

PROJETO DE GRADUAÇÃO

ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DAS ROTAS DE DISTRIBUIÇÃO DOS PRODUTOS DE UMA EMPRESA

Por,
Aline Cardoso Goulart

Brasília, 03 de Dezembro de 2015

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA
NÚCLEO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Núcleo de Engenharia de Produção

PROJETO DE GRADUAÇÃO

ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DAS ROTAS DE DISTRIBUIÇÃO DOS PRODUTOS DE UMA EMPRESA

POR,

Aline Cardoso Goulart

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenharia de Produção.

Banca Examinadora

Prof. Reinaldo Crispiano Garcia, UnB/ NEPR
(Orientador)

Prof. João Mello da Silva, UnB/ NEPR

Brasília, 03 de Dezembro de 2015

RESUMO

A logística vem assumindo um papel de elemento diferenciador para a melhoria da competitividade das empresas, ao permitir elevar o nível de serviços oferecido e ao mesmo tempo proporcionar condições que minimizem os custos de operação. Dentre as atividades da logística, ressalta-se a roteirização e programação como diferencial para garantir competitividade no mercado. Atualmente, existe no mercado uma grande oferta de softwares de roteirização. No entanto, o alto custo relacionado à implementação de um software destes acaba por inviabilizar sua implementação em pequenas e microempresas, perdendo competitividade para outras de médio e grande porte. Baseando-se nesta problemática, este trabalho, por meio de um estudo de caso, analisará a aplicabilidade da roteirização em pequenas empresas, a fim de que estas possam definir suas rotas e programar seus veículos de forma otimizada, não perdendo competitividade frente a médias e grandes empresas, em virtude de altos custos relacionados à aquisição de softwares específicos de roteirização.

Palavras-chave: roteirização e programação de veículos, roteirizadores, pequenas empresas

ABSTRACT

Logistics has gained increasingly importance in improving the competitiveness of companies by allowing raising the level of services offered and, at the same time, providing conditions to minimize operational costs. Among the logistics activities, the vehicle routing and scheduling can be highlighted as a differential in order to ensure market competitiveness. Currently, there is a wide range of routing software on the market. However, the high cost related to its implementation results in an unfeasible solution for micro and small businesses, which might lose competitiveness to medium and large ones. Therefore, by using a case study, this study will examine the applicability of routing in small businesses, in order to optimally define their routes and schedule their vehicles, without losing competitiveness to medium and large businesses due to the high costs related to the acquisition of specific routing software.

Keywords: vehicle routing and scheduling, routing software, small businesses

SUMÁRIO

1	Introdução	8
2	Metodologia de Estudo	9
3	Revisão Bibliográfica.....	10
3.1	Distribuição Física	10
3.2	Roteirização e Programação de Veículos	12
3.2.1	Classificação dos Problemas de Roteirização	15
3.2.2	Métodos de Solução	18
3.2.3	Softwares	22
4	Implementação do Modelo.....	26
4.1	Algoritmo Utilizado.....	26
4.2	Rotimiza	28
5	Estudo de Caso.....	34
5.1	Caracterização da Empresa.....	34
5.2	Modelo Atual de Distribuição	34
5.3	Aplicação do Algoritmo e Resultados	37
6	Conclusão	43
	Referências Bibliográficas	45
	Apêndices.....	47

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 4.1 - Página inicial do Rotimiza</i>	28
<i>Figura 4.2 - Cadastro de Clientes</i>	28
<i>Figura 4.3 - Opções de comandos em cadastro de clientes</i>	29
<i>Figura 4.4 - Cadastrar novos clientes</i>	29
<i>Figura 4.5 - Editar cliente existente</i>	30
<i>Figura 4.6 - Excluir cliente existente</i>	30
<i>Figura 4.7 - Cadastro de paradas</i>	31
<i>Figura 4.8 - Formulário para cadastrar paradas</i>	31
<i>Figura 4.9 - Configurações da roteirização</i>	32
<i>Figura 4.10 - Roteiros otimizados</i>	33
<i>Figura 4.11 - Visualização Geográfica</i>	34
<i>Figura 5.1 - Mural de programação de entregas</i>	35
<i>Figura 5.2 - Dispersão das entregas na semana</i>	36
<i>Figura 5.3 - Configurações da Simulação 1</i>	37
<i>Figura 5.4 - Relatório resumido da Simulação 1</i>	38
<i>Figura 5.5 - Visualização geográfica da Simulação 1</i>	39
<i>Figura 5.6 - Configurações da Simulação 2</i>	40
<i>Figura 5.7 - Relatório resumido da Simulação 2</i>	40
<i>Figura 5.8 - Configurações da Simulação 3</i>	41
<i>Figura 5.9 - Relatório resumido da Simulação 3</i>	41
<i>Figura 5.10 - Resultado final da otimização</i>	42
<i>Figura 5.11 - Visualização geográfica da otimização final</i>	43

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 3.1 - Fatores que influenciam na distribuição física.....</i>	11
<i>Tabela 3.2 - Características dos problemas de roteirização e programação.....</i>	14
<i>Tabela 3.3 - Características dos problemas de roteirização pura.....</i>	17
<i>Tabela 3.4 - Principais características dos sistemas de roteirização e programação</i>	23
<i>Tabela 3.5 - Recursos, restrições e condicionantes de um roteirizador</i>	24
<i>Tabela 3.6 - Funções objetivo, relatórios, SIG, tecnologias integradas e outras características dos roteirizadores</i>	25
<i>Tabela 5.1 - Informações gerais do roteiro semanal realizado</i>	36

LISTA DE SÍMBOLOS

Siglas

<i>PCV</i>	Problema do Caixeiro Viajante
<i>RPV</i>	Roteirização e Programação de Veículos
<i>SIG</i>	Sistema de Informação Geográfica
<i>GPS</i>	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global)
<i>CEP</i>	Código de Endereçamento Postal
<i>WMS</i>	<i>Warehouse Management System</i> (Sistema de Gerenciamento de Armazém)
<i>EDI</i>	<i>Electronic Data Interchange</i> (Troca Eletrônica de Dados)
<i>CD</i>	Centro de Distribuição
<i>PRV</i>	Problema de Roteirização de Veículos
<i>PDV</i>	Ponto de Venda

1 Introdução

Manter-se em um mercado cada vez mais dinâmico e volátil requer bons conhecimentos de gestão, otimização de recursos e processos a fim de garantir adaptabilidade e competitividade perante aos concorrentes. Entende-se por vantagem competitiva a estratégia adotada por uma empresa que lhe proporcione uma posição diferenciada no mercado frente a seus concorrentes. Segundo Porter (1992), a criação e sustentação de uma vantagem competitiva está relacionada à capacidade da organização de se diferenciar de seus concorrentes aos olhos do cliente e à sua capacidade de operar a baixo custo e, portanto, com lucro maior. A fim de buscar maior competitividade no mercado, algumas questões se tornaram essenciais para as organizações, como por exemplo a distribuição e acessibilidade dos clientes a seus produtos bem como os níveis de serviço oferecidos.

Desse modo, a logística, vem assumindo um papel de elemento diferenciador para a melhoria da competitividade das empresas ao permitir elevar o nível de serviços oferecido e ao mesmo tempo proporcionar condições que minimizem os custos de operação. Além disso, o gerenciamento das operações logísticas possibilita elevar a logística como função de ganho da vantagem tanto em custo quanto em valor (Christopher, 2007).

A distribuição física de produtos, como uma das principais atividades da logística, é responsável pelos processos que permitem transferir os produtos desde os locais de fabricação até o cliente ou consumidor final, no momento certo e com o nível de serviço desejado, pelo menor custo (Novaes, 2007). Dentre as atividades de distribuição física, ressalta-se a roteirização como o processo de determinação de um ou mais roteiros ou sequências de paradas a serem cumpridos pela frota disponível, com o objetivo de atender um conjunto de pontos geograficamente dispersos e pré-determinados (Cunha, 2000). Chopra e Meindl (2003) defendem a definição de rotas e cronograma de entregas, como a decisão operacional mais importante que diz respeito à cadeia de suprimentos, visto que uma boa roteirização possibilita a redução de custos logísticos e proporciona melhorias nos níveis de serviço, por meio da otimização das distâncias e do tempo de entrega dos pontos de atendimento.

Apesar dos grandes benefícios consequentes de uma roteirização eficiente e eficaz, esta pode caracterizar-se como um processo complexo, com uma ampla quantidade de restrições, como exigências de prazos, datas e horários de entrega, problemas relacionados a trânsito, acesso e

circulação, e aumento na frequência das entregas. Tal complexidade é refletida na busca cada vez maior por tecnologias que auxiliem a empresa com seu processo de roteirização.

Atualmente, existe no mercado uma grande oferta de softwares de roteirização. Entretanto, o alto custo relacionado à implementação de um software destes acaba por inviabilizar sua implementação em pequenas e microempresas, perdendo competitividade para outras de médio e grande porte. Baseando-se nesta problemática, este trabalho, por meio de um estudo de caso, analisará a aplicabilidade da roteirização em micro e pequenas empresas, a fim de que estas possam definir suas rotas e programar seus veículos de forma otimizada. Dessa forma, cria-se a possibilidade de organizações deste porte não perderem competitividade frente a médias e grandes empresas devido a altos custos relacionados à aquisição de softwares específicos de roteirização.

2 Metodologia de Estudo

Vergara (2000) propôs dois critérios básicos para classificação de uma pesquisa: quantos aos fins e quantos aos meios. Quanto aos fins, este estudo pode ser classificado como exploratório e aplicado. Exploratório visto a necessidade de entendimento e levantamento dos dados necessários a serem utilizados e aplicado visto que objetiva soluções para problemas reais e concretos de uma organização. Quanto aos meios, o estudo de caso é a classificação ideal para este trabalho.

De acordo com Gil (1991), o estudo de caso se fundamenta na ideia de que a análise de uma unidade de determinado universo possibilita a compreensão da generalidade do mesmo ou, pelo menos, o estabelecimento de bases para uma investigação posterior, mais sistemática e precisa. Dessa forma, o estudo de caso visa proporcionar certa vivência da realidade, tendo por base a discussão, a análise e a busca de solução de um determinado problema extraído da vida real.

Primeiramente, foi feita uma revisão bibliográfica acerca de distribuição física, roteirização e programação de veículos. Com base no conteúdo estudado, coletou-se os dados na empresa a ser analisada no estudo de caso. Com a análise dos dados levantados, propôs-se um algoritmo para melhoria do problema, e por fim, foi feita a análise de resultados com base na aplicação do algoritmo proposto.

3 Revisão Bibliográfica

3.1 Distribuição Física

A distribuição física é o ramo da logística que aborda atividades como movimentação, estocagem e processamento de pedidos dos produtos finais (Ballou, 2009). Desse modo, pode-se caracterizar quase sempre como a atividade mais importante em termos de custos para as empresas, representando cerca de dois terços dos custos logísticos totais.

Novaes (2007) define, como objetivo central da distribuição física, levar os produtos certos para os lugares certos, no momento certo e com o nível de serviço desejável, pelo menor custo possível. Bowersox e Closs (2001) complementam que é a distribuição física responsável pela concretização do vínculo entre a empresa e seus clientes.

A distribuição física abrange os segmentos que vão desde a saída do produto na fábrica até sua entrega final ao cliente (Novaes, 2007). Dentre as formas de distribuição mais comuns tem-se o produto despachado da fábrica para o depósito de um atacadista, transportado do fabricante para o centro de distribuição do varejista ou os casos em que o fabricante abastece diretamente a loja de varejo.

Novaes (2007) resume a distribuição física em duas configurações básicas: distribuição “um para um” e “um para muitos”. A distribuição “um para um” caracteriza-se pelo veículo totalmente carregado, transportando a carga para um outro ponto de destino. Já na distribuição “um para muitos” ou compartilhada, o veículo é carregado com mercadorias destinadas a diversas lojas ou clientes, executando um roteiro de entregas predeterminado para diferentes lojas e clientes. Na distribuição “um para um”, nota-se um melhor aproveitamento do espaço interno do baú do veículo, acomodando-se a carga nos espaços disponíveis, visando o melhor aproveitamento possível de sua capacidade, visto que este fará apenas uma entrega a um determinado cliente. Já na distribuição “um para muitos”, a escolha de veículo é determinada de acordo com a distância da zona de entrega, densidade espacial, tempo médio de parada em cada cliente, quantidade média de mercadoria entregue, velocidade média do percurso e ordem de entregas, por exemplo.

Santos (2008 apud Novaes, 2007) sintetiza na Tabela 3.1 alguns fatores que podem influenciar na distribuição física.

Fatores	Distribuição “Um para Um”	Distribuição “Um para Muitos”
Distância entre o ponto de origem e destino	Do depósito ou base até o cliente. Condiciona a escolha do tipo de veículo, o dimensionamento da frota e o cálculo do frete.	Do depósito até o bolsão (divisão da região a ser atendida em zonas de entrega) destinado ao veículo. Distâncias maiores induzem à saída prioritária da base.
Velocidade operacional ou média	Entre pontos de origem e destino e calculada entre a saída e a chegada no cliente. Não inclui tempos de carga e descarga na origem e destino.	Dividida entre as velocidades do depósito e o bolsão e dentro do bolsão. Estas pesam sobremaneira na produtividade da frota e são de difícil controle pelo gestor da distribuição.
Tempos que influenciam na produtividade.	Tempo de carga e descarga, que inclui espera no cliente, pesagem, conferência, emissão de documentos e liberação do veículo. Influencia na produtividade para curtas distâncias. Tempo porta a porta: entre chegadas a diferentes destinos (inclui o tempo no trajeto e no cliente). Sua variabilidade afeta negativamente o nível de serviço.	Tempo de parada em cada cliente, que inclui o acerto financeiro, a conferência da entrega pelo cliente, e o tempo de carga e descarga da mercadoria. Influencia decisivamente no tempo de ciclo, que é o necessário para completar o roteiro e voltar ao depósito. Frequência das visitas às lojas ou clientes (se diária, bi ou tri-semanal). Quanto maior, menor a produtividade da frota.
Quantidade transportada de mercadoria	Com volumes elevados a empresa pode optar por transporte exclusivo (próprio ou não), mantendo um controle sobre o serviço prestado. Ao contrário, pode ser mais econômico compartilhar com outras empresas veículos, terminais de carga.	
Carga de retorno	Na distribuição “um para um” pode cobrir parte dos custos com o transporte e permitir a prestação de um nível de serviço melhor	
Densidade	Mercadorias de baixa densidade lotam o veículo por volume e não por peso.	
Dimensões e morfologia	Cargas com dimensões maiores ou com morfologia irregular podem requerer transportes especiais. Exemplos: alguns componentes de usinas hidrelétricas, colheitadeiras, cana-de-açúcar e sucatas.	
Valor da carga.	Valores altos exigem esquemas especiais de segurança (ex: remédios e cigarros)	
Acondicionamento.	Se a carga é solta, paletizada, a granel, etc. Influencia no tempo de carga e descarga. A unitização (ex.: uso de paletes) e uso de equipamentos (paleteiras) permitem reduzi-lo.	
Fragilidade	Produtos frágeis requerem embalagem, manuseio e transporte especiais.	
Grau de periculosidade	Produtos inflamáveis ou danosos ao meio ambiente requerem esquemas especiais de acondicionamento e procedimentos segurança.	
Compatibilidade entre produtos	Produtos de natureza diversa podem exigir esquemas especiais, tais como refrigeração, isolamento dos que transferem odores incompatíveis, etc.	
Custo Global	Compensação entre os custos de transportes (fixos e variáveis) e o de estocagem. Na distribuição “um para um” há fortes economias de escala, ou seja, uso de veículos de maior capacidade reduz os custos de transporte. Por outro lado, os custos de estocagem aumentam. É preciso analisá-los em conjunto.	

Tabela 3.1 - Fatores que influenciam na distribuição física

Fonte: Santos (2008)

Além destas configurações básicas, Ballou (2006) ressalta ainda a existência de roteiros em que se apresentam múltiplos pontos de origem e de destino e ainda os mais frequentes e complexos, que são os problemas de fazer itinerários quando os pontos de origem e destino se coincidem.

A distribuição física é gerenciada em três níveis, sendo eles: estratégico, tático e operacional (Ballou, 2009). Como nível estratégico, entende-se por decisões ao longo prazo, tais como configuração do sistema de distribuição, como por exemplo, número e a localização de instalações produtivas e de armazenamento e escolha dos canais de distribuição. No nível tático, há um planejamento de médio e curto prazo, que basicamente consiste em planejar a utilização de recursos, alocando-os de forma eficiente e de acordo com os investimentos da organização. O nível operacional engloba a programação, execução e controle das atividades diárias, de forma a assegurar a distribuição dos produtos para os destinos corretos no tempo exato prometido.

Como exemplo de nível operacional, podem ser citados os problemas relacionados à roteirização e programação de veículos, tratados quando já estão definidas a frota e as zonas de distribuição. No entanto, ainda que tratados a nível operacional, para uma otimização dos roteiros gerar resultados satisfatórios é preciso que o sistema tenha sido bem planejado e bem dimensionado nos níveis estratégicos e táticos (Galvão, 2003).

3.2 Roteirização e Programação de Veículos

Ballou (2009) ressalta a roteirização de veículos como um processo logístico cujo objetivo principal está na melhoria nos trajetos que um veículo deve percorrer, geralmente vinculados à minimização do tempo ou da distância. A otimizada utilização da frota pode refletir na necessidade de um menor número de veículos e por consequência em menores custos operacionais.

A roteirização teve suas origens com o problema do caixeiro viajante (PCV), que consiste basicamente em encontrar o roteiro ou sequência de cidades a serem visitadas por um caixeiro viajante que minimize a distância total percorrida e garanta que cada cidade seja visitada exatamente uma vez (Cunha, 2000).

Quando a definição das rotas envolve aspectos não só espaciais ou geográficos, como no PCV, mas também restrições temporais, os problemas são então denominados roteirização e programação de veículos (Cunha, 1997). Sendo assim, a roteirização e programação de veículos pode ser compreendida como uma extensão do problema básico de roteirização, conhecido como problema do caixeiro viajante (PCV). Desta forma, na roteirização (do inglês “*routing*”), as soluções são direcionadas aos aspectos espaciais da localização dos pontos a serem atendidos, em que restrições temporais não são importantes para a definição dos roteiros e da

ordem de atendimentos. Já a programação (do inglês “*scheduling*”) de veículos, refere-se à determinação dos aspectos temporais de um ou mais roteiros, levando em consideração, horário de cada tarefa, prioridades e cumprimento de horários.

