

CARLOS EDUARDO DI GIACOMO ARAÚJO

**MELHORIAS DE UM SISTEMA DE
DISTRIBUIÇÃO COM COLETAS MILK RUN**

**Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do Diploma de
Engenheiro de Produção – Área
Mecânica**

**São Paulo
2003**

CARLOS EDUARDO DI GIACOMO ARAÚJO

**MELHORIAS DE UM SISTEMA DE
DISTRIBUIÇÃO COM COLETAS MILK RUN**

**Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do Diploma de
Engenheiro de Produção – Área
Mecânica**

**Orientador:
Professor Miguel Cezar Santoro**

**São Paulo
2003**

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que com muito amor e dedicação em educar seus filhos, são os principais responsáveis por este momento.

Ao Marcelo, meu irmão e meu melhor amigo;

À Marília, meu primeiro amor;

A todos os meus familiares e amigos, cujas amizades será sempre o meu maior patrimônio;

Ao professor Miguel Cezar Santoro, a quem decidi procurar para orientar este trabalho ao perceber sua vontade em ensinar seus alunos. É um exemplo como mestre, como pessoa, e como orientador;.

A todos os professores da Escola Politécnica, que formam engenheiros com potencial para liderar a transformação que este País tanto necessita;

E a Deus, pois sem Ele nada disso seria possível.

RESUMO

Este trabalho de formatura, desenvolvido na Ryder Logística, tem como objeto de estudo a operação que a empresa executa para a General Motors, operação que compreende coletas *milk run*, consolidação de carga em armazém *cross docking* e despacho desta carga em carretas até a planta argentina de Rosário da GM.

São propostas, simuladas e avaliadas duas melhorias no modo como é feita atualmente a programação das rotas dos veículos que fazem as coletas *milk run*, e é também feito um estudo de localização de armazéns que propõe uma rede logística mais adequada a um aumento do escopo da operação.

A primeira proposta altera os dados de entrada do software roteirizador, estudando a utilização da superfície ocupada por cada fornecedor no veículo, e não os seus volumes. Para isso, é feita uma macro em Excel que visa calcular exatamente essa área, a partir de manipulação de dados existentes sobre as embalagens a serem recolhidas nos fornecedores.

A outra proposta, também no âmbito da operação de coletas *milk run*, agrupa os fornecedores a serem roteirizados de um modo diferente do atual, oferecendo mais alternativas para que o software possa criar rotas mais eficazes.

O estudo de localização de armazéns é feito a partir de um modelo de programação linear inteira mista que considera apenas os custos de transporte resultando, para cenários com um, dois ou três armazéns, em redes logísticas ótimas quanto à localização dos armazéns e às regiões dos fornecedores que cada um deverá atender. Não são utilizados os custos relativos aos armazéns, e a Ryder, em uma análise posterior, decidirá qual dos três cenários é o melhor, considerando esses custos.

RÉSUMÉ

Le present travail de fin d'études, développé chez Ryder Logística, a comme objet l'opération que l'entreprise exécute pour General Motors, opération qui comprend collecte milk run, consolidation des charges dans un entrepôt cross docking et l'envoi de cette charge par grands camions jusqu'à usine argentine de Rosario de GM.

Sont proposées, simulées et évaluées, deux améliorations dans la façon comme est faite actuellement la programmation des routes des véhicules que font les collectes milk run, et est aussi fait une étude de localisation des entrepôts qui propose un réseau logistique plus ajusté à une augmentation de la taille de l'opération.

La première proposition modifie les données d'entrée du logiciel routier, en étudiant l'utilisation de la surface occupée par chaque fournisseur sur le véhicule, à la place de ses volumes. Ainsi, c'est faite une macro en Excel qui vise calculer exactement cette surface, à partir de la manipulation des données existantes sur les emballages à être recueillies chez les fournisseurs.

L'autre proposition, aussi faite sur l'opération de collectes milk run, groupe les fournisseurs à être programmés d'une façon différente de l'actuelle, en offrant plus d'alternatives pour que le logiciel puisse créer routes plus efficaces.

L'étude de localisation des entrepôts est faite à partir d'un modèle de programmation linéaire entière mixte qui considère seulement les coûts de transport, résultant, pour scénarios avec un, deux ou trois armazens, en réseaux logistiques optimes quant à la localisation des entrepôts et quant aux régions des fournisseurs que chacun d'eux devra s'occuper. Ne sont pas utilisés des coûts relatifs aux entrepôts, et la Ryder, dans une analyse postérieure, décidera le quel des trois scénarios est le meilleur, considérant ces coûts.

SUMÁRIO

1	<u>APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA</u>	1
1.1	<u>INTRODUÇÃO</u>	1
1.2	<u>LOGÍSTICA</u>	1
1.3	<u>OPERADORAS LOGÍSTICAS</u>	2
1.4	<u>HISTÓRIA DA EMPRESA</u>	4
2	<u>OPERAÇÃO RGM</u>	7
2.1	<u>INTRODUÇÃO</u>	7
2.2	<u>OPERAÇÃO RGM</u>	7
2.2.1	<u>COLETAS <i>MILK RUN</i></u>	8
2.2.1.1	<u>FASE 1: ROTEIRIZAÇÃO PADRÃO</u>	8
2.2.1.2	<u>FASE 2: CONTRATAÇÃO DOS TRANSPORTADORES</u>	14
2.2.1.3	<u>FASE 3: OPERACIONALIZAÇÃO DAS COLETAS</u>	15
2.2.1.4	<u>FASE 4: CONTROLE DA OPERAÇÃO</u>	17
2.2.2	<u>ARMAZÉM <i>CROSS DOCKING</i></u>	18
2.2.3	<u>TRANSPORTE INTERNACIONAL</u>	19
2.3	<u>OBJETIVO DO TRABALHO</u>	21
3	<u>PROJETOS DE MELHORIA</u>	23
3.1	<u>INTRODUÇÃO</u>	23
3.2	<u>ROTEIRIZAÇÃO POR ÁREA</u>	23
3.2.1	<u>DESCRIÇÃO DO PROBLEMA</u>	23
3.2.2	<u>OBJETIVO</u>	26
3.2.3	<u>ÍNDICES DE PERFORMANCE</u>	26
3.2.3.1	<u>BASE DE COMPARAÇÃO</u>	27
3.2.4	<u>PREMISSAS</u>	29
3.2.5	<u>METODOLOGIA</u>	30
3.2.5.1	<u>A MACRO</u>	30
3.2.5.2	<u>CUSTOS DOS VEÍCULOS</u>	32
3.2.5.3	<u>ROTEIRIZAÇÃO POR VOLUME</u>	34
3.2.5.4	<u>CUSTO DOS PTAs</u>	39
3.2.5.5	<u>CÁLCULO DA ÁREA ÚTIL DOS VEÍCULOS</u>	40
3.2.5.6	<u>RESULTADOS COMPUTACIONAIS</u>	43
3.2.5.7	<u>CUSTO DAS ROTAS ATUAIS</u>	47
3.2.6	<u>AValiação DOS RESULTADOS</u>	47
3.2.6.1	<u>ÍNDICE DE OCUPAÇÃO VOLUMÉTRICO</u>	48
3.2.6.2	<u>COMPARAÇÃO DE CUSTOS</u>	52
3.2.6.3	<u>CONCLUSÃO</u>	53

Melhorias de um Sistema de Distribuição com Coletas Milk Run

<u>3.3</u>	<u>ROTEIRIZAÇÃO POR DIA</u>	53
<u>3.3.1</u>	<u>DESCRIÇÃO DO PROBLEMA</u>	53
<u>3.3.2</u>	<u>OBJETIVO</u>	54
<u>3.3.3</u>	<u>PREMISSAS</u>	55
<u>3.3.4</u>	<u>METODOLOGIA</u>	55
<u>3.3.5</u>	<u>AValiação DOS RESULTADOS</u>	58
<u>3.4</u>	<u>LOCALIZAÇÃO DE ARMAZÉNS</u>	59
<u>3.4.1</u>	<u>DESCRIÇÃO DO PROBLEMA</u>	59
<u>3.4.2</u>	<u>OBJETIVO</u>	60
<u>3.4.3</u>	<u>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	61
<u>3.4.3.1</u>	<u>CLASSIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO</u>	61
<u>3.4.3.2</u>	<u>PASSOS PARA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO</u>	62
<u>3.4.3.2.1</u>	<u>Macroanálise</u>	63
<u>3.4.3.2.2</u>	<u>Microanálise</u>	66
<u>3.4.3.2.3</u>	<u>Localização Específica do Site</u>	66
<u>3.4.3.3</u>	<u>MÉTODOS DE LOCALIZAÇÃO DE PONTOS ÓTIMOS</u>	67
<u>3.4.3.3.1</u>	<u>Localização de instalação única</u>	67
<u>3.4.3.3.2</u>	<u>Localização de Instalações Múltiplas</u>	68
<u>3.4.4</u>	<u>MÉTODO DE RESOLUÇÃO</u>	72
<u>3.4.4.1</u>	<u>MACROANÁLISE</u>	72
<u>3.4.4.2</u>	<u>MODELAGEM MATEMÁTICA</u>	74
<u>3.4.4.2.1</u>	<u>Escolha do Método</u>	74
<u>3.4.4.2.2</u>	<u>Premissas</u>	75
<u>3.4.4.2.3</u>	<u>O Modelo</u>	76
<u>3.4.5</u>	<u>RESULTADOS COMPUTACIONAIS E MICROANÁLISE</u>	79
<u>3.4.5.1</u>	<u>Dados de Entrada</u>	79
<u>3.4.5.2</u>	<u>Cenário 1</u>	80
<u>3.4.5.3</u>	<u>Cenário 2</u>	83
<u>3.4.5.4</u>	<u>Cenário 3</u>	85
<u>3.4.5.5</u>	<u>Custos</u>	87
<u>3.4.6</u>	<u>AValiação DOS RESULTADOS</u>	88
<u>4</u>	<u>CONCLUSÃO</u>	89
<u>4.1</u>	<u>SÍNTESE DO TRABALHO</u>	89
<u>4.2</u>	<u>PROPOSTA DE ROTEIRIZAÇÃO POR SUPERFÍCIE</u>	89
<u>4.3</u>	<u>PROPOSTA DE ROTEIRIZAÇÃO POR DIA</u>	90
<u>4.4</u>	<u>LOCALIZAÇÃO DE NOVOS ARMAZÉNS</u>	91
<u>4.5</u>	<u>CONSIDERAÇÕES FINAIS</u>	91
<u>5.</u>	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	92
<u>6.</u>	<u>ANEXOS</u>	93
	<u>ANEXO A – PLANILHA DE CUSTOS – DECOPE/NTC</u>	94
	<u>ANEXO B – PROGRAMAÇÃO/RESULTADOS LINGO (TODOS OS CENÁRIOS)</u>	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Dimensões dos Veículos	31
Tabela 3.2 - Custos dos Veículos	35
Tabela 3.3 - Roteirização por volume - coeficiente 0,5	36
Tabela 3.4 - Dimensões dos veículos especiais	37
Tabela 3.5 - Novos veículos das rotas não validadas inicialmente	38
Tabela 3.6 - Quadro geral das rotas por volume – coeficiente 0,5	39
Tabela 3.7 - Custos de transporte das rotas por volume	40
Tabela 3.8 - PTAs no período em estudo, D01 – F1	41
Tabela 3.9 - Rotas analisadas para definição coeficiente de ocupação superficial	43
Tabela 3.10 - Roteirização inicial por superfície – coeficiente 0,91	45
Tabela 3.11 - Quadro geral das rotas por superfície – coeficiente 0,91	47
Tabela 3.12 - Custos da roteirização por superfície	48
Tabela 3.13 - Custos das rotas vigentes	48
Tabela 3.14 - Rotas classificadas por veículo geradas pelo método do volume	50
Tabela 3.15 - Rotas classificadas por veículo geradas pelo método da superfície	51
Tabela 3.16 - Comparação de índices ocupação veicular gerados por cada método	52
Tabela 3.17 - Comparação entre os custos das rotas geradas por cada método	53
Tabela 3.18 - Rotas geradas por fornecedores agrupados por frequência	57
Tabela 3.19 - Rotas geradas por fornecedores agrupados por dia	58
Tabela 3.20 - Custos da roteirização com fornecedores agrupados por frequência	59
Tabela 3.21 - Custos da roteirização com fornecedores agrupados por dia	59
Tabela 3.22 - Comparação entre os métodos de agrupamento de fornecedores	60
Tabela 3.23 - Etapas da macroanálise de FREESE	65
Tabela 3.24 - Fluxo Mensal e Taxas de Transporte	80
Tabela 3.25 - Coordenadas geográficas do baricentro dos domicílios e das plantas	80
Tabela 3.26 - Participação relativa dos domicílios no volume total de coleta	81
Tabela 3.27 - Participação relativa das plantas no volume total de entrega	81
Tabela 3.28 - Regiões de acesso aos domicílios	82
Tabela 3.29 - Comparativo de custos por cenário	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Serviços Oferecidos pela Ryder	6
Figura 1.2 - Características das Operações Ryder no Brasil	7
Figura 2.1 - Operação RGM	8
Figura 2.2 - Domicílios - Brasil	12
Figura 2.3 - Domicílios – SP	12
Figura 2.4 - Operação Armazém <i>Cross Docking</i>	20
Figura 2.5 - Rota São Bernardo - Rosário	21
Figura 3.1 - Rota com 8 fornecedores de pouco volume	25
Figura 3.2 - Rota com 8 fornecedores de muito volume	26
Figura 3.3 - Estudo para definição do coeficiente de ocupação volumétrica	29
Figura 3.5 - Vista de topo permitida pelo <i>MaxLoad</i>	42
Figura 3.6 - Região onde armazém, do cenário 1 armazém, deverá ser instalado	83
Figura 3.7 - Região onde armazém, do cenário 2 armazéns, deverá ser instalado	85
Figura 3.8 - Região onde armazém, do cenário 2 armazéns, deverá ser instalado	86
Figura 3.9 - Região onde armazém, do cenário 3 armazéns, deverá ser instalado	87
Figura 3.10 - Região onde armazém, do cenário 3 armazéns, deverá ser instalado	88

1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

1.1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho de formatura foi realizado durante estágio realizado na Ryder Logística no segundo semestre de 2003.

Este período foi dedicado basicamente a treinamento nas ferramentas atualmente utilizadas para roteirização – softwares *TruckStops* e *MaxLoad* – e simulação – *ProModel*.

Para que o treinamento realizado na empresa se alinhasse com a realização de um trabalho de formatura, foram propostos três projetos em duas atividades muito comuns na carreira de um profissional da logística: roteirização de veículos e localização de armazéns.

Para maximizar os resultados do trabalho, este terá como objeto a operação de transporte de peças que a Ryder executa para a General Motors da Argentina, que sofrerá um novo processo de concorrência no final deste ano, tendo seu escopo aumentado.

1.2 LOGÍSTICA

Segundo o *National Council of Physical Distribution Management*, com sede em Chicago, EUA, logística é a integração de duas ou mais atividades com o fim de planificar, concretizar e controlar um fluxo eficiente de matérias primas, produtos semi-acabados e produtos acabados, do local de origem ao local de consumo.

Estas atividades podem incluir, entre outras, o serviço oferecido aos clientes, a previsão da procura, a informação ligada à distribuição, o controle dos estoques, a manutenção dos materiais, o tratamento das encomendas, o serviço pós-venda e de acessórios, a escolha da localização das fábricas e entrepostos, as compras, a embalagem, o tratamento das mercadorias devolvidas, a negociação ou reutilização de elementos recuperáveis ou destinados à sucata, a organização dos transportes e o

transporte efetivo das mercadorias, assim como o armazenamento e a formação de estoques.

Como HESKETT aponta, o desenvolvimento da função logística moderna, nas empresas, tem origem na gestão de estoques e no transporte das mercadorias.

No entanto, foram os militares os primeiros a dar uma utilização à palavra logística. Dizia o Barão Antoine Henri Jomini (1779 a 1869), general do exército francês nos tempos das guerras napoleônicas, que *"a logística é aplicação pratica da arte de movimentar os exércitos"*.

A palavra só entrou no uso corrente por ocasião da II Guerra Mundial, sob o impulso do general Marshall, conselheiro militar do presidente Roosevelt, e que viria a ser pai dum famoso plano de reconstrução da Europa.

Visto que os EUA estavam longe dos campos de batalhas da II Guerra Mundial, houve a necessidade de se dispor de uma grande quantidade de bases de apoio em lugares muito afastados. Essa abordagem global em termos de organização logística constituiu-se em um fator crítico de sucesso para que os americanos ajudassem os aliados a vencerem a guerra, oferecendo um suporte eficaz à linha de frente.

1.3 OPERADORAS LOGÍSTICAS

As atividades logísticas são extensivas e de capital intensivo. Mover e armazenar materiais exige muito espaço, muito equipamento, muita gente e, cada vez mais, muitos computadores.

No cenário atual, onde os custos já foram cortados em diversas atividades das empresas, os custos logísticos passaram a receber uma atenção especial.

Custos, no entanto, não são o único lado da logística que deve ser observado. Os serviços logísticos precisam ser de qualidade. Uma não entrega de um produto pode prejudicar uma simples venda ou parar uma linha de produção de uma grande indústria.

Terceirizar as atividades logísticas ou uma parte delas é uma hipótese que vem sendo cada vez mais analisada pelos responsáveis pela logística das empresas. Há vários níveis de terceirização. Pode-se, por exemplo, entregar a distribuição ou

abastecimento de produtos para uma transportadora, com o gerenciamento sendo feito pela empresa, ou pode-se entregar o gerenciamento e a operação a uma operadora logística. Quanto à armazenagem e movimentação de materiais, as possibilidades são ainda maiores, desde uma simples gestão de um armazém até o abastecimento de células de produção, como na operação que a Ryder presta para a fabricante de eixos Arvin Meritor, em Osasco, São Paulo.

No mercado altamente competitivo em que as empresas estão inseridas, a busca por vantagem competitiva tem as pressionado para procurarem alternativas com relação às suas operações logísticas. RANDALL listou os fatores que têm contribuído para isto:

- A busca por redução de custos e a diminuição das margens com que as empresas trabalham;
- A globalização do abastecimento, da manufatura e da distribuição tem aumentado a complexidade e amplitude dos custos da função logística;
- A competição tem forçado as companhias a aumentarem sua linha de produtos, a customizá-los cada vez mais e a diminuir seus ciclos de vida, o que tem aumentado a complexidade das operações logísticas;
- As restrições quanto a recursos financeiros disponíveis tem levado as empresas a priorizarem seus investimentos nas atividades críticas de seu negócio, como desenvolvimento de novos produtos, o que prejudica a renovação e modernização dos bens utilizados pela área logística.

Quando propriamente implementados, os contratos de terceirização de atividades logísticas têm ajudado na resolução desses desafios, reduzindo os custos de tais operações.

O temor que os responsáveis pela logística dentro das empresas tinham em perder o controle sobre as operações vem sendo cada vez mais atenuado, tanto pelos bons resultados financeiros como pela melhora do nível de serviço oferecido pelas operadoras logísticas. Entre os mais comuns estão:

- A unificação do ponto de contato das atividades logísticas, que estão todas entregues a uma única prestadora, com um único sistema de informações e com um único contrato;
- A simplificação da cadeia de suprimentos, com a conseqüente redução no nível de estoque em transporte, já que normalmente seu fluxo pela cadeia se torna mais rápido;
- Melhora e garantia no nível de serviço, já que a operadora se compromete a disponibilizar os produtos dentro de um prazo pré-definido, e incorre em multas caso haja falhas;
- O acesso às mais atuais técnicas de gerenciamento logístico e às mais recentes tecnologias em informação, já que as operadoras, tendo a logística como seu negócio, freqüentemente têm a possibilidade de desenvolver sistemas e ferramentas melhores do que as empresas contratantes.

1.4 HISTÓRIA DA EMPRESA

A Ryder Systems surgiu em 1933 nos Estados Unidos da América como uma empresa de transportes e hoje é o maior provedor mundial em soluções de logística integrada, tendo faturado US\$ 5,2 bilhões em 2002.

Com um total de 30 mil funcionários, está na posição de número 333 no ranking da Fortune-500. Presta serviço a quase todos os segmentos industriais, como o aeroespacial, o automotivo, o de bens de consumo não-duráveis, o de alimentação, o de equipamentos de alta tecnologia, o de bens de capital, o de telecomunicações, o de varejo, o editorial e o de papel.

Suas soluções no gerenciamento da cadeia de suprimentos integram e gerenciam do começo ao fim o fluxo de materiais, produtos e informações.

A figura 1.1 mostra o escopo dos serviços que a Ryder presta:

Visão Estratégica

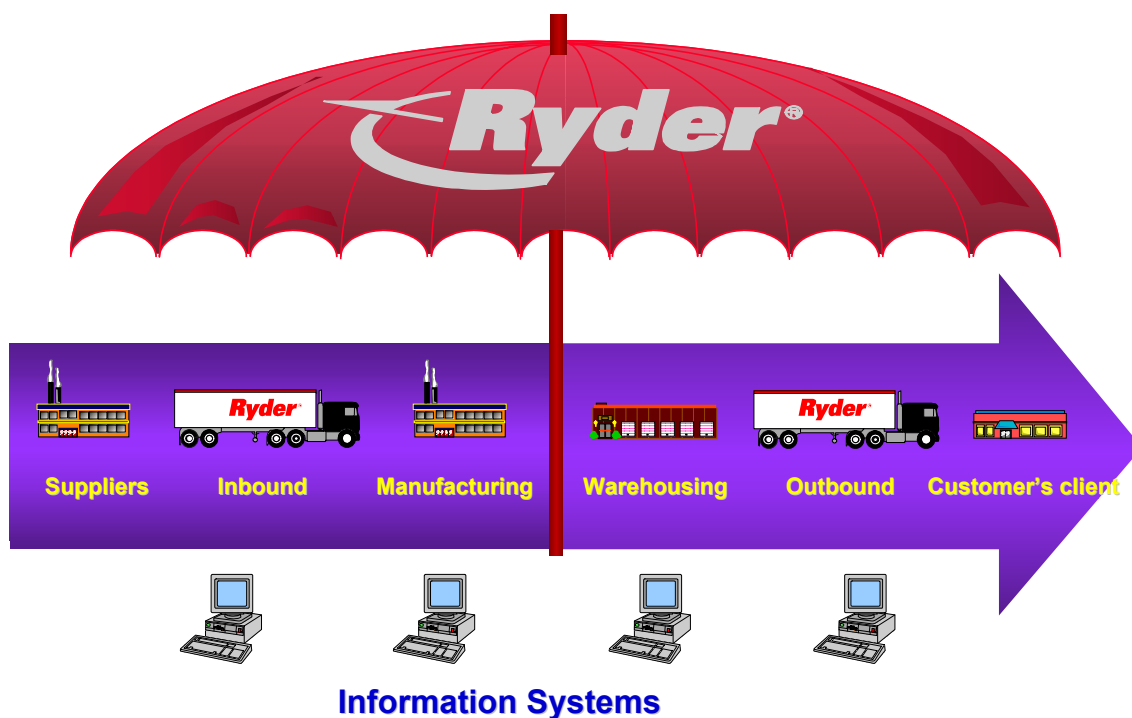


Figura 1.1 - Serviços Oferecidos pela Ryder

Tendo coligadas no México, América Central, Inglaterra, Alemanha, Polônia, Holanda, Suécia, Hungria, Singapura, Chile e Argentina, iniciou suas operações no Brasil em 1995, associando-se em 1997 à Cia Transportadora e Comercial Translor, especializada no transporte de veículos automotivos.

Em 1998, adquiriu 100% das ações dessa empresa que, no ano de 2001, passou a se chamar Ryder Logística Ltda.

A tabela abaixo mostra seus principais clientes no Brasil e o escopo de cada operação:

RLA - Serviços oferecidos

Alguns de nossos clientes...

					 HEWLETT PACKARD		
Impo / Expo / Serviços aduaneiros	✓						
Des / carregamento de containers	✓				✓	✓	✓
Transporte / Gerenciamento De Transporte	✓		✓	✓		✓	
Armazenagem	✓	✓			✓	✓	✓
Gerenciamento de estoques	✓	✓			✓	✓	✓
Roteirização / Rastreamento	✓		✓	✓	✓	✓	
Distribuição			✓	✓	✓	✓	
Faturamento, Contas a receber Serviços ao cliente				✓			
Milk Runs	✓		✓				
Abastecimento de Linha			✓				✓

Figura 1.2 – Características das Operações Ryder no Brasil

2 OPERAÇÃO RGM

2.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será descrita a operação RGM (Ryder-General Motors) em suas três etapas: coletas *milk run*, armazém *cross docking* e transporte internacional.

Ao seu final, o objetivo deste trabalho de formatura será apresentado.

2.2 OPERAÇÃO RGM

A operação RGM tem como objetivo coletar, segundo uma programação enviada pela GMA (General Motors da Argentina), os produtos disponibilizados pelos fornecedores brasileiros, levá-los ao armazém *cross docking* Ryder de São Bernardo, onde as cargas são consolidadas, e entregá-los na fábrica de Rosário.

As próximas seções descrevem as etapas da operação, representadas na figura abaixo:

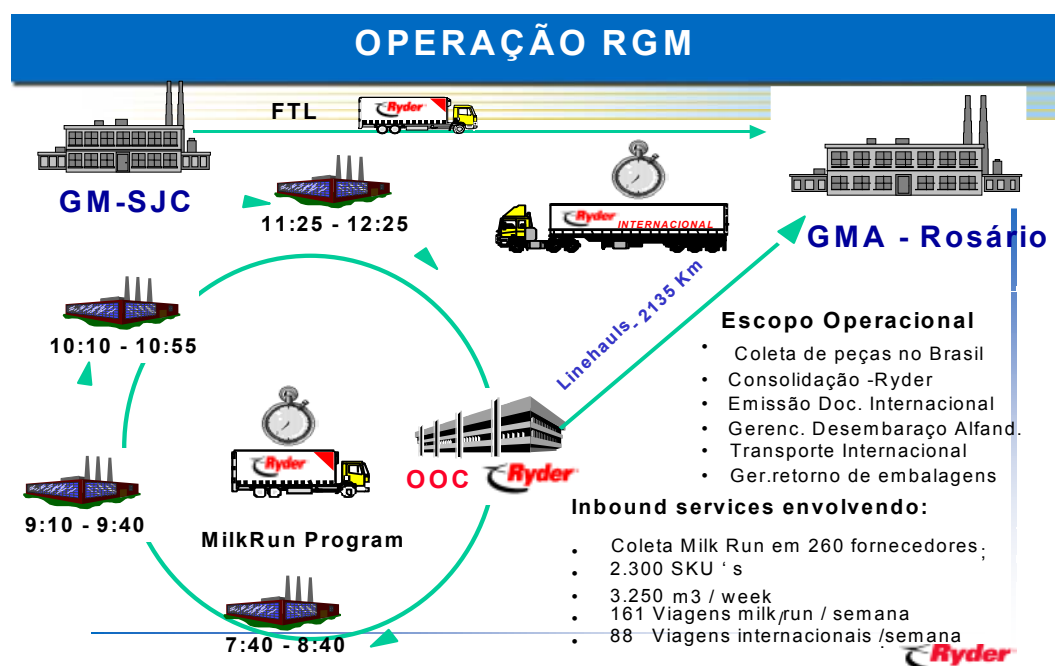


Figura 2.1 - Operação RGM

2.2.1 COLETAS *MILK RUN*

No início do século XX, as cooperativas de leite desenvolveram um método muito peculiar para economizar no transporte do leite das fazendas até a planta envasadora. Ao invés do produtor levar seu leite até a cooperativa, o que encarecia o produto devido ao frete, elas mesmas passaram a coletar o produto, reduzindo o custo de transporte, fazendo com que uma só carroça passasse por diversos produtores recolhendo as latas de leite.

