tabela 16: Repetição dos passos 6, 7 e 8. Reordenação das demandas	47
Tabela 17: Passo 9, alocação da terceira demanda	47
Tabela 18: Passo 9, capacidade após a terceira alocação	47
Tabela 19: Passo 9, alocação da quarta demanda	48
Tabela 20: Passo 9, capacidade após a quarta alocação	48
Tabela 21: Comparação do número de demandas atendidas	50
Tabela 22: Comparação do custo total de programação	51
Tabela 23: Comparação geral dos modelos	53

## Lista de Gráficos

Gráfico 1: Movimentação de contêineres de cabotagem nos portos brasileiros

11

## 1. Introdução

Em um país de dimensões continentais, com mais de 7 mil quilômetros de costa e com 80% do seu PIB concentrado a uma distância de até 400 quilômetros do litoral, a escolha pela cabotagem parece natural. Entretanto, na prática, por motivos históricos e de infra-estrutura, a cabotagem ainda representa uma fatia pequena na matriz de transportes brasileira, sobretudo no transporte de produtos industrializados, de mais alto valor agregado.

A Lei de Modernização Portos, lançada em 1993, tinha como objetivo principal aumentar, a longo prazo, a eficiência e a competitividade dos portos brasileiros. Apesar do cenário atual ainda estar longe do ideal, é possível dizer que esta lei possibilitou que a cabotagem conseguisse acompanhar o crescimento econômico brasileiro a partir do final da década de 1990. O Gráfico 1 mostra que entre 2000 e 2011 o número de movimentos (colocação ou remoção do contêiner no navio) feitos em navios de cabotagem nos portos brasileiros mais do que triplicou.

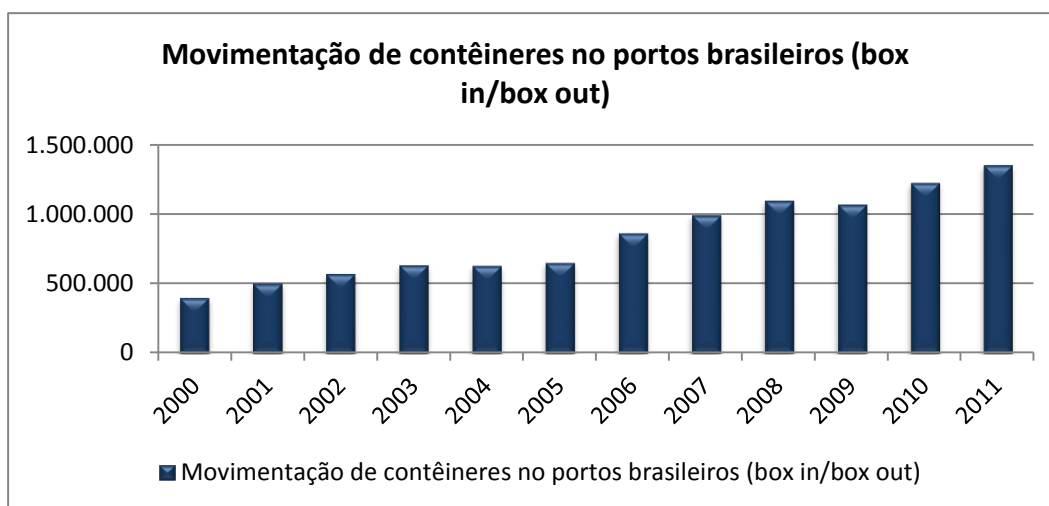


Gráfico 1: Movimentação de contêineres de cabotagem nos portos brasileiros.

Fonte: Datamar 2012

A carga de cabotagem pode ser classificada, quanto a sua natureza, em granel sólido, granel líquido, carga geral solta e carga geral containerizada, sendo esta última o objeto deste trabalho. A Tabela 1 mostra que enquanto a cabotagem,

de forma geral, cresceu 2% de 2010 para 2011 e 4% de 2011 para 2012, a carga geral containerizada apresentou crescimentos muito superiores, 9,6% de 2010 para 2011 e 25% de 2011 para 2012.

Tabela 1: Evolução do total transportado por cabotagem, por natureza da carga

Natureza da Carga	Quantidade Transportada (t)			% Var (2011 x 2010)	% Var (2012 x 2011)
	2010	2011	2012		
Granel Sólido	18.239.171	18.301.965	17.056.786	0,3%	-6,8%
Granel Líquido	102.532.931	104.657.709	109.573.381	2,1%	4,7%
Carga Geral Solta	4.737.704	4.617.348	4.893.664	-2,5%	6,0%
Carga Geral Containerizada	5.198.792	5.698.380	7.121.353	9,6%	25,0%
<b>T O T A L</b>	<b>130.708.598</b>	<b>133.275.402</b>	<b>138.645.183</b>	<b>2,0%</b>	<b>4,0%</b>

Fonte: ANTAQ 2013

Apesar deste expressivo crescimento, as cargas containerizadas correspondem a apenas 5,1% do total transportado por cabotagem no Brasil, sendo que o transporte aquaviário, como um todo, representa apenas 13,6% da matriz de transportes brasileira (CNT, 2013). Ou seja, o transporte de cargas em contêineres utilizando a cabotagem demonstra um enorme potencial, com crescimento acima da média, porém sua representatividade na matriz de transportes brasileira é ainda muito pequena. Para reverter esta situação os armadores brasileiros de cabotagem precisam voltar seus olhos para seu principal concorrente, o modal rodoviário. Sozinhos, os caminhões são responsáveis por mais de 61% das cargas movimentadas no país (CNT, 2013).

Empresas de navegação lidam com custos extremamente elevados, como navios, preço do *bunker*, praticagem, custos portuários, manipulação, aluguel e manutenção de contêineres, são exemplos destes custos. Enquanto no Brasil, em 2012, havia 15 navios porta-contêineres (SNM – 2012), a frota de caminhões, era de mais de 1,7 milhões de caminhões (ANTT – 2012). Sendo que destes, 46% pertencem a transportadores autônomos que muitas vezes não pagam os impostos de forma adequada. O resultado disto é que além de terem uma estrutura de custos muito mais enxuta, esta oferta muito grande de caminhões acarreta em uma guerra de preços entre os transportadores rodoviários, difícil de ser acompanhada pelas

empresas de navegação de cabotagem. Operar de forma enxuta é fundamental para que essas empresas sejam competitivas com o modal rodoviário.

Tipicamente, o transporte de uma carga da cabotagem começa com um caminhão que leva um contêiner vazio até a planta do cliente embarcador, onde a carga é acondicionada dentro do contêiner. De lá o caminhão segue para o porto de embarque da carga, é comum a existência de imensas filas até que o caminhão consiga acessar o terminal portuário para depositar o contêiner. No porto o contêiner embarca no navio rumo ao seu destino, ao chegar, novamente um caminhão vai retirá-lo para, enfim, levá-lo até o cliente final. Como as viagens começam e terminam com a utilização de caminhões, estes trechos são chamados de pontas rodoviárias, na origem e no destino.

No intuito de se tornarem mais competitivos, os armadores brasileiros de cabotagem oferecem um serviço que vai além do transporte aquaviário das cargas, eles oferecem serviços porta a porta, sendo responsáveis também pelas pontas rodoviárias. Com um volume muito grande de cargas, estes armadores conseguem negociar com os transportadores rodoviários fretes mais baratos. A vantagem para o cliente é que, além de conseguir um valor mais barato, ele terá que contratar apenas um fornecedor, e não três, como no caso dele decidir ser o responsável pelas pontas rodoviárias.

Um dos armadores brasileiros de cabotagem que presta este tipo de serviço é a Log-In Logística Intermodal. Em 2012, a Log-In Logística operava em 13 portos da costa brasileira oferecendo o serviço de transporte porta a porta (incluindo as pontas rodoviárias). Em cada porto a Log-In Logística possui acordo com alguns fornecedores rodoviários daquela região. No ano de 2012, na região do porto de Santos, por exemplo, a Log-In Logística chegou a ter acordo firmado com 10 transportadoras diferentes.

No dia-a-dia, os funcionários da empresa responsáveis pela realização da programação das transportadoras avaliavam todas as características das demandas que deveriam ser atendidas no dia seguinte, e selecionavam que transportadora deveriam atendê-las. Na prática, este trabalho consumia um tempo enorme dos funcionários. No porto de Santos, eram efetuadas, em média, 50 viagens

rodoviárias por dia, e, não raro, chegava a 80 em dias de pico. Encontrar uma combinação entre transportadoras e demandas com características compatíveis era algo tão difícil que os funcionários praticamente não conseguiam considerar a variável custo na programação.

Observando toda esta dificuldade, identificou-se a possibilidade de se desenvolver uma ferramenta que auxiliasse os funcionários da área de programação na realização da seleção das transportadoras para o atendimento das demandas nas pontas rodoviárias. Este trabalho tem como objetivo apresentar dois modelos que, para uma lista de demandas a serem atendidas, façam a seleção das transportadoras que devem atendê-las, levando-se em consideração as diversas características dos caminhões que devam ser utilizados, as capacidades ofertadas pelas transportadoras, de forma rápida e, principalmente, minimizando o custo total da programação. No intuito de se obter uma referência em relação a resultados ótimos, primeiro é apresentada uma modelagem matemática do problema e sua solução por programação linear inteira. Depois apresenta-se uma solução alternativa, de mais fácil implantação prática, um algoritmo que utiliza uma heurística gulosa, implementado em planilha Excel suportado por um código programado em Visual Basic®. Os dois modelos são testados em cenários reais vividos pela Log-In Logística por um período determinado de tempo. Os resultados são comparados entre si e com as soluções realizadas manualmente por um funcionário da empresa.

No Capítulo 2 é feito um breve estudo bibliográfico da importância do transporte dentro da logística, mostrando a avaliação de vários autores sobre os diversos modais, mostrando vantagens e desvantagens de cada modal. Define-se a multimodalidade e intermodalidade. Mostra-se a revolução que a utilização do contêiner gerou no transporte mundial de cargas. Também são apresentados trabalhos de diversos autores que aplicaram modelos de otimização em problemas relacionados ao transporte aquaviário. Por fim são apresentados dois trabalhos onde os autores utilizaram de algoritmos gulosos para resolver problemas típicos de empresas de navegação.

No Capítulo 3 é feita uma apresentação da Log-In Logística e sua operação, mostrando, dentro deste contexto, onde a programação rodoviária está

inserida. O problema da programação rodoviária é explicado de forma bem detalhada, mostrando todos os tipos de caminhões, o que é a possibilidade de substituição de caminhões, o relacionamento da área de programação com as transportadoras e com a área comercial, deixando clara a complexidade do problema.

No Capítulo 4 são apresentados os conjuntos, parâmetros, variáveis e equações da modelagem matemática do problema de otimização. O algoritmo guloso é descrito detalhadamente através de um passo a passo para a perfeita compreensão de sua lógica.

No Capítulo 5 são feitas a apresentação e a avaliação dos resultados após a realização de testes dos dois modelos com cenários reais. Os resultados dos modelos são comparados entre e si e com as soluções manuais, considerando além dos custos totais das programações, custo da implantação da ferramenta, reação a cenários inviáveis e tempo de execução da programação.

No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões com base nos resultados alcançados no Capítulo 5. Também apresenta-se a escolha feita pela Log-In Logística a respeito de qual modelo utilizar, os pontos positivos observados após a implementação da ferramenta em todos os portos operados pela empresa no Brasil e os próximos passos que deverão ser tomados.

## 2. Pesquisa Bibliográfica

Segundo Souza (2007), o item transportes é a atividade dentro da cadeia logística que consiste na movimentação física de produtos entre pontos de armazenagem, venda e consumo. Cinco são os modais utilizados no transporte de cargas: rodoviário, ferroviário, aquaviário, aéreo e dutoviário. Sendo os três primeiros responsáveis por 95,4% da movimentação total de cargas no Brasil (CNT, 2012).

Diversos atributos influenciam na decisão de que modal deve ser utilizado no transporte de uma carga, Novaes (2009), em seu estudo de avaliação da intermodalidade no Brasil, baseando-se em trabalhos de Efron e Rose (2002) e Stanton et al. (2002), selecionou cinco atributos considerados pelos embarcadores na escolha do modal a ser utilizado, são eles: Frete, Confiabilidade (nos contratos e prazos firmados), Tempo (desde a coleta no ponto inicial até a entrega da carga no destino final), Intervalo (frequência com a qual aquele modal é disponibilizado) e Segurança (risco de roubo de carga). Entretanto, por desejar considerar em seu estudo somente os modais que possam transportar diversos tipos de cargas, Novaes (2009) optou por não considerar o modal dutoviário.

Bowerson & Closs (2001) classificam os modais através de cinco variáveis. Velocidade, onde o modal aéreo leva maior vantagem. Disponibilidade, que é capacidade do modal alcançar qualquer localidade solicitada pelo cliente, neste ponto o rodoviário se mostra o mais vantajoso. Confiabilidade, que é o cumprimento das programações dentro do prazo estabelecido, sendo o modal dutoviário o mais confiável. Capacidade, que é a facilidade de acomodar os diversos tipos de cargas (volume e peso) em grandes quantidades, sendo o modal aquaviário o mais vantajoso. E frequência, que é a disponibilidade do modal, sendo novamente o modal dutoviário o que mais leva vantagem.

### 2.1. Modal Rodoviário

O Keedi e Mendonça (2000) definem o modal rodoviário como o mais adequado para viagens curtas, sendo realizado em estradas de rodagem.



Davidsson et al. (2005) defendem a utilização do modal rodoviário em distâncias curtas e nos casos em que clientes necessitam flexibilidade de horário.

61,1% de toda a carga movimentada no Brasil utiliza o modal rodoviário (CNT, 2012), sendo que, quando se avalia apenas as cargas com alto valor agregado este número sobe para 87% (Novaes, 2009). Segundo Galvão (1996) a evolução do transporte rodoviário ocorreu de forma muito rápida no Brasil, a partir dos anos 50, quando os modais ferroviário e aquaviário tiveram grande parte de sua demanda transferida para as rodovias.

Dentro da classificação sugerida por Bowerson & Closs (2001), na variável velocidade o modal rodoviário fica atrás somente do aéreo. Na variável disponibilidade o ele leva muita vantagem em relação aos demais, pois consegue alcançar praticamente qualquer ponto requisitado pelo embarcador, sendo por isso um modal fundamental quando se discute multimodalidade. Na variável confiabilidade o modal rodoviário só fica atrás do dutoviário, ele leva vantagem em relação ao aquaviário e ferroviário, pois uma vez que a carga estiver dentro do caminhão ela só sairá dele no seu destino final enquanto nos outros dois modais as cargas precisam passar por agentes externos (terminais, por exemplo) intensificando o risco de atrasos. Já quando se fala em capacidade, os modais ferroviário e aquaviário levam muita vantagem sobre os caminhões que possuem capacidade bem limitada. Em relação a frequência novamente o modal rodoviário volta a levar vantagem sobre os trens e navios que, em geral, possuem frequências fixas enquanto os caminhões atendem aos clientes na hora que eles precisarem.

## **2.2. Modal Ferroviário**

O transporte ferroviário é aquele realizado por trens, puxados por locomotivas (Keedi e Mendonça, 2000). Para Ballou (2006), o transporte ferroviário é voltado para o longo curso e de baixa velocidade, utilizado para o transporte de matérias primas e produtos manufaturados de baixo custo. No Brasil 20,7% da carga movimentada utiliza este modal (CNT, 2012).

De acordo com a classificação sugerida por Bowerson & Closs (2001), o modal ferroviário possui uma classificação intermediária no que se refere a

velocidade, perdendo para os modais aéreo e rodoviário. No que se refere a disponibilidade, o modal ferroviário leva vantagem em relação ao dutoviário, aquaviário e aéreo, perdendo apenas para o rodoviário. Já na variável confiabilidade o modal ferroviário volta a ocupar uma posição intermediária, já que não consegue acompanhar a flexibilidade do rodoviário e do dutoviário. Em relação à capacidade, ele leva muita vantagem em relação ao demais modais, perdendo apenas para o modal aquaviário, que ganha pois consegue transportar cargas de qualquer tipo, seja de peso ou de volume. Já no que se refere a frequência, o modal ferroviário fica muito prejudicado em relação ao rodoviário, mais uma vez por conta da flexibilidade oferecida por este modal.

O modal ferroviário é mais barato do que o modal rodoviário para longas distâncias (Davidsson et al., 2005). Apesar disso, a malha ferroviária brasileira, 30.051 km, é muito pequena quando comparada à malha rodoviária, 1.580.992 km, além disso, os trens no Brasil trafegarem em velocidades muito baixas, 25 km/h contra 80 km/h nos Estados Unidos em média (CNT, 2012). Tais fatos colaboram para a baixa utilização deste modal no Brasil, quando comparado especialmente aos Estados Unidos.

### **2.3. Modal Aquaviário**

Para Keedi e Mendonça (2000), o transporte aquaviário refere-se ao transporte realizado sobre a água. Cabotagem é um meio de transporte aquaviário que envolve dois portos de um mesmo país ou entre um porto costeiro e um fluvial (Pereira, 2006). O Brasil é um país de dimensões continentais, possui 7.408 quilômetros de extensão de costa, e suas principais cidades, pólos industriais e centro consumidores estão localizados próximos ao litoral (Novaes, 2009). Em um cenário como este, se espera uma intensa utilização da cabotagem dentro de sua cadeia logística. Entretanto, apenas 13% das cargas transportadas no Brasil utilizam o modal aquaviário (CNT, 2012), sendo a situação ainda pior se a análise for feita por produtos de alto valor agregado, nestas circunstâncias a cabotagem é responsável por apenas 4,5% do transporte destes produtos (Novaes, 2009). Segundo Novaes (2009), uma melhora na confiabilidade ofertada por este modal poderia fazer com que a esta fatia aumentasse de 4,5% para 20%.