Partyka e Hall (2000) caracterizam um problema real de roteirização e programação de veículos por três fatores fundamentais: decisões, objetivos e restrições. As decisões estão relacionadas à alocação de determinados clientes a serem visitados, a um conjunto de veículos e motoristas, além da programação e o sequenciamento destas visitas. Por objetivos, entende-se que o processo de roteirização visa proporcionar um alto nível de serviço aos clientes, mas ao mesmo tempo mantendo os menores custos possíveis. Ao fator restrições compreende-se que rotas devem ser feitas com os recursos disponíveis e cumprindo os compromissos assumidos com os clientes, além da necessidade de respeitar os limites de tempo impostos pela jornada de trabalho dos motoristas e as restrições de trânsito, como velocidades máximas e horários de carga e descarga.

Bodin et al. (1983) definem as características dos problemas de roteirização e programação de acordo com critérios e descrições que podem ser utilizados para modelar os problemas reais, como pode ser observado na Tabela 3.2.

Características	Possibilidades
1. Tamanho da frota disponível	- um veículo - vários veículos
2. Tipo da frota disponível	- homogênea (somente um tipo de veículo) - heterogênea (vários tipos de veículos) - veículos especiais (dividido em compartimentos, etc)
3. Garagem dos veículos	- um único depósito - vários depósitos
4. Natureza da demanda	- determinística - probabilística - parcialmente satisfeita
5. Localização da demanda	- nos nós (não necessariamente em todos) - nos arcos (não necessariamente em todos) - misto
6. Característica da rede	- não-orientada - orientada - mista - euclidiana
7. Restrições de capacidade do veículo	- impostas (todos os veículos com mesma capacidade) - impostas (veículos com diferentes capacidades) - não impostas (capacidade ilimitada)
8. Tempos máximos de rotas	- impostos (todas as rotas com o mesmo tempo máximo) - impostos (rotas com diferentes tempos máximos) - não impostos
9. Operações envolvidas	- somente coletas - somente entregas - mistas - entregas com 'quebras' (permitidas ou proibidas) - volta carregada
10. Custos	- variáveis ou custos de roteirização - fixos de operação ou custos de aquisição de veículos - custos comuns de transporte
11. Objetivos	- minimizar os custos totais de roteirização - minimizar a soma dos custos fixos e variáveis - minimizar o número necessário de veículos - maximizar a função utilidade (baseada no serviço ou na conveniência) ou, (baseada nas prioridades do cliente)

*Tabela 3.2 - Características dos problemas de roteirização e programação
Fonte: Nauro (2003 apud Bodin et al., 1983)*

Ballou (2006) cita oito princípios como diretrizes para um bom processo de roteirização e programação de veículos:

- Carregar os caminhões com volumes destinados a paradas que estejam próximas entre si;
- Combinar paradas em dias diferentes para produzir agrupamentos concentrados, evitando sobreposição dos agrupamentos;
- Começar a construção das rotas pela parada mais distante do depósito;
- Sequenciar as paradas num roteiro de caminhões em formato de lágrima, a fim de não ocorrer nenhuma sobreposição entre elas;
- Quando aplicável, fazer uso dos maiores veículos disponíveis a fim de obter as rotas mais eficientes;
- Combinar as coletas com as rotas de entrega e não as deixar para o final;

- Analisar a parada que é removível de um agrupamento de rotas como uma boa candidata a um meio alternativo de entrega, como veículos menores ou transporte terceirizado;
- Evitar pequenas janelas de tempo de paradas.

A aplicabilidade dos problemas de roteirização e programação de veículos é notável na distribuição física de produtos e serviços dos mais diferenciados segmentos de mercado. Como exemplo, Novaes (2007) lista algumas aplicações:

- Entrega a domicílio de produtos comprados em lojas de varejo ou pela internet;
- Distribuição de bebidas para bares e restaurantes;
- Distribuição de dinheiro em caixas eletrônicos;
- Distribuição de combustíveis em postos de gasolina;
- Entrega domiciliar de correspondências, jornais e revistas;
- Coleta de lixo urbano

3.2.1 Classificação dos Problemas de Roteirização

Existem diversas definições do problema de roteirização com base nas restrições, variáveis e características específicas de cada problema. Embora sejam muitas as variações dos problemas de roteirização, é possível reduzi-los a alguns modelos básicos. Existem os problemas de encontrar uma rota ao longo de uma rede em que o ponto de origem seja diferente do ponto de destino.

Além desta classificação, para Bodin et al. (1983) os problemas de roteirização podem ser classificados em problemas de roteirização pura, problemas de programação e problemas combinados de roteirização e programação.

3.2.1.1 Problemas de Roteirização Pura

Enomoto (2005) define os problemas de roteirização pura como problemas espaciais que não consideram as variáveis temporais ou precedências entre as atividades para elaboração dos roteiros de coletas e/ou entrega. Nestes casos, o problema que resta a ser resolvido é o de encontrar a sequência de visitas que torne mínimo o percurso dentro do bolsão (Novaes, 2007). Para Cunha (1997), a principal condicionante que determina a qualidade da solução dos problemas dessa categoria é a natureza espacial.

Dentre os problemas de roteirização pura, o mais clássico é Problema do Caixeiro Viajante (PCV), o qual consiste em determinar uma rota de mínimo custo que passe por todos os nós, uma única vez, sem restrições de tempo nem limitações de capacidade. Além deste, outros problemas se enquadram neste tipo de classificação:

- *Problema do Carteiro Chinês (PCC)*: semelhante ao PCV, no entanto, busca um caminho mínimo tal que todas as ruas devem ser visitadas, sendo os clientes, portanto, localizados nos arcos, e não nos nós.
- *Múltiplos Caixeiros Viajantes*: baseia-se no PCV, no entanto se considera mais de um caixeiro viajante.
- *Roteirização em nós com único depósito e vários veículos*: também conhecido como PRV, consiste no problema de designar rotas de veículos com menor custo total, com pontos de origem e destino coincidentes, de modo que cada cliente é visitado precisamente uma vez, respeitando as capacidades dos veículos (Laporte et al., 2000).
- *Roteirização em nós com vários depósitos e vários veículos*: semelhante ao PRV, no entanto com múltiplos pontos de origem e destino.
- *Roteirização em nós com único depósito e vários veículos com demandas incertas*: semelhante ao PRV, porém com demandas seguindo uma distribuição probabilística.
- *Cartero Chinês com limite de capacidade*: semelhante ao PCC, porém com restrições de capacidade dos veículos.

A Tabela 3.3, elaborada por Nauro (2003), sintetiza as características dos problemas de roteirização pura apresentados.

Problema	Número de roteiros	Localização dos clientes	Limite de capacidade nos veículos	Número de depósitos	Tipo de demanda
Caxeiro viajante	um	nós	não	um	determinística
Carteiro chinês	um	arcos	não	um	determinística
Múltiplos caxeiros viajantes	múltiplos	nós	não	um	determinística
Roteirização em nós: único depósito, vários veículos	múltiplos	nós	sim	um	determinística
Roteirização em nós: vários depósitos, vários veículos	múltiplos	nós	sim	múltiplos	determinística
Roteirização em nós: único depósito, vários veículos, demanda estocástica	múltiplos	nós	sim	um	estocástica
Carteiro chinês capacitado	múltiplos	arcos	sim	um	determinística

*Tabela 3.3 - Características dos problemas de roteirização pura
Fonte: Nauro (2003)*

3.2.1.2 Problemas de Programação

Este tipo de problema é definido como aqueles que já têm definidos os aspectos espaciais, faltando apenas determinar a alocação de veículos e tripulações a este conjunto de viagens programadas, com base em determinadas restrições (Cunha, 2000). Os problemas de programação podem ser ainda subdivididos em programação de veículos e programação de tripulações.

Bodin et al. (1983) definem como o cerne da programação de veículos, a criação da sequência para as atividades dos veículos no espaço e no tempo. Os problemas básicos de programação de veículos são:

- *Um único depósito:* baseia-se em uma função objetivo para minimizar o número de rotas, sendo cada rota correspondente à programação de um veículo.
- *Restrições de tamanho da rota:* consideram restrições de tempo e distância máxima de viagem.
- *Múltiplos tipos de veículos:* consideram diferentes características dos veículos para realização das tarefas, como por exemplo, suas capacidades.
- *Múltiplos depósitos:* problemas nos quais os veículos realizam tarefas de diferentes depósitos.

A programação de tripulação, é similar à de veículos, no entanto, diz respeito a prover de pessoal o movimento dos veículos, envolvendo restrições mais complexas, como horários de parada para almoço e regulamentação trabalhista.

3.2.1.3 Problemas Combinados de Roteirização e Programação

A maioria dos problemas combinados de roteirização e programação, ocorrem em situações em que estão presentes restrições de tempo e de precedência entre tarefas (Bodin et al., 1983). Estes tipos de problemas podem ser frequentemente encontrados na prática, sendo, portanto, representativos de muitas aplicações do mundo real. Para a solução dos problemas de roteirização e programação, encontram-se na literatura diversas estratégias e métodos de solução.

3.2.2 Métodos de Solução

Laporte (1992) classifica os métodos de solução para os problemas de roteirização em métodos exatos e métodos heurísticos. Os métodos exatos são aqueles em que se obtêm uma solução ótima do problema, no entanto ao custo de um grande tempo de execução, e um elevado esforço computacional. Já os métodos heurísticos não garantem a obtenção de uma solução ótima, mas geralmente resultam em soluções de alta qualidade junto de um esforço computacional aceitável de modo mais rápido, o que faz deste tipo de método o mais comum e usual. Cunha (1997) considera ainda os métodos metaheurísticos, ou emergentes, dos quais também se obtêm soluções aproximadas, agregando técnicas mais recentes e avançadas.

Segundo Bodin et al. (1983), as estratégias de resolução para os problemas de roteirização podem ser classificadas da seguinte forma:

- *Agrupar – roteirizar*: consiste no procedimento de agrupar os nós ou arcos de demanda primeiro, e depois construir rotas econômicas para cada agrupamento.
- *Roteirizar – agrupar*: primeiro, uma grande rota ou ciclo é construída incluindo a demanda de nós ou arcos. Posteriormente, esta grande rota é dividida em rotas menores.
- *Economias ou Inserções*: a ideia da estratégia é começar com um veículo-modelo que serve a cada ponto de entrega e que retorna ao depósito. Constrói-se uma solução de tal maneira a que cada passo do procedimento uma configuração corrente é comparada com outra configuração alternativa, com base na economia gerada.

- *Melhoria – Troca*: procedimento heurístico também conhecido como troca de arcos ou arestas onde em cada etapa uma solução viável é alterada, resultando em outra solução com custo menor, até que sejam não mais possíveis reduções no custo.
- *Programação matemática*: inclui algoritmos que são diretamente baseados em uma formulação de programação matemática do problema em questão.

Para solução de problemas de roteirização pura, há diversos métodos heurísticos que podem ser encontrados na literatura. Novaes (2007) aponta o método do vizinho mais próximo e o método de inserção do ponto mais distante como principais métodos de soluções para este tipo de problema.

No caso de problemas de roteirização e programação, Ballou (2009) ressalta que elaborar boas soluções para este tipo de problema torna-se cada vez mais difícil à medida que novas restrições são impostas. Para o autor, janelas de tempo, caminhões múltiplos com diferentes capacidades de peso e cubagem, tempo máximo de permanência ao volante em cada roteiro, velocidades máximas diferentes em diferentes zonas, barreiras ao tráfego e os intervalos para o motorista são algumas das inúmeras considerações práticas que acabam pesando sobre as soluções.

Dentre estas estratégias, diversos métodos podem ser encontrados na literatura para resolver este tipo de problema, que normalmente envolvem modelos matemáticos razoavelmente complexos. Dentre os inúmeros métodos heurísticos existentes, ressaltam-se o método da varredura como mais simples e usual, e o método de Clarke e Wright, mais complexo, enfrentando elementos mais práticos e produzindo soluções de maior qualidade sob uma gama mais ampla de circunstâncias.

3.2.2.1 Método da Varredura

Para Ballou (2006) o método da varredura é recomendável pela sua facilidade de resolução, visto que pode ser até calculado à mão. Segundo o autor, o método apresenta precisão de 10% com base na solução ótima absoluta, índice de erro aceitável quando são necessários resultados a curto prazo, por exemplo. O autor define as etapas para o desenvolvimento do método:

1. Localizar todos os pontos de parada (clientes e depósito) num mapa ou grade.
2. Traçar uma linha reta a partir do depósito.
3. Girar a linha em sentido horário ou anti-horário até que se encontre um ponto de parada.

4. Avaliar a capacidade do veículo e tempo de atendimento em caso de inserção do ponto de parada no roteiro. Caso exceda as restrições estipuladas, iniciar um novo roteiro a partir deste ponto de parada. O processo finaliza quando todos os pontos forem atribuídos a roteiros.

3.2.2.2 Método de Clarke e Wright

Um dos métodos mais conhecidos e aplicados, inclusive embutido em muitos softwares comerciais de roteirização, é o método criado por Clarke e Wright (1964). O método baseia-se no conceito de economias ou ganhos, que busca substituir arcos com maior custo dentro da rota por arcos de menor custo, de forma a criar uma rota melhorada. O método assume as seguintes restrições:

- Cada rota inicia e termina no depósito
- Cada cliente pertence somente a uma única rota
- As rotas e demandas dos clientes devem respeitar a capacidade do veículo
- O tempo total de um roteiro não pode exceder a duração máxima de jornada de trabalho do motorista

Novaes (2007) descreve as etapas do método, como mostrado a seguir:

1. Combinam-se todos os pontos (que representam os clientes) dois a dois e calcula-se o ganho para cada combinação. Supõe-se um cliente no ponto i e outro no ponto j , e sendo $d_{D,i}$ e $d_{D,j}$ as distâncias entre o CD (Centro de Distribuição) e os clientes i e j respectivamente, e $d_{i,j}$ a distância entre os clientes, o ganho por ser calculado por:

$$g_{i,j} = d_{D,i} + d_{D,j} - d_{i,j}$$

2. Com base nos valores de ganhos, ordenam-se todas as combinações (i, j) , de forma decrescente.
3. Inicia-se a análise com base no par de maior ganho. Para cada par de pontos (i, j) , verifica-se:
 - a. Se i e j não foram incluídos em nenhum dos roteiros já iniciados, cria-se então um novo roteiro com esses dois pontos

- b. Se o ponto i , ou o ponto j , já pertence a um roteiro iniciado, verificar se esse ponto é o primeiro ou último desse roteiro (não contando o CD). Se a resposta for positiva, acrescentar o par de pontos (i,j) na extremidade apropriada.
 - c. Se ambos os pontos i e j fazem parte, cada um deles, de roteiros iniciados, mas diferentes, verificar se ambos são extremos dos respectivos roteiros. Se a resposta for positiva, fundir os dois roteiros num só roteiro. Caso contrário, passar para etapa 4.
 - d. Se ambos os pontos pertencem a um mesmo roteiro, passar para a etapa 4.
4. Sempre que for acrescentado um ou mais pontos num roteiro, ou quando fundir dois roteiros em um só, verificar se a nova configuração satisfaz as restrições de tempo e de capacidade.
 5. O processo encerra quando todos os clientes tiverem sido incluídos em algum roteiro.

Segundo Ballou (1999), a utilização deste algoritmo em problemas com um número limitado de restrições pode resultar em soluções próximas a 2% em relação à solução ótima.

Os métodos descritos acima, são métodos que levam em consideração basicamente restrições de tempo e capacidade de veículos. No entanto, outras restrições podem ser encontradas em modelos reais, tais como, restrições nos sentidos dos arcos, tipo de operação (coleta, entregue e/ou coleta-entregue) e diferentes janelas de tempo para o atendimento a cada cliente, surgindo, portanto, a necessidade de algoritmos mais complexos para solução.

Novaes (2007) ressalta ainda que existem métodos de melhoria do roteiro, que partem da solução obtida com o auxílio de um outro método qualquer e procuram aperfeiçoar o resultado assim obtido, utilizando, para isso uma sistemática predefinida. Os métodos de melhoria mais utilizados são o 2-opt e o 3-opt, nos quais são feitas alteração em dois ou três arcos, respectivamente, até que se produza um resultado melhor com estas novas ligações.

Além disso, após aplicado o método desejado, Silva Júnior e Hamacher (2010) sugerem ainda que sejam feitas análises de sensibilidade, com o objetivo de verificar o ganho, caso fosse alterado alguns parâmetros como a capacidade dos veículos, a janela de tempo dos clientes e o

tempo de serviço. Para os autores, estas análises fornecem apoio à alteração dos parâmetros do problema ao demonstrar até quanto é cabível investir na alteração desejada.

3.2.3 Softwares

Com o desenvolvimento e avanço da tecnologia percebe-se o surgimento de uma série de programas voltados a soluções para os problemas de RPV. A mais significativa mudança com relação aos sistemas para roteirização e programação de veículos (RPV) ocorreu no ambiente computacional (Bodin, 1990).

Melo e Filho (2001) definem os sistemas de RPV, também denominados roteirizadores, como sistemas computacionais que, por meio de algoritmos e uma sólida base de dados, possibilitam chegar a soluções satisfatórias para os problemas de RPV, consumindo tempo e esforço de processamento pequenos se comparados aos tradicionais métodos manuais.

É nítido o crescimento da demanda por este tipo de software nos últimos anos. Entre as razões deste aumento de interesse, destacam-se as exigências dos clientes com relação às restrições cada dia maiores, como prazos, datas e horários de atendimento, problemas de trânsito, circulação e estacionamento de veículos nos centros urbanos, aumento da competição pelo mercado, busca de eficiência e aumento da frequência de entregas (Enomoto, 2005).

Se as características de um problema de roteirização são bem conhecidas, torna-se mais claro propor uma solução para o mesmo (Bodin et al., 1983). Apesar das diferentes classificações e especificações de problemas de RPV, Assad (1991), Ronem (1988) e Bodin (1990) relacionam um conjunto de elementos que, de forma geral, caracterizam os problemas de roteirização e programação, sendo, portanto, desejáveis para um software comercial genérico, ainda que não estejam todos presentes simultaneamente. Cunha (1997) sintetiza a visão destes três autores, conforme mostrado na Tabela 3.4. Dessa forma, a partir destes elementos pode-se identificar os atributos e requisitos para a aquisição de um software ou para o desenvolvimento de um modelo de RPV.

