UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO TRANSPORTES

ARISTIDES FRAGA NETO

PROGRAMAÇÃO E ROTEIRIZAÇÃO DINÂMICA DE VEÍCULOS APLICADO AO SERVIÇO DE TRANSPORTE DE CADEIRANTES

VITÓRIA
2015

ARISTIDES FRAGA NETO

PROGRAMAÇÃO E ROTEIRIZAÇÃO DINÂMICA DE VEÍCULOS APLICADO AO SERVIÇO DE TRANSPORTE DE CADEIRANTES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil na área de Concentração em Transportes.

Orientadora: Prof.ª Dr.ª Patrícia Alcântara Cardoso.

VITÓRIA

2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial Tecnológica,
Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

F811p

Fraga Neto, Aristides, 1986-
Programação e roteirização dinâmica de veículos aplicado ao serviço de transporte de cadeirantes / Aristides Fraga Neto. – 2015.
147 f. : il.

Orientador: Patrícia Alcântara Cardoso.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Sistemas de suporte de decisão. 2. Política de transporte urbano. 3. Transportes coletivos - Grande Vitória - ES. 4. Transporte público coletivo de cadeirantes. I. Cardoso, Patrícia Alcântara. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 624

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROGRAMAÇÃO E ROTEIRIZAÇÃO DINÂMICA DE VEÍCULOS APLICADO AO SERVIÇO DE TRANSPORTE DE CADEIRANTES

Aristides Fraga Neto

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de Transportes.

Aprovada no dia **02 de dezembro de 2015** por:

Profa. Dra. Patrícia Alcântara Cardoso
Doutora em Engenharia de Produção
Orientadora - UFES

Profa. Dra. Marta Monteiro da Costa Cruz
Doutora em Engenharia de Transportes
Examinadora Externa - UFES

Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva
Doutor em Ciência Florestal
Examinador Externo - UFES

Profa. Dra. Marcia Helena Moreira Paiva
Doutora em Engenharia Elétrica
Examinadora Externa - UFES

Vitória – ES, dezembro de 2015

A minha mãe, Carmen, e a meu pai dois, Wilson, que sempre me incentivaram e apoiaram de todas as formas, durante as várias horas de trabalho necessárias para que este projeto fosse concluído.

Ao pai, Aristides, que me apoiou na consolidação das bases de ensino, para que fosse possível chegar até aqui.

Aos irmãos, Larissa e Gabriel, que acompanharam toda a trajetória desta pesquisa e estiveram sempre dando apoio e incentivo.

À Tamara, pelo companheirismo, atenção, paciência, incentivo e apoio ao longo da pesquisa.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade, direcionamentos, conforto, conhecimentos e força.

À orientadora, professora doutora Patrícia Alcântara Cardoso, pelos ensinamentos, atenção, direcionamentos e apoio durante todo o mestrado. Vejo hoje que as várias reuniões, conversas, projetos, atividades, oportunidades, trabalhos, entre outros, não foram fáceis de realizar, porém cada novo desafio proposto foram grandes oportunidades de aprimoramento e desenvolvimento, as quais, com muito trabalho, me fortaleceram e consolidaram os ensinamentos nas diversas atividades acadêmicas e áreas de conhecimento. Muito obrigado por toda orientação e confiança depositada, professora!

Aos professores do mestrado em Engenharia Civil da UFES, pelos ensinamentos e direcionamentos durante a realização do curso.

Aos professores – doutora Marta Monteiro da Costa Cruz, doutora Márcia Helena Moreira Paiva e doutor Fabrício Broseghini Barcelos –, pelas contribuições na etapa de qualificação. Em especial, à Márcia, pelo apoio e direcionamentos durante o desenvolvimento do sistema.

Aos secretários do PPGEC Sidney Gonçalves Barbara e Ingrid Scardua, pelo apoio nas questões administrativas durante o curso e pela amizade.

Aos colegas de mestrado que compartilharam experiências, conhecimentos, apoio, dúvidas e amizade.

A todos os amigos e familiares, pelo apoio e paciência em face das ausências para que este projeto fosse concluído.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema de suporte à decisão para programação e roteirização de veículos dedicados ao transporte de pessoas (*Dial-a-Ride Problem*) cadeirantes, considerando fatores dinâmicos. Para isso, apresenta uma revisão bibliográfica com as principais leis e estatísticas relacionadas ao transporte de cadeirantes, os principais conceitos e métodos de programação e roteirização dinâmica de veículos (*Dynamic Routing Problem* – DRP) e conceitos e métodos de desenvolvimento de sistemas de informação. Entre os métodos de programação e roteirização dinâmica apresentados, sobressai a heurística inserção, método que é o referencial para esta pesquisa e nela utilizado. O desenvolvimento do sistema em questão se deu na linguagem *VBA* (*Visual Basic for Applications*), sendo testado com dados reais de 20 dias de operação de um serviço de transporte de cadeirantes localizado na região da Grande Vitória, o Serviço Especial Mão na Roda, o qual contava com 3.525 usuários cadastrados em julho de 2014. Para a realização dos testes do sistema proposto e análise de seus resultados, recorreu-se à avaliação dos resultados da programação e roteirização das 20 amostras selecionadas com base na distância adicionada nos roteiros para o atendimento das novas solicitações, no tempo de processamento e na quantidade de solicitações demandadas e passíveis de inserção segundo resultados do sistema apresentado. Além disso, houve comparação dos dados com os resultados das programações empíricas utilizadas pela central de programação em que se procedeu ao estudo de caso. Os resultados mostraram que o sistema proposto é capaz de realizar a inserção das solicitações de forma dinâmica nos roteiros existentes, com um tempo computacional médio de cinco segundos por solicitação. Por fim, a pesquisa teve como resultado o desenvolvimento de um software o qual foi registrado no Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

Palavras-chave: *Dial-a-Ride Problem*. Roteirização Dinâmica de Veículos. Transporte Público Coletivo de Cadeirantes. Sistemas de Suporte à Decisão.

ABSTRACT

This research aims at developing a decision support system for scheduling and routing vehicles dedicated to transporting handicapped people (Dial-a-Ride Problem), considering dynamic factors. For this, a review related to wheelchair transportation is presented, as well as the main laws and statistics of the area, the main methods and concepts of dynamic scheduling and routing of vehicles (Dynamic Routing Problem) and also the methods and concepts of information system development. Amongst the methods of dynamic scheduling and routing presented, the insertion heuristics method stands out, method which is used as a reference for this research and was applied in it. The system was developed in VBA language (Visual Basic for Applications), and was tested with real data of 20 days of operation of the wheelchair transportation system located in the Vitória metropolitan area, the Serviço Especial Mão na Roda, which contained a total of 3,525 users registered by July/2014. In order to accomplish the tests of the proposed system and analyze its outputs, the results of the 20 samples selected were analyzed based on the distance increase on the routes due to the attendance of the new solicitations, processing times, demand of new solicitations and capability of insertion within the routes, according to results presented by the program. Moreover, the data was compared with the scheduling results from empirical methods used by the scheduling center and the schedule proposed by de system. The results show that the proposed system is capable of inserting new solicitations dynamically onto existing routes, with an average computational processing time of five seconds/request. Finally, the research resulted in the development of a software which was registered at the Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

Keywords: Dia-a-Ride Problem. Dynamic Vehicle Routing. Mass Transportation of Handcapped. Support Decision Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Foto do veículo do sistema de transporte Mão na Roda em atendimento a clientes 19
Figura 2 – Gráfico com a série temporal da evolução do número de viagens realizadas e solicitadas do Serviço Especial Mão na Roda 23
Figura 3 – Projeção de pirâmide etária do Brasil e Espírito Santo em 2014, mostrando, no eixo vertical, as faixas de idade e, no eixo horizontal, o percentual da população na respectiva faixa etária 28
Figura 4 – Projeção de pirâmide etária do Brasil e Espírito Santo em 2030, mostrando, no eixo vertical, as faixas de idade e, no eixo horizontal, o percentual da população na respectiva faixa etária 29
Figura 5 – Composição relativa da população residente total, por sexo e grupos de idade – Brasil 29
Figura 6 – Gráfico comparativo do índice de envelhecimento (IE) 2000-2030, Brasil e Espírito Santo 30
Figura 7 – Distribuição populacional total e de deficientes motores em três níveis em relação ao Brasil, Espírito Santo e região da Grande Vitória atendida pelo serviço de transporte especial mão na roda 30
Figura 8 – Representação estrutural da seção 2.2 e subdivisões dos problemas de roteirização com foco no DARP Dinâmico 33
Figura 9 – Exemplo ilustrativo da roteirização dinâmica de veículos 37
Figura 10 – Ilustração do número de rotas possíveis para duas solicitações de transporte do DARP e um veículo. 39
Figura 11 – Exemplo de um roteiro (solução) do DARP 41
Figura 12 – Exemplo de uma rota planejada do DARP 41
Figura 13 – A evolução do DARP dinâmico e a tomada de decisão ao longo do tempo 44
Figura 14 – Resumo de informações de literaturas voltadas para a resolução do DARP dinâmico relativo à última década 57
Figura 15 – Síntese dos métodos utilizados para a resolução do DARP dinâmico, variáveis da função objetivo e fator determinante de mudança de rota 58

Figura 16 – Critérios de avaliação utilizados para a mensuração dos resultados do método utilizado para a resolução do DARP dinâmico apresentada pela literatura 60
Figura 17 – Funções de um sistema de informação.....62
Figura 18 – Tradicional ciclo de vida do desenvolvimento de sistemas 66
Figura 19 – Ciclo de vida do desenvolvimento de sistemas (SDLC) em oito etapas.67
Figura 20 – O processo de desenvolvimento de sistemas 67
Figura 21 – Relacionamento entre o momento temporal do erro e seus custos 70
Figura 22 – Método de pesquisa utilizado. 73
Figura 23 – Imagem da página 1 do documento Lista de Viagens com os dados de planejamento e execução de um dia de operação de um veículo (50001), realizada em 1.º de agosto de 2014 77
Figura 24 – Mapa da Região Metropolitana da Grande Vitória-ES 84
Figura 25 – Gráfico com a série temporal da evolução do número de viagens realizadas e solicitadas do Serviço Especial Mão na Roda 85
Figura 26 – Histórico do número de viagens por categorias utilizadas na CASEM, de 2010 a 2013 86
Figura 27 – Imagem de veículos utilizados pela CASEM. 88
Figura 28 – Distribuição do número de solicitações recebidas nas amostras selecionadas. 93
Figura 29 – Distribuição média diária das solicitações por prioridade de atendimento 95
Figura 30 – Projeto da estrutura para a operacionalização do sistema de programação e roteirização dinâmica 104
Figura 31 – Registro da interface de programação e roteirização do sistema proposto 106
Figura 32 – Registro da interface de resultados detalhados da programação e roteirização gerados pelo sistema proposto (apresenta os resultados detalhados de cada roteiro viável gerado com melhor solução identificada durante as iterações do algoritmo).....108
Figura 33 – Registro da interface de resultados gerais da programação e roteirização gerados pelo sistema proposto (apresenta os resultados gerais de cada roteiro viável gerado com melhor solução identificada durante as iterações do algoritmo).....109

Figura 34 – Registro da interface dos roteiros finais gerados pela programação e roteirização executadas pelo sistema proposto (apresenta a sequência de coletas e entregas das solicitações para cada veículo, assim como a distância total percorrida pelo veículo) 110
Figura 35 – Registro da interface de resultados das programações e roteiros iniciais (antes da execução do algoritmo de inserção) com os horários e distâncias de roteiros calculados de acordo com a matriz de distâncias, velocidades, sequência de atendimento das solicitações, tempos de carga e descarga cadastrados no sistema 111
Figura 36 – Registro da interface de configuração dos parâmetros de programação e roteirização do sistema proposto (apresenta a sequência de coletas e entregas das solicitações para cada veículo, assim como a distância total percorrida pelo veículo) 112
Figura 37 – Registro da interface de configuração de cadastro de dados de novas solicitações que não tenham seus dados cadastrados no sistema. 113
Figura 38 – Representação visual dos resultados do processamento do algoritmo para a tentativa de inserção de uma solicitação em uma rota existente. 120
Figura 39 – Imagem da janela do desenvolvedor em que foram programados o sistema e a heurística 122
Figura 40 – Registro da interface de programação e roteirização após a execução da programação e roteirização pelo sistema para o cenário “20-08-2014” 124
Figura 41 – Imagem do relatório de resultados detalhados da programação para o cenário “20-08-2014” 125
Figura 42 – Imagem dos resultados por meio da interface de resultados gerais da programação e roteirização para o cenário "20-08-2014" 127
Figura 43 – Análise geral dos resultados da programação gerada para o cenário “20-08-2014” mediante o acréscimo de distância no roteiro com a inserção da solicitação para as rotas de 1 a 165. As colorações azul e preta do gráfico simbolizam a diferenciação entre as solicitações para facilitar a análise 129

Figura 44 – Imagem do relatório de interface dos roteiros finais gerados e resultados gerais do número de viagens e distância total a ser percorrida para cada veículo.....130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Síntese da legislação estadual que s erelaciona com o transporte de cadeirantes.....25
Tabela 2 – Síntese da legislação estadual e municipal que se relaciona com o transporte de cadeirantes.....26
Tabela 3 – Análise percentual e dos totais de deficientes motores em segmentação: Brasil, Espírito Santo e cidades atendidas pelo Serviço Especial Mão na Roda. (1): população total; (5): soma dos grupos (2), (3) e (4). 31
Tabela 4 – Características dos problemas de roteirização e programação.....35
Tabela 5 – Número de combinações de rotas possíveis em relação ao número de solicitações de transporte para um veículo com capacidade de três lugares.....39
Tabela 6 – Notação básica do problema considerada por Coslovich *et al.* (2006)....47
Tabela 7 – Síntese das atividades de desenvolvimento de um sistema de informação 69
Tabela 8 – Dados de variáveis necessárias para a realização da programação e roteirização dinâmica.....78
Tabela 9 – Registro do número de usuários do Serviço Especial Mão na Roda por categorias.....86
Tabela 10 – Divisão do trabalho entre os programadores de rota.....87
Tabela 11 – Frota de veículos e respectivas capacidades de transporte disponíveis para a CASEM.....87
Tabela 12 – Prioridades de atendimento e programação do Serviço Especial Mão na Roda de acordo com os motivos de viagem.....89
Tabela 13 – Valores de restrições de programação praticadas pelos programadores 90
Tabela 14 – Classificação das características do problema de roteirização e programação descritas por Bodin *et al.* (1983) e características do Serviço Especial Mão na Roda.....91
Tabela 15 – Análise geral das demandas de transporte, atendimentos e cancelamentos 92

Tabela 16 – Estratificação das demandas de transporte por prioridades de atendimento. 94
Tabela 17 – Lista de solicitações de viagens programadas por veículos da amostra de dados coletada 96
Tabela 18 – Lista de solicitações de viagens atendidas por veículos da amostra de dados coletada. 97
Tabela 19 – Fonte de dados e variáveis armazenadas para a roteirização. 99
Tabela 20 – Comparativo das publicações analisadas ante o método utilizado quanto à abordagem de resolução do DARP Dinâmico, variáveis da função objetivo e fator determinante de mudança de rota. 101
Tabela 21 – Análise comparativa dos critérios de avaliação utilizados para a mensuração dos resultados do método proposto ante os métodos utilizados para a resolução do DARP Dinâmico apresentada pela literatura. 102
Tabela 22 – Detalhamento da sequência operacional proposta para a operacionalização do sistema conforme estrutura apresentada na Figura 30. 105
Tabela 23 – Descrição das funções dos botões de comando apresentados na Figura 31. 114
Tabela 24 – Síntese e análise dos dados dos roteiros dos veículos da programação inicial apresentada pela CASEM e dos roteiros gerados pela programação por meio do sistema proposto para o cenário “20-08-2014”. Considerem-se os dados de distância da tabela em questão em km. 132
Tabela 25 – Análise geral dos resultados dos roteiros desenvolvidos pela CASEM comparados com os resultados do sistema proposto para cada cenário. 134
Tabela 26 – Resumo de informações para comparativo entre a aplicação proposta e literaturas de aplicações do DARP Dinâmico relativo à última década 137

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Descrição da heurística de inserção 51
Quadro 2 – Pseudocódigo do projeto da heurística de inserção proposta 117

LISTA DE SIGLAS

CASEM – Central de Atendimento do Serviço Especial Mão na Roda

CE – Classificado Empiricamente

CP – *Constraint Programming*

CPR – Consulta ao Programador de Rota

DARP – *Dial-a-Ride Problem*

DLD – Documento Lista de Viagem

DRP – *Dial-a-Ride Problem*

DVRP – *Dynamic Vehicle Routing Problem*

FDDR – Fator Determinante de Mudança de Rota

F.O. – Função Objetivo

GM – Google Mapas

HTP – *Handicapped Transportation Problem*

PPS – Programado Para a Solicitação

PRDV – Problema de Roteirização Dinâmica de Veículos

PRODV – Programação e Roteirização Dinâmica de Veículos

RAD – *Rapid Application Development*

RDVTP – Roteirização Dinâmica de Veículos no Transporte de Pessoas

SI – Sistema de Informação

SIG – Sistemas de Informação Gerenciais

SNP – Solicitação Não Programada

SPT – Sistemas de Processamento de Transações

SSD – Sistemas de Suporte à Decisão

STH – Solicitação de Transporte por Hora

TS – Busca Tabú

VRP – *Vehicle Routing Problem*

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO 18
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA 20
1.2 OBJETIVOS 21
1.2.1 Objetivo geral 21
1.2.2 Objetivos específicos 21
1.3 JUSTIFICATIVA 22
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO 23
2. REFERENCIAL TEÓRICO 24
2.1 TRANSPORTE DE CADEIRANTES 24
2.1.1 Legislação 25
2.1.2 Estatísticas 27
2.2 ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS 32
2.2.1 O problema de roteirização e programação de veículos 34
2.2.2 O problema de roteirização dinâmica de veículos 36
2.2.3 O problema de transporte de pessoas (*Dial-a-Ride Problem*) 38
2.2.4 O problema de roteirização dinâmica de veículos aplicado ao transporte de pessoas 43
2.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO 61
2.3.1 Conceituação de sistemas de informação 61
2.3.2 Sistemas de informação empresariais 63
2.3.3 Sistemas de suporte à decisão 64
2.3.4 Desenvolvimento de sistemas de informação (SDD) 65
2.4 CONSOLIDAÇÃO DO CAPÍTULO 71
3 METODOLOGIA 72
3.1 MÉTODO DA PESQUISA 72
3.2 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA 73
3.3 POPULAÇÃO E AMOSTRA 75
3.4 COLETA DE DADOS 75
3.5 TRATAMENTO DOS DADOS 80
3.6 LIMITAÇÕES DO MÉTODO 81
4 ESTUDO DE CASO 83
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SERVIÇO ESPECIAL MÃO NA RODA 83

4.2 ANÁLISE GERAL DAS INSTÂNCIAS DE DADOS DO SERVIÇO DE TRANSPORTE 91
5 SISTEMA DE PROGRAMAÇÃO E ROTEIRIZAÇÃO 98
5.1 PROPOSTA DO SISTEMA DE ROTEIRIZAÇÃO 98
5.2 RESULTADOS E ANÁLISE 123
5.2.1 Análise detalhada da programação para um dia de operação 123
5.2.2 Análise geral dos resultados para 20 dias de operação 133
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 135
6.1 CONCLUSÕES 135
6.2 LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS 138
REFERÊNCIAS 142

1 INTRODUÇÃO

Amplamente abordada nas literaturas de logística, a área de transportes, de forma geral, é a que apresenta os maiores custos logísticos se comparados aos de estoque e armazenagem (BALLOU, 2006). Entre os fatores que compõem tais custos, encontra-se o custo do roteiro que o veículo deve seguir: uma decisão que pode ter grande impacto nos custos de transporte.

Nesse contexto, surge a roteirização de veículos como uma ferramenta para a tomada de decisão de problemas complexos, a qual permite a redução de custos e a conveniência aos usuários do transporte. Tal ferramenta pode ser vista em duas perspectivas: a roteirização estática de veículos e a roteirização dinâmica de veículos (PILLAC, 2013).

A perspectiva estática da roteirização historicamente recebeu a maior parte da atenção de pesquisadores, evidenciada pelo número de publicações relacionadas ao tema, porém a perspectiva dinâmica vem, a cada dia, ganhando espaço devido ao fácil acesso às tecnologias de localização e comunicação e suporte computacional avançado. Além disso, a perspectiva dinâmica ganha espaço, ao permitir a tomada de decisão com informações do ambiente em tempo real, sejam mudanças de demanda, do tempo ou condições de viagem, por exemplo, permitindo às organizações alcançar soluções mais aderentes à realidade.

O Problema de Roteirização Dinâmica de Veículos (PRDV) se apresenta em situações nas quais um veículo destinado ao atendimento de alguma demanda já saiu de um depósito para realizar a operação, e uma nova informação (demanda, tempo ou condições de viagem) surge de forma que esse veículo possa ou deva alterar sua rota planejada inicialmente, para que consiga adaptar-se ao novo cenário conhecido e alcançar melhores resultados operacionais.

No contexto de transporte de pessoas, em específico o transporte de cadeirantes, o PRDV ganha evidência no momento em que as demandas são conhecidas durante a fase de operação de transportes. Tal tipo de serviço, especificamente o Serviço Especial Mão na Roda, enquadra-se nesse contexto e é caracterizado por grande

variabilidade, por se localizar em centro urbano (variabilidade de condições de via) e diferenças entre as características dos clientes (cadeirantes com diferentes necessidades e prioridades, tais como questões de saúde).

O Serviço Especial Mão na Roda, também conhecido como “Mão na Roda”, foi implantado, em agosto de 2000, pela Companhia de Transportes Urbanos da Grande Vitória (CETURB-GV) e tem a responsabilidade de oferecer um atendimento diferenciado de transporte coletivo urbano para cadeirantes da Grande Vitória, proporcionando completa inclusão social nos seus compromissos profissionais, médicos, de educação ou lazer. Na Figura 1, mostra-se um dos veículos do serviço em atendimento a um dos 3.525 usuários cadastrados.

Figura 1 – Foto do veículo do sistema de transporte Mão na Roda em atendimento a clientes

Fonte: CETURB-GV (2014). Disponível em: <http://www.ceturb.es.gov.br/default.asp>. Acesso em: 5 nov. 2015.

A evolução da prestação do serviço se mostrou crescente nos últimos anos e a perspectiva de demanda cresce à medida que grande parte da população, em seu envelhecimento, acaba tendo a sua mobilidade reduzida em decorrência de complicações de saúde e pode tornar-se dependente da cadeira de rodas para atendimento de suas necessidades de locomoção. Com o crescimento do número de cadeirantes usuários do serviço, pode-se aumentar a complexidade do problema de programação e roteirização de veículos e se faz necessária a otimização dos recursos garantindo o atendimento das necessidades dos clientes e da organização.

Neste caso, o *Dial-a-Ride Problem* (problema de roteirização destinado ao transporte de pessoas) surge como proposta de possíveis modelos matemáticos de pesquisa operacional para o desenvolvimento de um sistema de roteirização que almeje um bom desempenho operacional e contribua para a redução da complexidade da atividade manual de programação e roteirização do serviço de transporte.

Em síntese, esta dissertação apresenta uma revisão de literatura focada em transporte de cadeirantes, roteirização de veículos e sistemas de informação. Além disso, é apresentado o desenvolvimento de um sistema de roteirização de veículos que objetiva resolver os problemas de roteirização diários de cadeirantes com apoio de uma heurística de inserção, considerando os fatores dinâmicos envolvidos. Por fim, são apresentadas as conclusões e oportunidade de pesquisas identificadas com o desenvolvimento desta pesquisa.

Para melhor delimitar e compreender este estudo, as próximas seções apresentam o detalhamento do problema, o objetivo geral e os específicos e a justificativa desta dissertação.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

O tema de pesquisa deste trabalho é a roteirização dinâmica de veículos cujo problema consiste em buscar a resposta de como uma organização deve roteirizar uma frota de veículos dedicados ao transporte de pessoas cadeirantes, com coletas e entregas simultâneas (as coletas e as entregas não correm de forma separada, ou seja, não necessariamente são realizadas todas as coletas para, em seguida, realizar todas as entregas, porém cada coleta exige uma entrega), considerando fatores dinâmicos na tomada de decisão.

O problema principal se subdivide em problemas menores, cujas respostas contribuem para a resposta ao problema de pesquisa. Nesse contexto, os subproblemas de pesquisa são os seguintes:

- Qual é o cenário atual das pessoas com deficiência motora com relação a estatísticas e legislação referente à mobilidade de tais pessoas?

- Quais os principais métodos de resolução do problema de programação e roteirização dinâmica de veículos podem ser utilizados no transporte de pessoas cadeirantes?

- Como desenvolver um sistema de suporte à decisão de programação e roteirização dinâmica de veículos adaptado à realidade do serviço de transporte de cadeirantes?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver um sistema suporte à decisão para programação e roteirização de veículos aplicado ao serviço de transporte de cadeirantes na região da Grande Vitória-ES considerando fatores dinâmicos.

1.2.2 Objetivos específicos

- Elaborar um referencial teórico básico para o desenvolvimento desse estudo.

- Propor uma metodologia para resolver o problema da perspectiva dinâmica a ser considerada na elaboração de um sistema de programação e roteirização de veículos dedicado ao transporte de cadeirantes.

- Definir e apresentar um estudo de caso e dados relacionados, os quais serão utilizados nos testes computacionais.

- Desenvolver um sistema de programação e roteirização de veículos com base no método de resolução proposto (heurística de inserção).

- Analisar os resultados computacionais obtidos com a utilização do sistema proposto mediante a aplicação de cenários e compará-los com o método de roteirização utilizado pelo Serviço Especial Mão na Roda.

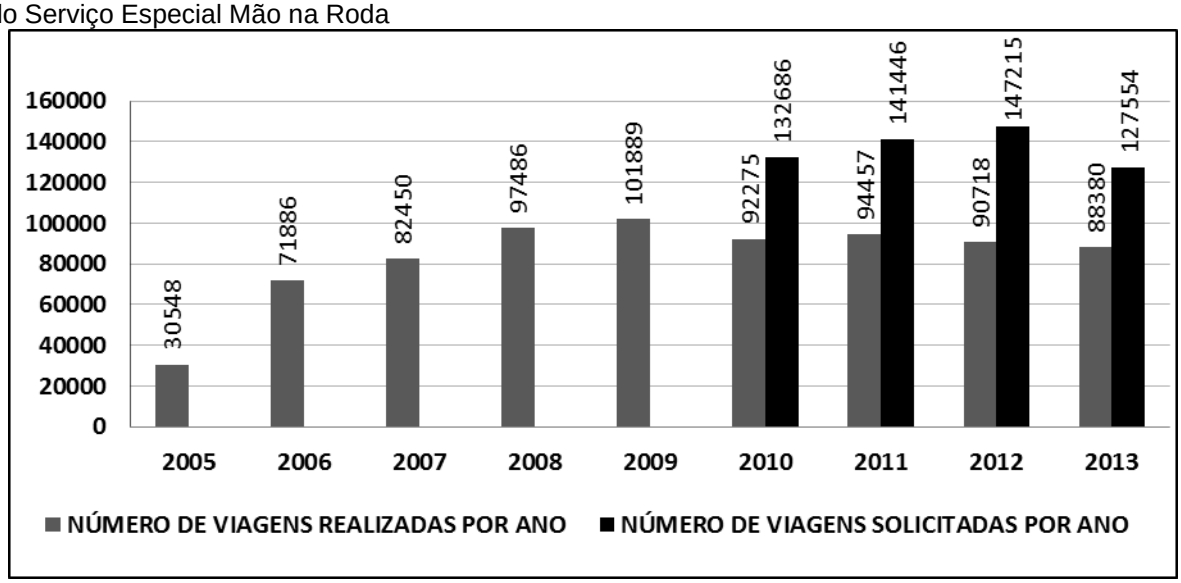
1.3 JUSTIFICATIVA

Os problemas de roteirização dinâmica se dividem em três categorias de aplicações, segundo Pillac *et al.* (2013): serviço, transporte de carga e transporte de pessoas. Entre as três categorias, foi identificada uma lacuna de pesquisa voltada para o transporte de pessoas, por apresentar menor número de publicações quando comparado ao das demais. Além do número inferior de publicações, a roteirização dinâmica de veículos aplicada ao transporte de passageiros se justifica como uma técnica de resolução de problemas diante do cenário atual brasileiro que apresenta grande variabilidade nos tempos de viagem de um mesmo roteiro, devido a alguns fatores, tais como as condições de viagem. Dessa maneira, a programação e a roteirização dinâmica de veículos se apresenta como uma técnica para resolver problemas de programação e roteirização de veículos em tempo real.

Dentre as técnicas de programação e roteirização dinâmica de veículos, considera-se a hipótese de que o desenvolvimento do sistema de suporte à decisão do problema em questão baseado em uma heurística de inserção é capaz de gerar soluções de rotas que possam inserir clientes ainda não atendidos em rotas anteriormente desenvolvidas com um baixo custo adicionado ao roteiro em função do atendimento de tal solicitação.