Avaliando o transporte aquaviário de acordo com a classificação sugerida por Bowerson & Closs (2001), na variável frequência ele leva uma imensa desvantagem em relação a todos os modais, pois não possui a flexibilidade do rodoviário e, em geral, opera com frequências menores do que os trens, e muito menores do que dos aviões. Em relação a velocidade, o transporte aquaviário é um transporte lento, ainda mais lento que o ferroviário. Como os navios dependem de águas navegáveis e terminais de atracação, do ponto de vista da disponibilidade o modal aquaviário também acaba levando desvantagens, entretanto, ao avaliar as características geoeconômicas brasileiras, onde 80% do PIB está concentrado a uma distância de até 400 km do litoral (Cel/Coppead, 2006), esta desvantagem fica bastante atenuada. Na variável confiabilidade, mais uma vez o modal aquaviário leva desvantagens, pois até a carga entrar no navio ela precisa passar por diversos intermediários, ficando sujeita a eventos externos, o congestionamento dos portos, por exemplo, é um destes eventos que prejudicam a confiabilidade. A variável aonde o transporte aquaviário mais se destaca é a capacidade, em navios é possível acomodar quase qualquer tipo de carga, com formas distintas e pesos elevados.

Diversos autores, entre eles Ballou (2004) e Davidsson et al. (2005), defendem a utilização do transporte aquaviário para altos volumes e longas distâncias, pois, por ser o modal mais barato para grandes volumes, geram economia de escala. Segundo Souza (2007):

*“o transporte de cabotagem é adequado para distâncias maiores que 1.500 km, cujas localidades de origem e destino sejam distantes do porto até 200 km, pois coletar cargas em distâncias superiores a estas limita a competitividade, já que o custo da ponta rodoviária acaba inviabilizando o custo total”.*

Lima (2008) considera a falta de estrutura e a dificuldade de acesso dos terminais portuários como os principais problemas do transporte aquaviário no Brasil.

## **2.4. Multimodalidade**

O transporte multimodal é aquele em que são necessários mais de um tipo de veículo para conduzir a mercadoria até ao seu destino final. Segundo Keedi

(2000) apud Pedreira (2006), o que diferencia a multimodalidade da intermodalidade é o número de documentos de transportes que envolvem a transação. Enquanto na intermodalidade emite-se um documento individual de transporte para cada modal (por exemplo, CTAC e CTRC), na multimodalidade, emite-se apenas um documento de transporte (CTMC), cobrindo o trajeto total da carga, do seu ponto de origem até o ponto de destino. Este documento é emitido pelo OTM (Operador de Transporte Multimodal). As cargas são transportadas desde a origem até seu destino sob a responsabilidade de apenas um operador (com unificação de seguro e conhecimento de transporte), mesmo que este responsável venha a sub-contratar operações físicas de terceiros. Este trabalho se focará exatamente na minimização dos custos destas sub-contratações feitas por um operador multimodal.

## **2.5. Contêiner**

O contêiner surgiu no final dos anos 30, entretanto começou a ser fortemente utilizado a partir dos anos 60 e revolucionou o transporte mundial de cargas. A padronização por ele propiciada possibilitou o transporte de cargas em diversos modais, e a facilidade de manipulação proveniente da unitização aumentou a eficiência e velocidade do transporte (Bandeira, 2005). Por conta disso, a utilização do contêiner no mercado internacional cresceu, e continua a crescer, de forma muito rápida. Enquanto em 1990 foram transportados por volta de 30 milhões de TEUs no mercado internacional, no ano de 2010 este número já girava em torno de 150 milhões (UNCTAD, 2012).

## **2.6. Utilização de Otimização no Transporte Aquaviário**

Em um mercado competitivo, de altos custos e baixas margens, cada vez mais se busca a utilização de ferramentas que visem maximizar a eficiência das operações, o que tem gerado um aumento considerável de estudos neste sentido. Enquanto Dejax e Crainic (1987) citavam a pouca quantidade de trabalhos sobre reposicionamento de contêineres, 20 anos depois Shitani et al. (2007) apontavam justamente o contrário.

A viabilidade econômica do transporte aquaviário depende da existência de volume de cargas nas duas direções (Novaes, 2009). Na prática é quase impossível que haja o mesmo volume demandado de cargas nos dois sentidos em um serviço regular. Além disso, existem diversos tipos de contêineres, que podem ser demandados pelo embarcador. Na prática, isso faz com que regiões consumidoras acumulem muitos contêineres, enquanto que em regiões produtoras faltam contêineres para embarcar cargas, a solução para isso é reposicionar os contêineres vazios das regiões consumidoras para as produtoras. Por conta disso, a maior parte dos trabalhos encontrados na literatura a respeito de otimização aplicada em empresas de transporte aquaviário tratam do problema de minimização dos custos de reposicionamento de contêineres.

Analisando os trabalhos publicados, percebe-se que ao longo dos anos não houve um aumento apenas na quantidade, os trabalhos foram se tornando cada vez mais complexos e com abordagens mais amplas.

White (1972) desenvolveu um modelo dinâmico que determina de onde os contêineres vazios devem sair para abastecer uma determinada localidade onde não há contêineres suficientes para o atendimento da demanda.

Lai et al. (1995) utilizaram técnicas de simulação para construir seu modelo que também visa minimizar a movimentação de contêineres vazios.

Enquanto Cheung e Chen (1998) utilizaram programação estocástica para a solução do problema de alocação de contêineres considerando apenas um tipo de contêiner, Cranic e Delorme (1993) já tratavam do problema considerando diversos tipos de contêineres, porém utilizaram o método “*branch-and-bound*”.

Rezende (2003) desenvolve um estudo aonde visa minimizar o custo com contêineres vazios considerando não somente os custos de reposicionamento mas também a possibilidade de leasing (aluguel) de contêineres de terceiros.

Bandeira (2005), apesar de considerar apenas um tipo de contêiner, propõe um modelo que, além de tratar do problema de reposicionamento de contêineres vazios, ainda considera a operação de transbordo de contêineres cheios e vazios.

Teixeira (2011) desenvolveu um modelo bastante abrangente que visa maximizar a receita total. Seu modelo parte de uma lista de demandas selecionando as que devem ser atendidas e decide como os reposicionamentos devem ocorrer, considera diversas restrições, como capacidade dos navios, diversos tipos de contêineres, diversos navios, bem como suas programações, e várias rotas. É um modelo integrado para seleção de cargas e reposicionamento de contêineres vazios.

## 2.7. Algoritmo Guloso

Algoritmos de otimização geralmente seguem uma seqüência de passos, com opções de escolhas em cada passo. O algoritmo guloso sempre escolhe a opção que parece melhor naquele momento, ou seja, ele escolhe o ótimo local na esperança de que esta opção leve ao ótimo global. Apesar de nem sempre o algoritmo guloso conseguir alcançar a solução ótima, em muitos problemas ele consegue. É um método poderoso que pode ser usado em diversos problemas (Cormen et al, 2009).

Fazendo uso de um algoritmo guloso Souza, (2001) desenvolveu um modelo que busca decidir como o reposicionamento de contêineres vazios deve ser feito utilizando como critério o custo de cada movimento, incluindo a possibilidade de se reposicionar contêineres vazios através do modal rodoviário. O algoritmo desenvolvido pelo autor, para cada um dos portos, primeiramente calcula o estoque de contêineres vazios, encontra a necessidade de reposicionamento, verifica os possíveis portos de origem de reposicionamentos, avalia a existência de arcos entre o porto em déficit e os portos de origem, avalia o custo de cada um dos arcos existentes e aloca contêineres aos arcos de menores custos. Em seu estudo o autor apresenta mais duas formas de resolver o problema, uma delas é uma heurística utilizada por uma empresa de navegação, e a outra é através de um algoritmo *Out-of-Kilter*, baseando-se em no estudo apresentado por Ouimet (1972). Ao testar um mesmo cenário nos três métodos estudados, o autor verificou que, apesar de não se poder garantir que isso sempre ocorrerá, o algoritmo guloso conseguiu alcançar o mesmo resultado do algoritmo *Out-of-*

*Kilter*, sendo ambos melhores do que a heurística utilizada pela empresa de navegação.

Cuoco (2008) também fez uso do algoritmo guloso para desenvolver uma ferramenta que tem como objetivo maximizar a margem de contribuição de uma empresa de transporte aquaviário de contêineres. Primeiramente o autor define cinco critérios de rentabilidades que são testados em seu estudo. A partir da demanda para um prazo de 45 a 60 dias, ordena-se as cargas segundo o critério de rentabilidade que está sendo testado. O princípio utilizado é de partir de navios vazios e preenchê-los seguindo esta classificação de rentabilidade e obedecendo aos critérios de capacidade dos navios. O autor também considera a possibilidade de reposicionar contêineres vazios para o atendimento das demandas, desta forma, a saída de seu modelo é seleção de que demandas devem ser atendidas e como o reposicionamento de contêineres vazios deve ser feito para que este atendimento seja possível. O autor não considerou a existência de diversos tipos de contêineres em seu modelo. A implementação heurística utilizou planilhas eletrônicas suportadas por um programa feito em Visual Basic Application® (VBA).

### **3. Estudo de Caso**

#### **3.1. Descrição do negócio**

Para entender o objetivo deste trabalho é necessário o conhecimento da empresa a qual ele se aplica. A Log-In Logística atua principalmente em três serviços distintos: terminal portuário, navegação costeira e transporte rodoviário. A razão da existência deste último é de realizar as pontas rodoviárias necessárias para a execução do transporte de cargas na navegação costeira. Desta forma, apesar deste trabalho ter como objetivo final a redução dos custos no transporte rodoviário, será feita uma breve explicação do serviço de navegação costeira.

O serviço de navegação costeira da Log-In Logística consiste no transporte de cargas, unitizadas em contêineres de 20 ou 40 pés, entre diversos portos da costa na América do Sul, que vão desde Buenos Aires, na Argentina, até Manaus, no norte do Brasil. Por atender a um elevado número de portos, o serviço de navegação costeira é dividido em dois serviços, o Serviço Atlântico Sul (SAS) e o Serviço Amazonas (SAM).

Cada serviço possui um tempo de ciclo de 28 dias e é composto por 4 navios, o que possibilita escalas semanais, em dias fixos, em cada um dos portos atendidos pelo serviço. Na Tabela 2 estão listados os portos atendidos em cada um dos serviços. Nota-se que existe portos que são atendidos pelos dois serviços (Suape, por exemplo), isso é de grande importância por permitir que cargas embarcadas em um serviço possam ser entregues em portos do outro serviço, através da realização de transbordo em um destes portos que os serviços possuem em comum.



Tabela 2: Portos atendidos por cada serviço

Serviço Atlântico Sul (SAS)		Serviço Amazonas (SAM)	
Porto (Sigla)	País	Porto (Sigla)	País
Buenos Aires (BUE)	Argentina	Santos (SSZ)	Brasil
Zárate (ZAE)	Argentina	Paranaguá (PNG)	Brasil
Rio Grande (RIG)	Brasil	Itajaí (ITJ)	Brasil
São Francisco do Sul (SFS)	Brasil	Itaguaí (IGI)	Brasil
Suape (SUA)	Brasil	Suape (SUA)	Brasil
Fortaleza (FOR)	Brasil	Manaus (MAO)	Brasil
Salvador (SSA)	Brasil	Suape (SUA)	Brasil
Vitória (VIX)	Brasil	Vitória (VIX)	Brasil
Itaguaí (IGI)	Brasil	Santos (SSZ)	Brasil
Santos (SSZ)	Brasil		
São Francisco do Sul (SFS)	Brasil		
Montevideú (MVD)	Uruguai		
Buenos Aires (BUE)	Argentina		

Fonte: Elaborado pelo autor

O serviço de navegação costeira da Log-In Logística transporta cargas que podem ser classificadas como cargas de cabotagem, cargas de Mercosul ou cargas *feder*. Cargas de cabotagem são as cargas transportadas entre dois portos brasileiros. Cargas de Mercosul são as cargas que embarcam ou desembarcam nos portos da Argentina ou Uruguai que a empresa opera, ou seja, cargas em que pelo menos um dos portos (de origem ou de destino) não seja no Brasil. Cargas *feder* são cargas vindas de outros países, transportadas por um armador estrangeiro até seu porto *hub* no Brasil e que deste porto até o porto de destino final são transportadas por um armador brasileiro.

Para o transporte de cargas de cabotagem e Mercosul três são as etapas entre o início e o fim de sua viagem: ponta rodoviária na origem, transporte marítimo e ponta rodoviária no destino. A ponta rodoviária na origem consiste na retirada do contêiner vazio no *Depot* (local onde se armazena contêineres vazios) da região da coleta, transporte do contêiner vazio até o cliente embarcador e o transporte do contêiner cheio até o porto de embarque da carga. O transporte marítimo consiste no transporte do contêiner cheio do porto de origem até o porto de destino final da carga. A ponta rodoviária no destino consiste da retirada do contêiner cheio no porto aonde a carga desembarcou, o transporte deste contêiner

até o cliente destinatário para a realização de sua descarga e, por fim, o transporte do contêiner vazio até o *Depot* da região.

A Log-In Logística oferece o serviço porta a porta, ou seja, oferece o transporte rodoviário para o atendimento das pontas rodoviárias, na origem e no destino, dos clientes que contratam o serviço de navegação costeira. Ao contratar o serviço de navegação costeira, o cliente pode optar por realizar as pontas rodoviárias com a Log-In Logística, porém não há nenhum empecilho para que o próprio cliente seja o responsável pela realização destas pontas, ficando sob responsabilidade da Log-In Logística somente o transporte marítimo da carga.

Para realizar o transporte rodoviário das cargas que serão transportadas através do serviço de navegação costeira, é necessário que a Log-In Logística disponha de uma frota de caminhões heterogênea, que obedeça às características físicas do contêiner transportado e aos padrões de qualidade exigidos por seus clientes. Neste trabalho um caminhão sempre fará referência a um cavalo mecânico atrelado a uma carreta porta contêiner. Por características físicas entende-se o tamanho e peso bruto do contêiner. Por padrões de qualidade e entende-se certificação de qualidade SASSMAQ e a adequação do caminhão ao que neste trabalho será chamado de padrão Eletrônico.

Os contêineres transportados no serviço de navegação costeira da Log-In Logística são sempre contêineres de 20 ou 40 pés, dependendo da necessidade dos clientes. Desta forma, as carretas atreladas aos cavalos podem ser de 20 ou 40 pés. Neste trabalho, apesar de na prática em casos isolados o contrário poder ocorrer, é considerado que um caminhão atrelado a uma carreta de 20 pés nunca pode carregar um contêiner de 40 pés e vice versa.

No que se refere a peso, as transportadoras classificam seus caminhões em dois padrões. Os caminhões do tipo L são caminhões que possuem cavalos mecânicos com um eixo de tração, e por isso transportam apenas contêineres que não ultrapassem 26 toneladas de massa bruta (peso da carga mais peso do contêiner). Os caminhões do tipo LS ou trucados, possuem cavalos mecânicos com dois eixos de tração, podendo, desta forma, transportar contêineres de até 32 toneladas de massa bruta (massa bruta máxima admissível no transporte de

contêineres). Não há empecilhos quanto a caminhões do tipo LS transportarem cargas do tipo L, exceto o valor do frete geralmente ser diferenciado (frete do LS mais caro).

Com relação aos padrões de qualidade, existem duas possíveis exigências por parte dos clientes: a certificação SASSMAQ e a adequação ao padrão Eletrônico.

A certificação SASSMAQ (Sistema de Avaliação de Segurança, Saúde, Meio Ambiente e Qualidade) é uma certificação exigida para o transporte de produtos químicos. Para se ter uma certificação SASSMAQ é necessário que a transportadora rodoviária cumpra diversos requisitos de saúde, segurança e meio ambiente, e que, além disso, seja auditada periodicamente por um organismo certificador. Nada impede que uma transportadora possua apenas parte de sua frota com a certificação SASSMAQ. Não existe nenhum empecilho quanto a um veículo com a certificação SASSMAQ transportar uma carga de um cliente que não a exija, nem mesmo com relação a frete.

Devido ao fato de cargas de produtos eletrônicos serem muito visadas em alguns estados (por exemplo, São Paulo), os embarcadores destas cargas exigem que os caminhões que as transportem cumpram uma série de requisitos de segurança. Quando um caminhão cumpre estes requisitos diz-se que este é um caminhão com um padrão Eletrônico, como é chamado neste trabalho. São quatro os requisitos exigidos para um caminhão atender ao padrão Eletrônico:

1. Rastreamento – todos os veículos devem estar equipados com rastreadores por GPS para que suas transportadoras monitorem as cargas em tempo real. A transportadora remotamente pode efetuar ações como, por exemplo, desligar o caminhão.

2. Protetor de estribo – é uma peça adaptada ao caminhão que faz com que ao se fechar a porta o estribo fique escondido, impedindo assim o acesso ao apoio necessário para entrar na cabine do veículo.

3. Sensor de janela – é uma espécie de tela adaptada às janelas do caminhão que caso sofra algum movimento mais brusco dispara automaticamente um aviso através do sistema de rastreamento.

4. Trava de quinta roda – em um caminhão a carreta é ligada do cavalo mecânico através da introdução de seu pino mestre na chamada quinta roda do cavalo. A trava de quinta roda é um dispositivo eletromecânico instalado no chassi do cavalo mecânico que trava a conexão entre este e a carreta porta contêiner, o destravamento só pode ser feito pela transportadora, remotamente.