Para agilizar o processo e não desperdiçar embalagens, estas foram padronizadas e, enquanto era recolhida uma lata cheia de leite, uma outra, vazia, era deixada na porteira da fazenda.

Essa mesma idéia, algumas décadas depois, foi adotada pela indústria automobilística, trocando o leite por peças que fazem parte de um veículo, mas com o mesmo conceito de redução do custo de frete, troca de embalagens padronizadas e rapidez no carregamento do veículo.

A proposta que a Ryder fez para a GMA em resposta a um BID (do inglês, *bid*, ou “aposta”, podendo ser traduzido como leilão, concorrência) da montadora, tinha como premissa que as rotas de coleta *milk run*, uma vez roteirizadas pela Ryder e aprovadas pela GMA, seriam as mesmas todas as semanas, ou seja, passariam nos mesmos fornecedores, na mesma seqüência e nos mesmos horários.

Ficou acordado que a roteirização só seria totalmente refeita no momento em que houvesse alguma mudança no mix de produção da planta de Rosário, o que provocaria significativas alterações quanto aos fornecedores e seus volumes.

Fora a hipótese citada, as rotas só seriam modificadas nas chamadas manutenções de rotas, que seriam alterações pontuais da roteirização fixa, a qual chamaremos de roteirização padrão.

2.2.1.1 FASE 1: ROTEIRIZAÇÃO PADRÃO

➤ Sinal DelFOR

Semanalmente, a GMA envia a programação de coleta de peças para a planta de Rosário para as 20 semanas subseqüentes. O relacionamento deste sinal,

denominado delFOR (de *forecast*, previsão), com tabelas que contêm informações sobre quantidade de peças por embalagem e volume de cada embalagem, fornece o volume planejado para ser coletado em cada uma das 20 semanas seguintes, em cada fornecedor.

➤ Roteirização

Atualmente, o Corsa antigo representa 60% da produção da planta de Rosário, contra 40% do modelo novo. Até dezembro/2002, o mix encontrava-se com 70% do Corsa novo (modelo 4300) e 30% do Corsa antigo (modelo 4200). A única rerroteirização total, portanto, foi feita em janeiro deste ano.

Apesar do mix médio, exceto por esta mudança em janeiro, se manter constante, o volume a ser coletado semanalmente em cada fornecedor, segundo o sinal delFOR, não é constante, pois varia de acordo com o volume de produção semanal da planta.

Por isso, para efetuar a roteirização padrão, a Ryder, após análise, decidiu tomar como demanda semanal de cada fornecedor os dados da terceira semana de maior volume total de pedidos, que, segundo o estudo, cobriria 75% das demandas programadas para cada fornecedor. Para as outras 25% semanas de coleta, o volume que excedesse o planejado para o fornecedor seria compensado por uma possível redução de volume de outros fornecedores.

Este critério foi adotado com o intuito de não sub-utilizar os veículos, o que ocorreria se fossem tomados como volumes planejados de cada fornecedor os valores da semana de maior demanda.

Para os fornecedores que não tinham coleta programada na semana escolhida, o que ocorreu para menos de 2% deles, tomou-se como volume planejado semanal o terceiro maior de cada um deles nas 20 semanas do sinal delFOR.

Um dos pontos que a operação RGM deve respeitar é a exigência da GMA de evitar a formação de estoques de matéria-prima em sua planta. Assim, para um fornecedor com volume maior de coleta, as visitas ocorrerão mais freqüentemente, diferentemente de um fornecedor que tenha pouco volume a ser coletado, no qual incidirá uma freqüência semanal menor de coleta.

Após análise, a Ryder definiu que até 10 m³ de coleta semanal, o fornecedor será visitado uma vez por semana. De 10 a 20 m³, as coletas ocorrerão duas vezes por semana, e de 20 a 30 m³, três vezes por semana. Para os fornecedores com volume semanal maior do que 30 m³, as retiradas serão diárias.

Antes de se efetuar a roteirização padrão, foram definidos dez domicílios onde há fornecedores da GMA, divididos por regiões, cada uma com características próprias. São eles:

- D01 – São Paulo/ABC
- D02 – São José dos Campos
- D03 – São Carlos
- D04 – Campinas
- D05 – Sorocaba
- D06 – Sul de Minas (Extrema/Cambuí)
- D07 – Minas Centro
- D08 – Curitiba
- D09 – Joinville
- D10 – Porto Alegre

As figuras da próxima página apontam os domicílios dos fornecedores da GMA, no Brasil e no estado de São Paulo:

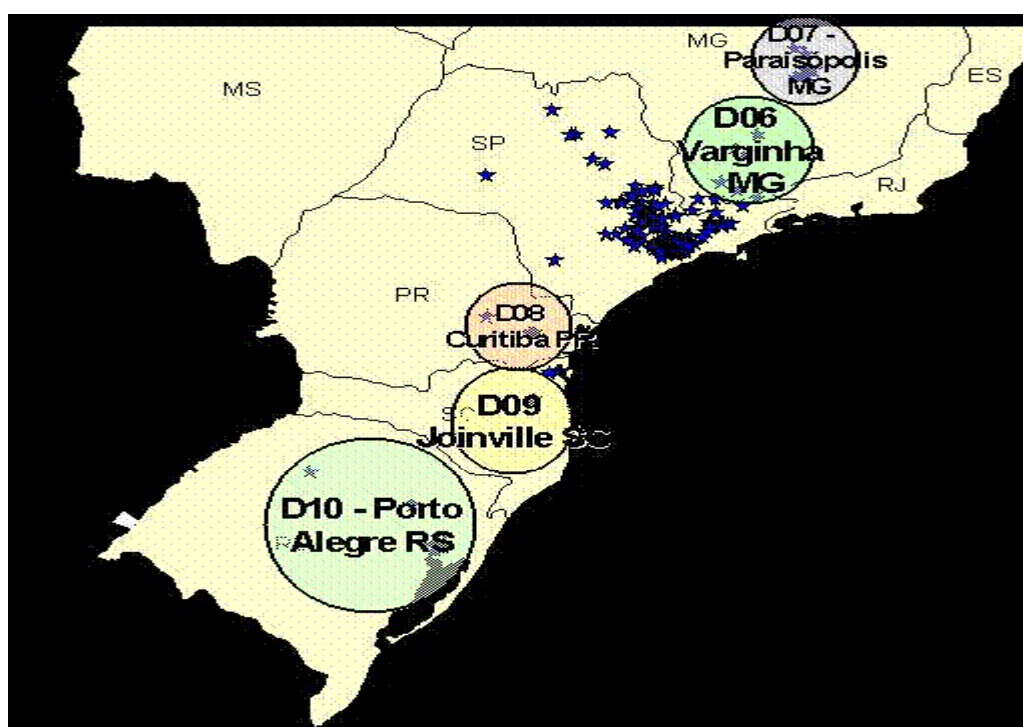


Figura 2.1 - Domicílios - Brasil

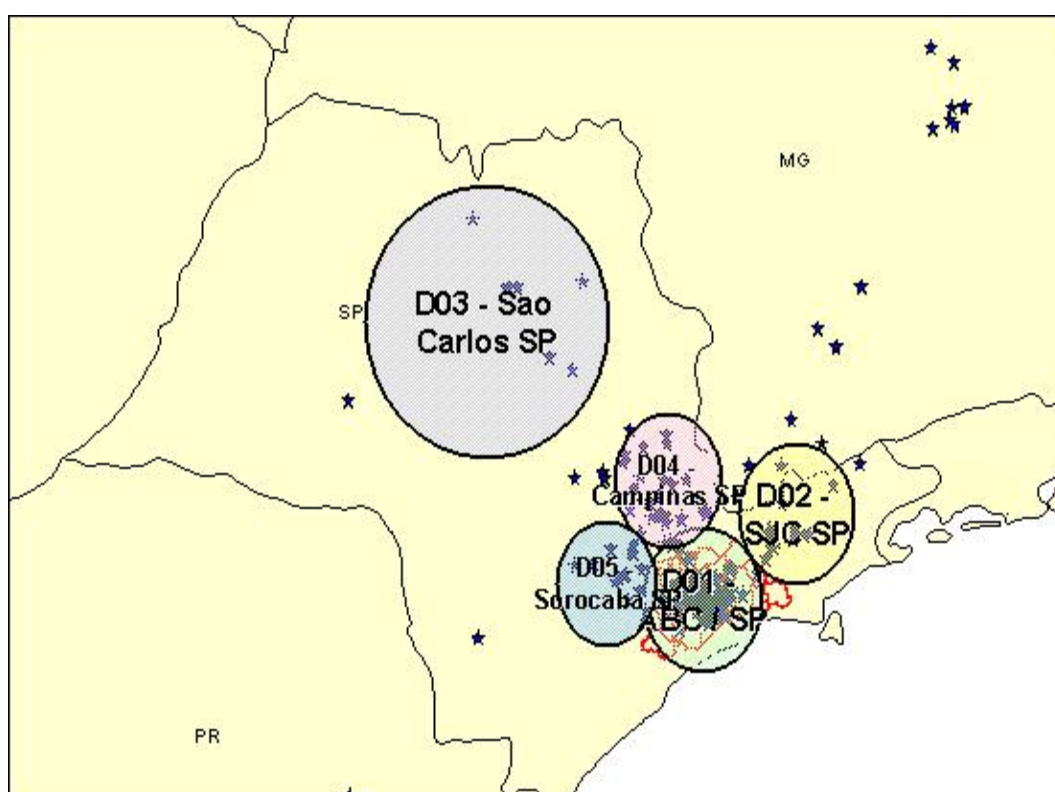


Figura 2.2 - Domicílios – SP

A roteirização foi feita com a utilização do software *TruckStops*, que, a partir de três arquivos de entrada, devolve a programação de coleta em cada fornecedor, denominado rota. Foram feitas roteirizações com os fornecedores agrupados por domicílio e, dentro de cada domicílio, divididos por frequência de coleta.

Esta segunda classificação, por frequência, foi feita para facilitar a manutenção das rotas, já que forçando os fornecedores a serem visitados sempre pela mesma rota, caso haja alguma alteração em um deles (mudança de fornecedor, de endereço ou de volume de coleta), efetua-se alterações somente nos dados dos fornecedores desta rota. Além disto, o programa global de materiais e manufatura da GM Argentina e Brasil, o MGO, apenas permite que seja colocado uma janela de entrega por fornecedor, existindo, portanto, a necessidade de adotar um único horário de coleta para o fornecedor e dias de coleta preestabelecidos. Embora estes horários possam variar ao longo dos trabalhos de manutenção de rotas, eles devem ser previamente acordados tanto com a GMA quanto com os fornecedores antes de serem implantados.

Ao contrário, se fosse feita uma “roteirização por dia”, ou seja, misturando em um mesmo dia fornecedores com frequências diferentes (exemplo: na segunda-feira teríamos alguns fornecedores de frequência 1, todos de frequência 3 (carregam às segundas, quartas e sextas) e todos de frequência 5 (carregam todos os dias da semana)), acabaríamos tendo os fornecedores de frequências maiores do que 1 sendo visitados cada dia por uma rota, e cada dia em um horário diferente.

Conseqüentemente, havendo alguma mudança nas características de um fornecedor, todas as rotas que por ele passa deveriam ser alteradas, devendo inclusive provocar mudanças em muitas outras rotas. Neste caso, haveria a necessidade também de adaptar o MGO para que ele aceitasse diferentes janelas de entrega por fornecedor.

Os três arquivos de entrada do roteirizador *TruckStops* são os seguintes:

- Arquivo de paradas: informa as características de cada fornecedor, como o volume a ser coletado, o horário de funcionamento da expedição, tempo de carga e a localização do estabelecimento (latitude e longitude);

- Arquivo de parâmetros: contém as características referentes a cada domicílio de coleta, como fatores de curva (o software utiliza coordenadas euclidianas para roteirizar) e velocidades médias dos veículos que para lá se dirigem;
- Arquivo de Caminhões: define a frota disponibilizada para as coletas. Como a Ryder não trabalha com frota própria, estão neste arquivo todos os tipos de caminhões existentes no mercado, e em grandes quantidades, para que o resultado da roteirização não seja prejudicado por uma eventual falta de um veículo, o que não ocorre na realidade. Este arquivo contém a capacidade dos caminhões e os custos de utilização de cada um deles.

A Ryder, devido a experiências anteriores e análises já realizadas, sabe que a ocupação útil dos veículos não será 100% devido a restrições de empilhabilidade das embalagens, restrições de segurança estabelecidas pela GM, formato das embalagens, etc. Assim sendo, definiu-se como porcentagem de ocupação 50% de seus volumes reais, ou seja, a roteirização padrão foi feita considerando, no “Arquivo de Caminhões”, os volumes disponíveis no caminhão como sendo 50% do real.

O roteirizador devolve as rotas programadas, com os fornecedores que cada uma delas atenderá, os horários de janela, as quantidades de embalagens a serem coletadas e o veículo a ser utilizado.

➤ *MaxLoad*

Definidas as rotas, deve-se verificar se o volume proposto para cada rota coletar realmente caberá no veículo a ela alocado, lembrando que a GM não permite que embalagens de diferentes fornecedores sejam empilhadas, entre outras restrições.

O software *MaxLoad* fornece um arranjo estrutural da carga, considerando as regras de empilhamento fornecidas pela GMA (mesmo algumas embalagens de um mesmo fornecedor não podem ser empilhadas, devido a certas características da própria embalagem e/ou do produto) e a ordem de coleta definida pelo roteirizador.

Caso o *MaxLoad* deixe algumas embalagens de fora do veículo, algumas reestruturações manuais podem ser realizadas, buscando melhorar o arranjo e permitindoocar todas as embalagens dentro do veículo. Persistindo o excesso,

podem ser tomadas as seguintes medidas, individualmente ou em conjunto: mudança para um veículo com cubagem maior, inserção das embalagens em excesso em uma outra rota, dividir a rota em duas com veículos menores ou aumentar a frequência de coleta das rotas.

➤ Validação das Rotas

Definidas as rotas e seus veículos designados, passa-se ao trabalho de validação das rotas, onde são verificados a quilometragem real da viagem, o tempo levado para fazer cada percurso da rota e, o mais importante, se é possível recolher os produtos nos fornecedores nos horários em que suas expedições dos estabelecimentos estão funcionando.

Como resultado, temos os horários previstos de partida e chegada para cada parada da rota.

➤ *Fleet Sizer*

Validadas as rotas, o número de viagens requisitadas para cada um dos tipos de veículos disponíveis está definido.

Utiliza-se, então, o software *Fleet Sizer*, que, a partir dos horários de saída e chegada de cada uma das rotas ao armazém da Ryder (considerando também o tempo de descarga), otimiza o número de veículos a serem utilizados na operação, fazendo, por exemplo, com que alguns façam duas rotas no mesmo dia, levando a uma redução da necessidade de veículos.

2.2.1.2 FASE 2: CONTRATAÇÃO DOS TRANSPORTADORES

➤ Cotação

Com a frota necessária à operação em mãos, um funcionário faz a cotação dos fretes com transportadoras que atendam a certas exigências da Ryder, como idoneidade da empresa e de seus proprietários, treinamento dos motoristas e realização freqüente de testes de bafômetro, entre outras.

➤ Contratação

Feita a cotação, tem-se uma idéia do preço que está sendo praticado pelo mercado naquele momento. Com esses dados, a Ryder estipula um preço que propõe a pagar por cada rota (*target*), e volta a entrar em contato com as transportadoras, priorizando as que já trabalham para a Ryder com bons resultados.

➤ Custo das rotas para a GMA

Atualmente, a operação RGM tem uma tabela de tarifas por quilômetro e uma tabela de tarifas por parada. A composição do preço da rota para a GMA se dá através da somatória de:

- tarifa por km (por tipo de veículo e domicílio) x km total da rota
- tarifa por parada (número de paradas – 1)
- pedágio
- PIS + COFINS + ICMS

➤ Aprovação da GM

As rotas são, então, passadas à GMA, que as avalia e, ou pede algumas alterações, ou as aprova, assinando e as devolvendo à Ryder. Pode-se, assim, iniciar a operação de coletas *milk run*.

2.2.1.3 FASE 3: OPERACIONALIZAÇÃO DAS COLETAS

➤ Definição do Volume de Coleta (DelJIT)

Todos os domingos, junto com o sinal delFOR, chega à Ryder o sinal delJIT (de *just in time*), que contem a programação de coleta para as duas próximas semanas. Assim, é emitido, para cada rota, um documento chamado de folha de carga, que informa a quantidade exata de embalagens que devem ser coletadas em cada fornecedor.

Para os casos em que o volume de coleta informado no delJIT ultrapasse o volume previsto para aquela rota, é feita uma análise para conferir se isto não “estourará” a capacidade do caminhão. Se isto for acontecer, tenta-se primeiramente alocar a rota a um caminhão maior, para só depois requisitar um transporte especial (PTA, que será explicado a seguir).

➤ Carregamento da Carga

Chegando ao fornecedor, o motorista deverá receber a nota fiscal, conferindo se as informações nela contidas são as mesmas do documento de rota. Ainda, deverá verificar se a quantidade de embalagens a serem carregadas está correta.

Caso tudo esteja correto, deverá acompanhar tanto a descarga das embalagens vazias (caso tenha) quanto o carregamento dos produtos.

Havendo alguma diferença quanto ao volume a ser carregado, quanto a algum aspecto da qualidade de embalagem (embalagens danificadas ou em péssimo estado) ou em caso de “estouro” do tempo de janela, o *follow up* da Ryder, localizado no armazém de São Bernardo, deve ser avisado.

➤ TMS (*Transportation Management System*, ou Sistema de Gerenciamento de Transporte)

A Ryder implantou nessa operação um controle de rota via WAP (*Wireless Application Protocol*, a internet acessada por telefone celular). Assim que um carregamento é feito, o motorista envia uma mensagem pelo *site* WAP da Ryder, informando, também, se ele foi efetuado como planejado. Assim, o *follow-up* da Ryder sabe, em tempo real, onde os motoristas estão.

➤ Carregamento de embalagens vazias

Na volta ao armazém de São Bernardo, após descarregar todos os produtos, o motorista recebe uma nova folha de carga, informando como deverá ser sua próxima viagem. Além disso, seu caminhão é carregado com as embalagens vazias que devem ser devolvidas aos fornecedores pelos quais passará na próxima viagem.

➤ *Follow-up*

Havendo um problema em algum fornecedor, o motorista deve acionar o *follow-up*, equipe composta por funcionários Ryder. Estes, caso não consigam resolver a situação de pronto, entram em contato com representantes da GMA que decidirão a ação a ser tomada.

➤ PTAs

O PTA (*Premium Transportation Authorization*) é qualquer transporte que não é feito por uma das rotas vigentes, e ocorre quando há alguma anormalidade na operação.

Por exemplo, quando, em um carregamento o fornecedor quer colocar mais produtos no caminhão do que o especificado na folha de carga, e tais embalagens não cabem no veículo, é executado um PTA.

Os PTAs, por requererem um veículo extra para fazer uma coleta, é debitado ao culpado por tal anomalia na operação. Por exemplo, se a GM enviou, no sinal delJIT uma quantidade de certo produto que ultrapassaria a capacidade do veículo, e esta quantidade excedente deve-se a reprogramas da planta, é feito um PTA debitado contra a GM. Porém, se certo produto não foi retirado no fornecedor por atraso do veículo de coleta, o custo do PTA vai contra a Ryder, que, dependendo do caso, o repassa à transportadora contratada. Para o caso de “estouro” por atraso de entrega de produtos por parte do fornecedor, o débito recai ou sobre fornecedor ou sobre a GM, dependendo da postura que a montadora decidir adotar.

2.2.1.4 FASE 4: CONTROLE DA OPERAÇÃO

➤ KPIs (Key Performance Indicators, ou indicadores chaves de performance)

Ao final de todo mês, são gerados relatórios com informações sobre a performance da operação, principalmente comparando o volume de coleta programado pela GM com aquele planejado pela Ryder e com o efetivamente entregue pelo fornecedor.

Esses relatórios também informam como anda a análise das rotas críticas, ou seja, aquelas cuja ocupação está ou muito baixa ou muito alta.

O conjunto dos indicadores é apresentado mensalmente à GM em uma reunião.

2.2.2 ARMAZÉM *CROSS DOCKING*

No armazém da Ryder de São Bernardo do Campo, as embalagens que foram coletadas no *milk run* são trabalhadas de modo a poderem ser empilhadas, deixando as carretas que vão para Rosário com um elevado nível de ocupação.

É chamado de *cross docking* devido ao tempo em que as embalagens ficam por lá deve ser o mínimo possível (máximo de 24 horas úteis).

Assim, o serviço que se oferece à GMA no que tange ao *cross docking* é o de certificar-se que o espaçamento volumétrico das carretas será otimizado, apesar de que existirão casos em que o peso dos volumes ou peças em embalagens que não podem ser empilhadas (baterias, por exemplo) limitarão o espaço volumétrico otimizado.

A figura 2.4 da próxima página mostra o fluxo de embalagens no armazém, onde há uma área de produtos FIFO (*first in first out*, ou “o primeiro que entra é o primeiro que sai”), em que as embalagens não são manipuladas e a área de *boxing*, onde as embalagens são rearranjadas.

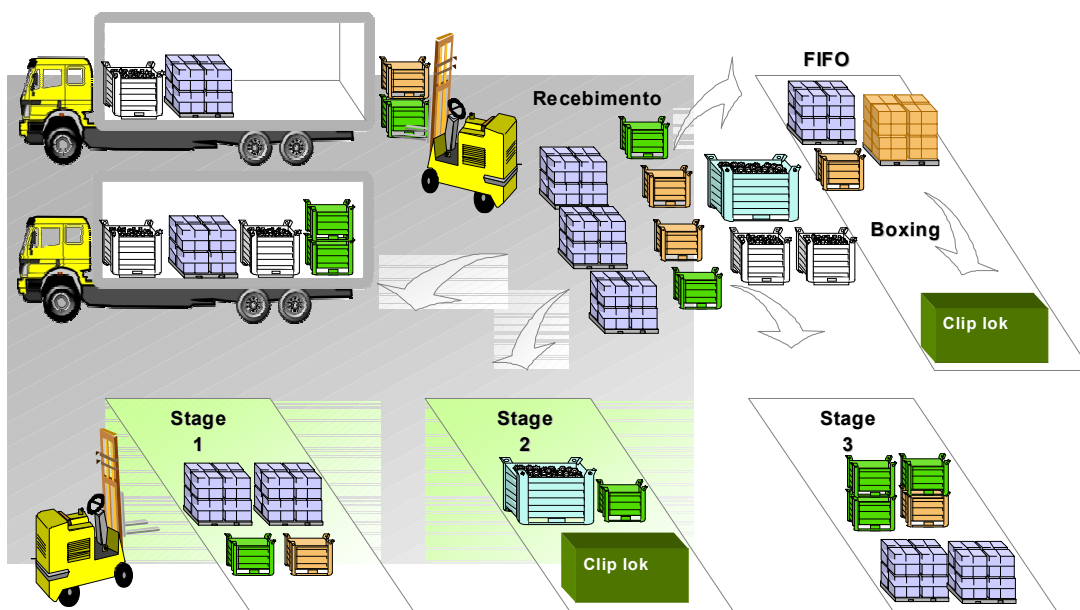


Figura 2.1 - Operação Armazém *Cross Docking*

Além do pessoal que manipula as cargas, reconfigura as embalagens, e faz os planos de carga, há no armazém uma numerosa equipe de apoio que organiza a documentação relacionada à exportação, que controla o fluxo de embalagens, e que faz a manutenção das carretas.

Há também procedimentos especiais com peças críticas, que por algum motivo têm que estar na planta de Rosário mais rapidamente. Estas peças terão sua expedição priorizada, obedecendo aos requisitos da GMA, e solicitada formalmente através de comunicações eletrônicas ou fax em tempo hábil.

Quando à criticidade das peças inviabilizar o embarque rodoviário, estas serão exportadas por via aérea, necessitando de acondicionamentos específicos.

2.2.3 TRANSPORTE INTERNACIONAL

Embarcadas as embalagens nas carretas, entra em ação uma equipe que acompanha passo a passo seus percursos, já que todos os veículos são equipados com sistemas GPS.

Abaixo, a rota São Bernardo – Rosário:

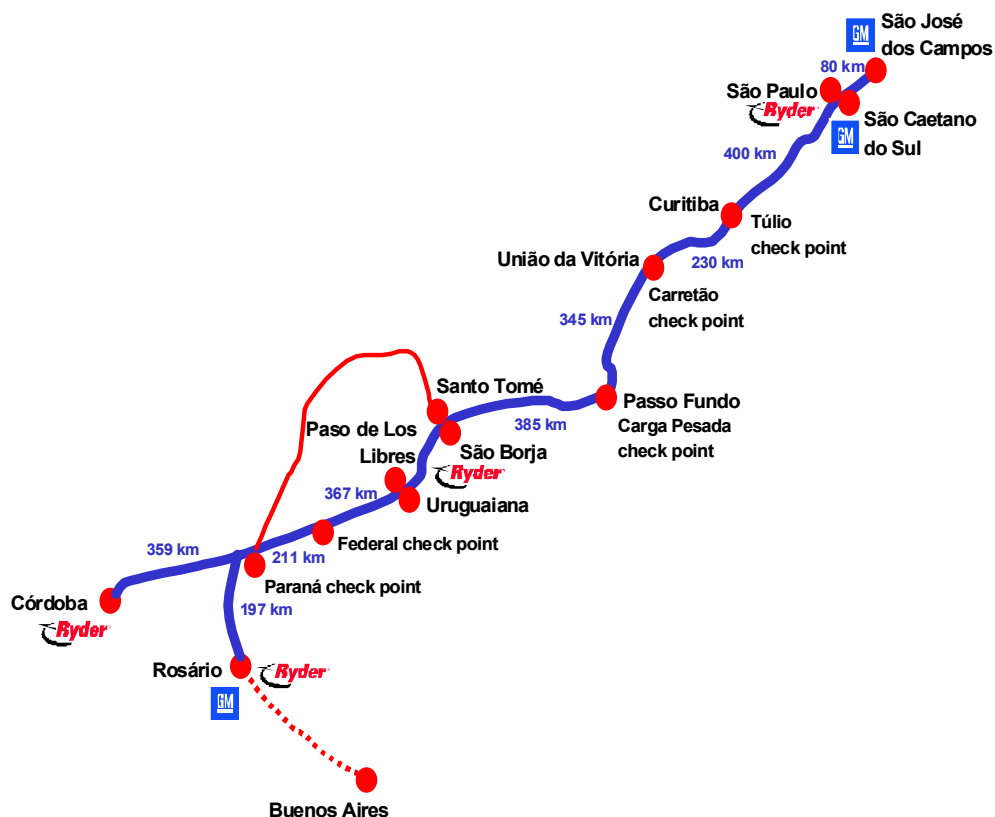


Figura 2.1 - Rota São Bernardo - Rosário

As viagens críticas são acompanhadas com mais atenção, e acontecem no esquema “*hot seat*”, em que vão dois motoristas que dormem enquanto o outro dirige, diminuindo o tempo da viagem.

As carretas são todas do tipo *sider*, que têm a vantagem de permitir o carregamento e descarregamento pela sua lateral, não exigindo a entrada das empilhadeiras para estas terem acesso a todo o compartimento, o que agiliza o carregamento.

Para otimizar a utilização dos equipamentos, todo cavalo-mecânico (que são todos de terceiros), quando chega à planta de Rosário se separa do compartimento de

carga (todos da Ryder) e engata em um outro já carregado com embalagens vazias, voltando ao Brasil.

Como normalmente sobre espaço nas carretas que voltam à São Bernardo do Campo, pois algumas embalagens são do tipo *one way* (não retornáveis), algumas vezes as carretas trazem outros produtos, como óleo ou farinha de trigo, para outras empresas.