A pesquisa ganha importância por abordar, em seu estudo de caso, um serviço de transporte de cadeirantes que vem apresentando um aumento progressivo do número de viagens, conforme o histograma de série temporal apresentado na Figura 2. Além do aumento, na figura em questão se apresenta um número elevado de solicitações de viagens por ano, quando comparado ao de viagens realizadas por ano, mostrando que muitos clientes deixaram de ser atendidos de 2010 a 2013. Com isso, a otimização do uso dos recursos se apresenta como ferramenta necessária para buscar o atendimento da demanda crescente, a satisfação dos clientes e objetivos da organização.

Figura 2 – Gráfico com a série temporal da evolução do número de viagens realizadas e solicitadas do Serviço Especial Mão na Roda



Fonte: Dos anos de 2005 a 2009: CETURB-GV (2014). Dos anos de 2010 a 2013: Levantamento de dados na Central de Atendimento do Serviço Especial Mão na Roda (CASEM) (2014).

O estudo proposto se justifica pela contribuição acadêmica no reforço de estudos na lacuna de pesquisa identificada e pela aplicação em um problema real. Além disso, o estudo beneficia a organização em que o estudo de caso será realizado, almejando benefícios além dos financeiros: os sociais.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação se organiza em seis capítulos, iniciando-se com esta introdução.

O capítulo 2 apresenta uma revisão de literatura que se divide em três seções, iniciando-se com transporte de cadeirantes, avançando para a roteirização de veículos e concluindo com a seção de sistemas de informação; o capítulo 3 aborda a metodologia a ser seguida; o capítulo 4 trata do estudo de caso, caracterizando o serviço de transporte de cadeirantes “Serviço Especial Mão na Roda” e a análise geral das instâncias de dados do sistema de transporte a serem utilizadas nos testes do sistema; o capítulo 5 aborda a proposta do sistema de roteirização e os resultados das programações e roteirizações geradas por ele; e, por fim, o capítulo 6 discorre sobre as conclusões e recomendações, seguidas das referências.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, são apresentados os principais conceitos relevantes, identificados na literatura, para o desenvolvimento deste estudo. Inicialmente, para a contextualização, são apresentadas legislações e estatísticas relacionadas ao transporte de cadeirantes. Na seção seguinte, é feita uma breve revisão do problema de roteirização de veículos, de modo a formar uma base para compreender a seção seguinte, o Problema de Roteirização Dinâmica de Veículos. Por fim, aborda-se o problema de roteirização dinâmica de veículos, aplicado ao transporte de pessoas (*Dynamic Dial-a-Ride Problem*), além das aplicações apresentadas pela literatura específica. Ao final, conclui-se o capítulo com a seção Sistemas de Informação, apresentando conceitos e métodos relevantes para o desenvolvimento de um sistema de programação e roteirização de veículos.

2.1 TRANSPORTE DE CADEIRANTES

O transporte de cadeirantes consiste em um serviço de transporte de pessoas que apresentam deficiências que causam limitações de locomoção física refletidas em dependência temporária ou permanente de cadeira de rodas. De acordo com o Relatório Mundial Sobre a Deficiência, publicado pela Organização Mundial de Saúde em 2012:

> A deficiência faz parte da condição humana. Quase todas as pessoas terão uma deficiência temporária ou permanente em algum momento de suas vidas, e aquelas que sobreviverem ao envelhecimento enfrentarão dificuldades cada vez maiores com a funcionalidade de seus corpos [...] (RELATÓRIO MUNDIAL SOBRE A DEFICIÊNCIA, 2012, p. 3).

Para melhor entendimento de tal tipo de transporte e da sua relevância, vale a consideração da legislação relacionada e das estatísticas do público-alvo e a sua perspectiva de médio e longo prazo. Para isso, na seção 2.1.1, é apresentada a legislação relacionada e, na seção seguinte, abordam-se as estatísticas em questão no âmbito nacional.

2.1.1 Legislação

A crescente atenção à acessibilidade de cadeirantes no Brasil teve sua contribuição pela criação de leis e decretos federais, estaduais e municipais, os quais garantem e regulamentam o apoio às pessoas portadoras de deficiência. Com relação às leis e decretos federais relacionados ao transporte de pessoas portadoras de deficiência, apresenta-se uma síntese na TABELA 1 e, na TABELA 2, a legislação cabível no âmbito estadual e municipal.

TABELA 1 – SÍNTESE DA LEGISLAÇÃO FEDERAL QUE SE RELACIONA COM O TRANSPORTE DE CADEIRANTES

ANO	TIPO	ÂMBITO	NÚMERO	CONTEÚDO
1989	Lei	Federal	7.853	"Dispõe sobre o apoio às pessoas portadoras de deficiência, sua integração social, sobre a Coordenadoria Nacional para Integração da Pessoa Portadora de Deficiência - Corde, institui a tutela jurisdicional de interesses coletivos ou difusos dessas pessoas, disciplina a atuação do Ministério Público, define crimes, e dá outras providências."
1999	Decreto	Federal	3.298	"Regulamenta a Lei no 7.853, de 24 de outubro de 1989, dispõe sobre a Política Nacional para a Integração da Pessoa Portadora de Deficiência, consolida as normas de proteção, e dá outras providências."
2000	Lei	Federal	10.048	"Dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica, e dá outras providências."
2000	Lei	Federal	10.098	"Estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras povidências."
2004	Decreto	Federal	5.296	"Regulamenta as Leis nos 10.048, de 8 de novembro de 2000, que dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica, e 10.098, de 19 de dezembro de 2000, que estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências."

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

TABELA 2 – SÍNTESE DA LEGISLAÇÃO ESTADUAL E MUNICIPAL QUE SE RELACIONA COM O TRANSPORTE DE CADEIRANTES

ANO	TIPO	ÂMBITO	NÚMERO	CONTEÚDO
2001	Lei complementar	Estadual	213	Regulamenta o Passe Livre no Transporte Coletivo Intermunicipal da Grande Vitória - ES
2005	Norma complementar	Municipal	001/2005	Regulamenta a operação e uso do Serviço Especial "Mão na Roda", que integra o Sistema de Transporte Coletivo da Região Metropolitana da Grande Vitória, destinado a usuários portadores de deficiência com mobilidade reduzida.
2008	Lei complementar	Estadual	433	Reordena o Programa de Inclusão Social do Transporte Coletivo da Região Metropolitana da Grande Vitória - Transcol Social e dá outras providências.
2008	Decreto estadual	Estadual	2012-R	Regulamenta a Lei Complementar nº 433, de 08 de janeiro de 2008, que reordena o Programa de Inclusão Social do Transporte Coletivo da Região Metropolitana da Grande Vitória – Transcol Social, e dá outras providências.
2009	Lei complementar	Estadual	505	Altera a redação dos artigos 3º e 4º da Lei Complementar nº 433, de 08.01.2008, e dá outras providências.
2012	Emenda constitucional	Estadual	086	Altera a redação do parágrafo 5º do artigo 229 da Constituição do Estado do Espírito Santo e acrescenta os parágrafos 6º, 7º, 8º e 9º.
2012	Lei complementar	Estadual	664/2012	Regulamenta o artigo 229 da Constituição do Estado do Espírito Santo, alterado pela Emenda Constitucional nº 86, de 16.7.2012.
2013	Decreto estadual	Estadual	3252-R	Regulamenta a Lei Complementar nº 664/2012, que amplia o Programa de Inclusão Social do Sistema de Transporte Urbano de Passageiros da Região Metropolitana da Grande Vitória - Transcol Social, e dá outras providências.
2013	Norma complementar	Municipal	002/2013	Normatiza a fiscalização, apuração e a aplicação de penalidades relacionada ao uso irregular da gratuidade concedida às pessoas com deficiência, conforme previsto na Lei Complementar 2013/01.

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

O desenvolvimento das legislações federal, estadual e municipal apresentadas, entre outros requisitos, foi fundamental para que o Brasil, em 2004, fosse eleito como um dos cinco países mais inclusivos das Américas, reconhecimento concedido

pela organização não governamental IDRM (*International Disability Rights Monitor*) (COSTA; MAIOR; LIMA, 2005).

"Contudo, ainda que o Brasil possua uma legislação avançada, abrangente e moderna do ponto de vista científico-tecnológico, existe ainda uma grande dificuldade em implementá-la no país" (COSTA; MAIOR; LIMA, 2005, p. 4).

2.1.2 Estatísticas

> Evidências sólidas ajudam a tomar decisões bem informadas sobre programas e políticas públicas para pessoas com deficiência. Compreender o número de pessoas com deficiências e suas circunstâncias pode melhorar os esforços para remover as barreiras incapacitantes e prover serviços para permitir que as pessoas com deficiência participem mais [...] (RELATÓRIO MUNDIAL SOBRE A DEFICIÊNCIA, 2011, p. 21).

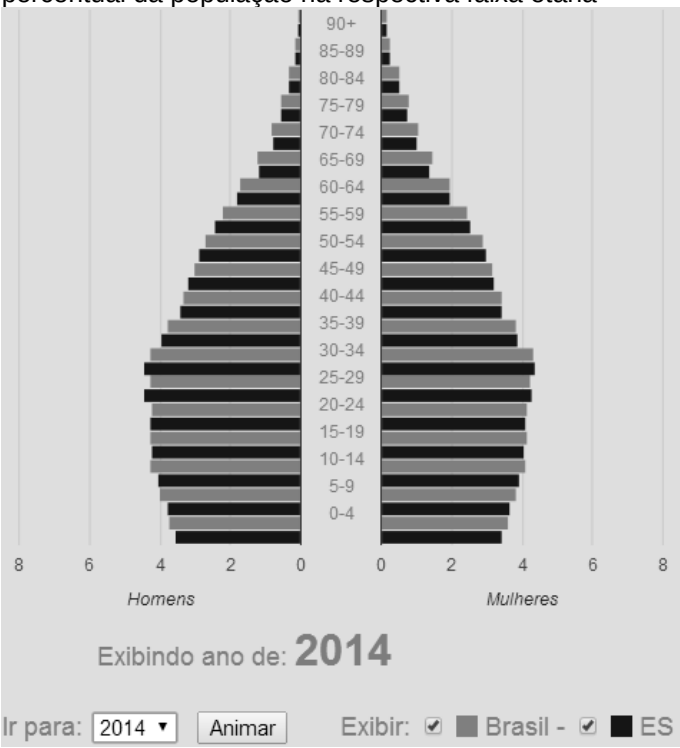
Segundo projeções do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 19/6/2014 a projeção da população brasileira foi registrada com o total de 202.723.380 pessoas. Em relação ao estado do Espírito Santo (ES), a projeção para a mesma data foi a de 3.878.931 pessoas, ou seja, o ES representa 1,91% da população do país (IBGE, 2014).

Uma vez identificado o tamanho da população brasileira, especificamente no Espírito Santo, a consideração da distribuição da idade da população nos dois contextos se justifica porque o transporte de cadeirantes tende a aumentar com o estado de idade avançada da população. Na Figura 3 e Figura 4, são apresentadas as projeções de pirâmide etária para 2014 e 2030.

A análise qualitativa das perspectivas de idade em longo prazo apresentadas na Figura 3 e Figura 4 mostra uma redução nas bases da pirâmide e a transferência dos quantitativos da base para as partes superiores da pirâmide, o que representa o avanço da idade da maior parte da população, consequentemente podendo acarretar o aumento da demanda pelos serviços de transporte de cadeirantes.

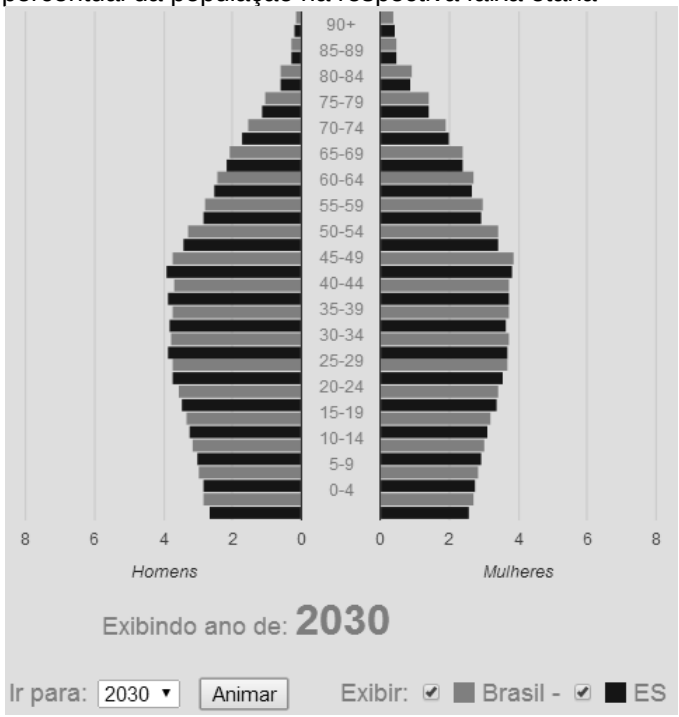
Uma análise comparativa similar em nível de Brasil pode ser realizada diretamente por meio da Figura 5, a qual tem por base dados demográficos históricos de 1991, 2000 e 2010, apresentando o percentual da população por faixa etária.

Figura 3 – Projeção de pirâmide etária do Brasil e Espírito Santo em 2014, mostrando, no eixo vertical, as faixas de idade e, no eixo horizontal, o percentual da população na respectiva faixa etária



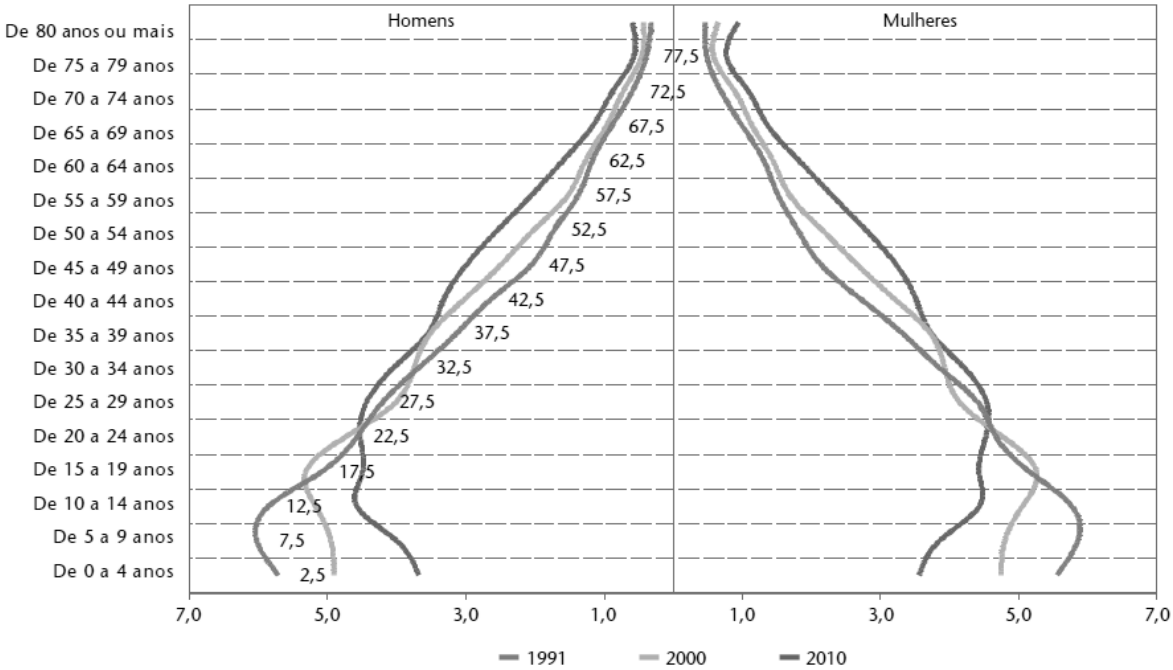
Fonte: IBGE (2014). Disponível em: http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html (2014).

Figura 4 – Projeção de pirâmide etária do Brasil e Espírito Santo em 2030, mostrando, no eixo vertical, as faixas de idade e, no eixo horizontal, o percentual da população na respectiva faixa etária



Fonte: IBGE (2014). Disponível em: http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html (2014).

Figura 5 – Composição relativa da população residente total, por sexo e grupos de idade – Brasil

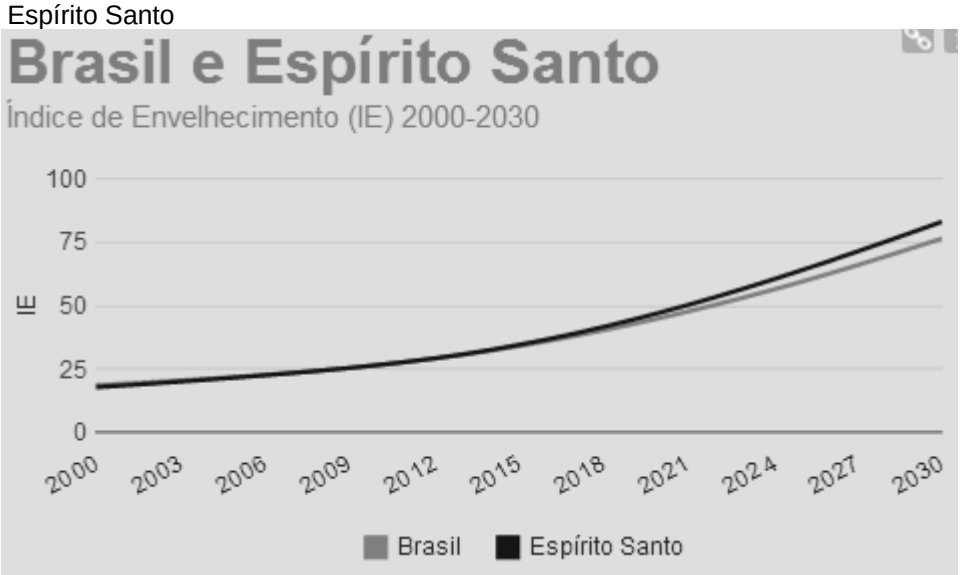


Fonte: Atlas do censo demográfico 2010 / IBGE (2013, p. 46).

Além da pirâmide populacional, a Figura 6 permite uma visualização das características da população por meio do índice de envelhecimento da população,

especificamente no estado do Espírito Santo, que apresenta uma projeção de valor acima do nacional.

Figura 6 – Gráfico comparativo do índice de envelhecimento (IE) 2000-2030, Brasil e Espírito Santo



Fonte: IBGE (2014). Disponível em: http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html (2014).

Uma vez consideradas as perspectivas populacionais de longo prazo, vale a consideração da distribuição da população de deficientes físicos com problemas motores no Brasil, no Espírito Santo e na região da Grande Vitória (cidades atendidas pelo Serviço de Transporte Especial Mão na Roda). A Figura 7 apresenta os dados populacionais em questão relativamente a 2010.

Figura 7 – Distribuição populacional total e de deficientes motores em três níveis em relação ao Brasil, Espírito Santo e região da Grande Vitória atendida pelo serviço de transporte especial mão na roda

Tabela 3425 - População residente por tipo de deficiência, segundo a situação do domicílio, o sexo e os grupos de idade - Amostra - Características Gerais da População								
Variável = População residente (Pessoas)								
Situação do domicílio = Total								
Sexo = Total								
Grupos de idade = Total								
Ano = 2010								
Tipo de deficiência permanente	Brasil, Unidade da Federação e Município							
	Brasil	Espírito Santo	Cariacica - ES	Fundão - ES	Serra - ES	Viana - ES	Vila Velha - ES	Vitória - ES
Total	190.755.799	3.514.952	348.738	17.025	409.267	65.001	414.586	327.801
Deficiência motora - não consegue de modo algum	734.421	13.566	1.292	59	1.361	257	1.612	1.230
Deficiência motora - grande dificuldade	3.698.929	72.774	7.035	570	7.257	1.577	7.153	5.511
Deficiência motora - alguma dificuldade	8.832.249	164.566	17.286	924	16.681	3.084	16.740	12.918

Fonte: IBGE – Censo Demográfico de 2010. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>.

Para uma análise quantitativa e relativa, os dados da Figura 7 são apresentados na Tabela 3 com os respectivos valores percentuais e totais do país, estado e cidades em questão.

Diante da Tabela 3, pode-se ter uma visão dimensional da população de deficientes motores no Brasil, no estado do Espírito Santo e em cidades da região da Grande Vitória, sendo esses possíveis clientes para o serviço de transporte de cadeirantes.

TABELA 3 – ANÁLISE PERCENTUAL E DOS TOTAIS DE DEFICIENTES MOTORES EM SEGMENTAÇÃO: BRASIL, ESPÍRITO SANTO E CIDADES ATENDIDAS PELO SERVIÇO ESPECIAL MÃO NA RODA. (1): POPULAÇÃO TOTAL; (5): SOMA DOS GRUPOS (2), (3) E (4)

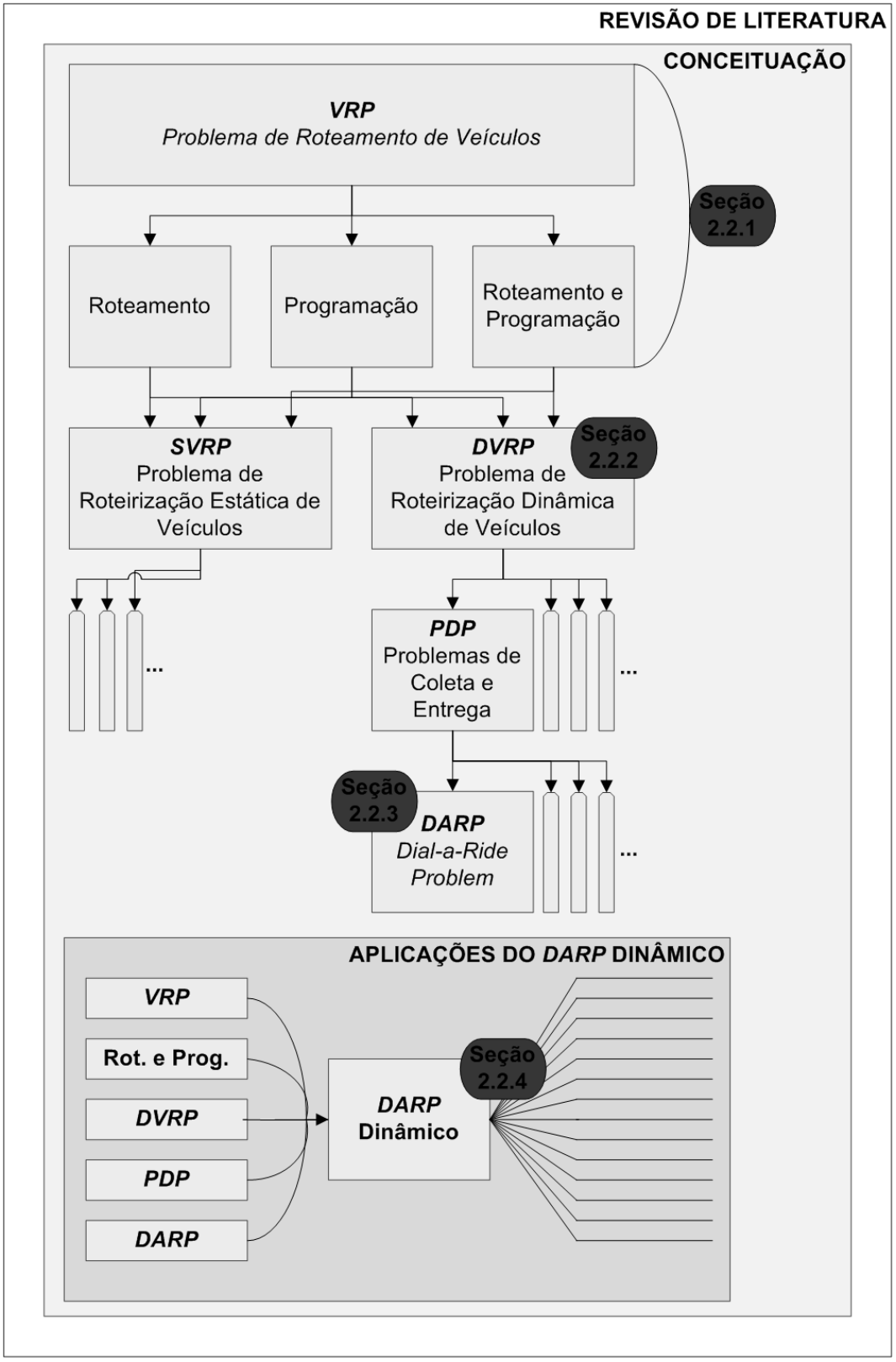
	(A) Brasil	(B) Espírito Santo	(C) Cariacica - ES	(D) Fundão - ES	(E) Serra - ES	(F) Viana - ES	(G) Vila Velha - ES	(H) Vitória - ES	(I) TOTAL GV (I)=C+D+E+F+G+H
(1) Total	190.755.799	3.514.952	348.738	17.025	409.267	65.001	414.586	327.801	1.582.418
(2) Deficiência motora - não consegue de modo algum	734.421	13.566	1.292	59	1.361	257	1.612	1.230	5.811
(3) Deficiência motora - grande dificuldade	3.698.929	72.774	7.035	570	7.257	1.577	7.153	5.511	29.103
(4) Deficiência motora - alguma dificuldade	8.832.249	164.566	17.286	924	16.681	3.084	16.740	12.918	67.633
(5) TOTAL DE DEFICIENTES	13.265.599	250.906	25.613	1.553	25.299	4.918	25.505	19.659	102.547
(6) % DE DEFICIENTES MOTORES (6)=(5)/(1)	6,95%	7,14%	7,34%	9,12%	6,18%	7,57%	6,15%	6,00%	6,48%
(7) % DEFICIENCIA MOTORA - não consegue de modo algum (7)=(4)/(1)	0,39%	0,39%	0,37%	0,35%	0,33%	0,40%	0,39%	0,38%	0,37%

Fonte: Adaptado de IBGE – Censo Demográfico de 2010. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>.

2.2 ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS

Nesta seção são apresentados conceitos, métodos e aplicações de problemas de programação e roteirização de veículos citados pela literatura especializada. A Figura 8 representa a estrutura organizacional lógica das subseções, que, de forma simplificada, parte da conceituação do problema de roteirização de veículos e se estende até as aplicações do DARP Dinâmico. Partindo da subseção 2.2.1, apresentam-se classificações e características gerais dos Problemas de Roteirização de Veículos (VRP); em seguida, trata-se da perspectiva dinâmica do VRP (subseção 2.2.2); mais adiante, na seção 2.2.3, aborda-se o problema de transporte de pessoas (*Dial-a-Ride*), que pode ser tratado mediante a perspectiva estática ou dinâmica; por fim, na seção 2.2.4, procede-se a uma síntese dos principais trabalhos publicados para resolver os problemas de roteirização dinâmica de veículos aplicados ao transporte de pessoas.

Figura 8 – Representação estrutural da seção 2.2 e subdivisões dos problemas de roteirização com foco no DARP Dinâmico



Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

2.2.1 O problema de roteirização e programação de veículos

Os problemas de roteirização (ou roteamento) e programação de veículos são extensamente abordados na literatura de transportes, justificados pelas possibilidades de redução de custos às organizações ou aumento da conveniência aos usuários. Tais problemas podem ser divididos em problemas de roteirização, programação ou roteirização e programação.

Os problemas de roteirização, segundo Bodin *et al*. (1983), são aqueles que não apresentam restrições *a priori* de tempo de entrega, quando todas as mercadorias podem ser entregues dentro de um curto espaço de tempo. Ou seja, as restrições temporais são ignoradas nesse caso e o problema tem por foco a definição da sequência de visitas a serem realizadas em determinados pontos de demanda.

Já os problemas de programação de veículos são aqueles em que as restrições temporais são as de primeira importância, ou seja, cada localização de demanda pode requerer a entrega em um momento específico, ou para cada atividade existe um tempo associado desejado (BODIN *et al*., 1983).

Quanto aos problemas combinados de roteirização e programação, Bodin *et al*. (1983) afirmam que a maioria deles são caracterizados por precedências de tarefas e restrições de janela de tempo. Segundo o autor, “o relacionamento de precedência de atividades força a precedência da atividade de coleta em relação à tarefa de entrega e tais tarefas devem ser realizadas por um mesmo veículo” (BODIN *et al*., 1983, p. 149). Nesse contexto, apresenta-se o *Dial-a-Ride Problem*, problema-alvo desta pesquisa, o qual será tratado na seção 2.2.3.

Além da divisão dos problemas, estes podem apresentar variações segundo suas características, as quais com suas possíveis opções são apresentadas na Tabela 4.