Combinando todas as características de tamanho, peso e padrões de qualidade chega-se a 16 tipos de caminhões diferentes, que podem, ou não, ser substituídos entre si de acordo com o a carga transportada e as exigências do cliente. Para este estudo é adotada uma notação para que se possa diferenciar cada tipo de caminhão. A notação adotada possui 12 algarismos e seguirá o padrão TTPXSASYELE, descrito na Tabela 3:

Tabela 3: Notação de classificação dos tipos de caminhões

TT	Tamanho da Carreta	20 ou 40 pés
PP	Classificação de Peso	LL para caminhões L e LS para caminhões LS
XSAS	Certificação SASSMAQ	SSAS para veículos certificados e NSAS para veículos não certificados
YELE	Padrão Eletrônico	SELE para veículos que atendam ao padrão e NELE para veículos não atendam

Fonte: Elaborado pelo autor

Por exemplo, seguindo esta notação, um caminhão classificado como 40LSNSASSELE poderia transportar um contêiner de 40 pés, com até 32 toneladas (LS), carregado com produtos eletrônicos (SELE), mas não poderia transportar cargas que exigissem certificação SASSMAQ (NSAS).

Até meados do ano de 2011, na maioria dos portos, o transporte rodoviário da Log-In Logística utilizava caminhoneiros agregados. Para se tornar um

agregado, o caminhoneiro deveria possuir um cavalo que seria atrelado a uma carreta de propriedade da empresa. Este caminhoneiro, apesar de não ter nenhum vínculo empregatício com a empresa, assinava um termo de exclusividade.

Mas, por uma série de motivos operacionais, e principalmente para manter o foco no serviço de navegação costeira (core business), a empresa optou por mudar o modelo de negócio. Naquele momento foram criados acordos com diversas transportadoras nas regiões de todos os portos operados pela Log-In Logística no Brasil, e o serviço de transporte rodoviário da empresa passou a ser realizado por estas transportadoras.

Para ser conveniada, a transportadora precisa se comprometer, entre outros, em dois aspectos fundamentais para este estudo. O primeiro deles é o de informar o valor do frete cobrado para uma vasta lista de destinos preparada pela Log-In Logística. O segundo deles é o de informar todos os dias pela manhã a quantidade de veículos que ela poderá disponibilizar para a Log-In Logística no dia seguinte, detalhando suas características (se são 20 ou 40 pés, L ou LS, certificados pela SASSMAQ e se atendem ao padrão Eletrônico).

### **3.2. Seleção das Transportadoras**

Diariamente a área de Programação da Log-In Logística recebe da área comercial uma lista com todas as cargas que deverão ser transportadas no dia seguinte. Ou seja, cargas que serão retiradas do porto e entregues aos clientes finais e cargas que deverão ser coletadas nos clientes e levadas até o porto para serem transportadas pelos navios da companhia. Também diariamente, a área de Programação recebe das transportadoras conveniadas a quantidade de caminhões que cada uma delas disponibilizará para a Log-In Logística utilizar no dia seguinte, especificando as características dos caminhões disponibilizados. Existe um acordo entre a empresa e as transportadoras, em que estas deverão garantir a quantidade passada até um horário de corte pré-determinado, ou seja, caso a empresa passe a demanda após o horário de corte acordado, a decisão de aceitar a demanda fica por conta da transportadora, sem que haja qualquer penalização para ela.

Para cada localidade de um porto, as transportadoras precificam seus serviços sempre com base na cidade onde está localizado o cliente onde a carga será coletada ou entregue e na classificação de peso que o caminhão que atenderá a esta carga deverá ter, ou seja, se este deverá ser do tipo L ou LS. Por exemplo, se no porto de Santos um mesmo cliente, situado na cidade de Jundiaí, possui dois contêineres para serem coletados, sendo um com 20 toneladas e outro com 28 toneladas, o valor do frete cobrado para transportar cada um dos contêineres deverá ser diferente, já que o primeiro contêiner exige um caminhão do tipo L e o segundo exige um do tipo LS. É importante salientar que caso exista demanda por uma carga de até 26 toneladas, ou seja, do tipo L, porém a transportadora escolhida para transportá-la não tenha disponibilidade deste tipo de veículo, mas tenha disponibilidade de atendê-la com um veículo do tipo LS, a transportadora deverá transportá-la com o veículo do tipo LS mas deverá cobrar o frete como se estivesse transportando a carga com um veículo do tipo L.

De posse das informações de demanda da área comercial e de capacidade das transportadoras, a área de Programação determina quais transportadoras transportarão as cargas solicitadas pela área comercial. Para a execução deste trabalho os funcionários da área dispõem de uma planilha que ao inserir as demandas lhe retorna a transportadora com menor frete para aquela rota, entretanto nem sempre a transportadora com o menor frete possui o tipo de caminhão solicitado pelo cliente daquela demanda. Encontrar manualmente uma combinação de transportadoras e caminhões que atenda aos requisitos acaba consumindo um tempo considerável. Para se ter uma idéia, na região do porto de Santos são transportados por dia entre 60 e 85 contêineres. Como existe um horário de corte para o envio das demandas para as transportadoras, nem sempre os funcionários responsáveis pela programação conseguem priorizar a minimização do custo total da programação.

Outro ponto dificulta a minimização do custo total da programação rodoviária é que, muitas vezes, pode ser melhor atender a uma demanda com um tipo de caminhão que não é exatamente o exigido pelo cliente, e sim com um tipo de caminhão com atributos superiores aos exigidos. Esta substituição de caminhões, principalmente quando há uma lista muito extensa de cargas a serem

transportadas, torna-se muito difícil de visualizar. Conforme descrito a cima, caminhões do tipo LS podem transportar cargas que exijam caminhões do tipo L, mas não o contrário. Carretas de 20 pés não podem transportar contêineres de 40 pés, e, apesar de em algumas situações ser possível, para neste trabalho será considerado que carretas de 40 pés não podem transportar contêiner de 20 pés. Caminhões com certificação SASSMAQ podem transportar cargas que não a exijam, mas o contrário não é valido, esta mesma regra serve para o padrão eletrônico. Desta forma, combinando todas estas características existe 16 tipos de caminhões diferentes com possibilidade de substituí-los entre sim. Na Tabela 4 é apresentada a matriz de substituição de caminhões.

Motivado pela observação da dificuldade para a alocação das transportadoras às demandas, pelo tempo gasto pelos funcionários da Log-In Logística na execução desta tarefa, e principalmente pela possibilidade de ganhos financeiros através de uma melhor alocação, foram desenvolvidos nesta dissertação dois modelos de otimização, sendo um matemático e outro baseado em uma heurística gulosa, com o objetivo de minimizar o custo total diário pago às transportadoras, através da alocação ótima das transportadoras às demandas da área comercial.

Tabela 4: Matriz de Caminhões Substitutos

	20LLNSASNELE	40LLNSASNELE	20LLNSASSELE	40LLNSASSELE	20LSNSASNELE	40LSNSASNELE	20LSNSASSELE	40LSNSASSELE	20LLSSASNELE	40LLSSASNELE	20LLSSASSELE	40LLSSASSELE	20LSSASNELE	40LSSASNELE	20LSSASSELE	40LSSASSELE
20LLNSASNELE			Sim		Sim		Sim		Sim		Sim		Sim		Sim	
40LLNSASNELE				Sim			Sim				Sim				Sim	
20LLNSASSELE								Sim				Sim				Sim
40LLNSASSELE													Sim			
20LSNSASNELE								Sim							Sim	
40LSNSASNELE															Sim	
20LSNSASSELE																Sim
40LSNSASSELE																
20LLSSASNELE													Sim			
40LLSSASNELE															Sim	
20LLSSASSELE																Sim
40LLSSASSELE																
20LSSASNELE																Sim
40LSSASNELE																
20LSSASSELE																
40LSSASSELE																

Fonte: Elaborado pelo autor



## 4. Modelagem do Problema

Motivado pela possibilidade de aumentar a competitividade da cabotagem diante do modal rodoviário no transporte de cargas em longas distâncias, através da redução dos custos na contratação de transportadoras para a realização das pontas rodoviárias na cabotagem, sugere-se neste trabalho duas formas de solucionar o problema da alocação ótima de transportadoras às demandas. A primeira delas, o método exato, é um modelo matemático de programação linear inteira. Já a segunda forma apresentada utiliza de uma heurística gulosa, através da implantação de um algoritmo.

Desenvolver os dois modelos é importante, pois o modelo matemático de programação linear inteira, que apesar de sempre gerar a melhor solução possível, é de difícil implantação prática além de ser caro (já ele depende da utilização de um *solver*). Por outro lado, seu desenvolvimento possibilita medir a qualidade dos resultados apresentados pelo algoritmo guloso. Por ser desenvolvido em Microsoft Excel®, o algoritmo guloso pode ser facilmente implantado, porém não existe garantia de que ele obtenha os melhores resultados. Através da comparação dos resultados dos dois modelos é possível medir o quão longe o algoritmo guloso fica do ótimo global e assim avaliar a viabilidade de sua implantação.

### 4.1. Programação Linear

Para minimizar o custo total de contratação de transportadoras para o atendimento das demandas, propõe-se um modelo matemático de programação linear inteira (MPL). A função objetivo (FO) busca minimizar o custo total de contratação de transportadoras, sujeito a restrições de capacidade das transportadoras e de atendimento total de todas as demandas.

Os seguintes conjuntos foram utilizados na modelagem problema:

- Tipo de Caminhão (V) – A combinação das características de tamanho da carreta (20 ou 40 pés), máximo peso suportado (caminhões do tipo L ou LS), certificação SASSAMQ e adequação ao padrão eletrônico determina

o tipo de um caminhão. Este conjunto, com 16 tipos de caminhões, representa todas as combinações possíveis.

- Transportadoras (T) – É o conjunto de todas as transportadoras conveniadas, que podem ser alocadas para efetuar o atendimento das demandas dos clientes.
- Porto (P) – As viagens rodoviárias podem ser classificadas como viagens de coletas ou viagens de entregas de contêineres. Em uma viagem de coleta, o caminhão retira o contêiner vazio no *depot*, o leva até o cliente para que seja estufado e depois o leva até o porto, onde a viagem é finalizada. Em uma viagem de entrega o caminhão retira o contêiner cheio no porto, o leva até o cliente para que seja esvaziado e finalmente leva o contêiner vazio para ser depositado no *depot*. Dentro do que foi descrito, a origem pode ser o *depot*, no caso de uma coleta ou o porto, no caso de uma entrega, e o destino pode ser o porto, no caso de uma coleta, ou o *depot*, no caso de uma entrega. Entretanto, como os pontos visitados pelo caminhão são sempre os mesmos, independente de ser uma viagem de coleta ou entrega (a distância total percorrida não muda), o valor do frete cobrado pelas transportadoras é indiferente em relação ao tipo de viagem que será realizada. O frete cobrado leva em conta apenas o porto onde a carga será coletada ou entregue e a cidade onde o cliente se situa. Desta forma, para este trabalho, o tipo de viagem é uma informação irrelevante. Como forma de simplificação optou-se por considerar como origem sempre o porto e como destino sempre a cidade onde o cliente está situado. O conjunto Porto compreende todos os portos, ou origens, de uma viagem.
- Local de Destino (D) – Considerando a simplificação descrita no item anterior, este conjunto representa todas as cidades onde os clientes podem estar situados, que neste trabalho serão consideradas como destinos das viagens.
- Classificação de Peso (W) – Como o valor do frete varia de acordo com a classificação de peso de um caminhão, é necessário um conjunto com as classificações de peso possíveis para um caminhão, neste caso L e LS.
- Clientes (C) – Conjunto dos clientes que possuem cargas para serem coletadas ou entregues na programação avaliada.

A partir dos conjuntos acima descritos e das características do problema, os seguintes parâmetros foram adotados:

- Caminhões Substitutos (V,VV) – No Capítulo 3 foram descritas as diversas características de um caminhão (em relação ao tamanho do contêiner transportado, ao peso da carga, a certificação SASSMAQ e ao padrão eletrônico) e como a combinação destas características leva aos 16 possíveis tipos de caminhão. Considerando que caminhões dotados de características superiores (por exemplo, do tipo LS) podem atender tanto demandas que as exijam (cargas pesadas) quanto demandas que não as exijam (cargas leves), é possível que para uma determinada demanda haja mais de um tipo de caminhão apto a atendê-la. Cada demanda traz as informações necessárias para se saber qual o mínimo de características que um caminhão deverá ter para atendê-la. Desta forma, este parâmetro serve para listar para cada tipo de caminhão quais outros tipos podem substituí-lo no atendimento de uma demanda.
- Oferta (P, V, T) – Refere-se à capacidade ofertada de caminhões pela transportadora T, do tipo V, para o porto P no dia em que a programação está sendo analisada.
- Frete (P, D, T, W) – Conforme dito no Capítulo 3, o valor do frete cobrado pelas transportadoras varia de acordo com a classificação de peso do caminhão que será empregado para atender a uma determinada demanda. Sendo assim, o parâmetro frete é o valor cobrado pela transportadora T, para a utilização de um caminhão com classificação de peso W, que transportará um contêiner entre o porto P e o local de destino D.
- Demanda (P, C, D, V, W) – Este parâmetro é a entrada das demandas para o dia em que deverá ser gerada a programação. Ele traz para o modelo a informação do número de contêineres que deverão ser transportados para o cliente C, que exige pelo características mínimas dos caminhões do tipo V, partindo do porto P até o local de destino D, com a classificação de peso W.

Para o problema estudado, as seguintes variáveis foram criadas:

- Escolha (P, C, D, T, V, W) – É uma variável binária que indica se o veículo do tipo V, com a classificação de peso W, da transportadora T, transportará as cargas do cliente C, que irão do porto P para a cidade de destino D.
- Custo Total – É uma variável calculada, que indica o custo total das transportadoras selecionadas para o atendimento das demandas da programação em questão, esta variável é calculada pela seguinte fórmula (equação 1):

$$\text{Custo Total} = \sum_P \sum_C \sum_D \sum_V \sum_T \sum_W \text{Escolha}(P, C, D, T, V, W) \times \text{Frete}(P, D, T, W)$$

Para a resolução do modelo a seguinte função objetivo foi definida (equação 2):

$$\text{mín } \text{CustoTotal}$$

Sujeito às seguintes restrições:

- Restrição de Oferta (equação 3):

$$\sum_C \sum_D \sum_W \text{Escolha}(P, C, D, T, V, W) \leq \text{Oferta}(P, V, T), \forall P, V, T$$

- Restrição de Demanda (equação 4):

$$\sum_T \sum_{VV} \text{Escolha}(P, C, D, VV, T, W) \times \text{CaminhõesSubst}(V, VV) \geq \text{Demanda}(P, C, D, V, W), \forall P, C, D, V$$

A função objetivo (equação 2) busca minimizar o custo total de uma programação, ou seja, busca fazer a melhor combinação de transportadoras para o atendimento de cada demanda a fim de se obter o menor custo possível. A primeira restrição (equação 3), a restrição de oferta, impede que sejam programadas para uma determinada transportadora, mais cargas do que ela possa atender. A segunda restrição (equação 4), a restrição de demanda, garante que

toda demanda seja atendida pelo tipo de caminhão demandado, ou por um de seus possíveis substitutos.

## **4.2. Algoritmo Guloso**

Apesar da garantia de obtenção do melhor resultado, a implantação do sistema de apoio a decisão baseado na modelagem matemática feita neste trabalho acarretaria na necessidade de investimentos por parte da empresa. Seria necessária a compra da licença de um solver e o desenvolvimento do sistema de interface. Como alternativa, foi desenvolvido um sistema de apoio a decisão utilizando o Microsoft Excel® suportado por um programa desenvolvido em Visual Basic®. Para o a criação deste SAD foi desenvolvido um algoritmo utilizando uma heurística gulosa. As mesmas entradas de dados utilizadas para a resolução do problema por modelagem matemática são utilizadas na resolução pela heurística gulosa. São elas:

- Demandas que deverão ser atendidas para o porto em análise, especificando o tipo de caminhão que cada uma delas exige. Também deverá constar a cidade onde o cliente está situado. Cada demanda deverá ter uma entrada distinta, ou seja, mesmo que um determinado cliente demande dois caminhões iguais, deverá haver duas entradas distintas, uma para cada demanda.
- Tabela de oferta de caminhões de cada transportadora por tipo de caminhão.
- Tabela de fretes cobrados por cada transportadora para cada destino na região do porto em análise, detalhando os valores para cada classificação de peso (L e LS) do caminhão.
- Matriz das possibilidades de substituição de caminhões.

O algoritmo segue o seguinte passo a passo:

### **Passo 1: Entrada das Demandas**

No arquivo em Excel, o usuário insere as demandas (cada demanda em uma linha) detalhando as características de peso e tamanho do contêiner, se há

necessidade de utilização de caminhões com certificação SASSMAQ ou com padrão Eletrônico. Neste momento, através de fórmulas, busca-se o valor cobrado por cada transportadora para o atendimento de cada demanda.

#### Passo 2: Entrada dos caminhões ofertados

O usuário insere as capacidades ofertadas por cada transportadora no porto em análise.

#### Passo 3: Avaliação dos tipos de caminhões demandados e disponíveis

Através de fórmulas o programa avalia quantos dos caminhões demandados são do tipo LS, quantos são com certificação SASSMAQ e quantos são com padrão Eletrônico. O programa faz a mesma avaliação para as capacidades ofertadas e para cada um destes três tipos verifica a diferença entre as quantidades ofertadas e as demandadas, esta diferença, neste trabalho, é chamada de saldo.