Características	ASSAD (1991)	RONEM (1988)	BODIN (1990)
Recursos, restrições e condicionantes			
Roda em microcomputador, porém com interface para mainframe	—	SIM	—
Uma ou múltiplas bases	SIM	SIM	SIM
Diferentes tipos de veículos	SIM	—	SIM
Coletas e entregas – “backhauls”	SIM	SIM	SIM
Janela de tempo	SIM	SIM	SIM
Tempo de carga e descarga	SIM	—	—
Velocidades variáveis	SIM	—	—
Contratação de terceiros	SIM	SIM	—
Limite de peso e volume	SIM	SIM	—
Múltiplos compartimentos por veículos	—	SIM	—
Duração máxima do roteiro	SIM	SIM	SIM
Contabilização de horas extras	SIM	—	SIM
Horário de início e término da viagem	SIM	—	—
Roteiros com duração superior a um dia; pernoites; revezamento de motoristas	SIM	SIM	—
Locais de paradas fixo (e.g. almoço)	SIM	—	—
Restrições quanto ao tamanho de veículo e seus equipamentos para um cliente	SIM	—	SIM
Zonas de entrega e possibilidade de fracionamento de carga; roteiros fixos	SIM	—	—
Sistema de georeferência; barreiras físicas e restrições de circulação de veículos	SIM	SIM	—
Múltiplos roteiros por veículo	SIM	—	—
Função Objetivo			
Minimizar distância	SIM	SIM	—
Minimizar tempo de viagem	SIM	SIM	—
Minimizar número de veículos	SIM	SIM	—
Minimizar custo total	SIM	SIM	SIM
Resultados			
Roteiro e programação de cada veículo	SIM	—	—
Relatório de utilização do veículo	SIM	—	—
Relatório de programação do motorista	SIM	—	—
Roteiros gráficos	SIM	SIM	—
Relatórios definidos pelo usuário	—	SIM	—
Alteração manual de soluções	—	SIM	—

*Tabela 3.4 - Principais características dos sistemas de roteirização e programação
Fonte: Cunha (1997)*

Além destas características, Cunha (2000) destaca ainda a importância de roteiros que podem ser alterados dinamicamente, quando os veículos estão na rua, em função de novas solicitações de atendimento que são recebidas e têm que ser inseridas na programação de algum veículo. As Tabelas 3.5 e 3.6 são propostas por Santos (2008) e apresentam uma breve descrição e exemplos de uso dos elementos sintetizados por Cunha (1997) e outros atributos e características de um roteirizador, como tecnologias integradas e sistemas de informação geográfica (SIG).

	Atributos	Descrição	Uso
Recursos	Coletas e entregas – <i>backhauls</i>	Programação das coletas após as entregas feitas ou simultaneamente.	Recolhe embalagens usadas, produtos não conformes ou outros materiais.
	Fracionamento de carga	Divisão de pedidos que superam a capacidade de um único veículo	Viabiliza a entrega de um pedido por mais de um veículo
	Uma ou múltiplas bases	Roteiriza as entregas considerando saídas dos veículos de uma ou mais bases	Operações com diferentes bases, tais como na relação matriz e filial.
	Diferentes tipos de veículos	Aceita veículos com diferentes capacidades, dimensões e usos	Em frotas heterogêneas.
	Contratação de terceiros	Discriminação de frota terceirizada, c/ os custos e caracterização de veículos próprios	Na gestão da frota terceirizada ou na contratação de temporários.
	Múltiplos compartimentos por veículo	Especifica compartimentos conforme a natureza da carga (refrigerada, viva)	Distribui a carga na carroceria para adequá-la ao tipo de acondicionamento.
	Re-roteirização e programação tempo real	Reformulação do roteiro ou programação em um curto espaço de tempo (on-line)	Informa <i>on-line</i> mudanças no trajeto. Minimiza alterações pelo motorista
	Informações de tráfego tempo real	Coleta informações c/ GPS, celulares, comp. de bordo, conecta centrais de tráfego.	Previsão + real das entregas p/ cliente, e calibragem automática do roteirizador.
	Roteiros c/duração de mais de um dia	Especifica pernoite, motoristas, horários e equipes para mais de um dia.	Entregas que demandam mais de um dia de trabalho.
	Múltiplos roteiros	Mais de um roteiro por veículo.	Planeja a recarga do veículo.
Restrições	Roteiros fixos (rota master)	Roteiros pré-fixados.	Atende rotas em que sequência de visitas e clientes são pré-determinados.
	Limite de peso e volume	Limites da capacidade em tonelage ou da cubagem da carroceria do veículo.	Para definir a distribuição de cargas por veículos.
	Restrições ao veic. e equip. p/ cliente	Clientes podem requerer veículos ou o uso de equipamentos específicos.	Ex.:local de descarga não comporta veículo maior; necessita uso de paletesiras.
	Zonas de entrega	Delimitação de áreas com atendimento diferenciado.	Restringe o uso de determinados veículos a determinadas áreas.
	Restrições à circulação	Restrições devido a limites geográficos, físicos ou legais.	Adequa o veículo às condições do tráfego (ex.: obrigatório uso VUC, segurança)
	Duração máxima do roteiro	Limitação, muitas vezes flexível, da jornada de trabalho em um roteiro.	Distribui a carga horária de trabalho conforme a política da empresa
	Horário de início e término de viagem	Normalmente o horário de saída e chegada ao depósito.	Orienta horário do carregamento, conferências e saídas de veículos.
	Locais de parada fixos	Busca chegar em determinado local em horário pré-estabelecido.	Especifica locais com horários fixos (ex.:almoço, recarga do veículo)
Condicionante	Janelas de tempo	Horários em que cliente trabalha ou não possa ou queira receber visitas.	Evita chegada ao cliente em horário impróprio. Utiliza com precaução.
	Tempos de carga e descarga	Soma de tempos variáveis (qde. de bens, fixos e espera atendimento e acerto financeiro)	Especialmente em operações c/ múltiplas entregas e vários tipos de produtos
	Velocidades variáveis	Por tipo de veículo e via, e em função de aspectos temporais ou geográficos.	Na calibragem de parâmetros do sistema relacionados com veículos e malha viária.
	Contabilização de horas extras	Incorporação de horas extras como penalização e cálculo do custo de entrega.	Para penalizar e contabilizar custos de jornada extra ao horário normal.

Tabela 3.5 - Recursos, restrições e condicionantes de um roteirizador
Fonte: Santos (2008)

	Atributos	Descrição	Uso
Funções Objetivo	Minimizar distância	Priorizar a execução dos roteiros com menor distância	Reduz custos variáveis com frota
	Minimizar tempo de viagem	Priorizar a execução dos roteiros com menor tempo de viagem	Reduz custos com mão de obra ou priorizar entregas mais rápidas
	Minimizar número de veículos	Priorizar o menor uso de ativos (veículos)	Reduz custos fixos com frota
	Minimizar custo total	Priorizar a execução dos roteiros com menor distância	Alcança o melhor <i>trade-off</i> dos custos anteriores
Relatórios	Roteiro e programação de cada veículo	Relatório com sequencia, caminho e horários das entregas e coletas	Para monitoramento da viagem por parte da empresa ou dos clientes
	Utilização do veículo	Percentual de ocupação volumétrica ou em peso do veículo	Avalia o percentual de uso da capacidade e se o perfil da frota estão adequados
	Relatório de programação do motorista	Especifica o roteiro de trabalho do motorista por veículo.	Quando há necessidade em especificar separadamente o veículo do motorista
SIG	Apresenta rotas e paradas no mapa	Visualização gráfica dos roteiros e caminhos (path) do veículo	Facilita a visualização do roteiro pelo motorista, empresa ou clientes.
	Permite editar rotas com "drag & drop"	Alterações manuais no roteiro e na composição da carga dos veículos utilizando o mouse	Insere pedidos e alterar rotas manualmente
	Geocodifica paradas a partir de endereços	Utiliza referências como CEP ou coordenadas geográficas para localizar pontos no mapa	Incorporação automática de clientes e malha viária a partir de uma base de dados georeferenciada
Tecnologias Integradas	Display Eletrônico on-board	Integra-se com computadores de bordo capazes de fornecer informações textuais e gráficas do roteiro ou da programação do veículo.	Facilita a visualização e cumprimento do roteiro pelo motorista.
	Rastreamento de veículo em tempo real	Monitoramento dos tempos e do trajeto do veículo.	Monitora o cumprimento do roteiro, aumentar a segurança da viagem por meio do bloqueio do funcionamento do veículo em caso de saída do roteiro especificado (cerca virtual)
	Scanner para código de barra (*)	Comunicação com dados obtidos por meio de códigos de barra	Gestão integrada da roteirização com estoques e o momento do carregamento e entrega das mercadorias
	Software de gestão da cadeia de suprimentos	Comunicação com ferramentas de gestão WMS e EDI.	Gestão integrada da cadeia de suprimentos e roteirização
	Processamento de pedidos dos clientes	Permite receber os pedidos por meio eletrônico e processá-los (separar por análise de crédito, p. exemplo)	Função feita quando não há disponível um sistema administrativo responsável por tal função
	Integração com tecnologias de comunicação móvel	Recebe e envia mensagens, roteiros, programações por meio de celulares, internet sem fio, <i>paggers</i> .	Comunicação entre empresa, motorista e cliente com vistas a: re-roteirização ou reprogramação em tempo real; auxílio ao motoristas na execução do roteiro
Outras características	Instruções turno a turno	Roteirização ou programação por turno de trabalho	Em processos que trabalham em roteiros por turno (ex.: roteiros diurnos e noturnos)
	Previsão automática de entregas	A partir do histórico de velocidades médias, dos tempos de entrega por cliente, emite a previsão de entrega por cliente	Acompanhamento das entregas pelos clientes e pela empresa.
	Manifesto de carga	Emissão da lista de mercadorias com respectivos clientes	Acompanha motorista para auxiliar no processo de entrega
	Plano de carga para o veículo	Emite a ordem de carregamento e consequente disposição dos pedidos na carga.	Facilitar a descarga na rota em função das sequências de entrega.

Tabela 3.6 - Funções objetivo, relatórios, SIG, tecnologias integradas e outras características dos roteirizadores
Fonte: Santos (2008)

Apesar da vasta gama de softwares comerciais disponíveis no mercado, nem sempre os pacotes disponíveis resolvem satisfatoriamente os problemas da empresa devido às diversas variações e características dos problemas de roteirização, com facetas diversas que afetam a forma de resolução do problema. A dificuldade central dos problemas de roteirização se concentra no aumento excessivo dos tempos de computação quando o número de variáveis cresce além de um certo limite (Alvarenga e Novaes, 2000). Dessa forma, os programas normalmente tendem

a se basear em métodos heurísticos, que levam a soluções relativamente boas, mas sem a garantia de que tais resultados sejam realmente ótimos. Os métodos heurísticos existentes nos softwares comerciais tendem a ser muito generalistas e não costumam gerar resultados satisfatórios, tendo em vista a existência de características singulares de cada empresa e por consequência, de cada problema de roteirização e programação de veículos (Couto, 2004).

Além da generalização dos softwares, os altos custos de aquisição somado à falta de interatividade e ambiente amigável destes softwares comerciais, faz com que estes não sejam atrativos para muitas empresas, principalmente, para as de pequeno e médio porte (Silva, 2010).

4 Implementação do Modelo

4.1 Algoritmo Utilizado

O método de Clarke e Wright foi escolhido como base para o desenvolvimento do estudo, visto sua simplicidade e facilidade de aplicação, e, ao mesmo tempo, com resultados bem próximos à solução ótima.

O algoritmo implementado baseou-se em restrições de capacidade do veículo, tempos de início e término do roteiro, além de restrições de janelas de tempo, que neste caso se referem a horários nos quais o cliente não pode ser atendido. Além disso, o algoritmo possibilita a roteirização semanal, de forma que o usuário possa determinar em quantos e em quais dias semanais a roteirização dos clientes pode ser feita. Com base nisto, há também a possibilidade de restrição de dias de atendimento dos clientes, que se referem a dias semanais nos quais o cliente não pode ser atendido. As constantes e variáveis do algoritmo utilizado são:

Constantes:

cv: capacidade do veículo

f: horário máximo para término do roteiro

Variáveis:

i: origem

j: destino

d: distância entre os pontos

t: tempo de deslocamento

w: dia da semana possível de roteirização

c: quantidade a ser entregue

p: tempo de parada

hs : início da restrição de horário de atendimento
hf: término da restrição de horário de atendimento
co: capacidade acumulada do roteiro
to: tempo acumulado do roteiro
u: último cliente do roteiro

As equações referentes às restrições de capacidade, tempo de término do roteiro e restrições de horário de atendimento dos clientes variam de acordo com o cenário de inserção do par *ij* no roteiro, que podem ser de três tipos:

- **Restrições 1:** estas restrições serão utilizadas caso os dois pontos do par *ij* não estiverem incluídos no roteiro já existente.

$$co + c_i + c_j \leq cv$$

$$t_{li} + t_{ij} + p_j + t_{jl} \leq f$$

Caso *hs_j* e *hf_j* sejam diferentes de vazios:

$$t_{li} < hs_i \text{ ou } t_{li} > hf_i$$

$$t_{li} + t_{ij} < hs_j \text{ ou } to + t_{ij} > hf_j$$

- **Restrições 2:** estas restrições serão utilizadas caso *i* seja a extremidade final de algum roteiro e *j* não esteja incluído nos roteiros existentes.

$$co + c_j \leq cv$$

$$to + t_{ij} + p_j + t_{jl} \leq f$$

Caso *hs_j* e *hf_j* sejam diferentes de vazios:

$$to + t_{ij} < hs_j \text{ ou } to + t_{ij} > hf_j$$

- **Restrições 3:** estas restrições serão utilizadas caso *j* seja a extremidade final de algum roteiro e *i* não esteja incluído nos roteiros existentes.

$$co + c_i \leq cv$$

$$to - t_{lj} + t_{li} + t_{ij} + p_i + t_u \leq f$$

Caso *hs_j* e *hf_j* sejam diferentes de vazios:

$$t_{li} < hs_i \text{ ou } t_{li} > hf_i$$

$$t_{li} + t_{ij} < hs_j \text{ ou } to + t_{ij} > hf_j$$

E para *j* = 2 até *j* = *u*:

$$to + t_{ij} < hs_j \text{ ou } to + t_{ij} > hf_j$$

O algoritmo utilizado é detalhado no Apêndice K.

4.2 Rotimiza

Como este trabalho objetiva estudar a aplicabilidade da roteirização em micro e pequenas empresas, a baixos custos e em um ambiente amigável e de fácil interatividade, foi desenvolvida uma ferramenta em Excel, nomeada Rotimiza. Todo o algoritmo utilizado, detalhado na seção anterior, foi escrito em VBA (*Visual Basic for Applications*), de forma que o usuário possa automaticamente encontrar uma solução otimizada para a roteirização de seus clientes. A página inicial é mostrada na Figura 4.1, na qual tem-se as opções de navegação: Cadastro de Clientes, Cadastro de Paradas e Rotas Otimizadas.



Figura 4.1 - Página inicial do Rotimiza

Entrando em “Cadastro de Clientes”, o usuário consegue ter acesso a todos os clientes cadastrados e seus respectivos endereços. Além disso, é nesta seção que se tem a matriz de distâncias entre um cliente e todos os demais cadastrados. Na Figura 4.2 é possível visualizar alguns clientes cadastrados como exemplo e parte da matriz de distância entre eles.

Cadastro de Clientes e Distâncias				EMPRESA - SEDE	42 GOURMET	IS - AGUAS CLARAS	OLUCAO	ABASTECE	AGUE NELORE	MEGA BA	ENCIA CL
CLIENTE	LOGRADOURO	BAIRRO	ORIGEM/DEST	70744-540	70238-520	70200-016	70340-906	70847-000	73020-010	70670-511	70710-500
EMPRESA - SEDE	CLN 108 BLOCO D	ASA NORTE	70744-540	0							
242 GOURMET	Q SHC/SUL CL QUADRA 404 BLOCO C	ASA SUL	70238-520	7.527	0						
5 ESTRELAS - AGUAS CLARAS	AC RUA 9 SUL LOTE 9 LOJA 6	AGUAS CLARAS	72020-016	29.126	23.687	0					
A & SAO E SOLUCAO	ST SRVTS QD. 701 CONJ. L BLOCO I	ASA SUL	70340-906	4.782	3.67	22.582	0				
ABASTECE	SQ 406 BLA PLL PARTE LOJA COIMEN	ASA NORTE	70847-000	1.618	6.318	25.361	5.021	0			
ACOUQUE NELORE	DOMINIO ENTRE LAGOS CL 03 LOTE 35 L	SOBRADINHO	73020-010	19.976	26.264	40.282	24.583	21.223	0		
ADEGA BACO	ST SHC SW CLSW 101	SETOR SUDOESTE	70670-511	7.627	8.691	17.914	5.188	9.009	25.917	0	
AGENCIACLICK	SC/N QD 4 BL B UN 803-A T S	ASA NORTE	70710-500	3.869	10.929	27.803	8.682	5.118	16.768	10.968	0
AL CAPONE BARBEARIA	SIL LOTE: 06; LOJA: 05; TERREO: EDIF	NORTE (AGUAS CLARAS)	71916-900	6.5	0.926	23.376	3.407	6.581	25.38	7.751	7.1
ALVORADA	SHC/SUL QD 414 BLOCO D LJ 25	ASA SUL	70310-500	2.3	2.226	21.988	4.896	8.06	26.859	6.3	5.4
ATACADISTA E DISTRIB. S	AGEM E ABASTECIMENTO NORTE QD.	SAAN	71220-000	5.3	21.988	4.896	8.06	26.859	6.3	13.096	12.71
AUGURI PROMOÇÕES	SCN QUADRA 01 BLOCO E-50	Ass Norte	70711-903	3.534	4.348	23.447	2.317	4.698	23.771	7.032	7.019
AUTOTRAC	VERSITÁRIO DARCY RIBEIRO GLEBA A	ASA NORTE	70910-900	8.054	8.06	26.859	6.3	5.72	20.992	12.71	6.905
AÇAÍ BRASIL	NORTE CA 05 LOTE H BL H LOJAS 117	LAGO NORTE	71505-400	10.749	17.037	32.71	3.407	6.581	25.38	7.751	11.617

Figura 4.2 - Cadastro de Clientes

A fim de garantir que não haja erros na matriz de distâncias, nenhum dado deverá ser inserido manualmente. Clicando em “Cadastrar Clientes”, o usuário visualizará três opções de comando, conforme Figura 4.3: adicionar novo cliente, editar cliente existente e excluir existente.