TABELA 4 – CARACTERÍSTICAS DOS PROBLEMAS DE ROTEIRIZAÇÃO E PROGRAMAÇÃO

Características	Opções
1. Tamanho da frota disponível	*Um veículo *Múltiplos veículos
2. Tipo da frota disponível	*Homogênea (apenas um tipo de veículo) *Heterogênea (vários tipos de veículo) *Tipos especiais de veículos (compartimentalizado, etc.)
3. Armazenamento de veículos	*Depósito único *Múltiplos depósitos
4. Natureza das demandas	*Demanda determinística *Requerimentos de demanda estocástica *Satisfação de demanda parcial permitida
5. Localização das demandas	*Nos nós (não necessariamente todos) *Nos arcos (não necessariamente todos) *Misto
6. Rede fundamental	*Não direcionada *Direcionada *Mista *Euclidiana
7. Restrições de capacidade do veículo	*Impostas (as mesmas para todos) *Impostas (diferentes para diferentes rotas) *Não impostas
8. Tempo máximo de rotas	*Impostas (as mesmas para todos) *Impostas (diferentes para diferentes rotas) *Não impostas
9. Operações	* Apenas coleta *Apenas entrega *Misto (coletas e entregas) *Entregas particionadas
10. Custos	*Variável ou custos de rota *Operacionais fixos ou custos de aquisição do veículo *Custos comuns da transportadora (para demandas não atendidas)
11. Objetivos	*Minimizar o custo total de rotas *Minimizar a soma de custos fixos e variáveis *Minimizar o número de veículos requerido *Maximizar a função utilidade baseada no serviço e conveniência *Maximizar a função utilidade baseada nas prioridades do consumidor.

Fonte: Adaptado de Bodin *et al*. (1983).

Dependentemente das características do VRP apresentadas na Tabela 4 e das dimensões de tais características, pode-se ter, no problema, uma grande dificuldade para identificar soluções ótimas (devido à complexidade), e, consequentemente, tempos computacionais vastos podem ser necessários para resolver o problema. Por esse motivo, algoritmos computacionais de busca de soluções foram, ao longo dos anos, desenvolvidos em dois grupos principais: os que buscam uma solução ótima e aqueles que buscam uma solução aproximada da melhor solução (heurísticas e meta-heurísticas).

Os algoritmos exatos podem ser desenvolvidos por meio da programação linear inteira, inteira-mista e não linear, os quais se distinguem pelas características das

variáveis de decisão utilizadas nos problemas. Tais algoritmos têm a característica de buscar a melhor solução, independentemente do tempo computacional ou do número de iterações necessárias.

Já os algoritmos heurísticos são técnicas que buscam uma boa solução utilizando um esforço computacional considerado razoável (GOLDBARG; LUNA, 2005). As heurísticas e meta-heurísticas apresentam como principal diferença o fato de que a primeira é algoritmo específico desenvolvido para a resolução de um problema particular e a segunda um algoritmo genérico, que pode ser aplicável a uma grande variedade de problemas de otimização (TALBI, 2009).

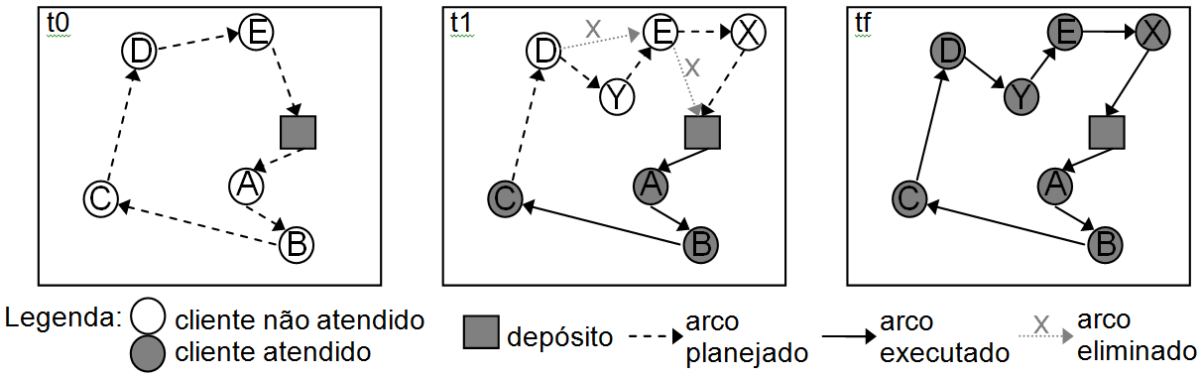
Pillac *et al.* (2013) ressaltam que, dependendo do problema e da tecnologia disponível, os roteiros de veículos podem ser projetados de forma estática ou dinâmica. A perspectiva estática consiste no problema de projetar um conjunto de rotas robustas *a priori*, que passarão por mudanças mínimas durante sua execução (BERTSIMAS; SIMCHI-LEVI, 1996; GENDREAU *et al*., 1996 *apud* PILLAC *et al*. 2013). Quanto à perspectiva dinâmica, o problema consiste no projeto de rotas de veículos em tempo real, comunicando aos veículos quais clientes serão os próximos a serem atendidos, assim que o veículo esteja disponível (NOVOA; STORER, 2009; SECOMANDI, 2001; SECOMANDI; MARGOT, 2009 *apud* PILLAC *et al*., 2013). A perspectiva dinâmica, alvo desta pesquisa, é apresentada na seção a seguir.

2.2.2 O problema de roteirização dinâmica de veículos

Para melhor entendimento do problema de roteirização dinâmica de veículos (*Dynamic Vehicle Routing Problem*- DVRP), na Figura 9 mostra-se um exemplo prático do conceito em questão. A sequência de operações é mostrada em sua evolução da esquerda para a direita. No momento “t0”, um veículo no depósito conhece a sua rota de antemão e inicia o serviço de transporte; no momento “t1”, em que o transporte já foi iniciado e os clientes “A”, “B” e “C” foram atendidos, surgem duas novas demandas (nesse caso, clientes) “Y” e “X”, e uma nova decisão de roteirização deve ser tomada para incorporar tais demandas; no momento “tf”, são apresentados todos os clientes servidos com um número diferente do de clientes do roteiro inicial (em vez de cinco, foram atendidos sete clientes); logo, os novos

clientes foram incorporados ao roteiro inicial durante a atividade de transporte, elucidando o conceito do DVRP. Tal decisão apresenta como consequência ao roteiro a eliminação dos arcos “D-E” e “E-depósito” inicialmente planejados e a adição dos arcos “D-Y”, “Y-E”, “E-X” e “X-depósito”, dessa forma a rota inicialmente planejada “depósito-A-B-C-D-E-depósito” foi alterada, sendo executada a rota “depósito-A-B-C-D-Y-E-X-depósito”.

Figura 9 – Exemplo ilustrativo da roteirização dinâmica de veículos



Fonte: Adaptado de Pillac *et al*. (2013).

Gendreau *et al.* (2006) definem que, em tais problemas, os dados (exemplo: clientes a atender) a serem utilizados não são completamente conhecidos antes do momento de tomada de decisão, e sim são revelados dinamicamente durante a execução da solução atual; logo, a decisão é tomada com informações incertas e incompletas.

Nesse contexto, para a tomada de decisão de alocação e programação de uma nova solicitação conhecida, muitos fatores diferentes devem ser considerados, tais como: a localização dos veículos, a sua rota e programação atual planejada, as características da nova solicitação, os tempos de viagem entre os pontos de serviço, as características básicas da rede de transporte, a política de serviço da organização e outras restrições relacionadas (GENDREAU *et al*., 2006).

Com relação às pesquisas desenvolvidas e apresentadas pela literatura especializada, o problema de roteirização dinâmica de veículos historicamente recebeu muito menos interesse na literatura quando comparado ao VRP (HOLBORN, 2013).

Apesar do menor interesse da literatura, Cranic *et al.* (2009) destacam a importância do DVRP como possibilidade de melhorar o serviço ao cliente e aumentar a produtividade por meio da re-roteirização de veículos em tempo real para atender às novas solicitações, suportado por tecnologias de transportes inteligentes, em particular dispositivos de localização precisos, computador de bordo e equipamentos de comunicação. Os autores apontam que linhas de pesquisas significantes tratam as questões de despacho em tempo real, roteirização e re-roteirização de veículos em resposta a mudanças de demanda (ICHOUA *et al*., 2007 *apud* CRANIC *et al.*, 2009), tempo de viagem (FLEISCHMANN *et al*., 2004; POTVIN *et al*., 2006; TAPALOGLU, 2006 apud CRANIC *et al*., 2009) e outras condições de viagem.

Dentro das perspectivas estática e dinâmica, podem-se determinar os diferentes problemas de roteirização e/ou programação de veículos. Na seção 2.2.3, é apresentado o problema de transporte de pessoas e, uma vez conhecido o problema, são apresentadas, na seção seguinte (2.2.4), as características e pesquisas realizadas no contexto da roteirização dinâmica de veículos aplicado ao transporte de pessoas.

2.2.3 O problema de transporte de pessoas (*Dial-a-Ride Problem*)

Raddaoui *et al*. (2013) definem o *Dial-a-Ride Problem* (DARP) e sua origem. O DARP consiste em determinar um plano de roteiros operados por veículos em ordem de satisfazer as solicitações dos usuários que desejam o transporte de uma origem a um destino. Tal problema é uma extensão do *PDP* (*Pickup & Delivery Problem*) (Raddaoui *et al*. (2013); Beaudry *et al*. (2010); Mitrovic-Minic *et al*. (2004)) no qual as mercadorias são individuais. Ele é conduzido por algumas restrições técnicas adequadas (para o transporte de pessoas, por exemplo), apresenta o fato de ter um ponto único de embarque por ponto de desembarque e vice-versa e tem a obrigação de cumprir prazos de entrega específicos.

A origem do termo *Dial-a-Ride* remete ao serviço de atendimento de chamadas telefônicas. Para Colorni e Righini (2001), o termo advém de chamadas telefônicas nas quais se supõe que o cliente solicitará um serviço. Nesse contexto, uma unidade central de planejamento recebe as ligações de todos os clientes e realiza a tomada

de decisão de alocação dos clientes aos veículos e às rotas de cada veículo. O autor complementa que a natureza combinatorial do problema de alocação e roteirização faz que o problema seja difícil do ponto de vista da teoria computacional. Dada a complexidade, os sistemas *Dial-a-Ride* devem ser otimizados com algoritmos rápidos e robustos de forma a serem competitivos. A fim de ilustrar parte da complexidade do problema, Beaudry *et al*. (2010) apresentam o número de possíveis combinações de um roteiro para duas demandas de transporte do DARP, considerando “O” como origem, “D” como destino e “i” e “j” como clientes. Para dois clientes e um veículo com capacidade de dois lugares, são geradas seis possíveis combinações de rotas, conforme se observa na Figura 10.

Figura 10 – Ilustração do número de rotas possíveis para duas solicitações de transporte do DARP e um veículo

O(i)	O(j)	D(i)	D(j)	(1)
O(i)	O(j)	D(j)	D(i)	(2)
O(j)	O(i)	D(i)	D(j)	(3)
O(j)	O(i)	D(j)	D(i)	(4)
O(i)	D(i)	O(j)	D(j)	(5)
O(j)	D(j)	O(i)	D(i)	(6)

Fonte: Adaptado de Beaudry *et al*. (2010).

Ao considerar a combinação de possíveis roteiros de coleta e entrega similar aos da Figura 10 para diferentes números de clientes, a Tabela 5 apresenta a perspectiva de crescimento do problema pelo número de rotas possíveis devido à ordem de realização de coleta e entrega, considerando de uma a três solicitações de transporte para um veículo. A análise mostra que o problema cresce exponencialmente com o aumento do número de solicitações de transporte.

TABELA 5 – NÚMERO DE COMBINAÇÕES DE ROTAS POSSÍVEIS EM RELAÇÃO AO NÚMERO DE SOLICITAÇÕES DE TRANSPORTE PARA UM VEÍCULO COM CAPACIDADE DE TRÊS LUGARES

CLIENTES	NÚMERO DE CLIENTES	NÚMERO DE COMBINAÇÕES DE ROTAS POSSÍVEIS
A	1	1
A, B	2	6
A, B, C	3	90

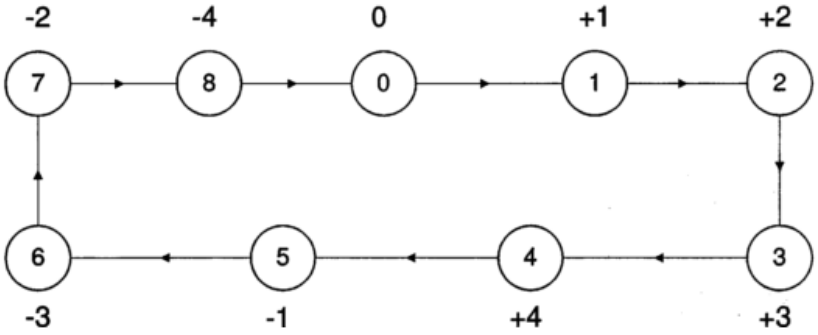
Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Mitrović-Minić e Laporte (2004) entendem o problema como a determinação de um conjunto de rotas ótimas para uma frota de veículos de forma a satisfazer as solicitações de usuários. Os autores destacam que o objetivo do problema é minimizar o comprimento total de rota sujeito a um conjunto de restrições, tais como: todas as solicitações devem ser atendidas; as janelas de tempo devem ser respeitadas; cada solicitação deve ser atendida totalmente por apenas um veículo; e cada local de coleta deve ser visitado antes da visita ao local de entrega. Considerando o DARP e o PDP, a diferença entre os problemas é que o DARP foca a redução da inconveniência ao usuário.

As demandas de transporte do DARP são identificadas pelas solicitações de transporte. Beaudry *et al.* (2010) definem que uma solicitação de transporte consiste em um local de origem, onde o cliente é coletado; um local de destino, onde o cliente será deixado; a hora desejada de coleta ou entrega no destino; e o modo de transporte requerido. Para Coslovich *et al*. (2006), a solicitação de viagem do DARP com janela de tempo consiste em pegar um certo cliente em um intervalo de tempo específico de saída e transportá-lo para um local de entrega a ser alcançado com um intervalo de chegada específico, cujas janelas de tempo de saída e chegada são baseadas nos horários de coleta ou entrega desejados pelos clientes.

Para melhor compreensão do DARP, Coslovich *et al*. (2006) apresentam a sequência de eventos em uma rota de um veículo, de forma a atender quatro clientes. Na Figura 11, as circunferências numeradas em seu interior representam a sequência de operações de acordo com sua evolução, os números nas proximidades da circunferência representam a identificação do cliente e os sinais + e – representam a coleta ou entrega do cliente, respectivamente. As operações se iniciam em um depósito identificado com o número zero em que também terminam. A rota da Figura 11 se inicia no depósito 0, coleta os clientes 1, 2, 3 e 4, em seguida entrega os clientes 1, 3, 2 e 4 e retorna ao depósito 0. As operações de coletas e entregas não ocorrem necessariamente de forma separada, e sim de forma intercalada, para atender às restrições do problema.

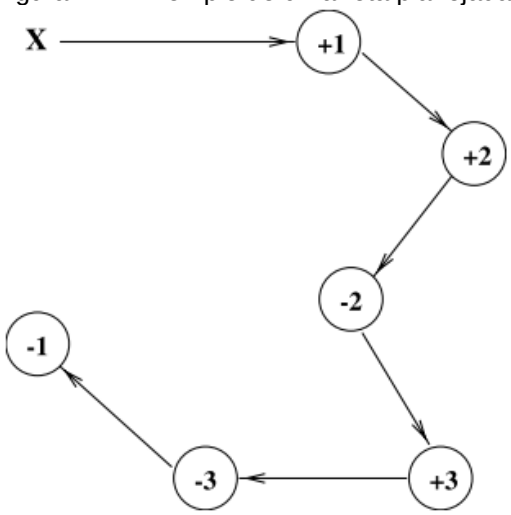
Figura 11 – Exemplo de um roteiro (solução) do DARP



Fonte: Coslovich *et al*. (2006).

Uma forma de representação de um plano de rota com pequenas diferenças é apresentada por Gendreau *et al*. (2006). Tal plano é apresentado na Figura 12, na qual as circunferências apresentam os pontos de coleta ou entrega dos clientes, a numeração no interior da circunferência apresenta a identificação do cliente e os sinais de + e – representam a coleta ou entrega do cliente, respectivamente. Nesse caso, a rota é iniciada em um ponto X determinado e finalizada com a entrega do último passageiro.

Figura 12 – Exemplo de uma rota planejada do DARP



Fonte: Gendreau *et al*. (2006).

Um dos primeiros estudos do DARP foi apresentado por Psaraftis em 1980 para o caso de um veículo e por Jaw, Odoni, Psaraftis e Wilson em 1986 para o caso de múltiplos veículos (KERGOSIEN *et al*., 2011). Após tais publicações, diversas aplicações e estudos são apresentados pela literatura, porém a principal aplicação

do DARP surge dos serviços de transporte porta a porta oferecidos a idosos e cadeirantes (ATTANASIO *et al*., 2004; BERBEGLIA *et al*., 2012).

> Com o envelhecimento da população e a necessidade de reduzir gastos públicos em muitas sociedades ocidentais, acreditamos que o serviço de transporte de pessoas aumentará em popularidade nos anos seguintes e a necessidade de executa-los eficientemente também aumentará (ATTANASIO *et al*., 2004, p. 378).

O aumento da demanda pelo DARP vem sendo evidenciado também devido à conveniência oferecida aos usuários. Essa conveniência é evidenciada por Colorni e Righini (2001). Segundo os autores, o serviço oferece conforto e privacidade por meio de carros particulares e táxis a preços baixos, que são alcançados com a melhor exploração da capacidade dos veículos. Além disso, Colorni e Righini (2001) apontam que os transportes públicos de massa, tais como trens e ônibus, apresentam menores custos quando comparados ao *Dial-a-Ride*, porém são menos cômodos pelo fato de os veículos seguirem rotas fixas e obedecerem a programações fixas.

Pelo fato de o DARP ser do tipo não polinomial difícil (*NP-Hard*), a maioria dos procedimentos propostos para a solução são os heurísticos ou meta-heurísticos que podem manusear problemas de grande tamanho (BEAUDRY *et al*., 2010) com um tempo computacional aceitável. No contexto do DARP, a natureza combinatória do problema pode ter como consequência a necessidade de longos tempos computacionais para a identificação de uma solução ótima para problemas com muitas variáveis e restrições rígidas. Talbi (2009) salienta que os problemas do tipo *NP-Hard* apresentam um aumento de tempo exponencial para o aumento linear do tamanho do problema. Portanto, afirma que as meta-heurísticas constituem uma importante alternativa para a resolução dessa classe de problemas.

Com relação aos métodos de solução, Mitrović-Minić *et al*. (2004) registram que a qualidade das soluções de procedimentos heurísticos modernos são fortemente relacionadas com o tempo de processamento da solução. Se houver um tempo suficiente de processamento disponível para gerar a solução, o algoritmo poderá encontrar resultados ótimos ou muito próximos do ótimo. Entretanto, em problemas de tomada de decisão em tempo real de ambientes dinâmicos, o tempo para tal decisão é pequeno; logo, uma solução aproximada passa a ser aceitável.

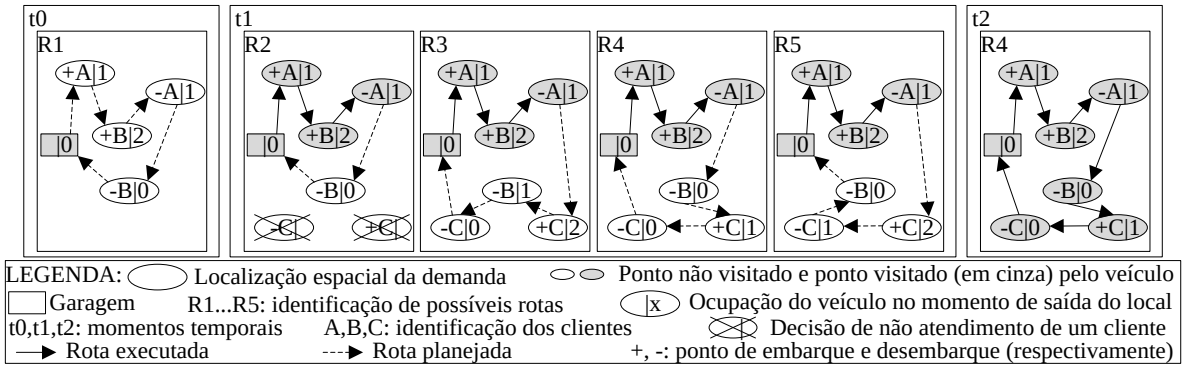
Com relação às variantes do problema, segundo Colorni e Righini (2001), existe uma série de variantes do esquema básico do *Dial-a-Ride*. Os autores apresentam três variantes, as quais são denominadas de *Group Taxi*, *Static Dial-a-Ride* e *Dynamic Dial-a-Ride*. Com relação às solicitações de serviço, o caso do *Group Taxi* é caracterizado pelo fato de as solicitações serem realizadas diretamente na rua, sem uma ligação prévia; o do *Static Dial-a-Ride*, as solicitações são conhecidas previamente e a programação é realizada antes que o serviço se inicie; por fim, o *Dynamic Dial-a-Ride* permite ao usuário solicitar um transporte durante a execução do serviço; logo, a cada momento em que uma nova solicitação é recebida, o plano é novamente otimizado.

Berbeglia *et al*. (2012) mostram que, nos últimos 30 anos, a maior parte dos estudos em DARP tem focado na versão estática. Em face disso e com o objetivo de conhecer o estado atual do conhecimento da perspectiva dinâmica do DARP, é apresentada, na seção a seguir, uma revisão de literatura do tema.

2.2.4 O problema de roteirização dinâmica de veículos aplicado ao transporte de pessoas

Berbeglia *et al*. (2012) afirmam que um resultado do DARP dinâmico consiste em uma estratégia de solução que especifica quais rotas e ações de programação devem ser realizadas à luz de novas solicitações de serviço e do estado atual do sistema. As demandas que originam tais necessidades de programação e roteirização são exemplificadas por Colorni e Righini (2001), a saber: uma nova solicitação vinda de um cliente, quando um compromisso com o cliente no ponto de coleta é perdido ou quando um veículo está atrasado devido a alguma inconveniência. Para melhor entendimento, a Figura 13 apresenta o problema, sua evolução temporal, as combinações de alternativas de decisão em um determinado momento temporal e a decisão final de programação e roteirização.

Figura 13 – A evolução do DARP dinâmico e a tomada de decisão ao longo do tempo



Fonte: Fraga Neto e Cardoso (2014b).

A Figura 13 se divide em três momentos temporais consecutivos: “t0”, “t1” e “t2”. Em “t0”, surge a demanda de transporte de dois clientes, “A” e “B”, os quais fornecem informações de seus locais de origem (+), destino (-) e momento temporal a ser entregue no destino ao Programador de Rota (PR). Nesse contexto, em “t0”, o “PR” tomou a decisão de roteiro de coletar os clientes “A” e “B”, entregar os clientes “A” e “B” e retornar ao depósito. Assim, foi gerada a programação da rota “R1”. No momento “t1”, durante a execução da rota “R1” pelo veículo, surgiu uma nova demanda de transporte, a do cliente “C”. Com a nova solicitação de transporte, o “PR” deve tomar a decisão de rejeitar (“R2”) ou aceitar a demanda do cliente. Em caso de aceite, uma nova decisão de roteiro deve ser tomada considerando que o veículo está no local de entrega do cliente “A”, no momento em que surge a solicitação do cliente “C”. Considerando o aceite do cliente e o fato de o veículo estar no local de entrega do cliente “A”, o “PR” tem três opções de rota, a “R3”, “R4” e “R5”, para considerar em sua decisão. No caso da otimização multiobjetivo, o “PR” deve buscar um equilíbrio entre a conveniência aos usuários e a redução de custos de rota à organização. No momento “t2”, é apresentada a rota final programada e executada pelo veículo (“R4”), o qual atendeu todos os clientes conhecidos inicialmente e os que surgiram durante a execução do serviço de transporte.

Os primeiros estudos do DARP focados no modo dinâmico foram apresentados por Wilson *et al*. em 1971 e Wilson e Covin em 1977, respectivamente, com os títulos *Scheduling algorithms for dial-a-ride systems* e *Computer control of the Rochester dial-a-ride system* (BEAUDRY *et al*., 2010). Apesar dos primeiros estudos datados

em 1971 e 1977, uma das primeiras contribuições do *Dynamic* DARP foi realizada, apenas em 1980, por Psaraftis (BERBEGLIA *et al*., 2010; BEAUDRY *et al*., 2010).

A otimização de sistemas dinâmicos de transporte de pessoas tem a sua criticidade na variável tempo para a definição da solução. Colorni e Righini (2001) afirmam que tal fato ocorre devido à necessidade de programação e roteirização em tempo real, repetida todas as vezes que ocorrem mudanças significativas nos dados (demanda ou condições do ambiente). Com isso, diversos autores buscam métodos de resolução do problema que garantam uma resposta aproximada com um tempo curto de alcance da solução, ao contrário de abordagens que buscam uma solução ótima, que normalmente consomem um vasto tempo computacional devido à complexidade de tais problemas.

Devido a essa complexidade, a tomada de decisão do DARP dinâmico é comumente suportada por ferramentas computacionais, e a consideração de tecnologias avançadas e atuais é fundamental para identificar soluções superiores. Dada a necessidade de consideração de tais tecnologias, a seguir é apresentada uma revisão de literatura dos trabalhos publicados na literatura técnica relacionada ao DARP Dinâmico ou problemas de coletas e entregas dinâmicos dos últimos dez anos ou em datas anteriores que se justifiquem pela relevância a essa pesquisa nos âmbitos nacional e internacional.

Attanasio *et al*. (2004) desenvolveram um algoritmo baseado na heurística Busca Tabu (TS) em computação paralela para a resolução do DARP dinâmico com múltiplos veículos. O algoritmo proposto inicialmente gera uma solução com base nas solicitações conhecidas no início do horizonte de planejamento.

Partindo de um conjunto de rotas iniciais, cada vez que uma nova solicitação é recebida, o algoritmo realiza um teste de viabilidade de aceitação da nova solicitação durante um tempo máximo de 30 segundos. No caso de aceite da nova solicitação, o algoritmo realiza a pós-otimização para melhorar a solução atual. Tal algoritmo é testado com a utilização de instâncias reais e artificiais propostas por Cordeau e Laporte (2003) para o caso estático. Os testes são realizados para linhas de execução de 1, 4 ou 8 (número de processadores utilizados na pesquisa com

computação paralela) e dois métodos de carregamento de pesquisa (ponto inicial único-estratégia única e ponto inicial único-múltiplas estratégias). Tal combinação gera seis estratégias que foram testadas e comparadas em termos do percentual de solicitações aceitas e custo da rota da solução encontrada. Após a realização dos testes computacionais, os autores concluem que a computação paralela pode ser benéfica para a resolução dos problemas de roteirização em tempo real, dados os resultados de aumento na média do percentual de solicitações atendidas para o aumento no número de linhas de execução.

Gendreau *et al*. (2006) apresentaram um algoritmo de busca na vizinhança acoplado com memória adaptativa e processamento em computação paralela do tipo mestre-escravo para aumentar a capacidade computacional. O algoritmo de busca na vizinhança utilizado é a TS, e o estudo teve por foco a resolução de problemas dinâmicos de serviço de correio para pequenos volumes, nos quais novas demandas são conhecidas durante a fase de realização do serviço. Para a realização de testes do algoritmo proposto, os autores desenvolveram um simulador para produzir diferentes ambientes de operação tão próximos quanto possível do que é observado no mundo real. Os resultados são comparados entre seis abordagens de resolução que se baseiam em algoritmos de inserção, algoritmos de construção, descida adaptativa e TS. Os resultados mostraram que as heurísticas de descida adaptativa e TS podem lidar com a complexidade de tal ambiente dinâmico e, quando existe maior poder computacional, elas produzem resultados melhores do que heurísticas mais simples.

Ainda em 2006, Coslovich *et al*. (2006) desenvolveram uma heurística de inserção em duas fases, baseada em perturbação de rota para a resolução do DARP Dinâmico com janela de tempo, de forma a possibilitar a tomada de decisão em um serviço em que o cliente aborda diretamente o motorista nas paradas de ônibus e o motorista decide se aceita ou não tal solicitação rapidamente, pois o veículo não pode ficar estacionado durante um longo tempo em uma parada de ônibus. O algoritmo divide-se principalmente pelas abordagens *off-line* e *on-line*: a primeira consiste em gerar rotas iniciais dos clientes previamente conhecidos e, em seguida, selecionar a melhor rota considerando os pontos de vizinhança da rota atual

(primeira fase); a segunda é executada cada vez que uma nova solicitação é gerada na parada do ônibus, de forma a inserir o cliente na rota existente.

A heurística de inserção está entre as mais eficientes para a resolução de problemas de programação e roteirização com janela de tempo (GHIANI *et al*., 2004). Os autores descrevem o procedimento “I1 Solomon”, o qual constrói uma solução viável por vez e, a cada iteração, ele deve decidir qual cliente deve ser inserido na solução atual e entre quais clientes da rota o cliente atual deve ser inserido na rota existente. A pesquisa cita ainda que o procedimento leva em consideração o aumento do custo associado à inserção e o atraso no tempo de serviço dos clientes programados.

Uma vez que Coslovich *et al.* (2006) utilizaram a heurística de inserção como método para a resolução do problema e o presente trabalho utiliza uma heurística de inserção, são apresentadas a formulação do problema e a abordagem de solução utilizadas pelos autores em 2006.

Com relação à formulação do problema, na Tabela 6 são apresentadas as variáveis e considerações tomadas pelos autores.