#### Passo 4: Definição da ordem de substituição de caminhões

Para uma determinada demanda, até 7 tipos de caminhões podem substituir o tipo de caminhão solicitado, entretanto é importante que o programa saiba como ordená-los, ou seja, saiba definir qual deverá ser a segunda, terceira, quarta, até a sétima opção ao substituí-lo. Isso é importante, pois ao tentar atender a uma das primeiras demandas, o programa pode buscar um tipo de caminhão substituto com características muito superiores às solicitadas, e com isso, quando tentar atender a uma das demandas finais, que venha exigir um caminhão com estas características superiores, pode ser que não haja mais disponibilidade deste tipo de caminhão ainda que sobre, por exemplo, caminhões com características intermediárias que poderiam ter sido utilizados para atender aquela primeira demanda. Para contornar este problema foram criadas três ordenações padrões. A primeira ordenação fará com que o algoritmo, na medida do possível, deixe os caminhões do tipo LS como última opção de uso. O segundo padrão fará com que as últimas opções de escolha tendam a ser os caminhões do tipo SASSMAQ. Já o terceiro padrão fará com que os caminhões com padrão eletrônico tendam a preteridos diante dos demais. Neste passo, o programa compara os saldos obtidos

no passo anterior, e define qual das três ordenações padrões será utilizada nos próximos passos. A definição é feita pelo menor saldo, ou seja, se o menor saldo for o de caminhões do tipo LS, o primeiro padrão será o utilizado, se for do tipo SASSMAQ o segundo, e se for do Eletrônicos o terceiro.

#### Passo 5: Definição dos tipos de caminhões aptos a atender cada demanda

Para cada demanda o programa verifica qual é o tipo de caminhão demandado e busca na Matriz de Substituição quais outros tipos podem substituí-lo, listando-os de acordo com a ordenação padrão estabelecida no passo anterior.

#### Passo 6: Eliminação das transportadoras sem capacidade

Neste momento o programa já sabe quais são os valores cobrados por cada transportadora para o atendimento de cada demanda e quais tipos de caminhões podem atendê-las. Neste passo, para cada demanda que ainda não teve sua alocação realizada, o programa verifica se cada uma das transportadoras que podem atendê-la possui pelo menos um dos tipos de caminhões aptos a atender a esta demanda. Caso uma determinada transportadora não tenha nenhum dos veículos aptos ao atendimento, esta transportadora é desconsiderada para o atendimento da demanda em questão. Isso impede que ao buscar os fretes mais baixos o programe ache que a melhor transportadora seja uma que não tenha capacidade de atendimento.

#### Passo 7: Definição do parâmetro Ganho das demandas

Neste trabalho define-se como ganho o valor da diferença entre o valor do frete mais barato e do segundo mais barato para o atendimento de uma demanda. Neste passo são definidos os ganhos de cada uma das demandas.

#### Passo 8: Classificação das demandas do maior para o menor Ganho

A partir dos ganhos definidos no passo anterior, o programa ordena todas as demandas, partindo do maior ganho para o menor. Isso fará com que o programa busque definir primeiro as transportadoras que transportarão as

demandas que possuem maiores ganhos, assim como é feito em diversos algoritmos gulosos.

#### Passo 9: Seleção da transportadora para o atendimento da demanda

Para cada demanda, obedecendo à ordem criada no passo anterior, o programa verifica se a transportadora com frete mais barato possui disponibilidade de um dos tipos de caminhões aptos a atendê-la. Caso possua, o programa define esta transportadora para atender a esta demanda, decrementa a capacidade restante da transportadora e passa para a próxima demanda. Caso a transportadora mais barata não possua disponibilidade de nenhum dos caminhões, o programa passa para a próxima transportadora mais barata, executando o mesmo procedimento até que se esgotem todas as transportadoras. Caso não haja disponibilidade de nenhuma transportadora para o atendimento de uma determinada demanda, o programa sugere que esta demanda seja reprogramada e passa para a próxima demanda. Cada vez que o algoritmo define que transportadora atenderá uma demanda, ele retorna ao passo 6, pois o atendimento que acabou de ser realizado pode zerar a capacidade da transportadora utilizada para atender esta demanda, por conta disso, ao realizar os passos 6 e 7 novamente, pode ser que os parâmetros ganhos se alterem, sendo necessária uma nova ordenação das demandas que ainda não tiveram sua seleção de transportadoras realizadas. Estes *looping* entre do passo 6 ao 10 é realizado até que se esgote as demandas.

O macro fluxo descrito na Figura 1 resume o passo a passo do algoritmo, e a seguir um exemplo é apresentando para facilitar seu entendimento.



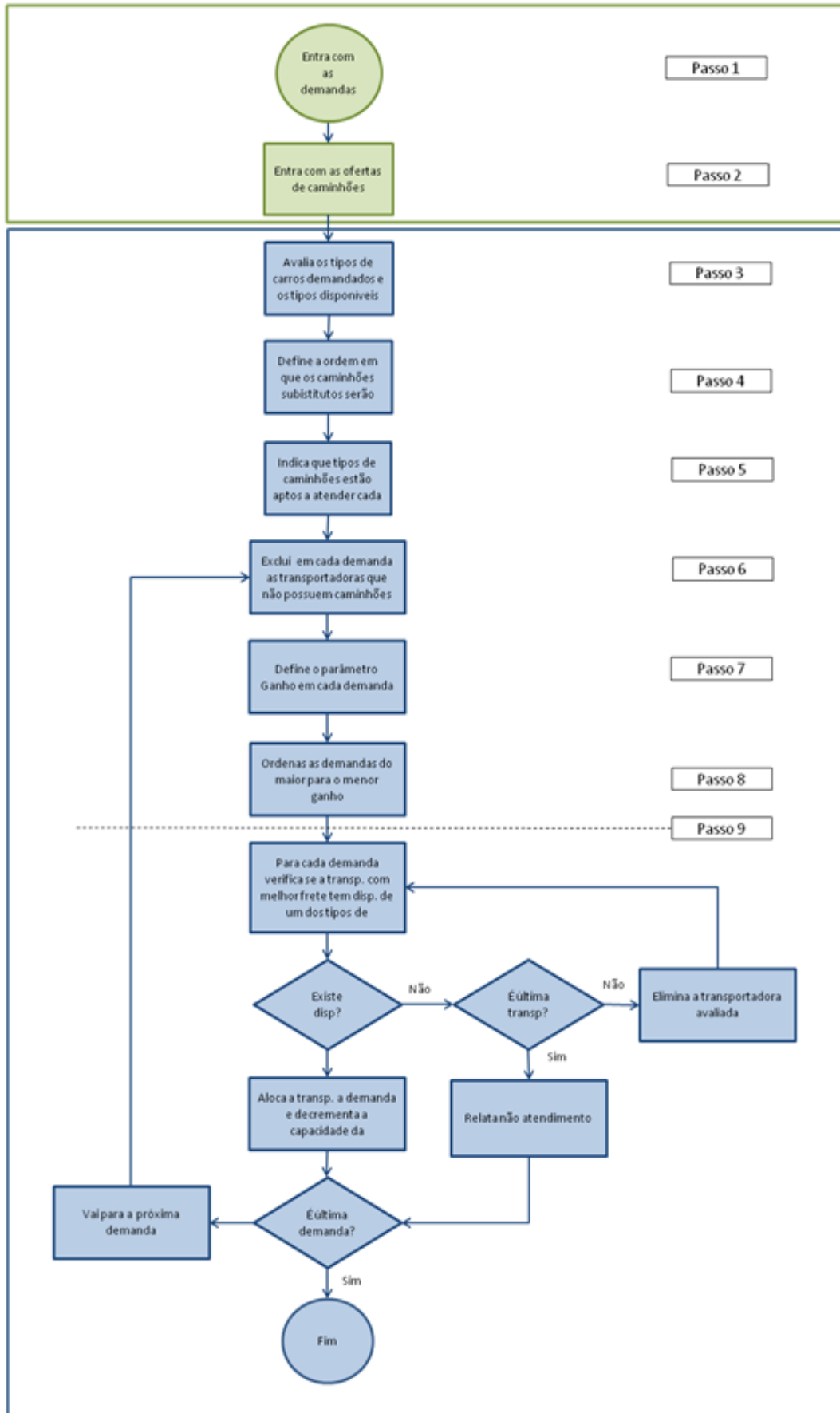


Figura 1: Macro fluxo do algoritmo  
 Fonte: Elaborado pelo autor

Para o exemplo apresentando foi criado um cenário fictício, bastante simplificado em relação ao que se encontra na realidade. O cenário possui quatro demandas de quatro clientes diferentes partindo do porto de Santos para três cidades do estado de São Paulo, cada carga possui suas características específicas, sendo que todas elas utilizam contêineres de 40 pés. Para o exemplo também foram consideradas quatro transportadoras, e suas capacidades ofertadas estão descritas na Tabela 6.

Passo 1: São detalhadas as demandas que devem ser atendidas.

Tabela 5: Passo 1, demandas a atender

# demanda	SASSMAQ ?	Eletrônico?	Porto	Cidade	Cliente	Tam. do contêiner	L ou LS?
DEM1	Sim	Não	BRSSZ	CAMPINAS	CLIENTE 1	40	LS
DEM2	Não	Sim	BRSSZ	PIRACICABA	CLIENTE 2	40	L
DEM3	Não	Não	BRSSZ	SAO PAULO	CLIENTE 3	40	L
DEM4	Sim	Sim	BRSSZ	PIRACICABA	CLIENTE 4	40	LS

Fonte: Elaborado pelo autor

Passo 2: São inseridas no algoritmo as capacidades ofertadas pelas transportadoras.

Tabela 6: Passo 2, capacidades ofertadas pelas transportadoras

Transportadora	40LLSSASSELE	40LLNSASSELE	40LLSSASNELE	40LLNSASNELE	40LSSASSELE	40LNSASSELE	40LSSASNELE	40LNSASNELE
T1					1			
T2					2			
T3								2
T4						1		1

Fonte: Elaborado pelo autor

Passo 3: O algoritmo verifica que característica de caminhão possui menor diferença entre capacidade ofertada e demanda (saldo).

Tabela 7: Passo 3, saldo de caminhões por tipo

Característica	Capacidade	Demanda	Saldo
Eletronico	4	2	2
LS	7	2	5
SASSMAQ	3	2	1

Fonte: Elaborado pelo autor

Passo 4: Segundo o Passo 3, a característica SASSAMQ é a que possui o menor saldo (diferença entre capacidade e demanda). Desta forma, para evitar o risco de alocar caminhões com esta característica em demandas que não a exijam e acabar faltando caminhões deste tipo para as demandas que a exijam, os caminhões com padrão SASSMAQ ficarão sempre como últimas opções na lista de substituição. Ou seja, se na hora da alocação o algoritmo verificar que a transportadora não possui o caminhão solicitado pelo cliente ele irá buscar por caminhões substitutos deixando os caminhões com padrão SASSMAQ como últimas opções (os SSAS ficam no final da lista).

Tabela 8: Passo 4, ordem de substituição de caminhões por tipo

Opção	Tipo de Caminhão
1ª opção	20LLNSASNELE
2ª opção	40LLNSASNELE
3ª opção	20LLNSASSELE
4ª opção	40LLNSASSELE
5ª opção	20LSNSASNELE
6ª opção	40LSNSASNELE
7ª opção	20LSNSASSELE
8ª opção	40LSNSASSELE
9ª opção	20LLSSASNELE
10ª opção	40LLSSASNELE
11ª opção	20LLSSASSELE
12ª opção	40LLSSASSELE
13ª opção	20LSSASNELE
14ª opção	40LSSASNELE
15ª opção	20LSSASSELE
16ª opção	40LSSASSELE

Fonte: Elaborado pelo autor

Passo 5: Para cada demanda o algoritmo verifica qual é o caminhão que deve atendê-la, e a partir da consulta na Matriz de Substituição de Caminhões

(Tabela 4), lista todos os caminhões que são aptos a substituí-lo, mantendo a ordem definida no passo anterior.

Tabela 9: Passo 5, veículos aptos a atender cada demanda

# demanda	Caminhão Demandado	Caminhão - Opção 2	Caminhão - Opção 3	Caminhão - Opção 4	Caminhão - Opção 5	Caminhão - Opção 6	Caminhão - Opção 7	Caminhão - Opção 8
DEM1	40LSSASNELE	40LSSASSELE						
DEM2	40LLNSASSELE	40LNSASSELE	40LLSSASSELE	40LSSASSELE				
DEM3	40LLNSASNELE	40LLNSASSELE	40LNSASNELE	40LNSASSELE	40LLSSASNELE	40LLSSASSELE	40LSSASNELE	40LSSASSELE
DEM4	40LSSASSELE							40LSSASSELE

Fonte: Elaborado pelo autor

Passo 6: O algoritmo elimina, para cada demanda, a transportadora que não tenha disponibilizado pelo menos um tipo de veículo apto a atendê-la. No exemplo a Transportadora T3 não possui nenhum caminhão apto a atender as demandas DEM1, DEM2 e DEM4, enquanto a T4 não possui nenhum veículo apto a atender as demandas DEM1 e DEM4.

Passo 7: O algoritmo define os ganhos para cada demanda.

Tabela 10: Passo 7, definição dos ganhos

# demanda	T1	T2	T3	T4	Ganho
DEM1	2.286,93	1.980,68	-	-	306,25
DEM2	2.045,45	2.250,00	-	2.176,70	131,25
DEM3	1.250,00	1.397,73	1.477,27	1.250,57	0,57
DEM4	2.352,27	2.250,00	-	-	102,27

Fonte: Elaborado pelo autor

Passo 8: Ordena-se de forma decrescente as demandas por seus ganhos.

Tabela 11: Passo 8, ordem de execução da alocação

# demanda	T1	T2	T3	T4	Ganho
DEM1	2.286,93	1.980,68	-	-	306,25
DEM2	2.045,45	2.250,00	-	2.176,70	131,25
DEM4	2.352,27	2.250,00	-	-	102,27
DEM3	1.250,00	1.397,73	1.477,27	1.250,57	0,57

Fonte: Elaborado pelo autor

Passo 9: A partir da lista anterior, o algoritmo tenta alocar a transportadora mais barata utilizando a lista de caminhões substitutos definida no Passo 6. Toda vez que um veículo é alocado, a tabela de capacidade ofertada é decrementada.

Tabela 12: Passo 9, alocação da primeira demanda

Etap a	Demanda	Transportadora	Caminhão	Existe capacidade?	Decisão
1	DEM1	T2	40LSSASNELE	Não	Próximo Caminhão
2	DEM1	T2	40LSSASSELE	Sim	Alocar

Fonte: Elaborado pelo autor

Atualiza tabela de capacidade ofertada

Tabela 13: Passo 9, capacidade após a primeira alocação

Transportadora	40LLSSASSELE	40LLNSASSELE	40LLSSASNELE	40LLNSASNELE	40LSSASSELE	40LNSASSELE	40LSSASNELE	40LNSASNELE
T1					1			
T2					1			
T3								2
T4						1		1

Fonte: Elaborado pelo autor

Neste momento deve-se voltar ao passo 6, para eliminar as transportadoras que não tenham capacidade de atender as demandas restantes. Porém, neste exemplo, nada mudará. Após a avaliação da DEM1, a transportadora utilizada (T2) não teve sua capacidade zerada para o caminhão utilizado (ela ainda possui um caminhão deste tipo), logo ela continua podendo atender as demais demandas,

os parâmetros Ganho não sofrerão alterações e, por consequência, a ordem de avaliação das demandas ainda não atendidas também será a mesma. Seguindo a ordem de execução da programação, a próxima demanda a ser avaliada é a DEM2.

Tabela 14: Passo 9, alocação da segunda demanda

Etapa	Demanda	Transportadora	Caminhão	Existe capacidade?	Decisão
3	DEM2	T1	40LLNSASSELE	Não	Próximo Caminhão
4	DEM2	T1	40LSNSASSELE	Não	Próximo Caminhão
5	DEM2	T1	40LLSSASSELE	Não	Próximo Caminhão
<b>6</b>	<b>DEM2</b>	<b>T1</b>	<b>40LSSASSELE</b>	<b>Sim</b>	<b>Alocar</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Atualiza tabela de capacidade ofertada.

Tabela 15: Passo 9, capacidade após a segunda alocação

Transportadora	40LLSSASSELE	40LLNSASSELE	40LLSSASNELE	40LLNSASNELE	40LSSASSELE	40LSNSASSELE	40LSSASNELE	40LSNSASNELE
T1					0			
T2					1			
T3								2
T4						1		1

Fonte: Elaborado pelo autor

Novamente volta-se para o passo 6, onde verifica-se que a transportadora T1 não possui capacidade para atender mais nenhuma demanda, por isso ela deve ser eliminada na avaliação dos ganhos das demandas não atendidas (DEM4 e DEM3), através do passo 7 calcula-se os novos Ganhos e no passo 8 ordena-se as demandas por seus ganhos. Neste caso, apesar de ter alterado os ganhos, a eliminação da T1 em nada afetou a ordem de programação.

Tabela 16: Repetição dos passos 6, 7 e 8. Reordenação das demandas

# demanda	T1	T2	T3	T4	Ganho
DEM4	-	2.250,00	-	-	2.250,00
DEM3	-	1.397,73	1.477,27	1.250,57	147,16

Fonte: Elaborado pelo autor

A próxima demanda a ser avaliada é a DEM4.

Tabela 17: Passo 9, alocação da terceira demanda

Etap a	Demanda	Transportadora	Caminhão	Existe capacidade?	Decisão
7	DEM4	T2	40LSSASSELE	Sim	Alocar

Fonte: Elaborado pelo autor

Atualiza tabela de capacidade ofertada.

Tabela 18: Passo 9, capacidade após a terceira alocação

Transportadora	40LSSASSELE	40LLNSASSELE	40LLSSASNELE	40LLNSASNELE	40LSSASSELE	40LSNSASSELE	40LSSASNELE	40LSNSASNELE
T1					0			
T2					0			
T3								2
T4						1		1

Fonte: Elaborado pelo autor

Como agora a única demanda que ainda não foi programada é a DEM3, não é necessário voltar aos passos 6, 7 e 8.

