



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

MARC ANTONIO VIEIRA DE QUEIROZ

**PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS COM
JANELAS DE ATENDIMENTO, FROTAS HETEROGÊNEAS E
ENTREGAS FRACIONADAS**

MARC ANTONIO VIEIRA DE QUEIROZ

**PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS COM
JANELAS DE ATENDIMENTO, FROTAS HETEROGÊNEAS E
ENTREGAS FRACIONADAS**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Estadual de Londrina como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Jacques Duílio Brancher.

Londrina
2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Q3p Queiroz, Marc Antonio Vieira de.

Problema de roteirização de veículos com janelas de atendimento, frotas heterogêneas e entregas fracionadas / Marc Antonio Vieira de Queiroz - Londrina, 2012.

112f. : il.

Orientador: Jacques Duílio Brancher.

Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, 2012.

Inclui bibliografia.

1. Pesquisa operacional – Teses. 2. Roteiro de navegação – Teses. 3. Logística comercial – Teses. 4. Programação heurística – Teses. I. Brancher, Jacques Duílio. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação. III. Título.

CDU 519.8

MARC ANTONIO VIEIRA DE QUEIROZ

**PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS COM JANELAS DE
ATENDIMENTO, FROTAS HETEROGÊNEAS E ENTREGAS
FRACIONADAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Ciência da Computação do Departamento de Computação da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jacques Duílio Brancher
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Profa. Dra. Neyva Maria Lopes Romeiro
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Rodolfo Miranda de Barros
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Mário Lemes Proença Júnior
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 11 de abril de 2012.

*A todos aqueles que ...
de uma maneira ou outra,
contribuíram para a realização
deste trabalho.*

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida e também pelas bênçãos do dia a dia. A minha esposa Shirlei, por sempre incentivar e apoiar em todos os momentos. Aos meus pais por acreditarem que a educação é o melhor dos investimentos.

Agradeço ao meu orientador, professor Dr. Jacques pelo apoio, dedicação, orientação, e acima de tudo pela amizade. E por todos os trabalhos e produções desenvolvidos em conjunto no mestrado.

Agradeço ao prof. Dr. Wesley pelo apoio, pela orientação nos artigos e direcionamentos em arquitetura de computadores que foram de excelente valia no desenvolvimento dos trabalhos no mestrado.

Agradeço ao prof. Dr. Alan pelos direcionamentos nos momentos de dúvidas sobre os temas de pesquisa e sobre os resultados obtidos.

Agradeço ao mestre Rafael Mantovani e mestrandos Ricardo Silva, Tiago Santana, Pedro Casagrande, Márcio Santos, Rafael Herrera e todos aqueles que direta e indiretamente ajudaram na realização desse e de outros trabalhos relacionados ao mestrado.

Aos professores e funcionários, tanto do departamento de computação bem como os vinculados ao programa de mestrado, pelos conhecimentos transmitidos, pelos auxílios e pela amizade conquistada no dia-a-dia. A todas estas pessoas, deixo meus sinceros agradecimentos. Muito Obrigado.

QUEIROZ, Marc Antonio Vieira. **Problema de Roteirização de veículos com janelas de atendimento, frotas heterogêneas e entregas fracionadas**. 2012. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2012.

Resumo

Este trabalho apresenta uma solução para o problema de roteirização de veículos com janelas de atendimento, frota de veículos heterogêneas e entregas fracionadas. A construção de rotas baseia-se na heurística de economia utilizando inserção sequencial, inspirado em algoritmos clássicos, como o desenvolvido por Clarke e Wright em 1964. O diferencial do trabalho aborda quatro pontos, número finito de veículos com capacidades de transporte distintos, estratégia de primeiro ponto da rota, avaliação de *benchmarks* padrões e resultado visual para as rotas elaboradas. A implementação elaborada, apresenta uma solução parcial de um sistema de roteirização de veículos para as extensões em análise, sem levar em conta as restrições de negócio das empresas e o percurso geoespacial da roteirização. Procura-se demonstrar a eficiência da metodologia e algoritmos empregados em relação a ocupação média do veículo, distância total percorrida e a demanda total de cada grupo de teste. A heurística de economia empregada faz uso de quatro algoritmos, Economia Combinada (EC), Oportunidade Otimista de Economia (OOE), Oportunidade Real de Economia (ORE) e Oportunidade Real de Economia com parâmetro modelador de rota (ORE_{λ}). Como resultado, seis grupos de testes foram preparados para os algoritmos desenvolvidos. Utilizando os critérios de eficiência para as rotas construídas, cada um desses testes apresenta o desempenho do melhor algoritmo em conjunto com sua solução gráfica baseada no antes e depois das rotas e uma discussão sobre os valores obtidos.

Palavras-Chave: Roteirização, VRP, Benchmarks, Frotas Heterogêneas, Inserção Sequencial.

QUEIROZ, Marc Antonio Vieira. **Vehicle routing problem with time windows, heterogeneous fleet vehicle and split deliveries**. 2012. 112 p. Dissertation (Master's degree) - State University of Londrina, Londrina. 2012.

Abstract

This work presents a solution for the vehicle routing problem for time windows with multiple vehicle types and split deliveries. The construction of routes is based on savings heuristics using the insertion sequence, which is inspired on classical algorithms, such as developed by Clarke and Wright in 1964. The novelty of this work addresses four aspects, finite number of vehicles with multiple size capacities, strategy of the first point of the route, the rating of standard benchmarks and visual results for the solved routes. The software developed has implemented a partial solution to the vehicle routing problems and its extensions, without taking into account the constraints of corporate business and geospatial path information. Sought to demonstrate the efficiency of employed techniques with the average occupancy relative to the vehicle, the total distance traveled and the total demand of each tested group. The heuristics employed makes use of four algorithms, Combined Savings (CS), Optimistic Opportunity Savings (OOS), Realistic Opportunity Savings (ROS) and Realistic Opportunity Savings with a route shape parameter (ROS_{λ}). As a result, six test groups were prepared for the algorithms developed. Using efficiency criteria for built up routes, each of this tests shows the best performance of the chosen algorithm together with its graphical results based on pre and post scenarios and a discussion of the obtained values.

Keywords: VRP, Time Windows, Fleet mix, Benchmarks, Sequential insertion.

Lista de Figuras

3.1	Os três casos de combinação de rotas pela perspectiva de inserção	31
4.1	Escopo do Sistemas de Roteirização de Veículos (SRV).	36
4.2	Padrão de projeto de software Model-view-controller (MVC).	38
4.3	Arquitetura multicamadas.	39
4.4	Diagrama de classes apresentando a visão geral.	40
4.5	Diagrama de caso de uso do módulo ADM	41
4.6	Diagrama de classes do módulo ADM	42
4.7	Diagrama de caso de uso do módulo PRM	45
4.8	Diagrama de classes do módulo PRM	46
4.9	Diagrama de caso de uso do módulo ROT	55
4.10	Diagrama de classes do módulo ROT	56
4.11	Exemplo de visualização de mapa utilizando OpenScales, localização Campus UEL.	70
4.12	Tela de login do SRV.	71
4.13	Tela inicial do usuário operador.	72
4.14	Tela de importação de pedidos.	73
4.15	Cadastro de tipos de veículos.	74
4.16	Tela para importação e cadastro de clientes da transportadora.	74
4.17	Pedidos pendentes na tela principal.	75
4.18	Tela de simulação.	76
4.19	Aba de restrições da simulação.	76
4.20	Aba de estratégias da simulação.	77

4.21	Aba dos recursos disponíveis para simulação.	78
4.22	Processamento de rotas no SRV.	78
4.23	Tela principal com simulação completa.	79
4.24	Detalhes da simulação das rotas geradas.	80
4.25	Detalhe com a setorização das rotas.	81
4.26	Ampliação máxima da rota #2, detalhe para a direção das vias.	81
5.1	Pontos pendentes de R101	86
5.2	Solução para o teste R101	87
5.3	Pontos pendentes de C101	88
5.4	Rotas EC apresentam a menor distância para o teste C101.	89
5.5	Rotas ORE com o menor custo total para o teste C101.	90
5.6	Pontos pendentes de RC	92
5.7	Rotas EC apresentam a menor distância para o teste RC101.	93
5.8	Rotas ORE com o menor custo total para o teste RC101.	94
5.9	Rotas OOE apresentam a menor distância para o teste R201.	96
5.10	Rotas ORE com o menor custo total para o teste R201.	97
5.11	Rotas EC apresentam a menor distância para o teste C201.	99
5.12	Rotas ORE com o menor custo total para o teste C201.	100
5.13	Rotas OOE apresentam a menor distância para o teste RC201.	102
5.14	Rotas ORE com o menor custo total para o teste RC201.	103

Lista de Tabelas

4.1	Principais módulos do SRV desenvolvido.	39
4.2	Principais submódulos do ADM	41
4.3	Principais submódulos do PRM	45
4.4	Principais submódulos do ROT	54
5.1	Tipos de veículos utilizados nos testes.	84
5.2	Legenda para abreviaturas das tabelas resultados.	85
5.3	Resultado para o teste R101 utilizando o algoritmo EC.	87
5.4	Resultado para o teste R101 utilizando o algoritmo OOE.	87
5.5	Resultado para o teste R101 utilizando o algoritmo ORE.	87
5.6	Resultado para o teste R101 utilizando o algoritmo ORE_{λ}	88
5.7	Resultado para o teste C101 utilizando o algoritmo EC	90
5.8	Resultado para o teste C101 utilizando o algoritmo OOE	91
5.9	Resultado para o teste C101 utilizando o algoritmo ORE	91
5.10	Resultado para o teste C101 utilizando o algoritmo ORE_{λ}	91
5.11	Resultado para o teste RC101 utilizando o algoritmo EC.	94
5.12	Resultado para o teste RC101 utilizando o algoritmo OOE.	95
5.13	Resultado para o teste RC101 utilizando o algoritmo ORE.	95
5.14	Resultado para o teste RC101 utilizando o algoritmo ORE_{λ}	95
5.15	Resultado para o teste R201 utilizando o algoritmo EC.	97
5.16	Resultado para o teste R201 utilizando o algoritmo OOE.	98
5.17	Resultado para o teste R201 utilizando o algoritmo ORE.	98
5.18	Resultado para o teste R201 utilizando o algoritmo ORE_{λ}	98

5.19	Resultado para o teste C201 utilizando o algoritmo EC.	100
5.20	Resultado para o teste C201 utilizando o algoritmo OOE.	101
5.21	Resultado para o teste C201 utilizando o algoritmo ORE.	101
5.22	Resultado para o teste C201 utilizando o algoritmo ORE_{λ}	101
5.23	Resultado para o teste RC201 utilizando o algoritmo EC.	103
5.24	Resultado para o teste RC201 utilizando o algoritmo OOE.	104
5.25	Resultado para o teste RC201 utilizando o algoritmo ORE.	104
5.26	Resultado para o teste RC201 utilizando o algoritmo ORE_{λ}	104
5.27	Resumo dos <i>benchmarks</i> testados.	105

Lista de Algoritmos

3.1 Pseudo código - Algoritmo de pré-roteirização utilizado para fracionamento das entregas 27

Lista de Siglas e Abreviaturas

VRP	Vehicle Routing Problem - <i>Problema de roteirização de veículos</i>
TW	Time Window - <i>Janela de atendimento</i>
VRPMVTTWSD	Vehicle Routing Problem with Multiple Vehicle Types, Time Windows and Split Deliveries
SRV	Sistemas de Roteirização de Veículos
FSMVRP	Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem - <i>Problema de Roteirização de Veículos para Tamanho de Frota não Homogênea</i>
FSMVRPTW	Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Window
VRPSD	Vehicle Routing Problem with Split Delivery
VRPTWSD	Vehicle Routing Problem with Time Window and Split Delivery
ILS	Iterated Local Search
HFVRP	Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem
HFVRPTW	Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Window
HFVRPTWSD	Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Window and Split Delivery
CW	Algoritmo de Clarke e Wright [1]
EC	Algoritmo de Economia Combinada
OOE	Algoritmo da Oportunidade Otimista de Economia
ORE	Algoritmo da Oportunidade Real de Economia
ORE_λ	Algoritmo ORE com um parâmetro modelador de rota λ
VRPTW	Vehicle Routing Problem with Time Window

RIA	Rich Internet Application
MVC	Model-view-controller
SDK	Software Development Kit
ASF	Apache Software Foundation
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
JSP	JavaServer Pages
JPA	Java Persistence API
ORM	Object-relational mapping
DAO	Data Access Object
API	Application Programming Interface
OGC	Open Geospatial Consortium
CSV	Comma-separated values
GIS	Geographic Information System
WMS	Web Map Service
EPP	Estratégia de Primeiro Ponto (P-Próximo, D-Distante)
De	Demanda do cliente
Di	Distância do percurso
OM	Ocupação média
UP	Unidades de peso
UD	Unidades de distância
UM	Unidades Monetárias

Sumário

1	INTRODUÇÃO	17
2	Revisão Bibliográfica	19
2.1	Problema de roteirização de veículos com frota heterogênea	19
2.2	Problema de roteirização de veículos com entregas fracionadas	20
3	Formulação do Problema	22
3.1	Condições iniciais do problema	22
3.2	Clientes	23
3.3	Frota de veículos	23
3.4	Janela de atendimento	24
3.5	Entregas Fracionadas	24
3.6	Heurísticas de Economia para HFVRP	28
3.7	Metodologia para o VRP	30
3.7.1	Condições de Viabilidade	31
4	Ferramentas de desenvolvimento e descrição do sistema	35
4.1	Arquitetura de alto nível do sistema	36
4.2	Projeto do SRV	39
4.2.1	Módulo - ADM - Administrativo	41
4.2.2	Módulo - PRM - Parametrização	44
4.2.3	Módulo - ROT - Roteirização	54
4.3	Ferramenta de visualização	69

4.4	Exemplo de utilização do SRV	70
5	Resultados Computacionais e Discussões	82
5.1	Testes computacionais	83
5.1.1	Teste R101	85
5.1.2	Teste C101	88
5.1.3	Teste RC101	92
5.1.4	Teste R201	96
5.1.5	Teste C201	99
5.1.6	Teste RC201	102
5.2	Resumo dos resultados	105
6	Conclusões	106
6.1	Trabalhos Futuros	107
	Referências Bibliográficas	109

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a ocupação desordenada nas metrópoles têm exigido das empresas de logística a criação de novos centros de distribuição. Este tipo de situação obriga as empresas a adotarem estratégias para minimizar seus custos operacionais na distribuição das encomendas aos clientes em sua periferia. Para isso utilizam-se de técnicas de roteirização de veículos para as operações de entrega.

Com o crescimento da competição e da evolução dos serviços, os clientes finais tem se tornado mais exigentes quando se tratam de horários, o que trouxe um novo desafio à tarefa de distribuição. Ao incluir restrições de tempo na realização de entregas também houve a inclusão de novas necessidades e requisições exigidas por parte do cliente. Por isso a concorrência entre empresas terceirizadas de roteirização tem crescido. E quem oferece o serviço mais adaptado ao cliente acaba ganhando destaque no ramo.

Na busca por oferecer melhores serviços em um tempo mais curto, passando assim confiabilidade aos clientes, as empresas de transporte tem procurado a saída para os desafios através de sistemas de roteirização de veículos, que objetivam construir e organizar rotas econômicas para distribuição de encomendas a partir de um depósito central. Aumentando assim a produtividade e visibilidade dos seus clientes no mercado em que atuam.

O problema abordado trata da roteirização de veículos de entrega com capacidade de transporte mista e que obedecem as janelas de atendimento, na literatura estes problemas são conhecidos como: *Vehicle Routing Problem with Multiple Vehicle Types, Time Windows and Split Deliveries* (VRPMVTTWSD)¹ [2]. Os SRV, ou simplesmente roteirizadores, tiveram os primeiros estudos de casos e aplicação em Semet [3], Roachat [4] e Brandão [5].

Nesses casos citados e em estudos mais recentes os resultados da aplicação dos SRV se mostraram satisfatórios, segundo Belfiore [2] um exemplo é a aplicação desta me-

¹VRPMVTTWSD também pode ser encontrado na literatura definido como: *Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Window and Split Delivery* (HFVRPTWSD).

metodologia num grupo varejista brasileiro que teve seus custos com transportes reduzidos em 8%.

Considerando-se o acima exposto, a proposta desse trabalho é apresentar um SRV levando em consideração restrições de janelas de atendimento, frota de veículos heterogênea e entregas fracionadas. O sistema tem como base métodos definidos por Liu [6], e por Dullaert [7], que aplicam a heurística de inserção sequencial definida inicialmente por Solomon [8].

Para este fim, o trabalho está dividido no seguinte formato: No capítulo 2 é descrita a revisão bibliográfica para o problema de roteirização de veículos utilizando frota heterogênea e entregas fracionadas. No capítulo 3, é apresentada a formulação do problema, com um detalhamento de todas as equações necessárias para a resolução do problema. A seguir, na seção 3.6 são mostradas as heurísticas de economia que foram utilizadas para o desenvolvimento do código computacional. A metodologia utilizada na criação de rotas é apresentada na seção 3.7. No capítulo 4 é descrito o sistema de roteirização de veículos que serviu de base para realização desse trabalho. O capítulo 5 aborda os resultados e discussões dos testes computacionais realizados. O capítulo final, 6, apresenta as conclusões e os trabalhos futuros que podem ser realizados.

2 Revisão Bibliográfica

Os problemas abordados nesse trabalho são os resultados da união de duas linhas de pesquisas. A primeira é a roteirização de veículos com frota heterogênea, apresentada na seção 2.1. A segunda é a roteirização de veículos para entregas fracionadas, apresentada na seção 2.2. Ambas as linhas de pesquisas apresentam extensões aos problemas estudados.

2.1 Problema de roteirização de veículos com frota heterogênea

Um dos primeiros autores a tentar apresentar uma solução para o problema foi Golden [9]. Este desenvolveu uma heurística para resolver o problema do tamanho da frota de veículos não homogênea, do inglês *Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem* (FSMVRP)¹. No trabalho foram aplicadas técnicas de limite inferior e uma estimativa para soluções ótimas.

Desrochers [10] apresentou uma nova heurística de economia para o problema FSMVRP, baseado na fusão sucessiva de rotas. A cada iteração a melhor economia resultante da fusão das rotas é selecionada e o número de veículos de capa tipo é ilimitado e os custos totais de roteirização são proporcionais à distância percorrida.

Salhi e Rand [11] apresentaram um conjunto de heurísticas para o FSMVRP. O princípio seria encontrar a demanda total para uma determinada rota em um veículo apropriado, eliminando uma rota e remanejando os clientes dentro de outras. Permitindo que a rota original seja servida por um veículo menor, se isso, resultar em economia. Combinar rotas com uma pequena demanda total em outras rotas com uma demanda total maior ou dividir grandes rotas em rotas menores.

Rochat e Semet [4] implementaram a metaheurística busca tabu para um problema de distribuição de rações de animais e farinha de trigo na Suíça. A companhia distribuía

¹Na literatura é possível encontrar a seguinte denominação, *Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem* (HFVRP), para os problemas FSMVRP.

suas mercadorias aos seus clientes a partir de um depósito central utilizando uma frota heterogênea de tamanho fixo. Seus clientes apresentavam restrições de janela de atendimento.

Gendreau [12] propôs um algoritmo de busca tabu para o FSMVRP. A solução inicial é obtida através do algoritmo de inserção generalizada. Uma pós otimização é aplicada utilizando um algoritmo que agrupa ou destrói rotas procurando um máximo local para as rotas geradas. A busca tabu é baseada no procedimento de memória adaptativa desenvolvido por Rochat e Taillard [13].

Liu e Shen [6] implementaram uma heurística de inserção sequencial baseada no algoritmo de economias, do inglês *Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Window* (FSMVRPTW), onde o número total de veículos é ilimitado e os custos variáveis são iguais para todos os veículos. Dullaert [7] adaptou a heurística de inserção sequencial de Solomon [8] para o FSMVRPTW, utilizando o conceito de economia adaptada de Golden [9]. O número de veículos é ilimitado e o custo de viagem de uma unidade de tempo ou distância é igual a um. O algoritmo foi implementado no conjunto de problemas de Liu e Shen e, segundo os autores, os resultados foram superiores.

Os autores Penna et. al. [14] desenvolveram uma metaheurística baseada na Busca Local Iterada, *Iterated Local Search* (ILS), utilizando um procedimento de busca randomizada de ordenação de clientes vizinhos, sendo a primeira ILS para problemas FSMVRP. Os testes realizados incluem custos fixos e variáveis por tipo de veículo. Os autores afirmam que os resultados obtidos são competitivos quando comparados a outros algoritmos encontrados na literatura.

2.2 Problema de roteirização de veículos com entregas fracionadas

A roteirização de veículos com entregas fracionadas, do inglês *Vehicle Routing Problem with Split Delivery* (VRPSD), teve seu início em 1989 com Dror e Trudeau [15] que apresentaram uma formulação matemática que analisa as economias resultantes do abastecimento de um cliente por diferentes veículos. Economia relacionada ao número de veículos e à distância total percorrida. De acordo com Dror e Trudeau, o VRPSD é uma relaxação do problema clássico de roteirização de veículos, mas sua complexidade computacional ainda pertence ao grupo dos problemas NP-Completo²

²Na teoria de complexidade computacional, a classe de complexidade NP-Completo pertence a classe de problemas de decisão. Um problema de decisão L é NP-Completo se pertence ao conjunto de problemas NP, onde,

De acordo com os autores, em 1994 [16], apresentaram a formulação de um modelo de programação linear inteira para o Vehicle Routing Problem with Split Delivery (VRPSD) que descreve novas classes de desigualdades e uma hierarquia é estabelecida entre eles. Os autores também propuseram uma heurística como limitante superior e aplicaram um algoritmo de “*branch and bound*” para o problema.

A dissertação de mestrado de Frizzell [17], apresentou três heurísticas para um problema de roteirização de veículos com entregas fracionadas, baseados no vizinho mais próximo, em agrupamentos de clientes e introduzindo custos adicionais as entregas fracionadas. Continuando nessa linha de pesquisa os autores Archetti et. al [18] analisaram o comportamento de pior-caso para um grupo de algoritmos do tipo VRPSD.

O autor Frizel [19] apresentou um método matemático para o problema de roteirização de veículos com janelas de atendimento e entregas fracionadas, *Vehicle Routing Problem with Time Window and Split Delivery* (VRPTWSD). Desenvolveu-se uma heurística construtiva baseado em pedidos urgentes e heurística de melhorias que permitiam combinar clientes em rotas diferentes. Ho e Haugland [20] demonstraram que a desigualdade triangular discutida em [15] também é válida para as técnicas, VRPTWSD.

Mais recentemente os autores Gulczynski et. al. [21], introduziram o conceito de atendimento mínimo por entrega fracionada. Segundo os autores, as entregas fracionadas podem se tornar inconvenientes para os clientes, por isso cada veículo deve atender uma demanda mínima por rota. Para isso foi desenvolvido um método heurístico para resolver o problema, utilizando uma formulação de programação inteira mista.

para cada solução do problema de decisão pode ser verificada em tempo polinomial, e também estar presente no conjunto de problemas NP-Difícil, portanto cada problema NP pode ser convertido para L pelo processamento das entradas em tempo polinomial.

3 Formulação do Problema

Este capítulo apresenta os diferentes elementos que compõem o problema, bem como as heurísticas de economia para o FSMVRP que apresentam similaridades com o problema de janela de atendimento.

3.1 Condições iniciais do problema

Este trabalho apresenta a solução parcial implementada para o problema de roteirização de veículos com frota heterogênea, janelas de atendimento e entregas fracionadas, *Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Window and Split Delivery (HFVRPTWSD)*¹. Sendo aplicada atualmente em empresa brasileira prestadora de serviços de gerenciamento de risco e logística no transporte rodoviário. Uma introdução ao sistema de roteirização de veículos discutido nesse trabalho será apresentado no capítulo 4. O escopo da implementação é solucionar o problema baseado nos *benchmarks* propostos por [8] sem levar em conta as restrições de negócio e os problemas de percurso na roteirização geoespacial.

O problema é baseado em um único centro de distribuição atendendo um número variável de clientes. As entregas são distribuídas através de uma frota de veículos heterogênea, apresentando diferenças em relação a capacidade de transporte, custo fixo e variável por distância percorrida. No software aplicado, as características dos veículos acima citadas são cadastrados previamente, permitindo o gerenciamento de frotas próprias e terceirizadas.

Cada veículo possui cadastrado, sua capacidade de carga, seu custo fixo e variável. O ciclo de distribuição é de 24 horas, onde a demanda é conhecida antecipadamente pela coleção de notas fiscais cadastradas no sistema. Cada cliente pode ser atendido por mais de um veículo, aplicando a definição de entregas fracionadas. Alguns clientes podem possuir demanda superior a capacidade do maior veículo da frota disponível.

Os clientes possuem restrições de janelas de tempo. Alguns clientes podem

¹Doravante denominada de VRP

apresentar restrições de acessibilidade (ex: alguns clientes não possuem área física suficiente para o estacionamento de grandes caminhões). As hipóteses relacionadas ao centro de distribuição são:

- A demanda dos clientes é conhecida;
- Planejamento de entrega de um dia;
- O tempo de entrega é determinado por ponto atendido, portanto variável;

A formulação matemática do modelo apresentado está listada a seguir.

3.2 Clientes

O problema é composto por um conjunto de clientes i , onde $i \in N = \{1, 2, \dots, n\}$, localizados em pontos geográficos distintos. O depósito central é único, sendo definido como ponto 0. Cada percurso da rota é representado por (i, j) , onde $i, j \in N$ e $i \neq j$, e está associado com tempo de viagem t_{ij} e a distância percorrida d_{ij} . Tanto o tempo de viagem e distância percorrida são simétricas, ou seja, $t_{ij} = t_{ji}$ e $d_{ij} = d_{ji}$. A demanda de entrega no cliente i é q_i com $i \in N$.

3.3 Frota de veículos

Todos os clientes são visitados a partir de um depósito central por uma frota heterogênea, com os veículos partindo e retornando ao depósito central. A demanda de cada cliente é conhecida. Para problemas com frota heterogêneas tem-se um conjunto $T = \{1, \dots, k\}$ de diferentes tipos de veículos.

Um veículo do tipo $k \in T$ tem a capacidade a_k , um custo fixo f_k e um custo variável por unidade de distância g_k . O custo que o veículo do tipo $k \in T$ ao realizar o percurso (i, j) é denotado por c_{ij}^k no qual é obtido pela multiplicação da distância d_{ij} pelo custo g_k . O número de veículos do tipo k é assumido como ilimitado ($n_k = \infty$ e $k \in T$).

Com relação ao tipo de caminhão, podem existir restrições de acessibilidade no atendimento a clientes. A maioria dos casos estão ligados a questões operacionais como veículos muito grandes. Nestas situações pode-se assumir que o custo é $c_{ij} = \infty$, quando tanto o cliente i ou cliente j não puderem ser atendidos pelo veículo do tipo k .

Seja $R_v = r_v(1), \dots, r_v(n_i)$ a rota do veículo v , onde $r_v(j)$ representa o índice do cliente j sendo visitado e n_i o número de clientes na rota. Assume-se que toda rota termine no ponto central, $r_v(n_i + 1) = 0$.

3.4 Janela de atendimento

Cada cliente $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ deve ser atendido. Cada cliente possui uma restrição de janela de tempo $[a_i, b_i]$ tal que $a_i \leq b_i$, que corresponde, respectivamente ao horário inicial e final em que pode ser iniciado o atendimento. O tempo de atendimento s_i representa o tempo de descarga dos veículos (tempo médio de todos os processos administrativos, burocráticos e de operação). Uma rota pode ser formada por um único cliente ou por vários clientes.

3.5 Entregas Fracionadas

A demanda de cada cliente pode ser atendida por um ou mais veículos. Isso ocorre em casos onde a demanda excede a capacidade do maior veículo disponível para entrega.

As variáveis de decisão do modelo são:

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{se } j \text{ é atendido após } i \text{ pelo veículo do tipo } k; \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

- b_i^k = momento de início de atendimento do cliente i pelo veículo do tipo k .
- y_i^k = fração de demanda do cliente i que é realizado pelo veículo do tipo k .