Tabela 6 – Notação básica do problema considerada por Coslovich *et al*. (2006)

(continua)

Nº	Variável / Equação	Detalhamento
1	$G = (V, E)$	Grafo direcionado da rede de transporte.
2	V	Representa todas as paradas possíveis.
3	E	Conjunto de arcos do grafo com os tempos de locomoção mais curto entre dois nós (duas paradas).
4	$E = \{(r, s): s \in V, r \neq s\}$	Denominação do conjunto de arcos.
5	r, s	Índice de identificação dos nós, tal que $(r, s) \in E$.
6	$d(r, s)$	Tempo mais curto para o deslocamento entre a parada “*r*” e “*s*”.
7	$d(r, s) \neq d(s, r)$	Segundo os autores, em geral o caminho mais curto de ida difere do caminho mais curto de volta.

Tabela 6 – Notação básica do problema considerada por Coslovich *et al*. (2006) (continuação)		
8	C	Conjunto de consumidores que se subdivide em dois conjuntos: C^S e C^d.
9	C^S	Conjunto de clientes conhecidos de antemão (viagens previamente agendadas): clientes estáticos.
10	C^d	Inclui os consumidores desconhecidos de antemão a serem encontrados na estrada durante a realização do serviço: clientes dinâmicos.
11	C_P^S	Representa os clientes que solicitaram a viagem de acordo com o horário de embarque desejado (clientes orientados pelo embarque: POC).
12	C_D^S	Representa os clientes que solicitaram a viagem de acordo com o horário de desembarque desejado (clientes orientados pelo desembarque: DOC).
13	i	Índice de identificação do cliente.
14	$p_i, d_i \in V, \forall\, i \in C$	Denominações de locais de embarque e desembarque dos clientes e dos clientes existentes.
15	$t_i^p, t_i^d, \forall\, i \in C$	Horas de embarque e desembarque atuais, respectivamente.
16	$[t_i^{p-}, t_i^{p+}], [t_i^{d-}, t_i^{d+}], \forall\, i \in C^s$	Respectivamente: janela de tempo de embarque e janela de tempo de desembarque.
17	$\hat{t}_i^p\ \forall\, i \in C_P^S$	Hora de embarque desejada.
18	$\hat{t}_i^d\ \forall\, i \in C_D^S$	Hora de desembarque desejada.
19	*LOD*	Nível de insatisfação: mede a qualidade do serviço aos clientes. O mesmo considera o desvio da hora desejada do serviço (DV) e o excesso no tempo de viagem (ERT).

Tabela 6 – Notação básica do problema considerada por Coslovich *et al*. (2006) (conclusão)		
20	Definições do *LOD*: Para POC: $LOD_i = \alpha_P x DV_i + \beta x ERT_i$ $LOD_i = \alpha_P(t_i^p - \hat{t}_i^p) + \beta\left(t_i^d - t_i^p - d(p_i, d_i)\right),$ $\forall i \in C_P^S$ Para DOC: $LOD_i = \alpha_D x DV_i + \beta x ERT_i$ $LOD_i = \alpha_D(\hat{t}_i^d - t_i^d) + \beta\left(t_i^d - t_i^p - d(p_i, d_i)\right),$ $\forall i \in C_D^S$ Para clientes desconhecidos de antemão: $LOD_i = \beta x ERT_i$ $LOD_i = \beta\left(t_i^d - t_i^p - d(p_i, d_i)\right),$ $\forall i \in C^d$	Nesse contexto, α_P, α_D e β são pesos apropriados definidos pelo operador do sistema. Para os clientes conhecidos de antemão, $DV_i(POC) \neq DV_i(DOC)$. No caso de clientes desconhecidos de antemão, nenhum desvio é considerado, uma vez que eles são conhecidos no momento do possível embarque.

Fonte: Coslovich *et al*. (2006).

Quanto à formulação do problema, adiante é apresentada a formulação proposta por Coslovich *et al*. (2006). Para consideração, os autores consideram o DARP com janela de tempo, com o objetivo principal inserir tão quanto possível os clientes surgidos dinamicamente nas rotas dos veículos pré-planejadas. Para a inserção dos clientes surgidos dinamicamente, os autores apresentam a necessidade de atendimento das seguintes condições:

- A regra “primeiro a chegar, primeiro a ser atendido” é seguida estritamente para atendimento dos clientes não conhecidos de antemão;

- O “*LOD*” dos clientes previamente conhecidos presentes nos veículos é minimizado;

- O desvio do horário de serviços desejado (“DV_i") de cada cliente “i” conhecido de antemão não pode exceder um determinado limite superior (“$\overline{DV_i}$”);

- O aumento no tempo de viagem ("ERT_i") de cada cliente "i" conhecido de antemão não pode exceder um determinado limite superior ("$\overline{ERT_i}$");

- O aumento no tempo de viagem ("ERT_i") de cada cliente "i" não conhecido de antemão não pode exceder um determinado limite superior ("$\overline{ERT_i^d} = k_D \, x \, \overline{ERT_i}$, onde $\overline{ERT_i}$ é o limite superior que deve ser fixado por um cliente conhecido de antemão e o coeficiente $k_D \geq 1$ mensura a desvantagem de um cliente desconhecido previamente comparado com o conhecido).

Segundo os autores, no início de um dia de trabalho, a todo cliente previamente conhecido é atribuído o mesmo limite superior "*LOD*":
$\overline{DV_i} = \overline{DV}, \overline{ERT_i} = \overline{ERT}, \forall i \in C^S$.

Nesse contexto, a cada nova solicitação de transporte surgida, o seguinte problema é considerado e resolvido:

$$MIN\left(\sum_{i \in C^S} LOD_i\right)$$
$$DV_i \leq \overline{DV_i}, \forall\, i \in C^S,$$
$$ERT_i \leq \overline{ERT_i}, \forall\, i \in C^S,$$
$$ERT_j \leq \overline{ERT^d}. \tag{1}$$

Uma vez que um cliente "j" conhecido durante a realização do serviço foi aceito, as seguintes atualizações são realizadas:
$C_P^S = C_P^S \cup \{j\}$,
$C^d = C^d \setminus \{j\}$,
$\overline{ERT_j} = \overline{ERT^d}$

Tal abordagem de solução proposta desconsidera as restrições de capacidade do veículo, uma vez que os veículos considerados raramente têm a sua capacidade utilizada em sua totalidade.

A descrição lógica em alto nível do algoritmo de inserção proposto pelos autores é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 – Descrição da heurística de inserção

INICIALIZAÇÃO (off-line) k=0; Geração da rota atual α^kcom base nas solicitações conhecidas de antemão; Primeira fase: ATUALIZAÇÃO DA VIZINHAÇA (off-line) Determinar as rotas da vizinhança S_{α^k}, selecione a melhor rota $\hat{\alpha}^k$ e o conjunto $\alpha^k = \hat{\alpha}^k$; Segunda fase: INSERÇÃO DA SOLICITAÇÃO (on-line) Se um cliente inesperado solicita o serviço na parada i_k, então lide com a inserção de seu local de entrega; k ← k +1

Fonte: Adaptado de Coslovich *et al*. (2006).

Para a realização dos testes computacionais, Coslovich *et al*. (2006) construíram 540 diferentes instâncias em que as dimensões refletem conjuntos de dados típicos de um sistema real de transporte de pessoas considerado por Ambrosino *et al*. (1997). Os testes do algoritmo com dados numéricos gerados aleatoriamente mostraram que a solução gerada dinamicamente é muito próxima das soluções geradas estaticamente, nas quais as solicitações são conhecidas previamente à execução do serviço.

Assim como Coslovich *et al*. (2006), Beaudry *et al*. (2010) desenvolveram uma heurística de duas fases: a primeira é um procedimento simples de inserção para a geração de uma solução inicial em uma rota existente e a segunda uma heurística de melhoria baseada na meta-heurística Busca Tabu. O procedimento é desenvolvido para auxiliar na tomada de decisão de demandas de transporte que surgem em tempo real sendo testado com dados reais de um campo hospitalar localizado na Alemanha. Tal campo hospitalar opera uma frota de veículos de 11 ambulâncias com diferentes capacidades que se localizam em dois depósitos, transportando aproximadamente 250 pacientes por dia, e realiza a terceirização do serviço nos casos de solicitação de transportes fora do expediente de trabalho.

Para a avaliação dos resultados do processamento do algoritmo, os autores consideram a função objetivo, a qual busca a minimização de três critérios

ponderados por fatores que refletem o peso relativo da importância de cada critério, a saber: tempo total de viagem, tempo total de atraso e tempo total de antecipação. Para a comparação de três variantes do algoritmo (P1: apenas a fase de inserção; P2: fase de inserção seguida da busca tabu com melhoramento entre rotas; e P3: fase de inserção seguida da busca tabu com melhoramento intrarrotas), os autores utilizam dados reais do complexo hospitalar em questão, coletados durante um período de 20 dias, os quais apresentaram uma demanda média de 240 solicitações de transporte, das quais apenas 3,8% eram conhecidas no dia anterior à demanda e as demais se dividiram em 49,3% solicitadas entre (0 e 10] minutos antes do horário de transporte, 20,0% solicitadas entre (10 e 30] minutos e 26,3% solicitadas acima de 30 minutos. Os resultados foram comparados em termos de custo total da melhor solução: tempo de processamento, tempo de viagem, tempo de atraso, tempo de antecipação, número de veículos utilizados e tempo total de atividade no depósito.

Com tais informações, concluiu-se que a fase primária tem a capacidade de encontrar soluções rapidamente, com um tempo computacional médio de 2,8 minutos, porém as soluções com menores custos foram encontradas na fase secundária, sendo 48% inferior à fase primária, com tempos computacionais de 18,7 minutos e 45,3 minutos para combinações dentro de uma rota (P2) ou combinações entre diferentes rotas (P3), respectivamente.

Também estudando um complexo hospitalar, porém na França, Kergosien *et al*. (2011) propuseram uma modelagem e um algoritmo baseado na heurística Busca Tabu para resolver o problema de transporte de pacientes. Nele foram considerados uma frota com diferentes veículos com diferentes capacidades e um histórico de transporte de 46.000 viagens por ano, aproximadamente 130 viagens diárias. O método proposto foi testado com instâncias de dados reais e dados gerados aleatoriamente, com taxas de dinamismo (relação matemática do número de solicitações conhecidas dinamicamente dividido pelo total de solicitações existentes) entre 58% e 64% para os dados reais e demandas de transporte entre 112 e 130 solicitações para um serviço que apresenta uma média conhecida ao início do dia de 30%.

De forma geral, o sistema utiliza um procedimento de inicialização gerando soluções iniciais para os operadores e, após esse momento, ele fica aguardando uma nova solicitação para assim atualizar os dados e executar o algoritmo dinâmico. Após a realização dos testes computacionais, eles concluem que o método proposto, o qual visa minimizar o custo total de transporte, é flexível, robusto e capaz de apresentar boas soluções com tempos computacionais médios inferiores a cinco segundos. Por fim, os autores se posicionam quanto às pesquisas futuras, apresentando um direcionamento para a consideração de fatores dinâmicos dependentes do tráfego, tal como tempo de viagem.

No ano seguinte, Berbeglia *et al*. (2012) desenvolveram um algoritmo híbrido baseado na abordagem heurística Busca Tabu e na abordagem exata de Programação de Restrições (PRE), a fim de buscar a combinação da vantagem dos dois métodos para a resolução do DARP Dinâmico. O algoritmo foi capaz de determinar se o DARP gera solução viável ou não. De forma geral, o papel dos algoritmos se divide da seguinte forma: a TS continuamente otimiza a solução atual e tenta inserir solicitações que chegam à solução atual, podendo facilmente inserir uma nova solicitação na solução atual quando não apresenta restrições fortes; a PRE, executada em paralelo com o TS, busca encontrar uma solução viável ou provar que não há uma solução viável e compatível com as ações passadas existentes.

Além do algoritmo híbrido, os autores propuseram e compararam dois algoritmos de programação, chamados de Lazy e Eager: o algoritmo Lazy objetiva minimizar a violação do tempo máximo de viagem de cada solicitação sem aumentar a violação de janela de tempo de qualquer origem-destino; o Eager busca minimizar a hora de início do serviço para cada cliente sem aumentar a violação tanto da janela de tempo de cada cliente quanto do tempo de viagem de cada solicitação.

Para avaliar o desempenho do algoritmo híbrido e dos algoritmos de programação, foram realizados testes com conjuntos de duas instâncias artificiais e uma instância real de uma companhia de transportes dinamarquesa. De forma geral, as instâncias variam em capacidade dos veículos, número de veículos, número de solicitações, tempo máximo de viagem. A avaliação dos algoritmos se deu principalmente pelo

número de solicitações aceitas por cada algoritmo (TS ou PRE) para cada algoritmo de programação (*Lazy* ou *Eager*) e pela rejeição das solicitações, que se divide em tempo excessivo de processamento ou comprovação de não viabilidade.

Com os experimentos realizados nas instâncias dinâmicas, Berbeglia *et al.* (2012) concluíram que o algoritmo PRE se mostrou, algumas vezes, capaz de aceitar ou rejeitar solicitações que chegam e sua capacidade de provar a inviabilidade da solução varia consideravelmente, dependendo do tipo de instância e do tamanho da janela de tempo. Com relação ao TS, este tende a aceitar rapidamente as solicitações. Quanto aos algoritmos de programação, o Eager se mostrou mais vantajoso em relação ao Lazy, considerando o aspecto de aceitação de solicitações.

Raddaoui *et al*. (2013) propuseram uma abordagem distribuída para a resolução do DARP Dinâmico, a fim de reduzir o número de veículos, o tempo de viagem e aumentar o número de clientes atendidos. O problema é resolvido por meio de uma heurística multiobjetivo denominado “NSGA II” baseada no Algoritmo Genético e comparado com outro algoritmo multiobjetivo denominado “MOSA” baseado no método de busca *Simulated Annealing*, proposto por Zidi *et al*. (2010). No artigo de Zidi *et al*. (2010), eles trataram o DARP em sua abordagem estática, propondo um modelo matemático e um algoritmo baseado na meta-heurística *Simulated Annealing* para a busca de resultados próximos de uma solução ótima. Os autores apontam o alcance de bons resultados com os experimentos computacionais utilizando os critérios de avaliação de distância de viagem e duração da rota. Raddaoui *et al*. (2013) utilizaram o algoritmo de Zidi *et al*. (2010) para a abordagem dinâmica do DARP.

Raddaoui *et al*. (2013) tomaram como base um banco de dados e o algoritmo “MOSA” apresentado por Zidi *et al*. (2010) para a realização de testes do algoritmo proposto e comparação com o MOSA. Assim, são utilizadas instâncias artificiais de um banco de dados referente à publicação de Zidi *et al*. (2010). Com relação às instâncias utilizadas por Raddaoui *et al*. (2013), elas se diferenciam no número de solicitações de transporte (20 ou 35 solicitações por hora) e no número de veículos inseridos na função (10 ou 15 veículos). Os testes se dividem então em três cenários, e cada um apresenta cinco instâncias. Tais cenários se subdividem em: 10

veículos com 20 solicitações por hora, 15 veículos com 20 solicitações por hora e 10 veículos com 35 solicitações por hora.

Dado o objetivo de comparação dos algoritmos, são utilizados três indicadores: tempo médio de viagem, satisfação do cliente em termos do veículo e tempo de processamento da solução. Com relação aos indicadores, o algoritmo proposto pelos autores (NSGA-II) mostrou melhor desempenho para o tempo médio de viagem e satisfação do cliente, porém, desempenho inferior foi identificado quanto ao tempo de processamento da solução, com um tempo computacional de 52 segundos para o “MOSA” contra 72 segundos para a abordagem do Algoritmo Genético.

Para proporcionar subsídios à escolha de uma metodologia que melhor se adapte ao desenvolvimento de um sistema de roteirização aplicado ao transporte de cadeirantes, os trabalhos utilizados para a análise aqui presente foram selecionados por se situarem no grupo de problemas de coleta e entrega. Entre os sete trabalhos selecionados, seis abordam o transporte de pessoas em sua forma dinâmica e um a resolução do problema de roteirização dinâmica aplicado ao transporte de pequenos objetos, o serviço de correio. Tal seleção se faz viável porque o problema de transporte de cadeirantes consiste no transporte de pessoas, porém em geral com maior número de restrições, as quais se apresentam com maior rigidez. Para uma análise comparativa dos trabalhos abordados nesta seção, adiante são apresentadas três tabelas com uma síntese da literatura em questão.

A Figura 14 apresenta uma classificação de sete metodologias apresentadas em ordem cronológica decrescente, na qual constam o autor, as principais características do problema, a área de aplicação e as principais conclusões dos trabalhos.

Na coluna área de aplicação abordada na Figura 14, os trabalhos de Kergosien *et al*. (2011) e Beaudry *et al*. (2010) se aproximam do problema de transporte de cadeirantes por atuarem no setor de transporte hospitalar, os quais consideraram um grande número de restrições distintas devido às diferentes necessidades dos pacientes. Tais restrições dificilmente podem ser relaxadas, e isso ocorre devido às

limitações decorrentes das condições físicas dos pacientes e possíveis impactos de custo ao hospital com relação aos tempos de espera pelo paciente em virtude dos atrasos do transporte.

Na Figura 15, constam as abordagens sobre a resolução do problema de transporte dinâmico, o tipo de função objetivo, as variáveis abordadas na função objetivo e o fator determinante de mudança de rota, o qual é o responsável por gerar a demanda de uma nova roteirização.

Figura 14 – Resumo de informações de literaturas voltadas para a resolução do DARP dinâmico relativo à última década

Autor	Características do problema	Área de Aplicação	Principais Conclusões
Raddaoui *et al*. (2013)	*Instâncias artificiais; *10 a 15 veículos; *20 a 35 solicitações/hora.	Não especificado	Tempo médio de viagem e satisfação do cliente, algoritmo genético foi superior; Tempo de processamento da solução, *Simulated Annealing* foi superior (apresentou um menor tempo).
Berbeglia *et al*. (2012)	*Instâncias artificiais e reais; *Capacidade dos veículos entre 3 e 8; *24 a 200 solicitações ; *Tempo máximo de viagem de 60 a 120 minutos; *Janela de tempo nos vértices de 15 a 90 minutos.	Não especificado	CP: capacidade de de aceitação e rejeição de novas solicitações; *TS*: tende a aceitar rapidamente novas solicitações; O algoritmo de programação *Eager* se mostrou mais vantajoso do que o *Lazy* no aspecto de aceitação de novas solicitações.
Kergosien *et al*. (2011)	*Instâncias artificiais e reais; *Capacidade dos veículos unitária; *130 a 132 solicitações de transporte por dia; *15 ou 25 veículos; *Dois tipos de veículos; *Grau de dinamismo entre 47% e 76%.	Transporte de pacientes entre hospitais	O método apresentou vantagens de flexibilidade e robustez; Experimentos computacionais mostraram que o método pode encontrar boas soluções em menos de cinco segundos (em média), podendo auxiliar a atribuição de veículos e tripulação às novas demandas de transporte em tempo real.
Beaudry *et al*. (2010)	*Instâncias reais do hospital alemão; *Dois tipo de veículos; *Capacidade de carga do veículo entre 1 e 7; *Em média, 240 solicitações de transporte por dia; *Tempo máximo de viagem entre 21 e 30 minutos; *Janelas de tempo 5 ou 15 minutos; *Grau de dinamismo médio de 96%.	Transporte de pacientes dentro de um campo hospitalar	O método de inserção mostrou resultados inferiores ao processo de melhoramento *TS*, porém obteve os melhores tempos computacionais médios, de 2,8 minutos contra 18,7 e 45,3 minutos. A pós-otimização mostrou-se capaz de realizar melhorias significativas ao procedimento de inserção. De forma geral, o trabalho possibilitou uma significativa redução do tempo de espera aos pacientes utilizando poucos veículos.
Coslovich *et al*. (2006)	*Instâncias artificiais; *540 instâncias divididas em 18 cenários; *Número de cluster entre 1 e 3; *Clientes entre 25 e 50; *Número de clientes inesperados entre 5 e 15; * Percentual de tempo excessivo de transporte (50% ou 100%).	Transporte coletivo de pessoas	O método *on-line* apresentou resultados muito próximos do método de inserção *off-line*. Além disso, o método de inserção *off-line*, executado quantas vezes for possível durante o processo de transporte entre duas paradas reduz o número de operações em tempo real com respostas rápidas, o que se mostrou essencial para o caso.
Gendreau *et al*. (2006)	*5 instâncias artificiais; *Simulação de três cenários (4 ou 7,5 horas de simulação; 10 ou 20 veículos; 24 ou 33 solicitações por hora); *Não capacitado.	Serviços de correio	A descida adaptativa (*adaptative descent*) e o *Tabu Search* podem lidar com a complexidade de ambientes dinâmicos e produzir melhores resultados do que heurísticas simples, quando existe um tempo computacional suficiente.
Attanasio *et al*. (2004)	*Instâncias de Cordeau e Laporte (2003); 20 instâncias artificiais; *6 instâncias reais de uma companhia Dinamarquesa.	Não especificado	A computação paralela se mostrou benéfica para a roteirização em tempo real, com um percentual de aceitação de solicitações de 76,84%, 80,79% e 83,51% para as linhas de execução respectivas de 1, 4 e 8.

Fonte: Fraga Neto *et al.* (2014).

Figura 15 – Síntese dos métodos utilizados para a resolução do DARP dinâmico, variáveis da função objetivo e fator determinante de mudança de rota

Autor	**Abordagem de resolução**						**Tipo de F.O.**		**Variáveis abordadas na F.O.**										**FDDR**		
	Heurístico					**Exato**			**Econômicas**		**Qualidade do serviço**										
	Algoritmo de inserção	Algoritmo constutivo	Algoritmo Genético	*Simmulated Annealing*	*Tabu Search*	Programação de Restrições	Objetivo único	Multi-objetivo	Custo do roteiro	Custo de sub-contratação	Tempo de viagem	Tempo total de antecipação	Tempo total de atraso	Penalidade de horas extras	Distância da janela de tempo	Violação de carga	Número de estações visitadas	Satisfação das demandas de transporte em termos de veículo	Mudança de demanda	Mudança no tempo de viagem	Mudança nas condições de viagem
Raddaoui *et al* . (2013)			●	●				●	●		●						●	●	●		
Berbeglia *et al* . (2012)					●	●		●	●		●				●	●			●		
Kergosien *et al* . (2011)					●			●	●	●				●					●		
Beaudry *et al* . (2010)	●				●			●			●	●	●						●		
Coslovich *et al* . (2006)	●							●			●				●				●		
Gendreau *et al* . (2006)					●			●			●		●	●					●		
Attanasio *et al* . (2004)		●			●			●	●		●				●	●			●		
TOTAL	2	1	1	1	5	1	0	7	4	1	6	1	2	2	3	2	1	1	7	0	0

Fonte: Fraga Neto *et al*. (2014).

Ao analisar a Figura 15, percebe-se que os autores tendem a utilizar métodos de resolução dos problemas de transporte dinâmico por meio da heurística Busca Tabu. Todos os trabalhos foram tratados em forma de função multiobjetivo, o que normalmente apresenta um balanceamento entre a conveniência ao usuário do sistema de transporte e os custos à companhia de transporte. Essas funções objetivo normalmente com variáveis conflitantes entre si se mostraram bem distribuídas com relação à variedade. O destaque de variáveis econômicas foi para o custo do roteiro, com quatro considerações de tal variável, e cinco dos sete trabalhos utilizaram a variável tempo de viagem para ponderação com a qualidade do serviço. Por fim, todos os trabalhos analisados consideraram como fator determinante de mudança de rota a mudança da demanda.

Na Figura 16, são apresentados os critérios de avaliação utilizados pelos respectivos autores da literatura especializada para a mensuração dos resultados encontrados de acordo com a abordagem de resolução do problema utilizada.

Assim como na Figura 15, as variáveis da Figura 16 se mostram bem distribuídas com relação à variabilidade, porém os maiores destaques foram para a utilização das variáveis de diferença percentual entre os resultados dos métodos, tempo médio de viagem e tempo de processamento da solução. Isso mostra as características fundamentais do DARP Dinâmico apontadas anteriormente, o balanceamento entre eficiência nos resultados operacionais e conveniência aos usuários e a característica temporal necessária para a identificação de soluções do problema (busca de soluções em curto espaço de tempo).

Figura 16 – Critérios de avaliação utilizados para a mensuração dos resultados do método utilizado para a resolução do DARP dinâmico apresentada pela literatura

Autor/Ano	**Critérios de Avaliação**															
	Custo total da melhor solução	Custo de roteiro da solução	Diferença % entre os resultados dos métodos	Horas extras utilizadas	Nível de descontentamento	Número de aceitação de novas solicitações	Número médio de demandas de transporte sub-contratadas	Número médio de veículos utilizados	Percentual de clientes atendidos	Percentual médio dos clientes inesperados atendidos	Satisfação do cliente em termos do veículo	Tempo de antecipação	Tempo de atraso	Tempo de processamento da solução	Tempo médio de viagem	Tempo total de atividades no depósito
Raddaoui *et al*. (2013)											●			●	●	
Berbeglia *et al*. (2012)						●										
Kergosien *et al*. (2011)			●				●									
Beaudry *et al*. (2010)	●		●					●				●	●	●	●	●
Coslovich *et al*. (2006)			●		●					●						
Gendreau *et al*. (2006)				●									●	●	●	
Attanasio *et al*. (2004)		●							●							
TOTAL	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	1

Fonte: Fraga Neto *et al.* (2014).

2.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

As tomadas de decisões de roteirização e programação de veículos normalmente são auxiliadas por sistemas de informação (SI). A vasta utilização de tais ferramentas computacionais apresentadas pela literatura técnica ocorre pelo fato de tais problemas se apresentarem normalmente com um grande número de variáveis e restrições a serem manipuladas e combinadas para identificar soluções. Tais combinações, quando realizadas de forma empírica e manual, podem exigir elevados tempos para identificar soluções e estas podem apresentar-se com soluções distantes das ótimas que atendam às necessidades tanto dos usuários de transportes quanto do prestador do serviço. Nesta seção é apresentada uma breve conceituação de sistemas de informação, sua classificação e o processo de desenvolvimento de sistemas.

2.3.1 Conceituação de sistemas de informação

Os SI são ferramentas que podem desempenhar um papel fundamental para as organizações. O'Brien (2006) afirma que existem três papéis vitais que os SI podem desempenhar para uma empresa: suporte nos seus processos e operações; suporte na tomada de decisões de seus recursos humanos; e suporte em suas estratégias em busca de vantagem competitiva. Uma vez definida a sua relevância, vale a sua definição.

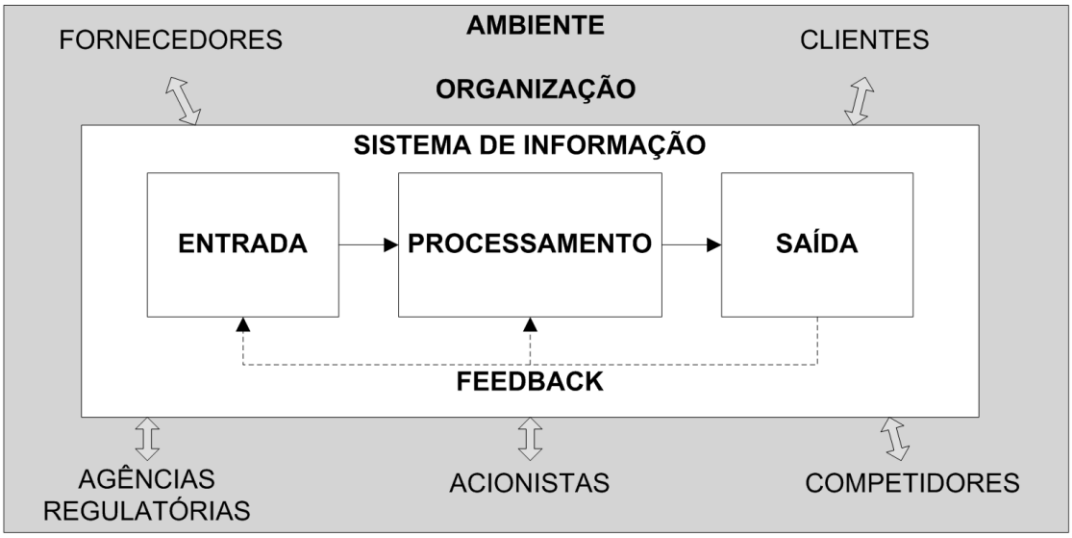
Stair e Reynolds (2002) definem os termos "sistema" e "sistema de informação". Para os autores, "sistema" consiste em um conjunto de elementos que interagem para cumprir determinadas metas. Nesse contexto, os autores abordam o inter-relacionamento entre componentes que coletam, manipulam e difundem dados e informações, proporcionando um mecanismo de *feedback* para atender a um objetivo como um "sistema de informação" (SI).

Um SI está diretamente relacionado a dados e informações, e a distinção entre tais termos se torna fundamental visto que Stair e Reynolds (2002) afirmam que os conceitos são frequentemente confundidos. O'Brien (2006) apresenta a distinção entre os termos e, segundo o autor, dados são fatos ou observações cruas,

normalmente sobre fenômenos físicos ou transações de negócios. Já as informações são dados que foram convertidos em um contexto que tenha significado e seja útil para usuários finais específicos. De forma sintética, o autor registra que dados podem ser encarados como recursos de matéria-prima que são processados em produtos acabados de informação.