Tabela 19: Passo 9, alocação da quarta demanda

<b>Etap a</b>	<b>Demanda</b>	<b>Transportadora</b>	<b>Caminhão</b>	<b>Existe capacidade?</b>	<b>Decisão</b>
8	DEM3	T1	40LLNSASNELE	Não	Próximo Caminhão
9	DEM3	T1	40LLNSASSELE	Não	Próximo Caminhão
10	DEM3	T1	40LSNSASNELE	Não	Próximo Caminhão
11	DEM3	T1	40LSNSASSELE	Não	Próximo Caminhão
12	DEM3	T1	40LLSSASNELE	Não	Próximo Caminhão
13	DEM3	T1	40LLSSASSELE	Não	Próximo Caminhão
14	DEM3	T1	40LSSASNELE	Não	Próximo Caminhão
15	DEM3	T1	40LSSASSELE	Não	Próxima Transportadora
16	DEM3	T4	40LLNSASNELE	Não	Próximo Caminhão
17	DEM3	T4	40LLNSASSELE	Não	Próximo Caminhão
<b>18</b>	<b>DEM3</b>	<b>T4</b>	<b>40LSNSASNELE</b>	<b>Sim</b>	<b>Alocar</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Atualiza tabela de capacidade ofertada.

Tabela 20: Passo 9, capacidade após a quarta alocação

<b>Transportadora</b>	<b>40LLSSASSELE</b>	<b>40LLNSASSELE</b>	<b>40LLSSASNELE</b>	<b>40LLNSASNELE</b>	<b>40LSSASSELE</b>	<b>40LSNSASSELE</b>	<b>40LSSASNELE</b>	<b>40LSNSASNELE</b>
T1					0			
T2					0			
T3								2
T4						1		0

Fonte: Elaborado pelo autor



## 5. Avaliação dos Resultados

No capítulo anterior foram apresentados o modelo matemático e o algoritmo guloso sugeridos para a resolução do problema de minimizar o custo total na alocação de transportadoras às demandas. Neste capítulo será feita uma análise dos resultados através de testes realizados em cenários reais com os dois métodos propostos neste trabalho.

Para a validação do modelo de programação matemático foi desenvolvido um protótipo utilizando os softwares Microsoft Excel® e AIMMS®. No Microsoft Excel® são inseridos os dados requeridos para a execução da alocação. No AIMMS® primeiramente é feita a introdução do modelo matemático obedecendo à linguagem do software. Com isto feito, importa-se os dados inseridos no Microsoft Excel® e ordena-se que o programa execute a minimização. O programa leva em torno de 5 segundos para resolver o problema, gerando a alocação ótima.

Para o algoritmo guloso, o protótipo foi totalmente desenvolvido no Microsoft Excel® suportado por um programa desenvolvido no Visual Basic®. Para se obter a alocação insere-se as demandas, as capacidades ofertadas por cada transportadora e ordena-se a execução do algoritmo. O programa leva em torno de 60 segundos para retornar com a alocação sugerida.

Considerando que em cada mês existe, em média, 26 dias de programações rodoviárias, para a validação dos resultados foram selecionados 13 cenários reais, o que corresponde a meio mês. Todos os cenários testados referem-se a programações feitas no mês de Março de 2012 na região do porto de Santos. Nestes 13 cenários a alocação foi executada manualmente e as capacidades ofertadas pelas transportadoras são conhecidas, desta forma é possível fazer uma comparação dos resultados obtidos através da utilização do modelo matemático, do algoritmo guloso e da programação manual. Conforme pode ser visto na Tabela 21, nos 13 cenários foram avaliadas 644 demandas. Nesta tabela já é possível notar o primeiro benefício das alocações via modelagem matemática e algoritmo guloso em relação à programação manual, pode-se observar que no

Cenário 4, ao contrário dos demais métodos, na alocação manual o programador não encontrou uma solução viável, exigindo que duas das demandas fossem reprogramadas.

Tabela 21: Comparação do número de demandas atendidas

	Demandas Avaliadas	Demandas Atendidas		
		Manual	Modelagem Matemática	Algoritmo Guloso
Cenário 1	53	53	53	53
Cenário 2	43	43	43	43
Cenário 3	63	63	63	63
Cenário 4	41	39	41	41
Cenário 5	60	60	60	60
Cenário 6	42	42	42	42
Cenário 7	49	49	49	49
Cenário 8	66	66	66	66
Cenário 9	50	50	50	50
Cenário 10	59	59	59	59
Cenário 11	16	16	16	16
Cenário 12	64	64	64	64
Cenário 13	38	38	38	38
<b>TOTAL</b>	<b>644</b>	<b>642</b>	<b>644</b>	<b>644</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Em relação aos benefícios financeiros da utilização das ferramentas apresentadas neste trabalho, como era esperado, notou-se que em todos os cenários avaliados a programação feita com base no modelo matemático sempre apresentou os melhores resultados, ainda que em alguns tenha ocorrido um empate. A Tabela 22 traz um resumo dos custos das programações para os cenários avaliados com cada um dos métodos, manual, modelagem matemática e algoritmo guloso.

A alocação via modelo matemático, quando comparada à alocação manual comparando 12 dos 13 cenários avaliados (pois em um dos cenários avaliados, não foi encontrada uma solução viável na programação manual), foi mais barata em R\$ 20.988, o que representa uma economia de 2,14%. Isso corresponde a uma economia média de R\$ 1.749/dia. Levando-se em conta que em um ano são feitas programações em 312 dias, a economia gerada com a implantação da ferramenta, somente na região do porto de Santos, seria da ordem de R\$ 545.000.

A alocação via algoritmo guloso mostrou-se bastante interessante, sendo muito vantajosa quando comparada às alocações manuais. Nos mesmos 12 cenários avaliados o algoritmo guloso foi R\$ 19.873 mais barato o que representa uma economia de 2,02% em relação à alocação manual, isso corresponde a R\$ 1.656/dia de economia. A implantação do algoritmo guloso, considerando apenas o porto de Santos, geraria uma economia de aproximadamente R\$ 517.000 no ano.

Como era de se esperar a programação feita pelo algoritmo guloso não chegou a alcançar o mesmo resultado apresentado pelo método exato, entretanto os resultados finais ficaram muito próximos. O modelo matemático, nos 13 cenários avaliados, mostrou-se R\$ 1.135 mais barato do que o algoritmo guloso, o que representa apenas 0,11% de economia ou R\$ 95/dia. A implantação da programação via modelo matemático acarretaria de em um ganho anual da ordem de R\$ 29.500, se comparado ao algoritmo guloso. Isso mostra que, apesar de nem sempre alcançar o ótimo global, o algoritmo é muito poderoso.

Tabela 22: Comparação do custo total de programação

	Manual	Modelagem Matemática	Algoritmo Guloso
Cenário 1	R\$ 82.443	R\$ 81.171	R\$ 81.186
Cenário 2	R\$ 68.942	R\$ 68.056	R\$ 68.056
Cenário 3	R\$ 98.831	R\$ 98.159	R\$ 98.159
Cenário 4	Não Encontrou Solução	R\$ 66.562	R\$ 66.582
Cenário 5	R\$ 94.600	R\$ 92.862	R\$ 92.862
Cenário 6	R\$ 70.339	R\$ 69.676	R\$ 69.676
Cenário 7	R\$ 82.957	R\$ 81.688	R\$ 81.688
Cenário 8	R\$ 106.575	R\$ 101.969	R\$ 102.183
Cenário 9	R\$ 89.345	R\$ 85.303	R\$ 86.087
Cenário 10	R\$ 94.943	R\$ 92.739	R\$ 92.750
Cenário 11	R\$ 26.614	R\$ 26.410	R\$ 26.410
Cenário 12	R\$ 103.857	R\$ 102.147	R\$ 102.147
Cenário 13	R\$ 62.180	R\$ 60.456	R\$ 60.549
<b>Total (Ex Cenário 4)</b>	<b>R\$ 981.625</b>	<b>R\$ 960.636</b>	<b>R\$ 961.753</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Avaliando cada um dos cenários nota-se que em 7 dos 13 cenários as alocações sugeridas pelo algoritmo guloso foram exatamente iguais às alocações sugeridas pelo modelo matemático. Apenas o cenário 9 apresentou um resultado

com diferença superior a 0,5% no custo total da programação, e mesmo assim seu resultado foi apenas 0,9% pior do que o método exato. Já a programação manual não conseguiu alcançar o resultado ótimo em nenhum dos cenários avaliados, nem mesmo no cenário 11, que é o cenário com menor número de demandas.

Apesar de nenhum dos 13 cenários comparados apresentarem esta situação, nada impede que em um determinado dia haja uma oferta de caminhões insuficiente para o atendimento da demanda. Neste caso, deve-se ordenar a reprogramação de uma ou mais cargas. Sob este aspecto o algoritmo guloso leva vantagem quando comparado ao modelo matemático. Nesta situação o algoritmo guloso consegue sugerir qual demanda deve ser reprogramada. O modelo matemático possui duas restrições, uma que assegura que a quantidade de caminhões utilizada não pode superar a quantidade de caminhões ofertada, e a outra que assegura que todas as demandas devem ser atendidas. Quando não há quantidade de caminhões suficiente para o atendimento das demandas o modelo matemático não consegue ser executado, apresentando erro. Para evitar que isso ocorra torna-se necessária a criação de uma transportadora fictícia (a transportadora “Reprogramar”) que deve ter fretes cadastrados para todos os destinos sempre com valores muito altos, com a certeza de que estes valores sejam sempre os mais caros, desestimulando a sua utilização.

Em relação ao algoritmo guloso, em nenhum dos vários testes realizados ocorreu do algoritmo sugerir uma reprogramação de forma incorreta, entretanto é pouco prudente dizer que isso seria impossível. Apesar do passo 4 do algoritmo, descrito no capítulo anterior, ter a função de evitar que isso ocorra, pode ser que durante sua execução o algoritmo, ao tentar atender a uma das primeiras demandas, busque um tipo de caminhão substituto com características muito superiores às solicitadas, e com isso, quando tentar atender a uma das demandas finais, que venha exigir um caminhão com estas características superiores, pode ser que não haja mais disponibilidade deste tipo de caminhão, ainda que sobre, por exemplo, caminhões com características intermediárias que poderiam ter sido utilizados para atender aquela primeira demanda. Esta situação, dado a não existência de sua ocorrência durante os testes, é classificada como improvável, e de maneira nenhuma interfere nos resultados apresentados neste trabalho.

A economia gerada pela implantação das ferramentas de otimização propostas neste trabalho vai além dos ganhos mostrados na Tabela 22. Nos portos com maiores demandas a execução manual da programação exige bastante tempo necessitando que funcionários, em cada localidade, dediquem boa parte de seu tempo na execução desta tarefa. A implantação de qualquer uma destas ferramentas propostas permitiria que estas programações fossem feitas por apenas um funcionário, fazendo com que os demais funcionários envolvidos com esta tarefa pudessem dedicar seu tempo a outras tarefas.

A Tabela 23 resume as características dos métodos de otimização propostos neste trabalho e também da programação realizada manualmente.

Tabela 23: Comparação geral dos modelos

	<b>Manual</b>	<b>Algoritmo Guloso</b>	<b>Modelagem Matemática</b>
<b>Tempo de Execução (aproximado)</b>	4 horas	60 segundos	5 segundos
<b>Obtenção do resultado ótimo</b>	0%	54%	100%
<b>Economia anual estimada em relação à programação manual</b>	-	R\$ 517.000	R\$ 545.000
<b>Quantidade de funcionários necessários para a execução em todo o Brasil</b>	10	3	3
<b>Identificação incorreta de um cenário inviável</b>	Possível	Improvável	Impossível
<b>Reação a um cenário inviável</b>	Sugere Reprogramação	Sugere Reprogramação	Erro
<b>Custo de Implantação</b>	Não se aplica	Baixo	Alto
<b>Plataforma</b>	Manual	Microsoft Excel®	AIMMS®

Fonte: Elaborado pelo autor

## 6. Conclusão

Este trabalho trata de um problema real vivido por uma empresa de brasileira de cabotagem, a seleção de transportadoras para a realização das pontas rodoviárias. Foram desenvolvidos dois modelos de otimização, um baseado em modelagem matemática e outro baseado em uma heurística gulosa. Tais modelos, que realizam em segundos uma tarefa que manualmente leva algumas horas para ser realizada, têm o objetivo de minimizar o custo total da programação rodoviária, tornando a cabotagem uma opção mais competitiva em um mercado dominado pelo modal rodoviário.

Os resultados obtidos, apresentados no Capítulo 5, mostram que o objetivo deste trabalho foi alcançado. Os testes realizados com cenários reais comprovaram o que era esperado, em todos os cenários testados o modelo matemático alcançou os melhores resultados, principalmente quando comparado a programação manual, mostrando-se a opção mais interessante do ponto de vista da economia alcançada. O fato da soma dos ótimos locais não necessariamente levar ao ótimo global também pôde ser visto neste trabalho, o algoritmo desenvolvido baseado em uma heurística gulosa mostrou exatamente isso. Apesar de ter se mostrado uma opção bastante interessante, muito melhor do que a programação manual, em 46% dos cenários testados o algoritmo não conseguiu alcançar um resultado tão bom quanto o método exato. Contudo, dos 13 cenários avaliados, somente em um o algoritmo alcançou um resultado consideravelmente pior do que o modelo matemático, em cinco cenários os resultados foram piores, porém bem próximos, e nos outros sete os resultados foram iguais aos do modelo matemático.

Apesar de, do ponto de vista de resultados, o modelo matemático ter se mostrado o mais interessante, do ponto de vista prático ele acaba tendo algumas desvantagens quando comparado ao algoritmo guloso. Para implantar uma ferramenta utilizando o modelo matemático, seria necessária a aquisição da licença de um *solver* (neste trabalho foi utilizado o AIMMS®), este *solver* poderia ser suportado por planilhas eletrônicas ou por um banco de dados, entretanto a interface com o usuário destes programas não é amigável dificultando sua

utilização no dia-a-dia. Desta forma, para utilizar a otimização baseada em modelagem matemática o ideal seria o desenvolvimento de um sistema com uma interface amigável, suportado por um banco de dados e integrado ao *solver*. Entretanto, esta opção é cara e necessita de um tempo consideravelmente elevado para sua implantação.

Já a ferramenta baseada em algoritmo guloso, por ter sido desenvolvida sobre um programa muito utilizado na maioria das empresas, o Microsoft Excel®, não possui nenhum custo de implantação, é apenas um arquivo e que, por já estar pronto, pode ser utilizado assim que desejado. Outra vantagem é que ela exige um treinamento mínimo, sua utilização é bem simplificada. Por outro lado a ferramenta baseada no algoritmo apresenta algumas desvantagens. Uma delas é que, justamente por ser feita baseada em uma planilha eletrônica, o arquivo pode ser alterado ou até mesmo excluído involuntariamente. Além disso, a base de fretes, que é uma informação sigilosa, precisa estar dentro do arquivo, então deve existir o controle na circulação deste arquivo.

Em abril de 2012 a área de programação da Log-In Logística começou a utilizar no porto de Santos, em fase experimental, a ferramenta baseada no algoritmo guloso apresentada nesta dissertação. Depois de um mês de utilização a efetividade da ferramenta ficou comprovada. Observou-se uma redução do valor médio pago aos fornecedores rodoviários. A programação rodoviária passou a ficar pronta mais cedo, tornando o processo mais rápido e reduziu, inclusive, o número de horas extras das pessoas nele envolvidas.

Com o sucesso da implantação da ferramenta no porto de Santos, a Log-In Logística decidiu implantar a ferramenta nos demais portos do Brasil. Nestes portos a programação era realizada por pessoas dos escritórios regionais, que dividiam seu tempo entre suas tarefas habituais e a execução da programação rodoviária.

Durante a implantação da ferramenta nos demais portos foi observado que, apesar do processo de programação pouco variar, algumas características dos fornecedores e das cargas dos clientes mudavam de porto para porto. Em alguns locais alguns fornecedores possuíam, por exemplo, caminhões aptos a transportar

tanto contêineres de 20 pés quanto contêineres de 40 pés. Em outros não existia a restrição de caminhões com padrão eletrônico, ou SASSMAQ. Em um dos portos existe um tipo de classificação de caminhão que só realiza viagens dentro de um determinado raio em relação ao porto. Desta forma, para implantar a ferramenta nestes portos foi necessário estudar todas as características da região e adaptar a ferramenta a elas, o que não foi difícil, pois a estrutura principal do algoritmo, a heurística gulosa, não foi alterada em nenhum momento, as alterações foram feitas somente sobre as restrições.

Em Outubro de 2012 todos os portos operados pela Log-In Logística no Brasil estavam com sua programação rodoviária sendo executada através do algoritmo guloso. A seleção dos fornecedores de todos os portos passou a ser centralizada no escritório de São Paulo, deixando os funcionários dos escritórios regionais com mais tempo para dedicar às suas tarefas diárias, gerando vários benefícios para a empresa. Hoje a utilização da ferramenta é considerada indispensável pela área de programação da empresa.

Diante dos resultados alcançados neste estudo, e dos observados na prática com a implantação da ferramenta baseada no algoritmo guloso na Log-In Logística, fica muito claro que independente do modelo de otimização utilizado, estes são muito mais eficientes do que a programação manual, como era feita pela Log-In Logística. Além de trazer bons ganhos financeiros (objetivo principal) a utilização das ferramentas de otimização traz outros ganhos para a empresa. Com elas a área responsável consegue centralizar a programação rodoviária, liberando diversos funcionários dos escritórios regionais para focar em outros tipos de problemas comumente vivenciados no dia-a-dia. Além disso, o fato da programação rodoviária ter se tornado uma tarefa rápida de ser executada, acabou trazendo uma melhora no relacionamento entre a área de programação e a área comercial. Em uma lista de demandas, se houver alguma que não possa ser atendida ela é identificada em um momento em que ainda é possível atuar sem haja uma má percepção por parte do cliente, seja buscando mais caminhões junto aos fornecedores, seja comunicando o cliente com maior antecedência, os efeitos negativos causados pela falta de caminhões pode ser minimizado. Em outras palavras, neste trabalho foi quantificado o ganho tangível, a diminuição do custo



total da programação rodoviária, mas ao implantar a ferramenta notou-se uma série de ganhos que, apesar de intangíveis, são de grande valor para o negócio.