2.3 OBJETIVO DO TRABALHO

No final deste ano, 2003, a General Motors da América do Sul deverá lançar um BID que colocará apenas uma operadora logística efetuando as coletas *milk run*, a operacionalização de armazéns *cross docking* e o transporte internacional para suas plantas de São Caetano do Sul, São José dos Campos, Gravataí e Rosário, na Argentina.

A Ryder Logística terá, então, a oportunidade de aumentar o escopo da atual operação, que atende apenas as necessidades da planta de Rosário. No entanto, haverá o risco de perder esta operação, que corresponde a uma boa parte do faturamento da empresa.

Assim, a empresa está concentrando esforços na busca de soluções que diminuam os custos da operação, mantendo a qualidade do serviço.

Este trabalho de formatura está inserido nesse contexto, e tem como objetivo fornecer subsídios para a empresa alterar alguns pontos na operação RGM que levem a uma redução de custos, tornando-a mais competitiva.

Serão estudadas oportunidades de melhoria no modo como é feita a roteirização dos veículos de coleta *milk run* e na localização dos armazéns *cross docking* da operação.

As mudanças que serão propostas na roteirização são mais simples de serem implementadas e o presente estudo fornecerá informações suficientes para uma tomada de decisão por parte dos quadros superiores da empresa.

Já o estudo relacionado à localização dos armazéns *cross docking*, que configurará a rede logística para três cenários diferentes (1, 2 ou 3 armazéns), irá

requerer um estudo posterior, onde será analisado qual dos cenários é o melhor financeiramente para operação, e se vale a pena mexer na atual configuração.

3 PROJETOS DE MELHORIA

3.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão descritos os problemas a serem atacados e propostas de soluções.

As duas primeiras propostas, relativas à roteirização, são conclusivas e se consideradas benéficas, poderão ter sua implementação iniciada de pronto.

Já a proposta relativa à localização dos armazéns é um estudo que dependerá de uma continuação, mas, além de ser um início para uma eventual reconfiguração da rede logística, criará uma ferramenta para localização ótima de armazéns que a Ryder poderá utilizar e criar novas versões.

3.2 ROTEIRIZAÇÃO POR ÁREA

3.2.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Atualmente, na operação RGM, as rotas de coleta *milk run* são fixas e somente alteradas quando a taxa de ocupação de um veículo (ocupação real / ocupação planejada) fica em um nível considerado baixo por seguidas viagens.

Como a demanda da planta de Rosário não tem sido constante, a operação tem perdido produtividade, com veículos chegando ao armazém com volume de embalagens abaixo do planejado e com seguidos casos de PTAs devido a entregas maiores do que o planejado nas rotas.

Se houvesse uma roteirização mais freqüente, que considerasse os dados reais de coleta informados pelo sinal delJIT, a operação conseguiria uma sensível redução de custos com um melhor dimensionamento da frota de coleta.

O maior empecilho para essa mudança na roteirização está no alto tempo exigido pelo processo de criação e validação de novas rotas, que acontece basicamente em duas etapas: na primeira, o software roteirizador *TruckStops* desenha

as rotas, que, em seguida, terão que ser validadas pelo *MaxLoad*, que verifica se todas as embalagens alocadas para uma rota realmente caberão no veículo.

A exigência da GMA de não se empilhar embalagens de diferentes fornecedores, além de prejudicar uma alta ocupação dos veículos, faz com que o volume reservado para cada fornecedor em um caminhão difira do volume real de suas embalagens.

As próximas duas figuras mostram duas rotas virtuais, ambas passando por oito fornecedores. Neste exemplo exagerado é fácil notar que, apesar de na rota da figura 3.2 os fornecedores terem um volume muito maior de embalagens do que os fornecedores da figura 3.1, o volume que deve ser reservado a eles é o mesmo.

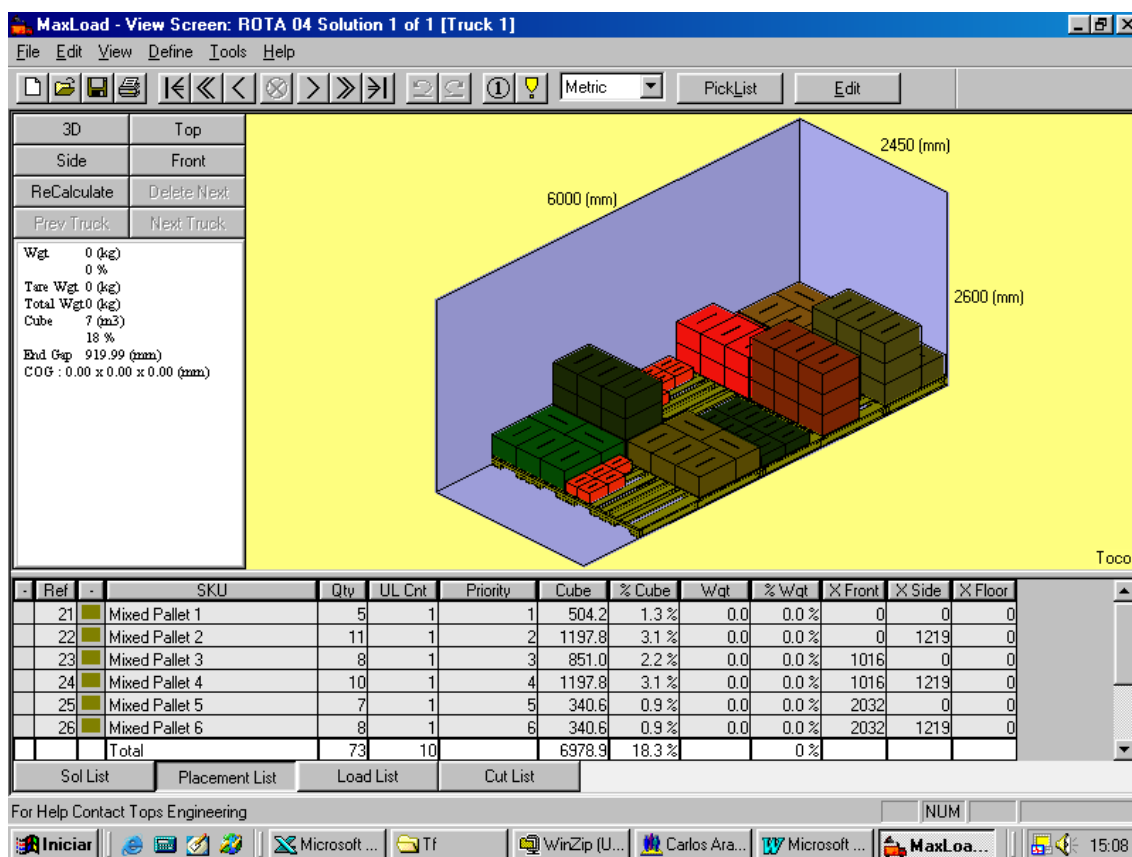


Figura 3.1 - Rota com 8 fornecedores de pouco volume

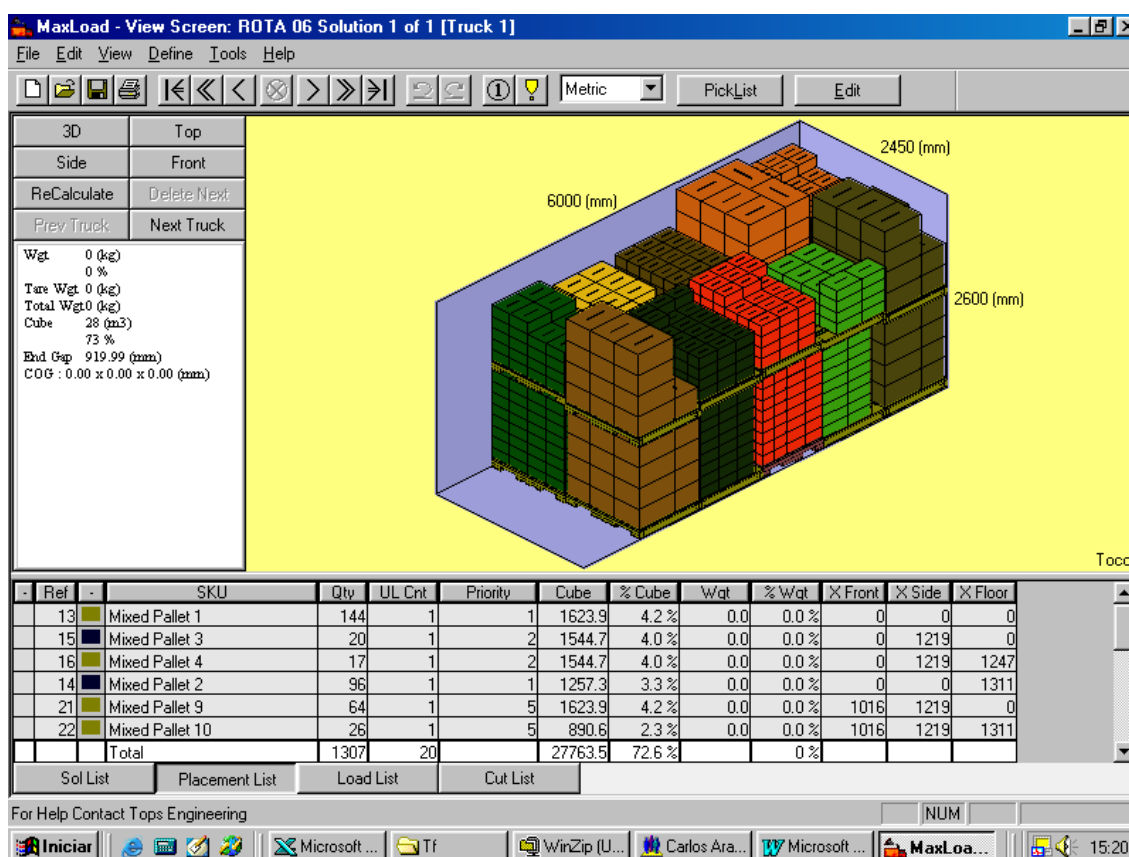


Figura 3.2 - Rota com 8 fornecedores de muito volume

Assim, no método atual de roteirização é estimado um coeficiente de ocupação volumétrica que divide a capacidade teórica dos veículos, com o intuito de evitar que as rotas geradas pelo *TruckStops* não sejam validadas pelo *MaxLoad*. Essa estimativa, no entanto, é muito difícil, pois, ao mesmo tempo em que se deva tentar minimizar a quantidade de estouros do plano de carga (estouros acontecem quando as embalagens alocadas para a rota não cabem no veículo), não se deve deixar os veículos com espaços vazios. Como na operação RGM existem cerca de 50 rotas, a tarefa de se achar um bom coeficiente se torna ainda mais complicada.

O procedimento atual determina que as rotas não validadas pelo *MaxLoad*, seja por excesso ou “falta” de embalagens, sejam modificadas manualmente no *TruckStops*. Essas idas e vindas, além de elevar o tempo da roteirização, impedindo um processo mais dinâmico que aumente a eficiência do sistema, prejudicam a solução encontrada pelo software roteirizador.

3.2.2 OBJETIVO

Visando diminuir o tempo de roteirização das coletas *milk run*, o que aumentaria a eficiência do sistema e reduziria seus custos, será proposta uma alteração no modo como ela é feita.

Ao invés de se considerar, como dados de entrada do *TruckStops*, o volume de cada caminhão e o volume a ser coletado em cada fornecedor, será levantada a possibilidade de se considerar a área do veículo e a área a ser ocupada por cada fornecedor.

As informações disponíveis sobre as embalagens, se bem trabalhadas, podem resultar na verdadeira superfície que cada fornecedor irá utilizar no veículo, diferentemente do que ocorre no método atual, em que o volume total de embalagens de um fornecedor difere do espaço reservado a ele no veículo.

É claro que a necessidade de se estimar uma área útil de ocupação para cada veículo não desaparecerá, já que havendo diferentes modelos de embalagens, “buracos” no piso do veículo continuarão existindo.

No entanto, essa estimação se dará sobre uma unidade de menor dimensão, a área, e com menos variabilidade (apenas a base das embalagens, sendo que a grande maioria estará paletizada) do que a estimação atual, que é feita sobre o volume. Esta última tem uma grande variabilidade, pois o volume de um fornecedor com um palete de meio metro de altura é muito diferente do volume de um fornecedor com dois paletes de 1,3 metros de altura cada um, (apesar do espaço reservado a eles no caminhão ser o mesmo)

3.2.3 ÍNDICES DE PERFORMANCE

Para avaliarmos a viabilidade de se mudar os dados de entrada para a roteirização, definiremos alguns indicadores de performance que serão utilizados para compararmos o método antigo com a nova proposta:

- Quantidade de Rotas Não Validadas pelo *MaxLoad*: Como o principal objetivo deste trabalho é diminuir o período de definição das rotas, esse é o principal

indicador, já que as rotas não validadas requerem um retrabalho, alocando-as a outros veículos ou rerroteirizando-as;

- **Custo Total das Rotas:** O custo da operação deverá diminuir consideravelmente, pois os a roteirização será feita baseada nas informações verdadeiras de entrega dos fornecedores (sinal delJIT), e não mais em um estudo baseado em 20 semanas de programação (sinal delFOR). Além disso, com menos alterações manuais nas rotas geradas pelo *TruckStops* (que acontecem se o *MaxLoad* não valida o plano de carga), a roteirização final será mais próxima à gerada pelo software;
- **Índice de Ocupação Veicular:** Além das rotas criadas pelo *TruckStops* serem validadas, é preciso que o volume disponível nos veículos seja bem utilizado. Se as rotas criadas tiverem uma baixa ocupação veicular, elas, apesar de certamente virem a ser validadas pelo *MaxLoad*, tornarão a operação ineficiente e custosa. Assim, esse novo método deverá gerar rotas com índices de ocupação volumétrica no mínimo iguais aos do método vigente.

3.2.3.1 BASE DE COMPARAÇÃO

Serão utilizadas as informações dos sinais delJIT e delFOR das semanas do dia 23/06/2003, 30/06/2003, 07/07/2003 e 14/07/2003 para se comparar os custos das rotas programadas pelo método antigo com as roteirizadas pelo método proposto neste estudo. As semanas citadas serão tratadas no estudo como “Semana 00”, “Semana 01”, “Semana 02” e “Semana 03”, pela ordem.

Assim, os custos das rotas vigentes nessa época mais os PTAs (transportes especiais) que porventura ocorreram e que seriam evitados em um sistema de roteirização dinâmica são os componentes dos custos do método antigo, enquanto que os custos relativos ao novo método são os custos das rotas geradas em cada semana.

Para se roteirizar por volume é utilizado como coeficiente de ocupação volumétrica 0,5, ou seja, o arquivo de entrada do *TruckStops* que contém os caminhões disponibilizados para a roteirização define a capacidade deles como sendo 50% da real.

Esse número foi definido porque resulta em uma boa ocupação real das rotas (cerca de 54%) e em uma porcentagem considerada não muito elevada de rotas que não são validadas pelo *MaxLoad* (cerca de 70% das rotas geradas pelo *TruckStops* são validadas). As outras 30% das rotas ou têm os veículos alterados ou são modificadas.

Colocando-se esse coeficiente para cima de 0,5, o ganho de ocupação volumétrica é muito baixo, enquanto que o aumento de rotas não validadas é muito alto. Abaixo desse valor, a redução no número das rotas não validadas não compensa a perda de ocupação volumétrica. O gráfico abaixo mostra o estudo feito pela empresa, no processo de concorrência para essa operação, na definição desse valor:

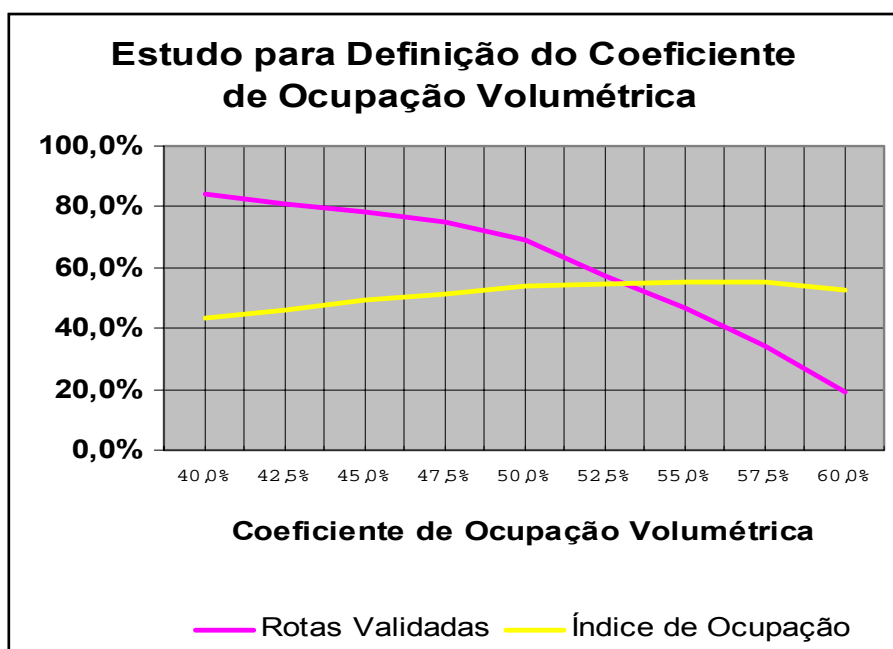


Figura 3.1 - Estudo para definição do coeficiente de ocupação volumétrica

Como o objetivo deste estudo é reduzir a zero (ou a quase zero) a quantidade de rotas programadas que tenham o plano de carga estourado, mantendo-se um bom índice de ocupação volumétrica, o coeficiente de ocupação volumétrica de 0,5 será mantido para comparação com a nova proposição, já que ele resulta em índices elevados de ocupação e em um número de rotas não validadas que o estudo se propõe a reduzir drasticamente.

3.2.4 PREMISSAS

Para a execução do trabalho serão definidas algumas premissas com o intuito de simplificar tanto sua execução como a comparação dos resultados, mas que manterão o estudo fiel à realidade:

- Como a roteirização é feita separadamente para cada domicílio e para cada diferente frequência, trabalharemos apenas com os fornecedores de frequência F1 do domicílio D01, que compreende a maior parte do volume coletado pelo sistema *milk run* no domicílio de maior volume, como mostra o gráfico abaixo:

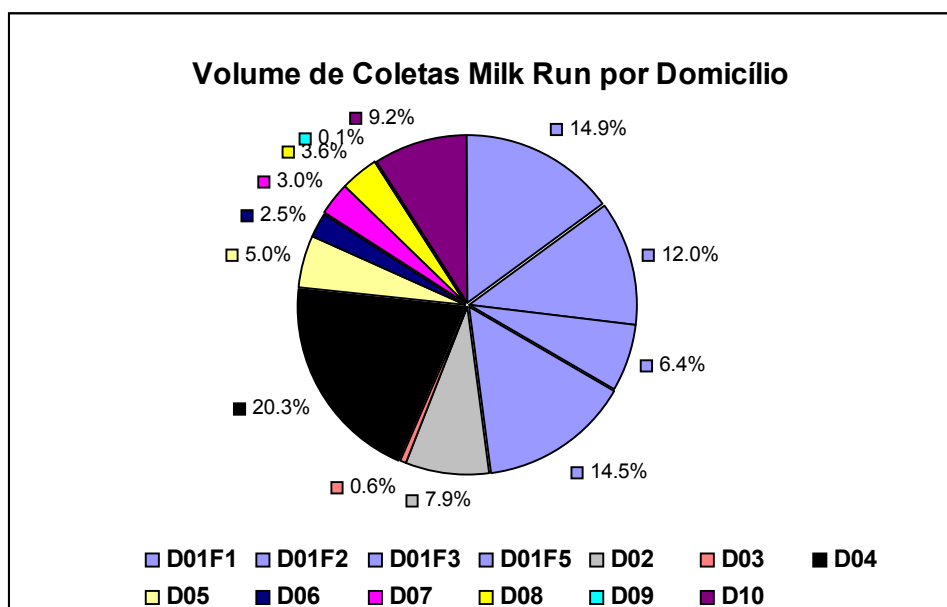


Figura 3.1 - Participação de cada domicílio no volume total de coleta *milk run*

- Os resultados obtidos para esse grupo de fornecedores podem ser extrapolados para os outros.
- As frequências dos fornecedores para o estudo serão as vigentes no final do mês de junho. Assim, trabalharemos apenas com os fornecedores do domicílio D01 que tinham frequência F1 naquele período.
- O índice de ocupação volumétrica informado no TruckStops é diferente do informado no MaxLoad devido ao último incluir as dimensões dos paletes que serão carregados, enquanto que o roteirizador considera apenas as dimensões

da embalagem. O índice utilizado como indicador de desempenho da operação é aquele do MaxLoad.

3.2.5 METODOLOGIA

3.2.5.1 A MACRO

Os dados para este estudo foram obtidos a partir do banco de dados da operação RGM, que contém os sinais delJIT, com as programações de coleta para as quatro semanas do estudo, e tabelas com características das embalagens a serem coletadas.

Esses dados foram trabalhados e deram origem a uma planilha em Excel onde foi construída uma macro que, a partir das características das embalagens e das restrições impostas pela General Motors, paletiza o que puder ser paletizado e empilha o que for permitido, retornando a área de cada fornecedor.

A construção dessa macro exigiu que se definisse uma altura única para os caminhões, para que fosse permitido o empilhamento das embalagens de um mesmo fornecedor até um nível que, ao ser ultrapassado, fizesse com que as outras embalagens desse fornecedor ocupassem uma nova área.

Foi tomada como altura padrão dos caminhões 2.600 mm, pois esse valor, como mostra a tabela abaixo, atende ao toco, ao 12T (caminhão tipo *truck*) e à carreta (onde sobrarão 100 mm), e só não é válido para o veículo do tipo 608, cuja altura é de 2.200 mm:

DIMENSÕES DOS VEÍCULOS				
Veículo	Comp (mm)	Larg (mm)	Alt (mm)	Volume (m3)
Carreta	13.350	2.450	2.700	88,31
12T	7.800	2.450	2.600	49,69
Toco	6.000	2.450	2.600	38,22
608	4.500	2.200	2.200	20,79

Tabela 3.1 – Dimensões dos Veículos

Assim, tomaremos como premissa deste estudo a não utilização dos veículos 608, o que, de alguma forma, poderá prejudicar o resultado da roteirização. Porém,

acreditamos que os benefícios que uma roteirização dinâmica poderá trazer compensarão a não utilização desse tipo de veículo.

Como a altura dos veículos será considerada de 2.600 mm, uma outra premissa a ser tomada é a definição da altura de um palete cheio como sendo de 1.300 mm, 1.150 mm para as embalagens e 150 mm para a base do paleta. Assim, poderão ser empilhados dois paletes cheios.

Para a macro calcular a área ocupada por cada fornecedor, foi necessário classificar as embalagens em três tipos: paletizáveis, empilháveis e não-empilháveis, que são tratadas por ela de modos diferentes:

- Paletizáveis

As embalagens paletizáveis são os KLTs (pequenas caixas plásticas padronizadas) e as caixas de papelão, e correspondem à maioria das embalagens coletadas (87% em quantidade e 37% em volume). Apesar de ambas serem paletizáveis, elas são tratadas separadamente, pois não devem ser misturadas no mesmo paleta.

Caso um estabelecimento forneça peças usando mais de um tipo de KLT ou de caixa de papelão, a macro trata primeiramente cada tipo em separado, visando a formação de *paletes cheios*. Para cada par de *paletes cheios* consolidados, uma área equivalente a um PBR (paleta padrão brasileiro, tem base de 1,20 por 1,00 metro) será alocada a esse fornecedor. Havendo número ímpar de *paletes cheios*, 1 *paleta cheio* será desconsiderado e tratado como parte das *unidades restantes*.

As *unidades restantes* são definidas como as embalagens que não conseguiram formar 1 par de *paletes cheios*, ou seja, são 1 *paleta cheio* que não formou par mais outras embalagens do mesmo tipo (KLTs e caixas de papelão são tratados separadamente) que não completaram um paleta. Essas *unidades restantes*, então, serão agrupadas e a área alocada para elas será definida da seguinte forma:

Se o volume das *unidades restantes* for menor que 5% do volume de 1 *paleta cheio*, a área ocupada por elas será a área de cada um dos tipos de embalagem somada, já que essas poucas unidades não serão paletizadas, mas poderão ser empilhadas.

Se o volume das *unidades restantes* for maior que 5% e menor que 180% do volume de 1 *palete cheio*, a área ocupada por elas será a área de 1 *PBR*, já que elas serão misturadas e paletizadas, e o volume total não exigirá mais de dois paletes. Foi escolhido o valor de 1,8 *palete cheio* como volume máximo para dois paletes com diferentes embalagens serem empilhados porque deve haver alguma perda volumétrica no arranjo físico desses paletes.

Se o volume das *unidades restantes* for maior que 180% do volume de um *palete cheio*, a área ocupada por elas será o equivalente a área de dois *PBRs*, a cada 180% de volume de um palete cheio.

- Empilháveis

As embalagens empilháveis são caixas plásticas, *racks*, *clip locks* e caixas de madeira. Só podem ser empilhadas se forem idênticas, ou seja, do mesmo tipo e dimensões. São empilhadas até a altura do caminhão, e, quando esta for ultrapassada, essas embalagens ocuparão uma nova área.

- Não-empilháveis

Algumas embalagens específicas, por serem frágeis, não podem ser empilhadas. Cada uma delas ocupa, isoladamente, um espaço igual a sua área.

Após ser executada, a macro retorna os valores áreas reservadas para cada fornecedor. Foram verificados todos os fornecedores em todas as quatro semanas que o estudo abrange, e em todos eles os resultados fornecidos pela macro estavam idênticos ao da área que eles realmente ocupariam nos veículos.

3.2.5.2 CUSTOS DOS VEÍCULOS

Os custos dos veículos das rotas da operação RGM são negociados em pacotes. Definidas novas rotas, o COT (Setor de Contratação de Transportes) informa os caminhões que necessita e seus horários às empresas transportadoras, que apresentam seus preços.

Com eles, o COT estabelece preços máximos que pagará por cada rota, e volta a negociar com as transportadoras e fecha contrato com aquelas que ofereceram o melhor preço dentro dos padrões de qualidade estabelecidos pela Ryder. Não há, nesta negociação, um preço por quilômetro ou pela utilização do caminhão, o que diferencia essa formação de preços dos dados de entrada do *TruckStops*, onde deve-se imputar um custo fixo e um variável por tipo de veículo.

As transportadoras, essas sim, calculam o preço da utilização dos veículos a partir de seu custo fixo e de um variável, mais uma margem. No entanto, elas analisam a utilização dos veículos no mês inteiro, e não apenas para uma viagem ou rota. Assim, há rotas semelhantes tendo a mesma distância e tipo de veículo, mas com preços diferentes.

Logo, a definição dos custos dos veículos, que serão dados de entrada para a programação das rotas no *TruckStops*, não poderá seguir o custo das rotas existentes, mas sim aquele custo que as transportadoras utilizam como referência, que é o fornecido pelo DECOPE/NTC (Departamento de Custos Operacionais e Pesquisas Econômicas da Associação Nacional de Transporte de Cargas) e está em anexo (ANEXO A). Esses valores, apesar de serem mais altos do que os que serão cobrados pelas transportadoras, mantêm proporcionalidade entre os custos todos os tipos de veículo.

A planilha do DECOPE/NTC, que contém diversos modelos de veículos, divide seus custos em fixos mensais e variáveis por quilometro. Os custos fixos foram divididos por 20 (número de dias úteis), obtendo-se assim seus custos fixos diários.