Para a conversão de tais dados em informações, um SI realiza quatro atividades sequenciais que coletam (entrada), manipulam (processamento), distribuem (saída) os dados e as informações e fornecem um mecanismo de *feedback* para atender a um objetivo (STAIR e RAYNOLDS, 2002). Na Figura 17, apresentam-se as funções de um sistema de informação.

Figura 17 – Funções de um sistema de informação



Fonte: Adaptado de Stair e Reynolds (2002) e Laudon e Laudon (2006).

Laudon e Laudon (2006) classificam os componentes do sistema de informação da seguinte forma:

- Entrada: coleta os dados brutos de dentro de uma organização ou do seu ambiente externo.

- Processamento: transforma as entradas brutas em configurações significativas.

- Saída: transfere a informação processada para pessoas ou para atividades que a utilizarão.

- *Feedback*: é denominado como uma saída destinada para membros apropriados da organização para auxiliá-los na avaliação ou correção do tratamento dos dados de entrada.

Para a operacionalização dos componentes do SI, O'Brien (2006) apresenta os recursos necessários, os quais se dividem em recursos humanos (usuários finais e especialistas em SI), recursos de *software* (programas e procedimentos), recursos de *hardware* (máquinas e mídias), recursos de rede (meios de comunicação e suporte de rede) e recursos de dados (banco de dados e bases de conhecimento).

2.3.2 Sistemas de informação empresariais

No contexto empresarial, os SI desenvolvidos para suporte de processos, operações e tomada de decisão podem ser classificados segundo seu tipo. Stair e Reynolds (2002) definem quatro tipos mais comuns de SI empresariais em termos corporativos, a saber: de processamento de transações (*E-commerce*), de informações gerenciais, de suporte à decisão e de inteligência artificial. Maiores detalhes de tais tipos são apresentados a seguir.

Sistema de processamento de transações (SPT): consiste em uma coleção organizada de pessoas, procedimentos, *software*, banco de dados e dispositivos com o objetivo de registrar as transações empresariais realizadas.

Sistemas de informação gerenciais (SIG): assim como no SPT, abrange uma coleção organizada de pessoas, procedimentos, *software*, banco de dados e dispositivos que fornecem informações rotineiras aos gerentes e tomadores de decisão.

Sistemas de suporte à decisão (SSD): também consiste em uma coleção organizada de pessoas, procedimentos, *software*, bancos de dados e dispositivos usados para dar suporte à tomada de decisão em um problema específico. Além disso, os

autores completam que os SSD são usados onde o problema é complexo e a informação necessária para a melhor decisão é difícil de obter e de usar.

Inteligência artificial e sistemas especialistas: são sistemas de computador que assumem as características da inteligência humana.

Considerados os quatro tipos mais comuns de SI empresariais, esta pesquisa incide em SI do tipo SSD, e um maior detalhamento de suas características é apresentado na seção seguinte, fazendo-se necessário para o desenvolvimento de tal tipo de sistema.

2.3.3 Sistemas de suporte à decisão

Os SI do tipo SSD dão assistência a problemas mais complexos e sua ênfase recai sobre estilos e técnicas individuais de tomada de decisão (STAIR e REYNOLDS, 2002). Os últimos autores dizem que, em geral, tais técnicas podem ser baseadas em três abordagens: modelo de otimização, modelo convencional e modelos heurísticos.

Os modelos de otimização consistem em modelos matemáticos utilizados para a busca de soluções ótimas para determinados problemas. A vantagem na utilização de tais modelos consiste em que seus resultados apresentam as melhores soluções possíveis para o problema, porém, dependendo do tipo e do número de variáveis do problema, o número de combinações possíveis é tão grande, que se torna inviável a sua execução em tempo computacionalmente aceitável.

Os modelos convencionais normalmente não procuram todas as soluções possíveis, mas somente aquelas que provavelmente darão bons resultados, considerando um menor número de opções para a busca das soluções. Tais modelos são normalmente usados, pois a modelagem do problema para obter uma solução ótima pode ser muito difícil, complexa ou cara (STAIR; REYNOLDS, 2002).

Já os modelos heurísticos são algoritmos desenvolvidos normalmente para lidar com problemas grandes, para os quais os modelos de otimização necessitam de um

longo tempo computacional para a sua resolução. Tais modelos são extremamente eficientes, mas não garantem uma solução ótima (HILLIER; LIEBERMAN, 2006). De forma complementar, Stair e Reynolds (2002) afirmam que tais modelos são muito utilizados na tomada de decisão e frequentemente estão relacionados aos “princípios básicos”, que são diretrizes ou procedimentos comumente aceitos e, em geral, levam a uma boa solução.

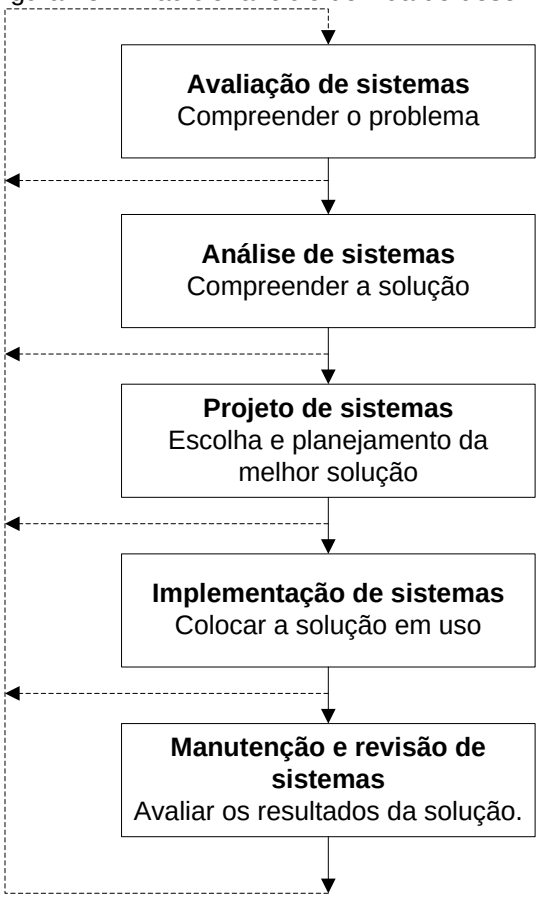
Os SSD se apresentam em diferentes categorias de aplicação, uma delas são os sistemas de informação geográficos. Obrien e Marakas (2010) relatam que essa categoria especial de SSD usam bases de dados geográficas para construir e apresentar mapas, e ainda dão suporte à tomada de decisões afetadas pela distribuição geográfica da população e outros recursos.

Os SI podem ser desenvolvidos com um ou mais de um modelo; no segundo caso, diz-se que o sistema apresenta um banco de modelos. O banco de modelos de um SDD tem como principal propósito oferecer aos tomadores de decisão o acesso a uma variedade de modelos para auxiliá-los no processo de tomada de decisão (STAIR; REYNOLDS, 2002).

2.3.4 Desenvolvimento de sistemas de informação (SDD)

Para o desenvolvimento de um SI, diferentes modelos são propostos na literatura de sistemas de informação. Stair e Reynolds (2002) apresentam um modelo em cinco etapas (Figura 18).

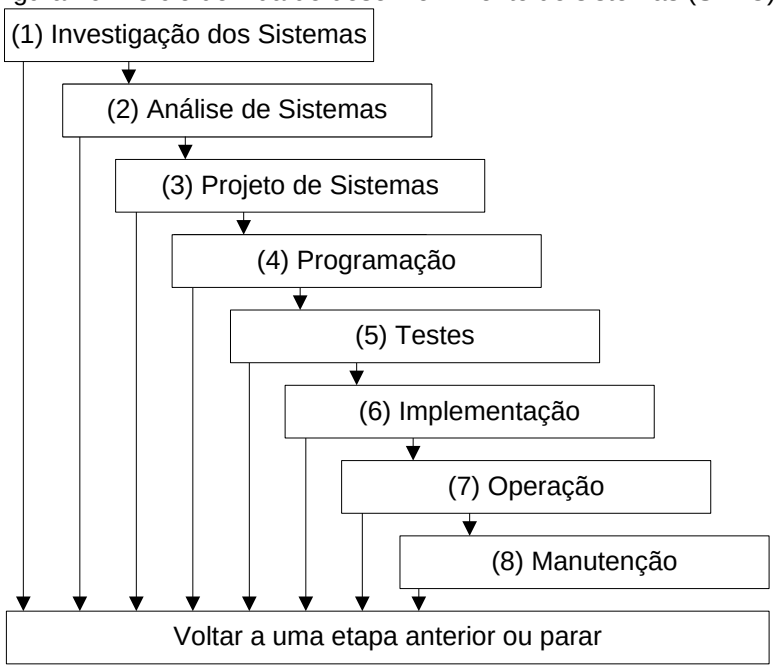
Figura 18 – Tradicional ciclo de vida do desenvolvimento de sistemas



Fonte: Adaptado de Stair e Reynolds (2002).

Turban *et al*. (2003) apresentaram um modelo em oito etapas, próximo ao modelo de Stair e Reynolds (2002), presente na Figura 19.

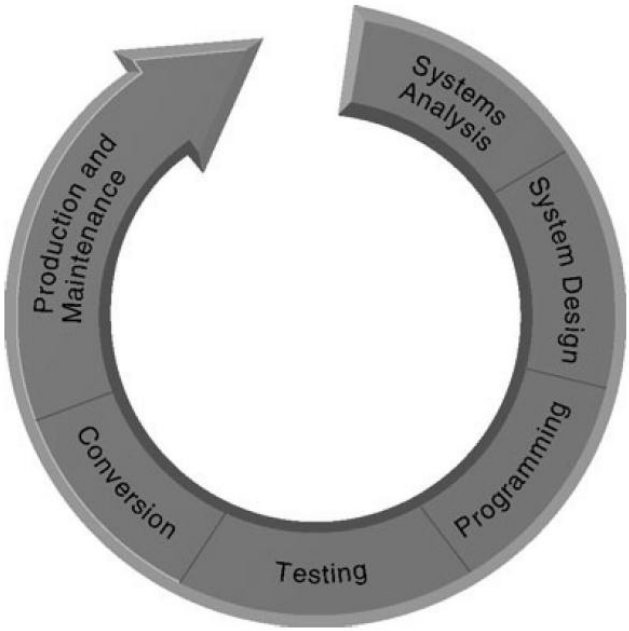
Figura 19 – Ciclo de vida do desenvolvimento de sistemas (SDLC) em oito etapas



Fonte: Adaptado de Turban *et al*. (2003).

Laudon e Laudon (2011) apresentam o modelo de processo de desenvolvimento do sistema em seis atividades principais, apresentadas na Figura 20.

Figura 20 – O processo de desenvolvimento de sistemas



Fonte: Laudon e Laudon (2011).

As seis etapas apresentadas na Figura 20 são descritas a seguir, de acordo com Laudon e Laudon (2011).

1.ª – *System Analysis* (Análise do Sistema): corresponde à análise do problema que a organização busca resolver com o sistema de informação. Consiste na definição do problema, identificação de suas causas, especificação da solução e identificação de informações necessárias que devem ser encontradas pelo sistema.

2.ª – *System Design* (Projeto do Sistema): esta etapa mostra como o sistema realizará os problemas e alcançará os objetivos identificados na etapa 1.

3.ª – *Programming* (Programação): durante esta etapa, as especificações do sistema que foram desenvolvidas durante a etapa 2 (Projeto do Sistema) são traduzidas em linhas de código do *software*.

4.ª – *Testing* (Testes): são realizados testes do algoritmo desenvolvido para verificar se ele produz resultados corretos. Segundo os autores, os testes são demorados e os dados para teste devem ser cuidadosamente preparados, os resultados revisados e as correções realizadas no sistema.

5.ª – *Conversion* (Conversão): esta etapa consiste no processo de mudança do sistema antigo para o novo sistema.

6.ª – *Production and Maintenance* (Produção e Manutenção): nesta etapa, o sistema será revisado pelos especialistas técnicos e usuários para determinar quão bem os objetivos iniciais são alcançados e se alguma revisão ou modificação é necessária. Nesse contexto, as alterações, correções de erros e melhoria da eficiência do processo são definidas como manutenção.

Laudon e Laudon (2011) apresentam uma tabela com a síntese das atividades de desenvolvimento de um sistema, presente na Tabela 7.

TABELA 7 – SÍNTESE DAS ATIVIDADES DE DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO

ATIVIDADE PRINCIPAL	DESCRIÇÃO
Análise do sistema	Identificação dos problemas Especificação de soluções Definição de informações necessárias
Projeto do sistema	Desenvolvimento das especificações do projeto
Programação	Tradução das especificações de projeto em código de programação
Testes	Realização de testes unitários Realização de testes do sistema Realização de testes
Conversão	Plano de conversão Preparação de documentação Treinamento de usuários e equipe técnica
Produção e manutenção	Operação do sistema Avaliação do sistema Modificação do sistema

Fonte: Laudon e Laudon (2011).

Além dos métodos tradicionais de desenvolvimento de um sistema, existem também outros métodos e aqui se destaca o de Desenvolvimento Rápido de Aplicação (*Rapid Application Development* – RAD). Laudon e Laudon (2011) descrevem que tais métodos são utilizados para a criação de sistemas funcionais em um período de tempo muito curto.

Segundo Turban, Rainer e Potter (2003), com o RAD, os usuários são envolvidos logo cedo no processo de desenvolvimento e essa é uma de suas principais vantagens. Os autores argumentam, ainda, que pacotes típicos de RA*D* incluem:

- ambiente gráfico de desenvolvimento para o usuário: a capacidade de criar vários aspectos de uma aplicação por meio de arrastar e soltar aplicações;

- componentes reutilizáveis: uma biblioteca de objetos padronizados, comuns, como botões e caixas de diálogo;

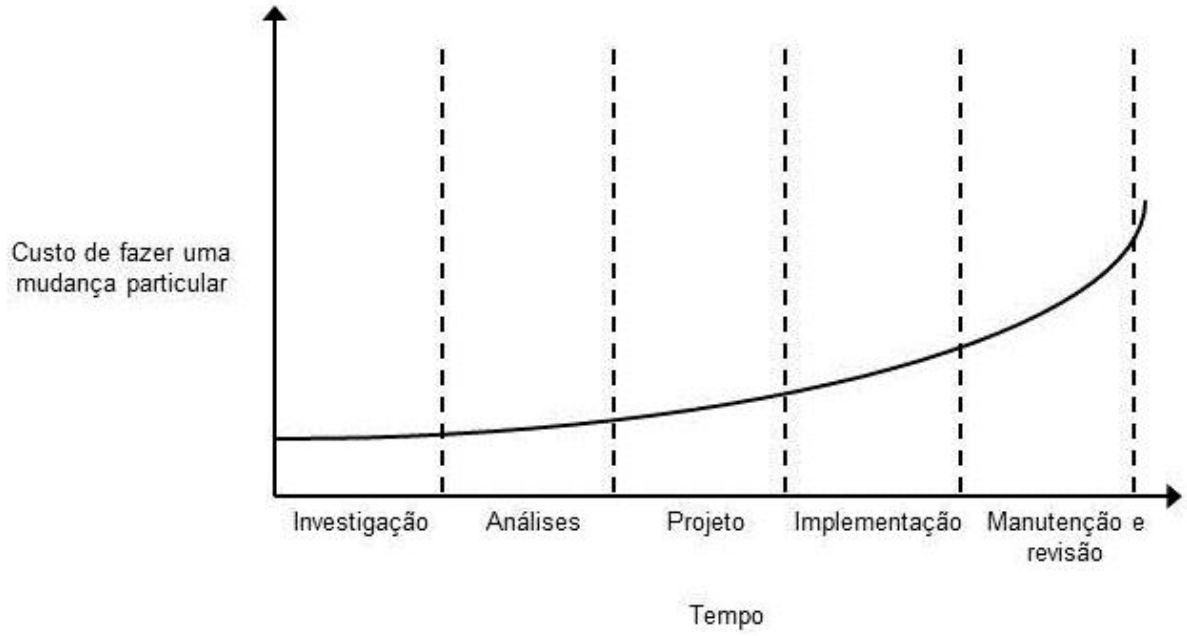
- gerador de código: após a manipulação de componentes do projeto, o pacote escreve automaticamente os programas de computador;

- linguagem de programação: como o Visual Basic ou o C++, os pacotes incluem um Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) para desenvolver, testar e depurar o código de computador.

Stair e Reynolds (2002) afirmam que, com o RAD, sistemas inteiros podem ser desenvolvidos em menos de seis meses e que o Visual Basic da Microsoft foi utilizado com tal método em contratos, como o projeto *U.S. Air Force's Non-Approprieated Funds*. Os autores ressaltam também que, por todo o projeto RAD, os usuários e analistas de desenvolvimento trabalham juntos, como uma só equipe, o que promove menor risco de tomada de decisão ao grupo, resultando em melhores sistemas, com prazos de entrega menores.

Um ponto de atenção apresentado por Stair e Reynolds (2010) com relação ao desenvolvimento de sistemas é o custo de modificação do sistema ao longo do tempo. Na Figura 21, registra-se a análise que mostra que, quanto maior a distância do início do projeto, maior o custo de uma modificação dele.

Figura 21 – Relacionamento entre o momento temporal do erro e seus custos



Fonte: Adaptado de Stair e Reynolds (2010).
LEGENDA – *Investigation* (Avaliação); *Analysis* (Análise); *Design* (Projeto); *Implementation* (Implementação); *Maintenance and review* (Manutenção e revisão); *Cost to make a particular change* (Custo de uma modificação específica) e *Time* (Tempo).

2.4 CONSOLIDAÇÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados conceitos relacionados ao transporte de cadeirantes, roteirização de veículos e sistemas de informação.

Com relação ao transporte de cadeirantes, foram apresentadas legislações e estatísticas relacionadas aos indivíduos cadeirantes. Destaca-se, nesta seção, o Decreto Federal 5.296/2004 no âmbito federal, que regulamenta as Leis Federais n.º 10.048/2000 e n.º 10.098/2000. Já no âmbito estadual e municipal, destaca-se a Norma Complementar Municipal n.º 001/2005, a qual regulamenta a operação do Serviço Especial Mão na Roda. Ao final, são apresentadas estatísticas relacionadas às pessoas portadoras de deficiência motora e à perspectiva de crescimento da demanda por transporte de cadeirantes.

Na seção de roteirização de veículos, foi apresentada uma breve revisão de literatura sobre roteirização e programação de veículos, e o destaque se dá à roteirização dinâmica aplicada ao transporte de pessoas por ser o tema deste trabalho. Entre os métodos de resolução do DARP Dinâmico, destacaram-se os métodos heurísticos, em específico a heurística de Busca Tabu se apresentou com o maior número de utilização entre os trabalhos científicos pesquisados.

A seção de sistemas de informação apresentou uma conceituação do tema e o foco foi direcionado aos Sistemas de Suporte à Decisão por se alinhar com o tipo de sistema a ser desenvolvido nesta pesquisa. Além disso, foram apresentadas diferentes metodologias de desenvolvimento de sistemas, e a referencial para esta pesquisa é a apresentada por Turban *et al*. (2003). Com relação à linguagem de desenvolvimento de sistemas, o Visual Basic será a linguagem base para esta pesquisa, com a qual autores relatam que sistemas inteiros podem ser desenvolvidos em até seis meses com o apoio do método RAD e a utilização de tal linguagem.

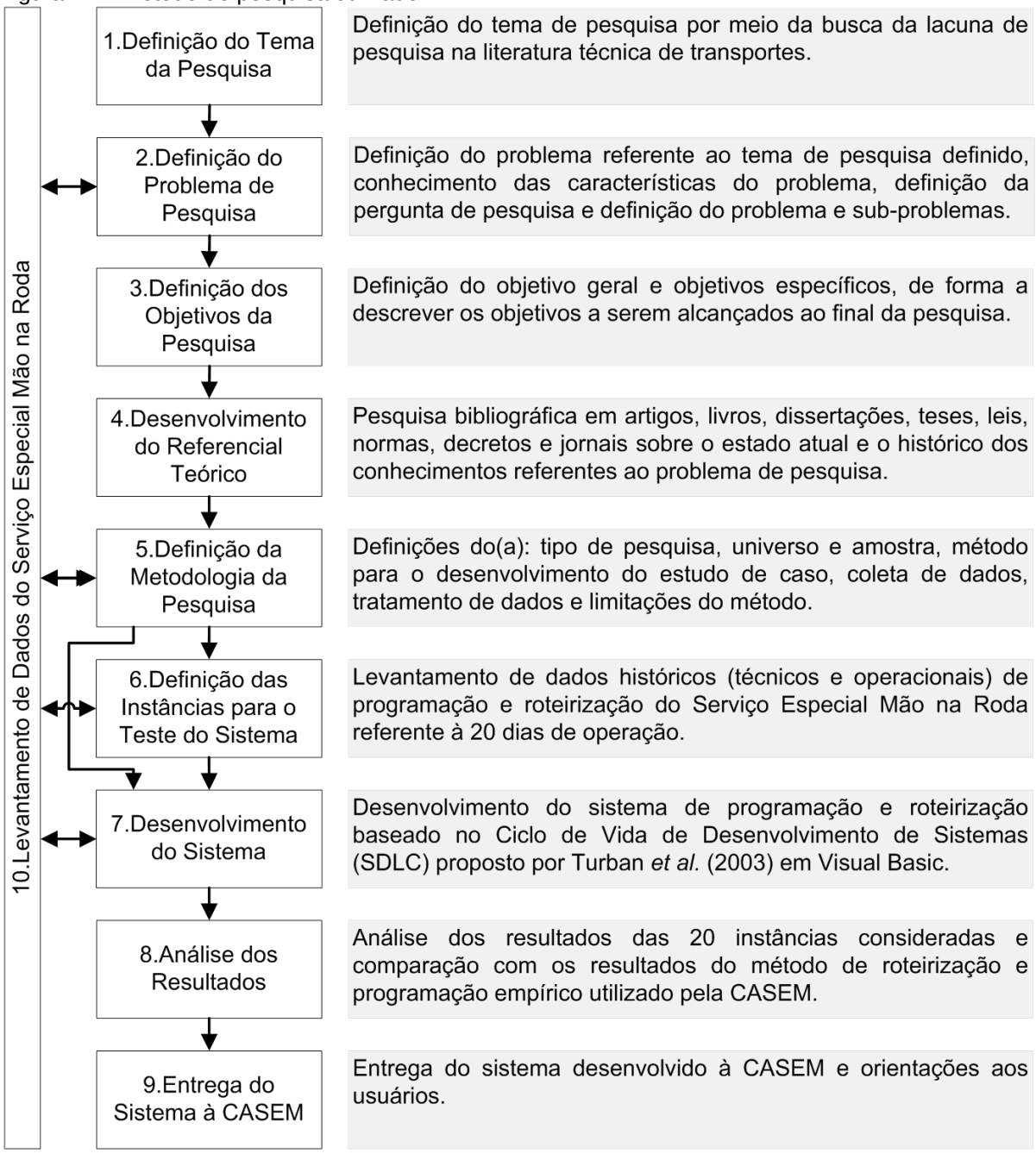
3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada neste estudo. Para isso, o capítulo se divide em seis seções: na primeira, é apresentado o método de pesquisa com as respectivas etapas e detalhamento; adiante, a pesquisa é classificada quanto aos fins e aos meios; são definidos o universo e amostra; é apresentado o plano de coleta e tratamento de dados; por fim, a seção de limitações do método encerra o capítulo.

3.1 MÉTODO DA PESQUISA

O desenvolvimento da pesquisa se dá de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 22.

Figura 22 – Método de pesquisa utilizado



Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

3.2 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa pode ser classificada quanto aos fins e aos meios, conforme proposto por Vergara (2007). Quanto aos fins, ela se classifica como aplicada, metodológica e exploratória; quanto aos meios de investigação, é bibliográfica, documental, estudo de caso.

Quanto aos fins, as evidências das classificações são apresentadas a seguir:

- **Aplicada** — A pesquisa visa resolver um problema concreto existente no serviço de transporte de cadeirantes “Mão na Roda” e tal problema consiste na maneira como a organização deve roteirizar uma frota de veículos que realizam as coletas e entregas simultâneas de pessoas cadeirantes, considerando fatores dinâmicos.

- **Metodológica** — Uma vez que o trabalho tem por objetivo desenvolver uma ferramenta para o suporte na tomada de decisão (sistema de roteirização dinâmica), tal classificação é evidenciada.

- **Exploratória** — É desconhecida a aplicação do método escolhido de resolução de problema no contexto de transporte de cadeirantes, considerando fatores dinâmicos; por isso, pela falta de conhecimento acumulado e sistematizado, a pesquisa é dita como exploratória.

Com relação aos meios de investigação, as evidências da classificação são apresentadas abaixo:

- **Bibliográfica** — A pesquisa tem por base estudos prévios desenvolvidos e publicados em artigos, revistas, dissertações, teses, jornais, relatórios, leis e decretos para o desenvolvimento do referencial teórico e definição do método referencial para a resolução do problema.

- **Documental** — Para a realização do estudo de caso, foram utilizados documentos internos da organização, os quais apresentam dados de programações previamente planejadas e executadas, dados de localização dos clientes disponibilizados no sistema de informação interno e dados fornecidos pelos programadores de rota, motoristas e clientes.

- **Estudo de caso** — O desenvolvimento e aplicação do método visam a um contexto específico: o serviço de transporte de cadeirantes Mão na Roda

ofertado pela Companhia de Transportes Urbanos da Grande Vitória (CETURB-GV).

3.3 POPULAÇÃO E AMOSTRA

A população de pesquisa consiste nos usuários cadeirantes cadastrados no Serviço Especial Mão na Roda, localizados na Região Metropolitana da Grande Vitória-ES, o qual atende às cidades de Cariacica, Fundão, Serra, Viana, Vila Velha e Vitória. Uma representação visual da região da Grande Vitória é apresentada por meio do mapa na Figura 24. O número de usuários cadastrados no serviço é de 3.525, segundo informações da CASEM (Central de Atendimento de Serviço Especial Mão na Roda), em 18 de julho de 2014.

Com relação às amostras para a realização dos testes computacionais, foram utilizados dados históricos de programação e roteirização da CASEM dos usuários que solicitaram o serviço nas datas-alvo. Sendo assim, foram utilizadas 20 amostras históricas, e cada amostra representa um dia de operação do serviço de transporte para todos os veículos e clientes que solicitaram o serviço na data. A escolha de tal número se dá pelo *benchmark* apresentado na literatura técnica. Cordau e Laporte (2003) utilizam 20 instâncias de dados para testes computacionais, Beaudry *et al*. (2010) utilizam 20 dias de operação para teste do algoritmo proposto e Fraga Neto e Cardoso (2014a) utilizam 20 amostras de rota para efeito de comparação entre a roteirização empírica e o sistema de roteirização proposto para um armazém.

3.4 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada diretamente na CASEM, local onde são realizadas as programações e roteirizações diárias dos veículos do Serviço Especial Mão na Roda e com o auxílio da ferramenta *Google Maps* (2015). Os dados tiveram registros mediante acompanhamento da realização das atividades dos programadores de rotas, entrevistas diretas com os programadores e motoristas, análise de registros em documentos que apresentam o histórico de programação e roteirização (sistema de informações de programação da CASEM), com os dados de planejamento e execução, com dados operacionais e consulta de distâncias de origem e destino por

meio do *Google Maps*. Para ilustração e conhecimento, a Figura 23 apresenta um exemplo de um documento emitido pelo sistema de informações da organização.

Figura 23 – Imagem da página 1 do documento Lista de Viagens com os dados de planejamento e execução de um dia de operação de um veículo (50001), realizada em 1.º de agosto de 2014

Lista de Programação Veículo - 50001- Data: 01/08/2014 - Total de viagens: 25											
Item	Credencia	Beneficiário	Embarque	Desembarque	Hora Emb.	Hora Desemb	Hora Emb. Real	Hora Desemb. Rea	Od. Embarque	Od. Desembarque	Motivo Cancelamento
1	1536	X1	R. PARA, 25, NORMÍLIA CUNHA, VILA VELHA	AV. PROFESSOR FERNANDO DUARTE RABELO, 70, GOIABEIRAS VITORIA	05:20	07:00	**05:20**	**07:00**	**291917**	**291956**	
2	2232	X2	R. CAPITAO VIEIRA DE MELO, 338, VILA GARRIDO VILA VELHA	R. SERVIDAO VITORIA SANTANA RIBEIRO, 30, CARATOÍRA, VITORIA	05:45	06:20	**05:45**	**06:20**	**291935**	**291942**	
3	935	X3	R. ANTONIO AUGUSTO VIEIRA, 102, ILHA DAS FLORES, VILA VELHA	AV. PROFESSOR FERNANDO DUARTE RABELO, 70, GOIABEIRAS VITORIA	05:55	07:00	**05:55**	**07:00**	**291937**	**291956**	
4	2153	X4	R. PINHEIRO JUNIOR, 104, ARGOLAS VILA VELHA	R. do canal, 0, JARDIM DA PENHA, VITORIA	06:05	06:45	**06:05**	**07:20**	**291939**	**291960**	
5	813	X5	R. PROMOTO DIOGENE MALACAF , 54, SOLON	AV GERONIMO MONTEIRO, 790, GLÓRIA, VILA VELHA	07:20	08:00	**07:10**	**08:00**	**291957**	**291978**	

Fonte: Adaptado de dados levantados por meio do sistema de informação da CASEM em 1.º de novembro de 2015.