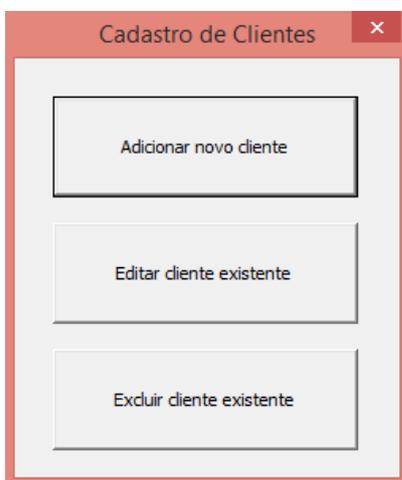


Figura 4.3 - Opções de comandos em cadastro de clientes

Para adicionar um novo cliente, o usuário deverá inserir seus dados básicos por meio de um formulário: nome, endereço, bairro e Código de Endereçamento Postal (CEP), conforme mostrado na Figura 4.4. Caso o CEP inserido seja um valor inválido, aparecerá uma mensagem de erro e o cliente não será cadastrado até que seja inserido um valor no formato correto. Assim que cadastrado, a ferramenta calculará automaticamente a distância deste novo cliente com todos os outros já existentes na base de dados em “Cadastro de Clientes”. Os valores da distância entre os pontos são buscados automaticamente do *Google Maps*, a partir dos CEPs dos clientes. Portanto, vale ressaltar a importância da acuracidade dos CEPs cadastrados. Caso algum dos valores não seja encontrado, a distância entre tais pontos aparecerá como “0”, e caso esta distância seja requerida em alguma roteirização, o sistema tentará novamente buscar este valor, ou o usuário será solicitado a inseri-lo manualmente.

Figura 4.4 - Cadastrar novos clientes

Caso algum dado de um cliente precise ser modificado, o usuário deverá selecionar “Editar cliente existente”, e o formulário conforme Figura 4.5 será mostrado. Nele o usuário terá a opção de selecionar qualquer um dos clientes já cadastrados. Assim que selecionado, os dados atuais serão automaticamente mostrados e o usuário poderá fazer as alterações. Caso haja alteração no valor do CEP, a ferramenta recalculará automaticamente as distâncias entre este e os demais clientes.

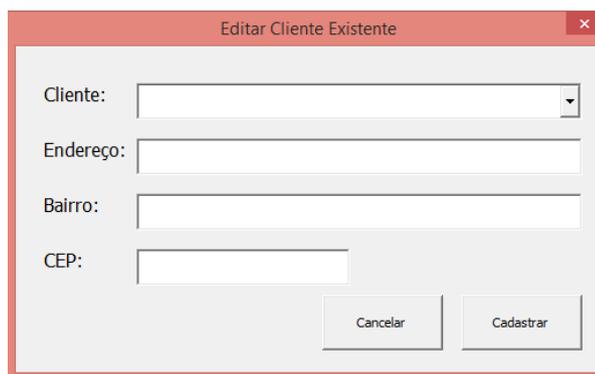
A imagem mostra uma janela de diálogo intitulada "Editar Cliente Existente". No topo, há uma barra de título com o nome da janela e um ícone de fechar. O formulário contém quatro campos de entrada: "Cliente:" (um menu suspenso), "Endereço:" (um campo de texto), "Bairro:" (um campo de texto) e "CEP:" (um campo de texto). Na parte inferior direita, há dois botões: "Cancelar" e "Cadastrar".

Figura 4.5 - Editar cliente existente

Caso seja necessário excluir um cliente existente, basta selecionar esta opção e o formulário, conforme Figura 4.6, será mostrado. É importante manter o cadastro atualizado, visto que muitos clientes resultam em muitas distâncias a serem calculadas, o que pode impactar no tempo de execução da ferramenta.

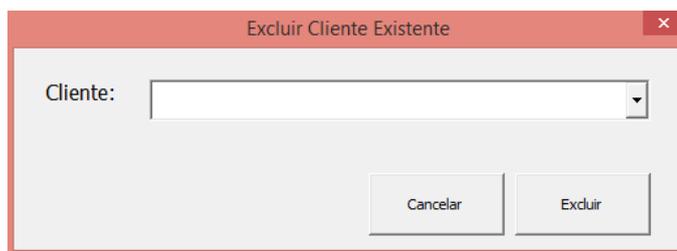
A imagem mostra uma janela de diálogo intitulada "Excluir Cliente Existente". No topo, há uma barra de título com o nome da janela e um ícone de fechar. O formulário contém um único campo de entrada: "Cliente:" (um menu suspenso). Na parte inferior direita, há dois botões: "Cancelar" e "Excluir".

Figura 4.6 - Excluir cliente existente

Saindo da seção de “Cadastro de Clientes” e entrando em “Cadastro de Paradas” o usuário visualizará uma página conforme Figura 4.7. É nesta parte que serão selecionados os clientes a serem roteirizados, bem como suas quantidades a serem entregues, restrições de dias, tempo específico de parada e restrições de horário, se aplicável.

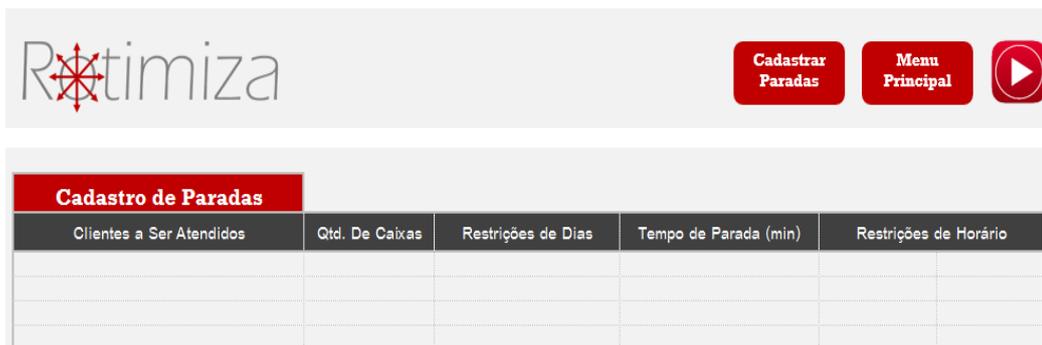


Figura 4.7 - Cadastro de paradas

O cadastro das paradas deve ser realizado por meio do formulário apresentado na Figura 4.8, que aparecerá clicando no comando “Cadastrar Paradas”. Na primeira coluna, o usuário deverá selecionar os clientes a serem roteirizados, por meio de caixas de seleção, que trazem todos os clientes cadastrados em “Cadastro de Clientes”. Na segunda coluna, serão inseridas as quantidades a serem entregue em cada parada, que servirá como base para os cálculos envolvendo restrições de capacidade do veículo. Caso o cliente não possa ser atendido em certos dias específico da semana, o usuário deverá selecionar estes dias em “restrições de entrega”. Caso exista alguma restrição de horário, o horário no qual não seja possível atendimento deve ser especificado pelo usuário nesta parte. Se o tempo de parada do cliente em questão for conhecido, tem-se a possibilidade de especificá-lo na última coluna do formulário.

Figura 4.8 - Formulário para cadastrar paradas

O formulário é limitado a dez clientes por vez. No entanto, ao final do cadastro das paradas, o usuário se deparará com uma mensagem com as opções de finalizar ou cadastrar mais paradas.

Com as paradas cadastradas, o usuário poderá então roteirizar os clientes selecionados. Para isto, basta acionar o comando com o símbolo de *play*, disponível no canto superior esquerdo. Ao acioná-lo, o usuário terá acesso e poderá modificar as configurações da roteirização a ser realizada, como horário de início e término do roteiro, capacidade do veículo, local de início e término das rotas e tempo de parada para almoço. Além disso, o tempo padrão de parada será utilizado nos casos em que o tempo de parada no cliente não tenha sido especificado no cadastro de paradas. Os tempos de deslocamento também são buscados automaticamente do *Google Maps*. Caso o valor não seja encontrado, o algoritmo vai utilizar o campo de velocidade média para definir o tempo gasto para percorrer tal distância. Por fim, o usuário deve selecionar para quais dias da semana a roteirização será feita. Na Figura 4.9 tem-se um exemplo desta caixa de configurações.

Configurações

Horário de Início: 08:00 Local de Início e Término: [vazio]

Horário de Término: 18:00 Tempo de Parada para Almoço: [vazio]

Tempo Padrão de Parada: 00:30

Capacidade do Veículo (em cxs): 45

Velocidade Média (km/h): 40

Selecione os dias da semana para roteirização:

S T Q Q S S

Cancelar Calcular Rotas

Figura 4.9 - Configurações da roteirização

Clicando em “Calcular Rotas” na caixa de configurações, a ferramenta rodará automaticamente o algoritmo e mostrará os roteiros otimizados, como exemplificado na Figura 4.10. Nesta seção estão disponíveis as informações gerais da rota semanal: dias necessários para entrega, número de clientes atendidos e não atendidos, quantidade de caixas entregues, distância total percorrida, tempos total, de deslocamento e de parada e o número total de viagens necessárias.

Além das informações gerais do roteiro semanal, as informações também são detalhadas por dia. Todos os dias semanais nos quais é possível fazer aquele dia são detalhados em vermelho, logo acima das informações gerais daquele dia. Em cada dia, é possível que sejam realizadas mais de uma viagem, sendo possível visualizar detalhadamente a sequência das entregas, e

quantidade entregue, distância percorrida, tempos e observações de restrições de horário para cada cliente em cada viagem.

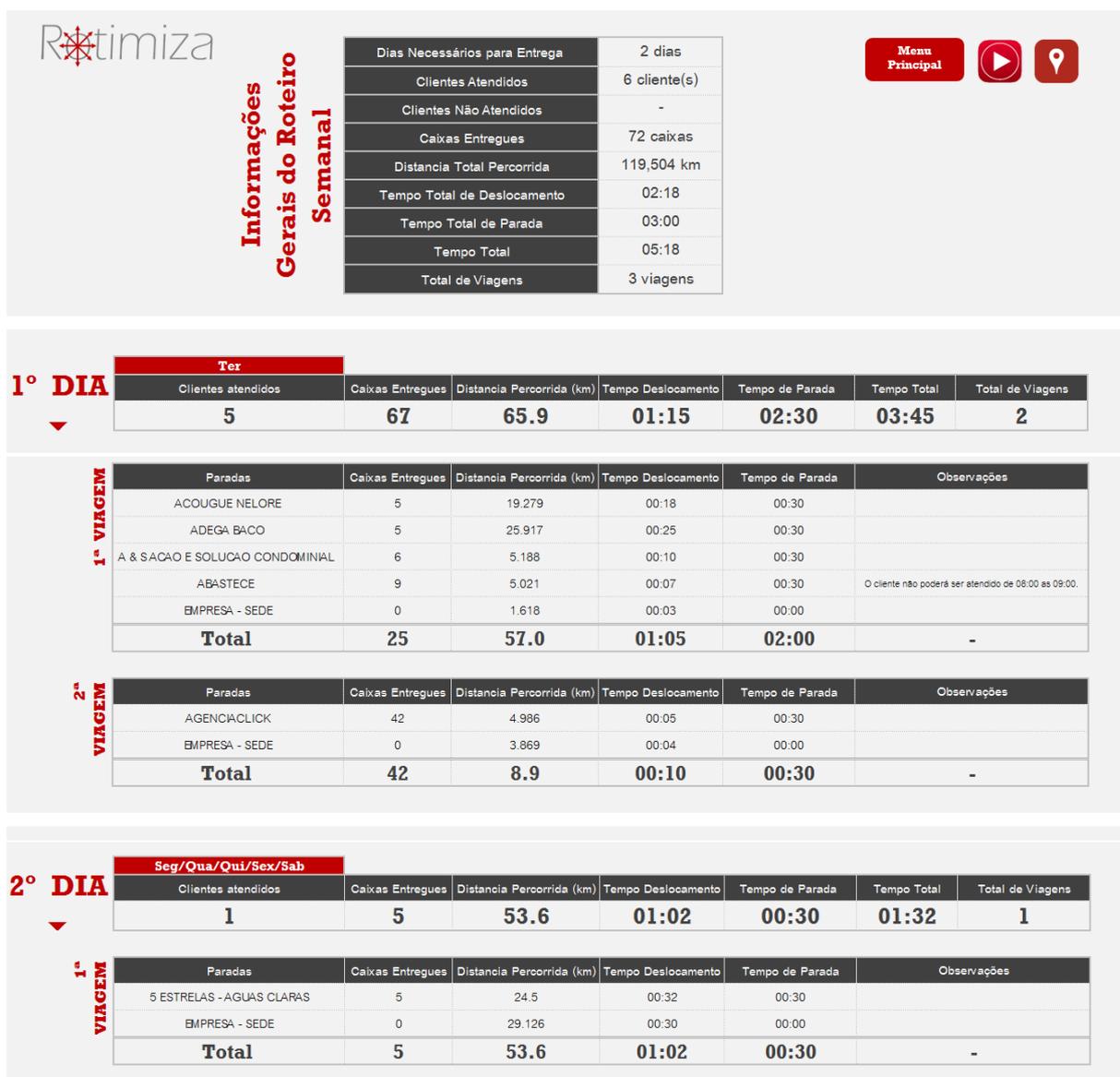


Figura 4.10 - Roteiros otimizados

Para uma visualização geográfica do atendimento dos clientes, basta clicar no símbolo de localização, no canto superior esquerdo desta página de roteiros otimizados. O usuário será direcionado para uma página exemplificada pela Figura 4.11. Nesta página é possível visualizar por dia a dispersão dos clientes que serão atendidos. O ícone preto representa o ponto de início e término da rota. O demais ícones, representam as viagens do dia, sendo cada viagem representada por uma cor.

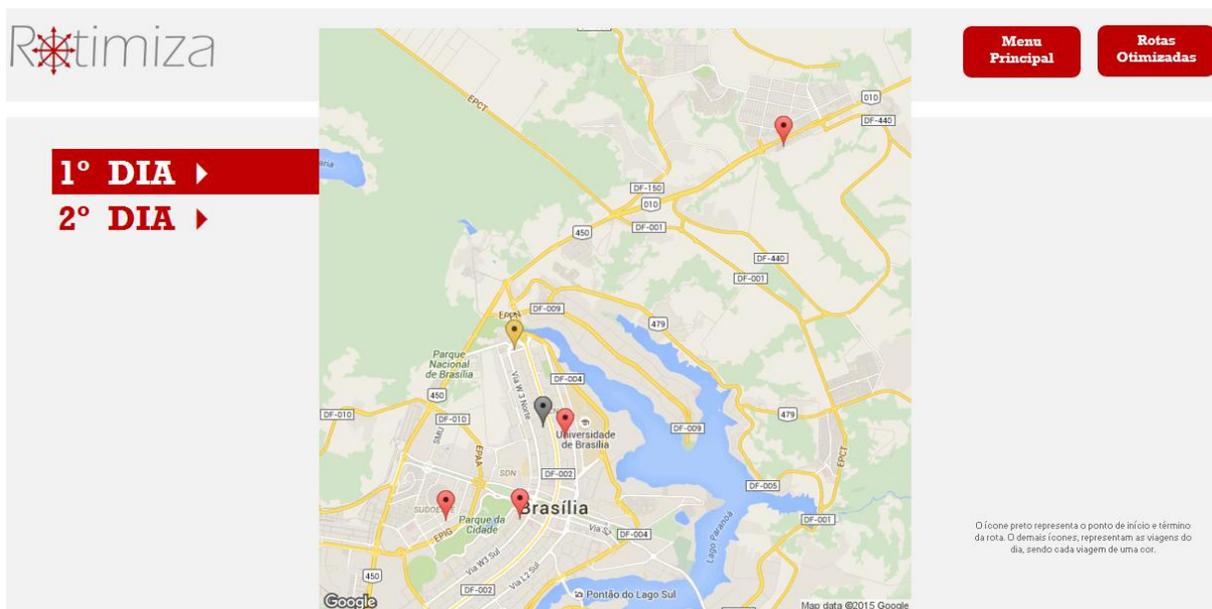


Figura 4.11 - Visualização Geográfica

5 Estudo de Caso

5.1 Caracterização da Empresa

A Distribuidora Pulso, analisada neste estudo de caso, está no mercado de distribuição de produtos de bomboniere e bebidas há aproximadamente 2 anos. Nasceu da empresa Mr. Brownie, com o objetivo de reduzir os custos logísticos desta última, que já está no mercado há cerca de 20 anos.

A Pulso tem como foco a distribuição de produtos de marcas menores, com o intuito de difundí-las no mercado. Além dos brownies, a Pulso distribui cervejas, cachaças, bananinhas, palhas italianas, águas de coco, sucos e outros. Atualmente, a Pulso tem cerca de 600 clientes, distribuídos em diferentes regiões do Distrito Federal, como Plano Piloto, Taguatinga, Guará, Águas Claras, Sudoeste, Gama e Sobradinho.

5.2 Modelo Atual de Distribuição

Atualmente, a empresa trabalha com três principais formas de entregas:

- Entregas com pedido: o cliente faz o pedido e a Pulso entrega conforme combinado. O pedido pode ser agendado, dependendo do cliente, ou entregue em até três dias a partir do dia faturado.

- Pronta entrega: consiste no vendedor ir até o ponto de venda (PDV) verificar junto ao cliente a necessidade de compra dos produtos. O pedido e entrega são realizados no mesmo momento.
- Atendimento VIP: em maior volume e complexidade, consistem em entregas para eventos em específico.

O estudo se baseará nas entregas com pedido, visto que, diferente das prontas entregas, nestas é possível fazer um planejamento com base nos pedidos realizados. Além disso, são entregas realizadas diariamente, diferentemente do atendimento VIP.

Atualmente, as entregas com pedido são realizadas diariamente de Segunda a Sexta-Feira. Geralmente, os clientes deste tipo de entrega são mercados, bares ou restaurantes e correspondem a aproximadamente 150 clientes. A empresa hoje disponibiliza um carro exclusivo para este tipo de entrega. O planejamento é feito baseado nas regiões do DF, sendo as mais próximas agrupadas para atendimento em um mesmo dia. A programação semanal das entregas é disponibilizada em um mural na empresa, conforme Figura 5.1.