Os veículos foram agrupados pelo tipo, e então foi feita uma média de seus custos fixos diários e de seus custos variáveis, resultando na tabela 3.2 da próxima página, com os custos por tipo de veículo, e cujas informações serão utilizadas no arquivo de entrada de caminhões do *TruckStops* em todas as roteirizações:

CUSTOS FIXOS (R\$) E VARIÁVEIS (R\$/km)		
VEÍCULO	CF	CV
Toco	251,47	0,55
12T	276,13	0,64
Carreta	522,24	1,01
608	204,23	0,38
Kombi	171,52	0,39

Tabela 3.2 – Custos dos Veículos

3.2.5.3 ROTEIRIZAÇÃO POR VOLUME

A tabela 3.3 da página seguinte mostra os resultados da roteirização por volume, em que foi utilizado o coeficiente de ocupação volumétrica de 0,5, ou seja, considerou-se a capacidade útil do caminhão como sendo 50% da real.

A segunda coluna da tabela mostra o índice de ocupação das rotas pelo *TruckStops*, que, é calculado tomando como base o coeficiente 0,5, e sem considerar o volume da madeira dos paletes. Por exemplo, uma rota que o *TruckStops* aponte 90% de ocupação terá, somente com as embalagens, 45% de ocupação real ($0,9 \times 0,5 = 0,45$).

A terceira coluna, por sua vez, aponta a ocupação real do veículo já com a adição do volume dos paletes pelo *MaxLoad*. Caso o plano de carga indique que houve um estouro de carga, um traço está inscrito na célula.

ROTEIRIZAÇÃO POR VOLUME - COEFICIENTE 0,5			
SEMANA 00	Veículo	Ocupação TruckStops	Ocupação Final
	Toco	56,1%	39,0%
	Toco	63,1%	43,0%
	12T	93,8%	56,0%
	12T	96,7%	-
	12T	87,4%	53,0%
	Toco	85,3%	-
	608	13,2%	12,0%
	608	93,2%	57,0%
	608	94,4%	-
SEMANA 01	12T	94,1%	-
	Toco	94,4%	-
	12T	99,2%	60,0%
	12T	84,7%	53,0%
	12T	99,5%	58,0%
	12T	93,6%	-
	12T	99,7%	60,0%
	12T	73,8%	48,0%
	12T	85,1%	53,0%
SEMANA 02	608	40,3%	-
	Toco	73,1%	47,0%
	Toco	64,7%	-
	608	87,4%	-
	608	93,4%	-
	608	62,6%	43,0%
SEMANA 03	608	88,1%	-
	Toco	73,0%	45,0%
	12T	90,5%	54,0%
	608	70,7%	-
	608	87,6%	-
	Toco	78,2%	-
	Toco	79,6%	50,0%
	Kombi	75,5%	-

Tabela 3.3 - Roteirização por volume - coeficiente 0,5

No processo atual, tenta-se encaixar as rotas que não são validadas pelo *MaxLoad* em veículos maiores, primeiramente nos veículos especiais do mesmo tipo e, caso essas tentativas falhem, em outros tipos de caminhões.

Os veículos especiais são aqueles com dimensões semelhantes aos do seu padrão, mas que têm alguma medida alterada. São normalmente fabricados por encomenda para transportadoras específicas, o que deixa seus preços acima da média do mercado para os veículos padrões.

A tabela 3.4 lista alguns exemplos de veículos especiais e destaca, em vermelho, a diferença com relação aos modelos básicos:

DIMENSÕES DOS VEÍCULOS ESPECIAIS				
Veículo	Comp (mm)	Larg (mm)	Alt (mm)	Volume (m3)
Carreta Padrão	13.350	2.450	2.700	88,31
Carreta HC	14.780	2.450	2.700	97,77
12T Padrão	7.800	2.450	2.600	49,69
12T Especial	7.800	2.450	2.900	55,42
12T F	8.750	2.450	2.600	55,74
12T S	8.750	2.510	2.600	57,10
Toco Padrão	6.000	2.450	2.600	38,22
Toco Especial	6.000	2.450	2.900	42,63

Tabela 3.4 – Dimensões dos veículos especiais

A tabela 3.3 mostrou que a roteirização, considerando-se em 50% a taxa de capacidade útil volumétrica dos veículos, provocou estouros de carga no *MaxLoad* para algumas rotas.

A tabela 3.5, da página seguinte, mostra a situação das rotas cujos planos de carga não foram validados pelo *MaxLoad* e que foram objeto de tentativas de alocá-las em veículos de maior capacidade, primeiramente os especiais de mesmo tipo, e, posteriormente, os de tipos superiores:

ROTAS COM PLANOS DE CARGA ESTOURADOS			
	Veículo Original	Ocupação TruckStops	Novo Veículo
SEMANA 00	12T	96,7%	12T F
	Toco	85,3%	12T
	608	94,4%	12T
SEMANA 01	12T	94,1%	12T F
	Toco	94,4%	12T
	12T	93,6%	Alterar Rota
SEMANA 02	608	40,3%	Toco
	Toco	64,7%	12T
	608	87,4%	Toco
	608	93,4%	12T
SEMANA 03	608	88,1%	Toco
	608	70,7%	Toco
	608	87,6%	Toco
	Toco	78,2%	12T
	Kombi	75,5%	Toco

Tabela 3.5 – Novos veículos das rotas não validadas inicialmente

Finalmente, a tabela 3.6 dá o quadro geral das rotas programadas a partir do coeficiente de ocupação volumétrica de 0,5:

ROTEIRIZAÇÃO FINAL POR VOLUME - COEFICIENTE 0,5			
SEMANA 00	Veículo	Ocupação TruckStops	Ocupação Final
	Toco	56,1%	39,0%
	Toco	63,1%	43,0%
	12T	93,8%	56,0%
	12T F		52,0%
	12T	87,4%	53,0%
	12T		40,0%
	608	13,2%	12,0%
	608	93,2%	57,0%
	12T		34,0%
SEMANA 01	12T F		50,0%
	21T		44,0%
	12T	99,2%	60,0%
	12T	84,7%	53,0%
	12T	99,5%	58,0%
	12T		Alterar Rota
	12T	99,7%	60,0%
	12T	73,8%	48,0%
	12T	85,1%	53,0%
SEMANA 02	Toco		24,0%
	Toco	73,1%	47,0%
	12T		30,0%
	Toco		40,0%
	12T		34,0%
	608	62,6%	43,0%
SEMANA 03	Toco		34,0%
	Toco	73,0%	45,0%
	12T	90,5%	54,0%
	Toco		33,0%
	Toco		41,0%
	12T		35,0%
	Toco	79,6%	50,0%
	Toco		19,0%

Tabela 3.6 – Quadro geral das rotas por volume – coeficiente 0,5

As rotas que não têm valores nos campos que indicam suas ocupações no *TruckStops* são aquelas que tiveram seus veículos alterados.

A rotas cujas embalagens não couberam em nenhum tipo de caminhão disponível (nem nos especiais e nem em outros tipos), teriam que ser refeitas no *TruckStops*, dividindo-a em duas novas rotas ou fundindo-a com outras já existentes. Isto, além de incorrer em um tempo considerável, prejudica a resultado dado pelo software.

Abaixo, na tabela 3.7 estão os custos das rotas feitas pelo software. Nela, os preços dos veículos especiais estão considerados como sendo os mesmos dos padrões, o que normalmente não acontece. Ainda, o estudo considerará que não houve necessidade de se alterar a rota da semana 01 cujo plano de carga estava estourado e que não pôde ter nenhum outro caminhão designado a ela. Assim, os custos reais são maiores do que os apresentados na tabela 3.7:

CUSTOS - VOLUME COEFICIENTE 0,5		
Semana 00	R\$	2.870,60
Semana 01	R\$	3.047,20
Semana 02	R\$	1.896,30
Semana 03	R\$	2.597,90
TOTAL	R\$	10.412,00

Tabela 3.7 – Custos de transporte das rotas por volume

3.2.5.4CUSTO DOS PTAs

Cada vez que é preciso executar um transporte especial, ou PTA, o setor de cotações da operação *milk run* compara os preços de diferentes transportadoras e escolhe aquela de menor custo.

Logo, para cada PTA há um custo diferente, mas, para o domicílio D01, eles ficam a R\$ 200,00 em média, valor que será considerado para os gastos com esses transportes no período de estudo.

Há diferentes motivos para a ocorrência de um PTA, cada um com um único responsável. A tabela abaixo lista os motivos, a entidade responsável pelo seu pagamento e a quantidade ocorrida no período estudado para os fornecedores de frequência F1 no domicílio D01:

PTAs D01 F1 23/06/2003 a 21/07/2003		
CLASSIFICAÇÃO PTA	RESPONSÁVEL	QUANTIDADE
AF - Atraso Fornecedor	Fornecedor	11
PA - Postergação/Anecipação	GMA	3
ET - Entrega/Dev. Emb	GMA	1
RE - Reprograma	GMA	10
PE - Programação Errada	GMA	0
AJ - Ajuste de Estoque	GMA	3
NR - Fornecedor não Roteirizado	GMA	0
FO - Falha Operacional	Ryder	0

Tabela 3.8 – PTAs no período em estudo, D01 – F1

Serão considerados como custos associados à roteirização fixa apenas os transporte emergenciais ocorridos devido a postergação ou antecipações (PA), reprogramações (RE), ajuste de estoque (AJ) e fornecedor não roteirizado (NR), que são os PTAs que não devem ocorrer se uma roteirização dinâmica for adotada na operação, e que totalizaram 17 no período estudado.

O custo total dos PTAs debitados contra a General Motors da Argentina, no período em estudo, foi de cerca de R\$ 3.100,00, o que dá uma média de R\$ 182,35 por PTA.

3.2.5.5 CÁLCULO DA ÁREA ÚTIL DOS VEÍCULOS

Definidas, pela macro, as áreas que cada fornecedor irá ocupar nos veículos, temos um grupo de informações requeridas pelo roteirizador *TruckStops* para a programação das rotas.

Nesta seção será definido um parâmetro do outro arquivo de entrada do roteirizador, aquele que compreende as características dos veículos. Sabendo-se que

sempre haverá espaços vazios no chão dos caminhões, devido aos diferentes formatos de embalagens, estimaremos o coeficiente de ocupação superficial dos veículos.

Para isto, será utilizado o software *MaxLoad* que, por sua boa interface gráfica, permite o acesso a uma vista de topo dos planos de carga. Foram escolhidas dez rotas com alto índice de ocupação volumétrica (acima de 95%), que tiveram seus planos de carga impressos e sua superfície ocupada calculada. A figura 3.5 mostra a vista de topo do plano de carga de uma rota:

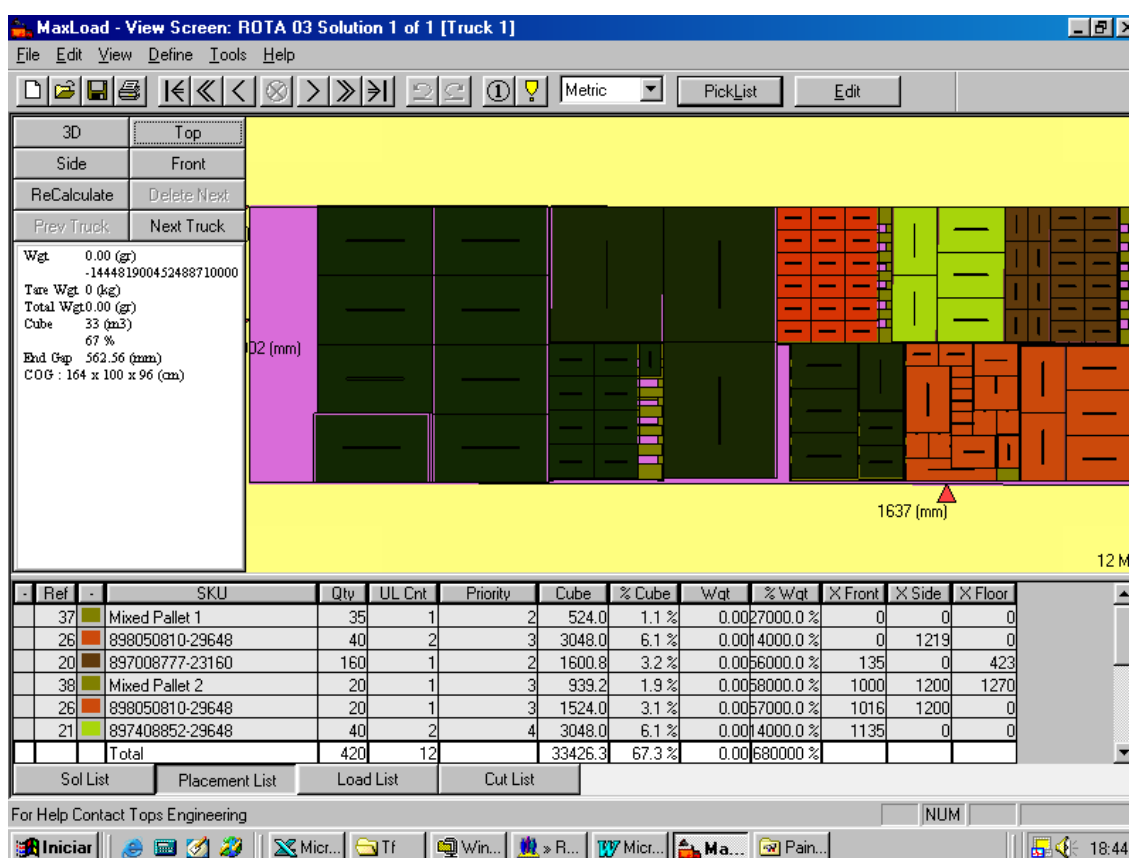


Figura 3.1 – Vista de topo permitida pelo *MaxLoad*

A tabela 3.9 apresenta os índices de ocupação superficial das 10 rotas analisadas:

ÍNDICE DE OCUPAÇÃO SUPERFICIAL	
ROTA	ÍNDICE
A	95%
B	94%
C	90%
D	95%
E	92%
F	92%
G	86%
H	89%
I	89%
J	91%

Tabela 3.9 – Rotas analisadas para definição do coeficiente de ocupação superficial

Como o principal objetivo desta proposição de mudança do método de roteirização é diminuir o tempo em que ela é feita, tomaremos de início um número conservador para ser utilizado como área disponível do caminhão: 88% de sua área real.

Executado o *TruckStops* com parâmetros de entrada em metros quadrados, e não em metros cúbicos, como feito atualmente, foram geradas 9 rotas, 7 com veículos 12T e 2 com tocos.

Como a meta deste item é definirmos uma taxa útil de ocupação superficial para os caminhões que resulte em bons planos de carga (sem estouros e com pouco espaço ocioso), neste momento não serão analisados custos, serão apenas verificados os planos de carga no *MaxLoad*.

Analisadas no *MaxLoad* uma a uma as nove rotas geradas pelo roteirizador, em nenhuma delas houve estouro do plano de carga, mas percebeu-se que em todas elas poder-se-ia alocar pelo menos uma área equivalente a meio palete padrão PBR, que tem 1,2 metros quadrados.

Assim, foram adicionados 0,6 metros à área útil de 16,82 metros quadrados do caminhão 12T, o que resultou em uma área útil de 17,42, ou 91% da superfície real. O mesmo foi feito para o caminhão toco, que, por ter uma área menor, o aumento de 0,6 m² resultou em uma superfície útil de 92%.

Por conservadorismo, optou-se pelo menor valor, ou seja, 91% da superfície real, e, efetuada uma nova roteirização-teste, constatou-se que todos os planos de carga foram validados pelo *MaxLoad*, com muito pouco espaço ocioso.

Caso nas futuras roteirizações que serão feitas neste trabalho se perceba que esse número deva ser alterado, novas análises serão feitas, mas, no momento, o coeficiente de ocupação superficial será 0,91.

3.2.5.6 RESULTADOS COMPUTACIONAIS

Definido 0,91 como coeficiente de ocupação superficial, foram feitas as programações das rotas para as quatro semanas que o estudo abrange.

A tabela 3.10, da próxima página, mostra, para cada semana, as rotas programadas, seus índices de ocupação superficial (sobre os 91% definidos como capacidade útil do veículo) e de ocupação real volumétrica:

ROTEIRIZAÇÃO INICIAL POR SUPERFÍCIE - COEF 0,91			
SEMANA 00	Veículo	Ocupação TruckStops	Ocupação Final
	Toco	79,7%	45,0%
	12T	93,5%	50,0%
	12T	98,3%	50,0%
	12T	97,7%	56,0%
	12T	94,2%	61,0%
	12T	90,5%	43,0%
	Toco	54,7%	24,0%
	TOco	63,2%	20,0%
	Toco	86,6%	32,0%
	Toco	79,7%	45,0%
SEMANA 01	12T	88,5%	52,0%
	12T	92,1%	60,0%
	12T	98,3%	61,0%
	12T	98,7%	59,0%
	12T	94,2%	72,0%
	12T	94,0%	43,0%
	12T	97,3%	63,0%
	Toco	99,6%	66,0%
	Toco	54,7%	24,0%
	Toco	91,5%	45,0%
SEMANA 02	Toco	67,1%	45,0%
	Toco	88,3%	45,0%
	12T	85,3%	36,0%
	Toco	87,5%	30,0%
	Toco	93,0%	41,0%
	Toco	30,9%	21,0%
	Toco	37,2%	27,0%
SEMANA 03	Toco	82,0%	30,0%
	12T	98,7%	65,0%
	Toco	84,6%	35,0%
	12T	79,4%	34,0%
	Toco	99,3%	44,0%
	12T	80,0%	47,0%
	Toco	72,6%	37,0%
	Toco	68,3%	23,0%

Tabela 3.10 – Roteirização inicial por superfície – coeficiente 0,91

Nota-se que todas as rotas tiveram seus planos de carga validados pelo *MaxLoad*, e melhor ainda, a superfície disponível dos veículos que tiveram índices de ocupação próximos de 100% (tomando como base 91% da área disponível) foram quase que completamente preenchidas. Em nenhuma dessas rotas sequer haveria espaço para carregamento de mais um palete nos assoalhos dos veículos.

Como só foram utilizados na roteirização os veículos do tipo toco e 12T, não havendo a possibilidade de se alocar rotas a veículos de menor capacidade, algumas rotas criadas tiveram taxas de ocupação muito baixas. Tais rotas normalmente seriam servidas por veículos do tipo 608 ou mesmo por kombis, mas tiveram designados caminhões toco, o menor disponível.

Para se diminuir essa ineficiência, para essas rotas de baixo índice de ocupação, simulou-se, no *MaxLoad*, seus planos de carga em caminhões 608, e, caso eles não estourassem, estes eram designados para essas rotas.

Foi estabelecido como sendo de 67% a ocupação abaixo da qual se tentaria mudar a rota de um veículo toco para um 608. Esse valor é a divisão da área disponível em um veículo do tipo 608 (9,9) pela do tipo toco (14,7), e abaixo dele, teoricamente as cargas do toco poderiam ser alocadas em um 608.

No entanto, por dois fatores, essa tentativa de alteração nem sempre se mostrará viável. O primeiro é a menor altura de um 608, 2,1 metros, contra 2,6 de um toco. O segundo é a menor largura de um 608 (2,2 metros), o que não permite que dois paletes sejam colocados lado a lado na mesma direção (o palete padrão PBR tem base de 1,2 por 1,0 metro), o que gera perda de espaço.

O quadro final das rotas programadas considerando-se 0,91 como o coeficiente de ocupação superficial, após essas tentativas de mudança, ficou assim:

ROTEIRIZAÇÃO FINAL POR SUPERFÍCIE - COEF 0,91			
	Veículo	Ocupação TruckStops	Ocupação Final
SEMANA 00	Toco	79,7%	45,0%
	12T	93,5%	50,0%
	12T	98,3%	50,0%
	12T	97,7%	56,0%
	12T	94,2%	61,0%
	12T	90,5%	43,0%
	608		35,0%
	608		30,0%
	Toco	86,6%	32,0%
	Toco	79,7%	45,0%
SEMANA 01	12T	88,5%	52,0%
	12T	92,1%	60,0%
	12T	98,3%	61,0%
	12T	98,7%	59,0%
	12T	94,2%	72,0%
	12T	94,0%	43,0%
	12T	97,3%	63,0%
	Toco	99,6%	66,0%
	608		35,0%
	Toco	91,5%	45,0%
SEMANA 02	608		28,0%
	Toco	88,3%	45,0%
	12T	85,3%	36,0%
	Toco	87,5%	30,0%
	Toco	93,0%	41,0%
	608		20,0%
	608		41,0%
SEMANA 03	Toco	82,0%	30,0%
	12T	98,7%	65,0%
	Toco	84,6%	35,0%
	12T	79,4%	34,0%
	Toco	99,3%	44,0%
	12T	80,0%	47,0%
	Toco	72,6%	37,0%
	Toco	68,3%	23,0%

Tabela 3.11 – Quadro geral das rotas por superfície – coeficiente 0,91

O fato de todas as rotas designadas para veículos toco com menos de 67% de ocupação volumétrica terem cabido em veículos 608 não quer dizer, de forma alguma, que isto acontecerá invariavelmente. Sempre será preciso conferir o plano de carga no *MaxLoad* antes de se efetuar a alteração.

Os custos das rotas das quatro semanas programadas estão na tabela abaixo:

CUSTOS - SUPERFÍCIE COEFICIENTE 0,91		
Semana 00	R\$	2.754,67
Semana 01	R\$	3.151,40
Semana 02	R\$	1.922,52
Semana 03	R\$	2.463,70
TOTAL	R\$	10.292,29

Tabela 3.12 – Custos da roteirização por superfície

3.2.5.7 CUSTO DAS ROTAS ATUAIS

Apesar dos custos das rotas atuais não seguirem à risca os valores da tabela dp DECOPE/NTC, para se manter a coerência do trabalho, esses custos foram calculados de acordo com os valores daquela tabela, e são apresentados abaixo:

CUSTOS - ROTAS VIGENTES		
Semana 00	R\$	4.236,11
Semana 01	R\$	4.236,11
Semana 02	R\$	4.236,11
Semana 03	R\$	4.236,11
TOTAL	R\$	16.944,42

Tabela 3.13 - Custos das rotas vigentes

3.2.6 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

A principal vantagem que a roteirização por área traz já está demonstrada na tabela 3.10. Nenhuma das rotas criadas pelo *TruckStops* no método por superfície

deixou de ser validada no *MaxLoad*, o que é o maior benefício que esse método pode trazer, ou seja, a possibilidade de se programar as rotas em menos tempo, permitindo uma roteirização mais dinâmica.

Além desse benefício, serão analisados os resultados sob outras duas perspectivas: índice de ocupação volumétrico e custos das rotas. A primeira será feita comparando-se o desempenho da roteirização por área e da roteirização por volume. A segunda, comparando-se os custos das rotas resultantes de uma roteirização dinâmica, só possível em se utilizando dados de superfície, e os custos das rotas fixas.

3.2.6.1 ÍNDICE DE OCUPAÇÃO VOLUMÉTRICO

Com o objetivo de se comparar os índices de ocupação volumétrica com maior profundidade, dividiu-se as rotas finais por tipo de veículo. As tabelas 3.14 e 3.15, das próximas duas páginas, apresentam as rotas classificadas desse modo roteirizadas a partir do coeficiente volumétrico de 0,5 e do superficial de 0,91 respectivamente:

ROTAS CLASSIFICADAS POR VEÍCULO - VOLUME		
Veículo	Ocupação TruckStops	Ocupação Final
Toco	56,1%	39,0%
Toco	63,1%	43,0%
Toco		24,0%
Toco	73,1%	47,0%
Toco		40,0%
Toco		34,0%
Toco	73,0%	45,0%
Toco		33,0%
Toco		41,0%
Toco	79,6%	50,0%
Toco		19,0%
12T	93,8%	56,0%
12T F		52,0%
12T	87,4%	53,0%
12T		39,4%
12T F		50,0%
12T		44,0%
12T	99,2%	60,0%
12T	84,7%	53,0%
12T	99,5%	58,0%
12T		Alterar Rota
12T	99,7%	60,0%
12T	73,8%	48,0%
12T	85,1%	53,0%
12T		30,0%
12T		34,0%
12T	90,5%	54,0%
12T		35,0%
608	13,2%	12,0%
608	93,2%	57,0%
608	62,6%	43,0%

Tabela 3.1 – Rotas classificadas por veículo geradas pelo método do volume

ROTAS CLASSIFICADAS POR VEÍCULO - SUPERFÍCIE		
Veículo	Ocupação TruckStops	Ocupação Final
Toco	79,7%	45,0%
Toco	86,6%	32,0%
Toco	79,7%	45,0%
Toco	99,6%	66,0%
Toco	91,5%	45,0%
Toco	88,3%	45,0%
Toco	87,5%	30,0%
Toco	93,0%	41,0%
Toco	82,0%	30,0%
Toco	84,6%	35,0%
Toco	99,3%	44,0%
Toco	72,6%	37,0%
Toco	68,3%	23,0%
12T	93,5%	50,0%
12T	98,3%	50,0%
12T	97,7%	56,0%
12T	94,2%	61,0%
12T	90,5%	43,0%
12T	88,5%	52,0%
12T	92,1%	60,0%
12T	98,3%	61,0%
12T	98,7%	59,0%
12T	94,2%	72,0%
12T	94,0%	43,0%
12T	97,3%	63,0%
12T	85,3%	36,0%
12T	98,7%	65,0%
12T	79,4%	34,0%
12T	80,0%	47,0%
608		35,0%
608		30,0%
608		35,0%
608		28,0%
608		20,0%
608		41,0%

Tabela 3.2 – Rotas classificadas por veículo geradas pelo método da superfície

Para se obter um índice real de ocupação do volume por cada tipo de caminhão mais apurado, deve-se desconsiderar as rotas cujas ocupações no roteirizador tenham sido menor do que 90%. Isto porquê, nesses casos, o espaço ocioso do caminhão não ocorre devido a um limite físico do veículo, mas sim pelo fato de não haver fornecedores com horários de janela que pudessem ser atendidos pelo caminhão. Assim, as rotas examinadas serão somente aquelas em que a pequena área disponível restante no veículo não permitiu a alocação de outros fornecedores.

Foram considerados, para essa análise, como veículos 12T todos desse tipo, mesmo os especiais.

A tabela abaixo mostra a média de ocupação volumétrica real por tipo de veículo para as duas roteirizações, e para os dados filtrados e não-filtrados (média geral):

ÍNDICES DE OCUPAÇÃO POR VEÍCULO				
	ROTAS VOL 0,5		ROTAS SUP 0,91	
Veículo	Média Geral	Filtrados	Média Geral	Filtrados
12 T	48,7%	57,6%	53,3%	56,9%
Toco	37,7%	-	45,0%	49,0%
608	37,3%	57,0%	31,5%	-

Tabela 3.3 – Comparação dos índices de ocupação dos veículos gerados por cada método

Os resultados obtidos para os caminhões 12T mostram que, mesmo em se comparando apenas as rotas aprovadas pelo *MaxLoad* na roteirização por volume, a abordagem por superfície apresenta índices praticamente iguais, o que prova que ela não deixa nada a desejar em termos de ocupação real.

O fato da média geral de ocupação dos veículos 12T ter sido menor nas rotas geradas por volume ocorre porque, as rotas que haviam sido planejadas para veículos 12T e que não foram validadas pelo *MaxLoad* tiveram veículos especiais a elas designados, e estes, por terem uma capacidade volumétrica maior, para um mesmo volume de embalagens, provocam um índice de ocupação volumétrica menor.

No caso dos caminhões toco, nenhuma das rotas geradas por volume com mais de 90% de ocupação no *TruckStops* foi validada no *MaxLoad*, enquanto que na roteirização por superfície, 3 foram, com média de 49% de ocupação.

Se considerarmos todas as rotas que foram programadas para correrem com caminhões toco, o método da roteirização por superfície ainda se mostra superior (45,0% a 37,7% de ocupação real volumétrica).

Os únicos veículos que tiveram um melhor aproveitamento nas rotas geradas por volume são os do tipo 608, pois, como eles não foram utilizados na roteirização por superfície devido a sua restrição de altura, somente teve rota alocada quando havia tocos mal-ocupados, e nunca automaticamente pelo *TruckStops*.