### **6.1. Estudos Futuros**

Os modelos de otimização apresentados neste trabalho se mostraram bastante eficientes, porém deixam espaço para futuras melhorias. Apesar das programações serem feitas com uma antecedência bem pequena, o que se encontra na prática é um considerável dinamismo. Nada impede que clientes cancelem suas demandas, apesar de incomum, isso não é impossível. Fato mais comum é o de as transportadoras não conseguirem oferecer, na prática, os veículos que foram prometidos. Isso ocorre pois, ao fornecer a lista de caminhões que serão disponibilizados no dia seguinte, as transportadoras não consideram alguns imprevistos como quebra de veículos, engarrafamentos e filas nos portos acima das esperadas, retenção de caminhões em clientes, entre outros. Propõe-se para futuros estudos a que nos modelos de otimização sejam consideradas incertezas relativas às ofertas de caminhões pelas transportadoras.

## Referências Bibliográficas

ANTAQ, **Evolução do total transportado, por natureza da carga – 2013**. Disponível em < <http://www.antaq.gov.br/Portal/Anuarios/Anuario2012/40.htm>>. Acesso em 01 mar 2013.

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

BANDEIRA, D.L. **Alocação e movimentação de contêineres vazios e cheios: um modelo integrado e sua aplicação**. Porto Alegre: UFRS, 2005.

BOWERSOX, D.; CLOSS, D. **Logística Empresarial: O processo de integração da cadeia de suprimento**. São Paulo: Atlas, 2001.

CEL/COPPEAD. **Relatório de Pesquisa Panorama Logístico**. Rio de Janeiro: Coppead, 2006.

CHEUNG, R. K.; CHEN, C. A. **Two-stage stochastic network model and solution methods for the dynamic empty container allocation problem**. *Transportation Science*, 1998;32:142-162

CNT, **Boletim Estatístico – CNT 2012**. Disponível em <[http://www.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Boletim%20Estat%20C3%20ADstico/Boletim%20Estatistico%20CNT%20-%20mar\\_2012.pdf](http://www.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Boletim%20Estat%20C3%20ADstico/Boletim%20Estatistico%20CNT%20-%20mar_2012.pdf)>. Acesso em 20 dez. 2012.

CORMEN, T. H. **Introduction to algorithms**. Cambridge, Mass: The MIT Press, 2009.

CRAINIC, T. G.; DELORME, L. **Dual-Ascent Procedures for Multicommodity Location-Allocation Problems with Balancing Requirements**. *Transportation Science*, 1993;27:90-101

CUOCO, M. **Otimização da seleção e alocação de cargas em navios de contêineres**. São Paulo: USP, 2008.

DATAMAR, **Movimentação de Contêineres de Cabotagem em Portos Brasileiros – CompCont 2012**.

DAVIDSSON, P.; HENESEY, L.; RAMSTEDT, L.; TÖRNQUIST, J; WERNSTEDT, F. **An analysis of agent-based approaches to transport logistics**. *Transportation Research Part C.*, 2005;13:255-271

DEJAX, P. J.; CRAINIC, T. G. **Survey Paper-A Review of Empty Flows and Fleet Management Models in Freight Transportation**. *Transportation Science*. 1987;21:227-248

EFFRON, A.; ROSE, J. **Truck or Train? A Stated Choice Study on Intermodalism in Argentina**. Anais do XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte, ANPET, 2002.

GALVÃO, O. A. **Desenvolvimento dos Transportes e Integração Regional no Brasil**. Uma perspectiva histórica, planejamento e políticas públicas nº 13: Jun. 1996.

KEEDI S.; MENDONÇA P. C. **Transportes e Seguros no Comercio Exterior**. São Paulo: Ed. Aduaneiras, 2000.

KEEDI, S. **Logística de Transporte Internacional**. São Paulo: Ed. Aduaneiras, 2000.

LAI, K.K.; LAM, K; CHAN, W. K. **Shipping Container Logistics and Allocation**. Journal of the Operational Research Society. 1995;46:687-697.

LIMA, F. O. **Uma análise de cenário legislativo e operacional dos operadores de transporte multimodal (OTM) no Brasil**. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2008.

NOVAES, A. G.; GONÇALVES, B. S.; SANTOS, M. S.; **Rodoviário, ferroviário ou marítimo de cabotagem? O uso da técnica de preferência declarada para avaliar a intermodalidade no Brasil**. Transportes. 2009.

OUMET, G. P. **Empty Freight Car Distribution: A Study of the Dynamics of Freight Car Distribution Systems and an Application of Network Theory to a Short-Term Allocation Problem**. Kingston: Queen's University, 1972.

PEDREIRA, A. F. **Os recentes avanços da multimodalidade no Brasil**. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2006.

REZENDE, L. B.; BRINATI, M. A.; **A Logística do Contêiner Vazio – Uma Nova Abordagem**. São Paulo, 2003.

SHINTANI, K.; IMAI, A.; NISHIMURA, E.; PAPADIMITRIOU, S. **The container shipping network design problem with empty container repositioning**. Transportation Research Part E. 2007;43:39-59

SNM, **Raio X Da Frota Brasileira na Navegação de Apoio Marítimo - Superintendência de Navegação Marítima e de Apoio**. Rio de Janeiro: SNM, 11/out de 2012.

SOUZA, F. C; LEAL, J. E. **Procedimentos para alocação de contêineres vazios no transporte marítimo**. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2001.

SOUZA, M. C. **Análise da satisfação dos clientes de serviços de cabotagem no Brasil: Um estudo de caso**. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2007.

STANTON, M. A.; MICHEL, F. D.; DANILEVICZ, A. M.; SENNA, L. A. **Aplicação de QFD e preferência declarada no transporte de cabotagem.** Transportes. 2009;11

TEIXEIRA, R. B. **Modelo Integrado para Seleção de Cargas e Reposicionamento de Contêineres Vazios no Transporte Marítimo.** São Paulo: USP, 2011.

UNCTAD. **Review of Maritime Transport 2012.** Disponível em <[unctad.org/en/Docs/rmt2011\\_en.pdf](http://unctad.org/en/Docs/rmt2011_en.pdf)>. Acesso em 31 nov. 2012.

WHITE, W. W. (1972), **Dynamic transshipment networks: An algorithm and its application to the distribution of empty containers.** Networks, 1972, 2: 211–236. doi: 10.1002/net.3230020304

## Apêndice 1 – Demandas

Dia	Demanda	Cliente	Destino	Quantidade	Class. Peso	SASSMAQ?	Eletrônico?
Dia 01	Dia 01/Dem 01	Cliente 1	Destino 1	15	LS	Sim	-
	Dia 01/Dem 02	Cliente 2	Destino 3	5	LL	-	-
	Dia 01/Dem 03	Cliente 3	Destino 4	14	LL	-	Sim
	Dia 01/Dem 04	Cliente 4	Destino 5	3	LL	-	-
	Dia 01/Dem 05	Cliente 5	Destino 6	1	LS	-	-
	Dia 01/Dem 06	Cliente 6	Destino 7	3	LL	-	Sim
	Dia 01/Dem 07	Cliente 7	Destino 8	6	LS	-	-
	Dia 01/Dem 08	Cliente 2	Destino 2	6	LL	-	-
Dia 02	Dia 02/Dem 01	Cliente 1	Destino 1	15	LS	Sim	-
	Dia 02/Dem 02	Cliente 2	Destino 3	5	LL	-	-
	Dia 02/Dem 03	Cliente 2	Destino 2	3	LL	-	-
	Dia 02/Dem 04	Cliente 8	Destino 8	13	LS	-	-
	Dia 02/Dem 05	Cliente 9	Destino 9	2	LL	-	-
	Dia 02/Dem 06	Cliente 10	Destino 10	1	LS	-	-
	Dia 02/Dem 07	Cliente 11	Destino 11	1	LS	-	-
	Dia 02/Dem 08	Cliente 12	Destino 12	3	LL	-	-
Dia 03	Dia 03/Dem 01	Cliente 8	Destino 8	9	LS	-	-
	Dia 03/Dem 02	Cliente 13	Destino 8	1	LL	-	-
	Dia 03/Dem 03	Cliente 12	Destino 12	1	LL	-	-
	Dia 03/Dem 04	Cliente 14	Destino 13	2	LS	-	-
	Dia 03/Dem 05	Cliente 1	Destino 1	15	LS	Sim	-
	Dia 03/Dem 06	Cliente 15	Destino 14	9	LL	-	-
	Dia 03/Dem 07	Cliente 2	Destino 2	4	LL	-	-
	Dia 03/Dem 08	Cliente 2	Destino 3	5	LL	-	-
	Dia 03/Dem 09	Cliente 16	Destino 15	2	LS	-	-
	Dia 03/Dem 10	Cliente 10	Destino 10	2	LS	-	-
	Dia 03/Dem 11	Cliente 17	Destino 16	10	LL	-	-
	Dia 03/Dem 12	Cliente 18	Destino 8	3	LS	-	-
Dia 04	Dia 04/Dem 01	Cliente 1	Destino 1	15	LS	Sim	-
	Dia 04/Dem 02	Cliente 19	Destino 17	1	LS	-	-
	Dia 04/Dem 03	Cliente 20	Destino 8	15	LS	-	-
	Dia 04/Dem 04	Cliente 21	Destino 18	1	LS	-	-
	Dia 04/Dem 05	Cliente 14	Destino 13	1	LS	-	-
	Dia 04/Dem 06	Cliente 10	Destino 10	1	LS	-	-
	Dia 04/Dem 07	Cliente 18	Destino 8	3	LS	-	-
	Dia 04/Dem 08	Cliente 16	Destino 15	4	LS	-	-
Dia 05	Dia 05/Dem 01	Cliente 1	Destino 1	15	LS	Sim	-
	Dia 05/Dem 02	Cliente 13	Destino 2	1	LL	-	-
	Dia 05/Dem 03	Cliente 14	Destino 13	2	LS	-	-
	Dia 05/Dem 04	Cliente 22	Destino 19	2	LL	-	-

	Dia 05/Dem 05	Cliente 23	Destino 2	2	LS	-	-
	Dia 05/Dem 06	Cliente 24	Destino 4	19	LL	-	Sim
	Dia 05/Dem 07	Cliente 3	Destino 4	13	LL	-	Sim
	Dia 05/Dem 08	Cliente 25	Destino 7	4	LL	-	-
	Dia 05/Dem 09	Cliente 10	Destino 10	1	LS	-	-
	Dia 05/Dem 10	Cliente 18	Destino 8	1	LS	-	-
	Dia 06/Dem 01	Cliente 1	Destino 1	15	LS	Sim	-
	Dia 06/Dem 02	Cliente 23	Destino 2	6	LS	-	-
	Dia 06/Dem 03	Cliente 26	Destino 20	5	LS	-	-
	Dia 06/Dem 04	Cliente 11	Destino 11	1	LL	-	-
	Dia 06/Dem 05	Cliente 27	Destino 6	1	LL	-	-
	Dia 06/Dem 06	Cliente 3	Destino 4	1	LL	-	Sim
Dia 06	Dia 06/Dem 07	Cliente 10	Destino 21	1	LS	-	-
	Dia 06/Dem 08	Cliente 13	Destino 5	1	LL	-	-
	Dia 06/Dem 09	Cliente 28	Destino 22	1	LS	-	-
	Dia 06/Dem 10	Cliente 29	Destino 12	1	LL	-	-
	Dia 06/Dem 11	Cliente 29	Destino 23	1	LS	-	-
	Dia 06/Dem 12	Cliente 29	Destino 18	1	LL	-	-
	Dia 06/Dem 13	Cliente 25	Destino 7	7	LL	-	-
	Dia 07/Dem 01	Cliente 1	Destino 1	15	LS	Sim	-
	Dia 07/Dem 02	Cliente 30	Destino 8	1	LS	-	-
	Dia 07/Dem 03	Cliente 24	Destino 4	13	LL	-	Sim
Dia 07	Dia 07/Dem 04	Cliente 9	Destino 9	10	LL	-	-
	Dia 07/Dem 05	Cliente 21	Destino 24	1	LS	-	-
	Dia 07/Dem 06	Cliente 31	Destino 25	5	LL	-	-
	Dia 07/Dem 07	Cliente 15	Destino 14	4	LL	-	-
	Dia 08/Dem 01	Cliente 1	Destino 1	15	LS	Sim	-
	Dia 08/Dem 02	Cliente 3	Destino 4	14	LL	-	Sim
	Dia 08/Dem 03	Cliente 2	Destino 2	12	LL	-	-
	Dia 08/Dem 04	Cliente 4	Destino 5	4	LL	-	-
	Dia 08/Dem 05	Cliente 2	Destino 3	7	LL	-	-
Dia 08	Dia 08/Dem 06	Cliente 32	Destino 26	3	LS	-	-
	Dia 08/Dem 07	Cliente 25	Destino 7	4	LL	-	-
	Dia 08/Dem 08	Cliente 33	Destino 27	4	LL	-	-
	Dia 08/Dem 09	Cliente 13	Destino 28	1	LL	-	-
	Dia 08/Dem 10	Cliente 29	Destino 18	1	LS	-	-
	Dia 08/Dem 11	Cliente 34	Destino 29	1	LL	-	-
	Dia 09/Dem 01	Cliente 1	Destino 1	15	LS	Sim	-
	Dia 09/Dem 02	Cliente 15	Destino 14	3	LL	-	-
Dia 09	Dia 09/Dem 03	Cliente 35	Destino 10	1	LS	-	-
	Dia 09/Dem 04	Cliente 13	Destino 30	1	LL	-	-
	Dia 09/Dem 05	Cliente 21	Destino 18	1	LS	-	-
	Dia 09/Dem 06	Cliente 14	Destino 13	3	LS	-	-

	Dia 09/Dem 07	Cliente 18	Destino 8	2	LS	-	-
	Dia 09/Dem 08	Cliente 2	Destino 3	6	LL	-	-
	Dia 09/Dem 09	Cliente 13	Destino 8	1	LL	-	-
	Dia 09/Dem 10	Cliente 36	Destino 10	1	LL	-	-
	Dia 09/Dem 11	Cliente 29	Destino 18	12	LS	-	-
	Dia 09/Dem 12	Cliente 29	Destino 23	2	LS	-	-
	Dia 09/Dem 13	Cliente 29	Destino 12	2	LS	-	-
	Dia 10/Dem 01	Cliente 1	Destino 1	14	LS	Sim	-
	Dia 10/Dem 02	Cliente 37	Destino 31	4	LL	-	-
	Dia 10/Dem 03	Cliente 38	Destino 32	2	LS	-	-
	Dia 10/Dem 04	Cliente 2	Destino 3	6	LL	-	-
	Dia 10/Dem 05	Cliente 9	Destino 9	1	LL	-	-
	Dia 10/Dem 06	Cliente 21	Destino 18	1	LS	-	-
	Dia 10/Dem 07	Cliente 14	Destino 13	2	LS	-	-
Dia 10	Dia 10/Dem 08	Cliente 22	Destino 19	1	LL	-	-
	Dia 10/Dem 09	Cliente 22	Destino 19	1	LS	-	-
	Dia 10/Dem 10	Cliente 3	Destino 4	9	LL	-	Sim
	Dia 10/Dem 11	Cliente 18	Destino 8	2	LS	-	-
	Dia 10/Dem 12	Cliente 4	Destino 5	4	LL	-	-
	Dia 10/Dem 13	Cliente 39	Destino 33	2	LS	-	-
	Dia 10/Dem 14	Cliente 34	Destino 23	7	LL	-	-
	Dia 10/Dem 15	Cliente 40	Destino 10	2	LL	-	-
	Dia 10/Dem 16	Cliente 2	Destino 2	1	LL	-	-
Dia 11	Dia 11/Dem 01	Cliente 1	Destino 1	14	LS	Sim	-
	Dia 11/Dem 02	Cliente 38	Destino 32	2	LS	-	-
	Dia 12/Dem 01	Cliente 1	Destino 1	15	LS	Sim	-
	Dia 12/Dem 02	Cliente 16	Destino 15	4	LS	-	-
	Dia 12/Dem 03	Cliente 4	Destino 5	4	LL	-	-
	Dia 12/Dem 04	Cliente 13	Destino 30	1	LL	-	-
	Dia 12/Dem 05	Cliente 34	Destino 29	2	LL	-	-
	Dia 12/Dem 06	Cliente 34	Destino 23	9	LL	-	-
Dia 12	Dia 12/Dem 07	Cliente 3	Destino 4	10	LL	-	Sim
	Dia 12/Dem 08	Cliente 18	Destino 8	1	LS	-	-
	Dia 12/Dem 09	Cliente 24	Destino 4	9	LL	-	Sim
	Dia 12/Dem 10	Cliente 13	Destino 5	1	LL	-	-
	Dia 12/Dem 11	Cliente 13	Destino 8	2	LL	-	-
	Dia 12/Dem 12	Cliente 27	Destino 6	1	LL	-	-
	Dia 12/Dem 13	Cliente 7	Destino 8	5	LS	-	-
	Dia 13/Dem 01	Cliente 1	Destino 1	15	LS	Sim	-
	Dia 13/Dem 02	Cliente 16	Destino 15	6	LS	-	-
Dia 13	Dia 13/Dem 03	Cliente 3	Destino 4	4	LL	-	Sim
	Dia 13/Dem 04	Cliente 13	Destino 5	1	LL	-	-
	Dia 13/Dem 05	Cliente 24	Destino 4	10	LL	-	Sim

Dia 13/Dem 06	Cliente 27	Destino 6	1	LL	-	-
Dia 13/Dem 07	Cliente 41	Destino 23	1	LL	-	-