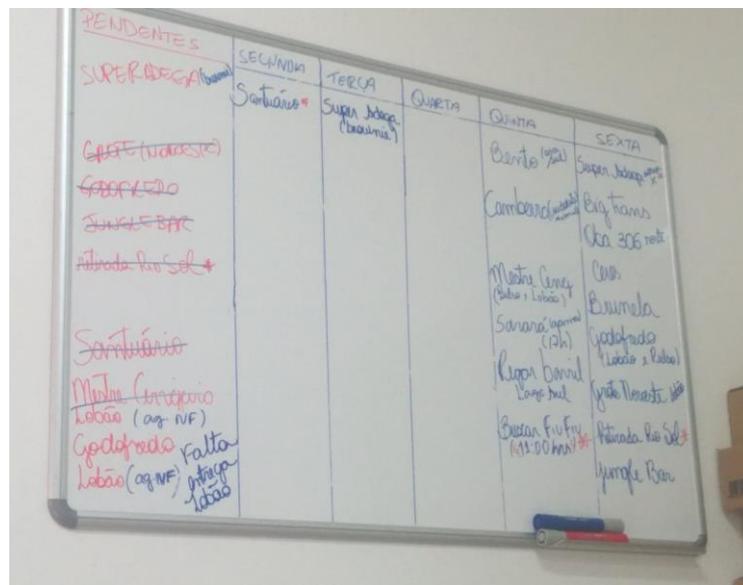


Figura 5.1 - Mural de programação de entregas

A fim de analisar possíveis ganhos com a aplicação do algoritmo descrito na seção 4.1, observou-se o comportamento na prática do planejamento das entregas da empresa durante uma semana. Para auxiliar na coleta de dados, foi solicitado à Pulso o preenchimento de dois formulários. O primeiro (Apêndice A), preenchido apenas uma vez, diz respeito à programação semanal. Quais clientes deveriam ser atendidos na semana, em quais quantidades e se aplicável, suas restrições em relação a dias ou horários de entregas. O segundo formulário (Apêndice B)

foi preenchido diariamente pelo motorista da rota, com informações dos clientes atendidos naquele dia, tempos de deslocamento e parada e quaisquer outras observações. É importante ressaltar que o motorista além das entregas, também busca alguns produtos em fornecedores e parceiros. Para estes casos, considerou-se no campo “quantidade” do formulário um valor positivo, e para entregas, um valor negativo. As informações coletadas estão detalhadas por cada dia da semana no Apêndice C e resumidas na Tabela 5.1 .

	Distância Percorrida	Tempo de Deslocamento	Tempo de Parada	Tempo Total do Roteiro
Segunda-Feira	61 km	02:02	04:36	06:38
Terça-Feira	67 km	02:19	04:54	07:13
Quarta-Feira	75 km	01:58	06:36	08:34
Quinta-Feira	118 km	04:34	05:00	09:34
Sexta-Feira	55 km	01:43	05:23	07:06
TOTAL	376 km	12:36	26:29	39:05

Tabela 5.1 - Informações gerais do roteiro semanal realizado

A dispersão dos clientes atendidos na semana pode ser visualizada na Figura 5.2, na qual cada cor representa um dia da semana e o preto, ponto de início e término dos roteiros, conforme a legenda.

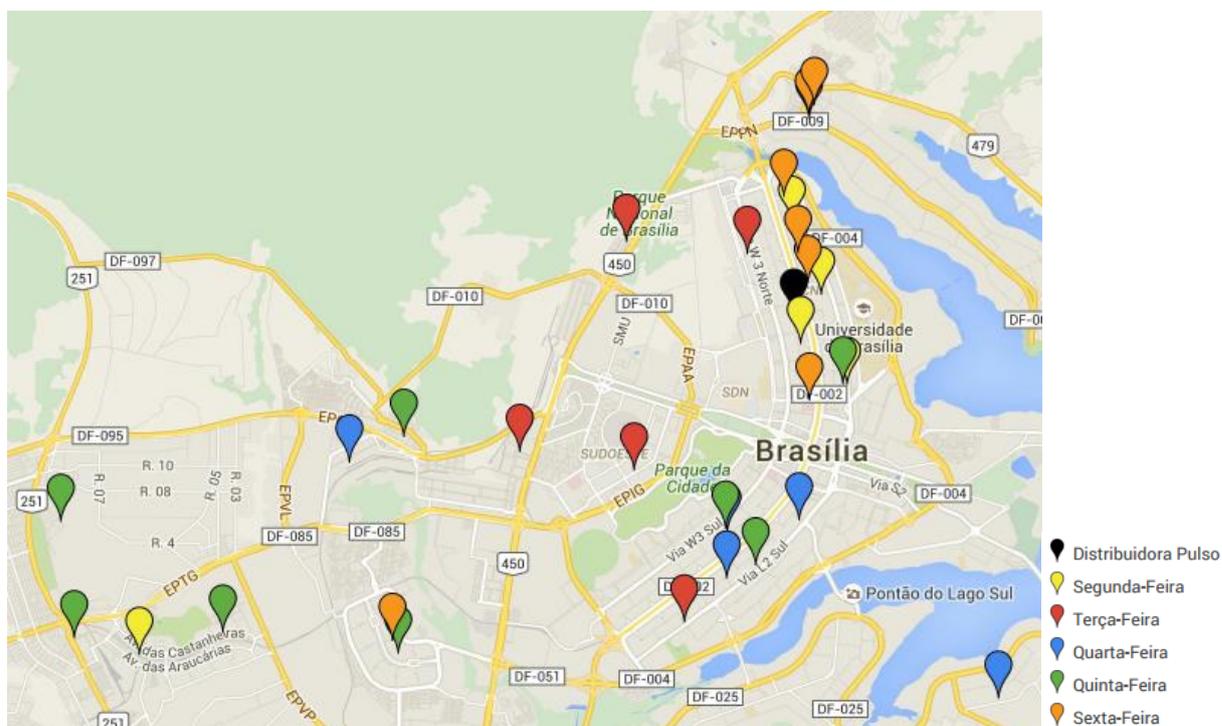


Figura 5.2 - Dispersão das entregas na semana

Pela dispersão observada na Figura 5.2 e pelas informações detalhadas no Apêndice C, percebe-se possíveis oportunidades de melhoria na programação das rotas. Além de alguns clientes próximos estarem sendo atendidos em dias diferentes, em relação ao planejamento semanal, dois clientes não foram atendidos, um na Asa Sul e um no Lago Sul. Além disso, na Segunda e na Quinta-Feira o motorista chegou para fazer entregas em um horário que o cliente não recebia mercadoria, o que o fez voltar novamente nestes pontos.

5.3 Aplicação do Algoritmo e Resultados

Utilizou-se os dados dos formulários para aplicar o algoritmo e simular possíveis melhorias. A primeira simulação foi feita com base em toda a semana, com todas as paradas realizadas, seus respectivos tempos de paradas e restrições. O primeiro passo foi o cadastrar todas as paradas no Rotimiza (Apêndice D), incluindo aqui os dois clientes que não puderam ser atendidos no roteiro realizado.

Com as paradas cadastradas, calcularam-se as rotas com base nas configurações definidas, mostradas na Figura 5.3. No caso da Distribuidora Pulso, a restrição de capacidade considerada foi o peso máximo permitido no veículo da empresa (670 kg).

Configurações

Horário de Início: 08:00

Local de Início e Término: DISTRIBUIDORA PULSO

Horário de Término: 18:00

Tempo de Parada para Almoço: 01:00

Tempo Padrão de Parada: 00:30

Capacidade do Veículo (em kg): 670

Velocidade Média (km/h): 50

Selecione os dias da semana para roteirização:

S T Q Q S S

Cancelar Calcular Rotas

Figura 5.3 - Configurações da Simulação 1

O resultado da otimização é detalhado no Apêndice G e apresentado resumidamente na Figura 5.4. Pelo relatório, percebe-se que para atender todos os clientes, 4 dias serão necessário, em 12 viagens. Entende-se por viagem um percurso de ida e volta à empresa.

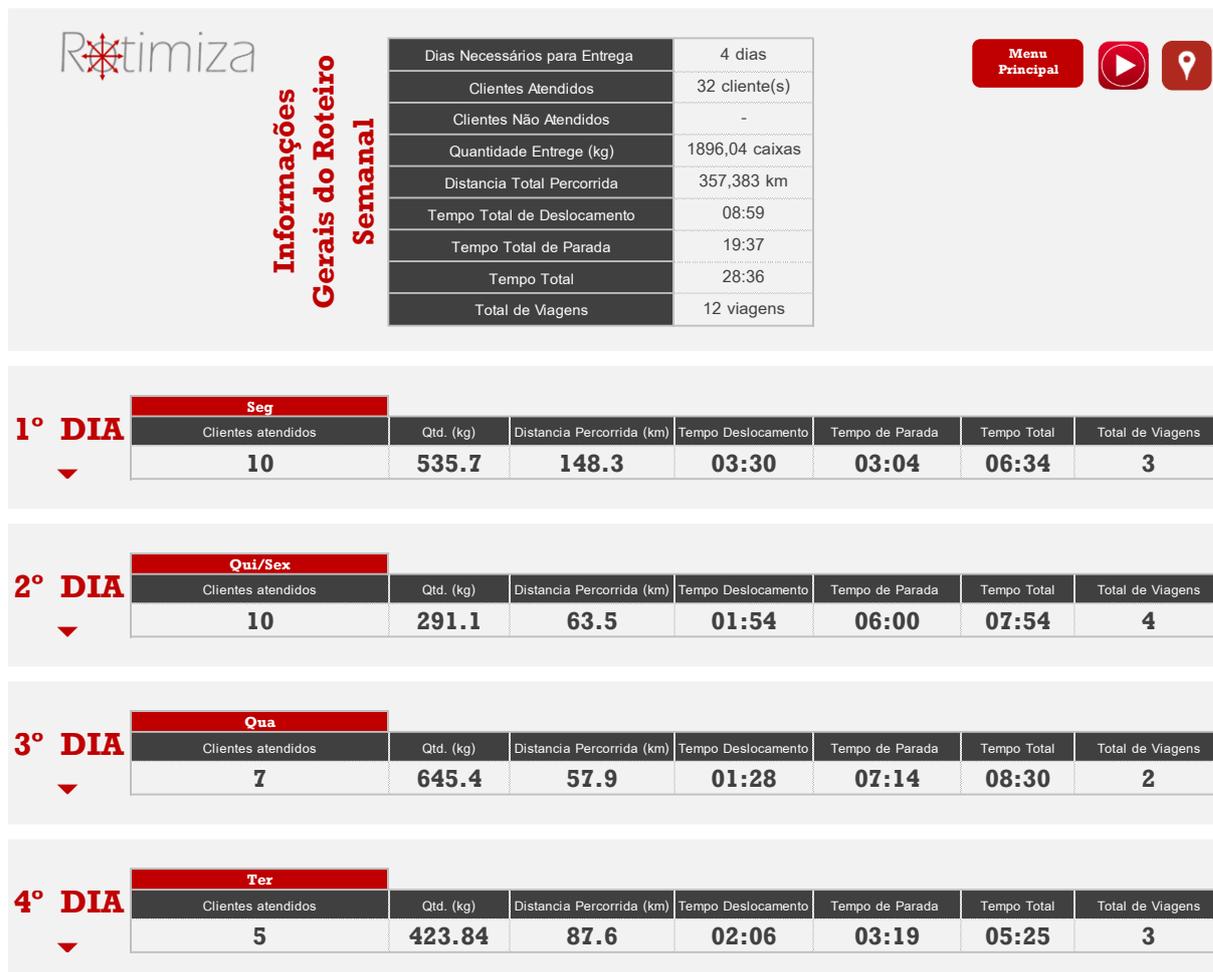


Figura 5.4 - Relatório resumido da Simulação 1

Analisando os resultados, pode-se perceber que não houve tanto ganho de distância em relação ao que foi de fato executado pela empresa. Entretanto, é importante ressaltar que o algoritmo foi elaborado com base no método de Clarke e Wright, levando em consideração restrições de dias e horários de atendimento. Dessa forma, pares que tenham alta economia, porém não podem ser atendidos naquele horário, apenas serão considerados nos horários nos quais possam receber mercadoria. Além disso, a simulação foi feita para todos os dias da semana com as mesmas configurações, e portanto, com mesmo horário de início e término da rota, mesma capacidade e mesmo tempo de parada. Sendo assim, é importante, após os cálculos, fazer uma análise qualitativa a fim de verificar outras possíveis melhorias, caso as configurações sejam flexibilizadas. Esta análise pode ser auxiliada pela visualização geográfica dos pontos atendidos, conforme Figura 5.5.

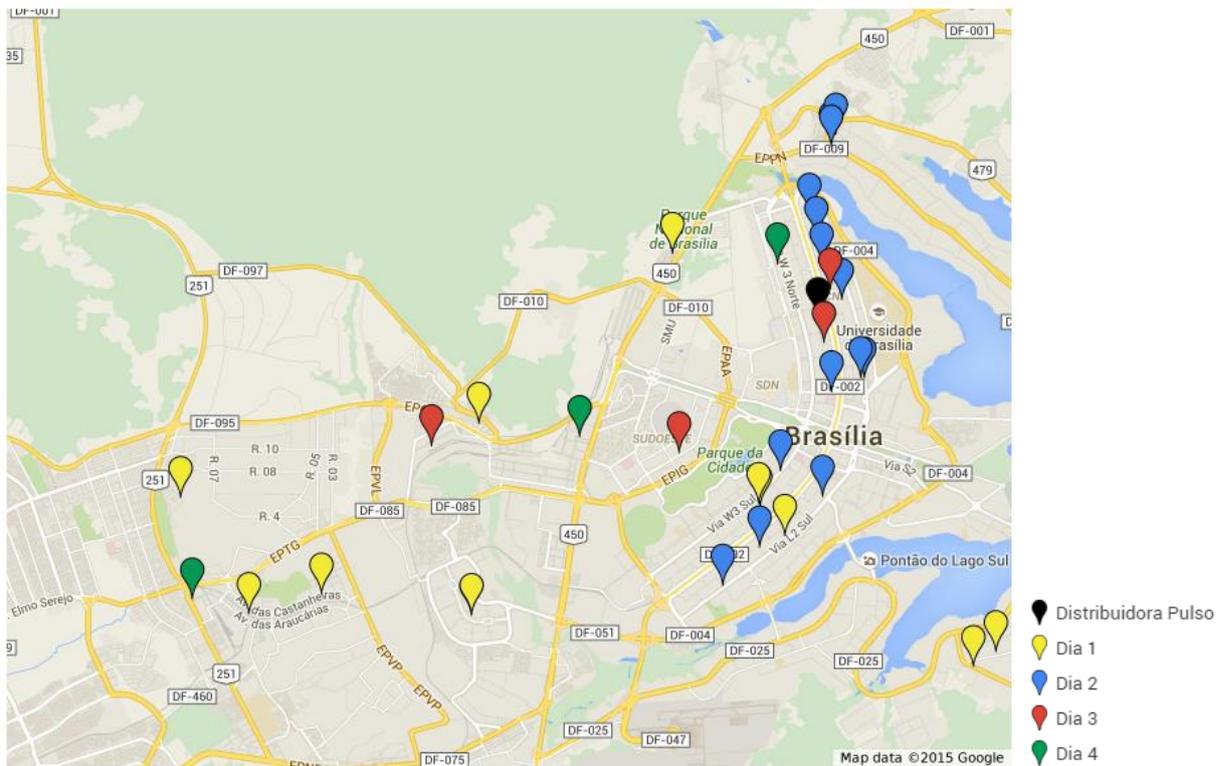


Figura 5.5 - Visualização geográfica da Simulação 1

Na figura, percebe-se, por exemplo, um ponto distante à esquerda em verde dentre os pontos amarelos. Analisando o cadastro de paradas, percebe-se que este ponto se refere a um cliente que só pode ser atendido após as 16h. Como os pontos ao seu redor constituem pares de altas economias no modelo, eles foram priorizados como início da rota, e como o horário de início foi configurado para as 8h, este cliente com restrição não poderá ser atendido neste dia em virtude do horário. Sabendo disto, uma nova simulação foi feita considerando apenas estes clientes mais afastados à esquerda, em um dia da semana com horário de início da rota às 12h. Pela solução do algoritmo, os pontos em amarelo podem ser atendidos na Segunda-Feira, e, portanto, este dia foi escolhido para simular esta rota, cujas paradas e configurações estão mostradas no Apêndice E e Figura 5.6, respectivamente. Neste caso, não se considerou horário de almoço, visto que a rota tem início às 12h.

Configurações

Horário de Início: 12:00 Local de Início e Término: DISTRIBUIDORA PULSO

Horário de Término: 18:00 Tempo de Parada para Almoço: 01:00

Tempo Padrão de Parada: 00:30 Selecione os dias da semana para roteirização:

Capacidade do Veículo (em cxs): 670 S T Q Q S S

Velocidade Média (km/h): 50

Cancelar Calcular Rotas

Figura 5.6 - Configurações da Simulação 2

O resultado da otimização é detalhado no Apêndice H e apresentado resumidamente na Figura 5.7. Pelo relatório, percebe-se que todos os clientes serão atendidos em apenas uma viagem no dia estipulado (Segunda-Feira), respeitando as restrições de horários dos clientes.

Rotimiza

Informações Gerais do Roteiro Semanal

Dias Necessários para Entrega	1 dias
Cientes Atendidos	6 cliente(s)
Cientes Não Atendidos	-
Quantidade Entregue (kg)	275,2 caixas
Distancia Total Percorrida	64,079 km
Tempo Total de Deslocamento	01:23
Tempo Total de Parada	02:50
Tempo Total	04:13:33
Total de Viagens	1 viagens

Menu Principal

1º DIA

Seg	Cientes atendidos	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Tempo Total	Total de Viagens
	6	275.2	64.1	01:23	02:50	04:13	1

Figura 5.7 - Relatório resumido da Simulação 2

Por fim, fez-se a simulação para todos os demais clientes não atendidos na Simulação 2. O cadastro destas paradas está detalhado no Apêndice F. Com os clientes cadastrados, calcularam-se as rotas de acordo com as configurações mostradas na Figura 5.8.