3.2.6.2 COMPARAÇÃO DE CUSTOS

A tabela abaixo resume os custos da roteirização dinâmica por volume semanal (caso fosse possível) e por área e os custos das rotas realmente realizadas nas semanas do estudo;

CUSTOS DAS ROTAS POR TIPO DE ROTEIRIZAÇÃO			
SEMANA	Volume Coef 0,5	Superfície Coef 0,91	Rotas Vigentes
Semana 00	R\$ 2.870,60	R\$ 2.754,67	R\$ 4.236,11
Semana 01	R\$ 3.047,20	R\$ 3.151,40	R\$ 4.236,11
Semana 02	R\$ 1.896,30	R\$ 1.922,52	R\$ 4.236,11
Semana 03	R\$ 2.597,90	R\$ 2.463,70	R\$ 4.236,11
TOTAL	R\$ 10.412,00	R\$ 10.292,29	R\$ 16.944,42

Tabela 3.4 – Comparação entre os custos das rotas geradas por cada método

Os custos foram praticamente iguais para as duas formas de roteirização dinâmica, e bem mais alto para os custos das rotas fixas. Isto indica que poder-se-ia economizar cerca de 40% em custos em se fazendo uma roteirização mais constante.

Deve-se ressaltar que os custos das rotas feitas por volume são maiores que os valores da tabela acima, já que são utilizados vários veículos especiais cujos custos são maiores do que os veículos padrões.

O menor custo total das rotas geradas pela roteirização por superfície mostra que, mesmo se excluindo as kombis e os veículos 608 dos dados de entrada do

TruckStops, o custo final é menor do que o da roteirização por volume, onde esses dois tipos de veículos estão incluídos.

Se adicionarmos aos custos das rotas vigentes os custos dos PTAs que não seriam causados em uma situação de roteirização dinâmica, o custo total da operação de transporte *milk run* pula para R\$ 20.044,42, quase o dobro de uma roteirização dinâmica.

3.2.6.3 CONCLUSÃO

Os resultados mostram que a roteirização por área deve ser utilizada na operação *milk run* que a Ryder presta para a General Motors da Argentina. Ainda, para outras operações que tenham características semelhantes sua implementação também deve ser estudada.

Além de se abrir a possibilidade de se roteirizar dinamicamente, com a aprovação pelo *MaxLoad* de 100% das rotas geradas pelo *TruckStops*, o índice de ocupação real dos veículos é semelhante ao das rotas feitas por volume aprovadas pelo *MaxLoad*.

Por último, como prova da eficiência do método proposto, os custos da roteirização por superfície não foram maiores do que os da roteirização por volume, apesar de se excluir do software roteirizador a possibilidade dele trabalhar com veículos 608 e Kombi.

3.3 ROTEIRIZAÇÃO POR DIA

3.3.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O método de roteirização atual prevê que antes de as rotas serem programadas no *TruckStops*, os dados de coleta dos fornecedores são tratados e são obtidos seus volumes semanais planejados para coleta.

A partir desses números são definidas as frequências de coleta para cada fornecedor, que são então agrupados de acordo com elas. A roteirização é feita separadamente para cada grupo, o que resulta em rotas fixas para cada fornecedor em

todos os dias de coleta, ou seja, para um fornecedor de frequência 3, o veículo que irá visitá-lo será sempre o mesmo, na mesma hora e com os mesmos fornecedores anteriores e posteriores. É a mesma rota para os três dias.

Um outro modo de se fazer a programação das rotas seria de, ao invés de agrupar os fornecedores por frequência, agrupá-los por dia de coleta. Aí teríamos, por exemplo, em uma segunda-feira, fornecedores com diferentes frequências de coleta, no caso, todos de frequência 5 (que coletam todos os dias da semana) e 3 (coletam sempre às segundas, quartas e sextas) e alguns de frequência 2 (os que coletam às segundas e quartas) e 1 (os que coletam somente na segunda-feira), o que geraria rotas diferentes para cada fornecedor nos diferentes dias de coleta.

Esse tipo de roteirização, definido como “por dia da semana”, deve trazer melhores resultados nos custos de transporte, pois o roteirizador tem mais opções para fazer as rotas. No entanto, dois problemas que devem ser tratados:

1. O horário de coleta não será o mesmo para os fornecedores nos diferentes dias da semana, já que ele será atendido por rotas diferentes, exigindo uma maior flexibilização.

2. A manutenção das rotas, que ocorre quando há mudança de fornecedores ou de seus volumes, torna-se mais complicada, já que será necessário mexer em mais de uma rota quando o fornecedor a ser alterado tiver frequência maior do que 1. E, quando se mexe com um fornecedor em uma rota, normalmente todos os outros são atingidos, o que torna ainda mais difícil a implantação de uma roteirização por dia da semana.

3.3.2 OBJETIVO

Esta etapa do trabalho tem como objetivo analisar os benefícios financeiros gerados e as adaptações que uma roteirização por dia da semana requereria.

3.3.3 PREMISSAS

Com o sucesso obtido na proposição de uma roteirização por área, em que 100% das rotas geradas foram validadas pelo *MaxLoad*, esse método será utilizado para fazer os dois tipos de roteirização a serem comparados. Isso porque sua adoção, além de agilizar o estudo com a eliminação das idas-e-vindas *TruckStops-MaxLoad*, possibilita uma comparação mais justa, onde serão analisados apenas os dados vindos do *TruckStops*, sem nenhuma intervenção humana nas rotas geradas.

Por ser o domicílio de maior volume coletado, o domicílio 01, que compreende a Grande São Paulo, será o utilizado neste estudo, e como no caso anterior, os resultados obtidos aqui poderão ser extrapolados para as outras regiões.

3.3.4 METODOLOGIA

Os dados do sinal delJIT da Semana 00, que corresponde à programação de coleta para a semana do dia 30/06/2003, serão os utilizados para as roteirizações e as frequências de coleta para cada fornecedor foram as mesmas vigentes nas rotas do final de junho.

Para cada fornecedor, as coletas programadas para a semana foram divididas pela sua frequência, resultando na quantidade de embalagens a serem coletadas por viagem. A partir desses dados, foi executada a macro que resultou na área a ser destinada nos veículos para cada fornecedor em cada visita.

Como a General Motors da Argentina exige um balanceamento nas entregas, os fornecedores de frequência 1 foram divididos igualmente em 5 grupos e alocados aos cinco dias da semana. Os de frequência 2, foram divididos em dois grupos: segunda-feira / quarta-feira e terça-feira / quinta-feira, e os de frequência 3 foram designados para coleta às segundas, quartas e sextas. Não houve fornecedores de frequência 5, que seriam atendidos por rotas nos cinco dias da semana,

Com a área de coleta de cada fornecedor definida e separada por dia da semana, efetuou-se a roteirização no software *TruckStops* e se obtiveram as rotas para os

cinco dias da semana. Também foi executada a roteirização para as três diferentes frequências

Nesta etapa não serão comparados os índices de ocupação dos veículos, já que ambas as roteirizações foram feitas por área. Das rotas geradas, foram feitos planos de carga apenas para aquelas que estavam alocadas a veículos toco e com índice de ocupação no *TruckStops* menor do que 67% (valor definido no estudo anterior), para se verificar a possibilidade de encaixá-las em veículos 608.

As tabelas 3.18 e 3.19 abaixo apresentam, respectivamente, as rotas geradas por dia da semana e por frequência:

ROTAS - ROTEIRIZAÇÃO POR FREQUÊNCIA		
FREQUÊNCIA	Veículo	Ocupação TruckStops
1	Toco	79,7%
	12T	93,5%
	12T	98,3%
	12T	97,7%
	12T	94,2%
	12T	90,5%
	608	
	608	
	Toco	86,6%
	Toco	79,7%
2	12T	88,3%
	12T	96,2%
	Toco	72,8%
	Toco	59,6%
3	12T	98,3%
	12T	96,3%
	Toco	57,7%

Tabela 3.1 - Rotas geradas por fornecedores agrupados por frequência

ROTAS - ROTEIRIZAÇÃO POR DIA		
DIA	Veículo	Ocupação TruckStops
Segunda-feira	12T	94,5%
	12T	96,4%
	12T	95,0%
	12T	87,9%
	Toco	86,8%
	Toco	97,6%
Terça-feira	Toco	95,1%
	12T	94,4%
	Toco	99,4%
	608	
Quarta-feira	12T	86,4%
	12T	94,8%
	12T	93,6%
	12T	85,9%
	Toco	97,7%
	Toco	97,6%
Quinta-feira	12T	95,5%
	12T	99,9%
	Toco	95,4%
	Toco	97,6%
Sexta-feira	12T	89,9%
	Toco	90,3%
	12T	98,4%
	Toco	97,6%

Tabela 3.2 – Rotas geradas por fornecedores agrupados por dia

Para se obter o custo total das viagens na semana em estudo, deve-se, para a roteirização por dia, apenas somar os custos de cada dia, e, para a roteirização por frequência, multiplicar as rotas geradas pela frequência e depois somá-las.

As tabelas 3.20 e 3.21 apresentam os custos das rotas geradas por cada método:

CUSTOS - ROTEIRIZAÇÃO POR FREQUÊNCIA		
Frequência	Custo das Rotas	Custo Semanal
F1	R\$ 2.745,00	R\$ 2.745,00
F2	R\$ 1.217,10	R\$ 2.434,20
F3	R\$ 922,60	R\$ 2.767,80
TOTAL		R\$ 7.947,00

Tabela 3.3 - Custos da roteirização com fornecedores agrupados por frequência

CUSTOS - ROTEIRIZAÇÃO POR DIA	
Dia	Custo das Rotas
Segunda-feira	R\$ 1.892,70
Terça-feira	R\$ 1.161,20
Quarta-feira	R\$ 1.929,00
Quinta-feira	R\$ 1.343,90
Sexta-feira	R\$ 1.283,00
TOTAL	R\$ 7.609,80

Tabela 3.4 - Custos da roteirização com fornecedores agrupados por dia

3.3.5 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

A tabela 3.22 aponta para um custo 4,24% menor de uma roteirização por dia com relação a uma por frequência:

COMPARAÇÃO DE CUSTOS	
Método Roteirização	Custo Semanal
Frequência	R\$ 7.947,00
Dia	R\$ 7.609,80
Economia Rot. Dia:	4,24%

Tabela 3.1 - Comparação de custos entre os métodos de agrupamento de fornecedores

Esta redução, apesar de não ser muito elevada, pode fazer diferença em um mercado competitivo como o das operadoras logísticas, e, se sua implementação não exigir mudanças consideráveis, ela deve ser considerada.

As principais dificuldades que a adoção de uma roteirização por dia da semana implicaria na operação seria a necessidade de flexibilização por parte dos fornecedores e o problema de manutenção das rotas.

O problema da flexibilização não é algo difícil de ser resolvido, já que toda a roteirização leva em conta os horários de janela dos fornecedores, que são aqueles em que eles se disponibilizam a entregar seus produtos. Exigir que ele faça isto um dia de manhã e o outro de tarde, não é algo difícil de ser feito, desde que ele seja avisado com antecedência.

Já no caso da manutenção das rotas, a grande dificuldade para a implementação deste modelo de roteirização era o tempo gasto neste processo, já que muitas vezes eram desenhadas novas rotas, mas estas não eram validadas no *MaxLoad*.

No entanto, com a adoção da roteirização por área, esse problema seria consideravelmente minimizado, e a manutenção das rotas seria simplificada.

Assim, a roteirização por dia se mostrou mais econômica e, aliada à roteirização por área, sua implementação não traria grandes dificuldades na operação.

3.4 LOCALIZAÇÃO DE ARMAZÉNS

3.4.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Todo material coletado junto aos fornecedores da General Motors da Argentina em *milk run* é levado ao armazém da Ryder localizado em São Bernardo do Campo.

Nesse armazém, há um trabalho com as embalagens para que o embarque das carretas rumo à Argentina aconteça com um excelente índice de ocupação volumétrica. Por exemplo, embalagens que não vieram em paletes ou *racks* são colocadas nesses recipientes para o transporte internacional, e, por estarem mais protegidas, é permitido o empilhamento de volumes de diferentes fornecedores.

O armazém é do tipo *cross docking*, pois o material recebido é rapidamente despachado, não ficando no armazém por mais de um dia útil.

O estudo de localização desse armazém foi feito em 1999, e, além de ter procurado o baricentro da operação RGM, também se buscou um local perto de estradas, já que as carretas que vão para a Argentina sofrem restrição de circulação em regiões urbanas.

Como o BID que a General Motors lançará no mercado no final deste ano terá em seu escopo o transporte de peças para outras três plantas (São José dos Campos, São Caetano e Gravataí) além da de Rosário, a localização ótima do armazém *cross docking* poderá ser outra.

Além disto, como o volume a ser transportado será maior, poderá ser economicamente vantajosa a instalação de mais de um armazém, aumentando-se os custos relativos aos armazéns, mas diminuindo-se os de transporte.

3.4.2 OBJETIVO

Com base nos dados de volume previstos a serem coletados nos fornecedores e entregues em cada uma das plantas da General Motors que fazem parte do escopo do BID, e a partir dos custos de transporte *milk run* (fornecedores até armazém *cross docking*) e de carreta consolidada, este estudo desenvolverá uma ferramenta que definirá os locais ótimos para a construção dos armazéns em cenários com um, dois ou três deles.

Obtidos os pontos considerados ótimos nos três cenários, será feita uma análise mais aprofundada para definir exatamente as regiões onde eles poderão ser

implantados, levando-se em conta a localização de estradas e a possibilidade de incentivos fiscais.

Este trabalho não fará uma análise dos custos relativos aos armazéns, assim não será conclusivo na definição de qual dos três cenários é o mais vantajoso para a operação. Ele tem o intuito de definir os melhores locais para se instalar os armazéns, para posteriormente se fazer a escolha do melhor entre os três cenários.

3.4.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este item começará apresentando as classificações de problemas de localização de armazéns feitas por BALLOU. Posteriormente, serão expostas as etapas em que FREESE dividiu esse problema e, por ultimo, serão descritos os métodos mais comuns para se localizar pontos ótimos para construção de armazéns.

3.4.3.1 CLASSIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO

BALLOU, para facilitar a modelagem e solução dos problemas de localização, classificou-os em um número limitado de categorias. Serão listadas, abaixo, aquelas que oferecem um melhor entendimento do problema em estudo:

- Por número de instalações

Localizar uma instalação é um problema consideravelmente diferente do que encontrar várias instalações de uma só vez.

A localização da instalação única evita a necessidade de considerar forças competitivas de demanda entre instalações, efeitos de consolidação de estoque e custos de instalações. Os custos de transporte são a consideração primaria. A localização da instalação única é a mais simples das duas categorias do problema.

- Por escolhas discretas

Alguns métodos explorarão cada possibilidade de localização ao longo de um espaço contínuo e selecionarão a melhor. A estes, nos referimos como métodos contínuos de localização.

Alternativamente, os métodos de localização podem selecionar de uma lista de escolhas possíveis que tenham sido pré-selecionadas por sua razoabilidade.

- Por grau de agregação de dados

Os problemas de localização tipicamente envolvem um numero muito grande de configurações de projetos de rede a serem avaliados.

Para gerenciar o tamanho do problema e obter uma solução, é em geral necessário usar relacionamentos entre dados agregados quando da solução de um problema prático de localização. Isto resulta em um método cuja acurácia limita as localizações a áreas geográficas amplas, como cidades inteiras.

Por outro lado, os métodos que usam poucos dados agregados, especialmente aqueles para a seleção de local, podem diferenciar localizações separadas somente por uma rua da cidade. Esses métodos são particularmente necessários para a localização do varejo e para as seleções finais para plantas e armazéns.

- Por horizonte de tempo

A natureza dos métodos de localização é estática ou dinâmica. Os métodos estáticos selecionam localizações baseados em um único período de tempo, tal como um ano.

Entretanto, os planos de localização podem cobrir muitos anos de uma só vez, especialmente se as instalações representarem um investimento fixo e os custos de movimentação de um local para outro serem altos. Os métodos que manuseiam planos de localização para multiperíodos são chamados de dinâmicos.

3.4.3.2 PASSOS PARA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO

FREESE afirma que definir a localização de um armazém é um dos mais desafiadores problemas enfrentados por um profissional da logística. Para os inexperientes isto pode parecer um problema simples – apenas um problema de preços imobiliários e disponibilidade – mas, na realidade, é algo muito mais complexo.

Felizmente, um entendimento sólido de como se obter as informações e de como utilizá-las pode tornar a tarefa muito mais fácil e eficiente.

FREESE divide o problema de localização em três etapas:

- Macroanálise: define o número de armazéns e a região onde deverão estar localizados;
- Microanálise: define suas áreas geográficas, normalmente a, cidade ou zona de uma grande cidade;
- Localização específica: Identifica os terrenos onde os armazéns serão construídos ou, se for o caso, a localização dos armazéns a serem adquiridos.

3.4.3.2.1 Macroanálise

A macroanálise começa com a definição dos requerimentos gerais da rede de distribuição da organização. O objetivo é identificar o número ótimo de locais e, em um segundo passo, onde eles devem estar localizados.

O quadro abaixo resume as fases da macroanálise:

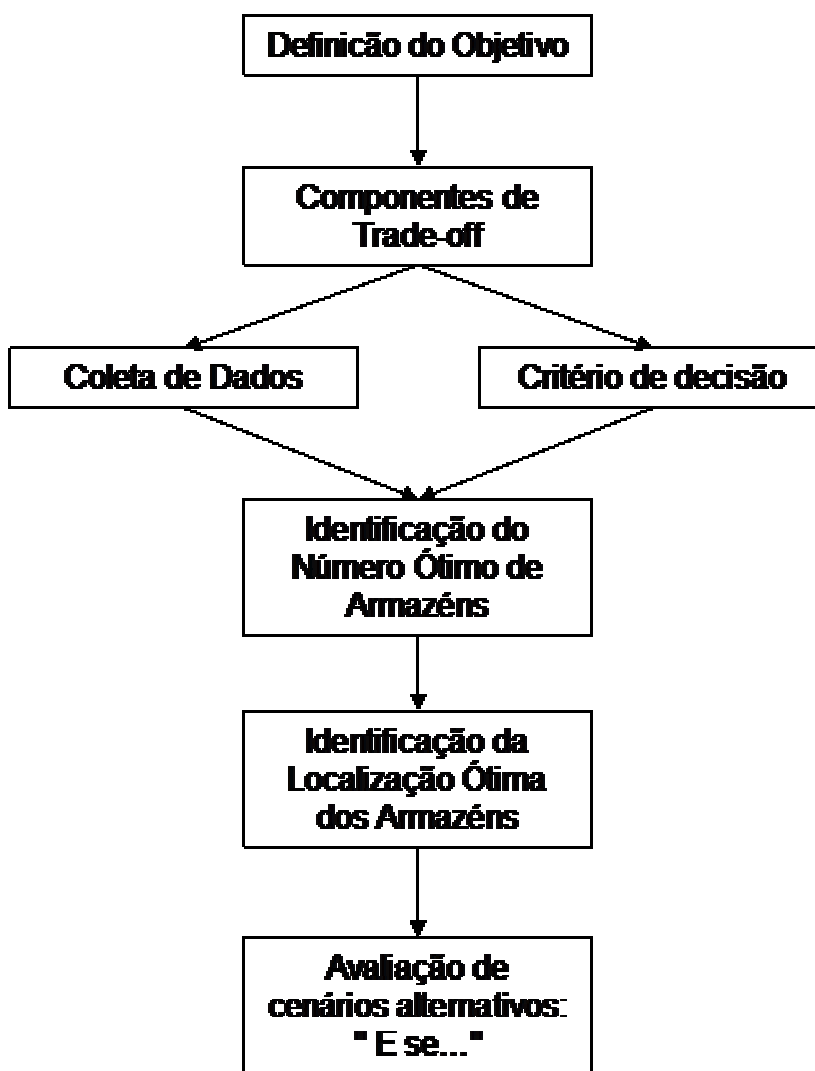


Tabela 3.1 - Etapas da macroanálise de FREESE

Os *trade-offs* são as relações inversas que existem entre os diferentes custos logísticos. Os custos de frete de remessa de produtos, por exemplo, são diminuídos quando o armazém está perto do mercado, enquanto que os fretes do material recebido diminuem quando é o armazém está perto dos fornecedores. Se os custos da rede logística fossem apenas esses dois, o armazém ótimo estaria em um ponto que levasse o custo total a ser minimizado, e não apenas um deles.

Como a maioria dos problemas de localização tem diferentes custos a serem considerados e até variáveis não tão simples de se medir financeiramente, como nível de serviço, há muitos *trade-offs* acontecendo simultaneamente. Por exemplo, quanto

maior o número de armazéns, mais alto fica o custo dos bens imóveis, mas menor é o custo de transportes e melhor o nível de serviço.

Definidos os objetivos que a rede logística deverá cumprir e analisados os seus *trade-offs*, os dados a serem trabalhados na elaboração da rede deverão ser coletados. Desta fase depende todo o resto do trabalho, pois dados mal coletados, que deformem a realidade, resultarão em uma rede logística ineficiente.

Como última etapa antes de se quantificar e localizar os armazéns, de acordo com a abordagem de FREESE, deve-se escolher o critério de decisão, que definirá a função objetivo e possíveis restrições da modelagem. Normalmente, para problemas de localização de armazéns, se busca minimizar os custos mantendo-se um nível de serviço exigido.

Segundo FREESE, deve-se definir o número de armazéns antes de localizá-los, para só depois localizá-los no espaço.

No entanto, pode-se propor diversos cenários contendo diferentes quantidades de instalações e seus locais ótimos para, analisando-se seus custos e benefícios, definir-se qual é a melhor configuração para a rede logística estudada.

O método de construção dessas redes logísticas será tratado no item 3.4.3.3, e, a partir dos existentes, este trabalho proporá um que se adapte ao problema a ser resolvido.

3.4.3.2.2 *Microanálise*

A partir das coordenadas de localização dos armazéns para cada um dos cenários, resultado da macroanálise, FREESE define como passo subsequente a definição de uma área ou região em que se deverá procurar uma instalação existente ou construir uma nova. Esta é a microanálise.

Nesta etapa, têm um grande peso as características da mão-de-obra, impostos, incentivos governamentais, infra-estrutura, acesso a modais de transporte e custos dos terrenos.

Um caso extremo que serve como exemplo de uma microanálise bem feita é de uma empresa que, executada a macroanálise, teve como resultado um ponto nos Estados Unidos, a menos de 40 km da fronteira com o México. Aquele local era o que resultava em menores custos de transporte e em um nível de serviço um pouco acima do exigido pelo seu marketing.

N.º entanto, a cidade escolhida para construção do armazém ficava no México, 65 km ao sul do ponto ótimo resultado de um método de simulação, pois contava com uma infra-estrutura aceitável, custos de terreno e mão-de-obra bem menores do que se fosse construído nos Estados Unidos e ainda obteve elevados incentivos governamentais.

3.4.3.2.3 *Localização Específica do Site*

Definida a cidade ou microrregião em que o armazém será instalado, o próximo passo é a escolha do terreno a ser comprado ou do estabelecimento a ser alugado ou sublocado.

Como se trata uma fase de negociação de valores, assim, o ideal é que mais de um local seja tratado como apto a ser utilizado na rede logística, ampliando-se o leque de opções.

3.4.3.3 MÉTODOS DE LOCALIZAÇÃO DE PONTOS ÓTIMOS

Os métodos para definição de pontos ótimos para a construção de um armazém são classificados em dois grandes grupos: localização de instalação única ou de várias instalações.

Serão descritos os métodos mais correntemente utilizados, segundo BALLOU.

3.4.3.3.1 *Localização de instalação única*

Com a popularidade da matemática aplicada e computadores, as abordagens para os problemas de localização são matemáticas por natureza, mais do que conceituais.

Para a localização de uma planta única, terminal, armazém, ou ponto de varejo ou prestador de serviço, há um modelo que é o mais utilizado, e cujo conceito é predominantemente utilizado nos problemas de localização de instalação única. Ficou conhecido como método do centro de gravidade exato, método de grade ou método centróide.

A abordagem é simples, desde que a taxa de transporte e o volume do ponto sejam os únicos fatores da localização. Esse método é classificado matematicamente como um modelo estático de localização.

Dado um conjunto de pontos que representam os pontos de fonte e os pontos de demanda, junto com os seus volumes que devem ser movimentados para ou de uma instalação de localização desconhecida e suas taxas de transporte associadas, é definido o ponto exato da instalação.

A natureza e a simplicidade da localização contínua da abordagem do centro de gravidade exato, dadas sua apelação como um modelo de localização em si ou como um submodelo de métodos mais elaborados, encorajaram pesquisadores a estender sua potencialidade.

Estas extensões visam incluir o serviço ao cliente e as receitas, como a elaborada por BOWERSOX, o manuseio das múltiplas localizações, por HALL, e a representação dos custos de transporte não-lineares (COOPER).

O benefício desses modelos de localização única é bem claro – ajudam na pesquisa pela melhor solução para um problema de localização, e refletem com realismo o problema atual de modo que a solução seja significativa para a gestão.

No entanto, ele contém algumas simplificações que precisam ter suas conseqüências ponderadas para que o resultado obtido seja válido. Se as premissas adotadas por este modelo tiverem pouco ou nenhum efeito sobre a solução obtida, ele pode ser muito mais eficaz do que modelos mais complicados.

Algumas das premissas admitidas nos modelos de localização única estão listadas a seguir:

- Os volumes de demanda são freqüentemente presumidos estando concentrados em um ponto, quando, de fato, são gerados de vários pontos de clientes que estão dispersos por uma ampla área.
- Não são consideradas diferenças nos custos para estabelecimento de armazéns em diferentes localidades, tais como custos de mão-de-obra, impostos e de manutenção.
- Os custos de transporte são considerados variáveis, diferindo da realidade de tais custos, que têm um componente fixo e um variável de acordo com a distância.
- São consideradas, nos modelos de localização única, as rotas entre os estabelecimentos como sendo em linha reta. Fatores de proporcionalidade podem e devem ser incluídos para uma visão mais apurada dos custos reais de transporte.
- As mudanças futuras nas receitas e nos custos não são consideradas nesses modelos. São predominantemente estáticos.

3.4.3.3.2 *Localização de Instalações Múltiplas*

Os mais complexos problemas de localização ocorrem quando mais de uma instalação deve ser definida simultaneamente.

Deve-se, nesse caso, definir a quantidade de armazéns, suas localizações, capacidades e fornecedores designados.

Vários métodos de localização foram desenvolvidos que ajudam a sanar essas questões, e BALLOU os classificou como exatos, de simulação ou heurísticos.

➤ Métodos Exatos

Os métodos exatos são aqueles que retornam uma solução ótima ou de acurácia conhecida e é, em muitos aspectos, a abordagem ideal ao problema de localização. São exemplos desta abordagem o método do múltiplo centro de gravidade e a programação linear inteira mista:

- Abordagem de múltiplo centro de gravidade

Este modelo se originou do problema do centro de gravidade exato, descrito anteriormente, com a diferença que busca soluções com custos mínimos de transporte para pontos de origem e de destino pré-atribuídos.

Na prática, é feita uma divisão do problema em conglomerados, cada um com um centro de gravidade que atende a todos os pontos do conglomerado. Há muitas maneiras de se fazer esta divisão, sendo a mais comum formar aglomerados de pontos que são próximos entre si e localizar seus centros de gravidade, que terão todos os pontos reatribuídos a esse ponto. Então, novas localizações por centro de gravidade são encontradas para os conglomerados revisados.

Esse procedimento pode ser repetido diversas vezes, até que se chegue a um numero específico de instalações.

Embora esse método seja ótimo se todas as maneiras de atribuir pontos aos conglomerados forem avaliadas, torna-se computacionalmente impraticável para problemas de tamanho real. Pré-atribuir muitos clientes para nivelar um número pequeno de instalações é uma tarefa combinatória enorme, sendo necessária uma abordagem mais simples e eficiente.