## Apêndice 2 – Capacidade Ofertada

Dia	Veículo	T1	T2	T3	T4	Total geral
<b>Dia 01</b>	20LSSASNELE	16				16
	40LLNSASNELE	6				6
	40LLNSASSELE		20			20
	40LSNSASNELE	7		15	5	27
<b>Dia 01 Total</b>		<b>29</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>69</b>
<b>Dia 02</b>	20LSSASNELE	16				8
	40LLNSASNELE	6		2		8
	40LLNSASSELE		15			15
	40LSNSASNELE	7		13		20
<b>Dia 02 Total</b>		<b>29</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>51</b>
<b>Dia 03</b>	20LLNSASNELE	1				1
	20LSNSASNELE	2				2
	20LSSASNELE	16				8
	40LLNSASNELE	5				5
	40LLNSASSELE		11			10
	40LSNSASNELE	2		23		25
	40LSNSASSELE		5			5
<b>Dia 03 Total</b>		<b>26</b>	<b>16</b>	<b>23</b>	<b>0</b>	<b>56</b>
<b>Dia 04</b>	20LSSASNELE	16				8
	40LLNSASNELE	6				6
	40LLNSASSELE		10			10
	40LSNSASNELE	7		13		20
	40LSNSASSELE		5			5
<b>Dia 04 Total</b>		<b>29</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>49</b>
<b>Dia 05</b>	20LSNSASNELE	1				1
	20LSSASNELE	16				8
	40LLNSASSELE	6	15	5		25
	40LSNSASNELE	5		11		16
	40LSNSASSELE	2		5		7
<b>Dia 05 Total</b>		<b>30</b>	<b>15</b>	<b>21</b>	<b>0</b>	<b>57</b>
<b>Dia 06</b>	20LSSASNELE	16				8
	40LLNSASNELE	5				5
	40LLNSASSELE		15			15
	40LSNSASNELE	7		15	5	27
<b>Dia 06 Total</b>		<b>28</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>55</b>
<b>Dia 07</b>	20LSSASNELE	16				8
	40LLNSASNELE			2		2

	40LLNSASSELE	10	15	6		31
	40LSNSASNELE	8		15	5	28
<b>Dia 07</b>						
<b>Total</b>		<b>34</b>	<b>15</b>	<b>23</b>	<b>5</b>	<b>69</b>
<b>Dia 08</b>	20LSSASNELE	16				8
	40LLNSASNELE	1		9		10
	40LLNSASSELE	5	20	8		33
	40LSNSASNELE	13		5	5	23
<b>Dia 08</b>						
<b>Total</b>		<b>35</b>	<b>20</b>	<b>22</b>	<b>5</b>	<b>74</b>
<b>Dia 09</b>	20LSNSASNELE	1				1
	20LSSASNELE	16				8
	40LLNSASSELE	6	15			21
	40LSNSASNELE	8		15	5	28
	40LSNSASSELE		7			7
<b>Dia 09</b>						
<b>Total</b>		<b>31</b>	<b>22</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>65</b>
<b>Dia 10</b>	20LSSASNELE	14				7
	40LLNSASSELE	6	16			22
	40LSNSASNELE	8	5	8	5	26
	40LSNSASSELE			3		3
<b>Dia 10</b>						
<b>Total</b>		<b>28</b>	<b>21</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>58</b>
<b>Dia 11</b>	20LSSASNELE	14				14
	40LLNSASSELE		5			5
	40LSNSASNELE	3		11	5	19
<b>Dia 11</b>						
<b>Total</b>		<b>17</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>38</b>
<b>Dia 12</b>	20LSNSASSELE	3	2			5
	20LSSASSELE	16				8
	40LLNSASSELE	6	15			21
	40LSNSASNELE	7		8	5	20
	40LSNSASSELE		3	10		13
<b>Dia 12</b>						
<b>Total</b>		<b>32</b>	<b>20</b>	<b>18</b>	<b>5</b>	<b>67</b>
<b>Dia 13</b>	20LSSASNELE	16				8
	40LLNSASSELE	5	15			20
	40LSNSASNELE	8			5	13
	40LSNSASSELE		5	15		20
<b>Dia 13</b>						
<b>Total</b>		<b>29</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>61</b>
<b>Total geral</b>		<b>377</b>	<b>219</b>	<b>217</b>	<b>45</b>	<b>769</b>

## Apêndice 3 – Tabela de Fretes

Porto (Origem / Destino)	Cidade (Origem / Destino)	Tipo de Carro	Transportadora	Frete
BRSSZ	Destino 01	L	T1	1.682
BRSSZ	Destino 01	LS	T1	1.682
BRSSZ	Destino 02	L	T1	1.534
BRSSZ	Destino 02	LS	T1	1.534
BRSSZ	Destino 02	L	T1	1.301
BRSSZ	Destino 02	LS	T1	1.301
BRSSZ	Destino 03	L	T1	1.398
BRSSZ	Destino 03	LS	T1	1.398
BRSSZ	Destino 03	L	T1	1.106
BRSSZ	Destino 03	LS	T1	1.106
BRSSZ	Destino 04	L	T1	1.590
BRSSZ	Destino 04	LS	T1	1.590
BRSSZ	Destino 04	L	T1	1.497
BRSSZ	Destino 04	LS	T1	1.497
BRSSZ	Destino 05	L	T1	1.625
BRSSZ	Destino 05	LS	T1	1.625
BRSSZ	Destino 05	L	T1	1.381
BRSSZ	Destino 05	LS	T1	1.381
BRSSZ	Destino 06	L	T1	2.350
BRSSZ	Destino 06	LS	T1	2.350
BRSSZ	Destino 07	L	T1	1.977
BRSSZ	Destino 07	LS	T1	1.977
BRSSZ	Destino 07	L	T1	1.798
BRSSZ	Destino 07	LS	T1	1.798
BRSSZ	Destino 08	L	T1	1.528
BRSSZ	Destino 08	LS	T1	1.528
BRSSZ	Destino 08	L	T1	1.401
BRSSZ	Destino 08	LS	T1	1.401
BRSSZ	Destino 09	L	T1	2.174
BRSSZ	Destino 09	LS	T1	2.174
BRSSZ	Destino 09	L	T1	2.169
BRSSZ	Destino 09	LS	T1	2.169
BRSSZ	Destino 10	L	T1	1.398
BRSSZ	Destino 10	LS	T1	1.398
BRSSZ	Destino 10	L	T1	1.361
BRSSZ	Destino 10	LS	T1	1.361
BRSSZ	Destino 11	L	T1	2.148
BRSSZ	Destino 11	LS	T1	2.148
BRSSZ	Destino 11	L	T1	2.142
BRSSZ	Destino 11	LS	T1	2.142
BRSSZ	Destino 12	L	T1	1.835

BRSSZ	Destino 12	LS	T1	1.835
BRSSZ	Destino 12	L	T1	1.534
BRSSZ	Destino 12	LS	T1	1.534
BRSSZ	Destino 13	L	T1	1.398
BRSSZ	Destino 13	LS	T1	1.398
BRSSZ	Destino 13	L	T1	1.171
BRSSZ	Destino 13	LS	T1	1.171
BRSSZ	Destino 14	L	T1	1.756
BRSSZ	Destino 14	LS	T1	1.756
BRSSZ	Destino 15	L	T1	1.953
BRSSZ	Destino 15	LS	T1	1.953
BRSSZ	Destino 15	L	T1	1.798
BRSSZ	Destino 15	LS	T1	1.798
BRSSZ	Destino 16	L	T1	1.875
BRSSZ	Destino 16	LS	T1	1.875
BRSSZ	Destino 17	L	T1	1.920
BRSSZ	Destino 17	LS	T1	1.920
BRSSZ	Destino 18	L	T1	2.142
BRSSZ	Destino 18	LS	T1	2.142
BRSSZ	Destino 18	L	T1	2.172
BRSSZ	Destino 18	LS	T1	2.172
BRSSZ	Destino 19	L	T1	1.477
BRSSZ	Destino 19	LS	T1	1.477
BRSSZ	Destino 19	L	T1	1.372
BRSSZ	Destino 19	LS	T1	1.372
BRSSZ	Destino 20	L	T1	1.685
BRSSZ	Destino 20	LS	T1	1.685
BRSSZ	Destino 21	L	T1	466
BRSSZ	Destino 21	LS	T1	466
BRSSZ	Destino 22	L	T1	2.386
BRSSZ	Destino 22	LS	T1	2.386
BRSSZ	Destino 23	L	T1	1.818
BRSSZ	Destino 23	LS	T1	1.818
BRSSZ	Destino 23	L	T1	1.592
BRSSZ	Destino 23	LS	T1	1.592
BRSSZ	Destino 24	L	T1	2.044
BRSSZ	Destino 24	LS	T1	2.044
BRSSZ	Destino 24	L	T1	1.592
BRSSZ	Destino 24	LS	T1	1.592
BRSSZ	Destino 25	L	T1	1.898
BRSSZ	Destino 25	LS	T1	1.898
BRSSZ	Destino 26	L	T1	1.653
BRSSZ	Destino 26	LS	T1	1.653
BRSSZ	Destino 27	L	T1	2.722
BRSSZ	Destino 27	LS	T1	2.722

BRSSZ	Destino 28	L	T1	1.818
BRSSZ	Destino 28	LS	T1	1.818
BRSSZ	Destino 28	L	T1	1.534
BRSSZ	Destino 28	LS	T1	1.764
BRSSZ	Destino 29	L	T1	2.352
BRSSZ	Destino 29	LS	T1	2.352
BRSSZ	Destino 29	L	T1	2.242
BRSSZ	Destino 29	LS	T1	2.242
BRSSZ	Destino 30	L	T1	1.998
BRSSZ	Destino 30	LS	T1	1.998
BRSSZ	Destino 31	L	T1	2.130
BRSSZ	Destino 31	LS	T1	2.130
BRSSZ	Destino 31	L	T1	2.229
BRSSZ	Destino 31	LS	T1	2.229
BRSSZ	Destino 32	L	T1	1.534
BRSSZ	Destino 32	LS	T1	1.534
BRSSZ	Destino 33	L	T1	1.670
BRSSZ	Destino 33	LS	T1	1.670
BRSSZ	Destino 02	L	T2	1.358
BRSSZ	Destino 02	LS	T2	1.564
BRSSZ	Destino 03	L	T2	1.285
BRSSZ	Destino 03	LS	T2	1.542
BRSSZ	Destino 04	L	T2	1.533
BRSSZ	Destino 04	LS	T2	1.775
BRSSZ	Destino 05	L	T2	1.471
BRSSZ	Destino 05	LS	T2	1.765
BRSSZ	Destino 06	L	T2	2.214
BRSSZ	Destino 06	LS	T2	2.547
BRSSZ	Destino 07	L	T2	1.693
BRSSZ	Destino 07	LS	T2	1.946
BRSSZ	Destino 08	L	T2	1.285
BRSSZ	Destino 08	LS	T2	1.501
BRSSZ	Destino 09	L	T2	2.156
BRSSZ	Destino 09	LS	T2	2.483
BRSSZ	Destino 10	L	T2	1.251
BRSSZ	Destino 10	LS	T2	1.444
BRSSZ	Destino 11	L	T2	1.679
BRSSZ	Destino 11	LS	T2	1.954
BRSSZ	Destino 12	L	T2	1.753
BRSSZ	Destino 12	LS	T2	2.026
BRSSZ	Destino 13	L	T2	1.081
BRSSZ	Destino 13	LS	T2	1.248
BRSSZ	Destino 14	L	T2	1.420
BRSSZ	Destino 14	LS	T2	1.639
BRSSZ	Destino 15	L	T2	1.660

BRSSZ	Destino 15	LS	T2	1.951
BRSSZ	Destino 16	L	T2	1.795
BRSSZ	Destino 16	LS	T2	2.058
BRSSZ	Destino 17	L	T2	1.841
BRSSZ	Destino 17	LS	T2	2.130
BRSSZ	Destino 18	L	T2	2.238
BRSSZ	Destino 18	LS	T2	2.606
BRSSZ	Destino 19	L	T2	1.291
BRSSZ	Destino 19	LS	T2	1.549
BRSSZ	Destino 20	L	T2	1.635
BRSSZ	Destino 20	LS	T2	1.962
BRSSZ	Destino 23	L	T2	1.818
BRSSZ	Destino 23	LS	T2	2.087
BRSSZ	Destino 24	L	T2	1.436
BRSSZ	Destino 24	LS	T2	1.659
BRSSZ	Destino 25	L	T2	1.390
BRSSZ	Destino 25	LS	T2	1.605
BRSSZ	Destino 26	L	T2	1.198
BRSSZ	Destino 26	LS	T2	1.379
BRSSZ	Destino 27	L	T2	2.332
BRSSZ	Destino 28	L	T2	1.619
BRSSZ	Destino 28	LS	T2	1.869
BRSSZ	Destino 29	L	T2	1.950
BRSSZ	Destino 29	LS	T2	2.293
BRSSZ	Destino 30	L	T2	1.644
BRSSZ	Destino 30	LS	T2	1.898
BRSSZ	Destino 32	L	T2	1.228
BRSSZ	Destino 32	LS	T2	1.418
BRSSZ	Destino 33	L	T2	1.469
BRSSZ	Destino 33	LS	T2	1.736
BRSSZ	Destino 02	L	T3	1.364
BRSSZ	Destino 02	LS	T3	1.568
BRSSZ	Destino 03	L	T3	1.250
BRSSZ	Destino 03	LS	T3	1.438
BRSSZ	Destino 04	L	T3	1.364
BRSSZ	Destino 04	LS	T3	1.568
BRSSZ	Destino 05	L	T3	1.648
BRSSZ	Destino 05	LS	T3	1.895
BRSSZ	Destino 06	L	T3	1.900
BRSSZ	Destino 06	LS	T3	2.295
BRSSZ	Destino 07	L	T3	1.693
BRSSZ	Destino 07	LS	T3	1.947
BRSSZ	Destino 08	L	T3	1.290
BRSSZ	Destino 08	LS	T3	1.483
BRSSZ	Destino 09	L	T3	2.159

BRSSZ	Destino 09	LS	T3	2.483
BRSSZ	Destino 10	L	T3	1.250
BRSSZ	Destino 10	LS	T3	1.438
BRSSZ	Destino 11	L	T3	1.932
BRSSZ	Destino 11	LS	T3	2.222
BRSSZ	Destino 12	L	T3	1.818
BRSSZ	Destino 12	LS	T3	2.091
BRSSZ	Destino 13	L	T3	1.250
BRSSZ	Destino 13	LS	T3	1.438
BRSSZ	Destino 15	L	T3	1.932
BRSSZ	Destino 15	LS	T3	2.222
BRSSZ	Destino 16	L	T3	1.795
BRSSZ	Destino 16	LS	T3	2.065
BRSSZ	Destino 17	L	T3	1.648
BRSSZ	Destino 17	LS	T3	1.895
BRSSZ	Destino 18	L	T3	2.273
BRSSZ	Destino 18	LS	T3	2.614
BRSSZ	Destino 19	L	T3	1.739
BRSSZ	Destino 19	LS	T3	1.999
BRSSZ	Destino 20	L	T3	1.648
BRSSZ	Destino 20	LS	T3	1.705
BRSSZ	Destino 21	L	T3	361
BRSSZ	Destino 21	LS	T3	414
BRSSZ	Destino 23	L	T3	1.818
BRSSZ	Destino 23	LS	T3	2.091
BRSSZ	Destino 25	L	T3	1.551
BRSSZ	Destino 26	L	T3	1.364
BRSSZ	Destino 26	LS	T3	1.568
BRSSZ	Destino 29	L	T3	2.273
BRSSZ	Destino 29	LS	T3	2.614
BRSSZ	Destino 32	L	T3	1.239
BRSSZ	Destino 32	LS	T3	1.433
BRSSZ	Destino 33	L	T3	1.364
BRSSZ	Destino 33	LS	T3	1.568
BRSSZ	Destino 02	L	T4	1.250
BRSSZ	Destino 02	LS	T4	1.591
BRSSZ	Destino 03	L	T4	1.125
BRSSZ	Destino 03	LS	T4	1.125
BRSSZ	Destino 04	L	T4	1.591
BRSSZ	Destino 04	LS	T4	1.591
BRSSZ	Destino 05	L	T4	1.705
BRSSZ	Destino 05	LS	T4	1.705
BRSSZ	Destino 06	L	T4	2.614
BRSSZ	Destino 06	LS	T4	2.614
BRSSZ	Destino 07	L	T4	2.159

BRSSZ	Destino 07	LS	T4	2.159
BRSSZ	Destino 08	L	T4	1.477
BRSSZ	Destino 08	LS	T4	1.477
BRSSZ	Destino 09	L	T4	2.200
BRSSZ	Destino 09	LS	T4	2.200
BRSSZ	Destino 10	L	T4	1.477
BRSSZ	Destino 10	LS	T4	1.477
BRSSZ	Destino 11	L	T4	1.932
BRSSZ	Destino 11	LS	T4	1.932
BRSSZ	Destino 12	L	T4	1.705
BRSSZ	Destino 12	LS	T4	1.705
BRSSZ	Destino 13	L	T4	1.364
BRSSZ	Destino 13	LS	T4	1.364
BRSSZ	Destino 15	L	T4	1.818
BRSSZ	Destino 15	LS	T4	1.818
BRSSZ	Destino 16	L	T4	1.705
BRSSZ	Destino 16	LS	T4	1.705
BRSSZ	Destino 17	L	T4	2.045
BRSSZ	Destino 17	LS	T4	2.045
BRSSZ	Destino 18	L	T4	2.159
BRSSZ	Destino 18	LS	T4	2.159
BRSSZ	Destino 19	L	T4	1.477
BRSSZ	Destino 19	LS	T4	1.477
BRSSZ	Destino 20	L	T4	1.705
BRSSZ	Destino 20	LS	T4	1.705
BRSSZ	Destino 21	L	T4	511
BRSSZ	Destino 21	LS	T4	511
BRSSZ	Destino 22	L	T4	2.727
BRSSZ	Destino 22	LS	T4	2.727
BRSSZ	Destino 23	L	T4	1.591
BRSSZ	Destino 23	LS	T4	1.591
BRSSZ	Destino 25	L	T4	1.818
BRSSZ	Destino 25	LS	T4	1.818
BRSSZ	Destino 26	L	T4	1.591
BRSSZ	Destino 26	LS	T4	1.591
BRSSZ	Destino 27	L	T4	2.614
BRSSZ	Destino 27	LS	T4	2.614
BRSSZ	Destino 29	L	T4	2.159
BRSSZ	Destino 29	LS	T4	2.159
BRSSZ	Destino 33	L	T4	1.591
BRSSZ	Destino 33	LS	T4	1.591