Configurações ✕

Horário de Início:	<input type="text" value="08:00"/>	Local de Início e Término:	<input type="text" value="DISTRIBUIDORA PULSO"/>
Horário de Término:	<input type="text" value="18:00"/>	Tempo de Parada para Almoço:	<input type="text" value="01:00"/>
Tempo Padrão de Parada:	<input type="text" value="00:30"/>	Selecione os dias da semana para roteirização:	
Capacidade do Veículo (em cxs):	<input type="text" value="670"/>	<input type="checkbox"/> S <input checked="" type="checkbox"/> T <input checked="" type="checkbox"/> Q <input checked="" type="checkbox"/> Q <input checked="" type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> S	
Velocidade Média (km/h):	<input type="text" value="50"/>	<input type="button" value="Cancelar"/> <input type="button" value="Calcular Rotas"/>	

Figura 5.8 - Configurações da Simulação 3

O resultado da otimização é detalhado no Apêndice I e apresentado resumidamente na Figura 5.9.

Informações Gerais do Roteiro Semanal

Dias Necessários para Entrega	4 dias
Clientes Atendidos	26 cliente(s)
Clientes Não Atendidos	-
Quantidade Entregue (kg)	1355,9 kg
Distancia Total Percorrida	203,281 km
Tempo Total de Deslocamento	05:30
Tempo Total de Parada	16:47
Tempo Total	22:17
Total de Viagens	11 viagens

	Qui						
1º DIA	Clientes atendidos	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Tempo Total	Total de Viagens
▼	11	186	93.8	02:23	04:55	07:18	3
2º DIA	Clientes atendidos	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Tempo Total	Total de Viagens
▼	13	703.9	60.1	01:56	05:58	07:54	6
3º DIA	Clientes atendidos	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Tempo Total	Total de Viagens
▼	1	11	15.6	00:23	00:21	00:44	1
4º DIA	Clientes atendidos	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Tempo Total	Total de Viagens
▼	1	455	33.8	00:46	05:33	06:19	1

Figura 5.9 - Relatório resumido da Simulação 3

Pelo relatório, nota-se um número alto de viagens no segundo dia. O algoritmo cria novas viagens quando se tem novos pontos com uma alta economia mas que não podem ser ligados diretamente aos clientes que já estão no roteiro. No entanto, ao final da otimização, o usuário pode manualmente unir as viagens de um mesmo dia, caso as restrições de horários ainda sejam satisfeitas e não haja necessidade de passar no depósito (neste caso, Distribuidora Pulso). Unindo as viagens possíveis e juntando as Simulações 2 e 3, tem-se o resultado final resumido na Figura 5.10 e detalhe no Apêndice J.

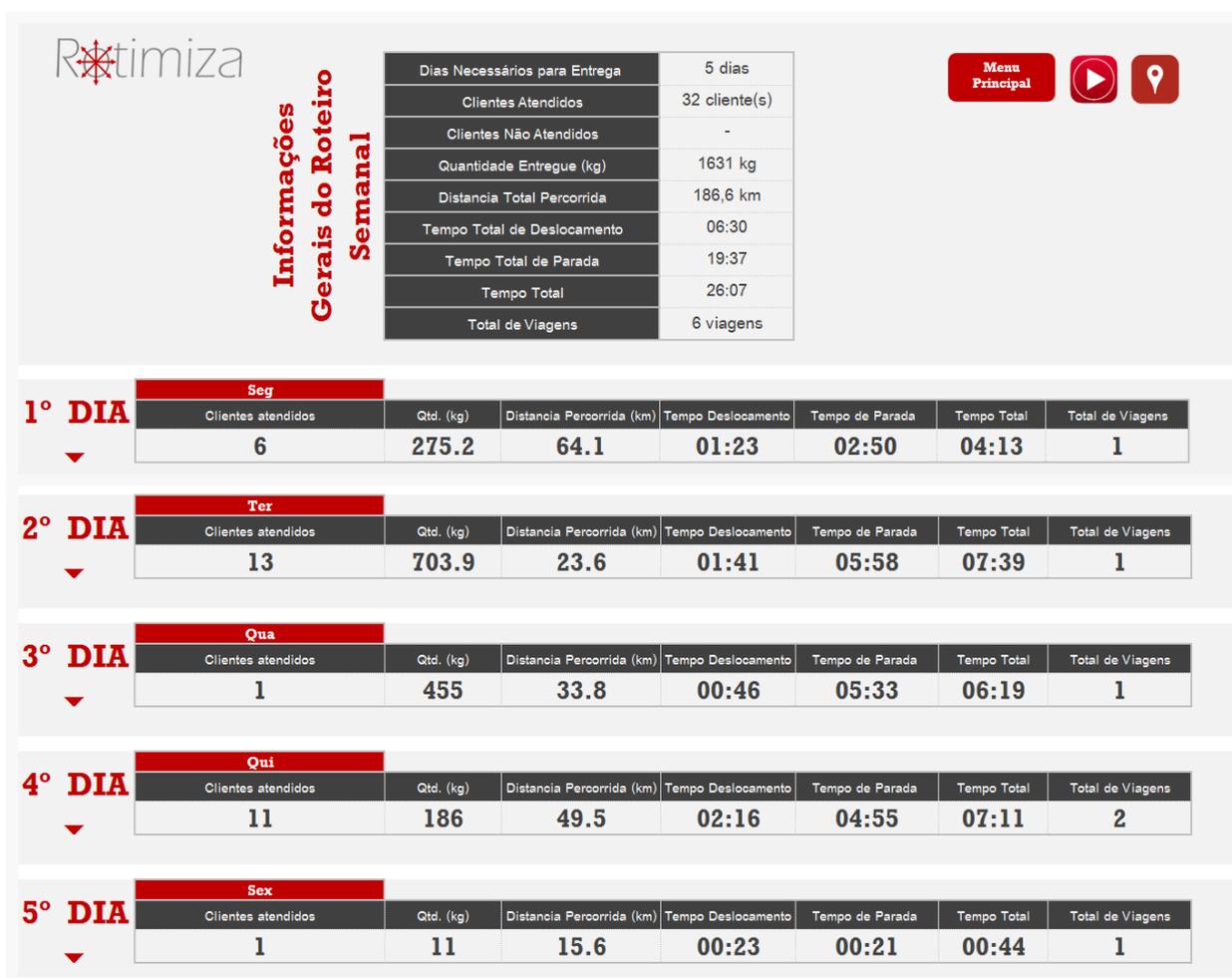


Figura 5.10 - Resultado final da otimização

Em comparação ao roteiro realizado, a rota otimizada reduziu em cerca de 50% a distância percorrida na semana (376km para 187km), reduzindo o tempo de deslocamento quase pela metade (12h36min para 06h36min). Além disso, todos os clientes planejados para aquela semana foram incluídos na rota, inclusive os dois clientes que não puderam ser atendidos no roteiro realizado.

Pela visualização geográfica (Figura 5.11) percebe-se uma melhor dispersão das entregas, ainda respeitando as restrições de tempo de capacidade.

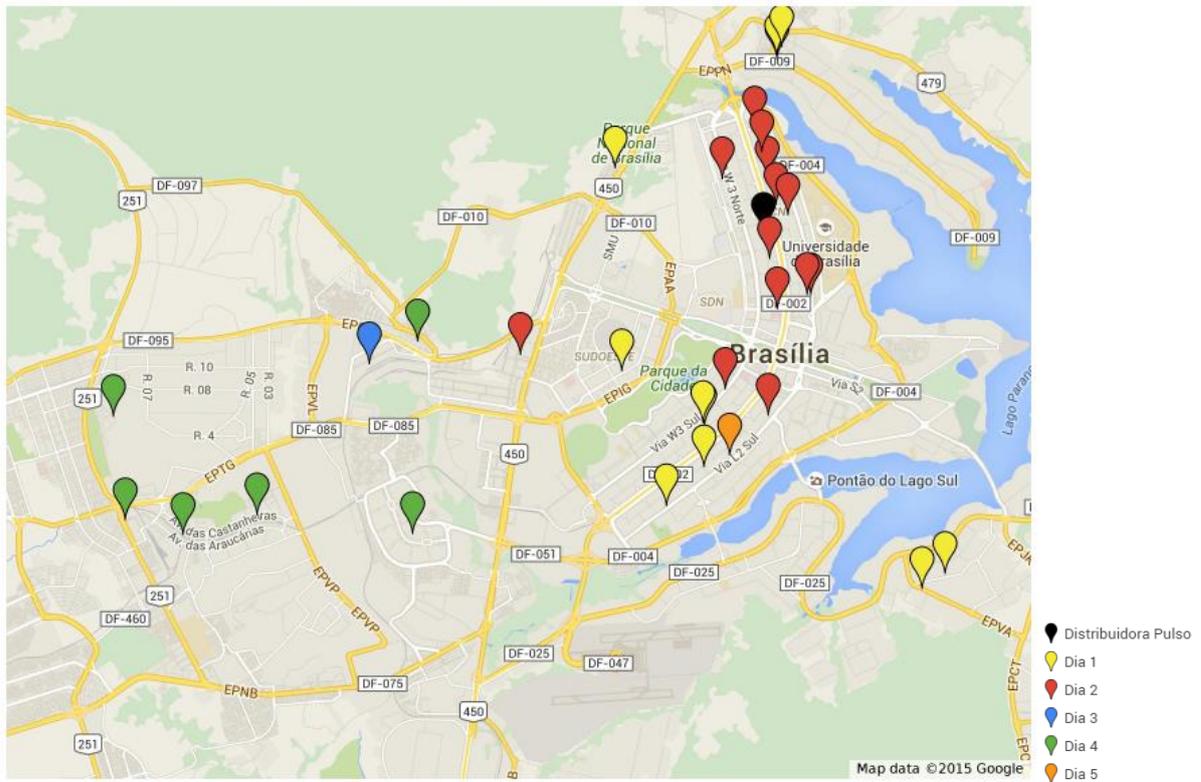


Figura 5.11 - Visualização geográfica da otimização final

6 Conclusão

Por meio do trabalho, pode-se concluir que a aplicação da roteirização em pequenas empresas é viável e não pode ser limitada pela alta complexidade ou pelos altos custos relacionados à implementação de um software específico para este fim.

Foi desenvolvida uma ferramenta em Excel, nomeada Rotimiza, caracterizada por um ambiente amigável e de fácil interatividade. O algoritmo implementado baseou-se no método de Clarke e Wright com restrições de capacidade do veículo, tempos de início e término do roteiro e restrições de dias e horários de atendimento. O algoritmo foi escrito em VBA (*Visual Basic for Applications*), de forma que o usuário possa automaticamente encontrar uma solução otimizada para a roteirização de seus clientes. Apesar da simplicidade e facilidade de aplicação do método, este apresenta resultados bem próximos à solução ótima. No entanto, é importante ressaltar a necessidade de uma análise qualitativa após a aplicação da ferramenta, conforme apresentado no estudo de caso.

Após as simulações e análises qualitativas, a otimização das rotas da empresa analisada resultou em uma redução de aproximadamente 50% tanto da distância total percorrida quanto do tempo de deslocamento do roteiro. O estudo de caso teve como objetivo justificar, por meio de resultados, a necessidade de uma programação antes das entregas. No entanto, sabe-se que na prática os tempos de paradas não são precisamente conhecidos, assim como os pedidos podem ser agendados com pouco tempo para entrega, não possibilitando uma simulação semanal, por exemplo. Dessa forma, a ferramenta criada (Rotimiza), fornece ao usuário a flexibilidade para simular suas rotas sempre que surgirem novas demandas. Como sugestões para trabalhos futuros, podem ser analisados a aplicabilidade em roteiros com a utilização de dois ou mais veículos, a possível flexibilidade de alteração da função objetivo (minimização de distância, tempo, custo ou outros) e um estudo mais aprofundado acerca dos custos diretos e indiretos reduzidos com a aplicação da roteirização.

Pelos resultados apresentados com a aplicação do algoritmo no estudo de caso, fica visível que uma boa roteirização possibilita a redução de custos logísticos e proporciona melhorias nos níveis de serviço, por meio da otimização das distâncias e do tempo de entrega dos pontos de atendimento. Aplicando-se a roteirização em pequenas empresas, cria-se a possibilidade de organizações deste porte não perderem competitividade frente a médias e grandes empresas.

Referências Bibliográficas

- ALVARENGA, A. C; NOVAES, A. G. **Logística Aplicada: suprimentos e distribuição física**. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.
- ASSAD, A. A. **Modelling and Implementation Issues in Vehicle Routing**. In: **Vehicle Routing: Methods and Studies**, editado por: Golden, B.L; Assad, A. A. v.16, p. 127- 148, second impression, 1991.
- BALLOU Ronald H. **Logística Empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**; Tradução de Hugo T. Y. Yoshizaki.São Paulo: Atlas, 388 p., 2009.
- BALLOU Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BALLOU, R. H., **Business Logistics Management**, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NK. 1999.
- BODIN, L. D.; GOLDEN. B.; ASSAD, A.; BALL, M. **Routing and scheduling of vehicles and crews: the state of the art**. Computers and Operations Research, v.10, n.2, 1983.
- BODIN, Lawrence B. **Twenty years of routing and scheduling**. Operations Research, 38(4), pp.571-579, 1990.
- BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J. **Logística Empresarial: O Processo de Integração da Cadeia de Suprimento**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2001.
- CHOPRA, Sunil; MEINDL, Peter. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**. São Paulo: Prentice Hall, 2003.
- CHRISTOPHER, Martin. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: criando redes que agregam valor**. 2. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007.
- CLARKE, G.; WRIGHT, J.W. **Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points**. Operations Research, v. 12, p.568 -581, 1964.
- COUTO, P. T. B. **Resolução de problemas de transporte rodoviário de carga utilizando programação inteira**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, PUC-Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 81p, 2004.
- CUNHA, Claudio Barbieri da. **Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de Veículos a Problemas Reais**. Revista Transportes: ANPET, São Paulo, p.51-74, 10 nov. 2000.
- CUNHA, Claudio Barbieri. da. **Uma contribuição para o problema de roteirização de veículos com restrições operacionais**. São Paulo: EPUSP, Departamento de Engenharia de Transportes. 222p. (Tese de Doutorado), 1997.
- ENOMOTO, L. M. **Análise da distribuição física e roteirização em um atacadista do sul de Minas Gerais**. Itajubá: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da

Universidade Federal de Itajubá. (Dissertação de Mestrado em Ciências em Engenharia de Produção), 2005.

GALVÃO, L. C. **Dimensionamento de Sistemas de Distribuição através do Diagrama Multiplicativo de Voronoi com Pesos**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC, Florianópolis, 2003.

GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1991.

LAPORTE, G. (1992), **The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms**. European Journal of Operational Research, 59(3), p. 345-358.

LAPORTE, G.; GENDREAU, M.; POTVIN, J.Y.; SEMET, F. **Classical and Modern Heuristics for the Vehicle Routing Problem**. International Transactions in Operational Research, v.7, n. 4/5, p. 285-300. 2000.

MELO, A. C. da S. e FILHO, V. J. M. F. **Sistemas de roteirização e programação de veículos**. Pesquisa Operacional, v.21, n.2, p. 223-232, 2001.

NARUO, M. K. **O Estudo do consórcio entre municípios de pequeno porte para disposição final de Resíduos Sólidos Urbanos, utilizando Sistemas de Informação Geográficas**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos. 283p., 2003.

NOVAES, Antônio Galvão. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação**. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2007.

PARTYKA, J. G. e HALL, R. W. (2000). **On the road to service**. ORMS Today, v. 27, p. 26-30.

PORTER, Michael E. **Vantagem competitiva: criando e sustentando um desempenho superior**. 4.ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

RONEN, D. **Perspectives on practical aspects of truck routing and scheduling**. European Journal of Operational Research, 35(2):137-145, 1988.

SANTOS, E. M. **Contribuição à gestão de distribuição de cargas em áreas urbanas sob a ótica do conceito de city logistics**. Dissertação – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SILVA JÚNIOR, O. S.; HAMACHER, S., **Comparação de modelos exatos para solução do problema de roteirização de veículos com janelas de tempo**, XLII SBPO – Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2010.

SILVA, G. L. **Uma nova abordagem para o problema de roteirização de veículos com restrições operacionais**. Tese (Doutorado em Transportes) - Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 2000.