- Programação linear inteira mista

Segundo BALLOU, os matemáticos trabalharam por muitos anos para desenvolver procedimentos de solução eficiente que permitam uma descrição do problema ampla o suficiente para trabalharem com problemas reais complexos, fornecendo uma rede matematicamente ótima.

Dentre essas abordagens estão a programação de metas, o método da árvore de decisão e a programação dinâmica. No entanto, a metodologia mais comum, e possivelmente a mais promissora, é a da programação linear inteira.

O principal benefício associado à abordagem de programação linear inteira mista é sua habilidade em lidar com custos fixos de uma maneira ótima, e, em um problema de localização, o custo de um armazém deve ser dividido em uma parte fixa e em uma variável.

De um modo geral um problema de localização pode ser expresso da seguinte forma, para depois ser traduzido em linguagem matemática:

Encontre o número, o tamanho e as localizações em uma rede logística que minimizarão os custos fixos e variáveis que movimentarão todos os produtos através da rede selecionada, sujeito às seguintes condições:

1. O suprimento disponível da planta não pode ser excedido para cada produto;
2. A demanda para todos os produtos deve ser satisfeita;
3. O processamento de cada armazém não pode exceder sua capacidade;
4. Um processamento mínimo de um armazém deve ser alcançado antes que ele possa ser aberto;
5. Todos os produtos para o mesmo cliente devem ser atendidos pelo mesmo armazém;

Um outro método de localização que utiliza programação linear inteira mista é a abordagem P-mediana, que é menos complicada, mas também menos robusta do que a anterior, já que as instalações propostas estão limitadas a serem em um dos pontos de demanda ou de suprimento.

Os problemas que acompanham esta metodologia são suas dificuldades em tratar funções não-lineares que podem ocorrer, por exemplo, em políticas de estoque e nos relacionamentos de serviço de venda-cliente, e sua limitação quanto ao tamanho do problema que pode ser modelado, já que para problemas com muitas variáveis, são necessários computadores muito potentes.

➤ Métodos de Simulação

Embora possa parecer que os modelos de localização que realmente fornecem soluções matematicamente ótimas sejam melhores, BALLOU lembra que a solução

ótima para o problema de localização do mundo real pode não ser melhor do que a descrição do modelo de problemas reais.

Para problemas de difícil modelagem, pode ser preferível arriscar descobrir uma solução melhorada menos ótima, mas descrevendo o problema acuradamente em vez de uma solução ótima para uma descrição do problema aproximada.

Os modelos de simulação são modelos algorítmicos de localização nos quais deve se especificar as instalações particulares na rede a ser avaliada, o que faz com que a qualidade dos resultados e a eficiência obtida dependa da habilidade e do discernimento do usuário em selecionar as localizações a serem avaliadas.

Caso haja erros nesta seleção, a rede logística gerada pode estar longe da ótima, o que pode levar a resultados ineficientes. Porém, um administrador experiente pode perceber, analisando os resultados das simulações, o quanto ele está próximo à região do ótimo ou não.

➤ Métodos Heurísticos

Os métodos heurísticos são aqueles que, de um modo geral, diminuem o tempo médio de pesquisa que leva a uma solução. São como regras que guiam a resolução do problema, e, se bem utilizados, levam a boas soluções requerendo poucos recursos computacionais.

➤ Avaliação Seletiva

Um procedimento heurístico pode ser desenvolvido de um método que já foi apresentado anteriormente, como o método do centro de gravidade múltiplo.

Como esse método contabiliza apenas os custos de transporte, pode-se adicionar, por exemplo, os custos fixos de estoque e instalação, para criar um custo total mais representativo.

O problema é que tais custos são adicionados apenas após a localização do armazém, o que atrapalha a obtenção de uma solução ótima, pois é preferível adicioná-los durante o processo que determina a localização do armazém.

Apesar de seus defeitos, a abordagem tem valor quando se tem um mínimo de informações disponíveis, podendo gerar candidatas que serão analisadas posteriormente por procedimentos mais robustos.

➤ Programação Linear Guiada

A criação de regras para agilizar a busca da localização ótima de armazéns pelo método da programação linear é um dos mais recorrentes usos de métodos heurísticos em problemas de localização, já que assim pode-se trabalhar eficientemente com custos fixos e de estoque não-lineares, e ainda pode-se obter os resultados ótimos da programação linear.

3.4.4 MÉTODO DE RESOLUÇÃO

Será utilizado um método único para se definir aonde serão localizados os armazéns nos três cenários.

Começaremos pela macroanálise de FREESE, que desenvolve uma figura geral do problema.

Dentro da macroanálise, há a etapa de definição dos pontos ótimos de construção do armazém, onde será utilizado um dos métodos propostos por BALLOU.

Finalmente, será executada a microanálise de FREESE, quando escolhermos a região onde serão procurados os terrenos ou galpões que farão parte da rede logística da operação RGM.

A última etapa do método de FREESE, a localização específica do *site*, não está no escopo deste estudo, pois requer uma posição oficial da Ryder para a cotação de preços dos imóveis, o que só será feito depois de se decidir pelo melhor cenário.

3.4.4.1 MACROANÁLISE

Os procedimentos da macroanálise, descritos no quadro 3.23, serão efetuados abaixo para uma melhor compreensão do problema estudado:

- Definição do objetivo

O primeiro procedimento para se resolver um problema de localização de armazéns é a clara definição do objetivo do estudo, que, nesse caso, é o de dar bons subsídios para que a Ryder escolha a melhor configuração de armazéns para apresentar à General Motors no BID do final do ano.

- Definição dos *trade-offs*

O principal *trade-off* que influenciará a análise é aquele que relaciona o aumento do número de armazéns, e seus custos associados, com a diminuição do custo de transportes.

No entanto, como o objetivo deste estudo é apenas o de definir os locais das instalações para os três cenários, os custos relacionados aos armazéns não serão considerados neste momento. Caberá à Ryder, posteriormente, avaliar qual dos três cenários reflete a melhor solução e decidir se é viável, ou não, desativar o armazém de São Bernardo do Campo e propor, no BID, a reconfiguração da rede logística da operação RGM.

- Critério de Decisão

Em se considerando que em qualquer uma das localidades escolhidas os armazéns terão os mesmos resultados operacionais que o armazém de São Bernardo produz atualmente, o critério de decisão para a escolha dos melhores locais para a instalação dos armazéns será necessariamente o menor custo total de transporte fornecedores – armazéns e armazéns – plantas.

- Coleta de Dados

As informações necessárias para a resolução do problema estão disponíveis no banco de dados da operação RGM (localização dos fornecedores e custos do transporte *milk run* e do transporte de carga consolidada) e no material oferecido pela GM para apresentação do BID (previsão do volume mensal a ser coletado em cada fornecedor, por cada planta e coordenadas das plantas).

3.4.4.2 MODELAGEM MATEMÁTICA

3.4.4.2.1 Escolha do Método

O modelo a ser desenvolvido será o mesmo para os três cenários, assim terá que ser um que localize também instalações múltiplas.

Como o objetivo deste estudo de localização é encontrar os locais ótimos para a construção dos armazéns para três cenários diferentes, cada um com um número definido de instalações, não precisarão ser trabalhados os custos relativos à abertura e operação dos armazéns. Esta análise, como já explicado, será feita posteriormente.

Dentre os métodos existentes de localização de instalações múltiplas, aquele que mais se adequa ao problema em estudo é o da programação linear inteira mista, pois fornece uma rede matematicamente ótima, e há bons softwares no mercado que são capazes de trabalhar com esse tipo de modelo.

Abaixo estão listadas as condições que esse método e o modo como serão tratadas especificamente no problema analisado:

1. *O suprimento disponível da planta não pode ser excedido para cada produto:* O volume de produção dos fornecedores é dado de entrada do problema;
2. *A demanda para todos os produtos deve ser satisfeita:* A demanda de cada planta é dado de entrada do problema, e será totalmente satisfeita pelos domicílios;
3. *O processamento de cada armazém não pode exceder sua capacidade:* A capacidade de processamento dos armazéns é ilimitada. No cenário 1, por exemplo, um só armazém será utilizado para toda a operação;
4. *Um processamento mínimo de um armazém deve ser alcançado antes que ele possa ser aberto:* Não há esse limite mínimo, já que os custos relativos à abertura de um armazém serão analisados posteriormente pela Ryder;
5. *Todos os produtos para o mesmo cliente devem ser atendidos pelo mesmo armazém:* Esta é uma das premissas da operação.

3.4.4.2 Premissas

Para tornar o tratamento de dados e a modelagem do problema mais simplificada, foram definidas as seguintes premissas:

- O modelo, dentro da classificação de problemas de localização feita por BALLOU quanto ao horizonte de tempo, será estático, já que serão utilizadas apenas as previsões para o ano de 2004 fornecidas pela GM;
- Para gerenciar o tamanho do problema, não serão utilizadas as coordenadas de localização de todos os fornecedores, que são cerca de 200. Assim, os dados de volume de cada fornecedor para cada planta serão consolidados e transformados em dados de um domicílio para uma planta. O problema em estudo fica, então, sendo classificado como de elevado grau de agregação de dados;
- As coordenadas geográficas de cada domicílio serão as de seus baricentros (centro de gravidade), definidos a partir da localização e do volume de coleta de cada fornecedor;
- Sabe-se que os custos de transporte têm um componente fixo e um variável. No entanto, para simplificar o modelo e pela falta de dados para se calcular os dois custos em separado, considerar-se-á os custos de transporte como sendo somente variáveis. Os custos de transporte *milk run* (CMR) será calculado a partir dos custos reais das rotas atualmente existentes, de suas distâncias percorridas e de suas frequências. Os custos de transporte consolidado (CTC), ou seja, dos armazéns até as plantas, foram calculados a partir dos custos médios de cada viagem feita de São Paulo até Rosário e dos volumes médios transportados. Foi aplicado, ainda, um coeficiente (menor do que 25%) devido à confidencialidade dos valores. Assim, a taxa do CMR ficou em $0,0805 \text{ R\$/km}\cdot\text{m}^3$, e a do CTC, em $0,0232 \text{ R\$/km}\cdot\text{m}^3$
- Serão utilizadas coordenadas geográficas (latitude e longitude) para se apontar a localização dos estabelecimentos. Logo, como os custos de transporte tem um componente métrico, terá que ser utilizado algum valor para se converter unidades metros em graus (unidade de medida da latitude e longitude). No entanto, devido ao formato da Terra, essa relação sofre uma variação de acordo com a latitude do ponto, mas como essa variação é pequena, utilizaremos a

relação existente na linha do Equador, onde 1 grau equivale a 111,32 km, o que leva aos seguintes custos de transporte : $CTC = 8,9613 \text{ R\$/grau}\cdot\text{m}^3$ e $CMR = 25,8264 \text{ R\$/grau}\cdot\text{m}^3$

- Cada domicílio terá seu volume de coleta designado a um e apenas um armazém. Isto simplifica a operacionalização das coletas, já que os veículos que forem para um domicílio irão para apenas um armazém.

3.4.4.2.3 O Modelo

Nesta seção apresentaremos um modelo de programação linear inteira mista que forçará a ida de todo o volume de cada domicílio a somente um armazém e obrigará todo armazém a escoar o material recebido para as quatro plantas.

O objetivo é localizar os armazéns de tal forma que os custos de transporte *milk run* e consolidado sejam minimizados.

Ele será executado para cada um dos três cenários a serem configurados: um, dois ou três armazéns.

A seguinte notação foi utilizada no modelo:

$d = 1, \dots, D$ (conjunto de índices dos domicílios);

$a = 1, \dots, A$ (conjunto de índices dos armazéns);

$p = 1, \dots, P$ (conjunto de índices das plantas).

As variáveis de decisão são descritas a seguir:

X_a - longitude dos armazéns (graus);

Y_a - latitude dos armazéns (graus);

F_{da} - variável binária: assume valor 1 se armazém a é o destino dos fornecedores do domicílio d , ou assume valor 0;

Os parâmetros do modelo são os seguintes:

V_{dp} - volume que deverá ser coletado no domicílio d com destino final a planta p (m^3);

CMR - taxa do transporte *milk run* (R\$/grau* m^3);

CTC - taxa do transporte dos armazéns às plantas (R\$/grau* m^3);

X_d - longitude do baricentro do domicílio d (graus);

Y_d - latitude do baricentro do domicílio d (graus);

X_p - longitude da planta p (graus);

Y_p - latitude da planta p (graus);

A função objetivo está dividida, para simplificação da explicação, em 2 partes, tendo como objetivo minimizar:

1. Custos de coleta *milk run*;

$$\sum_a^1 \sum_d^1 \sum_p^1 V_{dp} * CMR * F_{da} * \sqrt{(X_d - X_a)^2 + (Y_d - Y_a)^2}$$

2, Custos do Transporte Consolidado

$$\sum_p^1 \sum_a^1 \sum_d^1 V_{dp} * F_{da} * CTC * \sqrt{(X_p - X_a)^2 + (Y_p - Y_a)^2}$$

Assim, a função objetivo fica sendo a seguinte:

$$\begin{aligned} \text{MIN} \quad & \sum_a^1 \sum_d^1 \sum_p^1 V_{dp} * CMR * F_{da} * \sqrt{(X_d - X_a)^2 + (Y_d - Y_a)^2} + \\ & + \sum_p^1 \sum_a^1 \sum_d^1 V_{dp} * F_{da} * CTC * \sqrt{(X_p - X_a)^2 + (Y_p - Y_a)^2} \end{aligned}$$

sujeita às seguintes restrições:

$$\sum_a^1 F_{da} = 1 \quad (d=1,2,\dots,10) \quad (1)$$

$$F_{da} \in \{0,1\} \quad (2)$$

A restrição número (1) garante que cada domicílio terá seu volume alocado a um e somente um armazém, enquanto que a restrição (2) é necessária para definir a variável de abertura do armazém como binária (ou ele abre ou ele não abre).

Não é necessária a utilização de uma restrição que não permita a existência de estoques nos armazéns, pois, se um deles é aberto, a variável binária de abertura do armazém fica igual a 1, já incorporando os custos do transporte de carga consolidada ao valor da função objetivo.

O modelo será programado e executado no software otimizador Lingo 8.0, que é uma ferramenta de otimização completa capaz de resolver modelos lineares, não-lineares, inteiros e mistos, usando um algoritmo robusto com uma linguagem de modelagem completa.

3.4.5 RESULTADOS COMPUTACIONAIS E MICROANÁLISE

3.4.5.1 Dados de Entrada

As tabelas 3.24 e 3.25 abaixo a seguir contêm os dados de entrada requisitados pelo modelo formulado: os fluxos médios mensais e as taxas de transporte e as coordenadas dos baricentros dos domicílios e das plantas, respectivamente:

FLUXO MENSAL (m3)										
Domicílio	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10
S CAETANO	16382	3344	61	4339	1183	1600	1025	605	1	1893
S J CAMPOS	11772	2467	42	3133	855	1247	777	388	0	1296
GRAVATAÍ	11712	2214	43	3505	1092	1527	690	391	0	1702
ROSÁRIO	3754	753	16	1142	294	454	264	141	0	498
TAXAS DE TRANSPORTE (R\$/graus*m3)										
Milk Run (CMR)			25,82624		Consolidado (CTC)				8,96126	

Tabela 3.1 - Fluxo Mensal e Taxas de Transporte

COORDENADAS GEOGRÁFICAS (graus)										
Domicílio	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10
X-LONG	-46,57	-45,48	-48,37	-47,18	-47,28	-46,00	-44,68	-49,21	-49,27	-51,74
Y-LAT	-23,65	-23,02	-21,40	-22,79	-23,37	-22,69	-20,49	-25,53	-26,82	-29,61
Planta	S CAETANO DO SUL			S JOSÉ DOS CAMPOS			GRAVATAÍ		ROSÁRIO	
X-LONG	-45,89			-46,55			-50,99		-60,78	
Y-LAT	-23,17			-23,62			-29,94		-32,91	

Tabela 3.2 - Coordenadas geográficas do baricentro dos domicílios e das plantas

Os três modelos feitos no Lingo 8.0 estão em anexo (ANEXO B), assim como suas soluções. As próximas seções darão os resultados da simulação e, usando o conceito da microanálise de FREESE, apontarão os locais onde deverão ser procurados terrenos ou galpões a serem alugados que servirão à operação RGM.

As tabelas 3.26 e 3.27 auxiliarão a etapa da microanálise, informando a participação de cada domicílio no volume total de coleta e a participação de cada planta no volume total recebido pelas quatro:

ORIGEM DO MATERIAL COLETADO		
DOMICÍLIO	VOL MENSAL PREVISTO (m3)	PARTICIPAÇÃO
D01 (Grande São Paulo)	43620,8	52,8%
D04 (Região de Campinas)	12119,2	14,7%
D02 (Vale do Paraíba)	8778,7	10,6%
D10 (Rio Grande do Sul)	5387,7	6,5%
D06 (Grande Belo Horizonte)	4827,8	5,8%
D05 (Região de Sorocaba)	3423,3	4,1%
D07 (Sul de Minas)	2756,2	3,3%
D08 (Paraná)	1525,6	1,8%
D03 (Região de São Carlos)	161,6	0,2%
D09 (Santa Catarina)	1,2	0,0%

Tabela 3.3 - Participação relativa dos domicílios no volume total de coleta

DESTINO DO MATERIAL COLETADO		
PLANTA	VOL MENSAL PREVISTO (m3)	PARTICIPAÇÃO
P1 (São José dos Campos)	30.104,13	37,0%
P2 (São Caetano do Sul)	22.215,52	27,3%
P3 (Gravataí)	22.076,96	27,1%
P4 (Rosário)	7.022,87	8,6%

Tabela 3.4 - Participação relativa das plantas no volume total de entrega

3.4.5.2 Cenário 1

Para o cenário com um armazém, o ponto ótimo (-46,57;-23,65) justamente no baricentro dos fornecedores do domicílio 01.

Este resultado não surpreende, pois, como mostra a tabela 3.26, 52,8% do volume dos fornecedores das quatro plantas da GM estão na Grande São Paulo.

A partir desse ponto, que fica exatamente no município de São Caetano, será selecionada a região onde o armazém deveria ser instalado, como reza a etapa da microanálise.

A instalação de um armazém em São Caetano é problemática porque a cidade está em uma região densamente povoada, com trânsito urbano e com poucos locais para se instalar um armazém..

Como o armazém irá receber e enviar cargas de e para todos domicílios e plantas da operação, deve ser de fácil acesso a estradas que levem à região sul do Brasil (Rodovia Régis Bittencourt), ao oeste do estado de São Paulo (rodovias Raposo Tavares, Castelo Branco, Anhanguera e Bandeirantes) e às Minas Gerais e Vale do Paraíba (rodovias Presidente Dutra, Carvalho Pinto e Fernão Dias).

A tabela abaixo classificou os domicílios e plantas em grupos com as mesmas características de acesso à cidade de São Paulo:

PARTICIPAÇÃO QUANTO À CARACTERÍSTICA DE ACESSO AOS DOMICÍLIOS			
Região dos Domicílios	MILK RUN	TRANSPORTE DE CARGA CONSOLIDADA	MÉDIA
Grande São Paulo	52,8%	27,3%	40,1%
Trecho Oeste Rodoanel	27,4%	35,7%	31,5%
Zona Leste de SP	19,8%	37,0%	28,4%

Tabela 3.5 – Regiões de acesso aos domicílios

Um bom local para instalação do armazém seria próximo ao Rodoanel Metropolitano Mário Covas, que circundará a Grande São Paulo e passará por todas as estradas que partem da capital. Sua utilização agilizará muito a viagem dos veículos com rotas para outras cidades, já que não enfrentarão o tráfego urbano e restrições que veículos de grande porte sofrem nessas regiões.

O rodoanel estará totalmente pronto depois de 2007, e no momento o único trecho disponível é o oeste. No entanto, este atende cinco importantes rodovias: Anhanguera, Bandeirantes, Castelo Branco, Raposo Tavares e Régis Bittencourt, por onde circulam 31,5% do material transportado. Dentre as rodovias que seriam utilizadas pelas rotas da operação RGM, as únicas que ficariam de fora seriam as que começam na zona leste de São Paulo: Presidente Dutra, Fernão Dias e Carvalho Pinto, que atendem Minas Gerais e Vale do Paraíba e totalizam 28,4% do volume transportado.

Assim, a parte mais a nordeste do trecho já concluído do rodoanel metropolitano, próximo à Rodovia dos Bandeirantes, seria a região ideal para a

instalação do armazém, já que atenderia perfeitamente as rotas que vão ao interior paulista, ao sul do Brasil e à Argentina, e não estaria distante do acesso às rodovias que vão às Minas Gerais e ao Vale do Paraíba, bastando, para isso, cruzar a Marginal Tietê.

O mapa da próxima página mostra em azul o trecho do rodoanel metropolitano já construído e, em vermelho, a localização ideal do *site* para o cenário com 1 armazém:

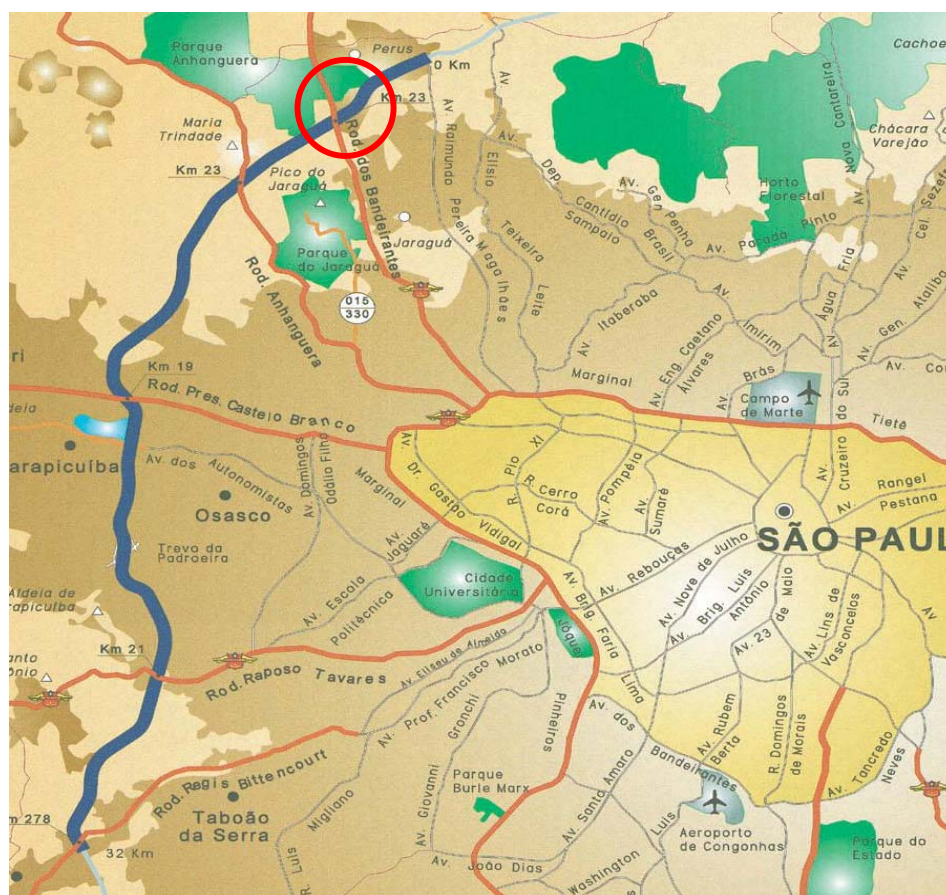


Figura 3.1 - Região onde armazém deverá ser implantado para cenário com 1 armazém

O acesso aos fornecedores do ABC e à planta de São Caetano seria um pouco prejudicado, mas o *trade-off* com um melhor acesso às outras regiões compensa essa perda.

3.4.5.3 Cenário 2

Executado o Lingo buscando a melhor configuração da rede com dois armazéns, um deles (-46,57;-23,65) é o mesmo do cenário 1. Já o outro armazém (-47,18;-22,79) estaria localizado no baricentro dos fornecedores do domicílio 04 (região de Campinas), na cidade de Paulínia, na Via Anhanguera.

O primeiro armazém receberia a coleta dos fornecedores dos domicílios 01 (Grande SP), 02 (Vale do Paraíba), 06 (Sul de Minas), 08 (Paraná), 09 (Santa Catarina) e 10 (Rio Grande do Sul), totalizando 77,5% do volume mensal da operação.

A diferença pro cenário 1 é que esse armazém não faria coletas no interior paulista, fazendo coleta apenas no grande ABC e nas regiões atingidas pelas rodovias Fernão Dias, Carvalho Pinto, Presidente Dutra e Régis Bittencourt, as mesmas rodovias que seriam utilizadas para o transporte da carga consolidada até as plantas.

Assim, neste cenário, ao invés de instalar o armazém no trecho oeste do rodoanel metropolitano, poderia ser mais vantajoso instalá-lo próximo ao sistema Anchieta/Imigrantes, onde estão os fornecedores do ABC e mais próximo à planta de São Caetano.

O acesso aos fornecedores de MG e do Vale do Paraíba, e à planta de São José dos seria feito via Mogi das Cruzes, e o acesso à Régis Bittencourt, via litoral sul de São Paulo.

A princípio o local ideal seria na Via Anchieta em São Caetano, cidade do ponto ótimo gerado pelo Lingo, retratado com um círculo vermelho na figura 3.7:



Figura 3.2 - Região onde um dos armazéns do cenário com 2 armazéns deverá ser instalado

Já o segundo armazém, por sua vez, que atenderia os veículos com peças coletadas nos fornecedores dos domicílios 03 (região de São Carlos), 04 (região de Campinas), 05 (região de Sorocaba) e 07 (Belo Horizonte), poderia ser instalado próximo à Via Anhanguera em Paulínia, com fácil acesso às cidades do interior de São Paulo dos domicílios 03, 04 e 05 e à região de Belo Horizonte pela rodovia Dom Pedro II, que liga a região de Campinas à rodovia Fernão Dias.

No círculo em vermelho, na figura 3.8, está a região onde o segundo armazém deverá ser instalado:

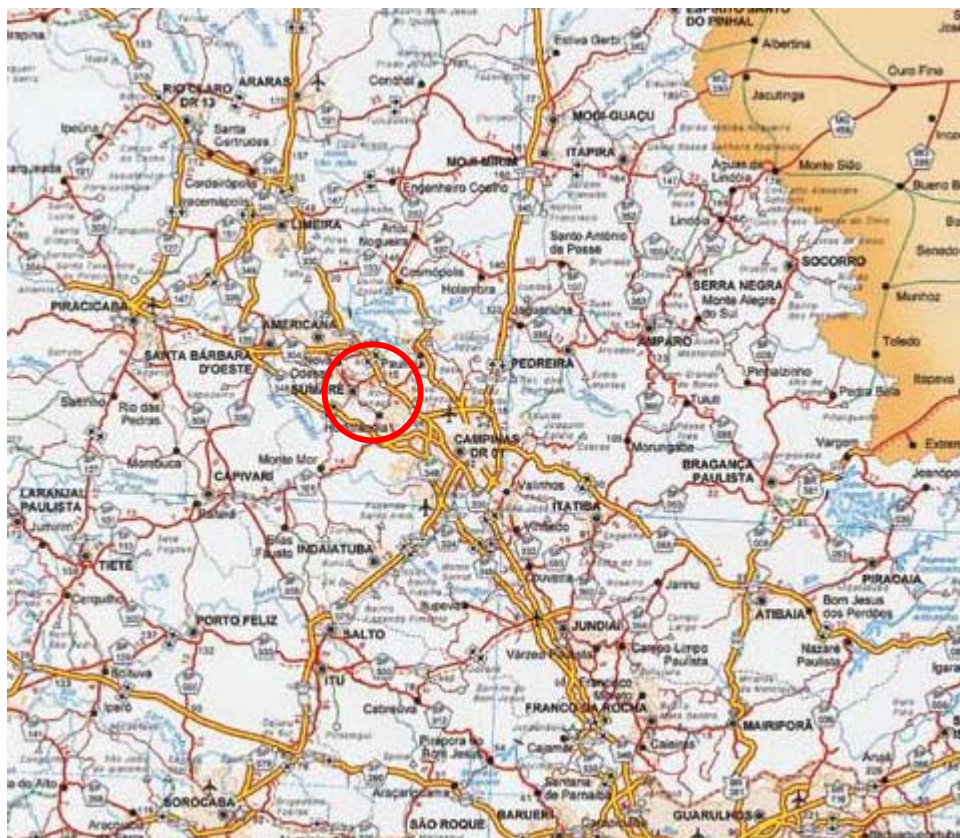


Figura 3.3 - Região onde segundo armazém, do cenário com 2 armazéns, deverá ser instalado

3.4.5.4 Cenário 3

O cenário com 3 armazéns resultou em 2 pontos que coincidem com os baricentros dos domicílios 01 (Grande SP) e 10 (RS), e um terceiro ponto $(-46,53;23,02)$ bem próximo a Bragança Paulista, na rodovia Fernão Dias.