O objetivo do modelo é minimizar os custos fixos e variáveis dos veículos respeitando as restrições das janelas de atendimento. O número de veículos do tipo k é dado pela equação (3.1).

$$\sum_{j=1}^n x_{0j}^k \tag{3.1}$$

A programação matemática apresentada abaixo é baseada nos trabalhos de [15] e [20], onde o objetivo é encontrar:

$$\min \sum_{k=1}^K f_k \sum_{j=1}^n x_{0j}^k + \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^K c_{ij}^k x_{ij}^k$$

A restrição (3.2) garante que todos os clientes vão ser atendidos com origem no centro de distribuição.

$$\sum_{j=1}^n x_{0j}^k = 1 \quad k = 1, \dots, K \quad (3.2)$$

A restrição (3.3) garante que todos os veículos deixam o centro de distribuição e após visitarem todos os clientes retornam ao ponto de distribuição.

$$\sum_{i=0}^n x_{ip}^k - \sum_{j=0}^n x_{pj}^k = 0 \quad p = 0, \dots, n \quad k = 1, \dots, K \quad (3.3)$$

A equação (3.4) garante que a demanda de todos os clientes serão atendidas.

$$\sum_{k=1}^K y_i^k = 1 \quad i = 1, \dots, n \quad (3.4)$$

A restrição (3.5) garante que a capacidade de cada veículo não será excedida.

$$\sum_{i=0}^n q_i y_i^k \leq a_k \quad k = 1, \dots, K \quad (3.5)$$

Restrição (3.6) garante que toda demanda do cliente vai ser realizada se um determinado veículo passar por aquele determinado ponto i .

$$y_i^k \leq \sum_{j=0}^n x_{ji}^k \quad i = 1, \dots, n \quad k = 1, \dots, K \quad (3.6)$$

Ao adicionar a restrição (3.6) a soma de todos os veículos e combinando com (3.4) encontra-se a restrição (3.7), que garante que cada vértice será visitado por pelo menos um veículo.

$$\begin{aligned}
\sum_{k=1}^K \sum_{j=0}^n x_{ij}^k &\geq \sum_{k=1}^K y_i^k = 1 & i = 1, \dots, n \\
\sum_{k=1}^K \sum_{j=0}^n x_{ij}^k &\geq 1 & j = 0, \dots, n
\end{aligned} \tag{3.7}$$

A equação (3.8) relaciona o tempo mínimo para o início da entrega no cliente j em uma determinada rota. A constante M_{ij} é um número suficientemente grande, para conhecimento, $M_{ij} = b_i + t_{ij} - a_j$.

$$b_i^k + s_i + t_{ij} - M_{ij}(1 - x_{ij}^k) \leq b_j^k \quad \begin{cases} i = 1, \dots, n \\ j = 1, \dots, n \\ k = 1, \dots, m \end{cases} \tag{3.8}$$

A equação (3.9) garante que todos os clientes vão ser atendidos dentro da janela de atendimento.

$$a_i \leq b_i^k \leq b_i \quad i = 1, \dots, n \tag{3.9}$$

A equação (3.10) garante que as variáveis de decisão y_i^k e b_i^k sejam positivos.

$$\begin{cases} y_i^k \geq 0 & i = 1, \dots, n & k = 1, \dots, K \\ b_i^k \geq 0 & i = 1, \dots, n & k = 1, \dots, K \end{cases} \tag{3.10}$$

Para finalizar a equação (3.11) garante que as variáveis de decisão sejam binárias.

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\} \quad i = 0, \dots, n \quad j = 0, \dots, n \quad k = 1, \dots, m \tag{3.11}$$

O algoritmo que realiza os testes para entrega fracionada é executado na fase de pré-roteirização. O pseudo código 3.1 exemplifica seu funcionamento. Ao término da execução do algoritmo não deve haver entregas que extrapolem a capacidade do maior veículo disponível.

```
1  para todo cliente de 1 ate N faça  
2      enquanto A demanda do cliente for maior que a capacidade do maior veículo faça  
3          Prepare um veículo com a carga completa  
4          Atualize a demanda do cliente  
5      fim enquanto  
6  fim para
```

Algoritmo 3.1: Pseudo código - Algoritmo de pré-roteirização utilizado para fracionamento das entregas

As restrições e formulações matemáticas apresentadas pela entregas fracionadas serão atendidas pela algoritmo VRP se houver uma “quebra” das entregas. Isso acontece ao inserir a demanda remanescente de entregas fracionadas como pontos pendentes a serem roteirizados. Como a função do algoritmo é encontrar rotas econômicas respeitando as condições de contorno, parte das restrições da entrega fracionada já são satisfeitas pelo algoritmo. Ao aplicar o algoritmo 3.1 garantem-se as restrições (3.4) e (3.5).

3.6 Heurísticas de Economia para HFVRP

O algoritmo mais famoso CW, dos autores Clarke e Wright [1], foi desenvolvido originalmente para resolver o problema clássico para VRP. Seja c_{ij} o custo de deslocamento do cliente i para o j . Por exemplo, c_{ij} pode ser definido pela distância d_{ij} ou pelo tempo t_{ij} . No algoritmo CW cada cliente é inicialmente servido por um único veículo.

Duas rotas distintas contendo os clientes i e j podem ser combinadas se forem o primeiro e o último cliente de suas respectivas rotas, e se a demanda total combinada não exceder a capacidade do veículo. Clarke e Wright definiram que a economia alcançada combinando duas rotas em uma é dada por: $S_{ij} = c_{i,0} + c_{0,j} - c_{i,j}$. Para cada iteração as duas rotas com a maior economia são unidas. Este procedimento incremental continua até que nenhuma rota possa ser combinada.

Pode ser visto que CW ignora o custo de aquisição do veículo. Então é esperado que a utilização do algoritmo puro de CW em HFVRP resultará em uma solução deficiente. Consequentemente, Golden et. al. [9] modificou a fórmula de CW considerando os custos de aquisição de uma maneira explícita. A seguir, será apresentada uma revisão dos quatro algoritmos de economia propostos.

1. Algoritmo de Economia Combinada (EC)

Seja $F(z)$ o custo de aquisição do menor veículo que pode servir a rota com uma demanda total igual a z . Seja k o primeiro ou último consumidor da rota, onde z_k é utilizado para expressar a demanda atual daquela rota. Duas rotas i e j com demanda total de z_i e z_j podem ser combinadas utilizando um veículo no qual seu custo de aquisição é definido por $F(z_i + z_j)$. Portanto, a economia combinada das duas rotas é:

$$S_{i,j}^1 = S_{i,j} + F(z_i) + F(z_j) - F(z_i + z_j) \quad (3.12)$$

2. Algoritmo da Oportunidade Otimista de Economia (OOE)

Como possíveis economias são ignoradas nas combinações futuras, a EC tende a ser falha na combinação de duas rotas. A heurística do OOE considera o potencial extra de economia através da capacidade não utilizada depois que as duas rotas foram combinadas. Seja $P(z)$ a capacidade do menor veículo que pode servir a rota com uma demanda de z . Golden et. al. [9] define a fórmula de OOE como segue:

$$S_{i,j}^2 = S_{i,j}^1 + F(P(z_i + z_j) - (z_i + z_j)) \quad (3.13)$$

3. Algoritmo da Oportunidade Real de Economia (ORE)

Até mesmo para uma pequena quantidade de z , a fórmula OOE é otimista, pois assume que a capacidade não utilizada de z pode sempre economizar uma rota que tem a demanda total menor ou igual a capacidade do veículo $P(z)$. Para evitar junções consecutivas da mesma rota, a ORE revisa a fórmula de OOE da seguinte forma: Primeiro, a oportunidade de economia será adicionada a fórmula de economia, se a combinação de duas rotas resultar no uso de um veículo maior do que o veículo sendo utilizado na entrega das duas rotas. Segundo, o valor da oportunidade de economia é o custo de aquisição do maior veículo que tem a capacidade menor ou igual a capacidade não utilizada depois que as duas rotas se unirem. Seja $F'(z)$ o custo de aquisição do maior veículo na qual a sua capacidade seja menor ou igual a z . Então a fórmula de economia do procedimento ORE pode ser expressa como segue:

$$S_{i,j}^3 = S_{i,j}^1 + \delta(\tau)F'(P(z_i + z_j) - (z_i + z_j)),$$

onde

$$\tau = P(z_i + z_j) - P(\max(z_i, z_j)),$$

$$\delta(\tau) = \begin{cases} 0 & \text{se } \tau = 0 \\ 1 & \text{se } \tau > 0 \end{cases}$$

(3.14)

4. Algoritmo ORE com um parâmetro modelador de rota λ (ORE_λ)

O algoritmo ORE_λ simplesmente modifica a fórmula de economia do CW para $c_{0,i} + c_{j,0} - \lambda c_{i,j}$. Então a nova fórmula de economia para ORE_λ é dada por:

$$S_{i,j}^4 = S_{i,j}^3 + (1 - \lambda)c_{i,j}$$

(3.15)

Em contraste com as três fórmulas anteriores, o algoritmo ORE_λ resolve cada equação iterativamente variando o valor de λ . Com essa variação é possível calcular uma junção de rota mudando o peso do custo $c_{i,j}$, onde o maior resultado obtido em $S_{i,j}^4$ definirá a rota i e j para a junção. Para a implementação atual utilizou-se os seguintes valores experimentais para $\lambda = \{0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3\}$.

Os quatro algoritmos acima focam na modificação da fórmula de economia de CW. Em todos outros aspectos, os algoritmos são similares ao algoritmo de CW. Uma vez que duas rotas são combinadas talvez seja necessário recalculer a economia. Com técnicas de

programação dinâmica é possível ter muitos desses resultados armazenados na memória, já que são usados mais de uma vez.

3.7 Metodologia para o VRP

Nesse capítulo verificaram-se as regras matemáticas que satisfazem as soluções dos problemas HFVRPTWSD. Nessa seção são consideradas os dois tipos de rotas existentes e também as condições de viabilidade para associação de rotas. A metodologia de união dessas rotas acontece através de um processo iterativo que busca unir rotas que atendam as condições do problema com o maior valor de economia possível.

Os tipos de rotas são definidos pela quantidade de clientes presentes. Sejam TIPO-I e TIPO-II os conjuntos de rotas contendo somente um cliente ou contendo no mínimo dois clientes, respectivamente. No início do processo iterativo de roteirização todos os clientes pertencem ao conjunto TIPO-I, ou seja, todas as rotas deixam o depósito central e visitam apenas um cliente e retornam ao depósito. A partir desse estado inicial, utilizam-se os algoritmos de economia demonstrados anteriormente no processo iterativo que a cada passo testará todas as rotas entre si, escolhendo-se o maior valor de economia para a junção válida. Esse processo se repete até que não seja possível construir novas rotas. Os testes de inserção são realizados para os conjuntos de rotas, sendo três casos possíveis, são eles: (1) TIPO-I com TIPO-I, (2) TIPO-I com TIPO-II e (3) TIPO-II com TIPO-II.

Os exemplos das combinações das rotas podem ser acompanhadas na figura 3.1. No entanto pode-se interpretar esses casos através de um ponto de vista de inserção, ao invés do conceito tradicional de combinação. Sabe-se que as rotas construídas para o problema HFVRPTW² são direcionadas. Para estender a explicação supõe-se que para uma rota direcionada do TIPO-II, seja (0-f-...-g-0), chama-se a orientação (f-...-g) de caminho genérico ao cliente e (g-...-f) de caminho inverso ao cliente.

²Aqui, HFVRP e FSMVRP representam a mesma classe de problemas.

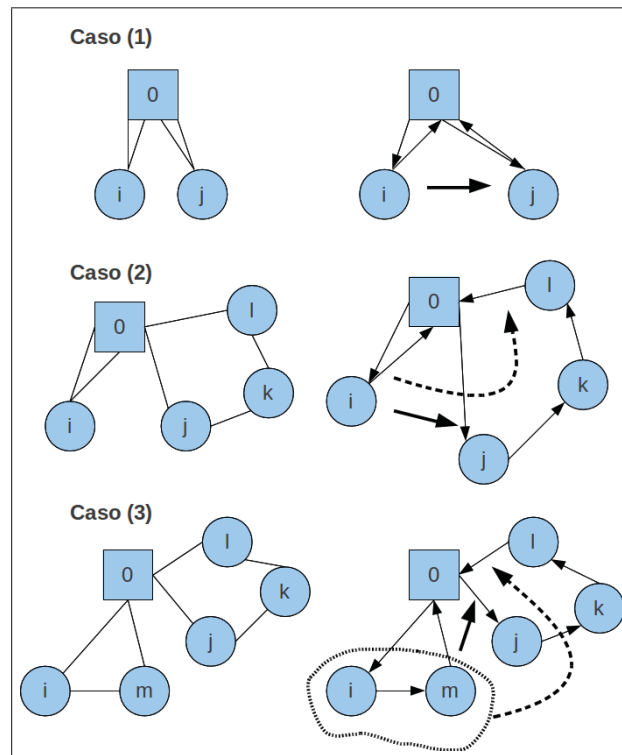


Figura 3.1: Os três casos de combinação de rotas pela perspectiva de inserção

Com a inserção pela orientação dos clientes podem-se combinar as operações dos algoritmos baseados em CW. Segundo [8] algoritmos que aplicam inserção incremental geram resultados melhores para solução de VRPTW. Para cada inserção apenas as rotas com arestas $(0,j)$ e $(l,0)$ são candidatas a combinação na inserção de novos clientes, ver *Caso (3)* na figura 3.1. Portanto a maneira de encontrar a melhor economia possível é combinar todas as rotas entre si. Para lidar com o problema do HFVRPTW desta forma, é necessário descrever as condições que tornam viáveis a execução das rotas.

3.7.1 Condições de Viabilidade

Simplificando a análise espera-se que a matriz tempo de viagem $[t_{i,j}]$, visto na seção 3.2, satisfaça a desigualdade triangular³. Além disso é considerado depósito central com janela de atendimento (a_0, b_0) e o tempo de atendimento $s_i = 0$. Ainda existe a possibilidade dos clientes $i \in N$ e o depósito central serem transformados em um problema VRP mais simples, com janela de atendimento vazia e com tempo de atendimento $s_i = 0$. Sem perda da generalidade, assume-se para as explicações seguintes a não existência de tempo de atendimento para

³A desigualdade triangular tem origem na geometria euclidiana e refere-se ao teorema que afirma que, num triângulo, o comprimento de um dos lados é sempre inferior à soma dos comprimentos dos outros dois lados. Transformando os vértices do triângulo em clientes e os lados em percurso aplica-se a mesma teoria a composição de rotas.

os clientes e janela de atendimento vazia para o depósito.

O horário de saída do depósito central é variável de decisão. O tempo total previsto de uma rota refere-se a diferença entre a saída e o retorno do veículo ao depósito central. O tempo total de viagem refere-se ao tempo de execução da viagem na rota. O tempo total de espera para uma rota é a diferença entre o tempo total previsto e tempo total de viagem daquela rota. Assume-se que o primeiro cliente a ser atendido pode ser tanto o cliente mais próximo como o mais distante em relação ao depósito. Definição essa dada no momento da configuração de execução da rota, recebendo o nome de estratégia de primeiro ponto. É possível calcular a previsão de saída de todos os veículos do depósito central, minimizando o tempo de espera do atendimento de primeiro ponto.

Apesar da limitação da capacidade do veículo ser considerada na combinação de rotas, o único teste realizado é que a soma não exceda a capacidade do maior veículo da frota. Existem outras condições de viabilidade que precisam de atenção. Seja D_i o tempo de saída no cliente i de uma rota viável, e seja LT_i o último tempo possível, no qual o cliente i possa ser alcançado. Seja $s(i)$ o sucessor imediato do cliente i . A seguinte expressão recursiva pode ser utilizada para determinar LT_i :

$$LT_i = \min\{b_i, LT_{s(i)} - t_{i,s(i)}\} \quad (3.16)$$

Para os casos de junções de rotas (TIPO-I, TIPO-I) e (TIPO-I, TIPO-II) tem-se a inserção de um cliente, rota TIPO-I, na aresta da rota TIPO-II sobre consideração. É necessário verificar duas condições (3.17) e (3.18), se forem válidas, é possível ao cliente k , TIPO-I, ser inserida na aresta candidata (i, j) da rota TIPO-II:

$$D_i + t_{i,k} \leq b_k, \quad (3.17)$$

$$\max\{a_k, D_i + t_{i,k} + t_{k,j}\} \leq LT_j \quad (3.18)$$

A condição (3.17) afirma que o veículo precisa chegar em k , antes do tempo final especificado para o início do serviço no tempo b_k . Condição (3.18) afirma que o novo tempo em j não pode exceder o último tempo de saída LT_j em ordem para manter o tempo possível para o sucessor de j . Embora a inserção do cliente k na aresta (i, j) possa resultar numa mudança nos tempos de chegada para todos os sucessores de j , a expressão (3.16) garante que só é preciso verificar a viabilidade de tempo apenas em j , que será o sucessor imediato

de k . Podemos notar que se i é o ponto central, a condição (3.17) é satisfeita trivialmente. Similarmente, a condição (3.18) é também satisfeita se j é o ponto central.

Para o caso (TIPO-II, TIPO-II), operações mais complexas quanto a verificação da viabilidade temporal da rota serão necessárias pela presença do caminho genérico ao cliente e do caminho inverso ao cliente. Descreve-se primeiro as operações para o caminho genérico ao cliente. Seguem as definições:

TWT_r = tempo total de espera na rota r .

D_i^{new} = novo tempo de saída para o cliente i se uma operação de inserção for executada.

$SHIFT_i$ = diferença entre o novo tempo de saída e o antigo tempo de saída para o cliente i , exemplo, $D_i^{new} - D_i$. Note-se que se $[t_{i,j}]$ violar a desigualdade triangular, o valor de $SHIFT_i$ pode ser negativo.

Considere a rota $r^I \in$ TIPO-II, a ser inserida na rota $r^{II} \in$ TIPO-II, no percurso direcionado (i, j) . Sejam f e g clientes da rota r^I , primeiro e último respectivamente. Seja a rota r^{II} constituída dos seguintes caminhos, $(i - j - \dots - i)$ ou $(j - \dots - i - j)$. Ao juntar a rota r^I com a r^{II} , utilizando o caminho genérico, obtêm-se os possíveis caminhos como resultado, $(i - f - \dots - g - j - \dots - i)$ ou $(j - \dots - i - f - \dots - g - j)$.

Para calcular os novos valores para D_f^{new} e $SHIFT_f$ utilizam-se as equações (3.19) e (3.20), respectivamente.

$$D_f^{new} = \max\{a_f, D_i + t_{i,f}\} \quad (3.19)$$

$$SHIFT_f = D_f^{new} - D_f \quad (3.20)$$

Com esses valores, o novo tempo de saída do cliente g pode ser calculado usando a expressão 3.21.

$$D_g^{new} = D_g + \max\{SHIFT_f - TWT_{r^I}, 0\} \quad (3.21)$$

A expressão 3.21 afirma que o possível acréscimo no tempo do cliente f pode ser completamente ou parcialmente absorvido pelo total de espera TWT_{r^I} quando D_g^{new} é computado. Seja a demonstração das condições de viabilidade de tempo para o caso (TIPO-II, TIPO-II), dadas duas rotas possíveis r^I e r^{II} pela inserção do caminho genérico (f-...-g) da rota

r^I no percurso direcionado (i, j) da rota r^{II} é possível quando as condições (3.22) e (3.23) são satisfeitas.

$$D_f^{new} \leq LT_f, \quad (3.22)$$

$$D_g^{new} + t_{g,j} \leq LT_j \quad (3.23)$$

Portanto, a possibilidade com respeito as restrições a janela de tempo pode ser realizada em tempo constante. Quando o caminho inverso ao cliente de uma rota arbitrária é considerada, primeiro é necessário calcular a viabilidade de tempo da rota examinada. As outras operações são similares a inserção de rota em um caminho genérico ao cliente.

4 Ferramentas de desenvolvimento e descrição do sistema

O sistema de roteirização proposto utiliza um ambiente rico da internet, *Rich Internet Application* (RIA), para fornecer aos seus usuários todas as funcionalidades de roteirização de um SRV convencional. O modelo computacional cliente-servidor emprega a arquitetura multicamadas na implementação do servidor. O padrão de desenvolvimento de software empregado é o *Model-view-controller* (MVC).

Alguns conceitos relacionados ao desenvolvimento do software são utilizados nesse capítulo, segue abaixo um breve resumo:

- RIA: *Rich internet application* é uma aplicação *web* que apresenta muitas características de um software *desktop*, tipicamente acessado por um navegador através de um site, fazendo uso de um *plugin*, de uma região exclusiva de dados (*sandbox*) através de uso extensivo de JavaScript ou de uma máquina virtual. Exemplos de plataformas RIA são Adobe Flash, JavaFX e Microsoft Silverlight [22].
- MVC: Modelo-Visão-Controle, do inglês Model-view-controller, é um modelo de desenvolvimento de Software, atualmente considerado uma “arquitetura padrão” utilizada na Engenharia de Software. O modelo isola a “lógica” (A lógica da aplicação) da interface do usuário (Inserir e exibir dados), permitindo desenvolver, editar e testar cada parte separadamente [23].
- Cliente-Servidor: é um modelo computacional para uma aplicação distribuída, com partições de tarefas ou cargas de trabalho entre os provedores de recurso, servidores, e os requerentes de serviço, chamados de clientes [24].
- Arquitetura multicamadas: Um programa de aplicação em multicamadas (n camadas) apresenta em sua arquitetura várias camadas lógicas. Cada camada é auto-contida o suficiente, de tal forma, que a aplicação poderia ser dividida em vários computadores em uma rede distribuída. A representação mais comum para essa arquitetura é a aplicação

em três camadas (*3-layers*), comumente usada em aplicações *web*, na qual as camadas são: Camada de Apresentação (interface com o usuário), Camada de Aplicação (lógica do negócio), e Camada de dados (implementação do banco de dados) [25].

4.1 Arquitetura de alto nível do sistema

O escopo do projeto demonstra a organização da pilha de aplicativos responsáveis pela funcionamento do sistema. A figura 4.1 apresenta os softwares utilizados para implementar o SRV apresentado nesse trabalho.

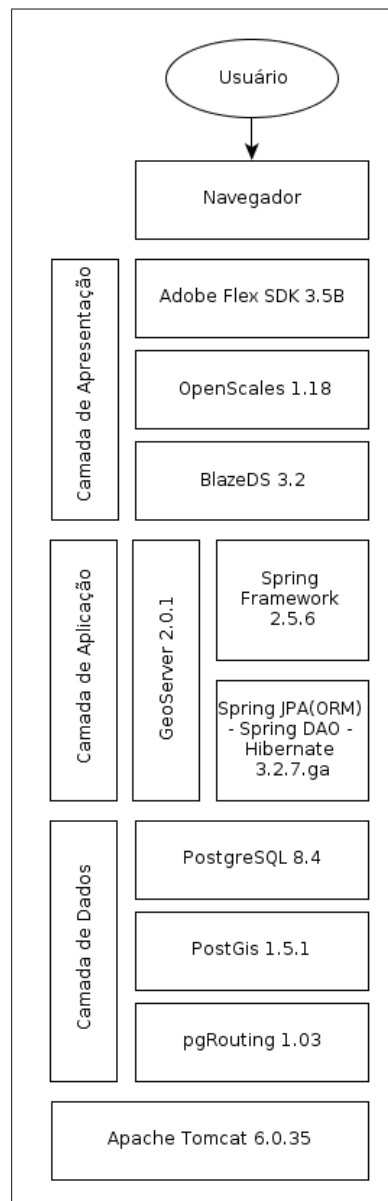


Figura 4.1: Escopo do SRV.

Conforme pode ser observado na figura 4.1, há um número expressivo de fer-

ramentas computacionais que foram utilizadas para a consecução do sistema, e que são descritas abaixo:

- Adobe Flex: é um kit de desenvolvimento de software, *Software Development Kit* (SDK), lançado pela *Adobe Systems* para o desenvolvimento e distribuição de aplicação RIA para múltiplas plataformas baseada na plataforma Adobe Flash [26].
- Adobe Flash: é uma plataforma multimídia usada para adicionar animações, vídeo e interatividade em páginas *web*. Uma das aplicações recentes é sua utilização como ferramenta para RIA [27].
- OpenScales: é um *framework* de código aberto para criação de mapas escrito na linguagem de programação ActionScript 3 e Flex que possibilita aos desenvolvedores a representação de mapas digitais em ambientes RIA [28].
- BlazeDS: é um projeto código aberto da Adobe que provê as fundações de troca de mensagens e controle a distância para conectar aplicações Flex aos serviços implementados em Java [29].
- Geoserver: é um servidor de aplicação de dados geoespaciais de código aberto. Sua função é traduzir coordenadas geográficas em dados visuais. Pode trabalhar em um sistema de multicamadas, relacionando os dados presentes no banco de dados geoespacial para renderizar linhas, polígonos e pontos. As representações são transmitidas aos clientes em formato de figuras definidas pelas camadas e regiões geoespaciais sendo visualizadas [30].
- Spring: O Spring é um *framework* de aplicação para a plataforma Java [31].
- JPA: O *Java Persistence API* provê aos desenvolvedores Java o mapeamento objeto/relação com o banco de dados, conhecido como ORM, para o gerenciamento relacional de seus dados em aplicações Java [32].
- ORM: *Object-relational mapping*, é uma técnica de programação que converte dados de sistemas diferentes em objetos relacionais, prontos para serem utilizados em linguagem orientada a objetos [33].
- Spring JPA: é a implementação JPA do Spring que converte os dados utilizando o padrão ORM para comunicar-se com o Hibernate, utilizando a implementação DAO.
- Spring DAO: o *Data Access Object* (DAO) no Spring tem a função de facilitar o trabalho com tecnologias de acesso a banco de dados como Hibernate.

- **Hibernate:** é uma biblioteca completa de ORM para linguagem Java, que fornece um *framework* para o mapeamento do domínio de dados orientado a objetos para o banco de dados tradicional [34].
- **PostgreSQL:** é um sistema gerenciador de banco de dados objeto relacional, desenvolvido como projeto de código aberto [35].
- **PostGIS:** é uma extensão espacial de código aberto. Sua construção é feita sobre o sistema de gerenciamento de banco de dados objeto relacional PostgreSQL, que permite o armazenamento de objetos de Sistemas de Informação Geográfica, *Geographic Information System* (GIS), em banco de dados [36].
- **pgRouting:** estende as capacidades do banco de dados relacional PostgreSQL e o banco de dados geoespacial PostGIS oferecendo funcionalidades para a roteirização [37].
- **Apache Tomcat:** conhecido como Tomcat, é um servidor *web* de código aberto e um *container* de *servlet* desenvolvido pela *Apache Software Foundation* (ASF). Tomcat implementa as especificações do Java *Servlet* e do JavaServer Pages (JSP), e provê um ambiente servidor *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) para execução de código Java [38].

O modelo de desenvolvimento de software é o MVC. A figura 4.2 apresenta o padrão em conjunto com os software aplicados a implementação do SRV. Dois fatores são dominantes na escolha dos softwares citados, o primeiro deles é base de conhecimento já estabelecida para a construção de servidores, e segundo é a padronização e integração com um sistema legado que já faz uso de ambiente RIA. A liberdade maior na construção do sistema foi delegada para a parte da montagem da visualização, criação e armazenamento de dados relacionadas a informações geoespaciais.

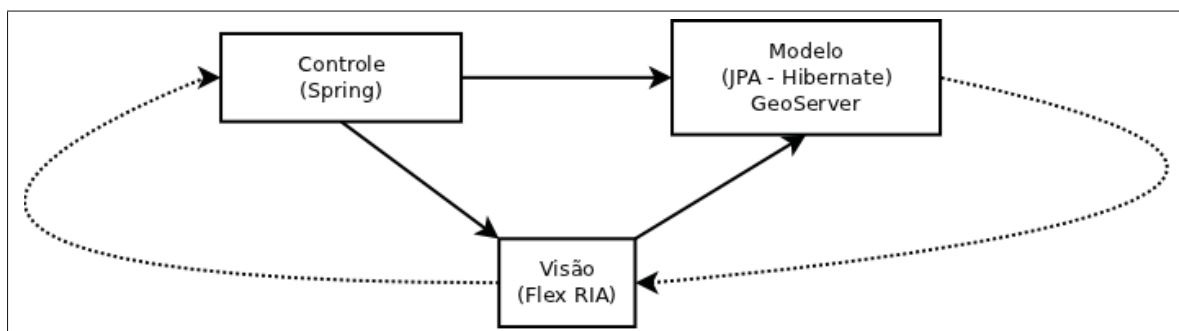


Figura 4.2: Padrão de projeto de software MVC.

Por fim, a arquitetura multicamadas é apresentada na figura 4.3. A flexibilidade que esse tipo de arquitetura permite está na facilidade de escalar e distribuir suas funções

por vários clientes, sem afetar a forma como o sistema é acessado, garantindo segurança e estabilidade ao serviço.