APÊNDICE B – Formulário de Levantamento de Clientes e Tempo

Levantamento de Clientes e Tempos - Entregas em AS

Motorista: _____

Horário de Saída da Empresa: _____

Data: ____/____/____

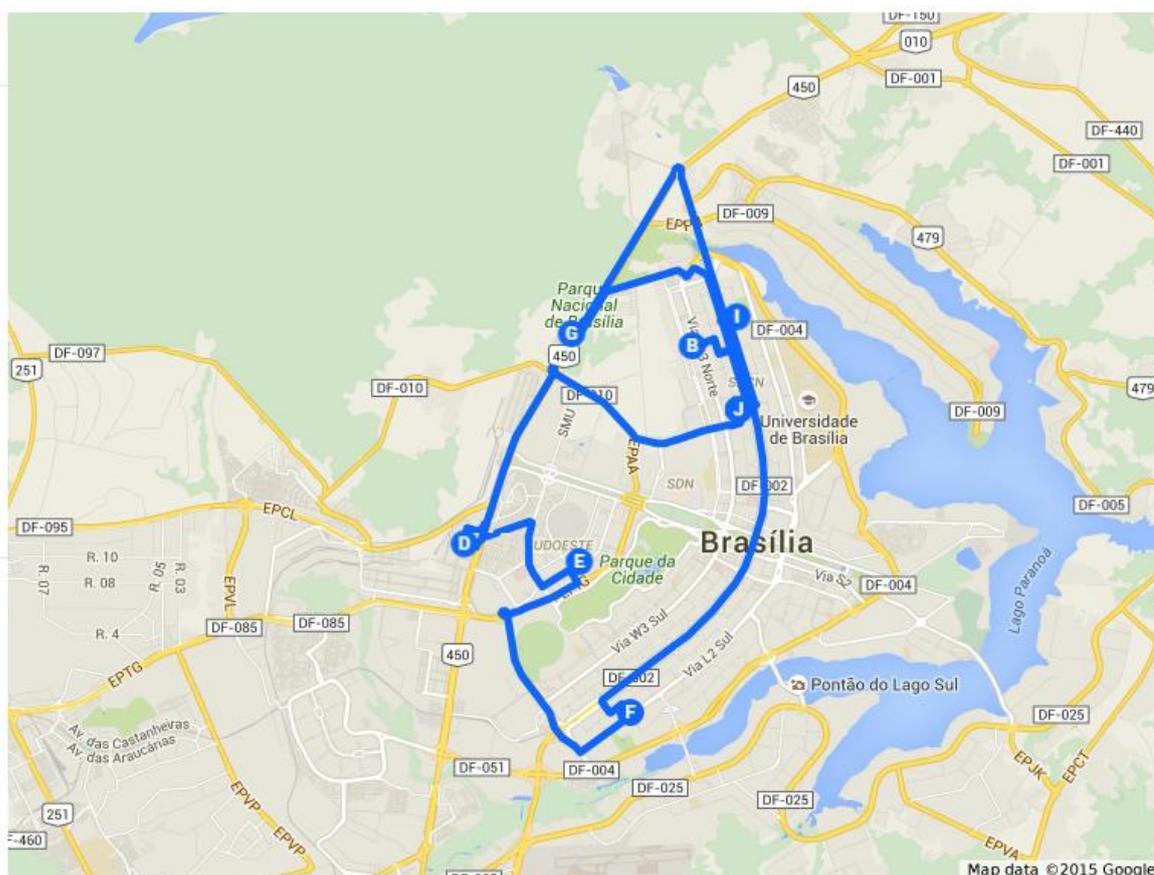
Horário de Chegada na Empresa: _____

Parada/Cliente	Quantidade Entregue	Horário de Chegada	Horário de Saída	Observações

Terça-Feira

<i>Distância Percorrida:</i>	67 km
<i>Tempo Total de Desloc.:</i>	02:19
<i>Tempo Total de Paradas:</i>	04:54
<i>Tempo Total do Roteiro:</i>	07:13

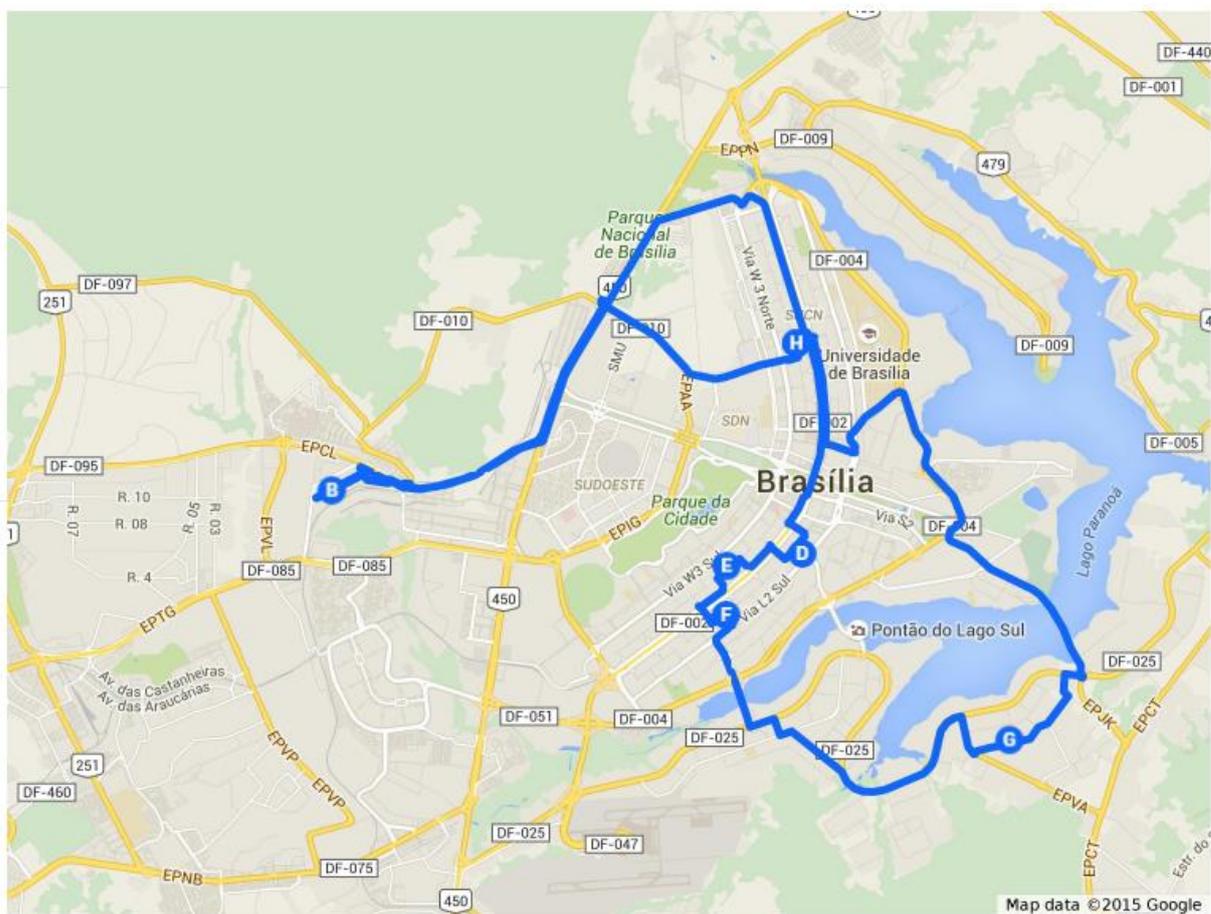
Parada/Cliente	Quantidade	Horário de Chegada	Horário de Saída	Tempo de Parada	Tempo de Desloc.	Observações
J Distribuidora Pulso			07:45			
B Fábrica Mr. Brownie	+ 4320 brownies	07:52	08:50	00:58	00:07	
J Distribuidora Pulso	- 4320 brownies	08:55	09:01	00:06	00:05	
D Super Adega	-1600 brownies	09:25	10:28	01:03	00:24	Pedido agendado. (Terça, até as 10h)
E Oba Hortifruti - Sudoeste	- 400 brownies	10:40	11:06	00:26	00:12	Cliente não recebe mercadoria de 12h as 14h.
F Bix Box Tatá - 412S	- 400 brownies	11:29	13:08	01:39	00:23	
G Corina - SOF	+ 1 barril	13:35	13:42	00:07	00:27	
J Distribuidora Pulso	+ 4 barris	13:56	14:22	00:26	00:14	
I Santuário - 214N	- 4 barris	14:44	14:53	00:09	00:22	Cliente só recebe mercadoria até as 16h.
J Distribuidora Pulso		14:58			00:05	



Quarta-Feira

<i>Distância Percorrida:</i>	75 km
<i>Tempo Total de Desloc.:</i>	01:58
<i>Tempo Total de Paradas:</i>	06:36
<i>Tempo Total do Roteiro:</i>	08:34

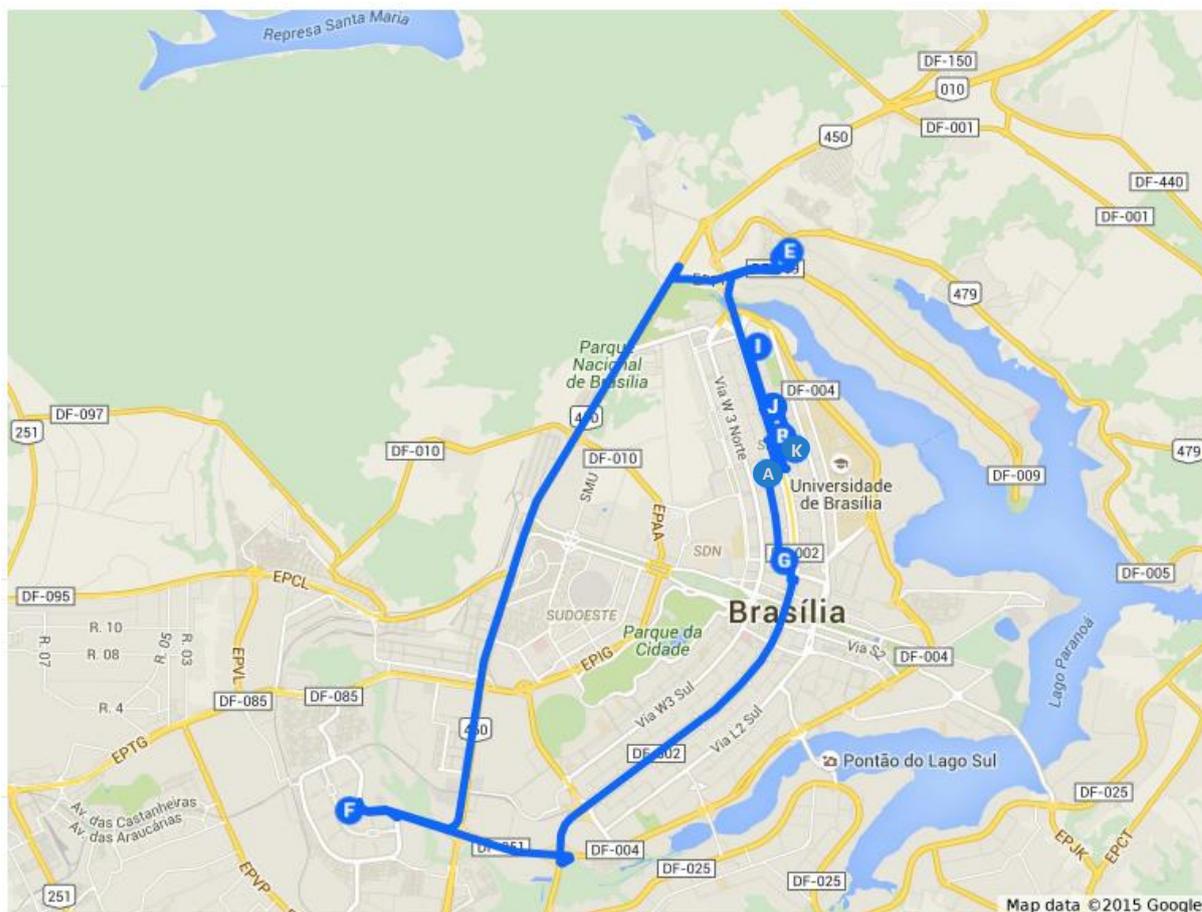
Parada/Cliente	Quantidade	Horário de Chegada	Horário de Saída	Tempo de Parada	Tempo de Desloc.	Observações
H Distribuidora Pulso			08:40			
B Oba Hortifruti - Guará	- 910 cervejas	09:20	14:53	05:33	00:40	Pedido agendado. (Quarta, até as 10h)
H Distribuidora Pulso	+ 1 barril	15:08	15:28	00:20	00:15	
D Soares & Souza - 403S	- 160 cervejas	15:50	16:00	00:10	00:22	
E Paradiso - 306S	- 12 cervejas	16:09	16:25	00:16	00:09	
F C'est la Vie - 408S	- 24 cervejas	16:30	16:36	00:06	00:05	Cliente não recebe mercadoria antes de 12h.
G Kombier - Lago Sul	- 1 barril	16:48	16:59	00:11	00:12	
H Distribuidora Pulso		17:14			00:15	



Sexta-Feira

<i>Distância Percorrida:</i>	55 km
<i>Tempo Total de Desloc.:</i>	01:43
<i>Tempo Total de Paradas:</i>	05:23
<i>Tempo Total do Roteiro:</i>	07:06

Parada/Cliente	Quantidade	Horário de Chegada	Horário de Saída	Tempo de Parada	Tempo de Desloc.	Observações
A Distribuidora Pulso			08:46			
B Oba Hortifruti - 209N	- 400 brownies	08:54	09:31	00:37	00:08	
A Península - Lago Norte	- 400 brownies	09:42	10:23	00:41	00:11	
D Big Box Sibéria - Lago Norte	- 400 brownies	10:33	11:41	01:08	00:10	
E CandangoBrau - Lago Norte	- 24 cervejas	11:49	11:58	00:09	00:08	Cliente não recebe mercadoria de 12h as 14h.
Almoço				01:00		
F Lobão - Guará	+200 cervejas	13:15	14:10	00:55	00:17	
G Objeto Encontrado - 102N	- 62 cervejas	14:30	14:42	00:12	00:20	
A Distribuidora Pulso		14:48	15:03	00:15	00:06	
I Distribuidora Planalto - 215N	- 208 cervejas	15:11	15:17	00:06	00:08	
J Soares & Souza - 212N	- 143 cervejas	15:21	15:33	00:12	00:04	
K Grote Markt - 409N	- 50 cervejas	15:40	15:48	00:08	00:07	
A Distribuidora Pulso		15:52			00:04	



APÊNDICE D – Cadastro de Paradas - Simulação 1



Cadastrar Paradas

Menu Principal



Cadastro de Paradas					
Clientes a Ser Atendidos	Qtd. (KG)	Restrições de Dias	Tempo de Parada (min)	Restrições de Horário	
BIG BOX - BRUNELA	14.8		0:45		
BIG BOX - BIG TRANS	29.6		1:20		
BIG BOX CARMO - ÁGUAS CLARAS	7.4		1:26		
GODOFREDO	9		0:04		
SANTUARIO	152		0:09	08:00	16:00
FÁBRICA MR. BROWNIE	159.84	Seg Qua Qui Sex Sab	0:58		
SUPER ADEGA	59.2	Seg Qua Qui Sex Sab	1:03	10:00	18:00
OBA HORTIFRUTI - 302 SUDOESTE	14.8		0:26	12:00	14:00
BIG BOX - TATÁ	14.8		1:39		
CORINA CERVEJAS ARTESANAIS	38		0:07		
OBA - GUARÁ	455	Seg Ter Qui Sex Sab	5:33	10:00	18:00
SOARES & SOUZ A - 403 SUL	80		0:10		
PARADISO - 306 SUL	6		0:16		
C'EST LA VIE - 408 SUL	12		0:06	12:00	18:00
KOMBIER	38		0:11		
KASHMIR - ÁGUAS CLARAS	38		0:24	08:00	16:00
BOUZA BEER	38		0:03		
FUSBIER CERVEJARIA ARTESANAL	38		0:11		
SOLEDADE - AGUAS CLARAS	14.8		0:05		
MERCADINHO LOBÃO	139		0:41		
LOCA COMO TU MADRE - 306 SUL	9.5		0:04		
PIVO CERVEJAS ESPECIAIS	11		0:21	08:00	16:00
CANTUCCI BISTRÔ - 403 NORTE	11		0:07		
OBA HORTIFRUTI - 209 NORTE	14.8		0:37		
BIG BOX - PENÍNSULA	14.8		0:41		
BIG BOX - SIBÉRIA	14.8		1:08		
CANDANGOBRAU - LAGO NORTE	12		0:09	12:00	14:00
OBJETO ENCONTRADO - 102 NORTE	31		0:12		
DISTRIBUIDORA PLANALTO - 215 NORTE	104		0:15		
EMPORIO SOARES & SOUZA- ASA NORTE	71.5		0:06		
BIG BOX - BENTO	14.8		0:12		
SOLEDADE - LAGO SUL	14.8		0:08		

APÊNDICE E – Cadastro de Paradas - Simulação 2



Cadastrar
Paradas

Menu
Principal



Cadastro de Paradas					
Clientes a Ser Atendidos	Qtd. (KG)	Restrições de Dias	Tempo de Parada (min)	Restrições de Horário	
BIG BOX CARMO - ÁGUAS CLARAS	7.4		1:26		
BOUZA BEER	38		0:03		
FUSBIER CERVEJARIA ARTESANAL	38		0:11		
SOLEDADE - AGUAS CLARAS	14.8		0:05		
MERCADINHO LOBÃO	139		0:41		
KASHMIR - ÁGUAS CLARAS	38		0:24	08:00	16:00

APÊNDICE F – Cadastro de Paradas - Simulação 3



Cadastrar
Paradas

Menu
Principal



Cadastro de Paradas					
Cientes a Ser Atendidos	Qtd. (KG)	Restrições de Dias	Tempo de Parada (min)	Restrições de Horário	
BIG BOX - BRUNELA	14.8		0:45		
BIG BOX - BIG TRANS	29.6		1:20		
GODOFREDO	9		0:04		
SANTUARIO	152		0:09	08:00	16:00
FÁBRICA MR. BROWNIE	159.84	Seg Qua Qui Sex Sab	0:58		
SUPER ADEGA	59.2	Seg Qua Qui Sex Sab	1:03	10:00	18:00
OBA HORTIFRUTI - 302 SUDOESTE	14.8		0:26	12:00	14:00
BIG BOX - TATÁ	14.8		1:39		
CORINA CERVEJAS ARTESANAIS	38		0:07		
OBA - GUARÁ	455	Seg Ter Qui Sex Sab	5:33	10:00	18:00
SOARES & SOUZ A - 403 SUL	80		0:10		
PARADISO - 306 SUL	6		0:16		
C'EST LA VIE - 408 SUL	12		0:06	12:00	18:00
KOMBIER	38		0:11		
LOCA COMO TU MADRE - 306 SUL	9.5		0:04		
PIVO CERVEJAS ESPECIAIS	11		0:21	08:00	16:00
CANTUCCI BISTRÔ - 403 NORTE	11		0:07		
OBA HORTIFRUTI - 209 NORTE	14.8		0:37		
BIG BOX - PENÍNSULA	14.8		0:41		
BIG BOX - SIBÉRIA	14.8		1:08		
CANDANGOBRAU - LAGO NORTE	12		0:09	12:00	14:00
OBJETO ENCONTRADO - 102 NORTE	31		0:12		
DISTRIBUIDORA PLANALTO - 215 NORTE	104		0:15		
EMPORIO SOARES & SOUZA- ASA NORTE	71.5		0:06		
BIG BOX - BENTO	14.8		0:12		
SOLEDADE - LAGO SUL	14.8		0:08		

APÊNDICE G – Relatório 1

Rotimiza

**Informações
Gerais do Roteiro
Semanal**

Dias Necessários para Entrega	4 dias
Clientes Atendidos	32 cliente(s)
Clientes Não Atendidos	-
Quantidade Entregue (kg)	1896,04 caixas
Distancia Total Percorrida	357,383 km
Tempo Total de Deslocamento	08:59
Tempo Total de Parada	19:37
Tempo Total	28:36
Total de Viagens	12 viagens

Menu
Principal



1º DIA

Seg

Clientes atendidos	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Tempo Total	Total de Viagens
10	535.7	148.3	03:30	03:04	06:34	3

1ª VIAGEM

Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
SOLEDADE - ÁGUAS CLARAS	14.8	23.91	00:34	00:05	
BIG BOX CARMO - ÁGUAS CLARAS	7.4	2.687	00:07	01:26	
FUSBIER CERVEJARIA ARTESANAL	38	6.089	00:07	00:11	
DISTRIBUIDORA PULSO	0	27.597	00:34	00:00	
Total	60	60.3	01:24	01:42	-