O primeiro armazém atenderia, além do domicílio 01 (Grande SP), o domicílio 05 (região de Sorocaba) e o domicílio 08 (Paraná). Como 90% do volume de coleta deste armazém está no domicílio 01, uma boa região seria a mesma proposta para o cenário com 2 armazéns, na figura 3.8.

O baricentro do domicílio 10, local do ponto ótimo para a implantação do segundo armazém neste cenário, $(-51,74;-29,61)$, está localizado na cidade de São Sebastião do Caí, 130 km a noroeste de Porto Alegre. Ele atenderia, além dos

forneecedores do estado do Rio Grande do Sul, os de Santa Catarina, cujas agregam muito baixo volume. A maioria dos fornecedores que seriam atendidos por esse armazém estaria entre Porto Alegre e Caxias do Sul, passando por Canoas e Gravataí. Assim, a região que fica próxima ao ponto ótimo e ao trecho do BR-116 que liga Porto Alegre a Caxias do Sul é a região da cidade de Novo Hamburgo. A figura 3.9 mostra essa região circutada em amarelo:

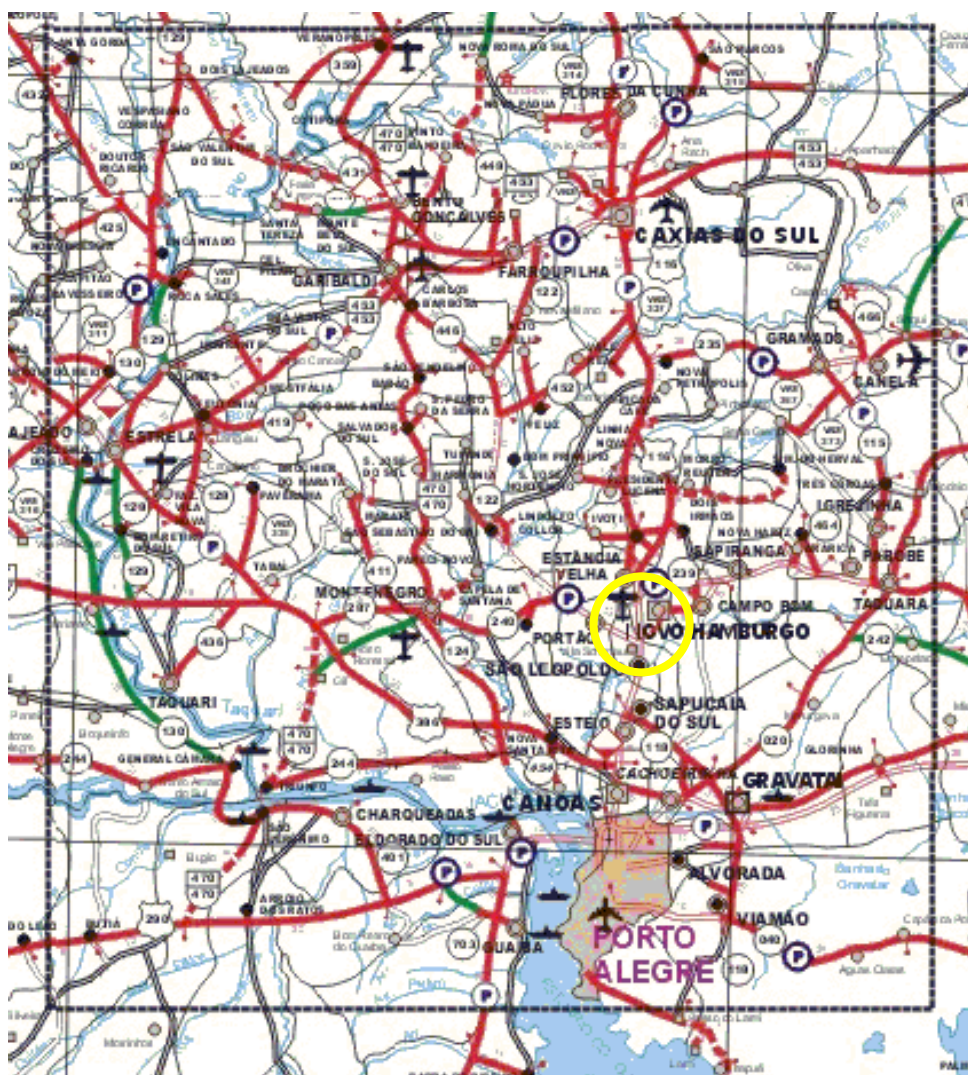


Figura 3.4 - Região onde o segundo armazém, do cenário com 3 armazéns, deverá ser instalado

Já o terceiro armazém, que atenderia as coletas do domicílio 02 (Vale do Paraíba), 03 (São Carlos), 04 (Campinas), 06 (sul de Minas) e 07 (Grande BH), e cujo ponto ótimo está nos arredores da rodovia Fernão Dias, poderia ser instalado

próximo ao entroncamento entre esta rodovia e a Dom Pedro, o que facilitaria muito o acesso a todos os armazéns que ele atenderia. A figura 3.10 mostra, no círculo vermelho, a área que deveria ser pesquisada para instalação do armazém:



Figura 3.5 – Região onde o terceiro armazém, do cenário com 3 armazéns, deverá ser instalado

3.4.5.5 Custos

A tabela 3.29 mostra os custos de transporte mensais estimados para cada um dos cenários:

CUSTO MENSAL DE TRANSPORTE		
CENÁRIO	CUSTO DE TRANSPORTE (mensal)	
1 ARMAZÉM	R\$	5.243.977,00
2 ARMAZÉNS	R\$	4.765.449,00
3 ARMAZÉNS	R\$	4.083.967,00

Tabela 3.6 - Comparativo de custos por cenário

A tabela da página anterior, que contém os custos de transporte da operação para cada um dos cenários será utilizada pela empresa no estudo posterior, comparando esses custos com os de transporte da operação atual.

3.4.6 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Antes de se buscar os locais para instalação do ou dos armazéns, deve-se concluir qual é a rede em que a soma dos custos de transporte e de armazenagem são os menores.

Caso se decida pelos cenários com 2 ou com 3 armazéns, o armazém atual da Ryder, em São Bernardo do Campo, deve continuar sendo utilizado, pois fica próximo à Via Anchieta a microanálise apontou este local como o melhor para a implantação de um dos armazéns.

No entanto, se a melhor configuração da rede for aquela que comporta apenas um armazém, no rodoanel metropolitano próximo à Rodovia dos Bandeirantes, deve-se comparar o custo que uma mudança de armazém traria com os possíveis benefícios mensais gerados para a operação pela redução do custo de transporte.

4 CONCLUSÃO

4.1 SÍNTESE DO TRABALHO

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de aplicar, em um projeto verdadeiro, conhecimentos adquiridos nos cinco anos do curso de Engenharia de Produção da Escola Politécnica e nos quatro meses agora completados de treinamentos na Ryder Logística.

O projeto teve como objeto a operação que a empresa executa para a General Motors, fazendo parte do processo de melhoria contínua, que visa satisfazer os clientes e diminuir os custos da Ryder e da empresa contratante.

Foram trabalhados dois dos problemas mais comuns na carreira de um profissional da logística: transporte de materiais e localização de armazéns, o que me deu novos conhecimentos e uma visão geral do que encontrarei nessa área da engenharia de produção.

O estudo propôs e analisou duas oportunidades de melhoria na operação e fez um estudo de localização visando o BID a ser lançado pela GM, que aumentará o escopo da atual operação. Cada um dos aspectos estudados será analisado nas próximas seções.

4.2 PROPOSTA DE ROTEIRIZAÇÃO POR SUPERFÍCIE

A primeira proposta, que propôs a alteração do modo como eram entrados os dados para a roteirização das coletas *milk run*, teve um resultado ótimo, acima do esperado pela empresa, pois todas as rotas geradas pelo *TruckStops* foram validadas pelo *MaxLoad*, com uma ótima ocupação dos veículos.

Esse sucesso só foi conseguido graças à a eficiente programação da macro que define a área ocupada pelos fornecedores, sempre resultando em superfícies requeridas absolutamente fiéis à realidade.

O grande benefício que essa mudança traz à operação, a redução do tempo de roteirização, tornando-a mais dinâmica e permitindo um planejamento de frota a

partir da verdadeira programação de coleta acordada entre a GM e seus fornecedores, pode ser um diferencial da Ryder nos futuros BIDs que tiverem uma operação de coletas *milk run*.

Para isso, esse novo sistema deve ser implementado na operação atual e ter seus resultados analisados, corrigindo possíveis problemas. Se confirmada a redução de custos prevista no trabalho (cerca de 40% só no custo das rotas, e 50% se incluirmos a diminuição do número de PTAs), esta economia pode ser em parte repassada ao cliente e em parte agregada à margem de lucro da operação.

Sua implantação depende, também, de convencimento por parte da GM, que terá que exigir que seus fornecedores disponibilizem seus produtos a qualquer hora do dia, em janelas flexíveis.

4.3 PROPOSTA DE ROTEIRIZAÇÃO POR DIA

Mudando de frequência para dia da semana o agrupamento dos fornecedores que serão roteirizados, obteve-se uma redução de custos de *milk run* de 4%. Essa economia não é grande se comparada à prevista pela proposta anterior, mas em um mercado competitivo como é o das operadoras logísticas, qualquer redução pode significar a conquista de uma operação ou um aumento da margem de lucro.

Essa alteração pode ser aplicada de pronto na operação, já que pode continuar trabalhando com horários de janela rígidos dos fornecedores. A economia obtida não dependeu de uma roteirização dinâmica, mas sim de uma roteirização com um maior número de fornecedores, implicando em uma maior possibilidade de combinação para formação das rotas.

A maior dificuldade do processo de manutenção de rotas que esse método provoca é minimizada com a roteirização por superfície, que agiliza o processo de programação das novas rotas.

4.4 LOCALIZAÇÃO DE NOVOS ARMAZÉNS

O estudo de localização de armazéns para atender aos novos volumes transportados no escopo da operação RGM, com o abastecimento de outras três fábricas, teve como objetivo configurar a rede logístca e os custos de transporte para três possíveis cenários.

Unindo essas informações com os custos de instalação e operação dos armazéns, a Ryder primeiro definirá o cenário que considera o que menos custos traz à operação, para depois buscar os locais para instalação dos armazéns, dentro das regiões apontadas pelo estudo.

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, manifesto aqui a satisfação de ter contribuído com a empresa ao elaborar um trabalho que será utilizado por ela na prática, lembrando que isso só foi conseguido com a ajuda de conhecimentos adquiridos no curso e com o intenso interesse e auxílio oferecido pelo meu orientador, Professor Miguel Cezar Santoro.

Considero, desta forma, que o trabalho de formatura, que tem como principal objetivo propor soluções a problemas existentes nas empresas em que os alunos estagiam, a partir de seu trabalho e conhecimento e da supervisão de um professor e de profissionais da área, teve seu resultado alcançado neste projeto.

5. BIBLIOGRAFIA

BALLOU, R.: *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos*, Bookman, Porto Alegre, 2001.

BOWERSOX, D.: “An analitical Approach to Warehouse Location”. *Handling & Shipping*, v.2, p.17-20, 1962.

COOPER, L.: “An Extension of the Generalized Weber Problem”. *Journal of Regional Science*, v.8, n.2, p.181-197, 1968.

FREESE, T.: “Site Selection”. *The Logistics Handbook*, The Free Press, Nova Iorque, 1994.

HALL, A.: “Program Finds New Sites in Multi-Facility Location Problem”. *Industrial Engineering*, v.13, p.71-71, 1988.

HESKETT, J.: “Controlling Customer Logistics Service”. *International Journal of Physical Distribution*, v.1, n.3, p.140-145, 1971.

RANDALL, H.: “Is Outsourcing Right for You?”. *The Logistics Handbook*, The Free Press, Nova Iorque, 1994.

6. ANEXOS

ANEXO A – PLANILHA DE CUSTOS – DECOPE/NTC

Veículo	Fiat Ducato	Iveco Daily	Sprinter furgão	MBL 710/37	MBL 1218/51	MBL 1218/51	VW 13180	VW 15180	VW 17210	Cargo 4031	MBB 1938	MB LS 1634/45	Scania R124	Scania R124 6x2	Volvo NH 12
	Maxi Cargo	49.12	311D	c/Furgão	s/ 3º eixo	c/ 3º eixo	trucado	trucado	c/ 3º eixo	c/SR 2 eixos	c/SR 3 eixos	C/ S.R. 2 eixos	c/ S.R. 3 eixos	Tracionando	c/ S.R. 3 eixos
Tipo do Veículo	Van	Van	Van	3/4"	Toco	Truck	Truck	Truck	Truck	Carreta	Carrea	Carreta	Carreta	Carreta	Carreta
Quilometragem Mensal	4.000	4.000	4.000	4.000	8.712	8.712	8.712	8.712	8.712	9.233	9.233	9.233	9.848	9.848	10.000
CUSTOS FIXOS MENSAIS	3430,391275	3702,126567	3733,894449	4084,656614	5029,385853	5476,540125	5367,896676	5534,155526	5711,907459	7446,348513	10589,84686	9047,685923	11207,89363	13351,34369	10933,61717
Custo por dia parado (30 dias, 25% de administração)	154,2552736	154,2552736	155,5789354	170,1940256	209,5577439	228,1891719	223,6623615	230,5898136	237,9961441	310,2645214	441,2436192	376,9869135	466,9872348	556,305987	455,5673819
Custo por hora parada (230 h, 25% de administração)	20,12025308	20,12025308	20,29290461	22,19922073	27,33361877	29,76380502	29,1733515	30,07693221	31,04297532	40,4692854	57,55351555	49,1722061	60,91137845	72,56165047	59,42183242
a - Remuneração de capital	484,0629667	494,8083333	496,1552083	723,16205	1097,479283	1256,918	1024,5911	1283,444067	1364,7374	1347,104742	2778,656508	2231,620733	3049,73175	3741,699	2923,198417
b - Salário do motorista	1638,246063	1638,246063	1638,246063	1638,246063	1638,246063	1638,246063	1638,246063	1638,246063	1638,246063	2030,962706	2030,962706	2030,962706	2030,962706	2030,962706	2030,962706
c - Salário de oficina	160,5796452	160,5796452	160,5796452	330,0319304	412,539913	412,539913	412,539913	412,539913	412,539913	550,0532173	550,0532173	550,0532173	550,0532173	660,0638608	550,0532173
d - Reposição do veículo	684,9008	858,864	878,3766667	764,7198667	961,8955228	1057,956	60,40044444	1072,368889	1115,955556	1034,870476	1763,094286	1572,368571	2157,325952	2444,254365	2042,118096
e - Reposição da carroceria	0	0	0	117,2840093	194,7109444	228,8015185	1430,981481	228,8015185	228,8015185	675,4333333	766,9222733	434,8971867	522,2763333	898,4873333	522,2763333
f - Licenciamento	93,5951	115,0858333	117,7795833	80,00510417	117,6941667	117,6941667	5,469166667	120,1791667	129,5591667	149,6191667	245,0475	217,9847917	296,2691667	339,1566667	281,6691667
g - Seguro do casco do veículo	274,0900337	339,626025	347,8406156	344,6242572	520,2366269	677,80113	553,5062385	691,9925757	735,484509	1068,674448	1770,927976	1579,182817	2147,272166	2464,989228	2040,001099
h - Seguro do Equipamento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	477,963757	572,5157274	318,9492327	342,1356766	660,0638608	431,6714643
i - Seguro de responsabilidade civil facultativa	94,91666667	94,91666667	94,91666667	86,58333333	86,58333333	86,58333333	86,58333333	86,58333333	86,58333333	111,6666667	111,6666667	111,6666667	111,6666667	111,6666667	111,6666667
CUSTOS VARIÁVEIS POR KM	0,393110221	0,407907792	0,40474225	0,377582902	0,551801523	0,610234967	0,610456934	0,670735635	0,660638883	0,874796179	1,048641711	0,889179946	1,050406076	1,238439078	1,044805467
a - Peças, acessórios e materiais de manutenção	0,1274764	0,16019	0,163753125	0,1611903	0,107111318	0,125116804	0,100500689	0,126737902	0,131240657	0,16668201	0,255959786	0,210502394	0,264721568	0,319504569	0,24967
b - Combustíveis	0,198428571	0,1852	0,173625	0,173625	0,365526316	0,385833333	0,408529412	0,4340625	0,396857143	0,534230769	0,57875	0,534230769	0,57875	0,6945	0,57875
c - Lubrificantes	0,00160125	0,001785792	0,001760125	0,004241042	0,003812729	0,003812729	0,005954733	0,005954733	0,005780883	0,008201	0,007733125	0,007811583	0,009735708	0,009735708	0,010186667
d - Lavagem e lubrificação	0,0175	0,0175	0,0175	0,01475	0,02125	0,0290625	0,0290625	0,0290625	0,021875	0,03175	0,034	0,03175	0,034	0,0425	0,034
e - Pneus	0,048104	0,043232	0,048104	0,02377656	0,05410116	0,0664096	0,0664096	0,074918	0,1048852	0,1339324	0,1721988	0,1048852	0,1721988	0,1721988	0,1721988

Fonte: Departamento de Custos Operacionais e Pesquisas Econômicas - DECOPE/NTC - 25/08/2003

No cálculo dos custos operacionais diretos, a quilometragem é usada apenas no item Peças, Acessórios e Materiais de Manutenção

ANEXO B – PROGRAMAÇÃO/RESULTADOS LINGO (TODOS OS CENÁRIOS)

! *****C E N Á R I O 1 - U M A R M A Z É M *****;

Data:

!VOLdp,o volume do domicílio d para a planta p;

VOL11=	16382.21;	VOL61=	1599.56;
VOL12=	11772.36;	VOL62=	1246.93;
VOL13=	11712.30;	VOL63=	1526.85;
VOL14=	3753.94;	VOL64=	454.42 ;
VOL21=	3343.97;	VOL71=	1025.31;
VOL22=	2467.31;	VOL72=	776.91 ;
VOL23=	2214.25;	VOL73=	689.70 ;
VOL24=	753.15 ;	VOL74=	264.25 ;
VOL31=	60.57 ;	VOL81=	604.95 ;
VOL32=	42.40 ;	VOL82=	387.85 ;
VOL33=	42.53 ;	VOL83=	391.47 ;
VOL34=	16.11 ;	VOL84=	141.34 ;
VOL41=	4339.30;	VOL91=	0.54 ;
VOL42=	3133.43;	VOL92=	0.47 ;
VOL43=	3504.56;	VOL93=	0.00 ;
VOL44=	1141.92;	VOL94=	0.15 ;
VOL51=	1182.60;	VOL101=	1892.78;
VOL52=	854.95 ;	VOL102=	1295.69;
VOL53=	1092.17;	VOL103=	1701.71;
VOL54=	293.59 ;	VOL104=	497.58 ;

!Coordenadas geográficas das plantas;

Yp1 = -23.17;
Xp1 = -45.89;
Yp2 = -23.62;
Xp2 = -46.55;
Yp3 = -29.94;
Xp3 = -50.99;
Yp4 = -32.91;
Xp4 = -60.78;

!Coordenadas geográficas dos baricentros dos domicílios;

Yd1 = -23.65;
Xd1 = -46.57;
Yd2 = -23.02;
Xd2 = -45.48;
Yd3 = -21.40;
Xd3 = -48.37;
Yd4 = -22.79;
Xd4 = -47.18;
Yd5 = -23.37;
Xd5 = -47.28;
Yd6 = -22.69;
Xd6 = -46.00;
Yd7 = -20.49;
Xd7 = -44.68;
Yd8 = -25.53;
Xd8 = -49.21;
Yd9 = -26.82;
Xd9 = -49.27;
Yd10= -29.61;
Xd10= -51.74;

```

!Taxas de transporte consolidado e milk run;
CTC = 8.96126;
CMR = 25.82624;

```

```

enddata

```

```

!define variáveis de abertura dos armazéns como binárias;

```

```

@bin (F11);
@bin (F21);
@bin (F31);
@bin (F41);
@bin (F51);
@bin (F61);
@bin (F71);
@bin (F81);
@bin (F91);
@bin (F101);

```

```

!define que somente um armazém será aberto;

```

```

F11=1;
F21=1;
F31=1;
F41=1;
F51=1;
F61=1;
F71=1;
F81=1;
F91=1;
F101=1;

```

```

!permite coordenadas de localização dos armazéns serem negativas;

```

```

@free (Xa1);
@free (Ya1);

```

```

!função objetivo a ser minimizada:

```

```

- o primeiro bloco é o dos custos de transporte milk run domicílio d
-> armazém a
- o segundo bloco é o dos custos do transporte das carretas do
armazém a até à planta p;

```

```

MIN = (VOL11+VOL12+VOL13+VOL14)*F11*CMR*((Xd1-Xa1)^2+(Yd1-
Ya1)^2)^(1/2) +
(VOL21+VOL22+VOL23+VOL24)*F21*CMR*((Xd2-Xa1)^2+(Yd2-
Ya1)^2)^(1/2) +
(VOL31+VOL32+VOL33+VOL34)*F31*CMR*((Xd3-Xa1)^2+(Yd3-
Ya1)^2)^(1/2) +
(VOL41+VOL42+VOL43+VOL44)*F41*CMR*((Xd4-Xa1)^2+(Yd4-
Ya1)^2)^(1/2) +
(VOL51+VOL52+VOL53+VOL54)*F51*CMR*((Xd5-Xa1)^2+(Yd5-
Ya1)^2)^(1/2) +
(VOL61+VOL62+VOL63+VOL64)*F61*CMR*((Xd6-Xa1)^2+(Yd6-
Ya1)^2)^(1/2) +
(VOL71+VOL72+VOL73+VOL74)*F71*CMR*((Xd7-Xa1)^2+(Yd7-
Ya1)^2)^(1/2) +

```

$$\begin{aligned}
& (\text{VOL81}+\text{VOL82}+\text{VOL83}+\text{VOL84}) * \text{F81} * \text{CMR} * ((\text{Xd8}-\text{Xa1})^2 + (\text{Yd8}- \\
& \text{Ya1})^2)^{(1/2)} + \\
& (\text{VOL91}+\text{VOL92}+\text{VOL93}+\text{VOL94}) * \text{F91} * \text{CMR} * ((\text{Xd9}-\text{Xa1})^2 + (\text{Yd9}- \\
& \text{Ya1})^2)^{(1/2)} + \\
& (\text{VOL101}+\text{VOL102}+\text{VOL103}+\text{VOL104}) * \text{F101} * \text{CMR} * ((\text{Xd10}-\text{Xa1})^2 + (\text{Yd10}- \\
& \text{Ya1})^2)^{(1/2)} +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (\text{VOL11} * \text{F11} + \text{VOL21} * \text{F21} + \text{VOL31} * \text{F31} + \text{VOL41} * \text{F41} + \text{VOL51} * \text{F51} + \text{VOL61} * \text{F61} + \text{V} \\
& \text{OL71} * \text{F71} + \text{VOL81} * \text{F81} + \text{VOL91} * \text{F91} + \text{VOL101} * \text{F101}) * \text{CTC} * ((\text{Xa1}-\text{Xp1})^2 + (\text{Ya1}- \\
& \text{Yp1})^2)^{(1/2)} + \\
& (\text{VOL12} * \text{F11} + \text{VOL22} * \text{F21} + \text{VOL32} * \text{F31} + \text{VOL42} * \text{F41} + \text{VOL52} * \text{F51} + \text{VOL62} * \text{F61} + \text{V} \\
& \text{OL72} * \text{F71} + \text{VOL82} * \text{F81} + \text{VOL92} * \text{F91} + \text{VOL102} * \text{F101}) * \text{CTC} * ((\text{Xa1}-\text{Xp2})^2 + (\text{Ya1}- \\
& \text{Yp2})^2)^{(1/2)} + \\
& (\text{VOL13} * \text{F11} + \text{VOL23} * \text{F21} + \text{VOL33} * \text{F31} + \text{VOL43} * \text{F41} + \text{VOL53} * \text{F51} + \text{VOL63} * \text{F61} + \text{V} \\
& \text{OL73} * \text{F71} + \text{VOL83} * \text{F81} + \text{VOL93} * \text{F91} + \text{VOL103} * \text{F101}) * \text{CTC} * ((\text{Xa1}-\text{Xp3})^2 + (\text{Ya1}- \\
& \text{Yp3})^2)^{(1/2)} + \\
& (\text{VOL14} * \text{F11} + \text{VOL24} * \text{F21} + \text{VOL34} * \text{F31} + \text{VOL44} * \text{F41} + \text{VOL54} * \text{F51} + \text{VOL64} * \text{F61} + \text{V} \\
& \text{OL74} * \text{F71} + \text{VOL84} * \text{F81} + \text{VOL94} * \text{F91} + \text{VOL104} * \text{F101}) * \text{CTC} * ((\text{Xa1}-\text{Xp4})^2 + (\text{Ya1}- \\
& \text{Yp4})^2)^{(1/2)} ;
\end{aligned}$$

Local optimal solution found at iteration:
Objective value:

53
5243977.