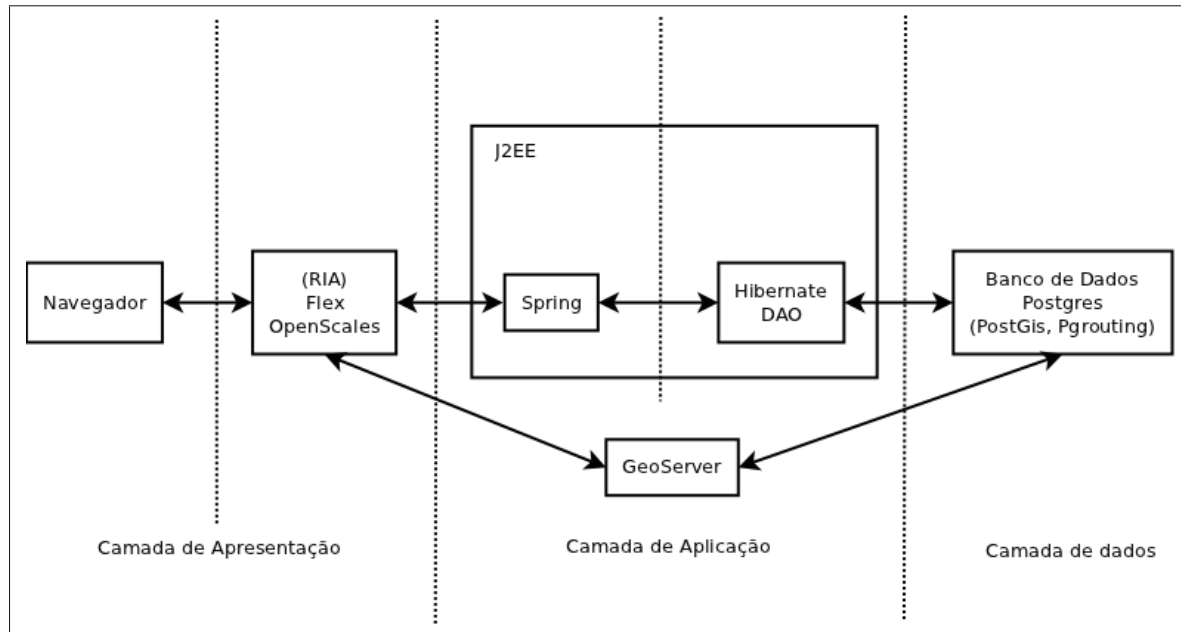


Figura 4.3: Arquitetura multicamadas.

4.2 Projeto do SRV

O objetivo do projeto é o desenvolvimento de um sistema capaz de analisar um cenário de pedidos, e mediante a parâmetros e restrições aplicadas apresentando a rota gerada.

O projeto está dividido em módulos, dos quais o mais importantes para descrição do projeto, seguem:

Sigla	Nome	Descrição
ADM	Administração	Cadastro de empresas e usuários.
PRM	Parametrização	Parametrização dos elementos que serão utilizados na rota.
ROT	Roteirização	Montagem das rotas de acordo com os pedidos importados.

Tabela 4.1: Principais módulos do SRV desenvolvido.

A modelagem das classes no nível global do projeto utiliza o diagrama de classes da figura 4.4. Na figura são apresentadas as classes e seus relacionamentos na visão geral do projeto.

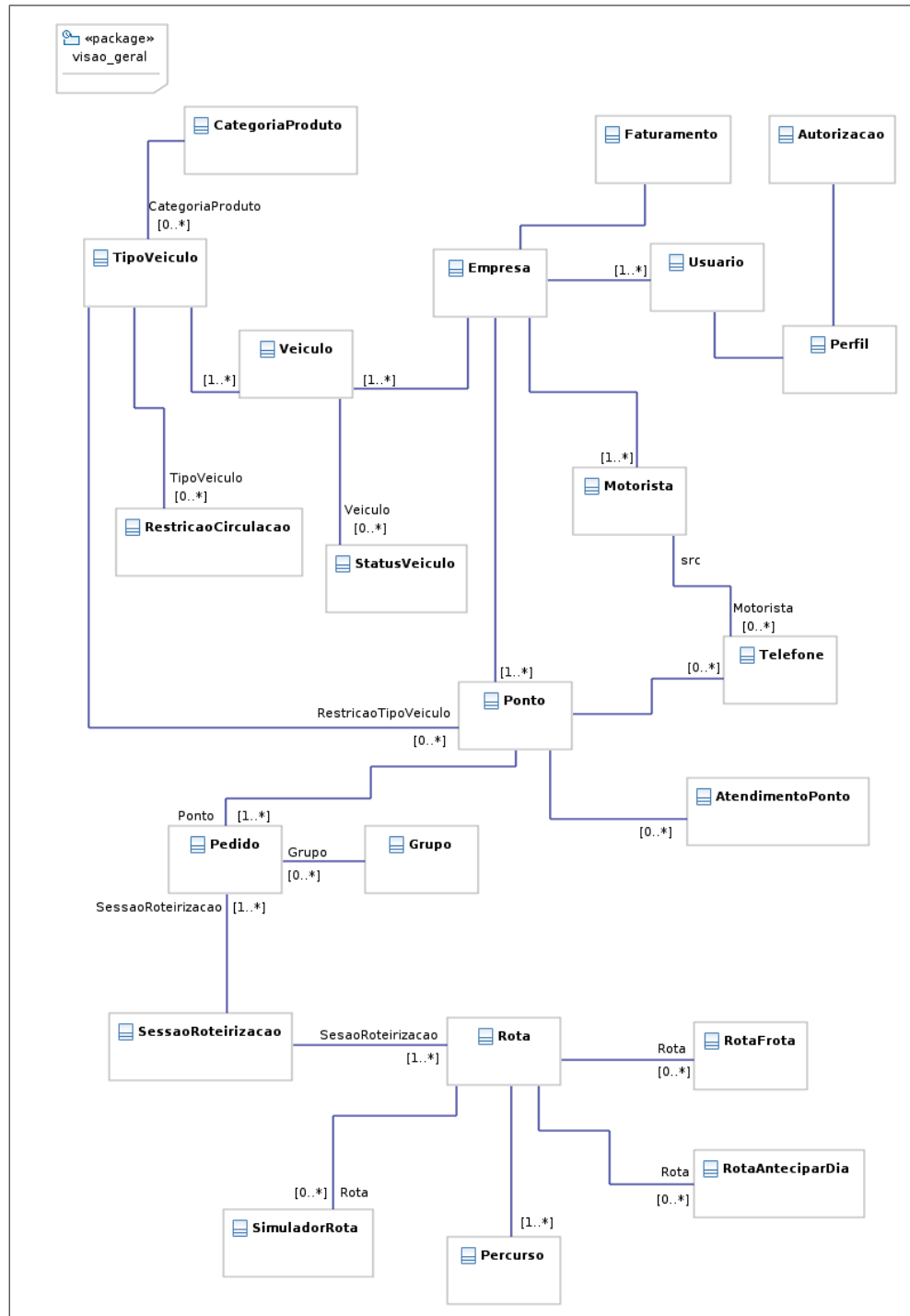


Figura 4.4: Diagrama de classes apresentando a visão geral.

Para dar continuidade a descrição do projeto, os módulos apresentados na tabela 4.1 serão descritos em maiores detalhes nas subseções 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3.

4.2.1 Módulo - ADM - Administrativo

O módulo administrativo pode ser dividido em cinco conjuntos de funcionalidades, de acordo com a tabela 4.2.

Sigla	Nome	Descrição
ADM1	Autenticar Usuário	Realiza a autenticação do sistema, administrativo ou empresa.
ADM2	Controlar Empresas	Acessível apenas pelo administrativo para controle de empresas que terão acesso ao sistema.
ADM3	Controlar Usuários	Acessível pelo administrativo e pela empresa para controle de usuários que terão acesso ao sistema.
ADM4	Faturamento	Administração do faturamento e acessível apenas pelo administrativo.
ADM5	Relatórios	6 relatórios, sendo 3 mais complexos e 3 mais simples a serem especificados.

Tabela 4.2: Principais submódulos do ADM.

Dos cinco conjuntos de funcionalidades, apenas 3 são utilizados para descrição do SRV, sendo eles, ADM1, ADM2 e ADM3.

O diagrama de caso de uso do módulo de administração pode ser observado na figura 4.5.

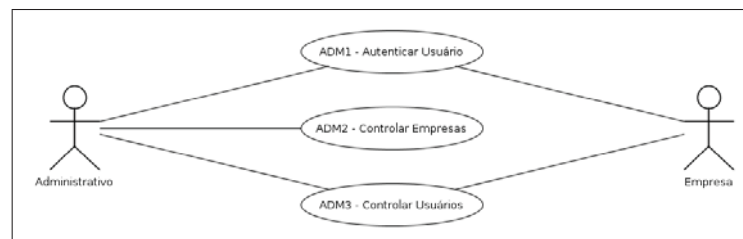


Figura 4.5: Diagrama de caso de uso do módulo ADM.

O diagrama de classes do módulo de administração pode ser visto na figura 4.6.

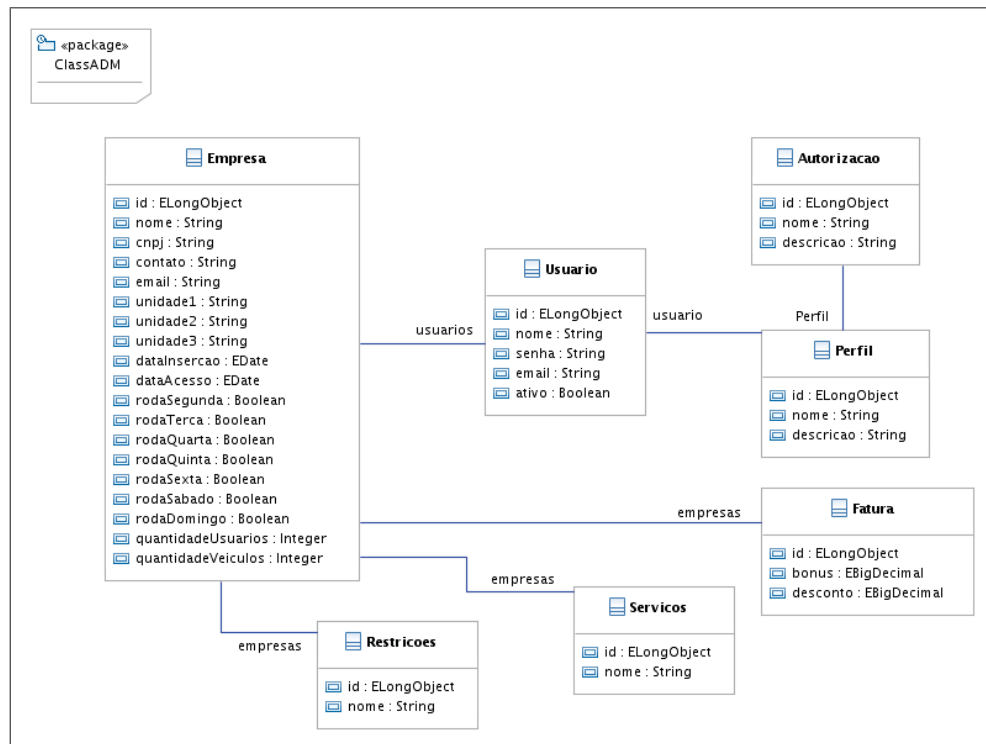


Figura 4.6: Diagrama de classes do módulo ADM.

Cada submódulo presente no Administrativo é descrito por um conjunto de características e funcionalidades. Baseado na descrição de funcionalidades os submódulos ADM1, ADM2, ADM3 serão descritos a seguir.

ADM1 - Autenticar Usuário

Características:

1. Tela que realiza autenticação do sistema, administrativo ou empresa.

Funcionalidades:

1. **Tela de Login:** Será composta por 3 campos (empresa, usuário e senha);
2. **Login Administrativo:** Acesso exclusivo para Consult tendo apenas funções administrativas. O campo empresa não será obrigatório;
3. **Login Empresa:** Acesso para empresa onde todos o campos são obrigatórios;
4. **Lembrar Senha:** Caso o usuário não lembre da senha ele poderá entrar com os dados de empresa e usuário e pedir através de um link a redefinição de sua senha. Será enviado um

e-mail (cadastrado no sistema) para o usuário informando um link para o cadastramento da nova senha. Após solicitar a nova senha será exibido na tela uma mensagem dizendo para qual *e-mail* foi enviado;

5. **Tela Nova Senha:** Composta por 2 campos (nova senha, confirma nova senha) será acessada pelo link que foi enviado por email.

ADM2 - Controlar Empresas

Características:

1. Tela que realiza autenticação do sistema, administrativo ou empresa.
2. Modulo acessível apenas pelo administrativo.

Funcionalidades:

1. **Tela de Pesquisa:** Será composta por um campo busca que poderá ser por nome da empresa ou cnpj, o resultado da busca é apresentado em um grid(paginado) por definição em ordem alfabética. Ordenar em ordem crescente ou decrescente ao clicar no cabeçalho da coluna do nome;
2. **Manutenção:** Tela para a inserção, alteração ou desativação de um cliente;
3. **Estatística:** Será apresentado na tela os campos com as seguintes informações: (Data de Cadastro:"Cliente desde nov/2009", Data de último acesso: "Último acesso às 15:30 do dia 23/04/2010", Roteirizações realizadas neste mês:"Viagens Criadas: 324", Número de viagens em andamento: "Viagens em atividade: 15";
4. **Seleção de Serviços:** Lista de serviços (módulos e ações do sistema) que poderão ser contratados pela empresa;
5. **Dados da Fatura:** cobrança dos serviços contratados com possibilidades para descontos;
6. **Adição de Usuários:** Atalho para a tela de cadastro de usuários. Inserir barra de rolagem na tabela usuários; Parâmetros - Limitação no número de usuários e veículos cadastrados, seleção dos dias de rodagem (segunda a domingo) e definição da unidade(unidade1, unidade2 e unidade3);
7. **Restrição para rodagem:** Estrutura no banco de dados que define área de restrição de rodagem através de uma região por exemplo: rodízio sp, restrição de acesso em Curitiba. Inserir barra de rolagem na tabela de restrição;

ADM3 - Controlar Usuários

Características:

1. Administração dos usuários que terão acesso ao sistema;
2. Módulo acessível pelo administrativo e empresa;
3. Com acesso administrativo qualquer operação realizada pelo usuário será liberada;
4. Com acesso via empresa toda operação será associada a ela;
5. A empresa terá acesso somente aos seus usuários.

Funcionalidades:

1. **Tela de Pesquisa:** Será composta por um campo busca que poderá ser por nome do usuário ou email;
2. **Manutenção:** Tela para a inserção, alteração ou desativação de um usuário;
3. **Listagem com os usuários:** Listagem de usuários com a opção de listar os desativados. Por padrão o grid apresenta os usuários em ordem alfabética, ao clicar no cabeçalho da coluna nome ou *e-mail* mostrar em ordem crescente ou decrescente. Habilitar a coluna ativo da tabela quando for selecionado a opção desativado;
4. **Nível de permissão:** Serão três tipos: Administrador, Gerente ou Operador. O nível de gerente terá acesso geral ao sistema podendo editar ou cancelar pedidos e gerenciar usuários. O nível de operador ficará restrito a apenas sua sessão de roteirização e parâmetros, não podendo editar ou cancelar pedidos. O usuário Administrativo deverá ter acesso irrestrito a todas funções.

4.2.2 Módulo - PRM - Parametrização

Contém a descrição das funcionalidades dos submódulos relacionados a parametrização. O módulo de parametrização é dividido em seis conjuntos de funcionalidades, de acordo com a tabela 4.3.

Sigla	Nome	Descrição
PRM1	Controlar Categoria de Produtos	Utilizado para administrar as categorias de produtos das empresas.
PRM2	Controlar Tipos de Veículos	Utilizado para administrar os tipos de veículos que serão utilizados pelas empresas.
PRM3	Controlar Veículos	Utilizado para administrar os veículos que serão utilizados pelas empresas.
PRM4	Controlar Motoristas	Utilizado para administrar os motoristas que serão utilizados pelas empresas.
PRM5	Controlar Pontos	Utilizado para administrar os pontos geocodificados no mapa podendo ser depósito, cliente ou parada.
PRM6	Editar Pontos	Utilizado para cadastrar os pontos manualmente (depósito, cliente ou parada).

Tabela 4.3: Principais submódulos do **PRM**.

Dos seis conjuntos de funcionalidades, apenas 4 são utilizados para descrição do SRV, sendo eles, PRM2, PRM3, PRM5 e PRM6.

O diagrama de caso de uso do módulo de parametrização pode ser observado na figura 4.7.

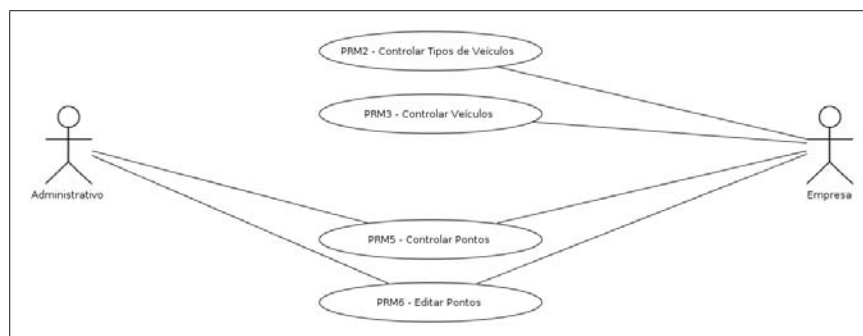


Figura 4.7: Diagrama de caso de uso do módulo **PRM**.

O diagrama de classes do módulo da parametrização pode ser observado na figura 4.8.

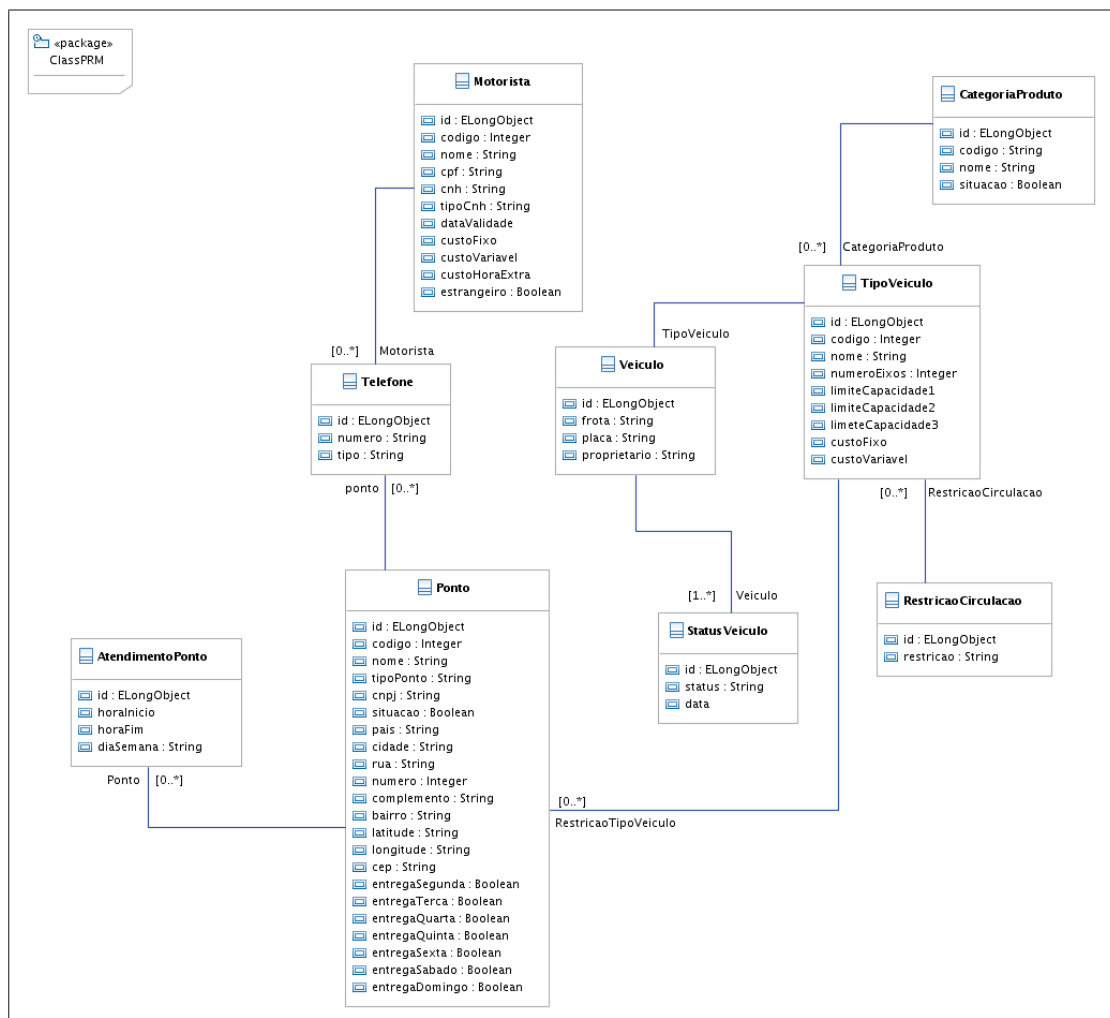


Figura 4.8: Diagrama de classes do módulo PRM.

Cada submódulo presente na parametrização é constituído por um conjunto de características e funcionalidades. Baseado na descrição de funcionalidades os submódulos PRM2, PRM3, PRM5 e PRM6 serão apresentados a seguir.

PRM2 - Controlar Tipos de Veículos

Características:

1. Administração dos tipos de veículos que serão utilizados pelas empresas;
2. Módulo acessível apenas pela empresa;
3. Os dados cadastrados pela empresa é restrito por empresa.

Funcionalidades:

1. **Pesquisar tipo de veículos:** Busca de tipos de veículos através do campo pesquisa. Busca realizada em nome;
2. **Inserir novo tipo de veículo:** Abra a tela de cadastro de tipo de veículo com o tabPanel restrição de circulação e categoria de produtos desabilitados;
3. **Listagem de tipos de veículos:** Listagem dos tipos de veículos ativos, com opção de visualizar os tipos desativados. Mostrar em ordem alfabética com paginação;
4. **Editar tipo de veículos:** Opção para editar o tipo de veículo, abre o cadastro de tipo de veículo com o tabPanel restrição de circulação e categoria de produtos habilitados;
5. **Desativar tipo de veículo:** Opção que desativa o tipo de veículo, quando selecionado habilita a coluna Ativo da tabela;
6. **Tela de cadastro de tipo de veículo:** Nesta tela o tabPanel só é habilitado após a criação do tipo de veículo, isto é, será necessário inserir primeiro um tipo de veículo e posteriormente habilitar as abas do tabPanel;
7. **Restrições de circulação:** serão adicionadas as restrições de circulação para o tipo de veículo, que poderá ser mais de uma;
8. **Categoria de Produtos:** define qual(is) categoria(s) de produto(s) poderão ser incluídos no veículo, conforme importação de pedidos (a informação de categoria de pedido estará disponível no arquivo de pedidos importado pelo usuário diariamente).

9. **Label Dinâmico para Limite de Capacidade:** O sistema deverá mostrar o valor (Unidade1, Unidade2 e Unidade3) do label limite de capacidade dinamicamente. O valor deste *label* é definido na tela de cadastro da empresa, este comportamento é válido para o Limite de Capacidade (Unidade1), Limite de Capacidade (Unidade2) e Limite de Capacidade (Unidade3).

PRM3 - Controlar Veículos

Características:

1. Administração dos veículos que serão utilizados pelas empresas;
2. Módulo acessível apenas pela empresa;
3. Os dados cadastrados pela empresa é restrito por empresa.

Funcionalidades:

1. **Tela Pesquisar:** Busca de veículos através do campo pesquisa. Busca realizada por frota ou placa;
2. **Tela resultado da pesquisa:** utilizada para inclusão, alteração e desativação do veículo;
3. **Listagem dos veículos:** Listagem dos veículos ativos, com opção de visualizar os tipos desativados.
4. **Atribuir Rastreadores:** informação que determina o tipo de rastreador e número do rastreador atual do veículo. Existe a possibilidade de múltiplas inserções desta informação. O cliente não precisará realizar o cadastro dos rastreadores, já que o sistema mostrará uma lista padrão com o tipo de rastreadores e os números dos rastreadores.
5. **Situação/Status do Veículo:** opção única que valida a disponibilidade do veículo, sendo:
 - Disponível: status que possibilita a atribuição do veículo a 01 (uma) rota no dia.
 - Em Rota: status atualizado conforme monitoramento, ou seja, se o veículo estiver em execução de rota seu status sera Em Rota. Caso não exista rastreador para atualização automática dessa informação, a mesma deverá ser atualizada manualmente (caso exista necessidade). Caso marcada, o veículo não estará disponível na lista de veículos disponíveis durante a atribuição de placas (processo de roteirização).

- **Manutenção:** status que determina uma condição de impossibilidade de uso do veículo. Caso marcada, o veículo não estará disponível na lista de veículos disponíveis durante a atribuição de placas (processo de roteirização). Previsão de Disponibilidade (data que determina quando o veículo estará disponível para uso tela Cadastro de Veículo – 6.c). Esta é uma subopção do item)
- **Atribuída:** define que um veículo foi atribuído a uma rota. Quando o veículo estiver com essa situação, exibir ID e data que foi atribuído da rota.

A Situação do Veículo deverá atuar na atualização da lista de veículos disponíveis para atribuição às rotas, processo manual exercido durante o processo de roteirização (a rota, obrigatoriamente, poderá ser considerada Criada se a placa do veículo estiver atribuída).

6. **Situação atual do veículo:** Mostra o status atual do veículo, a última situação dele no histórico de status.

PRM5 - Controlar Pontos

Características:

1. Administração de qualquer ponto geocodificado no mapa, podendo ser depósito, cliente ou parada;
2. Módulo acessível pelo administrativo e pela empresa;
3. Dados cadastrados pelo administrativo são acessíveis por todas as empresas apenas para consulta;
4. Os dados cadastrados pela empresa é restrito por empresa.

Funcionalidades:

1. **Importação do Arquivo .csv:** Ao importar o arquivo de Ponto, a geocodificação automática será realizada.
2. **Geocodificação Automática:** funcionalidade que permite ao usuário obter a latitude e longitude mediante um endereço completo de cadastro. Todos os pontos cadastrados ou importados deverão estar geocodificados para que a roteirização do seu pedido seja efetiva. A geocodificação é um processo automático que lê o endereço cadastrado ou importado e “pesquisa” no mapa digital sua presença. Quando o mesmo é localizado

no mapa, um status de geocodificação é atribuído de acordo com o grau de confiança da localização: Alta confiança; Média confiança; Baixa confiança; Centro da cidade; Geocodificado manualmente e Não geocodificado. Durante o processo de geocodificação automática, além da latitude e longitude, o sistema deverá atribuir informação sobre zona de restrição, a qual será obtida se o ponto estiver internamente a área definida como zona de restrição.

3. **Zona de Restrição:** O sistema deve ser capaz de exibir todas as restrições da empresa do usuário logado.
4. **Mapa:** que exibirá os cliente geocodificados (a partir de seleção na Listagem de Pontos). O usuário deve ser capaz de mover o ponto para possíveis ajustes, o sistema deve gravar estes ajustes. O usuário deve ser capaz de mover o mapa clicando com o mouse e o sistema deve exibir a longitude e latitude da posição do mouse no mapa.
5. **Lista de Clientes Importados, contendo:** tipo de ponto: classifica o Tipo de Ponto cadastrado, podendo ser: Depósito, Cliente ou Parada. CNPJ, nome, endereço, cidade, UF, Grau de Confiança da Geocodificação: alta, média, baixa, centro da cidade, manual e não geocodificado.
6. **Ordenação por qualquer coluna:** ao clicar com o botão esquerdo do mouse no nome da coluna deve ordenar o *grid* em ordem crescente ou decrescente da coluna que foi clicada.
7. **Duplo clique no cliente:** possibilitará a edição e visualização dos demais dados dos clientes (conforme Tela editar pontos).
8. **Possibilidade de selecionar o(s) cliente(s):** para exibição no mapa (relacionado ao item 4).
9. **Botão que possibilitará a Inclusão de Novos clientes (de forma manual):** ao clicar no botão, o sistema deverá abrir um pop up contendo as informações cadastrais a serem inseridas, conforme Tela editar pontos.
10. **Campo que possibilitará Pesquisar:** informações sobre os clientes (CNPJ, Nome, Cidade, Grau de Confiança de Geocodificação). A lista de clientes (item 5), deverá exibir o resultado da pesquisa.
11. **Botão que possibilita visualizar o exemplo de layout de importação do Cadastro de Cliente:** ao clicar no botão, uma janela *pop-up* deverá ser aberta, possibilitando definir um local para salvar o arquivo de exemplo de layout, ou seja, o botão possibilita gerar

um arquivo, dentro da estrutura necessária do arquivo, no disco local da estação que está acessando o sistema. Contador de registros: que deverá calcular, conforme seleção no item 1, o total de páginas representado no caso por 1 de 10 e quantidade total de registros gravados.