A escolha dos 20 dias de operação para a coleta de dados foi realizada com base na sugestão dos programadores de rota. Desse modo, os programadores indicaram 20 dias de operação do serviço de transporte de cadeirantes em questão e os dados relacionados foram extraídos do sistema de informação. Como premissa, os programadores foram orientados para a indicação dos dias de amostra com número de solicitações superiores ao número de solicitações médias diárias (períodos com elevadas demandas e altos índices de solicitações não programadas).

Os dados da CASEM necessários e disponíveis para a realização da programação e roteirização, assim como as respectivas fontes, são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Dados de variáveis necessárias para a realização da programação e roteirização dinâmica

(continua)

Identificador	Dados de variáveis	Necessário	Disponível	Fonte
1	Data desejada de realização do transporte	X	X	DLD
2	Credencial do cliente (número de identificação do cliente)	X	X	DLD
3	Embarque (endereço do local de embarque desejado pelo cliente)	X	X	DLD
4	Desembarque (endereço do local de desembarque desejado pelo cliente)	X	X	DLD
5	Hora desejada de embarque ou hora desejada de desembarque	X	X	*CE
6	Prioridade do cliente	X	X	DLD
7	Localização dos veículos no momento da roteirização	X		DLD
8	Programação e roteirização prévia realizado do veículo	X	X	DLD
9	Distância entre os locais de origem e destino	X	X	GM
10	Velocidade média de operação do veículo	X	X	CPR
11	Número de veículos disponíveis	X	X	DLD
12	Capacidade dos veículos disponíveis	X	X	CPR
13	Tolerância máxima de tempo de espera do cliente pelo veículo	X	X	CPR
14	Tolerância máxima de tempo de espera do veículo pelo cliente	X	X	CPR
15	Tempo máximo de viagem dos clientes (tempo máximo permitido de permanência do cliente no veículo)	X	X	CPR
16	Hora embarque (programada)	X	X	DLD
17	Hora desembarque (programada)	X	X	DLD
18	Número da programação realizada	X	X	DLD

Tabela 8 – Dados de variáveis necessárias para a realização da programação e roteirização dinâmica

(conclusão)

19	Placa do veículo		X	DLD
20	Odômetro inicial (registro da informação do odômetro no início do roteiro)		X	DLD
21	Odômetro final (registro da informação do odômetro no final do roteiro)		X	DLD
22	Nome da lista de viagem (identificação do documento)		X	DLD
23	Item (identificação do trecho programado: origem-destino)		X	DLD
24	Beneficiário (nome do cliente)		X	DLD
25	Hora embarque realizado (hora de embarque do cliente)		X	DLD
26	Hora desembarque realizado (hora de desembarque do cliente)		X	DLD
27	Odômetro embarque (registro da informação do odômetro no embarque)		X	DLD
28	Odômetro desembarque (registro da informação do odômetro no desembarque)		X	DLD
29	Intervalo de parada dos veículos para refeição dos motoristas		X	CPR

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Entre as 29 variáveis apresentadas na Tabela 8, as variáveis de identificador 19 a 29 não são necessárias para a realização da programação e roteirização. Entre as variáveis, as de identificador 5 e 9 merecem especial atenção.

A variável de identificador 5 (hora desejada de embarque ou hora desejada de desembarque) foi classificada empiricamente, visto que a base de dados do sistema de programação do Mão na Roda não apresenta tais informações e o volume de solicitações para a classificação é elevado (para as solicitações previamente programadas). Nesse contexto, foi considerada a hora programada para o atendimento como o horário solicitado de atendimento.

A variável de número 9 se apresenta como necessária e disponível, porém, após a verificação de tal variável registrada pelos dados do sistema, mostrou diferenças significativas entre as distâncias registradas no documento Lista de Viagem ante os dados de distância fornecidos pelo *Google Maps*. Desse modo, tais dados da variável foram identificados com apoio da ferramenta *Google Maps* para a identificação das coordenadas de latitude e longitude. A utilização de uma base de

dados única de distâncias de origem e destino se faz necessária porque a utilização de diferentes bases de dados (ou distâncias incertas registradas) pode gerar diferenças significativas, as quais inviabilizam a comparação entre o método atual e o método proposto por esta pesquisa.

3.5 TRATAMENTO DOS DADOS

Em posse do documento Lista de Viagem, dos dados fornecidos pela equipe de programadores de rota e dados do *Google Maps* referentes aos 20 dias de operação do Serviço, os dados foram inseridos e tabulados em planilhas eletrônicas do *software* Microsoft Excel 2010, de forma a gerar o banco de dados para o desenvolvimento do estudo de caso.

Para o desenvolvimento da matriz de distâncias entre todos os possíveis locais de paradas (2317 locais), os endereços cadastrados foram inseridos em planilha eletrônica e, com apoio de uma função, foram levantadas as respectivas coordenadas de latitude e longitude no *Google Maps*. Em posse de tais dados de coordenadas, foram elaboradas quatro bases de dados, calculadas por meio de distância euclidiana, sendo cada uma ajustada com os seguintes fatores de correção de distâncias: 1,0; 1,1; 1,2 e 1,3. Por distância euclidiana, entende-se a distância em linha reta entre dois pontos (RIBEIRO *et al*., 2011). Como referência, Ribeiro *et al*. (2011) utilizam o fator de correção (coeficiente euclidiana) igual a 1,35, Kripka *et al*. (2008) consideram a utilização de tais coeficientes de ajustamento com o valores de 1,238 e 1,328, já o *software* TransCAD utilizado para roteirização, considera por padrão um fator de ajuste de 1,3 para tais distâncias (CALIPER, 2011).

A caraterização da solicitação quanto ao tipo de agendamento (agendamento através do horário desejado de embarque ou horário desejado de desembarque) se faz necessária. Desse modo, as variáveis com horário de desembarque antes das 12h foram classificadas como solicitações agendadas como horário desejado de desembarque. Já as demais solicitações foram classificadas como horários desejados de embarque para a realização da programação via sistema de roteirização e programação proposto.

A conversão das demandas de transporte da perspectiva estática para a dinâmica ocorreu por meio da consideração de que todas as solicitações não programadas para cada dia amostral de operação surgiram no momento da roteirização; portanto, todas as solicitações não programadas foram consideradas como novas solicitações a serem programadas para os respectivos dias. Isso faz com que os dados não representem a realidade dinâmica da organização, e sim que se criem cenários dinâmicos de testes que sejam úteis para o teste da capacidade do sistema proposto e que sejam evidenciados no futuro da organização, uma vez que se alteram as restrições de tempo para a aceitação do atendimento dos clientes.

Para a consideração das solicitações surgidas dinamicamente para a inserção nos roteiros existentes, foram utilizadas as solicitações não atendidas nas respectivas datas como solicitações surgidas no início do momento da execução do sistema de programação e roteirização proposto, ou seja, as solicitações não atendidas foram convertidas em solicitações surgidas dinamicamente no início da programação e roteirização.

3.6 LIMITAÇÕES DO MÉTODO

Como citado anteriormente, o método de programação e roteirização dinâmica utilizado (heurística de inserção) é um método de pesquisa operacional que não tem o compromisso de garantir a solução ótima, e sim buscar soluções e/ou aperfeiçoá-las em um tempo computacional aceitável ou para um determinado número de iterações. Com isso, o método utilizado tem como limitação a possibilidade de apresentar resultados que não sejam o melhor resultado possível (solução ótima).

O objetivo do sistema de roteirização e programação dinâmica visa definir a sequência de coletas e entregas de diferentes veículos, considerando as restrições e objetivos operacionais; logo, a decisão de caminho (ruas que serão percorridas) a ser seguido entre os pontos de coleta e entrega é uma decisão a ser tomada pelos motoristas.

Para a realização dos testes computacionais com os dados coletados e tratados (endereços de paradas), foram utilizados dados de coordenadas geográficas de

latitude e longitude, provenientes da ferramenta *Google Maps,* e com as distâncias entre pontos, calculadas via distância euclidiana. Tais distâncias podem não representar precisamente a distância entre origens e destinos percorrida pelos veículos, porém se torna válido para efeito de comparação, uma vez que os dados de programação e roteirização do método atual comparado com o método proposto ocorrerão com a mesma base de dados de distâncias (matriz de origem e destino única para o realizado e o programado).

O método de programação e roteirização apresentado tem o compromisso de buscar soluções considerando as restrições existentes. Dessa maneira, o relaxamento das restrições não é objetivo de estudo, caracterizando assim uma limitação do método.

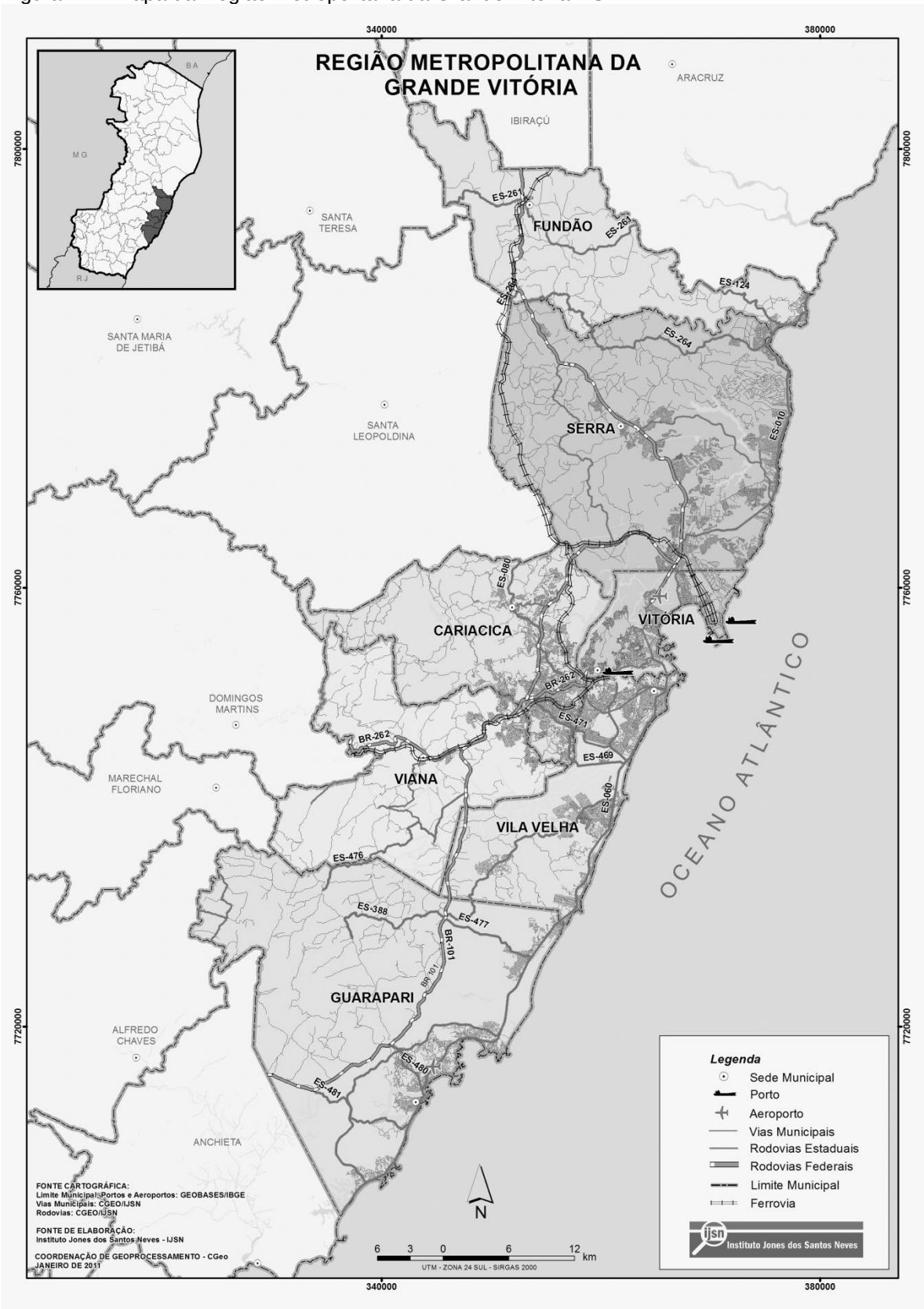
A heurística desenvolvida também se limita a não considerar as origens das garagens dos veículos e os horários de parada dos veículos para horários de parada necessários dos motoristas, por exemplo. São assumidos que tais horários são considerados como previamente inseridos nos roteiros por parte dos programadores de rota.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SERVIÇO ESPECIAL MÃO NA RODA

O Serviço Especial Mão na Roda é um serviço de transporte de cadeirantes que tem por objetivo oferecer um atendimento diferenciado de transporte coletivo urbano para cadeirantes da região da Grande Vitória-ES, proporcionando completa inclusão social nos seus compromissos profissionais, médicos, de educação ou lazer (CETURB, 2014). A região da Grande Vitória abrange as cidades de Cariacica, Fundão, Guarapari, Serra, Viana, Vila Velha e Vitória, porém, entre as cidades citadas, a de Guarapari não é atendida pelo serviço, segundo informações da CASEM. Uma representação visual da região da Grande Vitória é apresentada pelo mapa na Figura 24.

Figura 24 – Mapa da Região Metropolitana da Grande Vitória-ES



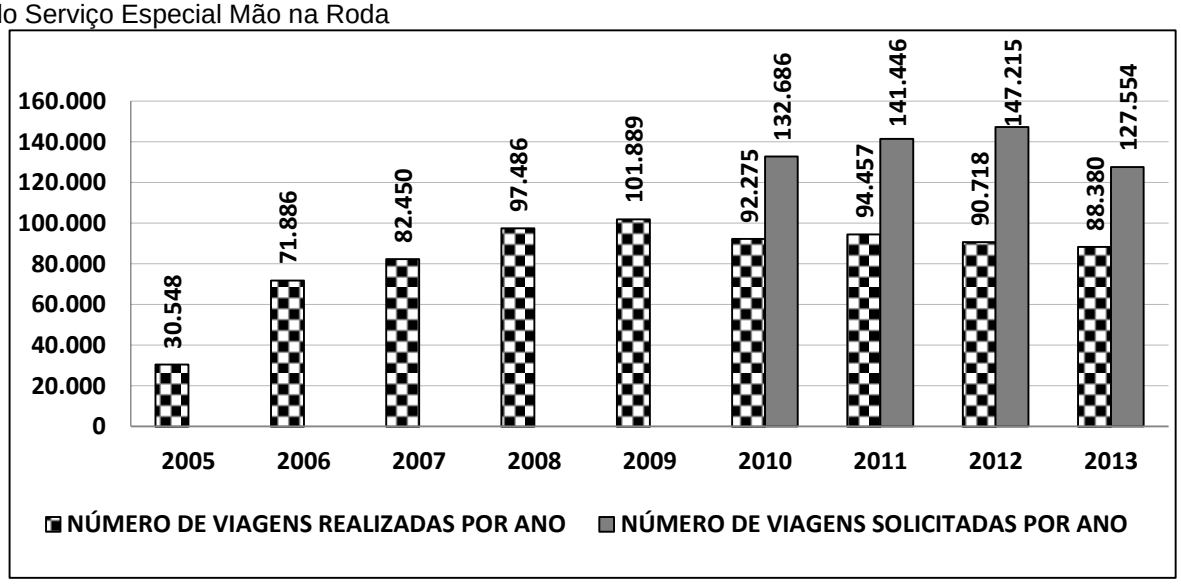
Fonte: Instituto Jones dos Santos Neves (2011). Disponível em: <http://www.ijsn.es.gov.br/Sitio/index.php?option=com_attachments&task=download&id=3976>. Acesso em: 17 jul. 2014.

O serviço é apresentado da seguinte forma, segundo informações da CETURB-GV:

> No cumprimento de sua missão de "gerenciar o transporte coletivo de pessoas, buscando uma mobilidade eficaz", a Ceturb-GV implantou, em agosto de 2000, o Serviço Especial Mão na Roda, atendendo às necessidades de cadeirantes em seus deslocamentos, contribuindo, assim, com a inserção das mesmas nas diversas atividades da sociedade e efetivando o direito de exercerem plenamente sua cidadania (CETURB-GV, 2014). Disponível em: < http://www.ceturb.es.gov.br/default.asp> Acessado em: 20 dez. 2014.

O serviço em questão tem o seu funcionamento das 5h à zero hora, durante todos os dias da semana. Ele foi regulamentado, em 2005, pela Norma Complementar n.º 001/2005. Considerando o número de viagens solicitadas por ano, o serviço apresentou uma demanda crescente, exceto em 2013, que apresentou uma redução de demanda segundo o histograma apresentado na Figura 25.

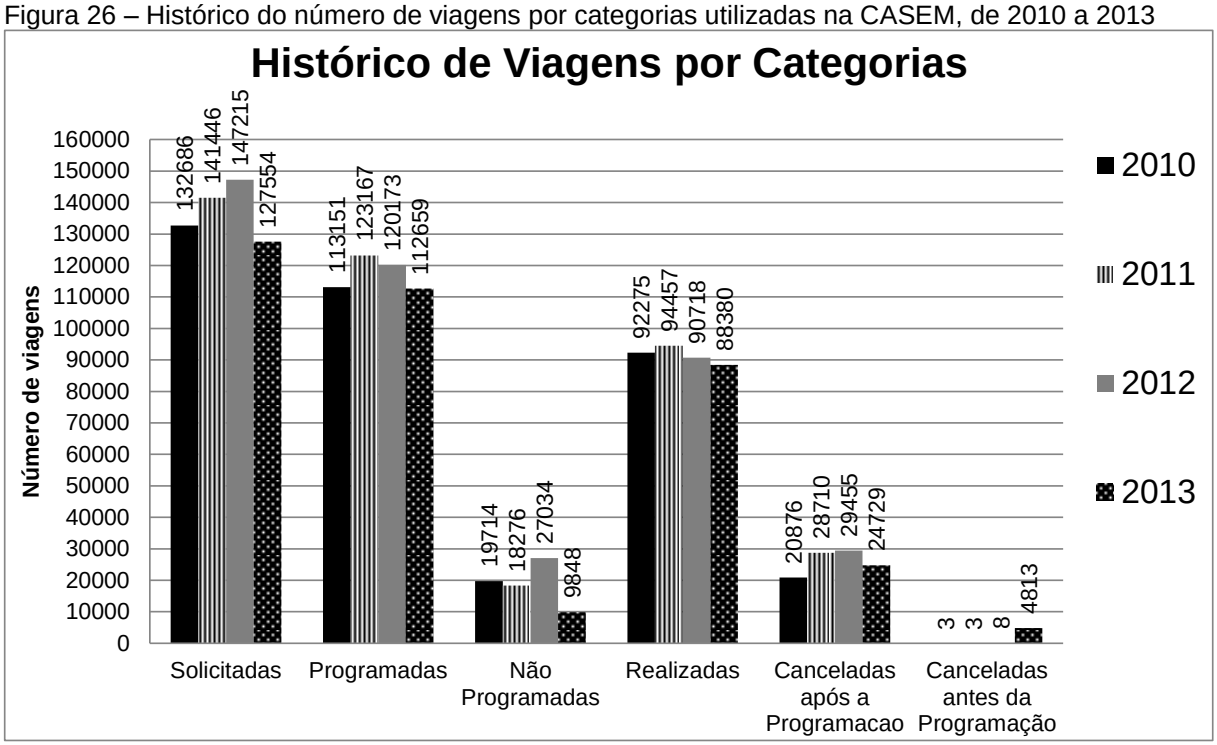
Figura 25 – Gráfico com a série temporal da evolução do número de viagens realizadas e solicitadas do Serviço Especial Mão na Roda



Fonte: Dos anos de 2005 a 2009: CETURB-GV (2014). Dos anos de 2010 a 2013: Levantamento de dados na Central de Atendimento do Serviço Especial Mão na Roda (CASEM) (2014).

Além da série temporal apresentada na Figura 25, pode-se realizar uma análise do número de viagens por categorias registradas na CASEM. A análise do número de viagens por categorias históricas da prestação do serviço entre 2010 e 2013 é apresentada no histograma da Figura 26.

Figura 26 – Histórico do número de viagens por categorias utilizadas na CASEM, de 2010 a 2013



Fonte: Dados disponibilizados pela CASEM em 18 jul. 2014.

Com relação ao número de usuários do Serviço Especial Mão na Roda, na Tabela 9, apresenta-se o registro do número de usuários registrados no sistema por categorias em 2013.

TABELA 9 – REGISTRO DO NÚMERO DE USUÁRIOS DO SERVIÇO ESPECIAL MÃO NA RODA POR CATEGORIAS

Registro do número de usuários em 2013	
Cadastrados	3525
Ativos	2228
Inativos	813
Indeferidos	75
Pendentes	409

Fonte: Dados disponibilizados pela CASEM em 18 de julho de 2014.

As programações e roteirizações dos veículos para o atendimento dos usuários é realizada na Central de Atendimento do Serviço Especial Mão na Roda (CASEM). Entre os recursos humanos, a Central dispõe de 13 funcionários, dos quais um coordenador, três programadores de rota, oito atendentes e um inspetor de relatórios de viagens.

Com relação à divisão do trabalho entre a equipe de programação e roteirização dos veículos, os programadores se dividem por região de atendimento e disponibilidade de veículos para cada programador. Nesse caso, os programadores se organizam, conforme se ilustra na Tabela 10, e cada um programa os veículos para os clientes das respectivas regiões. Em caso de necessidade os programadores demandam entre si a inserção de um cliente em um veículo o qual não seja de sua responsabilidade inicial.

TABELA 10 – DIVISÃO DO TRABALHO ENTRE OS PROGRAMADORES DE ROTA

Programador	Cidades de programação e roteirização	Disponibilidade de veículos
P1	Cariacica e Viana	7 veículos de 4 lugares
		3 veículos de 6 lugares
P2	Vila Velha e Vitória	5 veículos de 6 lugares
P3	Serra e Fundão	6 veículos de 4 lugares
		3 veículos de 6 lugares
		1 veículo de 7 lugares

Fonte: Dados disponibilizados pela CASEM em 18 de julho de 2014.

Com relação aos recursos de transporte de usuários, a CASEM dispõe de 25 veículos de diferentes capacidades especialmente adaptados para o transporte de cadeirantes, conforme é apresentado na Tabela 11 Entre os 25 veículos citados, normalmente dois veículos ficam fora de operação diariamente, um deles é destinado para a revisão e manutenção e o outro fica na garagem para utilização em caso de urgências, emergências ou problemas com algum dos demais veículos da frota. Na Figura 27, apresenta-se uma imagem de alguns dos veículos em questão.

TABELA 11 – FROTA DE VEÍCULOS E RESPECTIVAS CAPACIDADES DE TRANSPORTE DISPONÍVEIS PARA A CASEM

Frota de veículos disponíveis	Capacidade de transporte (número de lugares)
13	4
11	6
1	7

Fonte: Dados disponibilizados pela CASEM em 18 de julho de 2014.

Figura 27 – Imagem de veículos utilizados pela CASEM

Fonte: Ceturb-GV. Disponível em: <http://www.ceturb.es.gov.br/default.asp>. Acesso em 21 jul. 2014.

O trabalho de programação e de roteirização se restringe à equipe de programadores. O recebimento das solicitações de transporte e registro de sistema de informação é realizado pela equipe de atendimento, por isso a equipe de programação não realiza o contato diretamente dos clientes. Tais solicitações se dividem em três tipos – de ida, de volta ou de ida e volta – e se distinguem principalmente com relação ao horário de embarque e desembarque. Na solicitação de ida, o usuário solicita o horário de desembarque no local desejado; na de volta, o usuário solicita o horário de embarque no local de origem; na de ida e volta, o usuário solicita simultaneamente o horário de desembarque para a ida e o horário de embarque para a volta.

Com o conhecimento dos recursos disponíveis e das solicitações de transporte, a equipe de programação realiza a programação e roteirização dos veículos para o atendimento dos clientes. O método atual utilizado pela equipe de programação é empírico e suportado pelas seguintes ferramentas: Microsoft Excel, Sistema de Agendamento (sistema de informação interno da CASEM), *Google Maps* e Wikimapia. Com a lista de solicitações em mão, os programadores inserem os clientes de suas regiões de atendimento nas rotas de seus veículos um a um, buscando o atendimento dos clientes nos horários, os quais solicitaram o transporte considerando os tempos de embarque, de desembarque, de viagem e a tolerância máxima de espera pelo veículo.

A ordem de programação dos clientes é realizada de acordo com as prioridades de atendimento, que ocorre na ordem de maiores prioridades (1) para as menores prioridades (11), com os motivos de viagem conforme constam na Tabela 12.

TABELA 12 – PRIORIDADES DE ATENDIMENTO E PROGRAMAÇÃO DO SERVIÇO ESPECIAL MÃO NA RODA DE ACORDO COM OS MOTIVOS DE VIAGEM

Prioridades	Motivos	Tempo máximo de viagem (horas)
1	Hemodiálise; quimioterapia; radioterapia; internação; cirurgia.	1h
2	Exame; consulta	1h
3	Fisioterapia	1h
4	Trabalho	2h
5	Escola	2h
6	Jurídico	2h
7	Viagem	2h
8	Bancos	2h
9	Religioso	2h
10	Lazer	2h
11	Outros	2h

Fonte: Dados disponibilizados pela CASEM em 5 de junho de 2014.

A programação e roteirização dos veículos são sempre realizadas no dia anterior à data do transporte. Dessa maneira, no fim de cada dia de programação, cada programador envia à garagem dos veículos os roteiros a serem seguidos no dia seguinte, por meio do documento “Relatório Diário de Viagens – BPCO”, com informações dos clientes, seus endereços, a sequência de visitas aos pontos de coleta e entrega e os horários de embarque e desembarque previstos para cada local. Em posse de tal documento, os motoristas dos veículos conhecem a sequência de coletas e entregas a ser seguida no dia de operação e eles mesmos definem os caminhos a serem percorridos para a visita de tais locais.

Com relação às restrições de programação, os programadores consideram os números de veículos disponíveis por programador, as capacidades dos veículos, o tempo máximo de permanência no cliente dentro do veículo, o tempo máximo de espera dos veículos pelo cliente, o intervalo de tempo mínimo de solicitação do transporte, prioridades de atendimento dos clientes e o horário de disponibilidade do serviço. Os valores práticos das restrições são apresentados na Tabela 13.

TABELA 13 – VALORES DE RESTRIÇÕES DE PROGRAMAÇÃO PRATICADAS PELOS PROGRAMADORES

Restrições	Valores praticados
(1) Número de veículos disponíveis por programador	Diferente por programador
(2) Capacidade dos veículos	4, 6 ou 7 lugares
(3) Tempo máximo de permanência no veículo:	
(3.1) Tempo máximo para usuário de atendimento de saúde ou urgências (Prioridades 1, 2 e 3)	60 minutos
(3.2) Tempo máximo para demais usuários (prioridade 4 a 11)	120 minutos
(4) Tempo máximo de espera do usuário pelo motorista	15 minutos
(5) Tempo máximo de espera dos veículos pelos clientes	0 minuto
(6) Intervalo de tempo mínimo de solicitação de transporte	48 horas
(7) Prioridades de atendimento dos clientes	Prioridades em 11 níveis
(8) Horário de disponibilidade do serviço	5h à meia-noite
(9) Tempo máximo de antecipação do embarque	60 minutos
(10) Tempo de parada dos veículos para refeição do motorista (hora do almoço ou jantar)	60 minutos

Fonte: Dados disponibilizados pela CASEM em 5 de junho de 2014, 22 de julho de 2014 e 29 de julho de 2014

No que tange ao método referencial de programação e roteirização utilizado como base para o desenvolvimento do estudo de caso, a Tabela 14 apresenta as principais características do serviço-alvo de transporte para a realização do estudo de caso desta pesquisa (Serviço Especial Mão na Roda), conforme os critérios estabelecidos por Bodin *et al*. (1983).

TABELA 14 – CLASSIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO E PROGRAMAÇÃO DESCRITAS POR BODIN *ET AL*. (1983) E CARACTERÍSTICAS DO SERVIÇO ESPECIAL MÃO NA RODA

Características	Serviço Especial Mão na Roda
1. Tamanho da frota disponível	*Múltiplos veículos
2. Tipo da frota disponível	*Heterogênea (vários tipos de veículo)
3. Armazenamento de veículos	*Múltiplos depósitos
4. Natureza das demandas	*Demanda determinística
5. Localização das demandas	*Nos nós (não necessariamente todos)
6. Rede fundamental	*Direcionada
7. Restrições de capacidade do veículo	*Impostas (diferentes para diferentes rotas)
8. Tempo máximo de rotas	*Impostas (diferentes para diferentes rotas)
9. Operações	*Misto (coletas e entregas)
10. Custos	*Variável ou custos de rota
11. Objetivos	*Maximizar a função utilidade baseada no serviço e conveniência

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

4.2 ANÁLISE GERAL DAS INSTÂNCIAS DE DADOS DO SERVIÇO DE TRANSPORTE

Uma vez realizada a coleta de dados por sistema, esta seção apresenta uma análise geral dos dados levantados para considerações. A Tabela 15 apresenta uma síntese geral das amostras coletadas no Relatório de Programação Diária. Na tabela em questão, destacam-se as demandas não programadas, pois elas são consideradas como demandas surgidas dinamicamente no início da operação, as quais devem ser inseridas em rotas existentes para o atendimento com o suporte do sistema de programação e roteirização dinâmica proposto.