## Apêndice 4 – Resultados Obtidos

Demanda	Programação Manual						Algoritmo Guloso						Modelo Matemático						
	Se m Pro gra ma ção	T1	T2	T3	T4	Total Man ual	Valor Manual	T1	T2	T3	T4	Total Alg. Gulo so	Valor Alg. Guloso	T1	T2	T3	T4	Tot al Mo d. Mat	Valor Mod. Mat.
Dia 01 / Dem 01		15				15	25.227	15				15	25.227	15				15	25.227
Dia 01 / Dem 02				5		5	6.250			5		5	5.625				5	5	5.625
Dia 01 / Dem 03		6	8			14	21.805	14				14	21.466	14				14	21.466
Dia 01 / Dem 04			3			3	4.413	3				3	4.413	3				3	4.413
Dia 01 / Dem 05		1				1	2.350			1		1	2.295			1		1	2.295
Dia 01 / Dem 06			3			3	5.078	3				3	5.078			3		3	5.080
Dia 01 / Dem 07		6				6	9.170			6		6	8.899			6		6	8.899
Dia 01 / Dem 08			6			6	8.149			6		6	8.182	3	3			6	8.166
<b>Dia 01 Total</b>		<b>28</b>	<b>20</b>	<b>5</b>		<b>53</b>	<b>82.443</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>13</b>	<b>5</b>	<b>53</b>	<b>81.186</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>13</b>	<b>5</b>	<b>53</b>	<b>81.171</b>
Dia 02 / Dem 01		15				15	25.227	15				15	25.227	15				15	25.227
Dia 02 / Dem 02		5				5	6.989	3	2			5	6.354	3	2			5	6.354
Dia 02 / Dem 03			3			3	4.075	3				3	4.075	3				3	4.075
Dia 02 / Dem 04				13		13	19.282			13		13	19.282			13		13	19.282
Dia 02 / Dem 05				2		2	4.318	2				2	4.313	2				2	4.313
Dia 02 / Dem 06		1				1	1.398	1				1	1.398	1				1	1.398
Dia 02 / Dem 07		1				1	2.148	1				1	2.148	1				1	2.148
Dia 02 / Dem 08		3				3	5.506	3				3	5.259	3				3	5.259
<b>Dia 02 Total</b>		<b>25</b>	<b>3</b>	<b>15</b>		<b>43</b>	<b>68.942</b>	<b>17</b>	<b>11</b>	<b>15</b>		<b>43</b>	<b>68.055</b>	<b>17</b>	<b>11</b>	<b>15</b>		<b>43</b>	<b>68.056</b>
Dia 03 / Dem 01			5	4		9	13.436			9		9	13.349			9		9	13.349
Dia 03 / Dem 02			1			1	1.285			1		1	1.290			1		1	1.290
Dia 03 / Dem 03		1				1	1.835	1				1	1.835	1				1	1.835
Dia 03 / Dem 04				2		2	2.875	2				2	2.495	2				2	2.495
Dia 03 / Dem 05		15				15	25.227	15				15	25.227	15				15	25.227
Dia 03 / Dem 06			9			9	12.776	9				9	12.776	9				9	12.776
Dia 03 /		3	1			4	5.960	4				4	5.433	4				4	5.433

Dem 07																
Dia 03 / Dem 08		5	5	6.250		5	5	6.250		5	5	6.250				
Dia 03 / Dem 09	2		2	3.907	2		2	3.907	2		2	3.907				
Dia 03 / Dem 10	2		2	2.795	2		2	2.795	2		2	2.795				
Dia 03 / Dem 11	1	9	10	18.034	5	5	10	18.352	5	5	10	18.352				
Dia 03 / Dem 12		3	3	4.450		3	3	4.450		3	3	4.450				
<b>Dia 03 Total</b>	<b>24</b>	<b>16</b>	<b>23</b>	<b>63</b>	<b>98.831</b>	<b>25</b>	<b>15</b>	<b>23</b>	<b>63</b>	<b>98.159</b>	<b>25</b>	<b>15</b>	<b>23</b>	<b>63</b>	<b>98.159</b>	
Dia 04 / Dem 01	15		15	25.227	15		15	25.227	15		15	25.227				
Dia 04 / Dem 02		1	1	2.130		1	1	1.895	1		1	1.920				
Dia 04 / Dem 03	2		13	15	19.282	3	12	15	22.301	4	11	15	22.319			
Dia 04 / Dem 04	1		1	2.142	1		1	2.142	1		1	2.142				
Dia 04 / Dem 05		1	1	1.248		1	1	1.248		1	1	1.248				
Dia 04 / Dem 06	1		1	1.398	1		1	1.398	1		1	1.398				
Dia 04 / Dem 07		3	3	4.502	2	1	3	4.558	1	2	3	4.494				
Dia 04 / Dem 08	4		4	7.814	4		4	7.814	4		4	7.814				
<b>Dia 04 Total</b>	<b>2</b>	<b>21</b>	<b>5</b>	<b>13</b>	<b>41</b>	<b>63.743</b>	<b>23</b>	<b>5</b>	<b>13</b>	<b>41</b>	<b>66.582</b>	<b>23</b>	<b>5</b>	<b>13</b>	<b>41</b>	<b>66.562</b>
Dia 05 / Dem 01	15		15	25.227	15		15	25.227	15		15	25.227				
Dia 05 / Dem 02		1	1	1.364		1	1	1.364		1	1	1.364				
Dia 05 / Dem 03	2		2	2.795	2		2	2.795	2		2	2.795				
Dia 05 / Dem 04		2	2	3.477	2		2	2.955	2		2	2.955				
Dia 05 / Dem 05		2	2	3.136	1	1	2	3.102	1	1	2	3.102				
Dia 05 / Dem 06		14	5	19	28.285	14	5	19	28.285	9	10	19	27.436			
Dia 05 / Dem 07	7	1	5	13	19.480	7	1	5	13	19.480	7	6	13	20.329		
Dia 05 / Dem 08	4		4	7.909		4	4	6.773		4	4	6.773				
Dia 05 / Dem 09	1		1	1.398	1		1	1.398	1		1	1.398				
Dia 05 / Dem 10	1		1	1.528		1	1	1.483		1	1	1.483				
<b>Dia 05 Total</b>	<b>30</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>60</b>	<b>94.600</b>	<b>28</b>	<b>15</b>	<b>17</b>	<b>60</b>	<b>92.861</b>	<b>28</b>	<b>15</b>	<b>17</b>	<b>60</b>	<b>92.862</b>	
Dia 06 / Dem 01	15		15	25.227	15		15	25.227	15		15	25.227				
Dia 06 / Dem 02	1	5	6	9.375	6		6	9.205	6		6	9.205				
Dia 06 /	4		1	5	8.445		5	5	8.523		5	5	8.523			

Dem 03																				
Dia 06 / Dem 04	1			1	1.679		1		1	1.679		1		1	1.679					
Dia 06 / Dem 05		1		1	1.900			1		1.900			1		1.900					
Dia 06 / Dem 06		1		1	1.364			1		1.533			1		1.533					
Dia 06 / Dem 07	1			1	466		1		1	466		1		1	466					
Dia 06 / Dem 08	1			1	1.625			1		1.471			1		1.471					
Dia 06 / Dem 09	1			1	2.386		1		1	2.386		1		1	2.386					
Dia 06 / Dem 10			1	1	1.705				1	1.705				1	1.705					
Dia 06 / Dem 11			1	1	1.591				1	1.591				1	1.591					
Dia 06 / Dem 12			1	1	2.159		1		1	2.142		1		1	2.142					
Dia 06 / Dem 13	2	5		7	12.418		7		7	11.848		7		7	11.848					
<b>Dia 06 Total</b>	<b>25</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>42</b>	<b>70.339</b>	<b>24</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>42</b>	<b>69.675</b>	<b>24</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>42</b>	<b>69.676</b>		
Dia 07 / Dem 01	15			15	25.227		15		15	25.227		15		15	25.227					
Dia 07 / Dem 02	1			1	1.401				1	1.477				1	1.477					
Dia 07 / Dem 03	5	2	6	13	19.197		5	2	6	18.734		5	2	6	18.735					
Dia 07 / Dem 04		8	2	10	21.568			4	6	21.580			4	6	21.579					
Dia 07 / Dem 05	1			1	1.592		1		1	2.044		1		1	2.044					
Dia 07 / Dem 06		5		5	6.948		5		5	6.948		5		5	6.948					
Dia 07 / Dem 07	4			4	7.024		4		4	5.678		4		4	5.678					
<b>Dia 07 Total</b>	<b>26</b>	<b>15</b>	<b>8</b>	<b>49</b>	<b>82.957</b>	<b>81.688</b>	<b>21</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>1</b>	<b>49</b>	<b>81.688</b>	<b>21</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>1</b>	<b>49</b>	<b>81.688</b>		
Dia 08 / Dem 01	15			15	25.227		15		15	25.227		15		15	25.227					
Dia 08 / Dem 02	3	4	7	14	20.448		6	8	14	20.109		1	5	8	20.166					
Dia 08 / Dem 03	2		9	1	12	16.591	1	6	5	12	16.502		5	7	12	16.336				
Dia 08 / Dem 04				4	6.818		2	2		4	5.703		4		4	5.884				
Dia 08 / Dem 05	5		2	7	9.489			2	5	7	8.125		2		5	7	7.837			
Dia 08 / Dem 06			3	3	4.705				3	3	4.705			3	3	4.705				
Dia 08 / Dem 07	4			4	7.909				4	4	6.773			4	4	6.773				
Dia 08 / Dem 08		4		4	9.330		4		4	9.330		4		4	9.330					
Dia 08 / Dem 09	1			1	1.534		1		1	1.619		1		1	1.619					
Dia 08 /	1			1	2.172		1		1	2.142		1		1	2.142					

Dem 10																		
Dia 08 / Dem 11	1			1	2.352		1		1	1.950		1		1	1.950			
<b>Dia 08 Total</b>	<b>32</b>	<b>8</b>	<b>21</b>	<b>5</b>	<b>66</b>	<b>106.575</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>22</b>	<b>5</b>	<b>66</b>	<b>102.183</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>22</b>	<b>5</b>	<b>66</b>	<b>101.969</b>
Dia 09 / Dem 01	15			15	25.227		15		15	25.227		15		15	25.227			
Dia 09 / Dem 02		3		3	4.259		3		3	4.259		3		3	4.259			
Dia 09 / Dem 03	1			1	1.398		1		1	1.398		1		1	1.398			
Dia 09 / Dem 04		1		1	1.644		1		1	1.644		1		1	1.644			
Dia 09 / Dem 05	1			1	2.142		1		1	2.142			1	1	2.159			
Dia 09 / Dem 06	1	2		3	3.893		3		3	3.743		3		3	3.743			
Dia 09 / Dem 07			2	2	2.966			2	2	2.966			2	2	2.966			
Dia 09 / Dem 08	4	2		6	8.160			4	2	6	7.250			6	6	7.500		
Dia 09 / Dem 09		1		1	1.285		1		1	1.285		1		1	1.285			
Dia 09 / Dem 10		1		1	1.251			1	1	1.250			1	1	1.250			
Dia 09 / Dem 11	5	3	4	12	29.013		6	4	2	12	28.504		7	3	2	12	27.130	
Dia 09 / Dem 12			2	2	4.182				2	2	3.182			2	2	3.182		
Dia 09 / Dem 13	1		1	2	3.926		1		1	2	3.238		1	1	2	3.560		
<b>Dia 09 Total</b>	<b>28</b>	<b>13</b>	<b>9</b>	<b>50</b>	<b>89.345</b>	<b>24</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>50</b>	<b>86.087</b>	<b>24</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>50</b>	<b>85.303</b>	
Dia 10 / Dem 01	14			14	23.545		14		14	23.545		14		14	23.545			
Dia 10 / Dem 02	4			4	8.518		4		4	8.518		4		4	8.518			
Dia 10 / Dem 03		2		2	2.835		2		2	2.835		2		2	2.835			
Dia 10 / Dem 04		6		6	7.708			6	6	7.500		1	5	6	7.535			
Dia 10 / Dem 05		1		1	2.156		1		1	2.156		1		1	2.156			
Dia 10 / Dem 06	1			1	2.142		1		1	2.142		1		1	2.142			
Dia 10 / Dem 07		2		2	2.495		2		2	2.495		2		2	2.495			
Dia 10 / Dem 08	1	1		2	2.768		1	1	2	2.768		1	1	2	2.768			
Dia 10 / Dem 10	6		3	9	13.630		6	3	9	13.291		6	3	9	13.291			
Dia 10 / Dem 11		1	1	2	2.984		1	1	2	3.029		1	1	2	2.984			
Dia 10 / Dem 12		2	2	4	6.238		4		4	5.884		4		4	5.884			
Dia 10 / Dem 13	2			2	3.341			2	2	3.136			2	2	3.136			
Dia 10 /		5	2	7	12.724		1	1	5	7	11.590		2		5	7	11.591	

Dem 14																					
Dia 10 / Dem 15			2		2	2.500			2		2	2.501			2		2	2.501			
Dia 10 / Dem 16			1		1	1.358			1		1	1.358			1		1	1.358			
<b>Dia 10 Total</b>			<b>28</b>	<b>21</b>	<b>10</b>	<b>59</b>	<b>94.943</b>		<b>22</b>	<b>21</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>59</b>	<b>92.750</b>	<b>22</b>	<b>21</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>59</b>	<b>92.739</b>	
Dia 11 / Dem 01			14		14	23.545			14		14	23.545			14		14	23.545			
Dia 11 / Dem 02			2		2	3.068			2		2	2.865			2		2	2.865			
<b>Dia 11 Total</b>			<b>16</b>		<b>16</b>	<b>26.614</b>			<b>14</b>	<b>2</b>	<b>16</b>	<b>26.410</b>			<b>14</b>	<b>2</b>	<b>16</b>	<b>26.410</b>			
Dia 12 / Dem 01			15		15	25.227			15		15	25.227			15		15	25.227			
Dia 12 / Dem 02			4		4	7.814			4		4	7.814			4		4	7.814			
Dia 12 / Dem 03					4	5.884			4		4	5.884			4		4	5.884			
Dia 12 / Dem 04					1	1.644			1		1	1.644			1		1	1.644			
Dia 12 / Dem 05					2	3.899			2		2	3.899			2		2	3.899			
Dia 12 / Dem 06			2	6	1	9	16.360			4	5	9	15.227			4	5	9	15.228		
Dia 12 / Dem 07			2	1	7	10	14.258			10		10	13.636		3	7	10	14.145			
Dia 12 / Dem 08					1	1	1.483			1		1	1.483			1		1	1.483		
Dia 12 / Dem 09			4	2	3	9	13.517			9		9	13.800		6	3	9	13.291			
Dia 12 / Dem 10					1	1	1.471			1		1	1.471			1		1	1.471		
Dia 12 / Dem 11			1	1		2	2.813			1	1	2	2.574		1	1	2	2.575			
Dia 12 / Dem 12					1	1	1.900			1		1	1.900			1		1	1.900		
Dia 12 / Dem 13			3	2		5	7.587			3	2	5	7.587		3	2	5	7.586			
<b>Dia 12 Total</b>			<b>31</b>	<b>20</b>	<b>13</b>	<b>64</b>	<b>103.857</b>		<b>22</b>	<b>20</b>	<b>17</b>	<b>5</b>	<b>64</b>	<b>102.146</b>	<b>22</b>	<b>20</b>	<b>17</b>	<b>5</b>	<b>64</b>	<b>102.147</b>	
Dia 13 / Dem 01			15		15	25.227			15		15	25.227			15		15	25.227			
Dia 13 / Dem 02			3		3	6	11.315			1	5	6	11.042		2	4	6	11.176			
Dia 13 / Dem 03					4	4	5.455			4		4	5.455			4		4	5.455		
Dia 13 / Dem 04					1	1	1.471			1		1	1.471		1		1	1.471			
Dia 13 / Dem 05					8	2	10	14.994			10		10	13.636		10		10	13.636		
Dia 13 / Dem 06					1	1	1.900			1		1	1.900			1		1	1.900		
Dia 13 / Dem 07			1			1	1.818			1		1	1.818			1	1	1.591			
<b>Dia 13 Total</b>			<b>19</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>38</b>	<b>62.180</b>		<b>15</b>	<b>3</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>38</b>	<b>60.549</b>	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>38</b>	<b>60.456</b>

<b>Total geral</b>	<b>2</b>	<b>333</b>	<b>151</b>	<b>146</b>	<b>12</b>	<b>644</b>	<b>1.045.367</b>	<b>269</b>	<b>167</b>	<b>175</b>	<b>33</b>	<b>644</b>	<b>1.028.334</b>	<b>269</b>	<b>167</b>	<b>175</b>	<b>33</b>	<b>644</b>	<b>1.027.198</b>
--------------------	----------	------------	------------	------------	-----------	------------	------------------	------------	------------	------------	-----------	------------	------------------	------------	------------	------------	-----------	------------	------------------