12. **Show com dados do cliente:** ao posicionar o mouse sobre o cliente, o sistema deverá exibir um show com os dados do cliente, tais como: Tipo de Ponto, CNPJ, nome, endereço, cidade, uf, Grau de Confiança da Geocodificação (alta, media, baixa, não geocodificado e manual), longitude e latitude no formato de graus decimais.
13. **Filtro Registros por página:** O usuário deve ser capaz de selecionar a quantidade de registros que aparecerá na tela através de um combo que por padrão será carregado com os valores: 20, 50, 100.

PRM6 - Editor Pontos

Características:

1. Administração de qualquer ponto geocodificado no mapa, podendo ser depósito, cliente ou parada;
2. Módulo acessível pelo administrativo e pela empresa;
3. Dados cadastrados pelo administrativo são acessíveis por todas as empresas apenas para consulta;
4. Os dados cadastrados pela empresa é restrito por empresa.

Funcionalidades:

1. **Cadastro das Informações do Ponto, tais como:** Tipo de Ponto, CNPJ, nome, id do cliente (campo aberto), situação (ativo/desativo), Telefones (quadrante separado), possibilitando adição de ilimitados registros de telefone (através do botão adicionar “+”). O sistema deve ser capaz de trazer como padrão todos os dias da semana marcados com exceção de Dom e Sáb. Endereço: País, CEP, Cidade, UF, Endereço, Número, Complemento, Bairro, Latitude, Longitude. Botão Pesquisar (desenho de uma lupa representado no protótipo com a letra “L”). Sua ação deverá ser localizar a latitude e longitude automaticamente no mapa conforme endereço inserido nos campos. O resultado deverá ser

exibido nos respectivos campos latitude e longitude. Botão Geocodificação Manual (desenho de um globo representado no protótipo com a letra "M"). Ao clicar sobre, será aberto um pop up contendo:

- (a) Campo de busca de endereço. Ao inserir os dados de busca de endereço (endereço, número, cidade, estado, país) e teclar Enter, o sistema deverá exibir os resultados na lista de resultados.
- (b) Mapa. Possibilitará a navegação manual por parte do usuário, realizando a geocodificação manual sem o auxílio de pesquisa. A ação de geocodificação manual consiste em arrastar o alvo (cursor que exibe a localização do cliente) para qualquer localidade do mapa. Ao realizar este processo, o sistema deverá capturar a Latitude e Longitude do novo local que o alvo foi arrastado e atualizar essa informação nos respectivos campos Latitude e Longitude do cliente.
- (c) Listagem de resultados da Pesquisa. Ao inserir os dados de pesquisa no campo de busca de endereço (item Tela Detalhes do Ponto - 2.1.i), o sistema deverá exibir os resultados nesta listagem, possibilitando, ao clicar sobre qualquer resultado, a exibição do mesmo no mapa. Somente deverá ser exibido 01 (um) resultado de cada vez no mapa. Encontrado a correta Latitude e Longitude, o usuário deverá atualizar o cadastro do ponto com a nova Latitude e Longitude ou com o Novo Endereço + Latitude e Longitude (neste segundo caso, o sistema retorna o endereço extraído do mapa conforme geocodificação manual e atualiza o cadastro do cliente, diante dos respectivos campos: Endereço, Número, Cidade, UF, CEP e País). Para realizar a atualização somente da Latitude e Longitude, o usuário deverá clicar sobre o botão Obter Latitude e Longitude (desenho de um círculo com uma seta). Para realizar a atualização conjunta do Endereço Completo do Mapa + Latitude e Longitude, o usuário deverá selecionar a opção localizada abaixo da lista, Substituir Endereço.
- (d) Opção substituir endereço. Permite a atualização do Endereço Completo do Ponto a partir do novo endereço obtido no mapa (através da geocodificação manual realizada).

2. Parâmetros Logísticos do cliente:

- (a) Janelas de Atendimento. Possibilita a adição de ilimitadas Janelas de Atendimento do Cliente. Deverá existir uma validação nos casos de 02 (duas) janelas de atendimento ou mais, evitando a invasão de períodos, criando redundância entre janelas de atendimento.

Exemplo:

JA 1 - Início às 06:00 e Término às 12:00

JA 2 - Início às 11:00 e Término às 13:00

Fica evidente nesse exemplo que houve invasão de período da JA 1 e JA 2, entre 11:00 e 12:00. Nesses casos deverão ser exibidos uma mensagem de erro. Não possibilitando a inclusão da janela de atendimento. A inclusão da janela de atendimento será possível selecionando os dias da semana e horário de início e fim. Abaixo deve aparecer uma tabela com os dias da semana, início e fim e opção de editar e excluir as janelas criadas.

- (b) **Restrição de Tipos de Veículos.** O sistema deverá possibilitar a inclusão de ilimitados Tipos de Veículos para o cliente, o que determinará a restrição de roteirização para tipo de veículo.

Exemplificando, se o cliente possuir o tipo de veículo Truck atribuído, durante o processo de roteirização, este cliente não estará em uma rota com tipo de veículo diferente.

- (c) **Dias de Entrega Válidos.** Determina quais dias o cliente recebe entregas ou coletas. Caso seja importado um pedido para um cliente em um dia de não recebimento, o sistema deverá sinalizar a inconformidade. Na importação de cliente, o campo Dias de Entrega deverá ser importado com as iniciais dos dias de entrega válidos, colocando o zero (0) nos dias de não recebimento.

Exemplo:

Recebimento todos os dias: DSTQQSS

Recebimento durante a semana: STQQS

Recebimento segunda, quarta e sexta: S-Q-S

- (d) **Restrição de Tempo de Atendimento.** Determina o tempo de atendimento desprendido para entregar ou coletar o pedido no cliente. O tempo de atendimento é composto por tempo fixo, calculado em HH:MM e o tempo variável, calculado em HH:MM:SS; horas, minutos e milésimos de segundos (que deverá ser contabilizado por kg referente ao pedido de entrega ou coleta).

3. **Botão Salvar:** permite salvar todas as informações editadas ou cadastradas pelo cliente, posterior a ação do botão a janela cadastro do ponto deverá ser fechada e recarregar a tela controlar pontos.
4. **Serviços:** esta aba deve ser habilitada caso o usuário selecione o tipo do ponto como parada. Estes parâmetros serão utilizados no simulador de rotas na aba sugestão.

4.2.3 Módulo - ROT - Roteirização

Contém a descrição das funcionalidades dos submódulos relacionados a roteirização. Simulador de rotas, manutenção e importação de pedidos, configuração de cenários para roteirização, interação sobre mapa e *grid*, exportação das rotas criadas.

O módulo de roteirização é dividido em doze conjuntos de funcionalidades, de acordo com a tabela 4.4.

Sigla	Nome	Descrição
ROT1	Controlar Sessão de Roteirização	Utilizado para administrar os pedidos do cliente.
ROT2	Interagir Mapa	Visualizar informações dos pontos e rotas podendo alterar a rota clicando com o mouse, dar zoom e navegar pelo mapa.
ROT3	Importar Pedidos	Utilizado para importar os pedidos do cliente.
ROT4	Controlar Pedidos	Utilizado para administrar os pedidos do cliente.
ROT5	Controlar Rotas	Mostra as rotas criadas para atender os pedidos do cliente.
ROT6	Construir Sumário	Montar sumário mostrando a relação entre custos e pedidos.
ROT7	Editar Propriedades da rota ou grupo	Uma série de parâmetros utilizados para gerar a roteirização.
ROT8	Gerar Simulador de Rotas	O usuário gera uma simulação de rota utilizando ou não algumas restrições, estratégias, recursos ou sugestões.
ROT9	Gerar Restrições para Simulação	O usuário poderá atribuir algumas restrições na simulação da rota.
ROT10	Gerar Estratégia para Simulação	O usuário poderá escolher o tipo de rota a ser gerada, sua sequência e agrupamento.
ROT11	Gerar Recursos para Simulação	O usuário tem disponível uma série de recursos que poderão fazer parte da simulação para a o rota.
ROT12	Gerar Categorias/ Sugestões para Simulação	Lista de sugestão com pontos de interesse, serviços ou paradas, que será adicionada na rota.

Tabela 4.4: Principais submódulos do **ROT**.

Dos doze conjuntos de funcionalidades, apenas 8 são utilizados para descrição do SRV, sendo eles, ROT2, ROT3, ROT5, ROT6, ROT8, ROT9, ROT10 e ROT11.

O diagrama de caso de uso do módulo de parametrização pode ser observado na figura 4.9.

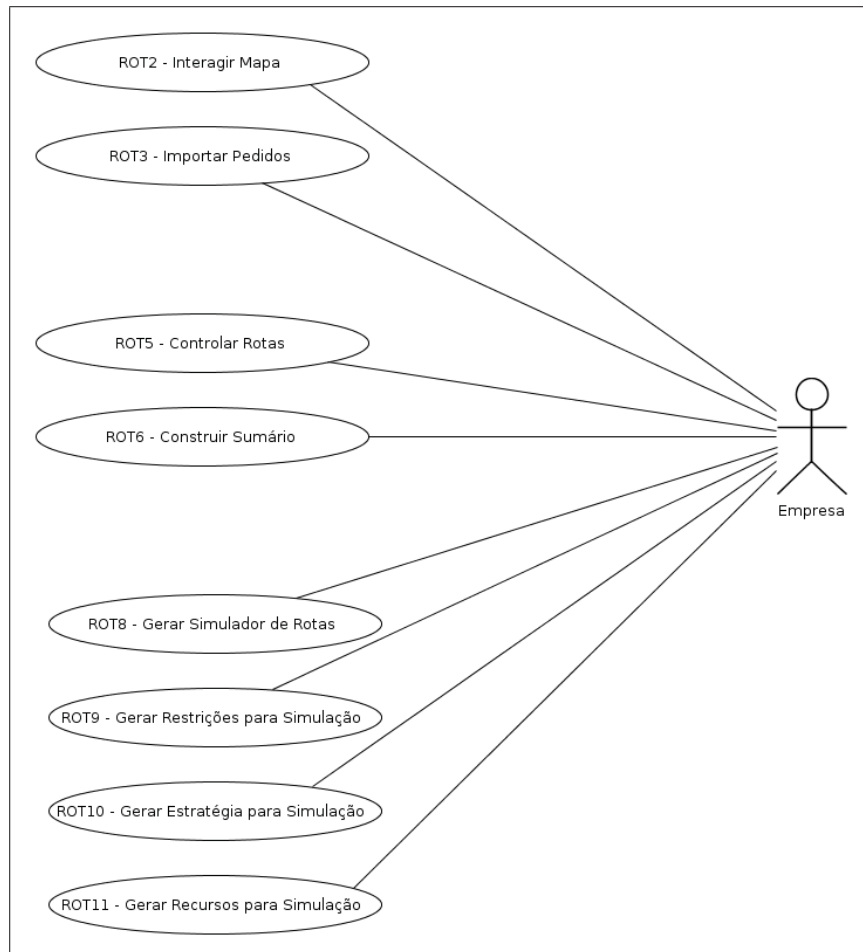


Figura 4.9: Diagrama de caso de uso do módulo **ROT**.

O diagrama de classes do módulo de roteirização pode ser observado na figura 4.10.

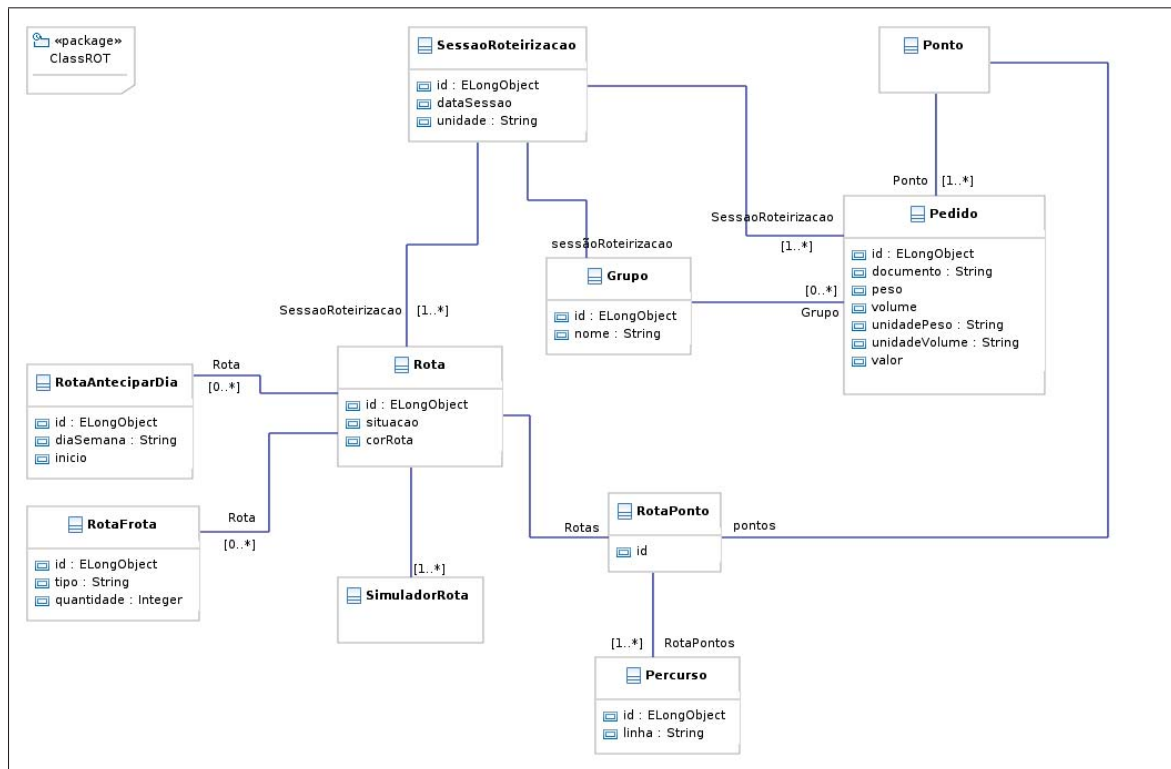


Figura 4.10: Diagrama de classes do módulo **ROT**.

Cada submódulo presente na roteirização é constituído por um conjunto de características e funcionalidades. Baseado na descrição de funcionalidades os submódulos ROT2, ROT3, ROT5, ROT6, ROT8, ROT9, ROT10 e ROT11, são apresentados a seguir.

ROT2 - Interagir Mapa

Características:

1. Administrar as informações dos pontos e rotas;
2. Módulo acessível apenas pela empresa;
3. Os dados cadastrados pela empresa é restrito por empresa.

Funcionalidades:

1. **Mostrar pontos/clientes:** no mapa serão mostrados todos os pontos/clientes que tem pedido.
2. **Exibir dados do cliente:** Cliente com pedido pendente, não roteirizado devem aparecer na cor vermelha e quando passar o mouse em cima exibir um “balão” contendo os dados:

CNPJ, Nome do cliente, total de pedidos e total da Unidade X. Os clientes com pedidos roteirizados devem aparecer na cor da linha da rota.

3. **Mostrar rotas:** para cada tipo veiculo selecionado, mostrar no mapa a rota a ser feita entre os pontos. Esta rota será implementada utilizando os parâmetros da tela de simulação de roteirização. O sistema deve gerar uma cor diferente para cada rota mostrada no mapa.
4. **Aplicar Zoom:** aplicar mais ou menos zoom no mapa através de uma barra.
5. **Mover Mapa:** mover o mapa em todas as direções com o mouse ou com a ferramenta no canto do superior esquerdo do mapa.

ROT3 - Importar Pedidos

Características:

1. *Pop-up* utilizado para importar uma lista de pedidos através do *upload* de um arquivo com extensão .csv ou incluir um pedido manualmente;
2. Módulo acessível apenas pela empresa;
3. Os dados cadastrados pela empresa é restrito por empresa.

Funcionalidades:

1. **Upload:** Botão para importar pedidos: ao clicar o usuário poderá importar o arquivo de Pedidos na extensão .csv. Após selecionar o arquivo e clicar em Importar, o sistema deverá fazer uma validação no banco de dados para identificar pedidos para clientes ausentes. Caso exista, o sistema deverá retornar um arquivo com o(s) pedido(s) do(s) cliente(s) ausente(s) no mesmo layout importado. Este processo deverá ser realizado automaticamente, salvando o arquivo no mesmo local do arquivo importado com o nome do arquivo original-CLIENTES_AUSENTES. Uma mensagem indicando que existe cliente(s) ausente(s) deverá ser exibida com o seguinte texto: “Exite(m) pedido(s) para cliente(s) não cadastrado(s). Por favor, cadastre o(s) cliente(s) ausente(s) para importar o(s) pedido(s) negado(s). Clique aqui para realizar o download do arquivo com o(s) pedido(s) negado(s)” Após este processo, o usuário deverá importar (ou cadastrar manualmente) o(s) cliente(s) ausente(s) para efetivar a importação do restante dos pedidos, retornados na primeira importação.

2. **Ícone i:** Clicando sobre o i o usuário poderá salvar o arquivo .csv modelo para importação de pedidos.
3. **Lista de pedidos:** *Grid* contendo todos as linhas importadas do arquivo, exibe o resultado da importação antes de salvar as informações. O sistema deve truncar em 25 caracteres a coluna nome do cliente.
4. **Grupo:** Campo Grupo, texto limitado a 15 caracteres, tem a finalidade de organizar um lote de pedidos dentro do simulador.
5. **Adicionar Manualmente:** Botão representado com sinal "+" que poderá ser usado para adicionar um pedido manualmente, este irá seguir o mesmo processo de validação do botão *upload*. Será aberto o show cadastrar pedidos.
6. **Salvar:** Ao clicar no botão salvar os pedidos serão salvos como pedidos pendentes.
7. **Cancelar:** Ao clicar em cancelar será fechado o pop up e serão canceladas todas as operações realizadas anteriormente.
8. **Tipo de Pedido:** carregar a caixa de seleção com os tipos de pedidos (coleta, entrega ou transferência).
9. **Cliente:** campo auto-complete, o sistema deve mostrar uma lista de clientes da empresa e o usuário deve ser capaz de selecionar um cliente.
10. **Adicionar cliente:** caso não tenha o cliente cadastrado o usuário poderá cadastrar um novo cliente. Ao clicar no botão "+" direcionar para o cadastro de pontos.
11. **Salvar pedido Manualmente:** após salvar o pedido deve-se carregá-lo na tela de sessão de roteirização na aba controlar pedidos.

ROT5 - Controlar Rotas

1. Painel mostrado na tela de sessão de roteirizador com um *grid* de Rotas criadas e pendentes;
2. Módulo acessível apenas pela empresa;
3. Os dados cadastrados pela empresa é restrito por empresa.

Funcionalidades:

1. **Grid exibe rotas:** *grid* que exibe a quantidade de rotas criadas e pendentes. O nome do *grid* deve ser “Rotas” e entre () o número total de rotas.
2. **Exibir Rotas no Mapa:** Opção para visualizar rotas no mapa. Devendo cada rota possuir uma cor, a qual será atribuída no momento de roteirização. Ao ser selecionado a visualização de rotas todas as seleções dos tipo veículos devem ser selecionados e o contrário todos devem ser deselecionados. Quando selecionados (Rota.ocultarRota) as rotas deverão ser mostradas no mapa.
3. **Botão + -:** Para exibir detalhes da rota. Clicando sobre o + abre os detalhes da rota (+Tipo Veic/Cidade/UF/P -> +Cliente/Cidade/UF -> Doc nº/Peso/Unidade).
4. **Situação da Rota:** sendo cadeado fechado = Rotas Prontas (não permitir edições ou alterações automáticas durante nova simulação) ou cadeado aberto = Rotas Ativas (permite edições e alterações automáticas durante novas simulações, ou seja, caso o usuário deseja simular com parâmetros diferentes, todas as rotas ativas serão excluídas e seus pedidos passarão a ser pendentes novamente, sendo todos roteirizados com o novo conjunto de estratégias de simulação). Todo este processo é automático pelo sistema. A mudança da situação de ativa para pronta ocorre quando é atribuído um motorista e um veículo a rota.
5. **Menu de Propriedades:** *grid* que contém funções e regras definidas no Editar Propriedades da rota ou grupo. Quando definido um motorista e um veículo no menu de propriedade, a situação da rota passa para o estado de pronta (cadeado fechado).
6. **Excluir Rota:** botão representado com sinal de (-) ao lado dos itens que estão no grid detalhe da rota que ao ser clicado solicita uma confirmação para exclusão do item quando estiver a rota aberta (cadeado aberto). O sistema deve verificar se a rota está pronta (cadeado fechado) e se estiver deve mudar para rota ativa (cadeado aberto), caso a rota esteja aberta o sistema deve excluir a rota.
7. **Alerta de Irregularidades:** O alerta de irregularidades deverá exibir um show contendo todas as irregularidades da rota após seu planejamento automático ou manual. As seguintes informações deverão ser exibidas: a) Limite de Capacidade do Veículo Excedida em Unidade 1, 2 ou 3: caso seja alocado pedidos cuja soma das unidades sejam maiores que a capacidade do veículo. b) Limite de Tempo Útil em Rota ultrapassado: caso a duração da rota exceda o Tempo Útil em rota especificado. c) Janelas de Atendimento não respeitadas: deverá exibir o nome dos clientes e as janelas de atendimento X chegada/saída planejada. d) Intervalo pendente de Atribuição de Local: durante o processo de roteirização, caso o usuário habilite a opção de Intervalo, o sistema deverá inserir automaticamente

um ou mais intervalo na rota. Neste caso o sistema deverá exibir o numero da sequência anterior e posterior ao intervalo. e) Cliente atendido fora do dia de atendimento.

8. **Detalhar Rota:** Botão Abrir Tela Detalhes da Rota: possibilita abrir a tela contendo os detalhes da rota. Esta tela deverá possibilitar o mesmo nível de interação entre rotas e mapas tal como tela simulador. Esta tela será implementada no modulo de execução e será adicionado a ela o percurso com as principais vias (Rua (R.), Alameda (Al.), Travessa (Tv.), Ladeira (Ld.), Avenida (Av.), Rodovia (Rod.));

ROT6 - Construir Sumário

1. Painel utilizado para administração dos pedidos dos clientes;
2. Módulo acessível apenas pela empresa;
3. Os dados cadastrados pela empresa é restrito por empresa.

Funcionalidades:

1. **Painel Sumário:** Painel formado por gráfico comparativo entre Ocupação X Custo X Pedidos.
2. **Mostrar Gráfico Ocupação:** gráfico de ocupação que representa, conforme unidade selecionada no combo unidade de medida da tela Controlar Sessão de Roteirização, o percentual de ocupação dos pedidos com relação a capacidade limite do veículo da unidade selecionada. Mostrar o gráfico na cor vermelha e a porcentagem quando estiver acima de 100
3. **Mostrar Custo:** O Custo é calculado da seguinte forma (Custo Fixo + Custo Variável) da rota.
4. **Mostrar Pedidos:** a quantidade de pedidos é a soma do número de pedidos da rota.
5. **Atualizar Sumário:** atualizar o sumário automaticamente toda vez que houver uma alteração no número de pedidos, custo ou ocupação.

ROT8 - Gerar Simulador de Rotas

1. Usado para gerar uma rota simulando alguns parâmetros adicionados pelo usuário;
2. Módulo acessível apenas pela empresa;

3. Os dados cadastrados pela empresa é restrito por empresa.

Funcionalidades:

1. **Definir Restrições:** O usuário define o conjunto de restrições que ele irá impor ao processo de roteirização, o conjunto de funcionalidades desta aba são explicadas no Gerar Restrições para Simulação.
2. **Definir Estratégias:** O usuário define o conjunto de estratégias que ele irá impor ao processo de roteirização, o conjunto de funcionalidades desta aba são explicadas no Gerar Estratégias para Simulação.
3. **Definir Recursos:** O usuário define o conjunto de recursos que ele irá impor ao processo de roteirização, o conjunto de funcionalidades desta aba são explicadas no Gerar Recursos para Simulação.
4. **Definir Sugestões:** O usuário define o conjunto de sugestões que ele irá impor ao processo de roteirização, o conjunto de funcionalidades desta aba são explicadas no Gerar Sugestões para Simulação.
5. **Salvar Parâmetros:** Salva todas as definições realizadas pelo usuário.
6. **Cancelar:** Descarta todas as definições realizadas pelo usuário e volta a tela Controlar Sessão de Roteirização
7. **Simular Rota:** O usuário deve ser capaz de iniciar a simulação da rota com os parâmetros que foram selecionados através das abas do gerar simulador de rotas. O sistema deve gerar uma barra de status informando o processo de roteirização.
8. **Redefinir padrão:** O usuário deve ser capaz de criar uma nova simulação, iniciando o processo para a escolhas dos parâmetros com os valores padrões pré-definidos, o sistema deve limpar todos os campos e possibilitar uma nova edição.

ROT9 - Gerar Restrições para Simulação

1. Utilizado como simulador de rotas e para definir restrições no processo de roteirização;
2. Módulo acessível apenas pela empresa;
3. Os dados cadastrados pela empresa é restrito por empresa.

Funcionalidades:

- 1. Limite de Capacidade:** O usuário deverá selecionar qual será a Unidade Limitante de Capacidade no Veículo. A Unidade Limitante de Capacidade possibilita ao algoritmo, durante o processo de roteirização, calcular a quantidade de pedidos, em função de suas unidades, que poderão ser alocadas ao Veículo, de acordo com sua capacidade de limite de ocupação (definidos no cadastro de tipos de veículos). Exemplo: Tipo de Veículo TRUCK – Capacidade 15.000 Kg (15 Toneladas). Caso a Unidade Limitante de Capacidade (Limite de Capacidade) seja o Peso (Kg), o algoritmo poderá atribuir pedidos à rota até que a soma de todos os pesos dos pedidos sejam iguais ou menores que 15.000 Kg. O usuário poderá definir até 03 Limites de Capacidades durante o processo de roteirização. O Limite de Capacidade está diretamente relacionado ao Tempo Útil em Rota, ou seja, o algoritmo deverá alocar pedidos à rota até que o Limite de Capacidade seja alcançado dentro do Limite de Tempo Útil em Rota. Caso o Tempo Útil em Rota seja alcançado primeiramente no cálculo, mesmo que a capacidade não esteja nos limites, o algoritmo deverá finalizar a rota e iniciar o processo de cálculo de uma nova rota. Ambos os parâmetros não são os únicos que interferem na finalização da rota.
- 2. Taxa de Ocupação Mínima:** Taxa de Ocupação Mínima: determina o percentual mínimo de aceite do resultado da roteirização quanto a Ocupação (% da Capacidade) e Tempo (% do Tempo), ou seja, durante o cálculo, se o resultante estiver maior ou igual a Taxa de Ocupação Mínima, o sistema poderá finalizar a rota (não é o único fator que o sistema deverá considerar para finalizar a rota).
A Taxa de Ocupação Mínima poderá ser:
 - (a) % da Capacidade: determina qual o mínimo de ocupação permitido para que o sistema crie e resulte uma rota. Exemplo: Se o veículo possuir capacidade de 1000 kg e o % Mínimo de Capacidade for 50%, isso significa que a rota deverá ter no mínimo 500 Kg de pedidos alocados.
 - (b) % do Tempo: determina qual o mínimo do tempo Útil permitido para que o sistema crie e resulte uma rota. Exemplo: Caso o Tempo Útil seja de 8:00 horas e o % do Tempo seja 50%, isso significa que a rota deverá possuir no mínimo 4 horas de duração.
- 3. Horários:** permitirá ao usuário definir os horários de duração da viagem. Durante a roteirização, o algoritmo deverá considerar o perfil da viagem, sendo rotas de um, dois ou mais dias, dentre as opções existentes são: tempo máximo em viagem ou horário de

pernoite: a) Início de Rota: determina o horário de início de cada rota. O horário de início da viagem será o ponto de partida para a roteirização. b) Tempo Útil em Rota: especifica a quantidade máxima de horas trabalhadas em um dia. A intenção desta opção é equalizar a quantidade média de horas trabalhadas por cada motorista, evitando que alguns façam hora extra ou trabalhem abaixo do mínimo contratado. A definição de viagens a partir de tempo útil em rota será utilizada em viagens de um único dia. Exemplo: se o horário de início da viagem iniciar às 13:00h e o tempo útil em rota 10h, isso significa que a rota deverá finalizar no dia as 18:00h.