Variable	Value	Reduced Cost
VOL11	16382.21	0.000000
VOL61	1599.560	0.000000
VOL12	11772.36	0.000000
VOL62	1246.930	0.000000
VOL13	11712.30	0.000000
VOL63	1526.850	0.000000
VOL14	3753.940	0.000000
VOL64	454.4200	0.000000
VOL21	3343.970	0.000000
VOL71	1025.310	0.000000
VOL22	2467.310	0.000000
VOL72	776.9100	0.000000
VOL23	2214.250	0.000000
VOL73	689.7000	0.000000
VOL24	753.1500	0.000000
VOL74	264.2500	0.000000
VOL31	60.57000	0.000000
VOL81	604.9500	0.000000
VOL32	42.40000	0.000000
VOL82	387.8500	0.000000
VOL33	42.53000	0.000000
VOL83	391.4700	0.000000
VOL34	16.11000	0.000000
VOL84	141.3400	0.000000
VOL41	4339.300	0.000000
VOL91	0.5400000	0.000000
VOL42	3133.430	0.000000
VOL92	0.4700000	0.000000
VOL43	3504.560	0.000000
VOL93	0.000000	0.000000
VOL44	1141.920	0.000000
VOL94	0.1500000	0.000000
VOL51	1182.600	0.000000
VOL101	1892.780	0.000000
VOL52	854.9500	0.000000
VOL102	1295.690	0.000000
VOL53	1092.170	0.000000
VOL103	1701.710	0.000000
VOL54	293.5900	0.000000
VOL104	497.5800	0.000000
YP1	-23.17000	0.000000
XP1	-45.89000	0.000000
YP2	-23.62000	0.000000
XP2	-46.55000	0.000000
YP3	-29.94000	0.000000
XP3	-50.99000	0.000000
YP4	-32.91000	0.000000
XP4	-60.78000	0.000000
YD1	-23.65000	0.000000
XD1	-46.57000	0.000000
YD2	-23.02000	0.000000
XD2	-45.48000	0.000000
YD3	-21.40000	0.000000

XD3	-48.37000	0.000000
YD4	-22.79000	0.000000
XD4	-47.18000	0.000000
YD5	-23.37000	0.000000
XD5	-47.28000	0.000000
YD6	-22.69000	0.000000
XD6	-46.00000	0.000000
YD7	-20.49000	0.000000
XD7	-44.68000	0.000000
YD8	-25.53000	0.000000
XD8	-49.21000	0.000000
YD9	-26.82000	0.000000
XD9	-49.27000	0.000000
YD10	-29.61000	0.000000
XD10	-51.74000	0.000000
CTC	8.961260	0.000000
CMR	25.82624	0.000000
F11	1.000000	0.000000
F21	1.000000	0.000000
F31	1.000000	0.000000
F41	1.000000	0.000000
F51	1.000000	0.000000
F61	1.000000	0.000000
F71	1.000000	0.000000
F81	1.000000	0.000000
F91	1.000000	0.000000
F101	1.000000	0.000000
XA1	-46.57001	1.027234
YA1	-23.65000	1.742381

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	0.000000	-1503451.
2	0.000000	-578189.8
3	0.000000	-17870.33
4	0.000000	-778383.6
5	0.000000	-196437.2
6	0.000000	-325793.3
7	0.000000	-357672.9
8	0.000000	-180786.0
9	0.000000	-151.7251
10	0.000000	-1305241.
11	5243977.	-1.000000

! ***** C E N Á R I O 2 - D O I S A R M A Z É N S *****;

Data:

!VOLdp,o volume do domicílio d para a planta p;

VOL11=	16382.21;	VOL61=	1599.56;
VOL12=	11772.36;	VOL62=	1246.93;
VOL13=	11712.30;	VOL63=	1526.85;
VOL14=	3753.94;	VOL64=	454.42 ;
VOL21=	3343.97;	VOL71=	1025.31;
VOL22=	2467.31;	VOL72=	776.91 ;
VOL23=	2214.25;	VOL73=	689.70 ;
VOL24=	753.15 ;	VOL74=	264.25 ;
VOL31=	60.57 ;	VOL81=	604.95 ;
VOL32=	42.40 ;	VOL82=	387.85 ;
VOL33=	42.53 ;	VOL83=	391.47 ;
VOL34=	16.11 ;	VOL84=	141.34 ;
VOL41=	4339.30;	VOL91=	0.54 ;
VOL42=	3133.43;	VOL92=	0.47 ;
VOL43=	3504.56;	VOL93=	0.00 ;
VOL44=	1141.92;	VOL94=	0.15 ;
VOL51=	1182.60;	VOL101=	1892.78;
VOL52=	854.95 ;	VOL102=	1295.69;
VOL53=	1092.17;	VOL103=	1701.71;
VOL54=	293.59 ;	VOL104=	497.58 ;

!Coordenadas geográficas das plantas;

Yp1 = -23.17;
Xp1 = -45.89;
Yp2 = -23.62;
Xp2 = -46.55;
Yp3 = -29.94;
Xp3 = -50.99;
Yp4 = -32.91;
Xp4 = -60.78;

!Coordenadas geográficas dos baricentros dos domicílios;

Yd1 = -23.65;
Xd1 = -46.57;
Yd2 = -23.02;
Xd2 = -45.48;
Yd3 = -21.40;
Xd3 = -48.37;
Yd4 = -22.79;
Xd4 = -47.18;
Yd5 = -23.37;
Xd5 = -47.28;
Yd6 = -22.69;
Xd6 = -46.00;
Yd7 = -20.49;
Xd7 = -44.68;
Yd8 = -25.53;
Xd8 = -49.21;
Yd9 = -26.82;
Xd9 = -49.27;
Yd10= -29.61;
Xd10= -51.74;

```

!Taxas de transporte consolidado e milk run;
CTC = 8.96126;
CMR = 25.82624;

enddata

!define variáveis de abertura dos armazéns como binárias;
@bin (F11);
@bin (F12);
@bin (F21);
@bin (F22);
@bin (F31);
@bin (F32);
@bin (F41);
@bin (F42);
@bin (F51);
@bin (F52);
@bin (F61);
@bin (F62);
@bin (F71);
@bin (F72);
@bin (F81);
@bin (F82);
@bin (F91);
@bin (F92);
@bin (F101);
@bin (F102);

!define que somente dois armazéns serão abertos, e que cada
domicílio será
atendido por um e somente um armazém;
F11+F12=1;
F21+F22=1;
F31+F32=1;
F41+F42=1;
F51+F52=1;
F61+F62=1;
F71+F72=1;
F81+F82=1;
F91+F92=1;
F101+F102=1;

!permite coordenadas de localização dos armazéns serem negativas;
@free (Xa1);
@free (Ya1);
@free (Xa2);
@free (Ya2);

!função objetivo a ser minimizada:
- o primeiro bloco é o dos custos de transporte milk run domicílio d
-> armazém a
- o segundo bloco é o dos custos do transporte das carretas do
armazém a até à planta p;

MIN = (VOL11+VOL12+VOL13+VOL14) *F11*CMR* ((Xd1-Xa1)^2+(Yd1-
Ya1)^2)^0.5 +

```


$$\begin{aligned}
& (\text{VOL13}*\text{F12}+\text{VOL23}*\text{F22}+\text{VOL33}*\text{F32}+\text{VOL43}*\text{F42}+\text{VOL53}*\text{F52}+\text{VOL63}*\text{F62}+\text{V} \\
& \text{OL73}*\text{F72}+\text{VOL83}*\text{F82}+\text{VOL93}*\text{F92}+\text{VOL103}*\text{F102}) * \text{CTC} * ((\text{Xa2}-\text{Xp3})^2 + (\text{Ya2}- \\
& \text{Yp3})^2)^{0.5} + \\
& (\text{VOL14}*\text{F12}+\text{VOL24}*\text{F22}+\text{VOL34}*\text{F32}+\text{VOL44}*\text{F42}+\text{VOL54}*\text{F52}+\text{VOL64}*\text{F62}+\text{V} \\
& \text{OL74}*\text{F72}+\text{VOL84}*\text{F82}+\text{VOL94}*\text{F92}+\text{VOL104}*\text{F102}) * \text{CTC} * ((\text{Xa2}-\text{Xp4})^2 + (\text{Ya2}- \\
& \text{Yp4})^2)^{0.5};
\end{aligned}$$

Local optimal solution found at iteration:
Objective value:

211
4765449.

Variable	Value	Reduced Cost
VOL11	16382.21	0.000000
VOL61	1599.560	0.000000
VOL12	11772.36	0.000000
VOL62	1246.930	0.000000
VOL13	11712.30	0.000000
VOL63	1526.850	0.000000
VOL14	3753.940	0.000000
VOL64	454.4200	0.000000
VOL21	3343.970	0.000000
VOL71	1025.310	0.000000
VOL22	2467.310	0.000000
VOL72	776.9100	0.000000
VOL23	2214.250	0.000000
VOL73	689.7000	0.000000
VOL24	753.1500	0.000000
VOL74	264.2500	0.000000
VOL31	60.57000	0.000000
VOL81	604.9500	0.000000
VOL32	42.40000	0.000000
VOL82	387.8500	0.000000
VOL33	42.53000	0.000000
VOL83	391.4700	0.000000
VOL34	16.11000	0.000000
VOL84	141.3400	0.000000
VOL41	4339.300	0.000000
VOL91	0.5400000	0.000000
VOL42	3133.430	0.000000
VOL92	0.4700000	0.000000
VOL43	3504.560	0.000000
VOL93	0.000000	0.000000
VOL44	1141.920	0.000000
VOL94	0.1500000	0.000000
VOL51	1182.600	0.000000
VOL101	1892.780	0.000000
VOL52	854.9500	0.000000
VOL102	1295.690	0.000000
VOL53	1092.170	0.000000
VOL103	1701.710	0.000000
VOL54	293.5900	0.000000
VOL104	497.5800	0.000000
YP1	-23.17000	0.000000
XP1	-45.89000	0.000000
YP2	-23.62000	0.000000
XP2	-46.55000	0.000000
YP3	-29.94000	0.000000
XP3	-50.99000	0.000000
YP4	-32.91000	0.000000
XP4	-60.78000	0.000000
YD1	-23.65000	0.000000
XD1	-46.57000	0.000000
YD2	-23.02000	0.000000
XD2	-45.48000	0.000000
YD3	-21.40000	0.000000

XD3	-48.37000	0.000000
YD4	-22.79000	0.000000
XD4	-47.18000	0.000000
YD5	-23.37000	0.000000
XD5	-47.28000	0.000000
YD6	-22.69000	0.000000
XD6	-46.00000	0.000000
YD7	-20.49000	0.000000
XD7	-44.68000	0.000000
YD8	-25.53000	0.000000
XD8	-49.21000	0.000000
YD9	-26.82000	0.000000
XD9	-49.27000	0.000000
YD10	-29.61000	0.000000
XD10	-51.74000	0.000000
CTC	8.961260	0.000000
CMR	25.82624	0.000000
F11	0.000000	0.000000
F12	1.000000	0.000000
F21	0.000000	0.000000
F22	1.000000	0.000000
F31	1.000000	0.000000
F32	0.000000	0.000000
F41	1.000000	0.000000
F42	0.000000	0.000000
F51	0.000000	0.000000
F52	1.000000	0.000000
F61	0.000000	0.000000
F62	1.000000	0.000000
F71	1.000000	0.000000
F72	0.000000	0.000000
F81	0.000000	0.000000
F82	1.000000	0.000000
F91	0.000000	0.000000
F92	1.000000	0.000000
F101	0.000000	0.000000
F102	1.000000	0.000000
XA1	-47.18001	0.000000
YA1	-22.79001	0.000000
XA2	-46.57001	0.000000
YA2	-23.65000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	0.000000	0.000000
2	0.000000	-727447.2
3	0.000000	-14298.15
4	0.000000	-778385.1
5	0.000000	-196437.5
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000
8	0.000000	-180785.9
9	0.000000	-151.7236
10	0.000000	0.000000
11	4965449.	-1.000000

!***** C E N Á R I O 3 - T R Ê S A R M A Z É N S *****;

Data:

!VOLdp,o volume do domicílio d para a planta p;

VOL11=	16382.21;	VOL61=	1599.56;
VOL12=	11772.36;	VOL62=	1246.93;
VOL13=	11712.30;	VOL63=	1526.85;
VOL14=	3753.94;	VOL64=	454.42 ;
VOL21=	3343.97;	VOL71=	1025.31;
VOL22=	2467.31;	VOL72=	776.91 ;
VOL23=	2214.25;	VOL73=	689.70 ;
VOL24=	753.15 ;	VOL74=	264.25 ;
VOL31=	60.57 ;	VOL81=	604.95 ;
VOL32=	42.40 ;	VOL82=	387.85 ;
VOL33=	42.53 ;	VOL83=	391.47 ;
VOL34=	16.11 ;	VOL84=	141.34 ;
VOL41=	4339.30;	VOL91=	0.54 ;
VOL42=	3133.43;	VOL92=	0.47 ;
VOL43=	3504.56;	VOL93=	0.00 ;
VOL44=	1141.92;	VOL94=	0.15 ;
VOL51=	1182.60;	VOL101=	1892.78;
VOL52=	854.95 ;	VOL102=	1295.69;
VOL53=	1092.17;	VOL103=	1701.71;
VOL54=	293.59 ;	VOL104=	497.58 ;

!Coordenadas geográficas das plantas;

Yp1 = -23.17;
Xp1 = -45.89;
Yp2 = -23.62;
Xp2 = -46.55;
Yp3 = -29.94;
Xp3 = -50.99;
Yp4 = -32.91;
Xp4 = -60.78;

!Coordenadas geográficas dos baricentros dos domicílios;

Yd1 = -23.65;
Xd1 = -46.57;
Yd2 = -23.02;
Xd2 = -45.48;
Yd3 = -21.40;
Xd3 = -48.37;
Yd4 = -22.79;
Xd4 = -47.18;
Yd5 = -23.37;
Xd5 = -47.28;
Yd6 = -22.69;
Xd6 = -46.00;
Yd7 = -20.49;
Xd7 = -44.68;
Yd8 = -25.53;
Xd8 = -49.21;
Yd9 = -26.82;
Xd9 = -49.27;
Yd10= -29.61;
Xd10= -51.74;

```

!Taxas de transporte consolidado e milk run;
CTC = 8.96126;
CMR = 25.82624;

enddata

!define variáveis de abertura dos armazéns como binárias;
@bin (F11);
@bin (F12);
@bin (F13);
@bin (F21);
@bin (F22);
@bin (F23);
@bin (F31);
@bin (F32);
@bin (F33);
@bin (F41);
@bin (F42);
@bin (F43);
@bin (F51);
@bin (F52);
@bin (F53);
@bin (F61);
@bin (F62);
@bin (F63);
@bin (F71);
@bin (F72);
@bin (F73);
@bin (F81);
@bin (F82);
@bin (F83);
@bin (F91);
@bin (F92);
@bin (F93);
@bin (F101);
@bin (F102);
@bin (F103);

!define que somente dois armazéns serão abertos, e que cada
domicílio será
atendido por um e somente um armazém;
F11+F12+F13=1;
F21+F22+F23=1;
F31+F32+F33=1;
F41+F42+F43=1;
F51+F52+F53=1;
F61+F62+F63=1;
F71+F72+F73=1;
F81+F82+F83=1;
F91+F92+F93=1;
F101+F102+F103=1;

!permite coordenadas de localização dos armazéns serem negativas;
@free (Xa1);
@free (Ya1);
@free (Xa2);
@free (Ya2);

```

```
@free (Xa3);  
@free (Ya3);
```

!função objetivo a ser minimizada:
- o primeiro bloco é o dos custos de transporte milk run domicílio d
-> armazém a
- o segundo bloco é o dos custos do transporte das carretas do
armazém a até à planta p;

```
MIN = (VOL11+VOL12+VOL13+VOL14)*F11*CMR*((Xd1-Xa1)^2+(Yd1-  
Ya1)^2)^0.5) +  
      (VOL21+VOL22+VOL23+VOL24)*F21*CMR*((Xd2-Xa1)^2+(Yd2-  
Ya1)^2)^0.5) +  
      (VOL31+VOL32+VOL33+VOL34)*F31*CMR*((Xd3-Xa1)^2+(Yd3-  
Ya1)^2)^0.5) +  
      (VOL41+VOL42+VOL43+VOL44)*F41*CMR*((Xd4-Xa1)^2+(Yd4-  
Ya1)^2)^0.5) +  
      (VOL51+VOL52+VOL53+VOL54)*F51*CMR*((Xd5-Xa1)^2+(Yd5-  
Ya1)^2)^0.5) +  
      (VOL61+VOL62+VOL63+VOL64)*F61*CMR*((Xd6-Xa1)^2+(Yd6-  
Ya1)^2)^0.5) +  
      (VOL71+VOL72+VOL73+VOL74)*F71*CMR*((Xd7-Xa1)^2+(Yd7-  
Ya1)^2)^0.5) +  
      (VOL81+VOL82+VOL83+VOL84)*F81*CMR*((Xd8-Xa1)^2+(Yd8-  
Ya1)^2)^0.5) +  
      (VOL91+VOL92+VOL93+VOL94)*F91*CMR*((Xd9-Xa1)^2+(Yd9-  
Ya1)^2)^0.5) +  
      (VOL101+VOL102+VOL103+VOL104)*F101*CMR*((Xd10-Xa1)^2+(Yd10-  
Ya1)^2)^0.5) +  
      (VOL11+VOL12+VOL13+VOL14)*F12*CMR*((Xd1-Xa2)^2+(Yd1-  
Ya2)^2)^0.5) +  
      (VOL21+VOL22+VOL23+VOL24)*F22*CMR*((Xd2-Xa2)^2+(Yd2-  
Ya2)^2)^0.5) +  
      (VOL31+VOL32+VOL33+VOL34)*F32*CMR*((Xd3-Xa2)^2+(Yd3-  
Ya2)^2)^0.5) +  
      (VOL41+VOL42+VOL43+VOL44)*F42*CMR*((Xd4-Xa2)^2+(Yd4-  
Ya2)^2)^0.5) +  
      (VOL51+VOL52+VOL53+VOL54)*F52*CMR*((Xd5-Xa2)^2+(Yd5-  
Ya2)^2)^0.5) +  
      (VOL61+VOL62+VOL63+VOL64)*F62*CMR*((Xd6-Xa2)^2+(Yd6-  
Ya2)^2)^0.5) +  
      (VOL71+VOL72+VOL73+VOL74)*F72*CMR*((Xd7-Xa2)^2+(Yd7-  
Ya2)^2)^0.5) +  
      (VOL81+VOL82+VOL83+VOL84)*F82*CMR*((Xd8-Xa2)^2+(Yd8-  
Ya2)^2)^0.5) +  
      (VOL91+VOL92+VOL93+VOL94)*F92*CMR*((Xd9-Xa2)^2+(Yd9-  
Ya2)^2)^0.5) +  
      (VOL101+VOL102+VOL103+VOL104)*F102*CMR*((Xd10-Xa2)^2+(Yd10-  
Ya2)^2)^0.5) +  
      (VOL11+VOL12+VOL13+VOL14)*F13*CMR*((Xd1-Xa3)^2+(Yd1-  
Ya3)^2)^0.5) +  
      (VOL21+VOL22+VOL23+VOL24)*F23*CMR*((Xd2-Xa3)^2+(Yd2-  
Ya3)^2)^0.5) +  
      (VOL31+VOL32+VOL33+VOL34)*F33*CMR*((Xd3-Xa3)^2+(Yd3-  
Ya3)^2)^0.5) +  
      (VOL41+VOL42+VOL43+VOL44)*F43*CMR*((Xd4-Xa3)^2+(Yd4-  
Ya3)^2)^0.5) +
```

$$\begin{aligned}
& (VOL51+VOL52+VOL53+VOL54) * F53 * CMR * ((X_{d5}-X_{a3})^2 + (Y_{d5}-Y_{a3})^2)^{0.5} + \\
& (VOL61+VOL62+VOL63+VOL64) * F63 * CMR * ((X_{d6}-X_{a3})^2 + (Y_{d6}-Y_{a3})^2)^{0.5} + \\
& (VOL71+VOL72+VOL73+VOL74) * F73 * CMR * ((X_{d7}-X_{a3})^2 + (Y_{d7}-Y_{a3})^2)^{0.5} + \\
& (VOL81+VOL82+VOL83+VOL84) * F83 * CMR * ((X_{d8}-X_{a3})^2 + (Y_{d8}-Y_{a3})^2)^{0.5} + \\
& (VOL91+VOL92+VOL93+VOL94) * F93 * CMR * ((X_{d9}-X_{a3})^2 + (Y_{d9}-Y_{a3})^2)^{0.5} + \\
& (VOL101+VOL102+VOL103+VOL104) * F103 * CMR * ((X_{d10}-X_{a3})^2 + (Y_{d10}-Y_{a3})^2)^{0.5} +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (VOL11 * F11 + VOL21 * F21 + VOL31 * F31 + VOL41 * F41 + VOL51 * F51 + VOL61 * F61 + VOL71 * F71 + VOL81 * F81 + VOL91 * F91 + VOL101 * F101) * CTC * ((X_{a1}-X_{p1})^2 + (Y_{a1}-Y_{p1})^2)^{1/2} + \\
& (VOL12 * F11 + VOL22 * F21 + VOL32 * F31 + VOL42 * F41 + VOL52 * F51 + VOL62 * F61 + VOL72 * F71 + VOL82 * F81 + VOL92 * F91 + VOL102 * F101) * CTC * ((X_{a1}-X_{p2})^2 + (Y_{a1}-Y_{p2})^2)^{1/2} + \\
& (VOL13 * F11 + VOL23 * F21 + VOL33 * F31 + VOL43 * F41 + VOL53 * F51 + VOL63 * F61 + VOL73 * F71 + VOL83 * F81 + VOL93 * F91 + VOL103 * F101) * CTC * ((X_{a1}-X_{p3})^2 + (Y_{a1}-Y_{p3})^2)^{1/2} + \\
& (VOL14 * F11 + VOL24 * F21 + VOL34 * F31 + VOL44 * F41 + VOL54 * F51 + VOL64 * F61 + VOL74 * F71 + VOL84 * F81 + VOL94 * F91 + VOL104 * F101) * CTC * ((X_{a1}-X_{p4})^2 + (Y_{a1}-Y_{p4})^2)^{1/2} + \\
& (VOL11 * F12 + VOL21 * F22 + VOL31 * F32 + VOL41 * F42 + VOL51 * F52 + VOL61 * F62 + VOL71 * F72 + VOL81 * F82 + VOL91 * F92 + VOL101 * F102) * CTC * ((X_{a2}-X_{p1})^2 + (Y_{a2}-Y_{p1})^2)^{1/2} + \\
& (VOL12 * F12 + VOL22 * F22 + VOL32 * F32 + VOL42 * F42 + VOL52 * F52 + VOL62 * F62 + VOL72 * F72 + VOL82 * F82 + VOL92 * F92 + VOL102 * F102) * CTC * ((X_{a2}-X_{p2})^2 + (Y_{a2}-Y_{p2})^2)^{1/2} + \\
& (VOL13 * F12 + VOL23 * F22 + VOL33 * F32 + VOL43 * F42 + VOL53 * F52 + VOL63 * F62 + VOL73 * F72 + VOL83 * F82 + VOL93 * F92 + VOL103 * F102) * CTC * ((X_{a2}-X_{p3})^2 + (Y_{a2}-Y_{p3})^2)^{1/2} + \\
& (VOL14 * F12 + VOL24 * F22 + VOL34 * F32 + VOL44 * F42 + VOL54 * F52 + VOL64 * F62 + VOL74 * F72 + VOL84 * F82 + VOL94 * F92 + VOL104 * F102) * CTC * ((X_{a2}-X_{p4})^2 + (Y_{a2}-Y_{p4})^2)^{1/2} + \\
& (VOL11 * F13 + VOL21 * F23 + VOL31 * F33 + VOL41 * F43 + VOL51 * F53 + VOL61 * F63 + VOL71 * F73 + VOL81 * F83 + VOL91 * F93 + VOL101 * F103) * CTC * ((X_{a3}-X_{p1})^2 + (Y_{a3}-Y_{p1})^2)^{1/2} + \\
& (VOL12 * F13 + VOL22 * F23 + VOL32 * F33 + VOL42 * F43 + VOL52 * F53 + VOL62 * F63 + VOL72 * F73 + VOL82 * F83 + VOL92 * F93 + VOL102 * F103) * CTC * ((X_{a3}-X_{p2})^2 + (Y_{a3}-Y_{p2})^2)^{1/2} + \\
& (VOL13 * F13 + VOL23 * F23 + VOL33 * F33 + VOL43 * F43 + VOL53 * F53 + VOL63 * F63 + VOL73 * F73 + VOL83 * F83 + VOL93 * F93 + VOL103 * F103) * CTC * ((X_{a3}-X_{p3})^2 + (Y_{a3}-Y_{p3})^2)^{1/2} + \\
& (VOL14 * F13 + VOL24 * F23 + VOL34 * F33 + VOL44 * F43 + VOL54 * F53 + VOL64 * F63 + VOL74 * F73 + VOL84 * F83 + VOL94 * F93 + VOL104 * F103) * CTC * ((X_{a3}-X_{p4})^2 + (Y_{a3}-Y_{p4})^2)^{1/2};
\end{aligned}$$

Local optimal solution found at iteration:

249

Objective value:

4083967.

Cost	Variable	Value	Reduced
	VOL11	16382.21	0.000000
	VOL61	1599.560	0.000000
	VOL12	11772.36	0.000000
	VOL62	1246.930	0.000000
	VOL13	11712.30	0.000000
	VOL63	1526.850	0.000000
	VOL14	3753.940	0.000000
	VOL64	454.4200	0.000000
	VOL21	3343.970	0.000000
	VOL71	1025.310	0.000000
	VOL22	2467.310	0.000000
	VOL72	776.9100	0.000000
	VOL23	2214.250	0.000000
	VOL73	689.7000	0.000000
	VOL24	753.1500	0.000000
	VOL74	264.2500	0.000000
	VOL31	60.57000	0.000000
	VOL81	604.9500	0.000000
	VOL32	42.40000	0.000000
	VOL82	387.8500	0.000000
	VOL33	42.53000	0.000000
	VOL83	391.4700	0.000000
	VOL34	16.11000	0.000000
	VOL84	141.3400	0.000000
	VOL41	4339.300	0.000000
	VOL91	0.5400000	0.000000
	VOL42	3133.430	0.000000
	VOL92	0.4700000	0.000000
	VOL43	3504.560	0.000000
	VOL93	0.000000	0.000000
	VOL44	1141.920	0.000000
	VOL94	0.1500000	0.000000
	VOL51	1182.600	0.000000
	VOL101	1892.780	0.000000
	VOL52	854.9500	0.000000
	VOL102	1295.690	0.000000
	VOL53	1092.170	0.000000
	VOL103	1701.710	0.000000
	VOL54	293.5900	0.000000
	VOL104	497.5800	0.000000
	YP1	-23.17000	0.000000
	XP1	-45.89000	0.000000
	YP2	-23.62000	0.000000
	XP2	-46.55000	0.000000
	YP3	-29.94000	0.000000
	XP3	-50.99000	0.000000
	YP4	-32.91000	0.000000
	XP4	-60.78000	0.000000
	YD1	-23.65000	0.000000
	XD1	-46.57000	0.000000
	YD2	-23.02000	0.000000
	XD2	-45.48000	0.000000

0.1141158E+08

YD3	-21.40000	0.000000
XD3	-48.37000	0.000000
YD4	-22.79000	0.000000
XD4	-47.18000	0.000000
YD5	-23.37000	0.000000
XD5	-47.28000	0.000000
YD6	-22.69000	0.000000
XD6	-46.00000	0.000000
YD7	-20.49000	0.000000
XD7	-44.68000	0.000000
YD8	-25.53000	0.000000
XD8	-49.21000	0.000000
YD9	-26.82000	0.000000
XD9	-49.27000	0.000000
YD10	-29.61000	0.000000
XD10	-51.74000	0.000000
CTC	8.961260	0.000000
CMR	25.82624	0.000000
F11	0.000000	3153063.
F12	1.000000	1503454.
F13	0.000000	
F21	1.000000	338687.9
F22	0.000000	578190.7
F23	0.000000	2577900.
F31	1.000000	444624.2
F32	0.000000	723123.7
F33	0.000000	2333344.
F41	1.000000	1052580.
F42	0.000000	778383.8
F43	0.000000	3252889.
F51	0.000000	310649.3
F52	1.000000	0.000000
F53	0.000000	864380.0
F61	1.000000	291970.5
F62	0.000000	325793.7
F63	0.000000	1384670.
F71	1.000000	299242.5
F72	0.000000	357673.2
F73	0.000000	983933.2
F81	0.000000	0.000000
F82	1.000000	-57091.23
F83	0.000000	0.000000
F91	0.000000	0.000000
F92	0.000000	445533.5
F93	1.000000	653232.3
F101	0.000000	1502511.
F102	0.000000	1305241.
F103	1.000000	295005.6
XA1	-23.02000	0.000000
YA1	-45.48002	0.000000
XA2	-23.65000	0.000000
YA2	-46.57001	-4375.583
XA3	-29.61001	0.000000
YA3	-51.74001	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
-----	------------------	------------

1	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000
9	2.000000	0.000000
10	3.000000	0.000000
11	0.000000	0.000000
12	3883967.	-1.000000