2ª VIAGEM

Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
KOMBIER	38	17.055	00:24	00:11	
SOLEDADE - LAGO SUL	38	1.247	00:03	00:08	
DISTRIBUIDORA PULSO	0	21.475	00:26	00:00	
Total	76	39.8	00:54	00:19	-

3ª VIAGEM

Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
C'EST LA VIE - 408 SUL	12	9.809	00:13	00:06	O cliente não poderá ser atendido de 12:00 as 18:00.
MERCADINHO LOBÃO	139	10.658	00:15	00:41	
BOUZA BEER	139	7.949	00:17	00:03	
CORINA CERVEJAS ARTESANAIS	38	10.552	00:12	00:07	
EMPORIO SOARES & SOUZA-ASA NORTE	71.5	7.221	00:08	00:06	
DISTRIBUIDORA PULSO	0	2.081	00:03	00:00	
Total	400	48.3	01:11	01:03	-

2º DIA

Qui/Sex

Clientes atendidos	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Tempo Total	Total de Viagens
10	291.1	63.5	01:54	06:00	07:54	4

1ª VIAGEM

Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
PARADISO - 306 SUL	6	7.54	00:10	00:16	
LOCA COMO TU MADRE - 306 SUL	9.5	0.079	00:00	00:04	
DISTRIBUIDORA PULSO	0	7.677	00:13	00:00	
Total	16	15.3	00:24	00:20	-

2ª VIAGEM

Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
BIG BOX - PENINSULA	14.8	6.947	00:10	00:41	
BIG BOX - SIBÉRIA	14.8	0.576	00:01	01:08	
CANDANGOBRAU - LAGO NORTE	12	0.813	00:02	00:09	O cliente não poderá ser atendido de 12:00 as 14:00.
DISTRIBUIDORA PULSO	0	7.07	00:08	00:00	
Total	42	15.4	00:23	01:58	-

3ª VIAGEM	Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
	SOARES & SOUZA - 403 SUL	80	6.501	00:10	00:10	
	BIG BOX - TATÁ	80	3.852	00:07	01:39	
	OBA HORTIFRUTI - 302 SUDOESTE	14.8	8.019	00:15	00:26	O cliente não poderá ser atendido de 12:00 as 14:00.
	DISTRIBUIDORA PULSO	0	8.273	00:20	00:00	
Total	175	26.6	00:53	02:15	-	

4ª VIAGEM	Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
	BIG BOX - BIG TRANS	29.6	2.929	00:06	01:20	
	CANTUCCI BISTRÔ - 403 NORTE	29.6	0.34	00:01	00:07	
	DISTRIBUIDORA PULSO	0	2.857	00:05	00:00	
Total	59	6.1	00:13	01:27	-	

3º DIA	Qua						
	Clientes atendidos	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Tempo Total	Total de Viagens
	7	645.4	57.9	01:28	07:14	08:30	2

1ª VIAGEM	Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
	OBA - GUARÁ	455	16.231	00:24	05:33	O cliente não poderá ser atendido de 10:00 as 18:00.
	BIG BOX - BENTO	14.8	13.01	00:20	00:12	
	OBJETO ENCONTRADO - 102 NORTE	31	2.916	00:07	00:12	
	DISTRIBUIDORA PULSO	0	2.296	00:05	00:00	
Total	501	34.5	00:57	05:57	-	

2ª VIAGEM	Paradas	Caixas Entregues	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
	OBA HORTIFRUTI - 209 NORTE	14.8	1.366	00:02	00:37	
	GODOFREDO	14.8	0.611	00:01	00:04	
	DISTRIBUIDORA PLANALTO - 215 NORTE	104	3.101	00:05	00:15	
	PIVO CERVEJAS ESPECIAIS	11	10.733	00:10	00:21	O cliente não poderá ser atendido de 08:00 as 16:00.
	DISTRIBUIDORA PULSO	0	7.679	00:11	00:00	
Total	145	23.5	00:31	01:17	-	

4º DIA	Ter						
	Clientes atendidos	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Tempo Total	Total de Viagens
	5	423.84	87.6	02:06	03:19	05:25	3

1ª VIAGEM	Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
	FÁBRICA MR. BROWNIE	159.84	3.28	00:07	00:58	
	SUPERADEGA	59.2	12.336	00:20	01:03	O cliente não poderá ser atendido de 10:00 as 18:00.
	BIG BOX - BRUNELA	14.8	15.235	00:18	00:45	
	DISTRIBUIDORA PULSO	0	0.807	00:02	00:00	
Total	234	31.7	00:48	02:46	-	

2ª VIAGEM	Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
	SANTUARIO	152	2.87	00:04	00:09	O cliente não poderá ser atendido de 08:00 as 16:00.
	DISTRIBUIDORA PULSO	0	2.87	00:04	00:00	
Total	152	5.7	00:08	00:09	-	

3ª VIAGEM	Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
	KASHMIR - ÁGUAS CLARAS	38	23.046	00:37	00:24	O cliente não poderá ser atendido de 08:00 as 16:00.
	DISTRIBUIDORA PULSO	0	27.193	00:31	00:00	
Total	38	50.2	01:09	00:24	-	

APÊNDICE H – Relatório 2

Rotimiza

Informações Gerais do Roteiro Semanal

Dias Necessários para Entrega	1 dias
Cientes Atendidos	6 cliente(s)
Cientes Não Atendidos	-
Quantidade Entregue (kg)	275,2 caixas
Distancia Total Percorrida	64,079 km
Tempo Total de Deslocamento	01:23
Tempo Total de Parada	02:50
Tempo Total	04:13:33
Total de Viagens	1 viagens

Menu Principal  

1º DIA		Seg					
	Cientes atendidos	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Tempo Total	Total de Viagens
	6	275.2	64.1	01:23	02:50	04:13	1
1ª VIAGEM	Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações	
	SOLEDADE - ÁGUAS CLARAS	14.8	1.984	00:03	00:05		
	BOUZA BEER	38	2.532	00:04	00:03		
	FUSBIER CERVEJARIA ARTESANAL	38	24.562	00:32	00:11		
	MERCADINHO LOBÃO	139	25.046	00:28	00:41		
	BIG BOX CARMO - ÁGUAS CLARAS	7.4	3.633	00:04	01:26		
	KASHMIR - ÁGUAS CLARAS	38	3.381	00:04	00:24	O cliente não poderá ser atendido de 08:00 as 16:00.	
	DISTRIBUIDORA PULSO	0	2.941	00:06	00:00		
Total	275	64.1	01:23	02:50	-		

APÊNDICE I – Relatório 3

Rotimiza

Informações Gerais do Roteiro Semanal

Dias Necessários para Entrega	4 dias
Clientes Atendidos	26 cliente(s)
Clientes Não Atendidos	-
Quantidade Entregue (kg)	1355,9 kg
Distancia Total Percorrida	203,281 km
Tempo Total de Deslocamento	05:30
Tempo Total de Parada	16:47
Tempo Total	22:17
Total de Viagens	11 viagens

Menu Principal  

1º DIA **Qui**

Clientes atendidos	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Tempo Total	Total de Viagens
11	186	93.8	02:23	04:55	07:18	3

3ª VIAGEM

Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
OBA HORTIFRUTI - 302 SUDOESTE	14.8	7.306	00:16	00:26	O cliente não poderá ser atendido de 12:00 as 14:00.
CORINA CERVEJAS ARTESANAIS	38	9.054	00:15	00:07	
CANDANGOBRAU - LAGO NORTE	12	7.077	00:10	00:09	O cliente não poderá ser atendido de 12:00 as 14:00.
BIG BOX - PENÍNSULA	14.8	0.467	00:01	00:41	
BIG BOX - SIBÉRIA	14.8	0.576	00:01	01:08	
DISTRIBUIDORA PULSO	0	7.894	00:11	00:00	
Total	94	32.4	00:56	02:31	-

2º DIA **Ter**

Clientes atendidos	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Tempo Total	Total de Viagens
13	703.9	60.1	01:56	05:58	07:54	6

1ª VIAGEM

Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
SUPERADEGA	59.2	10.961	00:17	01:03	O cliente não poderá ser atendido de 10:00 as 18:00.
BIG BOX - BENTO	14.8	10.058	00:19	00:12	
SOARES & SOUZA - 403 SUL	80	2.284	00:05	00:10	
DISTRIBUIDORA PULSO	0	6.036	00:11	00:00	
Total	154	29.3	00:55	01:25	-

2ª VIAGEM

Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
BIG BOX - BIG TRANS	29.6	2.929	00:06	01:20	
CANTUCCI BISTRÔ - 403 NORTE	29.6	0.34	00:01	00:07	
DISTRIBUIDORA PULSO	0	2.857	00:05	00:00	
Total	59	6.1	00:13	01:27	-

3ª VIAGEM	Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
	DISTRIBUIDORA PLANALTO - 215 NORTE	104	3.608	00:05	00:15	
	FÁBRICA MR. BROWNIE	104	2.414	00:06	00:58	O cliente não poderá ser atendido de 09:30 as 18:00.
	EMPORIO SOARES & SOUZA-ASA NORTE	71.5	1.663	00:02	00:06	
	DISTRIBUIDORA PULSO	0	2.081	00:03	00:00	
Total	280	9.8	00:17	01:19	-	

4ª VIAGEM	Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
	OBA HORTIFRUTI - 209 NORTE	14.8	1.366	00:02	00:37	
	GODOFREDO	14.8	0.611	00:01	00:04	
	DISTRIBUIDORA PULSO	0	1.986	00:04	00:00	
Total	30	4.0	00:08	00:41	-	

5ª VIAGEM	Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
	BIG BOX - BRUNELA	14.8	1.151	00:02	00:45	
	OBJETO ENCONTRADO - 102 NORTE	14.8	1.679	00:04	00:12	
	DISTRIBUIDORA PULSO	0	2.296	00:05	00:00	
Total	30	5.1	00:12	00:57	-	

6ª VIAGEM	Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
	SANTUARIO	152	2.87	00:04	00:09	O cliente não poderá ser atendido de 08:00 as 16:00.
	DISTRIBUIDORA PULSO	0	2.87	00:04	00:00	
	Total	152	5.7	00:08	00:09	-

3º DIA	Sex	Cientes atendidos	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Tempo Total	Total de Viagens
	▼		1	11	15.6	00:23	00:21	00:44

1ª VIAGEM	Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
	PIVO CERVEJAS ESPECIAIS	11	7.94	00:12	00:21	O cliente não poderá ser atendido de 08:00 as 16:00.
	DISTRIBUIDORA PULSO	0	7.679	00:11	00:00	
	Total	11	15.6	00:23	00:21	-

4º DIA	Qua	Cientes atendidos	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Tempo Total	Total de Viagens
	▼		1	455	33.8	00:46	05:33	06:19

1ª VIAGEM	Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
	OBA - GUARÁ	455	16.231	00:24	05:33	O cliente não poderá ser atendido de 10:00 as 18:00.
	DISTRIBUIDORA PULSO	0	17.565	00:22	00:00	
	Total	455	33.8	00:46	05:33	-

APÊNDICE J – Otimização Final

R ot imiza		Informações Gerais do Roteiro Semanal		Dias Necessários para Entrega		5 dias	
				Clientes Atendidos		32 cliente(s)	
				Clientes Não Atendidos		-	
				Quantidade Entregue (kg)		1631 kg	
				Distancia Total Percorrida		186,6 km	
				Tempo Total de Deslocamento		06:30	
				Tempo Total de Parada		19:37	
				Tempo Total		26:07	
		Total de Viagens		6 viagens			

Menu Principal

1º DIA		Seg						
		Clientes atendidos	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Tempo Total	Total de Viagens
▼		6	275.2	64.1	01:23	02:50	04:13	1
1ª VIAGEM		Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações	
		SOLEDADE - AGUAS CLARAS	14.8	1.984	00:03	00:05		
		BOUZA BEER	38	2.532	00:04	00:03		
		FUSBIER CERVEJARIA ARTESANAL	38	24.562	00:32	00:11		
		MERCADINHO LOBÃO	139	25.046	00:28	00:41		
		BIG BOX CARMO - ÁGUAS CLARAS	7.4	3.633	00:04	01:26		
		KASHMIR - ÁGUAS CLARAS	38	3.381	00:04	00:24	O cliente não poderá ser atendido de 08:00 as 16:00.	
		DISTRIBUIDORA PULSO	0	2.941	00:06	00:00		
Total		275	64.1	01:23	02:50	-		

2º DIA		Ter						
		Clientes atendidos	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Tempo Total	Total de Viagens
▼		13	703.9	23.6	01:41	05:58	07:39	1
1ª VIAGEM		Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações	
		SUPERADEGA	59.2	10.961	00:17	01:03	O cliente não poderá ser atendido de 10:00 as 18:00.	
		BIG BOX - BENTO	14.8	10.058	00:19	00:12		
		SOARES & SOUZA - 403 SUL	80	2.284	00:05	00:10		
		BIG BOX - BIG TRANS	29.6	4.717	00:08	01:20		
		CANTUCCI BISTRÔ - 403 NORTE	29.6	0.34	00:01	00:07		
		DISTRIBUIDORA PLANALTO - 215 NORTE	104	3.608	00:05	00:15		
		FÁBRICA MR. BROWNIE	104	5.351	00:11	00:58		
		EMPORIO SOARES & SOUZA- ASA NORTE	71.5	0.982	00:02	00:06		
		OBA HORTIFRUTI - 209 NORTE	14.8	1.366	00:05	00:37		
		GODOFREDO	14.8	2.40	00:06	00:04		
		BIG BOX - BRUNELA	14.8	1.151	00:02	00:45		
		OBJETO ENCONTRADO - 102 NORTE	14.8	4.387	00:04	00:12		
		SANTUARIO	152	2.87	00:07	00:09	O cliente não poderá ser atendido de 08:00 as 16:00.	
		DISTRIBUIDORA PULSO	0	2.87	00:04	00:00		
Total		152	23.6	01:41	05:58	-		

3° DIA

Qua							
Cientes atendidos	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Tempo Total	Total de Viagens	
1	455	33.8	00:46	05:33	06:19	1	

1° VIAGEM

Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
OBA - GUARÁ	455	16.231	00:24	05:33	O cliente não poderá ser atendido de 10:00 as 18:00.
DISTRIBUIDORA PULSO	0	17.565	00:22	00:00	
Total	455	33.8	00:46	05:33	-

4° DIA

Qui							
Cientes atendidos	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Tempo Total	Total de Viagens	
11	186	49.5	02:16	04:55	07:11	2	

1° VIAGEM

Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
KOMBIER	38	17.055	00:24	00:11	
SOLEDADE - LAGO SUL	14.8	1.247	00:03	00:08	
BIG BOX - TATÁ	14.8	16.341	00:19	01:39	
C'EST LA VIE - 408 SUL	12	2.609	00:03	00:06	O cliente não poderá ser atendido de 12:00 as 18:00.
PARADISO - 306 SUL	6	2.437	00:16	00:16	
LOCA COMO TU MADRE - 306 SUL	6	0.079	00:00	00:04	
DISTRIBUIDORA PULSO	0	7.677	00:13	00:00	
Total	12	17.1	01:20	02:24	-

2° VIAGEM

Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
OBA HORTIFRUTI - 302 SUDOESTE	14.8	7.306	00:16	00:26	O cliente não poderá ser atendido de 12:00 as 14:00.
CORINA CERVEJAS ARTESANAIS	38	9.054	00:15	00:07	
CANDANGOBRAU - LAGO NORTE	12	7.077	00:10	00:09	O cliente não poderá ser atendido de 12:00 as 14:00.
BIG BOX - PENÍNSULA	14.8	0.467	00:01	00:41	
BIG BOX - SIBÉRIA	14.8	0.576	00:01	01:08	
DISTRIBUIDORA PULSO	0	7.894	00:11	00:00	
Total	94	32.4	00:56	02:31	-

5° DIA

Sex							
Cientes atendidos	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Tempo Total	Total de Viagens	
1	11	15.6	00:23	00:21	00:44	1	

1° VIAGEM

Paradas	Qtd. (kg)	Distancia Percorrida (km)	Tempo Deslocamento	Tempo de Parada	Observações
PIVO CERVEJAS ESPECIAIS	11	7.94	00:12	00:21	O cliente não poderá ser atendido de 08:00 as 16:00.
DISTRIBUIDORA PULSO	0	7.679	00:11	00:00	
Total	11	15.6	00:23	00:21	-

APÊNDICE K – Algoritmo Utilizado

INÍCIO

Ler dados de entrada

Fazer enquanto existir clientes não incluídos nos roteiros **ou** quando terminar os dias possíveis de roteirização

Atribuir a cada dia da semana possível de roteirização (w) os clientes possíveis de entrega naquele dia

Calcular distâncias d_{ij} entre todos os pares de origem i e destino j

Calcular t para percorrer as distâncias d_{ij}

Fazer para cada w

Ler clientes possíveis para entrega neste dia

Calcular a economia $S_{ij} = d_{1i} + d_{1j} - d_{ij}$ para todo o par de clientes i e j

Ordenar as economias em uma lista em ordem decrescente

Fazer enquanto existir pares de clientes na lista de economias

Início do roteiro

Se i e j não estiverem incluídos no roteiro **e** a união ij respeita as restrições (1) **então**

Una e insira os pontos $1i$ e ij no roteiro

Faça $C_o = C_i + C_j$

Faça $t_o = t_{1i} + t_{ij} + p_i + p_j$

Caso Se i é extremidade final e j não está incluído no roteiro **e** a união ij respeita as restrições (2) **então**

Una e insira os pontos ij na extremidade final do roteiro

Faça $C_o = C_o + C_j$

Faça $t_o = t_o + t_{ij} + p_j$

Caso Se j é extremidade inicial e i não está incluído no roteiro **e** a união ij respeita as restrições (3) **então**

Una e insira os pontos $1i$ e ij na extremidade inicial do roteiro

Faça $C_o = C_o + C_i$

Faça $t_o = t_o - t_{1j} + t_{1i} + t_{ij} + p_i$

Caso Se i e j já estiverem incluídos no roteiro **então**

Iniciar um novo roteiro

Fim Se

Pular para a próxima economia da lista

Calcular $kc = \frac{\sum d_{ij}}{\sum ij \text{ atendidos}}$

Pular para o próximo w

Se kc_w for o menor kc encontrado **então**

Excluir w da lista de dias da semana possíveis de roteirização

Fim Se

Voltar

FIM