A finalização da rota consiste no planejamento das seguintes possibilidades:

- Rota finalizada no dia (Tempo útil em rota com HH:MM): dado o horário de início da viagem, no processo de roteirização serão calculados os tempos de atendimento dos clientes, caso o sistema encontre uma solução ótima, roteirizando todos os pontos antes do horário máximo de rota permitido, dar-se-á a viagem como completa.
- Rota alcançou o tempo máximo permitido: caso a viagem alcance o tempo máximo de rota permitido, não será mais possível incluir clientes para serem atendidos. Este tempo em rota inclui: início de viagem a partir da origem, entrega e coletas e chegada ao destino.
- Caso a opção de considerar pernoite esteja ativa, desabilitar o tempo útil em rota, mantendo sua caixa em cor cinza e com o último valor digitado. Em contra partida, o usuário será obrigado a preencher o início e final da pernoite (campo abaixo fomato HH:MM). Na visão sistêmica, o roteirizador calculará todas as entregas possíveis para a rota, mantendo o equilíbrio entre o tempo total das viagens. O reinício da viagem ocorrerá no horário marcado como fim de pernoite.
- Na criação da pernoite, no pontos escolhido e entre as paradas em cliente, sinalizar a parada de pernoite com uma linha na cor amarelo claro e um ícone com a imagem de “lua minguante”. Adiantamento de reinício de Viagem - Dentro do parâmetro de cada empresa, haverá um campo informando quais os dias permitidos para rodagem do veículo, este campo pode ou não ser levado em consideração no momento da roteirização. Para as empresas que optarem por esta funcionalidade, o roteirizador não deverá roteirizar nos dias da semana demarcados, gerando longos tempo de inatividade da viagens. Por outro lado, viagens com vários dias que necessitem adiantar o reinício da viagem durante os dias de inatividade, o sistema deverá listar todos estes dias nas opções de roteirização, juntamente com o horário de reinício adiantado. A viagem será novamente parada quando o mesmo alcançar o horário de pernoite.

- Uma viagem com o início sexta às 13h, irá rodar até seu horário de pernoite às 20h, no domingo para cumprir os horários acordados, é necessário que o motorista reinicie a viagem às 16h, dia não ativo para a empresa. Permanecendo em rota até o horário normal de pernoite, às 20h.
- Quando selecionado viagem com tempo máximo em rota, desativar o “Adiantamento de reinício de viagem”.

4. **Intervalos:** permite a definição de intervalos as rotas, para que os mesmos sejam adicionados e programados automaticamente durante o processo de roteirização. Define-se por intervalo um período que o motorista ficará “parado”. Durante o processo de roteirização automático, a criação de um Intervalo define somente um Período de Intervalo entre as paradas, não existindo nesse momento um local (Latitude e Longitude) específico para realização do Intervalo. O local deverá ser definido manualmente pelo usuário através da Adição de Intervalos Manual a rota. Para definir o Local de Realização do Intervalo, será necessário abrir a rota que possui o Intervalo de Tempo programado, clicar sobre a linha na cor amarelo exibida no local do intervalo e selecionar, conforme lista de possibilidades exibidas no trecho entre o ponto anterior e posterior ao Intervalo, o local desejado para realização do intervalo. Os possíveis locais de intervalo serão todos os pontos cadastrados no Cadastro de Pontos. Este campo deverá ser auto-complete. Ao criar um intervalo, o sistema deverá adicionar entre os pontos uma linha preenchida na cor amarelo contendo o desenho de um “relógio” e o tempo da parada. Para programar Intervalos automáticos às rotas, os seguintes campos deverão ser preenchidos:

- Tempo Máximo de Rodagem: determina quantas HH:MM o veículo deverá efetivar a rota até que seja inserido um Intervalo, independente da distância e quantidade de pedidos que serão atendidos até o momento.
- Período de Intervalo: determina a duração do intervalo em HH:MM.
- Opção de Antecipar o início - Quando selecionado exibir uma lista com os dias que não estão selecionados como dia de rodagem nos parâmetros da empresa. Para cada dia exibir: período início e fim e ao lado o dia da semana. Preenchido um período, o sistema desconsidera e programa a viagem para o dia específico com o período selecionado.

5. **Limitar Nº de Pontos por Rota:** limita o número de pontos que poderão ser alocadas automaticamente, durante o processo de roteirização, na rota. Define-se por Ponto qualquer Depósito, Cliente e Parada cadastrado no sistema.

6. **Desconsiderar Restrição de Tipo de Veículo:** permite anular a restrição de Tipo de Veículo presente no Cadastro do Cliente, tornando possível a alocação de qualquer Tipo de Veículo, disponível na simulação (item tela Simulador de Rotas - Guia Recursos, especificada adiante). Por padrão, o Tipo de Veículo deverá ser um parâmetro restritivo durante a alocação do pedido do cliente a qualquer rota.
7. **Desconsiderar Janela de Atendimento:** permite anular a restrição de Janela de Atendimento durante o cálculo de rota, o qual, por padrão, considera todas as Janelas de Atendimento dos clientes para o sequenciamento de clientes na rota.
8. **Desconsiderar Zonas de Restrição:** permite anular a restrição de Zonas de Restrição de Circulação presente no Cadastro do Ponto. Caso o Ponto possua a restrição, por padrão, este não poderá ser alocado a algum Tipo de Veículo cuja circulação é restrita, definida a partir do campo Restrição de Circulação no Cadastro do Tipo de Veículo.
9. **Desconsiderar dias de rodagem:** permite anular a restrição de Dias de Rodagem definidos em parâmetros da empresa. Sendo possível roteirizar por qualquer dia da semana.

ROT10 - Gerar Estratégia para Simulação

1. Usado pela simulador de rotas para definir estratégias ao processo de roteirização;
2. Módulo acessível apenas pela empresa;
3. Os dados cadastrados pela empresa é restrito por empresa.

Funcionalidades:

1. **Geração de Rota:** Determina a Estratégia que o Sistema irá utilizar para definir o primeiro ponto da rota (primeiro cliente/parada a ser atendido). Chamamos de Sequencia 01 da rota. É o ponto de partida para o cálculo da rota.
 - **Local Mais Próximo do Depósito:** esta estratégia determina que o primeiro cliente/parada da rota deverá ser o Mais Próximo do Depósito, ou seja, ao calcular todas as possibilidades dentro do cenário de roteirização do dia (todos os ponto a serem atendidos), o Ponto resultante que proporcione Menor Distância para o Depósito será definido como Sequência 01 da rota. Caso o cliente possua uma Janela de Atendimento, esta possui maior peso durante o cálculo de geração de rota.

A partir do primeiro cliente da rota, o sistema deverá utilizar a Estratégia de Sequência (detalhada adiante) para definir qual o próximo cliente, realizando esta estratégia até que a Rota esteja inteiramente criada dentro dos parâmetros fornecidos. Após encontrar o primeiro ponto da rota, sendo ele o Mais Próximo do Depósito, a estratégia Geração de Rota não atua mais sobre o cálculo da atual rota.

- Local mais distante do depósito: esta estratégia determina que o primeiro cliente/parada da rota deverá ser o Mais Distante do Depósito, ou seja, ao calcular todas as possibilidades dentro do cenário de roteirização do dia (todos os pontos a serem atendidos), o Ponto resultante que proporcione Maior Distância para o Depósito será definido como Sequência 01 da rota. Caso o cliente possua uma Janela de Atendimento, esta possui maior peso durante o cálculo de geração de rota.

A partir do primeiro cliente da rota, o sistema deverá utilizar a Estratégia de Sequência (detalhada adiante) para definir qual o próximo cliente, realizando esta estratégia até que a Rota esteja inteiramente criada dentro dos parâmetros fornecidos. Após encontrar o primeiro ponto da rota, sendo ele o Mais Próximo do Depósito, a estratégia Geração de Rota não atua mais sobre o cálculo da rota.

- Tempo: esta estratégia determina que o primeiro ponto da rota deverá ser o cliente cujo percurso resulte em Menor Tempo para o depósito, ou seja, ao calcular todas as possibilidades dentro do cenário de roteirização do dia (todos os pontos a serem atendidos), o Ponto resultante que proporcione Menor Tempo de Percurso para o Depósito será definido como Sequência 01 da rota. Caso o cliente possua uma Janela de Atendimento, esta possui maior peso durante o cálculo de geração de rota. Cada empresa poderá selecionar a via no mapa e arrastá-la para um caminho desejado.

Exemplo: Resultado rota Rio - SP através da rodovia Ayrton Senna, caso o usuário opte pela rota ser através da rodovia Dutra, clicando com o mouse sobre a rota gerada, arrasta até a rodovia Dutra refazendo a roteirização através da Dutra.

2. **Sequência:** este conjunto de estratégias determina como será calculado a sequência de entrega/coleta na rota, uma vez que o Ponto de Geração já foi definido (conforme item tela Simulador de Rotas - Guia Estratégia - Ponto de Geração). A Janela de Atendimento, neste caso, prevalece sobre as opções de sequenciamento.

- Ponto mais Próximo do Depósito: esta estratégia determina que os clientes e paradas serão sequenciados na rota conforme resultante do cálculo que proporcione menor distância do depósito (mais próximo do depósito).

- Ponto mais Próximo do ponto anterior: esta estratégia determina que os clientes e paradas serão sequenciados na rota conforme resultante do cálculo que proporcione menor distância do ponto em questão para o ponto anterior definido.
- Unidade: esta estratégia determina que os clientes serão sequenciados conforme ordem decrescente de uma unidade selecionada. As unidades são definidas no Cadastro do Tipo de Veículo (Alias de Unidades Limites Capacidade), que representam as Unidades de Medidas que serão importadas no arquivo de pedidos. O botão Unidade deverá permitir a seleção somente de 01 unidade das 03 cadastradas. Exemplo: caso a Unidade selecionada seja o Peso (Kg), os pedidos com maiores pesos serão entregues sequenciados primeiramente na rota conforme descendência obedecida.

3. Agrupamento:

- Coordenadas Idênticas: permite que cliente com a mesma Latitude e Longitude (shopping, prédios, etc) sejam alocados a uma mesma rota, eliminando a possibilidade de várias rotas no mesmo local. No entanto, essa opção não terá utilidade nos seguintes casos:
 - Caso o cliente possua um pedido que exceda a capacidade do Tipo de Veículo com maior capacidade, o pedido deverá ser entregue em mais de uma rota (deverá ser quebrado o pedido para que todo o montante seja entregue/coletado).
 - Caso existam 02 ou mais clientes no mesmo local, porém a categoria de produtos a serem entregues/coletados sejam distintas, fato determinante por Tipo de Veículo, os mesmo deverão ser alocados para rotas cujo Tipo de Veículo possibilite o carregamento das categorias efetivas dos pedidos.
 - Caso existam 02 ou mais clientes no mesmo local, o Tempo Útil em Rota será analisado até que seu limite seja alcançado. Caso não seja suficiente entregar todos os pedidos no Tempo Útil em Rota informado, o sistema deverá realizar mais rotas para o mesmo local, efetivando a entrega de todos os pedidos dos clientes do respectivo local.
- Vizinhaça: determina um raio, pré-definido e limitado em uma lista controlada pelo Administrador, que o sistema utilizará para calcular o sequenciamento de clientes na estratégia de sequência. Definido esta informação, o processo torna-se cíclico, a cada cálculo de Sequência (a cada cliente calculado), até que a rota seja finalizada. Os raios deverão variar da seguinte maneira: 0,5;1;2;4;8 (unidade do raio é Km).
- Retornar a Origem: esta opção determina ao sistema que a Rota deverá finalizar no Ponto de Origem. Deverá ser calculado o retorno do veículo para a origem sem

exceder o Tempo Útil em Rota. Se esta opção estiver selecionada, o sistema deve desabilitar a opção seleção do destino.

- Seleção da origem da rota é ponto de partida do veículo, podendo ser qualquer ponto.
- Seleção do destino da rota, é ponto final do veículo, para onde o veículo vai se deslocar após todas as entregas. O destino pode ser qualquer ponto.

ROT11 - Gerar Recursos para Simulação

1. Usado pela simulador de rotas para definir os recursos utilizados no processo de roteirização;
2. Módulo acessível apenas pela empresa;
3. Os dados cadastrados pela empresa é restrito por empresa.

Funcionalidades:

1. **Frota Disponível:** ao selecionar essa opção, o sistema deverá levar em consideração somente os veículos (Placas) cadastrados com o campo Situação do Veículo igual a Disponível (ou em uso mas com liberação para o D+1). Nesse caso, o sistema deverá bloquear (inativar) a possibilidade do usuário editar o Perfil de Frota (item 3).
2. **Perfil de Frota:** o sistema deve habilitar esta opção somente se o item frota disponível não estiver selecionado. Quando habilitado deve possibilitar ao usuário a inserção da Quantidade por Tipo de Veículo disponível na empresa independente do status do veículo (simular rota com toda a frota). Neste caso, o sistema deverá calcular as rotas em função da quantidade por tipo de veículo definido. O sistema deverá calcular as rotas utilizando os Tipos de Veículo disponíveis de acordo com seu maior aproveitamento na rota.
3. **Considerar Custo Fixo:** possibilita calcular o Custo Fixo do Tipo de Veículo na rota. O Custo Fixo deverá ser calculado somente 01 vez por dia para cada rota, ou seja, nos casos de rotas de vários dias, o custo fixo total será o custo fixo * quantidade de dias.
4. **Considerar Custo Variável:** possibilita calcular o Custo Variável da Rota. O Custo Variável deverá ser calculado a cada Km resultante da rota, ou seja, o Custo Variável Total = Custo Variável * Km Total.
5. **Considerar Custo de Pedágio:** possibilita que o custo de pedágio seja calculado na rota. O custo do pedágio é uma informação presente na base de dados, ou seja, caso a rota utilize um via no mapa para o percurso e nesta exista pedágio, o custo será computado.

6. **Considerar Categorias dos Produtos:** permite ao sistema considerar as restrições de Categoria de Produtos por pedido. No cadastro do Tipo de Veículo o usuário realiza a atribuição da restrições das Categoria de Produtos, ou seja, quais produtos são permitidos carregar no veículo. Uma vez restringido o Tipo de Veículo, o sistema deverá analisar a Categoria de Produto importada no Pedido (o arquivo de pedido contém uma coluna contendo a informação de Categoria de Produto) e alocar à rota cujo Tipo de Veículo permita carregar/coletar o pedido.

4.3 Ferramenta de visualização

Por se tratar de um sistema baseado em localização, foi desenvolvido um sistema de visualização que permite ao usuário relacionar os pontos de entrega com pontos geográficos. Para disponibilizar essas funções foi implementada uma ferramenta GIS, através de uma aplicação RIA chamada OpenScales integrada ao Adobe Flex.

A base de um sistema GIS é o banco de dados PostgreSQL/PostGIS. Para que as informações espaciais coletadas no banco de dados possam ser visualizadas de forma gráfica foi utilizado o servidor de aplicação GeoServer, que utiliza o protocolo *Web Map Service* (WMS). O WMS é o padrão de comunicação desenvolvido pela *Open Geospatial Consortium* (OGC) para visualização de informações espaciais e um dos mais utilizados atualmente [39].

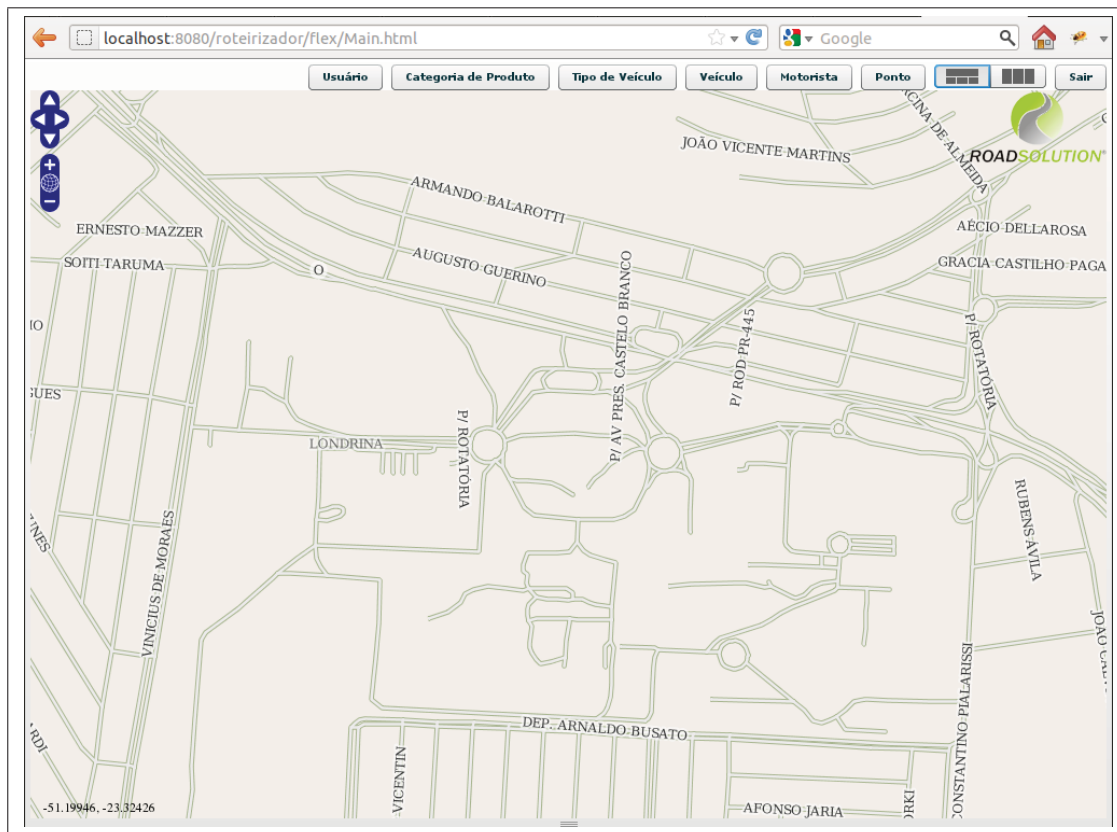


Figura 4.11: Exemplo de visualização de mapa utilizando OpenScales, localização Campus UEL.

A comunicação WMS entre os clientes e servidores acontece através do protocolo HTTP. O servidor GeoServer pode gerar mapas sobre demanda e são preparados para suprir vários acessos simultâneos. A figura 4.11 é um exemplo de sistema de visualização RIA utilizando OpenScales e servidor de mapas GeoServer.

4.4 Exemplo de utilização do SRV

A versão do SRV em produção será demonstrada através do fluxo de simulação de entregas de uma sessão. Todas as entregas partem do depósito central trabalhando em turnos de 24 horas. Cada dia representa uma sessão. Existem três papéis atuantes no SRV desenvolvido, a figura do administrador, do gerente e do operador.

O administrador é quem controla todas as configurações, implantação de novas empresas, controle de usuários, determina regra de negócios e o sistema de tarifação por uso do serviço. O administrador é quem cadastra as empresas que utilizarão o sistema, chamadas de transportadoras. O primeiro usuário de uma nova empresa cadastrada é o gerente. O gerente tem poderes fiscalizadores e de cadastro de regras relacionados a sua empresa, decidindo os

recursos que os usuários operadores podem acessar e qual depósito podem operar. O operador é quem fica encarregado de coletar as informações de entregas relacionados as notas fiscais e gerar a simulação com rotas para a sessão. Uma vez que as rotas são geradas e o operador está de acordo com a solução fornecida pela aplicação, o operador pode associar manualmente um motorista a um caminhão, ou gerar automaticamente as associações. A partir desse fluxo de trabalho as rotas simuladas estão prontas para a fase de execução. Uma vez que o operador autorize a execução é função do gerente fazer uma verificação de rotina e liberar as rotas para execução. A fase de execução de rotas está fora do escopo do trabalho.

A tela inicial do software é acessada quando o usuário digita o endereço do serviço em seu navegador, abrindo a interface de *login* do sistema, figura 4.12. Para dar entrada no sistema o usuário precisa fornecer as informações de empresa, usuário e senha.

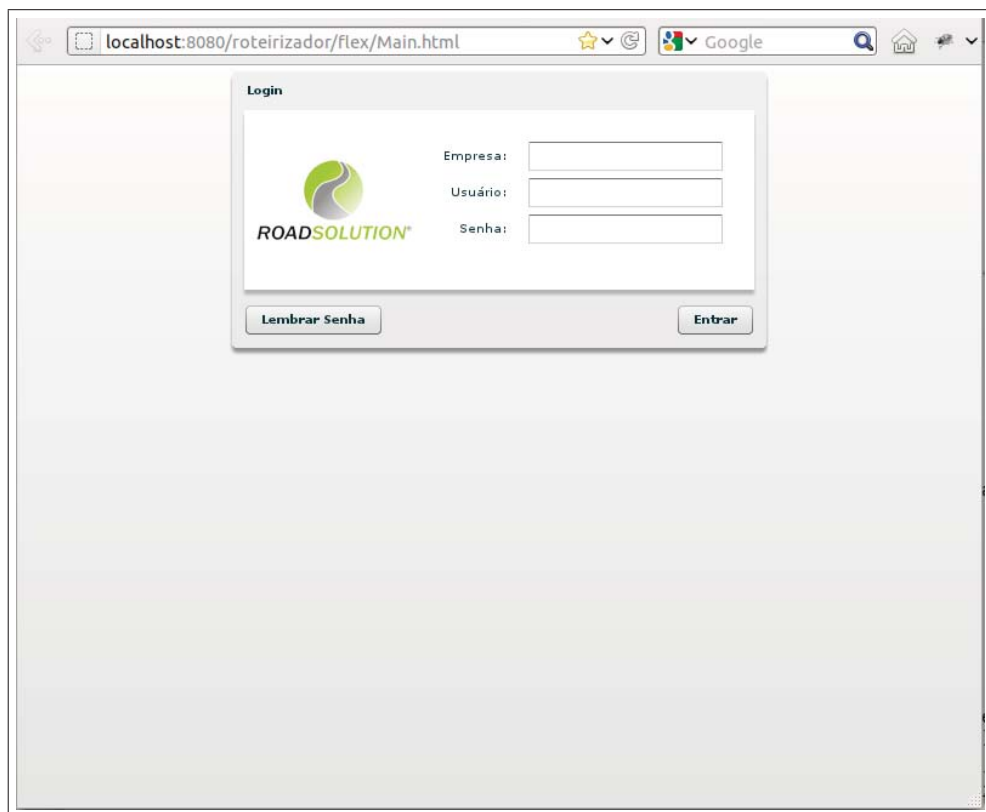


Figura 4.12: Tela de login do SRV.

Ao entrar no sistema o usuário operador visualiza o depósito central a que está cadastrado no sistema de visualização RIA. Também pode-se ver a sessão, dia, que o mesmo está operando, figura 4.13.

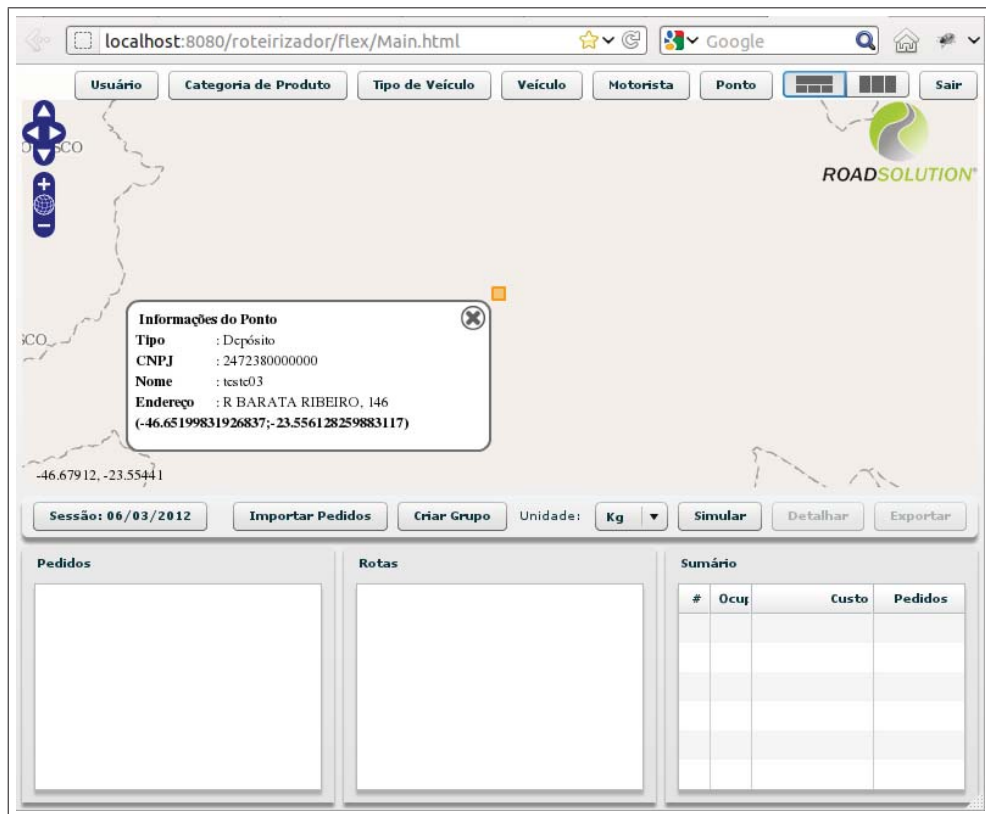


Figura 4.13: Tela inicial do usuário operador.

Normalmente, as empresas transportadoras tem automatizado o seu processo de coleta e conseqüente entrega de produtos. Portanto o SRV deve ser capaz de importar pedidos através de um sistema de lote. Nessa versão utilizam-se arquivos de texto, *Comma-separated values* (CSV), por apresentarem maior facilidade na conversão de dados em sistema legados, figura 4.14.

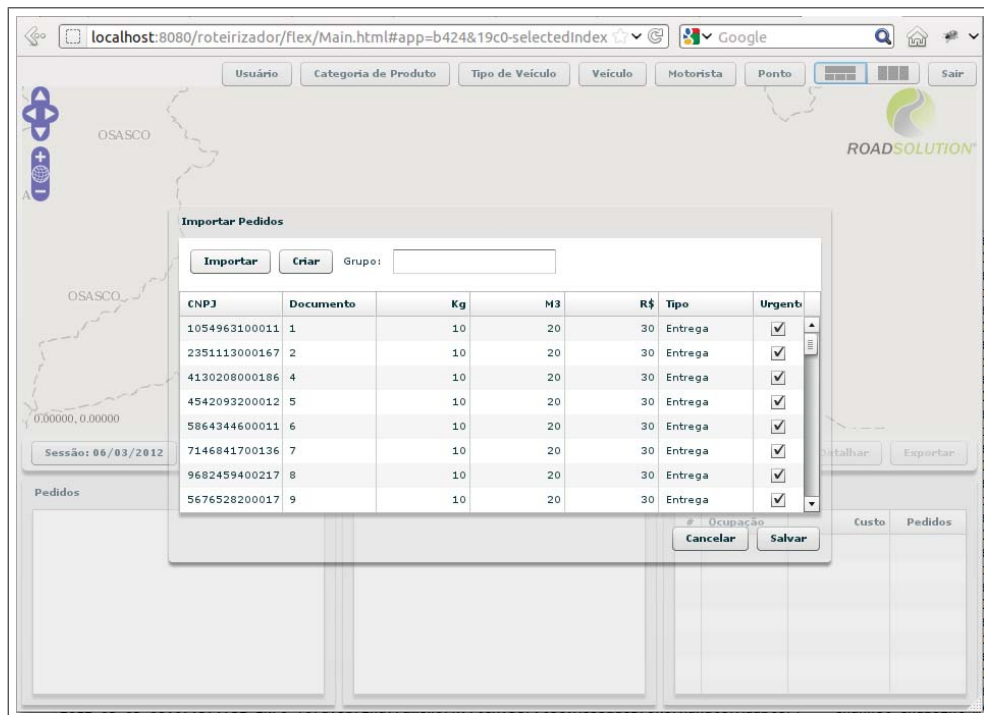


Figura 4.14: Tela de importação de pedidos.

Tanto o usuário gerente e o operador com permissão podem editar algumas características relacionadas a simulação. A figura 4.15 apresenta os tipos de veículos relacionados com a empresa. Os tipos de veículos representam a quantidade e tipos de veículos que estão presentes na frota. Nessa tela é possível editar as características de custo fixo, custo variável, os limites relacionados a pesos e medidas. Os veículos também possuem restrições, algumas relacionadas a zonas de exclusão, zonas com horários restritos e restrições de tamanho.

Ao realizar o cadastro de clientes das transportadoras o usuário operador pode escolher importar dados de um sistema legado, através do CSV ou cadastrar manualmente, figura 4.16. Tanto a importação de dados, quanto o cadastro manual podem receber informações geoespaciais para ligar um cliente a um ponto no mapa, mas a condição normal é ligar um endereço a uma latitude e longitude. Para esse caso foram implementados serviços que buscam descobrir através de informações relacionadas ao endereço a localização geoespacial do cliente. A tradução de endereço em latitude e longitude recebe as seguintes notas de acordo com seu grau confiabilidade, alta, média, baixa e inválida. Ao invalidar um endereço significa que não foi possível descobrir uma coordenada geográfica para o cliente. Baixa significa que encontrou um endereço relacionado a um CEP, muito comum em cidades que ainda não possuem mapas digitais de suas ruas. Média quando localiza-se a rua e não a faixa do número cadastrado. Alta, quando se localiza a faixa do número do endereço, a rua e também o CEP, prédios comerciais, hospitais e ruas de grandes centros se enquadram nessa nota.