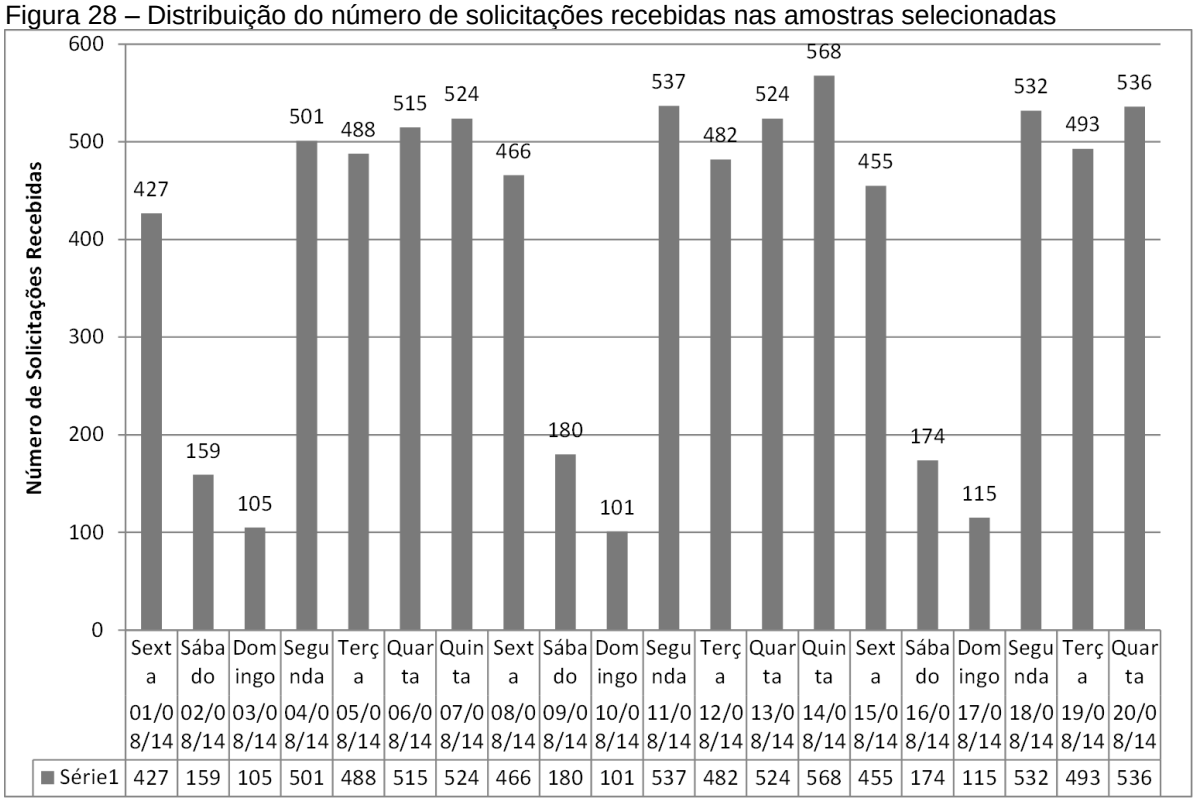
TABELA 15 – ANÁLISE GERAL DAS DEMANDAS DE TRANSPORTE, ATENDIMENTOS E CANCELAMENTOS

Demandas	Total	Atendidas	Canceladas						Não Programadas	Total de Demandas Programadas	Percentual da Demanda Programada	Percentual da Demanda Total Atendida	Percentual da Demanda Total Cancelada Após a Programação	Percentual da Demanda Total Não Programada
Data		Total	Cancelada Pelo Usuário	Cancelado no Local	Veículo Quebrado	Outros	Veículo atrasou	Total	Total					
01/08/14	427	295	77	29	1	0	0	107	7	402	94%	69%	25%	2%
02/08/14	159	109	29	4	0	0	0	33	0	142	89%	69%	21%	0%
03/08/14	105	72	19	5	0	0	0	24	0	96	91%	69%	23%	0%
04/08/14	501	321	91	28	0	1	0	120	37	441	88%	64%	24%	7%
05/08/14	488	356	70	19	0	0	0	89	17	445	91%	73%	18%	3%
06/08/14	515	353	65	28	0	0	0	93	27	446	87%	69%	18%	5%
07/08/14	524	374	65	24	0	0	0	89	35	463	88%	71%	17%	7%
08/08/14	466	305	94	27	0	0	0	121	20	426	91%	65%	26%	4%
09/08/14	180	140	24	9	0	0	0	33	0	173	96%	78%	18%	0%
10/08/14	101	81	19	1	0	0	0	20	0	101	100%	80%	20%	0%
11/08/14	537	373	80	15	1	0	0	96	45	469	87%	69%	18%	8%
12/08/14	482	375	59	12	3	0	0	74	16	449	93%	78%	15%	3%
13/08/14	524	364	62	24	0	0	0	86	48	450	86%	69%	16%	9%
14/08/14	568	375	100	23	0	0	0	123	48	498	88%	66%	22%	8%
15/08/14	455	290	110	16	4	0	1	131	8	421	93%	64%	29%	2%
16/08/14	174	131	32	8	0	0	0	40	0	171	98%	75%	23%	0%
17/08/14	115	64	42	9	0	0	0	51	0	115	100%	56%	44%	0%
18/08/14	532	376	69	19	0	0	0	88	48	464	87%	71%	17%	9%
19/08/14	493	357	86	15	0	0	0	101	13	458	93%	72%	20%	3%
20/08/14	536	404	35	16	4	0	0	55	50	459	86%	75%	10%	9%
Total	7882	5515	1228	331	13	1	1	1574	419	7089	90%	70%	20%	5%

Fonte: Sistema de Transporte Mão na Roda – Relatório de Programação Diária (2015).

Para uma análise visual dos dados do total de demandas (solicitações) diárias apresentadas na Tabela 15, a Figura 28 apresenta o histograma dos dados em questão, o qual registra uma elevada demanda durante os dias úteis, quando comparada à dos dias não úteis (finais de semana).

Figura 28 – Distribuição do número de solicitações recebidas nas amostras selecionadas



Fonte: Sistema de Transporte Mão na Roda – Relatório de Programação Diária (2014).

Com relação às prioridades de atendimento, os dados foram classificados para as demandas de transporte de acordo com os tipos de prioridade de atendimento. Os dados são apresentados na Tabela 16 e, em posse de tais dados, a distribuição média diária das solicitações por prioridade de atendimento é apresentada na Figura 29.

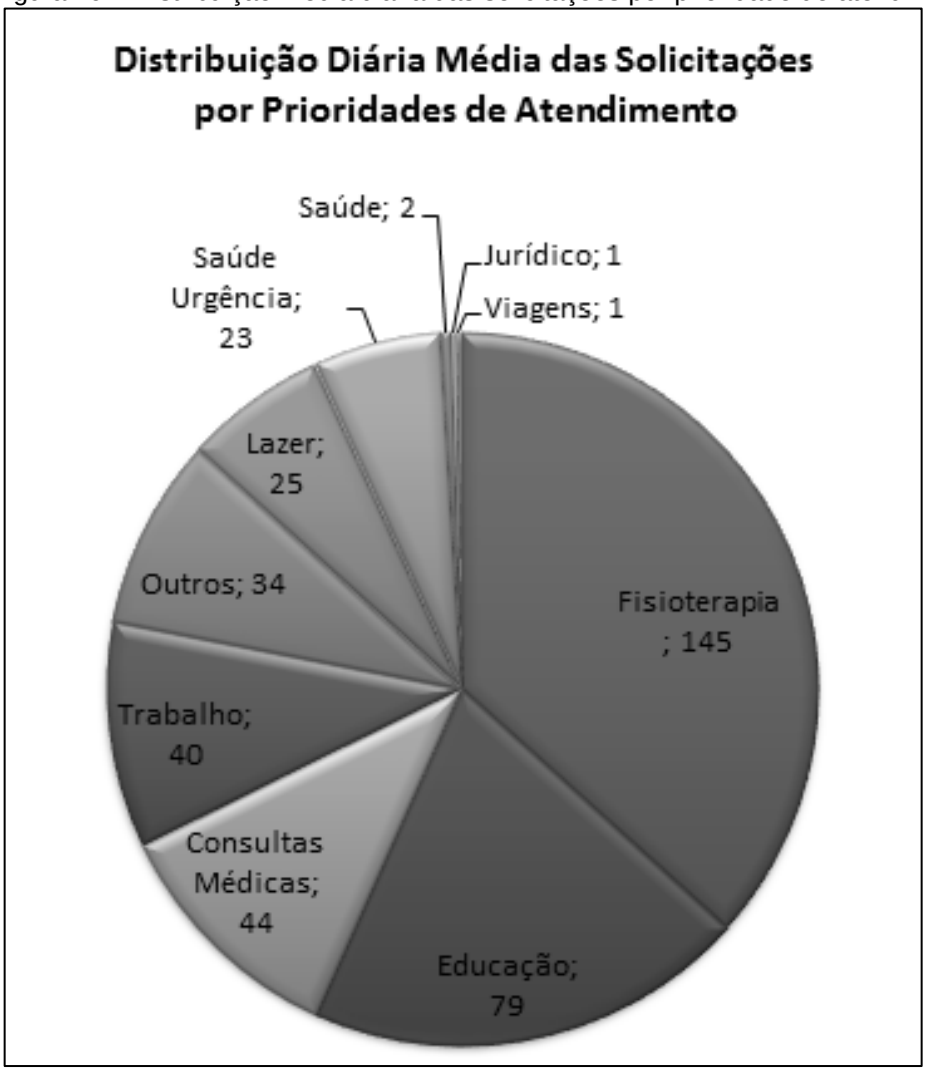
Quanto ao número de viagens programadas e atendidas nas amostras selecionadas, os dados são apresentados na Tabela 17 e Tabela 18, respectivamente. A Tabela 18 merece atenção porque os dados de demandas atendidas configuram as rotas que receberão as solicitações de transporte recebidas dinamicamente.

TABELA 16 – ESTRATIFICAÇÃO DAS DEMANDAS DE TRANSPORTE POR PRIORIDADES DE ATENDIMENTO

Data	Dia da semana	Fisioterapia	Educação	Consultas médicas	Trabalho	Outros	Lazer	Saúde urgência	Saúde	Jurídico	Viagens	Total geral
01/08/14	Sexta	129	88	66	47	42	13	35	3	2	2	427
02/08/14	Sábado	3	8	2	15	34	71	22	2	0	2	159
03/08/14	Domingo	1	4	0	9	50	37	0	0	0	4	105
04/08/14	Segunda	226	105	58	54	18	4	35	0	0	1	501
05/08/14	Terça	240	99	57	51	14	4	23	0	0	0	488
06/08/14	Quarta	202	110	62	53	50	4	24	5	4	1	515
07/08/14	Quinta	247	112	50	57	33	0	20	2	2	1	524
08/08/14	Sexta	128	99	68	52	55	24	30	7	2	1	466
09/08/14	Sábado	2	13	6	13	47	77	22	0	0	0	180
10/08/14	Domingo	0	0	0	4	38	59	0	0	0	0	101
11/08/14	Segunda	227	119	76	51	23	4	33	2	2	0	537
12/08/14	Terça	222	113	62	49	12	2	22	0	0	0	482
13/08/14	Quarta	193	128	84	58	19	6	33	2	0	1	524
14/08/14	Quinta	249	126	63	51	39	12	20	2	6	0	568
15/08/14	Sexta	138	94	61	52	59	7	35	5	2	2	455
16/08/14	Sábado	8	10	6	17	22	90	20	0	0	1	174
17/08/14	Domingo	8	0	0	6	50	50	0	0	0	1	115
18/08/14	Segunda	235	119	56	55	17	10	35	5	0	0	532
19/08/14	Terça	242	95	62	53	13	6	20	2	0	0	493
20/08/14	Quarta	192	136	34	61	51	29	29	2	2	0	536
Total		2892	1578	873	808	686	509	458	39	22	17	7882
Média diária		145	79	44	40	34	25	23	2	1	1	394

Fonte: Sistema de Transporte Mão na Roda – Relatório de Programação Diária (2014).

Figura 29 – Distribuição média diária das solicitações por prioridade de atendimento



Fonte: Sistema de Transporte Mão na Roda – Relatório de Programação Diária (2014).

TABELA 17 – LISTA DE SOLICITAÇÕES DE VIAGENS PROGRAMADAS POR VEÍCULOS DA AMOSTRA DE DADOS COLETADA

VEÍCULOS	50001	50002	50003	50101	50103	50302	50303	50304	50305	50306	50307	50400	50401	50502	50503	50505	50506	50507	50701	50703	50800	50801	50903	50904	99999	Total	Média
CAPACIDADE	4	4	4	6	4	4	4	4	4	6	6	4	4	4	4	6	4	4	4	4	4	4	6	6	F.		
DATA																											
01/08/14	25	14	27	20	22	14	0	20	20	10	14	19	23	11	15	17	13	10	19	6	17	21	19	26	0	402	16
02/08/14	6	6	17	15	0	2	7	0	0	15	0	0	17	14	0	9	0	0	13	0	11	0	10	0	0	142	6
03/08/14	13	0	0	0	11	10	0	0	6	0	7	14	0	10	0	0	0	0	0	10	0	7	8	0	0	96	4
04/08/14	24	20	0	20	19	18	22	20	16	15	17	24	24	16	22	20	3	13	19	18	17	20	22	32	0	441	18
05/08/14	19	22	20	24	23	22	17	28	21	23	22	20	23	18	13	23	18	13	17	17	19	0	23	0	0	445	18
06/08/14	18	21	26	17	25	6	19	21	24	13	19	25	26	0	14	21	15	16	20	19	20	18	23	20	0	446	18
07/08/14	0	27	26	22	14	23	22	23	25	20	24	24	23	18	0	21	24	15	14	19	15	23	22	19	0	463	19
08/08/14	22	24	22	17	18	21	16	22	19	19	18	18	22	16	20	0	22	16	14	0	16	22	23	19	0	426	17
09/08/14	21	0	17	15	0	0	0	15	13	11	0	0	14	0	13	0	11	0	0	16	14	0	0	13	0	173	7
10/08/14	8	4	0	0	10	0	6	0	9	0	10	0	14	8	0	0	9	0	8	0	0	7	0	8	0	101	4
11/08/14	25	0	23	28	18	15	24	22	22	24	20	27	27	16	16	0	19	16	16	17	24	23	22	25	0	469	19
12/08/14	19	21	25	20	18	19	7	23	20	23	27	24	5	16	23	19	21	7	17	18	14	20	20	21	2	449	18
13/08/14	23	17	22	8	20	21	26	24	25	17	18	21	29	19	17	15	16	0	13	21	22	16	20	20	0	450	18
14/08/14	0	26	26	27	17	23	18	24	20	21	24	28	23	22	24	19	21	1	20	22	22	26	23	21	0	498	20
15/08/14	16	19	21	24	19	17	18	22	14	13	19	23	19	20	16	24	22	0	17	20	12	0	24	22	0	421	17
16/08/14	12	5	14	12	0	4	7	13	0	0	15	12	0	0	4	10	10	9	13	0	8	6	17	0	0	171	7
17/08/14	0	0	22	0	9	12	0	0	11	0	0	16	0	0	0	0	0	10	0	9	0	13	0	13	0	115	5
18/08/14	24	5	23	29	21	24	17	24	20	17	22	24	25	5	12	15	21	21	21	16	17	17	19	25	0	464	19
19/08/14	29	20	28	20	15	7	24	19	23	24	21	24	25	0	20	14	20	14	17	11	16	22	19	26	0	458	18
20/08/14	19	22	22	27	21	11	16	14	21	18	25	22	21	5	7	17	13	23	16	20	22	20	27	30	0	459	18
Total	323	273	381	345	300	269	266	334	329	283	322	365	360	214	236	244	278	184	274	259	286	281	341	340	2	7089	
Média	16	14	19	17	15	13	13	17	16	14	16	18	18	11	12	12	14	9,2	14	13	14	14	17	17	0		

Fonte: Sistema de Transporte Mão na Roda – Relatório BPCO (2014).

TABELA 18 – LISTA DE SOLICITAÇÕES DE VIAGENS ATENDIDAS POR VEÍCULOS DA AMOSTRA DE DADOS COLETADA

VEÍCULOS	50001	50002	50003	50101	50103	50302	50303	50304	50305	50306	50307	50400	50401	50502	50503	50505	50506	50507	50701	50703	50800	50801	50903	50904	99999	Total	Média
CAPACIDADE	4	4	4	6	4	4	4	4	4	6	6	4	4	4	4	6	4	4	4	4	4	4	6	6	F.		
DATA																											
01/08/14	20	12	20	16	18	7	0	11	16	7	12	8	17	9	10	14	11	10	15	1	14	15	14	18	0	295	12
02/08/14	6	3	11	12	0	2	5	0	0	10	0	0	14	10	0	8	0	0	12	0	9	0	7	0	0	109	4
03/08/14	12	0	0	0	8	9	0	0	5	0	5	11	0	7	0	0	0	0	0	7	0	4	4	0	0	72	3
04/08/14	19	19	0	14	18	12	21	11	13	3	13	18	19	7	13	12	2	7	16	14	14	17	17	22	0	321	13
05/08/14	14	17	16	20	22	14	14	20	18	21	18	14	19	12	11	21	17	10	12	15	15	0	16	0	0	356	14
06/08/14	15	13	20	13	20	4	13	17	16	11	18	19	24	0	13	14	13	9	17	14	18	16	18	18	0	353	14
07/08/14	0	24	17	19	13	20	13	20	22	17	19	20	15	11	0	18	22	12	12	16	14	17	18	15	0	374	15
08/08/14	13	17	12	15	13	15	12	14	13	12	12	14	19	13	11	0	14	12	10	0	12	16	20	16	0	305	12
09/08/14	13	0	17	13	0	0	0	13	9	9	0	0	14	0	11	0	10	0	0	12	8	0	0	11	0	140	6
10/08/14	7	4	0	0	10	0	5	0	6	0	9	0	11	4	0	0	7	0	6	0	0	6	0	6	0	81	3
11/08/14	21	0	17	23	13	13	17	15	20	22	17	22	24	14	10	0	15	11	13	10	19	18	21	18	0	373	15
12/08/14	16	16	23	16	15	16	7	21	17	19	24	16	4	12	23	13	19	3	14	15	12	17	18	17	2	375	15
13/08/14	21	14	21	5	17	17	18	18	23	12	16	16	23	13	15	11	9	0	13	14	18	12	18	20	0	364	15
14/08/14	0	18	17	20	14	16	15	22	15	14	20	22	15	13	18	16	18	0	17	15	15	18	22	15	0	375	15
15/08/14	5	13	13	14	18	10	12	15	10	11	15	16	14	14	11	19	16	0	13	11	8	0	18	14	0	290	12
16/08/14	11	3	11	6	0	3	5	12	0	0	11	11	0	0	3	7	7	8	12	0	8	3	10	0	0	131	5
17/08/14	0	0	14	0	2	6	0	0	6	0	0	14	0	0	0	0	0	6	0	5	0	6	0	5	0	64	3
18/08/14	22	3	19	23	21	17	17	20	17	12	17	20	22	5	4	13	15	19	16	12	15	12	15	20	0	376	15
19/08/14	20	16	19	18	11	7	20	16	17	18	13	18	19	0	20	12	17	11	15	8	14	20	13	15	0	357	14
20/08/14	19	19	16	24	21	11	14	11	21	14	20	22	20	2	3	13	11	16	15	20	20	18	25	29	0	404	16
Total	254	211	283	271	254	199	208	256	264	212	259	281	293	146	176	191	223	134	228	189	233	215	274	259	2	5515	
Média	13	11	14	14	13	10	10	13	13	11	13	14	15	7	9	10	11	7	11	9	12	11	14	13	0		

Fonte: Sistema de Transporte Mão na Roda – Relatório BPCO (2014).

5 SISTEMA DE PROGRAMAÇÃO E ROTEIRIZAÇÃO

5.1 PROPOSTA DO SISTEMA DE ROTEIRIZAÇÃO

O desenvolvimento do sistema de suporte à decisão de programação e roteirização dinâmica dos veículos foi realizado segundo a metodologia do Ciclo de Vida de Desenvolvimento de Sistemas (SDLC), apresentado por Turban et al. (2003) na seção 2.3.4 (Figura 19), excluindo-se as etapas (6), (7) e (8). A evolução do desenvolvimento conforme a metodologia proposta é apresentada a seguir.

(1) Investigação dos sistemas

Nesta etapa foram investigadas as informações disponíveis pela Central de Programação do Mão na Roda, sendo considerados a disponibilidade de informações existentes, as restrições do problema e os sistemas utilizados pela Central para a realização das programações e roteirizações rotineiras. Nesse contexto, foi identificado que os programadores são suportados pelas ferramentas *Google Maps,* Wikimapia, sistema interno de agendamento da CASEM e planilhas eletrônicas para cálculos e análises.

(2) Análise de sistemas

O problema a ser resolvido pelo sistema proposto consiste em analisar os roteiros das programações existentes e inserir as novas solicitações que surgirem durante a operação, buscando a minimização da distância total do roteiro aumentada com a nova solicitação, respeitando as seguintes restrições:

- restrição de precedência;
- restrição de janela de tempo das solicitações;
- restrição de ocupação do veículo;
- restrição dos horários de operação do serviço.

Para que o sistema processe as informações, ele deve realizar a leitura e armazenamento dos dados apresentados na Tabela 19:

Tabela 19 – Fonte de dados e variáveis armazenadas para a roteirização

(continua)

FONTE	VARIÁVEIS
Relatório BPCO (Lista de Programação Veículo)	*Número da solicitação; *Número do veículo PPS; *Número da credencial PPS; *Nome do beneficiário PPS; *Local de embarque PPS (endereço); *Local de desembarque PPS (endereço); *Hora de embarque PPS (planejada); *Hora de desembarque PPS (planejada); *Motivo do cancelamento PPS; *Tipo de agendamento PPS (informação adicional imputada manualmente na base de dados originada do relatório BPCO, a qual registra se a solicitação é pelo horário de embarque ou de desembarque); *Tipo de prioridade PPS (informação adicional imputada manualmente na base de dados originária do relatório BPCO extraída do relatório Programação Diária); *Tempo máximo de viagem da solicitação (informação adicional imputada manualmente na base de dados originária do relatório BPCO respectiva ao tipo de prioridade da solicitação);
Matriz OD (matriz de distâncias entre origens e destinos, calculadas pela distância euclidiana com coordenadas extraídas do *Google Maps* e corrigidas por fatores de correção)	*Distância entre origem e destino para endereços (matriz unidirecional de distâncias com todas as combinações possíveis de endereços cadastrados no sistema – Matriz 2317 x 2317). Obs.: A escolha da matriz de distâncias com os respectivos fatores de correção é de opção do usuário (1,0; 1,1; 1,2 e 1,3 sendo as correções, respectivamente, de 0%; 10%; 20% e 30%).

Tabela 19 – Fonte de dados e variáveis armazenadas para a roteirização (conclusão)	
Relatório de Programação Diária (para os cenários testados) ou dados lançados manualmente na aba de roteirização do sistema	*Registro das SNPs; *Hora de embarque SNP; *Hora de desembarque SNP; *Nome do solicitante da SNP; *Número da credencial da SNP; *Prioridade da SNP; *Local de embarque da SNP; *Local de desembarque da SNP; *Tipo de agendamento da SNP;
Parâmetros de consideração no sistema	*Tempos máximos de viagem de viagem por motivo de viagem (prioridades); *Tempo de embarque; *Tempo de desembarque; *Velocidade média do veículo; *Capacidade de transporte dos veículos;

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Com relação à análise das diferenças entre a aplicação do sistema apresentado por essa pesquisa em relação aos demais trabalhos de programação e roteirização dinâmica de veículos apresentados na revisão de literatura, a Tabela 20 apresenta o comparativo entre as abordagens, função objetivo, análise das variáveis da F.O. e a classificação do fator determinante de mudança de rota. A Tabela 21 apresenta o comparativo quanto aos critérios de avaliação utilizados.

TABELA 20 – COMPARATIVO DAS PUBLICAÇÕES ANALISADAS ANTE O MÉTODO UTILIZADO QUANTO À ABORDAGEM DE RESOLUÇÃO DO DARP DINÂMICO, VARIÁVEIS DA FUNÇÃO OBJETIVO E FATOR DETERMINANTE DE MUDANÇA DE ROTA

Autor	**Abordagem de resolução**						**Tipo de F.O.**		**Variáveis abordadas na F.O.**										**FDDR**		
	Heurístico					**Exato**			**Econômicas**		**Qualidade do serviço**										
	Algoritmo de inserção	Algoritmo constutivo	Algoritmo Genético	*Simmulated Annealing*	*Tabu Search*	Programação de Restrições	Objetivo único	Multi-objetivo	Custo do roteiro	Custo de sub-contratação	Tempo de viagem	Tempo total de antecipação	Tempo total de atraso	Penalidade de horas extras	Distância da janela de tempo	Violação de carga	Número de estações visitadas	Satisfação das demandas de transporte em termos de veículo	Mudança de demanda	Mudança no tempo de viagem	Mudança nas condições de viagem
Fraga Neto (2015)	●						●		●										●		
Raddaoui et al. (2013)			●	●				●	●		●						●	●	●		
Berbeglia *et al* . (2012)					●	●		●	●		●				●	●			●		
Kergosien *et al* . (2011)					●			●	●	●				●					●		
Beaudry *et al* . (2010)	●				●			●			●	●	●						●		
Coslovich *et al* . (2006)	●							●			●				●				●		
Gendreau *et al* . (2006)					●			●			●		●	●					●		
Attanasio *et al* . (2004)		●			●			●	●		●				●	●			●		
TOTAL	3	1	1	1	5	1	1	7	5	1	6	1	2	2	3	2	1	1	8	0	0

Fonte: Elaborado pelo Autor (2015).

TABELA 21 – ANÁLISE COMPARATIVA DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO UTILIZADOS PARA A MENSURAÇÃO DOS RESULTADOS DO MÉTODO PROPOSTO ANTE OS MÉTODOS UTILIZADOS PARA A RESOLUÇÃO DO DARP DINÂMICO APRESENTADA PELA LITERATURA

Autor/Ano	**Critérios de Avaliação**																		
	Custo total da melhor solução	Custo de roteiro da solução	Diferença % entre os resultados dos métodos	Horas extras utilizadas	Nível de descontentamento	Número de aceitação de novas solicitações	Número médio de demandas de transporte sub-contratadas	Número médio de veículos utilizados	Número de veículos utilizados	Percentual de clientes atendidos	Percentual médio dos clientes inesperados atendidos	Satisfação do cliente em termos do veículo	Tempo de antecipação	Tempo de atraso	Tempo de processamento da solução	Tempo médio de viagem	Tempo total de atividades no depósito	Aumento % de solicitações atendidas	Aumento percentual de distância percorrida
Fraga Neto (2015)	●	●	●			●			●		●				●	●		●	●
Raddaoui et al. (2013)												●			●	●			
Berbeglia *et al* . (2012)						●													
Kergosien *et al* . (2011)			●				●												
Beaudry *et al* . (2010)	●		●					●					●	●	●	●	●		
Coslovich *et al* . (2006)			●		●						●								
Gendreau *et al* . (2006)				●										●	●	●			
Attanasio *et al* . (2004)		●								●									
TOTAL	2	2	4	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	2	4	4	1	1	1

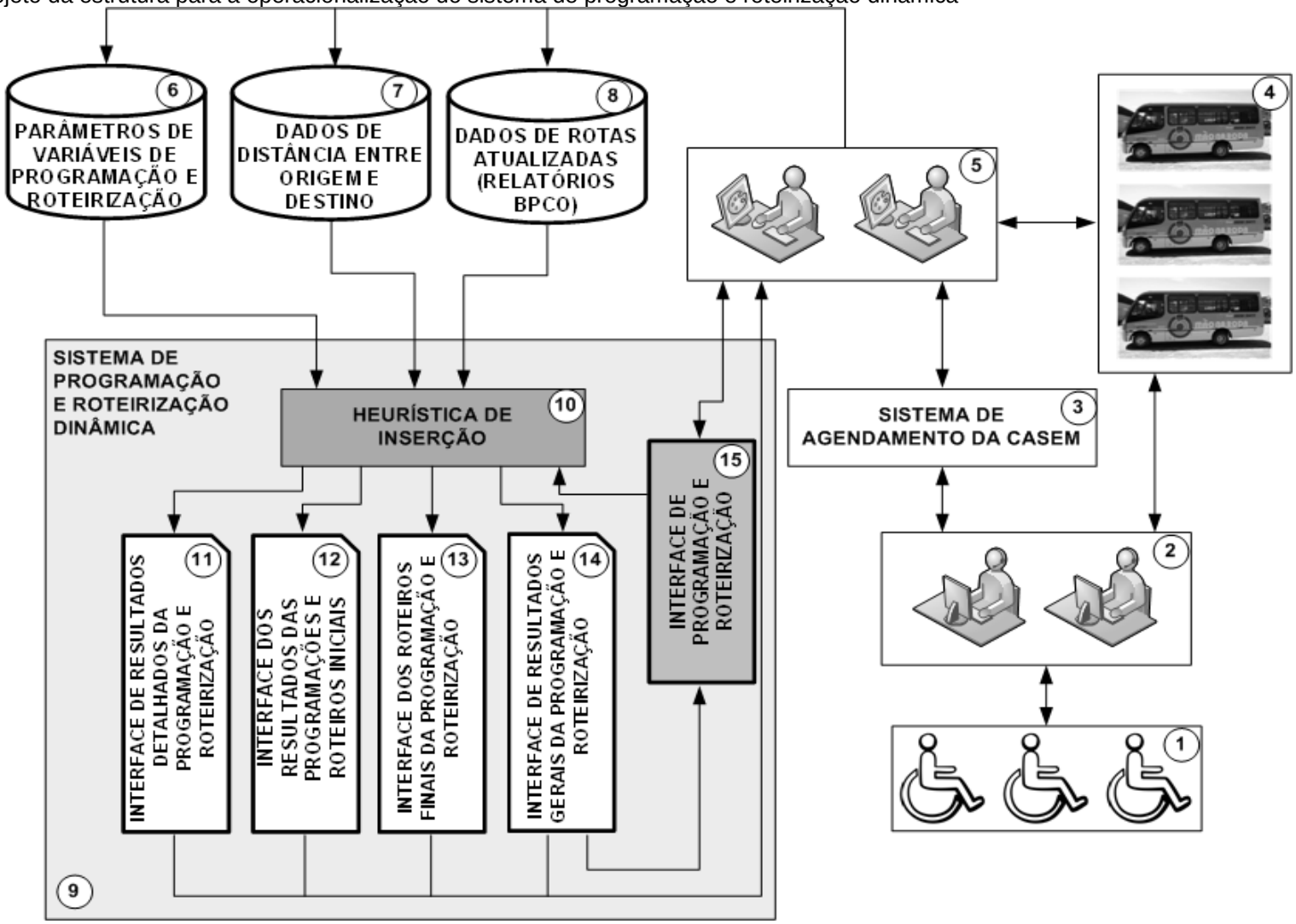
Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

(3) Projeto de sistemas

Para o processamento das novas solicitações e tentativas de inserção nos roteiros existentes, três projetos devem ser considerados: o projeto da estrutura de operacionalização do sistema, o da interface e o do algoritmo de programação e roteirização.