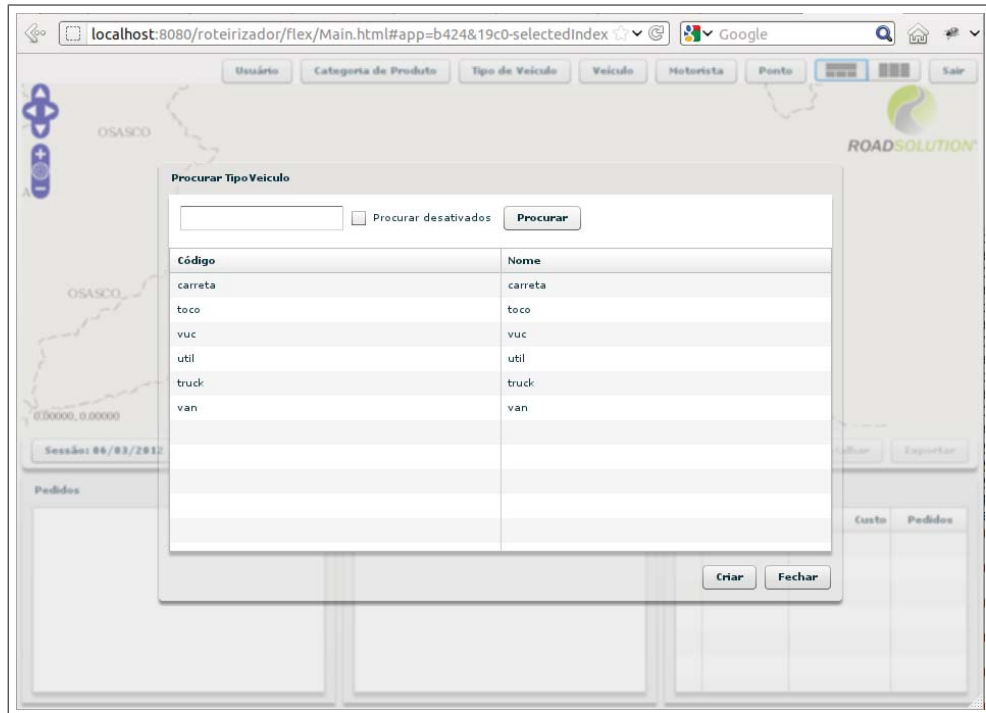


Figura 4.15: Cadastro de tipos de veículos.

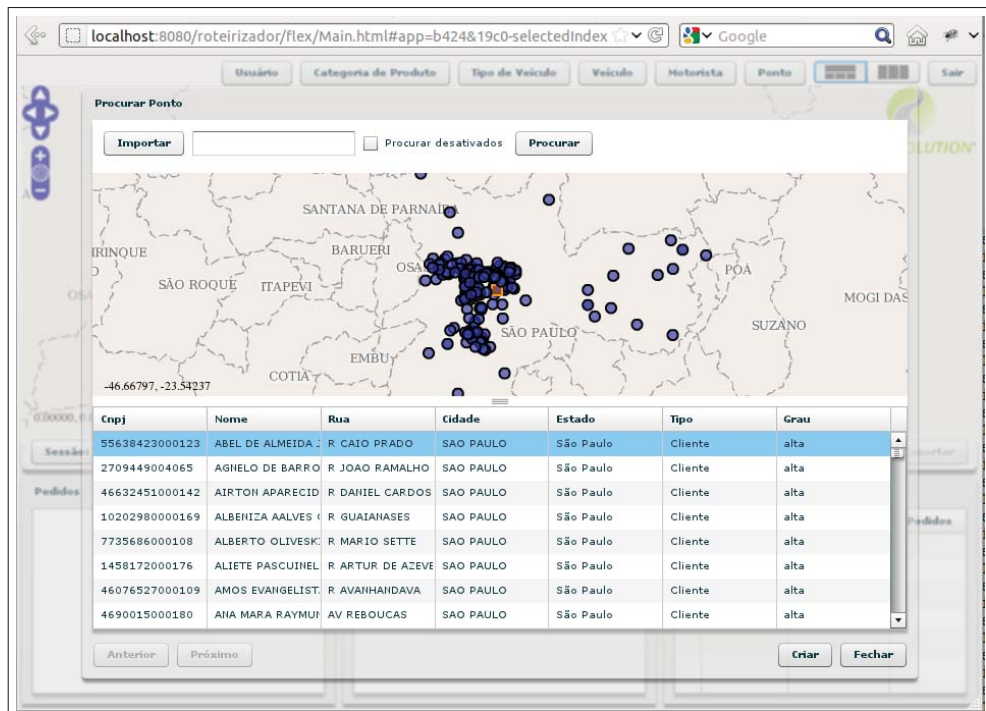


Figura 4.16: Tela para importação e cadastro de clientes da transportadora.

Após importar os pedidos na tela 4.14, a tela inicial apresentará a seguinte tela, figura 4.17. Aqui são representados todos os clientes da transportadora atendidos na sessão, todos estão vermelhos, pois ainda não pertencem a nenhuma rota, chamados de pontos pendentes de entrega. Para o exemplo sendo executado foram importados 59 entregas a serem computadas para a cidade de São Paulo. Esse grupo de clientes faz parte de um conjunto de testes de homologação com o objetivo de testar a eficiência das rotas simuladas.

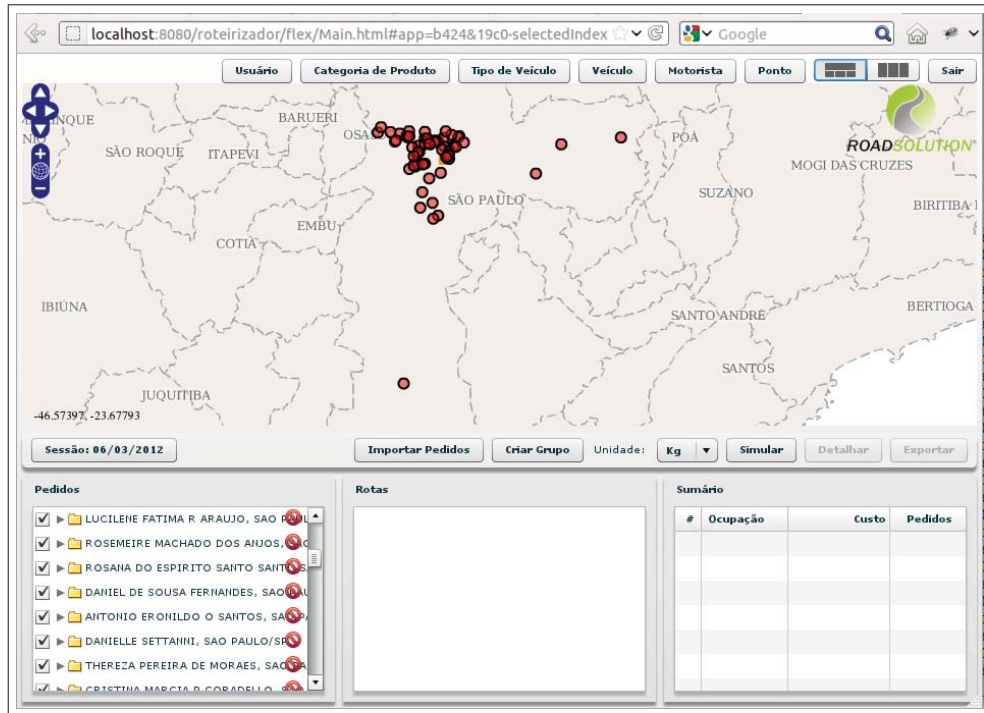


Figura 4.17: Pedidos pendentes na tela principal.

Para dar início a simulação é necessário entrar na tela de simulação, figura 4.18. As principais atividades nessa tela são configurações das restrições, estratégias e recursos. Na aba de restrições dentro da tela de simulação, figura 4.19, pode-se encontrar as restrições relativas a elaboração de rotas. As restrições mais importantes dizem respeito a capacidade do veículo que pode ser limitada por peso, volume ou valor monetário. A taxa de ocupação pode ser definida, o padrão adotado é de 90%. Os intervalos são referentes ao tempo útil de rodagem e o tempo total de rota aplicados ao motorista e seu caminhão. Os horários de início de rotas são definidos pelo início de rota. Para restringir um volume máximo de entregas por dia o operador pode habilitar a função determinando um número de entregas. O padrão adotado pelo sistema é de 8-10 entregas por sessão.

Os clientes a serem atendidos possuem dois grupos de janela de atendimento, matutino e vespertino. Portanto a simulação executada irá considerar as janelas de atendimento para o tempo de início de rota.

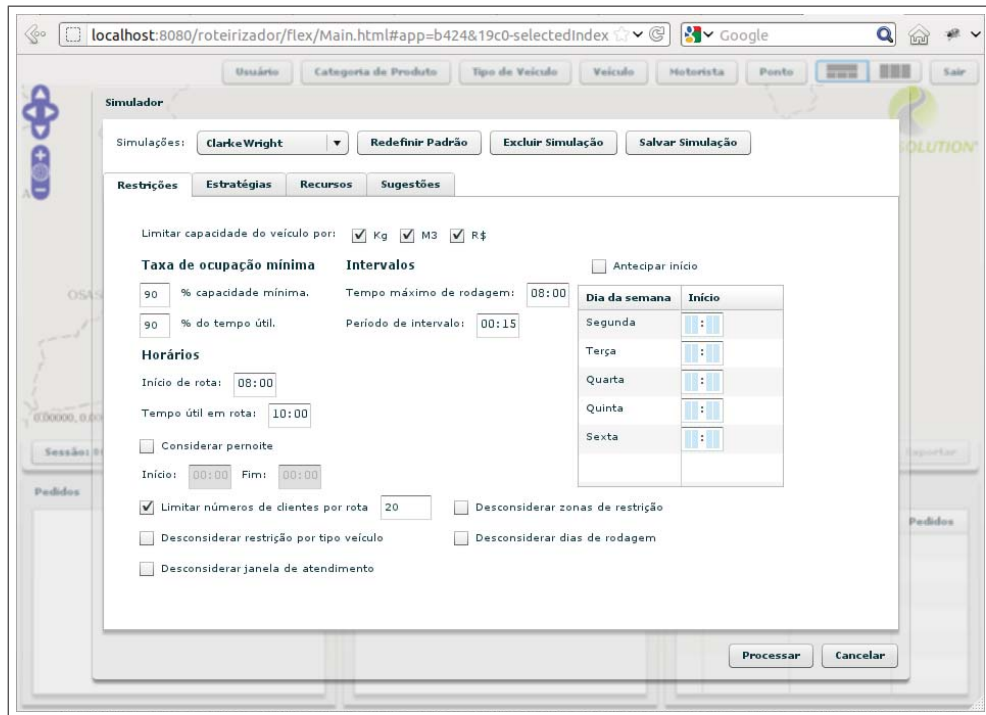


Figura 4.18: Tela de simulação.

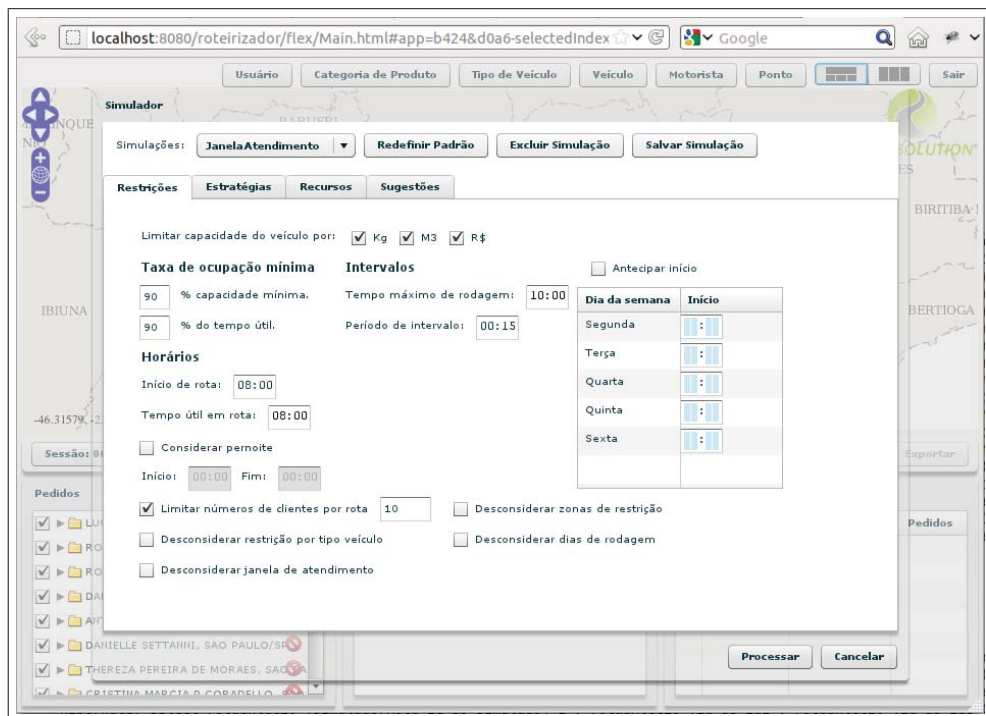


Figura 4.19: Aba de restrições da simulação.

A aba de estratégias define como será montada a rota, figura 4.20. A estratégia de primeiro ponto rota é considerada como o local mais próximo do depósito central. A sequência de rota, local mais próximo do depósito, calcula a economia de percurso entre os clientes fazendo uso da matriz de distância do depósito central aos clientes. Os pontos de origem e destino da rota são definidos pelo depósito central.

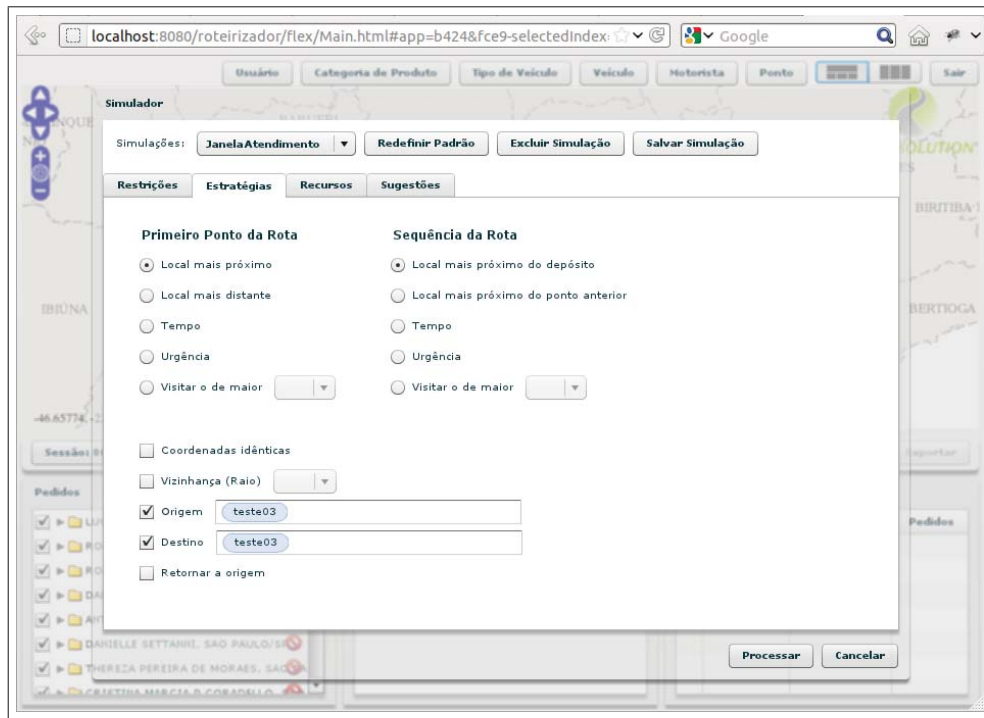


Figura 4.20: Aba de estratégias da simulação.

A aba de recursos está relacionada principalmente a frota disponível e aos tipos de veículos. Para a realização da simulação levou-se em conta os custos fixos e variáveis e os tipos e quantidade de veículos descritos na figura 4.21.

Ao processar a simulação, figura 4.22, todos os pontos pendentes associados a sessão são enviados para a roteirização. Nesse momento os algoritmos de roteirização, incluindo as condições de contorno e validação são executados. O tempo computacional nessa versão do software está relacionado a descoberta dos percursos para cada par de clientes presentes na rota. Já que todas as rotas são direcionadas e que cada segmento de percurso possui uma velocidade média associada, os cálculos de tempo, distância e percurso entre dois clientes tomam a maior parte do tempo de execução. Sabendo que a performance desse tipo de software é fundamental para sua viabilidade econômica, é importante lembrar que além do investimento na criação de algoritmos de roteirização é preciso investir em técnicas que melhorem o tempo de acesso a informações como criação de cache de dados, aplicação de técnicas de banco de dados em memória, customizações de funções relacionadas a geração de rotas.

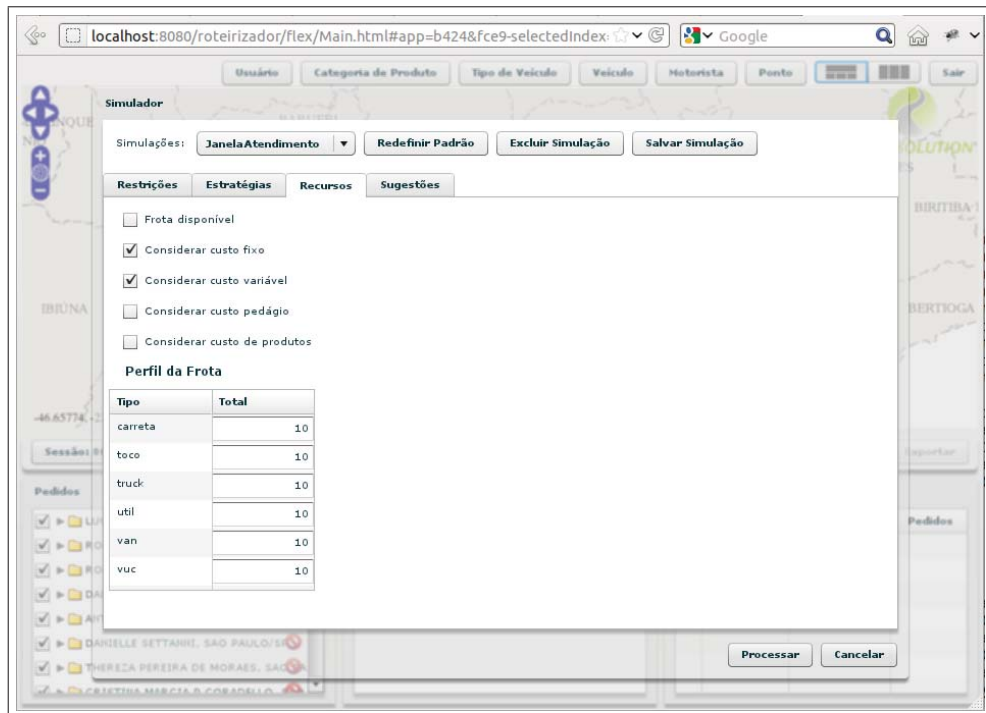


Figura 4.21: Aba dos recursos disponíveis para simulação.

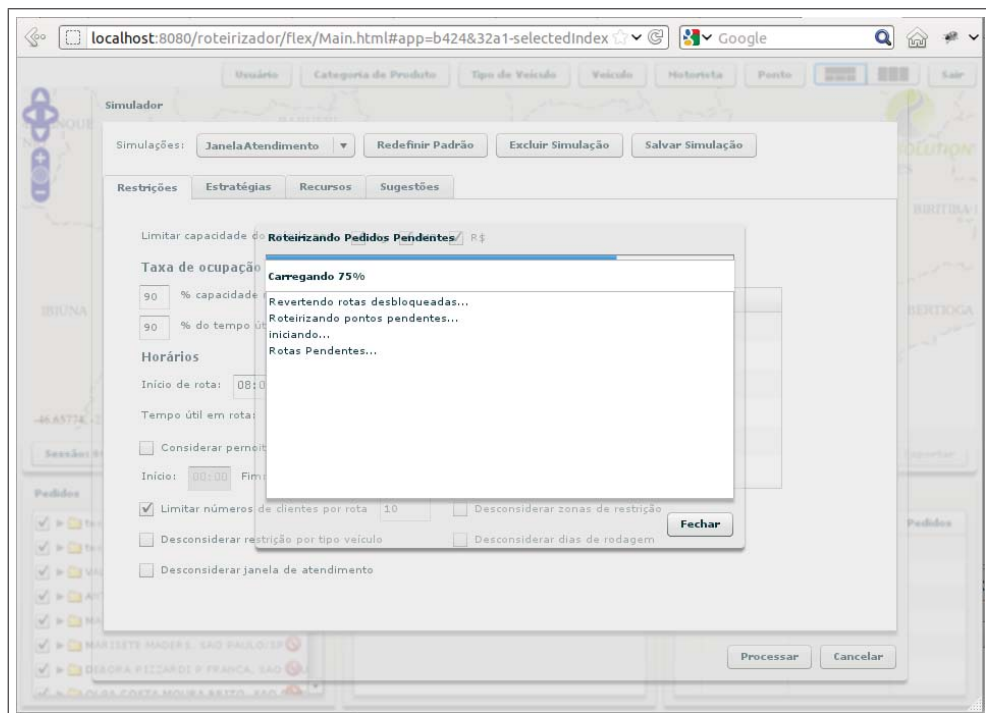


Figura 4.22: Processamento de rotas no SRV.

Ao final da roteirização dos 59 clientes o operador encontrará na tela principal, figura 4.23, a simulação completa.

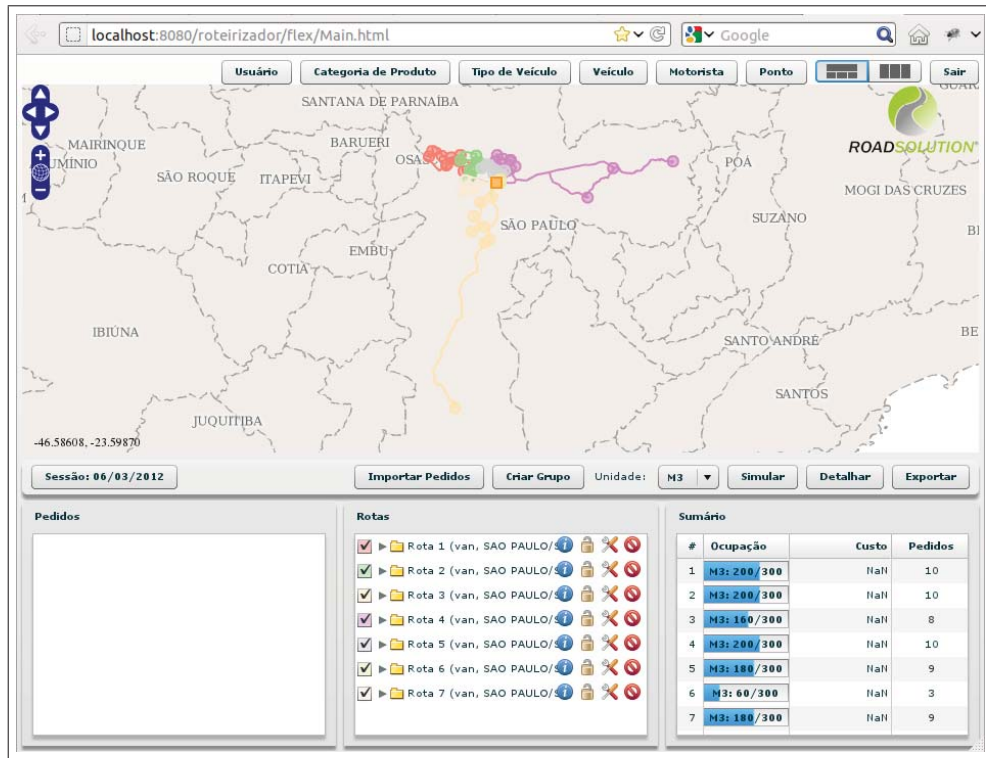


Figura 4.23: Tela principal com simulação completa.

Para verificar os detalhes da criação de rotas, o operador deve entrar na tela detalhar simulação, figura 4.24. Nessa tela estão presentes sete rotas, com intervalos de entrega entre 08:00 da manhã e 13:28 da tarde, indicando que as entregas foram calculadas para o período matutino. Foram utilizados sete veículos do tipo van, três rotas foram limitadas pela quantidade de entregas, a rota #1, #2 e #4. Com exceção das rotas limitadas pela quantidade máxima de entregas as outras foram limitadas pela janela de atendimento ou pelas restrições de volume. Apenas a rota #6 mostrou um pequeno número de clientes atendidos.

localhost:8080/roteirizador/flex/Main.html#app=b424&32a1-selectedIndex

SANTANA DE PARNAIIBA

Sessão: 06/03/2012 (març)

#	Tipo de Veículo	Kg	M3	R\$	Cientes Pedidos	Km Tot	Tempo Total	Custo Total	Quant. Dias	Data Inicio/Fim	Quant. JA
1	van	100/3000	200/300	300/1000000	10/10	1597	0	NaN	1	06/03/2012 08:00 06/03/2012 12:28	10
2	van	100/3000	200/300	300/1000000	10/10	28	0	NaN	1	06/03/2012 08:00 06/03/2012 12:14	10
3	van	80/3000	160/300	240/1000000	8/8	94	0	NaN	1	06/03/2012 08:00 06/03/2012 13:28	8
4	van	100/3000	200/300	300/1000000	10/10	70	0	NaN	1	06/03/2012 08:00 06/03/2012 13:20	10
5	van	90/3000	180/300	270/1000000	9/9	12	0	NaN	1	06/03/2012 08:00 06/03/2012 11:31	9
6	van	30/3000	60/300	90/1000000	3/3	3	0	NaN	1	06/03/2012 08:00 06/03/2012 09:09	3
7	van	90/3000	180/300	270/1000000	9/9	18	0	NaN	1	06/03/2012 08:00 06/03/2012 11:43	9

Rota 5 (van, SAO PAULO) 4 Kg: 180/3000 NaN 9
 Rota 6 (van, SAO PAULO) 5 Kg: 90/3000 NaN 3
 Rota 7 (van, SAO PAULO) 6 Kg: 30/3000 NaN 9
 Rota 7 (van, SAO PAULO) 7 Kg: 90/3000 NaN 9

Fechar

Figura 4.24: Detalhes da simulação das rotas geradas.

As figuras 4.25 e 4.26, mostram detalhes da rota utilizando aspectos RIA da aplicação. Cada uma das telas apresenta um nível de ampliação do mapa gerado, detalhe para a figura 4.26, que mostra um trecho da rota #2 no maior nível de ampliação. A segmentação por setores de entrega fica bem evidente na figura 4.25.

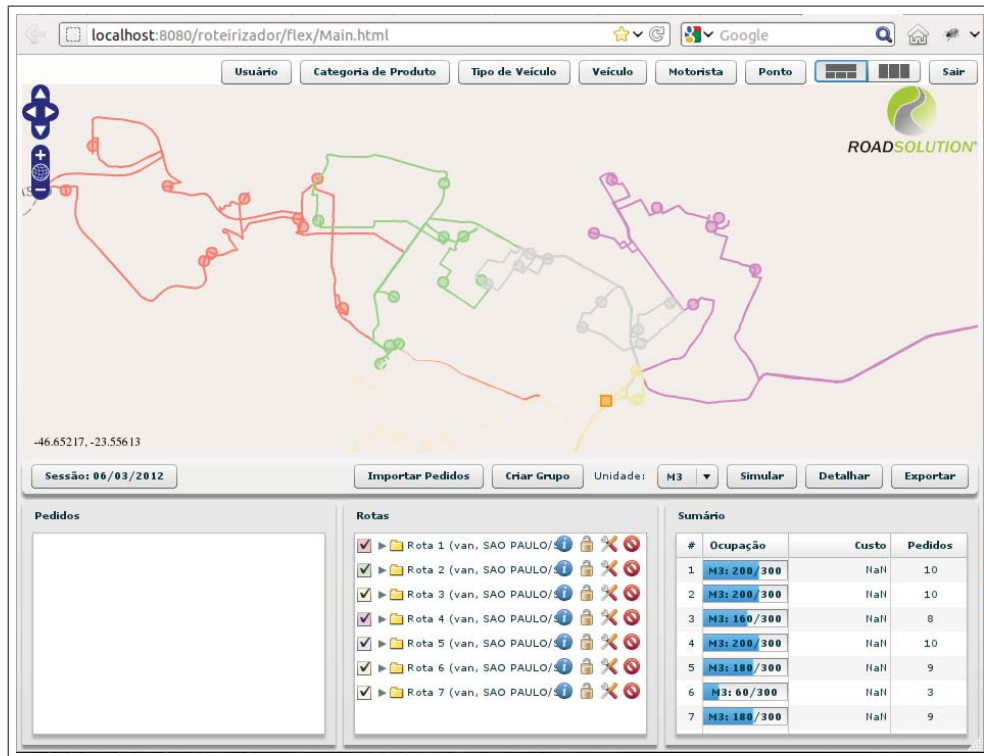


Figura 4.25: Detalhe com a setorização das rotas.

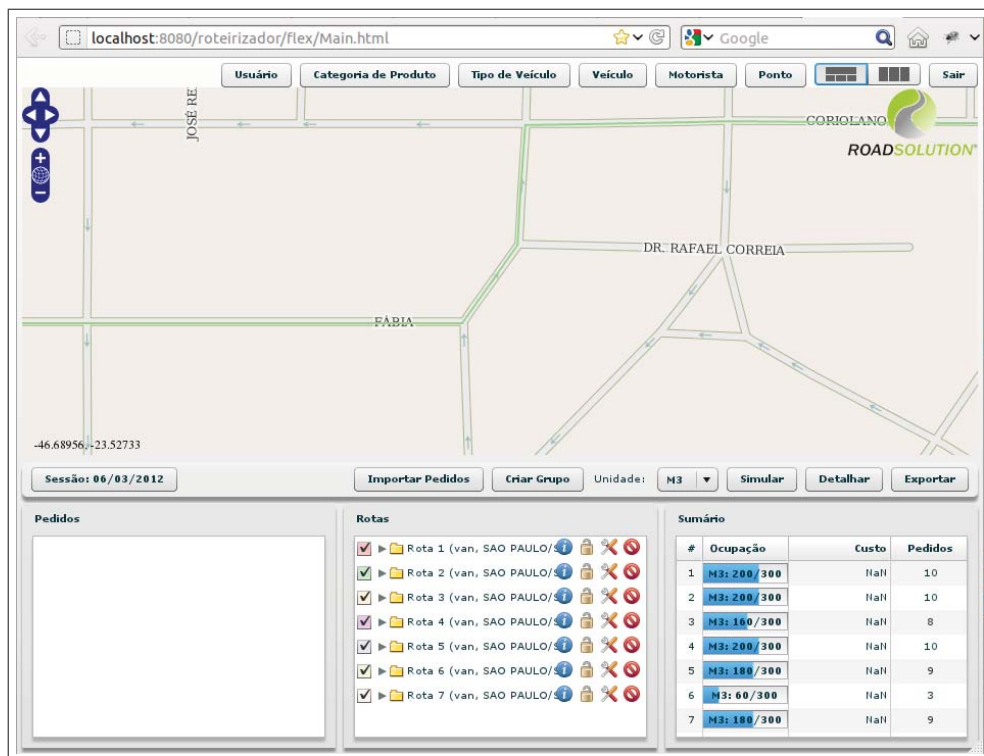


Figura 4.26: Ampliação máxima da rota #2, detalhe para a direção das vias.

5 Resultados Computacionais e Discussões

Para testar a performance computacional das formulações matemáticas, da heurística de economia e da metodologia de inserção apresentadas, foram utilizados os *benchmarks* propostos por Solomon [8]. Cada teste do *benchmark* utilizado possui 100 clientes, um depósito central e seus respectivos dados como, localização geográfica, demanda de entrega, janela de atendimento e tempo de atendimento. As modificações em relação ao *benchmark* estão na utilização de frota de veículos com diferentes capacidades de transporte e uso de entregas fracionadas. Os conjuntos de *benchmarks* apresentados são compostos por seis diferentes grupos com 56 testes. O objetivo de Solomon [8] era apresentar diferentes grupos de clientes com necessidade de entrega que pudessem ser testados para um veículo com capacidade de transporte conhecida para cada grupo. Como um dos objetivos desse trabalho é utilizar frotas heterogêneas não serão utilizados as capacidades dos veículos indicados por Solomon [8].

Quanto as entregas fracionadas, assim como o SRV apresentado no capítulo 4, realizam o pré-processamento das entregas pendentes de acordo com o algoritmo 3.1. Essa abordagem segue os princípios definidos por Belfiore e Yoshida [2], onde entregas maiores que a capacidade do maior veículo disponível sempre serão divididas. Existindo duas possibilidades, a primeira seria procurar veículos com rotas já configuradas que possam transportar partes da entrega fracionada. A segunda seria iniciar uma nova rota com o maior veículo disponível e fracionar o restante da entrega para outras rotas já existentes.

Os resultados computacionais que são apresentados podem ser agrupados em seis diferentes categorias: R1, C1, RC1 e R2, C2, RC2. As letras R, C e RC dizem respeito a forma como os pontos foram gerados. R para randômico, C para agrupados do inglês *clustered* e RC combinação de randômico com agrupados. Os números 1 e 2 dizem respeito a janelas de atendimento, o número 1 é para janelas de atendimento mais curtas e o número 2 para janelas de atendimento mais longas. Essa diferenciação procura examinar a eficiência do algoritmo proposto quanto sua capacidade de união rotas.

Na seção 5.1 será apresentada uma solução por cada categoria, totalizando

seis testes. Cada um dos testes irá apresentar a distribuição visual dos clientes (pontos de entrega) e o depósito central. Os clientes pendentes de entrega são representados por círculos vermelhos. Os depósitos são representados por quadrados. Nos testes realizados os depósitos estão “geocodificados” em dois pontos, uma para categoria de problemas R e outro para a categoria de problemas de C e RC. A solução final após a execução dos algoritmos é um conjunto de rotas representadas por arestas ligando os clientes atendidos. Cada rota utiliza apenas um veículo, portanto o número de rotas encontrada para a solução também define a quantidade de veículos utilizado. As cores das rotas são escolhidas pelo sistema de maneira aleatória.

Os quatro algoritmos a serem utilizados:

1. Algoritmo de Economia Combinada (EC)
2. Algoritmo da Oportunidade Otimista de Economia (OOE)
3. Algoritmo da Oportunidade Real de Economia (ORE)
4. Algoritmo ORE com um parâmetro modelador de rota λ (ORE_λ)

Serão apresentadas as melhores soluções para cada grupo de teste utilizando métricas como custo do transporte, distância percorrida, taxa de ocupação média e quantidade de veículos utilizados.

As figuras apresentadas na seção 5.1 foram extraídas da aplicação SRV conforme observado no capítulo 4. Os algoritmos que são executados no servidor foram modificados para permitir a realização dos testes de eficiência das heurísticas de VRP. Para isso o percurso entre dois pontos sempre será a distância euclidiana e o tempo de viagem será igual a essa distância.

5.1 Testes computacionais

A tabela 5.1 mostra a configuração dos veículos utilizados.

Veículo	Capacidade	Custo Fixo	Custo Variável
A	30	50	10
B	50	80	16
C	80	140	26
D	120	250	43
E	200	500	68

Tabela 5.1: Tipos de veículos utilizados nos testes.

Além dos resultados numéricos, serão apresentados duas figuras para cada um dos seis testes. A primeira figura representa os 100 pontos pendentes de entrega. A segunda representa as rotas encontradas pelo algoritmo de roteirização. As rotas são representadas por arestas ligando um ou mais clientes ao depósito central, onde são identificadas por cor única, permitindo a visualização de um padrão geométrico imposto pela heurística de economia aplicada.

Para cada *benchmark* em teste, apenas um depósito central será utilizado. O programa de visualização por vezes irá mostrar dois depósitos centrais, mas apenas um deles será levado em consideração, pois cada *benchmark* definido por Solomon [8] define apenas um depósito por grupo de teste.

Na seção 5.2 consta o resumo dos melhores resultados obtidos para os *benchmarks* testados.

As legendas 5.2 referem-se as siglas utilizadas nas tabelas dos testes 5.1.1-5.1.6.

Sigla	significado
EPP	Estratégia de Primeiro Ponto(P-Próximo,D-Distante)
De	Demanda
Di	Distância
OM	Ocupação média
UP	Unidades de peso
UD	Unidades de distância
UM	Unidades Monetárias

Tabela 5.2: Legenda para abreviaturas das tabelas resultados.

Cada uma das tabelas presentes nos testes 5.1.1 - 5.1.6 são classificadas pelos algoritmos EC, OOE, ORE ou ORE_{λ} . Para cada algoritmo empregado na construção das rotas existe um grupo de informações relacionadas aos tipos de veículos. Os seguintes itens são referentes a essas informações: tipo, carga, distância, atendimentos, quantidade e custo. Segue abaixo a explicação de cada um deles:

1. **Tipo:** referente a configuração do veículo utilizado conforme a tabela 5.1.
2. **Carga:** representa a demanda atendida por cada tipo de veículo.
3. **Distância:** representa o total percorrido por tipo de veículo.
4. **Atendimento:** informa o número de clientes atendidos por tipo de veículo.
5. **Quantidade:** quantidade de veículos empregados.
6. **Custo:** valor monetário gasto para realização do transporte.

5.1.1 Teste R101

A figura 5.1 apresenta os 100 clientes a serem atendidos, com uma demanda total de 1458 unidades de peso a serem transportadas. É possível notar a distribuição randômica dos clientes e uma aglomeração na parte inferior esquerda da figura.

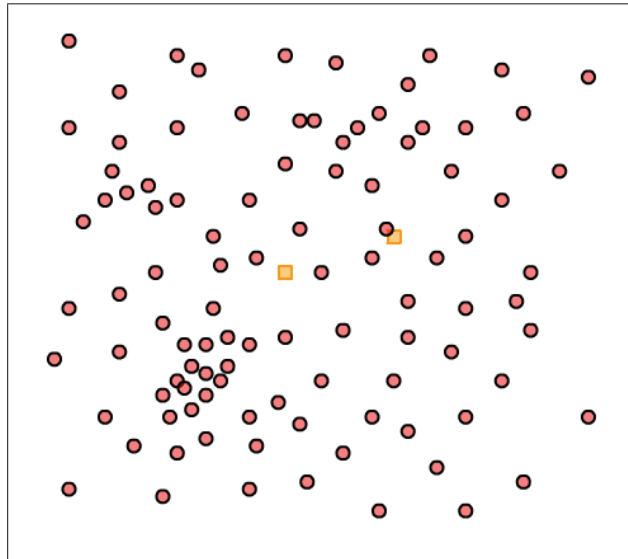


Figura 5.1: Pontos pendentes de R101

As tabelas 5.3 - 5.6 apresentam os melhores resultados para o conjunto R101, classificados por algoritmo. Cada tabela apresenta o resultado gerado pelo algoritmo selecionado e também um resumo numérico da parcela de cada tipo de veículo empregado na construção da rota.

A figura 5.2 apresenta a solução mais econômica encontrada para o grupo de teste R101 utilizando os algoritmos OOE e ORE, tabelas 5.4 e 5.5. Enquanto o algoritmo EC na tabela 5.3 apresenta a solução com distância mínima. Ambos os algoritmos OOE e ORE apresentaram a mesma solução, pois na junção de rotas não foi possível encontrar solução viável mais econômica para as variáveis de decisão presentes em ORE.

O mínimo de veículos e melhor ocupação média também ficam com OOE e ORE utilizando 43 veículos e 83.3% de OM.

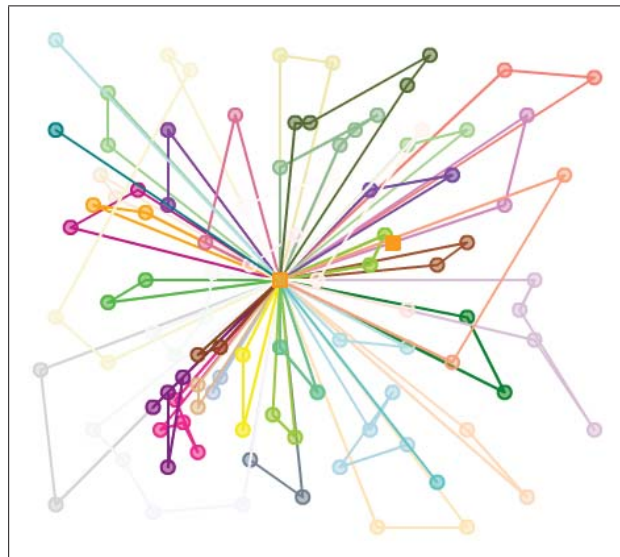


Figura 5.2: Solução para o teste R101

Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	(UM)
EC	P	1458	2577.56	78.3	44	37200.57
	Tipo	Carga	Di (UD)	Atendimentos	Qtde	Custo
	A	582	1369.87	48	26	13698.73
	B	489	789.80	28	12	12636.91
	C	387	417.88	24	6	10864.92

Tabela 5.3: Resultado para o teste R101 utilizando o algoritmo EC.

Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	(UM)
OOE	P	1458	2680.83	83.3	43	36646.40
	Tipo	Carga	Di (UD)	Atendimentos	Qtde	Custo
	A	687	1718.74	56	29	17187.46
	B	358	555.54	20	8	8888.73
	C	413	406.54	24	6	10570.20

Tabela 5.4: Resultado para o teste R101 utilizando o algoritmo OOE.

Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	(UM)
ORE	P	1458	2680.83	83.3	43	36646.40
	Tipo	Carga	Di (UD)	Atendimentos	Qtde	Custo
	A	687	1718.74	56	29	17187.46
	B	358	555.54	20	8	8888.73
	C	413	406.54	24	6	10570.20

Tabela 5.5: Resultado para o teste R101 utilizando o algoritmo ORE.

Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	(UM)
ORE λ	P	1458	3491.25	79.6	44	53120.17
	Tipo	Carga	Di (UD)	Atendimentos	Qtde	Custo
	A	707	2072.69	58	30	20726.91
	B	366	903.42	22	9	14454.75
	C	194	247.80	12	3	6442.99
	D	191	267.33	8	2	11495.50

Tabela 5.6: Resultado para o teste R101 utilizando o algoritmo ORE λ .

5.1.2 Teste C101

A figura 5.3 apresenta os 100 clientes a serem atendidos, com uma demanda total de 1810 unidades de peso a serem transportadas. É possível notar a distribuição agrupada dos pontos, mas vale ressaltar, que nem sempre pontos vizinhos apresentam janelas de atendimento compatíveis entre si.

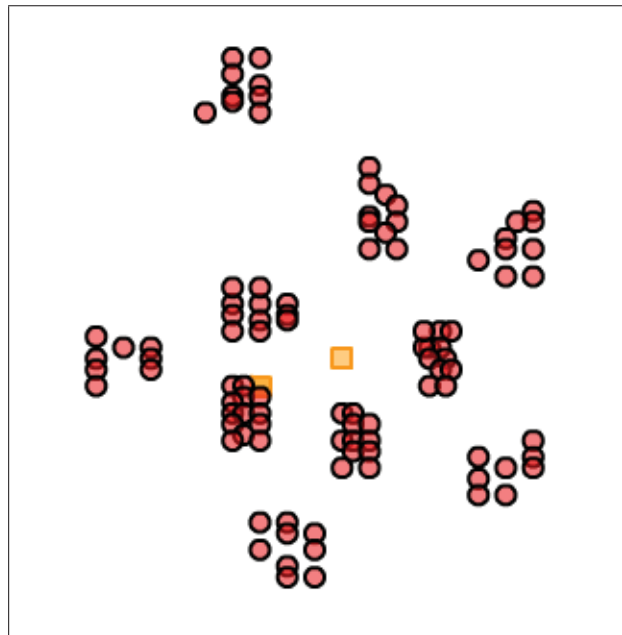


Figura 5.3: Pontos pendentes de C101

As tabelas 5.7 - 5.10 apresentam os melhores resultados para o conjunto C101, classificados por algoritmo. Cada tabela apresenta o resultado gerado pelo algoritmo e também apresenta um resumo numérico da parcela de cada tipo de veículo empregado na construção da rota.

A figura 5.4 apresenta a solução com a menor distância total percorrida para C101, empregando o algoritmo EC.

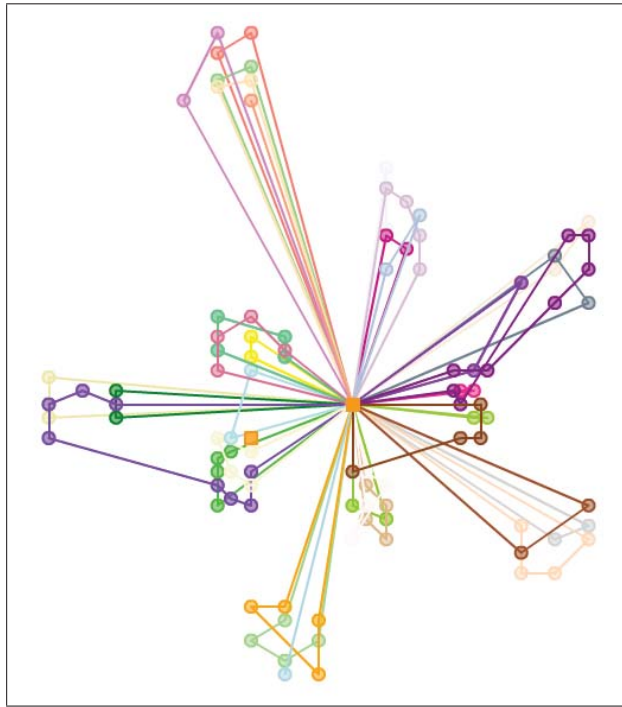


Figura 5.4: Rotas EC apresentam a menor distância para o teste C101.

A figura 5.5 apresenta a solução com a maior economia para o teste C101, empregando o algoritmo ORE.



Figura 5.5: Rotas ORE com o menor custo total para o teste C101.

O menor número de veículos, 34, fica com EC, a maior taxa ocupação fica com OOE, 95.2%, em segundo lugar ORE com 94.2%.

Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	(UM)
EC	P	1810	2472.73	89.6	34	52168.98
	Tipo	Carga	Di (UD)	Atendimentos	Qtde	Custo
	A	410	1060.51	28	15	10605.14
	B	420	675.53	24	9	10808.54
	C	450	352.51	24	6	9165.49
	D	190	181.34	8	2	7797.67
E	340	202.82	16	2	13792.12	

Tabela 5.7: Resultado para o teste C101 utilizando o algoritmo EC

Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	(UM)
OOE	D	1810	4605.15	95.2	47	62589.05
	Tipo	Carga	Di (UD)	Atendimentos	Qtde	Custo
	A	660	2024.53	45	24	20245.38
	B	1070	2475.24	53	22	39603.95
	C	80	105.37	2	1	2739.70

Tabela 5.8: Resultado para o teste C101 utilizando o algoritmo OOE

Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	(UM)
ORE	D	1810	3097.91	94.2	46	43514.47
	Tipo	Carga	Di (UD)	Atendimentos	Qtde	Custo
	A	780	1691.43	47	28	16914.36
	B	570	996.84	27	12	15949.52
	C	460	409.63	26	6	10650.58

Tabela 5.9: Resultado para o teste C101 utilizando o algoritmo ORE

Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	(UM)
ORE _{λ}	P	1810	4460.54	90	40	91499.12
	Tipo	Carga	Di (UD)	Atendimentos	Qtde	Custo
	A	550	1720.04	42	21	17200.41
	B	470	1047.45	22	10	16759.31
	C	360	897.74	18	5	23341.32
	D	430	795.30	18	4	34198.07

Tabela 5.10: Resultado para o teste C101 utilizando o algoritmo ORE _{λ} .

5.1.3 Teste RC101

A figura 5.6 apresenta os 100 clientes a serem atendidos, com uma demanda total de 1724 unidades de peso a serem transportadas. É possível notar a distribuição agrupada dos pontos na periferia da figura, enquanto a área central apresenta os pontos randômicos.

As tabelas 5.11 - 5.14 apresentam os melhores resultados para o conjunto RC101, classificados por algoritmo. Cada tabela apresenta o resultado gerado pelo algoritmo e também um resumo numérico da parcela de cada tipo de veículo empregado na construção da rota.

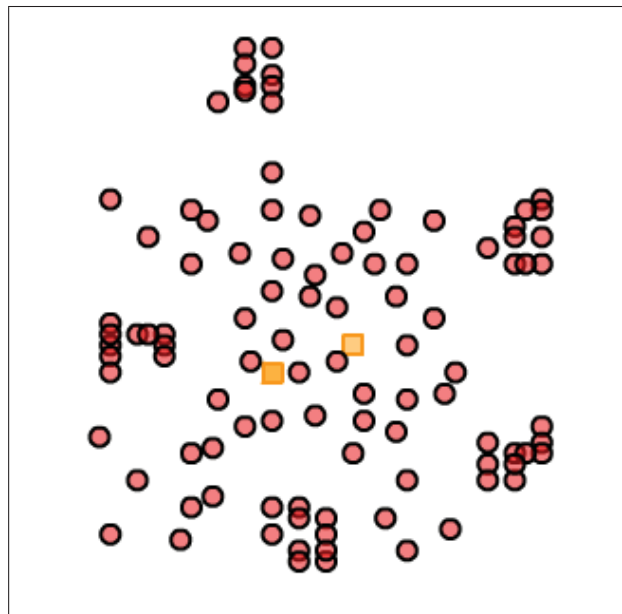


Figura 5.6: Pontos pendentes de RC

A figura 5.7 apresenta a solução com a menor distância total percorrida para RC101, empregando o algoritmo EC.

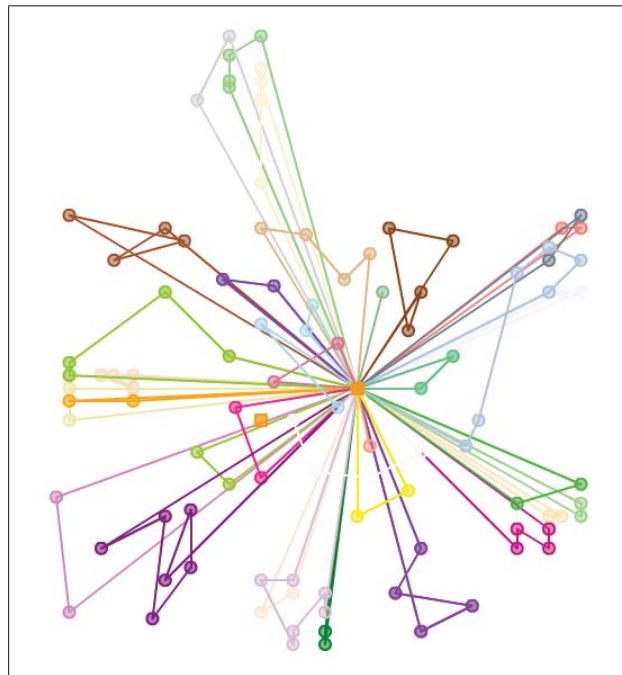


Figura 5.7: Rotas EC apresentam a menor distância para o teste RC101.

A figura 5.8 apresenta a solução com a maior economia para o teste RC101, empregando o algoritmo ORE.

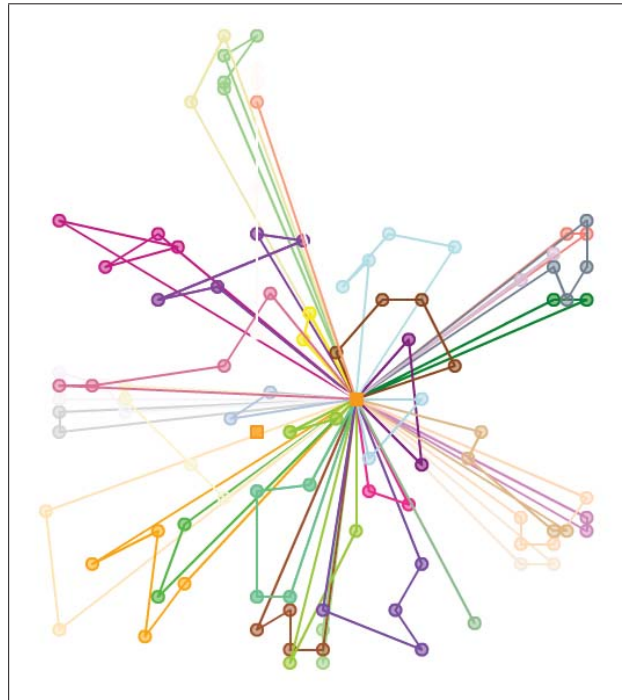


Figura 5.8: Rotas ORE com o menor custo total para o teste RC101.

O menor número de veículos, 34, fica com ORE_{λ} , a maior taxa de ocupação fica com ORE, 93.1%.

Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	(UM)
EC	P	1810	2745.42	87	35	60524.46
	Tipo	Carga	Di (UD)	Atendimentos	Qtde	Custo
	A	440	946.52	30	16	9465.27
	B	466	851.72	28	10	13627.60
	C	269	410.98	16	4	10685.68
	D	426	388.57	20	4	16708.70
E	123	147.60	6	1	10037.19	

Tabela 5.11: Resultado para o teste RC101 utilizando o algoritmo EC.

Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	(UM)
OOE	P	1810	2854.97	87.9	35	57277.91
	Tipo	Carga	Di (UD)	Atendimentos	Qtde	Custo
	A	296	819.62	20	11	8196.22
	B	637	1120.54	38	15	17928.66
	C	362	481.41	20	5	12516.73
	D	429	433.40	22	4	18636.30

Tabela 5.12: Resultado para o teste RC101 utilizando o algoritmo OOE.

Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	(UM)
ORE	D	1810	2886.10	93.1	35	52199.01
	Tipo	Carga	Di (UD)	Atendimentos	Qtde	Custo
	A	361	875.62	24	13	8756.24
	B	482	882.96	28	10	14127.42
	C	881	1127.51	48	12	29315.35

Tabela 5.13: Resultado para o teste RC101 utilizando o algoritmo ORE.

Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	(UM)
ORE _{λ}	P	1810	3796.96	86.2	34	78739.57
	Tipo	Carga	Di (UD)	Atendimentos	Qtde	Custo
	A	361	1326.18	28	14	13261.83
	B	279	681.25	18	6	10900.09
	C	684	1315.98	36	10	34215.69
	D	400	473.53	18	4	20361.94

Tabela 5.14: Resultado para o teste RC101 utilizando o algoritmo ORE _{λ} .

5.1.4 Teste R201

A figura 5.1 apresenta os 100 clientes do grupo de teste **R2** a serem atendidos, com uma demanda total de 1458 unidades de peso a serem transportadas. Nesse teste as janelas de atendimento são mais alongadas, permitindo que a junção de rotas aconteça com maior frequência, tendo como resultado uma maior economia por rota, seja por distância percorrida ou pelo número de veículos utilizados.

As tabelas 5.15 - 5.18 apresentam os melhores resultados para o conjunto R201, classificados por algoritmo. Cada tabela apresenta o resultado gerado pelo algoritmo selecionado e também um resumo numérico da parcela de cada tipo de veículo empregado na construção da rota.

A figura 5.9 apresenta a solução com a menor distância total percorrida para R201, empregando o algoritmo OOE.

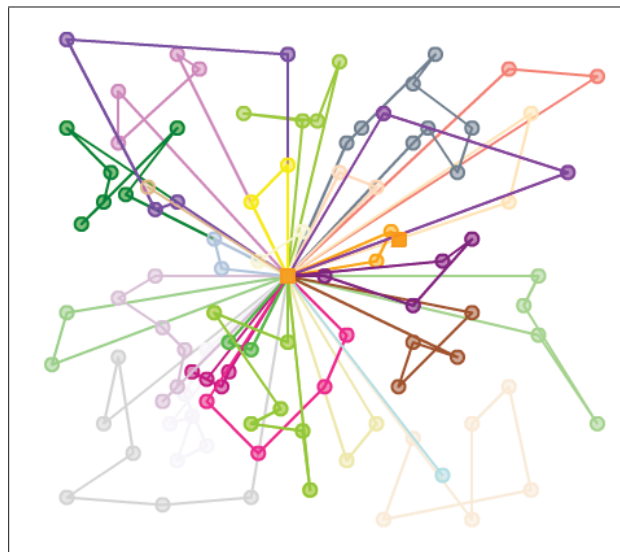


Figura 5.9: Rotas OOE apresentam a menor distância para o teste R201.

A figura 5.10 apresenta a solução com a maior economia para o teste R201, empregando o algoritmo ORE.

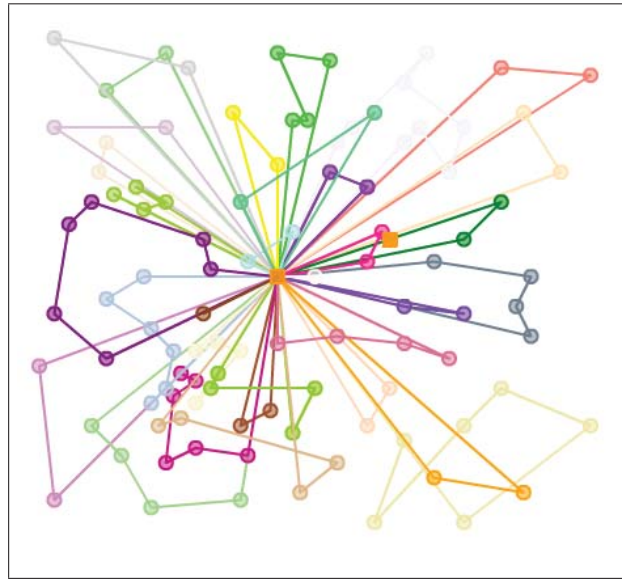


Figura 5.10: Rotas ORE com o menor custo total para o teste R201.

O menor número de veículos, 24, fica com EC, a maior taxa de ocupação fica com EC, 90%.

Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	(UM)
EC	D	1458	1999.35	90	24	51927.75
	Tipo	Carga	Di (UD)	Atendimentos	Qtde	Custo
	A	184	391.43	16	7	3914.33
	B	212	361.64	16	5	5786.35
	C	504	668.40	34	7	17378.50
D	558	577.87	34	5	24848.55	

Tabela 5.15: Resultado para o teste R201 utilizando o algoritmo EC.

Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	(UM)
OOE	D	1458	1990.71	86.2	28	46917.26
	Tipo	Carga	Di (UD)	Atendimentos	Qtde	Custo
	A	273	566.49	20	11	5664.90
	B	371	614.02	28	8	9824.38
	C	215	200.62	14	3	5216.21
	D	599	609.57	38	6	26211.77

Tabela 5.16: Resultado para o teste R201 utilizando o algoritmo OOE.

Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	(UM)
ORE	P	1458	2117.61	82.8	32	41198.94
	Tipo	Carga	Di (UD)	Atendimentos	Qtde	Custo
	A	293	629.51	22	12	6295.19
	B	329	536.42	20	8	8582.87
	C	729	858.87	50	11	22330.86
	D	107	92.79	8	1	3990.02

Tabela 5.17: Resultado para o teste R201 utilizando o algoritmo ORE.

Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	(UM)
ORE _{λ}	D	1458	4594.56	74.3	35	111392.18
	Tipo	Carga	Di (UD)	Atendimentos	Qtde	Custo
	A	241	1186.64	28	13	11866.47
	B	474	1402.85	30	13	22445.67
	C	393	1072.44	22	6	27883.49
	D	218	568.86	12	2	24461.16
	E	132	363.75	8	1	24735.37

Tabela 5.18: Resultado para o teste R201 utilizando o algoritmo ORE _{λ} .

5.1.5 Teste C201

A figura 5.3 apresenta os 100 clientes a serem atendidos para o grupo **C2**, com uma demanda total de 1810 unidades de peso a serem transportadas.

As tabelas 5.19 - 5.22 apresentam os melhores resultados para o conjunto C201, classificados por algoritmo. Cada tabela apresenta o resultado gerado pelo algoritmo e também um resumo numérico da parcela de cada tipo de veículo empregado na construção da rota.

A figura 5.11 apresenta a solução com a menor distância total percorrida para C201, empregando o algoritmo EC.

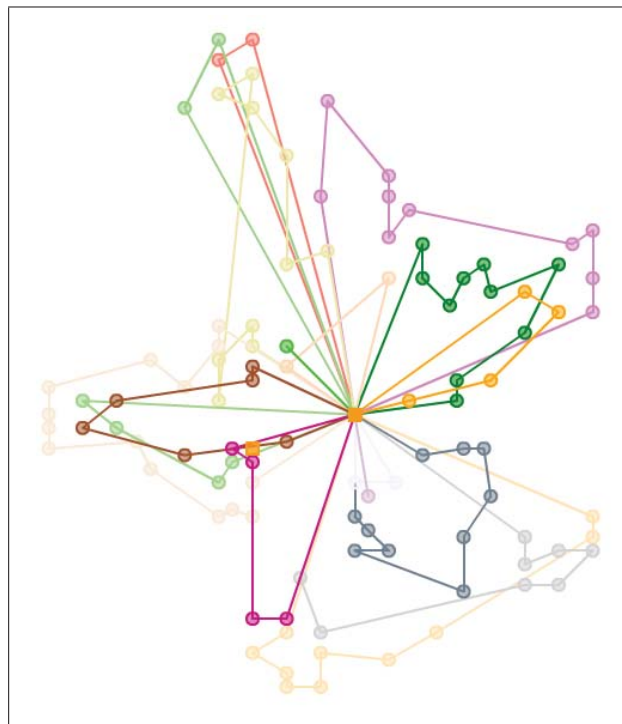


Figura 5.11: Rotas EC apresentam a menor distância para o teste C201.

A figura 5.12 apresenta a solução com a maior economia para o teste C201, empregando o algoritmo ORE.

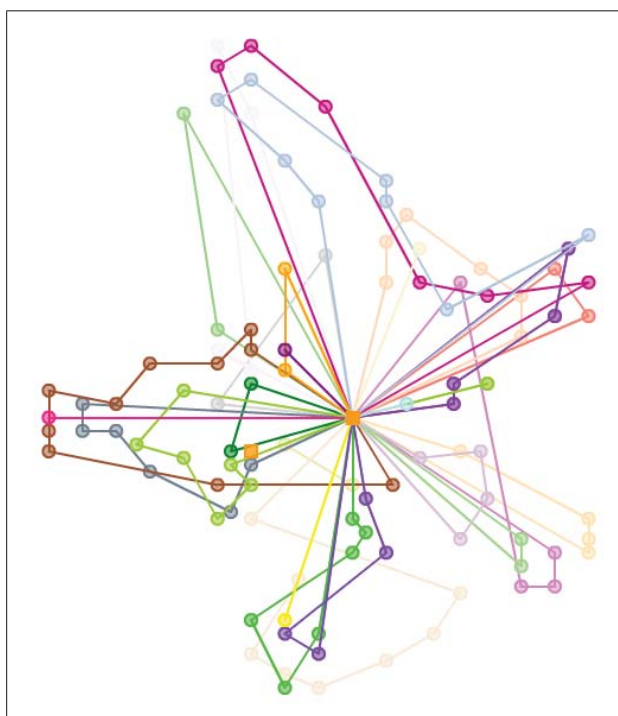


Figura 5.12: Rotas ORE com o menor custo total para o teste C201.

O menor número de veículos, 17, fica com EC, a maior taxa de ocupação fica com OOE e ORE, 94.2%.

Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	(UM)
EC	P	1810	1578.84	89.6	17	75620.71
	Tipo	Carga	Di (UD)	Atendimentos	Qtde	Custo
	A	100	223.21	7	4	2232.17
	B	90	149.46	3	2	2391.46
	C	150	168.51	10	2	4381.44
	D	210	157.76	8	2	6783.95
E	1260	879.87	72	7	59831.68	

Tabela 5.19: Resultado para o teste C201 utilizando o algoritmo EC.

Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	(UM)
OOE	P	1810	1631.57	94.2	19	68964.01
	Tipo	Carga	Di (UD)	Atendimentos	Qtde	Custo
	A	160	309.79	9	6	3097.94
	B	100	98.44	3	2	1575.16
	C	150	279.55	10	2	7268.53
	D	430	286.17	22	4	12305.56
	E	960	657.60	56	5	44716.80

Tabela 5.20: Resultado para o teste C201 utilizando o algoritmo OOE.

Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	(UM)
ORE	D	1810	2276.37	94.2	27	65505.44
	Tipo	Carga	Di (UD)	Atendimentos	Qtde	Custo
	A	230	556.42	14	9	5564.20
	B	240	283.73	10	5	4539.74
	C	480	562.51	26	6	14625.44
	D	660	745.44	40	6	32054.09
	E	200	128.26	10	1	8721.95

Tabela 5.21: Resultado para o teste C201 utilizando o algoritmo ORE.

Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	(UM)
ORE _{λ}	D	1724	4676.45	82.4	28	164792.83
	Tipo	Carga	Di (UD)	Atendimentos	Qtde	Custo
	A	225	18	18	9	7464.07
	B	245	14	14	6	9164.26
	C	322	20	20	5	25796.69
	D	623	34	34	6	66150.02
	E	309	14	14	2	56217.77

Tabela 5.22: Resultado para o teste C201 utilizando o algoritmo ORE _{λ} .

5.1.6 Teste RC201

A figura 5.6 demonstra os 100 clientes pendentes de atendimento para o grupo de teste **RC2**, com uma demanda total de 1724 unidades de peso a serem transportadas. É possível notar a distribuição agrupada dos pontos na parte periférica da figura, enquanto a área central apresenta os pontos randômicos.

As tabelas 5.23 - 5.26 apresentam os melhores resultados para o conjunto RC201, classificados por algoritmo. Cada tabela mostra o resultado gerado pelo algoritmo selecionado e também um resumo numérico da parcela de cada tipo de veículo empregado na construção da rota.

A figura 5.13 apresenta a solução com a menor distância total percorrida para RC201, empregando o algoritmo OOE.

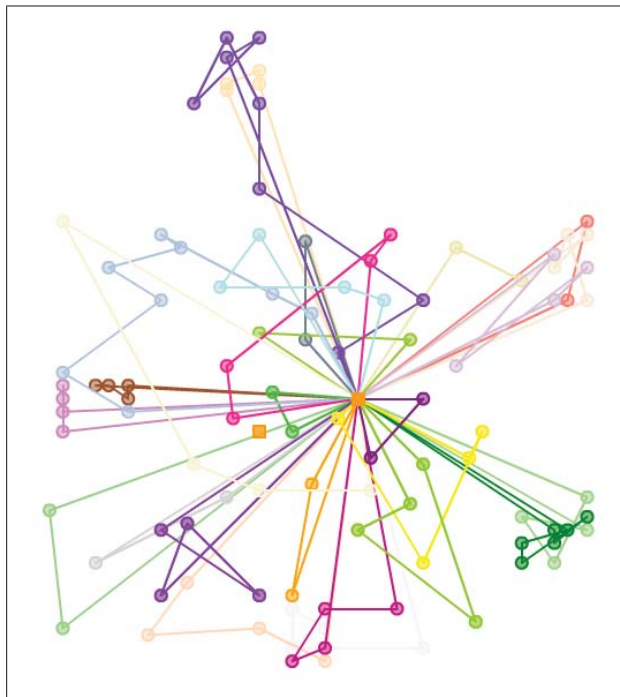


Figura 5.13: Rotas OOE apresentam a menor distância para o teste RC201.

A figura 5.14 apresenta a solução com a maior economia para o teste RC201, empregando o algoritmo ORE.

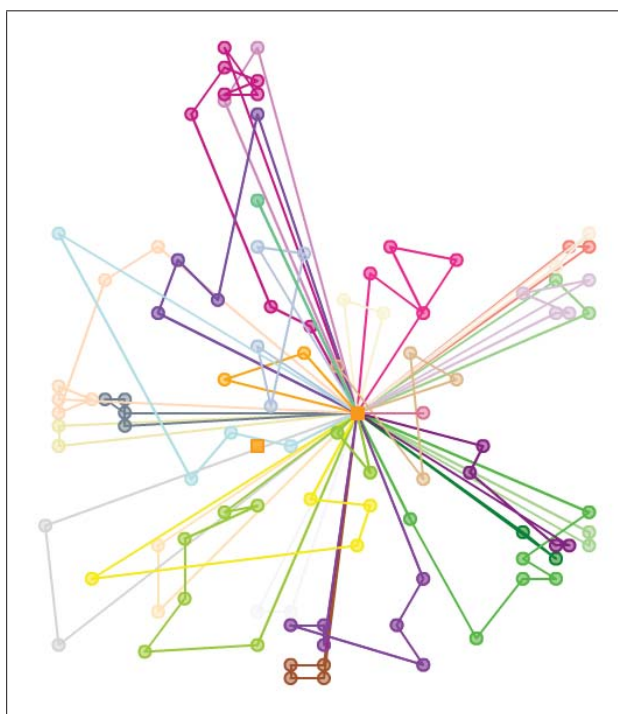


Figura 5.14: Rotas ORE com o menor custo total para o teste RC201.

O menor número de veículos, 27, fica com OOE, a maior taxa de ocupação fica com ORE, 94.2%.

Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	(UM)
EC	P	1724	2575.87	85.7	31	64652.19
	Tipo	Carga	Di (UD)	Atendimentos	Qtde	Custo
	A	266	715.13	18	10	7151.31
	B	483	803.40	28	11	12854.48
	C	356	446.68	22	5	11613.85
	D	324	339.67	18	3	14605.92
E	295	270.97	14	2	18426.61	

Tabela 5.23: Resultado para o teste RC201 utilizando o algoritmo EC.

Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	(UM)
OOE	P	1724	2553.26	89.7	27	66936.10
	Tipo	Carga	Di (UD)	Atendimentos	Qtde	Custo
	A	155	486.42	12	6	4864.20
	B	266	396.43	18	6	6342.96
	C	826	1188.38	44	11	30897.92
	D	318	317.86	18	3	13668.13
	E	159	164.15	8	1	11162.87

Tabela 5.24: Resultado para o teste RC201 utilizando o algoritmo OOE.

Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	(UM)
ORE	D	1724	2661.97	92.1	30	61128.74
	Tipo	Carga	Di (UD)	Atendimentos	Qtde	Custo
	A	221	629.96	14	8	6299.65
	B	501	829.79	30	11	13276.72
	C	433	596.64	24	6	15512.88
	D	569	605.56	32	5	26039.47

Tabela 5.25: Resultado para o teste RC201 utilizando o algoritmo ORE.

Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	(UM)
ORE _λ	D	1724	4676.45	82.4	28	164792.83
	Tipo	Carga	Di (UD)	Atendimentos	Qtde	Custo
	A	225	746.40	18	9	7464.07
	B	245	572.76	14	6	9164.26
	C	322	992.18	20	5	25796.69
	D	623	1538.37	34	6	66150.02
	E	309	826.73	14	2	56217.77

Tabela 5.26: Resultado para o teste RC201 utilizando o algoritmo ORE_λ.

5.2 Resumo dos resultados

Na tabela (5.27) segue o resumo dos melhores resultados obtidos a partir dos 6 grupos de testes.

Teste	Algoritmo	EPP	De (UP)	Di (UD)	OM (%)	Veículos	UM
R101	OOE /ORE	P	1458	3491.25	79.6	44	53120.17
C101	EC	P	1810	2472.73	89.6	34	52168.98
RC101	ORE	D	1810	2886.10	93.1	35	52199.01
R201	EC	D	1458	1999.35	90	24	51927.75
C201	EC	P	1810	1578.84	89.6	17	75620.71
RC201	OOE	P	1724	2553.26	89.7	27	66936.10

Tabela 5.27: Resumo dos *benchmarks* testados.

A métrica utilizada para escolha de cada um dos resultados foi distância total mínima, menor custo de transporte, menor quantidade de veículos empregados e a maior taxa de ocupação média.

Resultados que merecem destaque, são R101, R201 e RC201. O teste R101 mostrou empate, pois o algoritmo ORE, devido a grande restrição da janela de atendimento por parte dos clientes, acabou gerando um número menor de uniões por rotas. Assim sendo, não foi possível encontrar melhorias no custo da economia em relação ao algoritmo OOE.

O teste R201, apesar do algoritmo OOE apresentar distância total mínima de 8,64 unidades de diferença mais curta que o EC, quando compara-se a ocupação média, o EC mostrou-se mais eficiente.

Para o teste RC201, o algoritmo OOE mostrou-se mais eficiente na utilização do menor número de veículos e na menor distância percorrida pela frota, apesar de perder no custo total do transporte e na taxa média de ocupação. Mas a análise da quantidade de veículos utilizado passa a ser importante já que ambos possuem alta taxa de ocupação média, por isso OOE foi escolhido.

6 Conclusões

Com o objetivo de resolver os problemas de roteirização com frotas heterogêneas, entregas fracionadas e janelas de atendimento, apresentaram-se formulações matemáticas e uma heurística construtiva para atender ao VRP proposto no trabalho.

Os algoritmos apresentados tiveram seus resultados escolhidos entre quatro fatores, custo do transporte, distância percorrida, taxa de ocupação média e quantidade de veículos utilizados. Esse trabalho procurou avaliar a eficiência dos algoritmos quando esses fatores são levados em consideração.

A heurística de inserção sequencial não é um método exato de solução, mas sim uma aproximação. Ao avaliar os testes utilizando diversas métricas foi possível apresentar a tabela 5.27 que é a combinação dos melhores resultados locais por algoritmo.

Com relação aos resultados, notaram-se que os caminhos mais curtos foram obtidos para os pontos agrupados, **C1** entre os grupos com final **101** e **C2** para **201**. O maior número de rotas geradas por teste, são dados por **R1**, **C1** e **RC1**, grupos com final **101**, por apresentarem janelas de atendimento mais curtas. Na experiência do dia-a-dia do software implantado, pode-se notar que as transportadoras que fazem o uso do sistema definem apenas três janelas de atendimento, manhã, tarde e noite. Se as janelas de atendimento do *benchmarks* fossem geradas tendo como escolha um grupo limitado de períodos de entrega as rotas geradas apresentariam uma maior eficiência, conforme resultado observado na tabela 5.19. As condições de viabilidade apresentadas na subseção 3.7.1, são responsáveis por validar o tempo das janelas de atendimento para os testes de uniões de rotas, portanto, quanto maior a janela de atendimento, maior a chance de viabilidade.

Com exceção dos testes C201 e RC201, todos os outros grupos realizaram um custo médio de transporte de aproximadamente 50000 UM. O motivo para essa diferença está na escolha de veículos com maior capacidade de transporte e custo variável mais expressivo. EC para o teste C201, utilizou 7 veículos do tipo E, representando 79.1% do valor total do transporte, tabela 5.19. Enquanto que para o mesmo grupo de teste o algoritmo ORE utilizou

apenas 1 veículo do tipo E, tabela 5.21. O teste RC201, para o algoritmo escolhido OOE, apresentou 11 veículos do tipo C, com 46.1% do valor total do transporte, tabela 5.24. O algoritmo ORE apresentou melhor equilíbrio para o teste, distribuindo o custo para cada tipo de veículo escolhido, conforme tabela 5.25.

O tempo computacional gasto para execução dos algoritmos é praticamente desprezível, quando comparado ao tempo executado por software SRV, devido a utilização de percursos euclidianos. Nesse sentido nenhuma referência é feita ao tempo de execução dos algoritmos.

Quanto a utilização dos veículos o algoritmo mostrou-se eficiente pela alta taxa de ocupação alcançada. Esse é um fator comercial importante para esse tipo de software.

Na revisão bibliográfica realizada não foi possível observar menções a softwares que mesclassem soluções numéricas e visuais para os *benchmarks* apresentados por [8]. O diferencial das soluções apresentadas é o padrão geométrico das soluções propostas, pois além do resultado numérico é possível acompanhar detalhes do agrupamento das rotas em setores. Ressaltando que o algoritmo de inserção sequencial não emprega nenhum tipo de organização por varredura ou setorização.

O algoritmo ORE para o grupo de testes apresentado, mostrou melhor performance para selecionar a frota que gerasse maior economia na realização das entregas. Mesmo assim, quando comparado com outras métricas ficou com apenas dois dos melhores resultados, o teste R101 e RC101, apresentado na tabela 5.27.

O resumo dos resultados apresentados na tabela 5.27 mostrou que o algoritmo EC encontrou os melhores resultados, principalmente em relação a distância mínima e menor número de veículos utilizados.

6.1 Trabalhos Futuros

Elaboração de estudo de caso baseado na roteirização rápida, utilizando percursos euclidianos, aplicado ao SRV, para testar a eficiência da técnica em comparação aos percursos reais gerados em mapas viários.

Aplicar ao estudo de caso o uso de frotas heterogêneas com informações reais, da quantidade e valores de cada tipo de veículo, melhorando assim o resultado de algoritmos como ORE e ORE_{λ} .

Desenvolver um trabalho científico sobre a utilização de tecnologias RIA com

código aberto para representação de dados geográficos presentes em banco de dados.

Aplicar meta-heurísticas na solução dos problemas de entregas fracionadas, janelas de atendimento e frotas heterogêneas, substituindo a heurística de inserção sequencial do trabalho apresentado.

Melhorar a técnica de inserção sequencial, adotando uma estratégia paralela para adição de ponto na rota. Atualmente a sequência de rota, ou seja o próximo ponto a ser inserido, é calculado a partir de sua proximidade com o depósito central. A proposta seria modificar esse parâmetro utilizando técnicas de programação paralela que fizesse uso do ponto mais próximo do último ponto inserido na rota. A técnica proposta utilizaria além da programação paralela, a inclusão de teoria de máximo local para a geração de caminhos mais econômicos.

Referências Bibliográficas

- 1 CLARKE, G.; WRIGHT, J. W. Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, v. 12, n. 4, p. 568–581, jul. 1964. ISSN 0030-364X. Disponível em: <<http://or.journal.informs.org/cgi/doi/10.1287/opre.12.4.568>>.
- 2 BELFIORE, P.; Yoshida Yoshizaki, H. T. Scatter search for a real-life heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows and split deliveries in Brazil. *European Journal Of Operational Research*, v. 199, n. 3, p. 750–758, 2009. ISSN 03772217. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377221708006978>>.
- 3 SEMET, F.; TAILLARD, E. Solving real-life vehicle routing problems efficiently using tabu search. *Annals of Operations Research*, v. 41, n. 4, p. 469–488, 1993. ISSN 02545330. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/index/10.1007/BF02023006>>.
- 4 ROCHAT, Y.; SEMET, F. A Tabu Search Approach for Delivering Pet Food and Flour in Switzerland. *The Journal of the Operational Research Society*, v. 45, n. 11, p. 1233, 1994. ISSN 01605682. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2583852?origin=crossref>>.
- 5 BRANDAO, J.; MERCER, A. A tabu search algorithm for the multi-trip vehicle routing and scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 100, n. 1, p. 180–191, jul. 1997. ISSN 03772217. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377221797000106>>.
- 6 LIU, F.-h.; SHEN, S.-y. A method for vehicle routing problems with multiple vehicle types and time windows. In: *Proceedings of Natural Science Council*. [S.l.: s.n.], 1999.
- 7 DULLAERT, W. et al. New heuristics for the Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Journal of the Operational Research Society*, v. 53, n. 11, p. 1232–1238, 2002. ISSN 01605682. Disponível em: <<http://www.palgrave-journals.com/doi/10.1057/palgrave.jors.2601422>>.
- 8 SOLOMON, M. M. Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints. *Operations Research*, v. 35, n. 2, p. 254–265, mar. 1987. ISSN 0030-364X. Disponível em: <<http://or.journal.informs.org/cgi/doi/10.1287/opre.35.2.254>>.
- 9 GOLDEN, B. et al. The fleet size and mix vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, v. 11, n. 1, p. 49–66, jan 1984. ISSN 03050548. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0305054884900078>>.
- 10 DESROCHERS, M.; VERHOOG, T. A new heuristic for the fleet size and mix vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, v. 18, n. 3, p. 263–274, jan. 1991. ISSN 03050548. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/030505489190028P>>.
- 11 SALHI, S.; RAND, G. K. Incorporating vehicle routing into the vehicle fleet composition problem. *European Journal of Operational Research*, v. 66, p. 313–330, 1993. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037722179390220H>>.

- 12 GENDREAU, M. et al. A tabu search heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, v. 26, n. 12, p. 1153–1173, out. 1999. ISSN 03050548. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0305054898001002>>.
- 13 ROCHAT, Y.; TAILLARD, E. D. Probabilistic diversification and intensification in local search for vehicle routing. *Journal of Heuristics*, v. 1, n. 1, p. 147–167, set. 1995. ISSN 1381-1231. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/index/10.1007/BF02430370>>.
- 14 PENNA, P. H. V.; SUBRAMANIAN, A.; OCHI, L. S. An Iterated Local Search heuristic for the Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem. *Journal of Heuristics*, set. 2011. ISSN 1381-1231. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/index/10.1007/s10732-011-9186-y>>.
- 15 DROR, M.; TRUDEAU, P. Savings by Split Delivery Routing. *Transportation Science*, v. 23, n. 2, p. 141–145, maio 1989. ISSN 0041-1655. Disponível em: <<http://transci.journal.informs.org/cgi/doi/10.1287/trsc.23.2.141>>.
- 16 DROR, M.; LAPORTE, G.; TRUDEAU, P. Vehicle routing with split deliveries. *Discrete Applied Mathematics*, v. 50, p. 239–254, 1994. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0166218X9200172I>>.
- 17 FRIZZELL, P. *The bounded split delivery vehicle routing problem with grid network distances: a thesis presented in partial fulfillment for the degree of M.A. in mathematics at Massey University*. Massey University, 1990. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=UBFSMwAACAAJ>>.
- 18 ARCHETTI, C.; SAVELSBERGH, M. W. P.; SPERANZA, M. G. Worst-Case Analysis for Split Delivery Vehicle Routing Problems. *Transportation Science*, v. 40, n. 2, p. 226–234, maio 2006. ISSN 0041-1655. Disponível em: <<http://transci.journal.informs.org/cgi/doi/10.1287/trsc.1050.0117>>.
- 19 FRIZZELL, P. The split delivery vehicle scheduling problem with time windows and grid network distances. *Computers & Operations Research*, v. 22, n. 6, p. 655–667, 1995. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/030505489400040F>>.
- 20 HO, S. C.; HAUGLAND, D. A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with time windows and split deliveries. *Computers & Operations Research*, v. 31, n. 12, p. 1947–1964, 2004. ISSN 03050548. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0305054803001552>>.
- 21 GULCZYNSKI, D.; GOLDEN, B.; WASIL, E. The split delivery vehicle routing problem with minimum delivery amounts. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Elsevier Ltd, v. 46, n. 5, p. 612–626, set. 2010. ISSN 13665545. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1366554509001574>>.
- 22 WIKIPEDIA. *Rich Internet application — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. 2012. [Online; accessed 24-April-2012]. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Rich_Internet_application&oldid=488168034>.

- 23 WIKIPEDIA. *Model–view–controller* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. 2012. [Online; accessed 24-April-2012]. Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Model%E2%80%93view%E2%80%93controller&oldid=488885639>>.
- 24 WIKIPEDIA. *Client–server model* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. 2012. [Online; accessed 24-April-2012]. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Client%E2%80%93server_model&oldid=487376484>.
- 25 WIKIPEDIA. *Multitier architecture* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. 2012. [Online; accessed 24-April-2012]. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Multitier_architecture&oldid=488202867>.
- 26 WIKIPEDIA. *Adobe Flash Builder* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. 2012. [Online; accessed 24-April-2012]. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Adobe_Flash_Builder&oldid=488453298>.
- 27 WIKIPEDIA. *Adobe Flash* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. 2012. [Online; accessed 24-April-2012]. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Adobe_Flash&oldid=487986937>.
- 28 OPENScales.ORG — Rich maps for your application. 2012. [Online; accessed 24-April-2012]. Disponível em: <<http://openscales.org>>.
- 29 WIKIPEDIA. *BlazeDS* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. 2012. [Online; accessed 24-April-2012]. Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=BlazeDS&oldid=479151570>>.
- 30 WIKIPEDIA. *GeoServer* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. 2011. [Online; accessed 24-April-2012]. Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=GeoServer&oldid=463078987>>.
- 31 WIKIPEDIA. *Spring Framework* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. 2012. [Online; accessed 24-April-2012]. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Spring_Framework&oldid=487276507>.
- 32 WIKIPEDIA. *Java Persistence API* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. 2012. [Online; accessed 24-April-2012]. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Java_Persistence_API&oldid=487831605>.
- 33 WIKIPEDIA. *Object-relational mapping* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. 2012. [Online; accessed 24-April-2012]. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Object-relational_mapping&oldid=481520815>.
- 34 WIKIPEDIA. *Hibernate (Java)* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. 2012. [Online; accessed 24-April-2012]. Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Hibernate_\(Java\)&oldid=487183535](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Hibernate_(Java)&oldid=487183535)>.
- 35 WIKIPEDIA. *PostgreSQL* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. 2012. [Online; accessed 24-April-2012]. Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=PostgreSQL&oldid=488821443>>.

- 36 WIKIPEDIA. *PostGIS* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. 2012. [Online; accessed 24-April-2012]. Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=PostGIS&oldid=485912295>>.
- 37 WIKI, O. *PgRouting* — *OpenStreetMap Wiki*,. 2011. [Online; accessed 24-April-2012]. Disponível em: <<http://wiki.openstreetmap.org/w/index.php?title=PgRouting&oldid=657224>>.
- 38 WIKIPEDIA. *Apache Tomcat* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. 2012. [Online; accessed 24-April-2012]. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Apache_Tomcat&oldid=486994894>.
- 39 HU, C. et al. Geospatial Web Service for Remote Sensing Data Visualization. *2011 IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, Ieee, p. 594–601, mar. 2011. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5763480>>.