O projeto da estrutura de operacionalização do sistema consiste no desenho da estrutura dos diferentes atores, informações e lógicas, para que o sistema proposto seja operado. A Figura 30 apresenta o desenho da estrutura proposta, e o detalhamento da sequência operacional é apresentado na Tabela 22.

Figura 30 – Projeto da estrutura para a operacionalização do sistema de programação e roteirização dinâmica



Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

TABELA 22 – DETALHAMENTO DA SEQUÊNCIA OPERACIONAL PROPOSTA PARA A OPERACIONALIZAÇÃO DO SISTEMA CONFORME ESTRUTURA APRESENTADA NA FIGURA 30

ATORES	ETAPAS E ATIVIDADES
(1) Usuários do sistema de transporte	1.º- O usuário solicita por telefone o atendimento à demanda de transporte;
(2) Atendentes	2.º- Os atendentes registram a solicitação de transporte com os dados necessários no item (3); 11.º- Os atendentes entram em contato com o usuário por telefone e informam se a solicitação será atendida ou não e em caso de atendimento, informam o veículo e os horários de embarque e desembarque do usuário; 12.º- Os atendentes entram em contato com o motorista (4) e transmitem as informações do novo roteiro do veículo;
(5) Programadores de rotas	3.º- Verifica as novas solicitações agendadas no item (3); 4.º- Em caso de necessidade atualiza os parâmetros das bases de dados (6), (7) e (8); 5.º- Insere os dados das novas solicitações surgidas a serem programadas no item (15); 6.º- Executa a heurística de inserção (10) e aguarda a conclusão do processamento; 7.º- Verifica no item (15) quais solicitações foram programadas pela heurística; 8.º- Em caso de necessidade, verificar os itens (11), (12) e (14); 9.º- Verificar roteiros finais gerados no item (13) e verificar horários e localização do veículo (4) para análise se a solicitação é passível de atendimento frente à localização de veículo na sequência de coletas e entregas; 10.º- Programar as solicitações no item (3) de acordo com os resultados apresentados nos itens (11), (12), (13), (14) e (15);

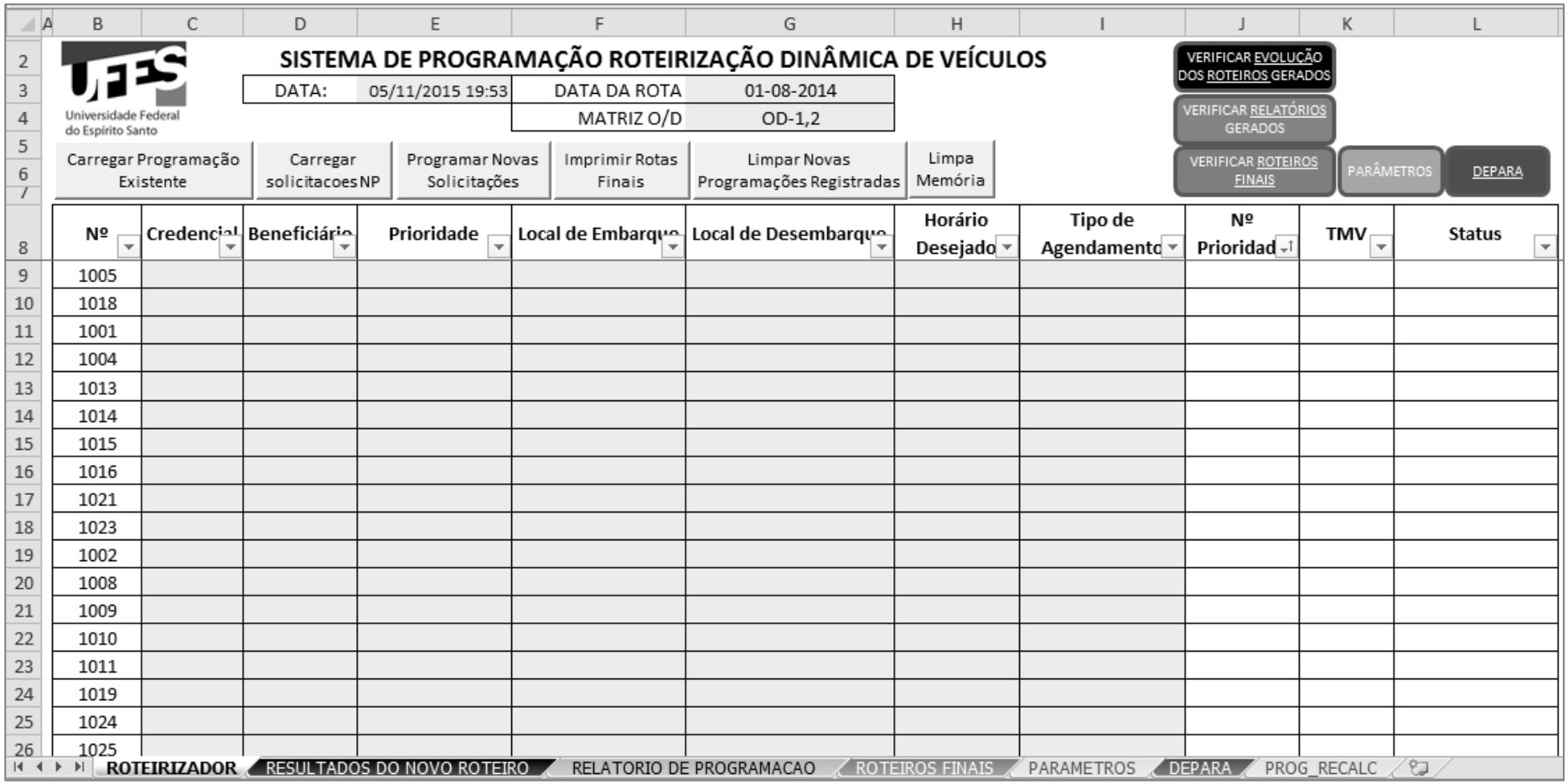
Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Notas: Entendam-se os números (1), (2), ..., (n) como correspondentes aos números dos blocos dentro dos círculos apresentados na Figura .

Com relação ao projeto da interface, ele foi desenvolvido gradualmente com a premissa de permitir ao programador o lançamento das novas solicitações e mudança de parâmetros para a realização da roteirização conforme necessidade. Além disso, vale destacar que a relação entre o desenvolvimento do sistema e o usuário do mesmo foi apenas para o entendimento do problema dos dados históricos existentes.

A interface principal de trabalho do sistema é apresentada na Figura 31, sendo esse o local onde as solicitações surgidas dinamicamente são inseridas e executados os comandos para a execução do algoritmo de programação e roteirização.

Figura 31 – Registro da interface de programação e roteirização do sistema proposto

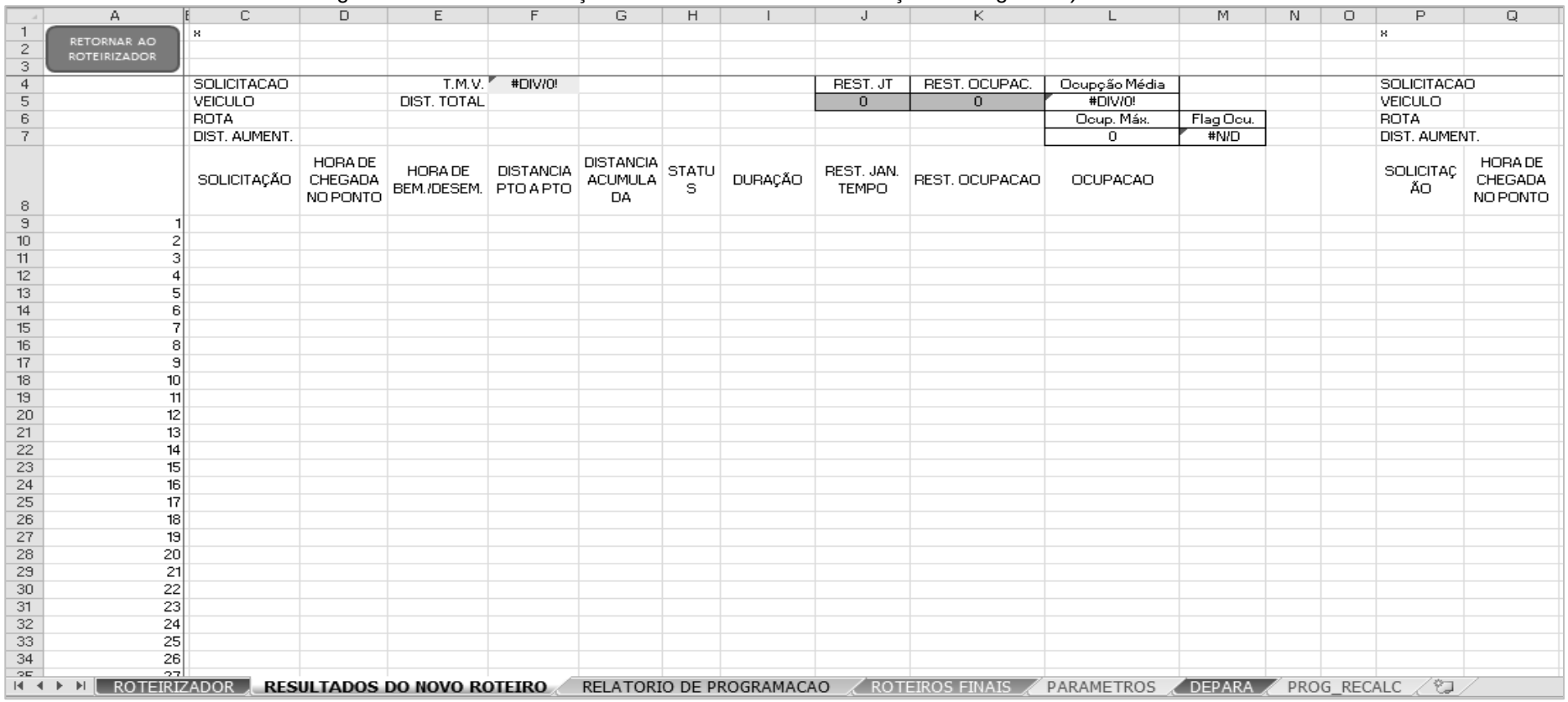


Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

A interface do sistema apresentada na Figura 31 permite ao programador inserir os dados das solicitações a serem programadas (necessários para que a heurística de inserção seja executada). Na matriz da figura em questão, as células G3 e G4 possibilitam, respectivamente, a escolha do dia em que se deseja realizar a programação e a escolha da matriz de distâncias desejada.

Além da interface apresentada na Figura 31, outras seis interfaces para a análise de saída de dados dos processamentos e para a configuração dos parâmetros de roteirização foram desenvolvidas. As interfaces de saídas de dados são apresentadas na Figura 32, Figura 33, Figura 34 e Figura 35 e as interfaces de configuração de parâmetros são apresentada na Figura 36 e Figura 37.

Figura 32 – Registro da interface de resultados detalhados da programação e roteirização gerados pelo sistema proposto (apresenta os resultados detalhados de cada roteiro viável gerado com melhor solução identificada durante as iterações do algoritmo)



	A	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	RETORNAR AO ROTEIRIZADOR	x													x	
2																
3																
4		SOLICITACAO		T.M.V.	#DIV/0!				REST. JT	REST. OCUPAC.	Ocupção Média				SOLICITACAO	
5		VEICULO		DIST. TOTAL					0	0	#DIV/0!				VEICULO	
6		ROTA									Ocup. Máx.	Flag Ocu.			ROTA	
7		DIST. AUMENT.									0	#N/D			DIST. AUMENT.	
8		SOLICITAÇÃO	HORA DE CHEGADA NO PONTO	HORA DE BEM./DESEM.	DISTANCIA PTO A PTO	DISTANCIA ACUMULADA	STATUS	DURAÇÃO	REST. JAN. TEMPO	REST. OCUPACAO	OCUPACAO				SOLICITAÇÃO	HORA DE CHEGADA NO PONTO
9	1															
10	2															
11	3															
12	4															
13	5															
14	6															
15	7															
16	8															
17	9															
18	10															
19	11															
20	12															
21	13															
22	14															
23	15															
24	16															
25	17															
26	18															
27	19															
28	20															
29	21															
30	22															
31	23															
32	24															
33	25															
34	26															

ROTEIRIZADOR | RESULTADOS DO NOVO ROTEIRO | RELATORIO DE PROGRAMACAO | ROTEIROS FINAIS | PARAMETROS | DEPARA | PROG_RECALC

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Figura 33 – Registro da interface de resultados gerais da programação e roteirização gerados pelo sistema proposto (apresenta os resultados gerais de cada roteiro viável gerado com melhor solução identificada durante as iterações do algoritmo)

RETORNAR AO ROTEIRIZADOR

INÍCIO E FIM DA PROGRAMAÇÃO		TEMPO DE ROTEIRIZAÇÃO	FÓRMULAS
HORA DE INÍCIO DA PROGRAMAÇÃO		0:00:00	05/11/2015 19:53
HORA DE TÉRMINO DA PROGRAMAÇÃO			05/11/2015 19:53

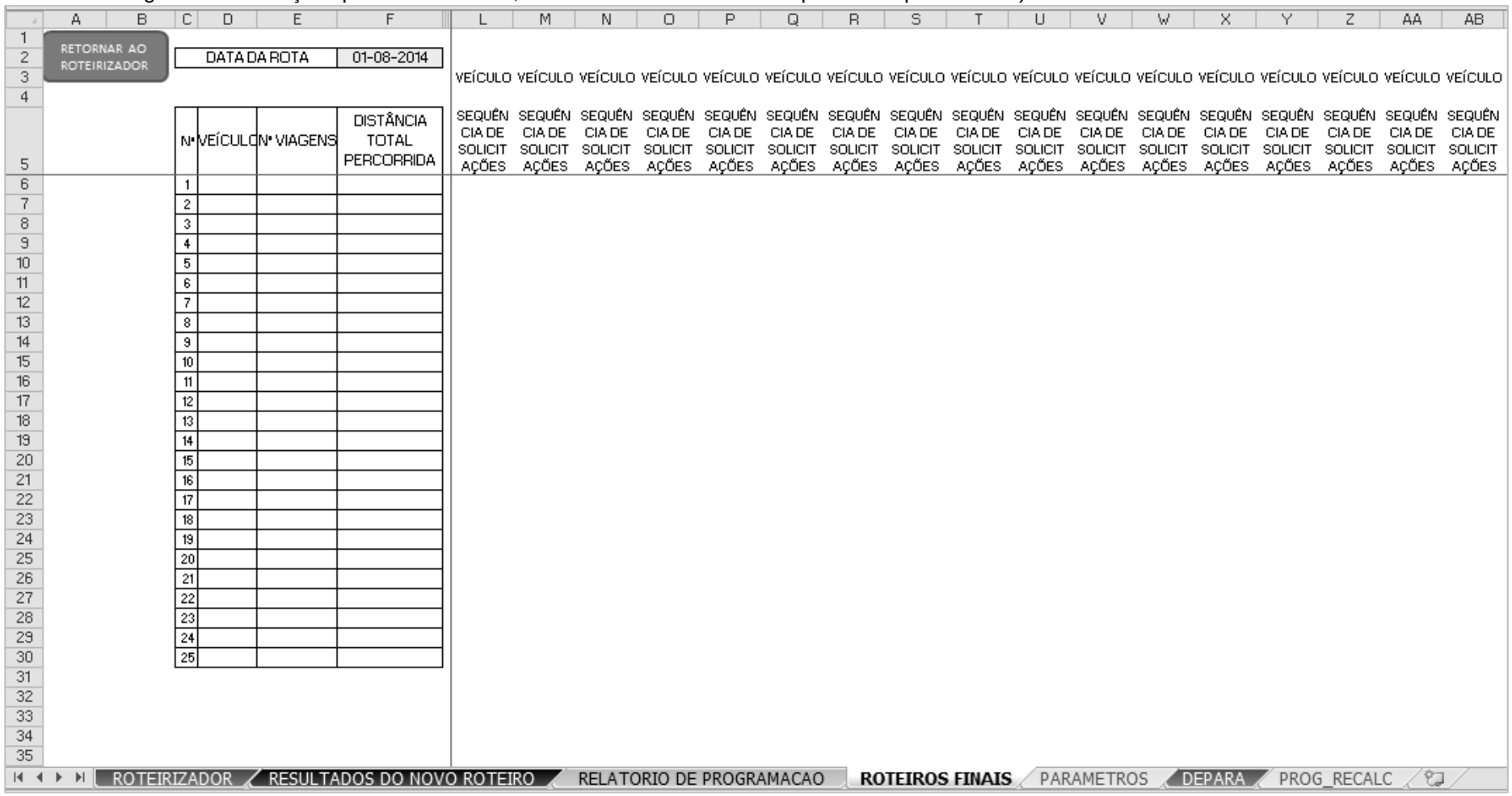
Programar Novas Solicitações

Nº	SOLICITAÇÃO INSERIDA	VEÍCULO	ROTA	DISTÂNCIA AUMENTADA	TEMPO MÉDIO DE VIAGEM	OCUPAÇÃO MÉDIA
1						#DIV/0!
2						#DIV/0!
3						#DIV/0!
4						#DIV/0!
5						#DIV/0!
6						#DIV/0!
7						#DIV/0!
8						#DIV/0!
9						#DIV/0!
10						#DIV/0!
11						#DIV/0!
12						#DIV/0!
13						#DIV/0!
14						#DIV/0!
15						#DIV/0!
16						#DIV/0!
17						#DIV/0!
18						#DIV/0!
19						#DIV/0!
20						#DIV/0!
21						#DIV/0!
22						#DIV/0!

ROTEIRIZADOR | RESULTADOS DO NOVO ROTEIRO | RELATORIO DE PROGRAMACAO | ROTEIROS FINAIS | PARAMETROS | DEPARA | PROG_RECALC

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Figura 34 – Registro da interface dos roteiros finais gerados pela programação e roteirização executadas pelo sistema proposto (apresenta a sequência de coletas e entregas das solicitações para cada veículo, assim como a distância total percorrida pelo veículo)



Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Figura 35 – Registro da interface de resultados das programações e roteiros iniciais (antes da execução do algoritmo de inserção) com os horários e distâncias de roteiros calculados de acordo com a matriz de distâncias, velocidades, sequência de atendimento das solicitações, tempos de carga e descarga cadastrados no sistema

RETORNAR AO ROTEIRIZADOR

50001 SeqSolci	50001 Hor.ParadaSolic	50001 Ocupacao	50001 Horario ED	50001 HorChegadaPonto	50001 Dist.Pt a Pt	50001 Dist.Acumulada	50002 SeqSolci	0002 Hor.Par
1	5:20	1	5:20	5:20	0,000	0,000	19	6:00
2	5:55	2	5:47	5:47	14,549	14,549	-19	6:20
3	5:55	3	5:52	5:52	1,112	15,661	20	6:40
4	6:05	4	5:59	5:59	2,178	17,839	-20	7:10
-2	6:20	3	6:06	6:06	2,158	19,997	21	7:35
-4	6:45	2	6:21	6:21	8,244	28,241	-21	8:15
-1	7:00	1	6:28	6:28	3,187	31,428	23	11:05
-3	7:00	0	6:30	6:30	0,000	31,428	24	11:20
5	8:50	1	7:00	6:48	9,595	41,023	26	11:50
-5	9:00	0	7:04	7:04	0,663	41,686	-24	12:20
6	9:50	1	8:00	7:18	7,300	48,986	-23	12:40
-6	10:00	0	8:14	8:14	6,836	55,822	-26	12:40
7	10:30	1	8:40	8:17	0,467	56,289	29	14:30
-7	10:40	0	8:44	8:44	0,826	57,115	-29	15:00
9	11:45	1	11:45	9:02	9,923	67,038	31	16:00
10	11:45	2	11:48	11:48	0,000	67,038	34	16:45
-9	12:00	1	12:01	12:01	6,325	73,363	-31	17:50
-10	13:00	0	12:36	12:36	19,567	92,930	-34	17:55
11	13:50	1	13:50	12:40	1,034	93,964	35	18:45
12	14:20	2	14:20	14:15	13,269	107,233	-35	19:15
-12	15:00	1	14:38	14:38	9,156	116,389	37	20:30
-11	15:30	0	15:17	15:17	22,022	138,411	-37	20:50
14	16:00	1	16:00	15:52	19,071	157,482	38	22:00
16	16:35	2	16:35	16:17	8,397	165,879	39	22:00
-16	16:55	1	16:41	16:41	1,781	167,660	-38	22:20
-14	17:50	0	16:52	16:52	5,947	173,607	-39	22:30

ROTEIRIZADOR | RESULTADOS DO NOVO ROTEIRO | RELATORIO DE PROGRAMACAO | ROTEIROS FINAIS | PARAMETROS | DEPARA | PROG_RECALC

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Figura 36 – Registro da interface de configuração dos parâmetros de programação e roteirização do sistema proposto (apresenta a sequência de coletas e entregas das solicitações para cada veículo, assim como a distância total percorrida pelo veículo)

RETORNAR AO ROTEIRIZADOR

RESTRIÇÕES E PARÂMETROS DO SISTEMA DE TRANSPORTE MÃO NA RODA

PRIORIDADE DE ATENDIMETNO E RESTRIÇÕES			
MOTIVO	PRIORIDADE	TMV	TMV - HORAS
SAÚDE URGÊNCIA	1	01:00	0,041667
CONSULTAS MÉDICAS	2	01:00	0,041667
SAÚDE	3	01:00	0,041667
FISIOTERAPIA	4	01:00	0,041667
TRABALHO	5	02:00	0,083333
EDUCAÇÃO	6	02:00	0,083333
JURÍDICO	7	02:00	0,083333
VIAGENS	8	02:00	0,083333
BANCOS	9	02:00	0,083333
RELIGIOSO	10	02:00	0,083333
LAZER	11	02:00	0,083333
OUTROS	12	02:00	0,083333

JANELA DE TEMPO DE OPERAÇÕES			
Hora de Início do Expediente	HIE	04:30:00	0,1875000
Hora de Término de Expediente	HTE	23:59:59	0,9999884

TEMPOS OPERACIONAIS (T)			
Tempo de Embarque	TE	00:03:00	0,0020833
Tempo de desembarque	TD	00:01:30	0,0010417
Tempo Máximo de Espera pelo Usuário	TMEU	00:15:00	0,0104167

VELOCIDADE (T)			
Velocidade Média	VM	35,00	km/hora

CAPACIDADES DOS VEÍCULOS	
VEÍCULOS	CAPACIDADE
50001	4
50002	4
50003	4
50101	6
50103	4
50302	4
50303	4
50304	4
50305	4
50306	6
50307	6
50400	4
50401	4
50502	4
50503	4
50505	6
50506	4
50507	4
50701	4
50703	4
50800	4
50801	4
50903	6
50904	6

ROTEIRIZADOR | RESULTADOS DO NOVO ROTEIRO | RELATORIO DE PROGRAMACAO | ROTEIROS FINAIS | **PARAMETROS** | DEPARA | PROG_RECALC

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Figura 37 – Registro da interface de configuração de cadastro de dados de novas solicitações que não tenham seus dados cadastrados no sistema

RETORNAR AO ROTEIRIZADOR

Tipo de Agendamento	Prioridade	Endereços Cadastrados	Credencia	Beneficiário	Matriz O/D	Data Rota	Status	Nº
HE	SAÚDE URGÊNCIA	AMARAL PEIXOTO , 1000, , BARRAMARES, VILA VELH	3		OD-1,0	01-08-2014	Programado	1001
HD	CONSULTAS MÉD	AMARAL PEIXOTO , 1000, BARRAMARES, VILA VELH	4		OD-1,1	02-08-2014	Não Programado	1002
	SAÚDE	AQV. CENTRAL, , CASA, NOVA BETANIA, VIANA	8		OD-1,2	03-08-2014		1003
	FISIOTERAPIA	AQV. CENTRAL, , NOVA BETANIA, VIANA	16		OD-1,3	04-08-2014		1004
	TRABALHO	AV . OSVALDO ORTA, 58, JARDIM CAMBURI, VITORIA	20			05-08-2014		1005
	EDUCAÇÃO	AV . PETROLINA , 0, , BARCELONA, SERRA	1842			06-08-2014		1006
	JURÍDICO	AV . PETROLINA , 0, BARCELONA, SERRA	2823			07-08-2014		1007
	VIAGENS	AV ADALBERTO SIMAO NADER , 503, , MATA DA PRA	2392			08-08-2014		1008
	BANCOS	AV ADALBERTO SIMAO NADER , 503, MATA DA PRAI	40			09-08-2014		1009
	RELIGIOSO	AV BEIRA MAR , , , CENTRO, VITORIA	54			10-08-2014		1010
	LAZER	AV BEIRA MAR , , CENTRO, VITORIA	2553			11-08-2014		1011
	OUTROS	AV CAMPO GRANDE , 01, , CAMPO GRANDE, CARIACI	2431			12-08-2014		1012
		AV CAMPO GRANDE , 01, CAMPO GRANDE, CARIACIC	1988			13-08-2014		1013
		AV CAMPO GRANDE , 1, , CAMPO GRANDE, CARIACIC	1549			14-08-2014		1014
		AV CAMPO GRANDE , 1, CAMPO GRANDE, CARIACICA	2137			15-08-2014		1015
		AV CARLOS LINDEMBERG, 7119, , COBI DE BAIXO, VIL	1287			16-08-2014		1016
		AV CARLOS LINDEMBERG, 7119, COBI DE BAIXO, VILA	70			17-08-2014		1017
		AV CHAMPAGNAT, 1806, , CENTRO, VILA VELHA	1389			18-08-2014		1018
		AV CHAMPAGNAT, 1806, CENTRO, VILA VELHA	95			19-08-2014		1019
		AV CONSTANTINO MOSCON , 810, , SÃO GERALDO II,	98			20-08-2014		1020
		AV CONSTANTINO MOSCON , 810, SÃO GERALDO II,	117					1021
		AV ESTUDANTE JOSE JULIO DE SOUZA , 2660, , PRA	2210					1022
		AV ESTUDANTE JOSE JULIO DE SOUZA , 2660, PRAIA	116					1023
		AV EXPEDITO GARCIA , , , CAMPO GRANDE, CARIACI	2598					1024
		AV EXPEDITO GARCIA , , CAMPO GRANDE, CARIACIC	1657					1025
		AV GERONIMO MONTEIRO, 790, , GLÓRIA, VILA VELH	122					1026
		AV GERONIMO MONTEIRO, 790, GLÓRIA, VILA VELHA	124					1027
		AV JACARAIPE , 22, , SERRA DOURADA II, SERRA	129					1028
		AV JACARAIPE , 22, SERRA DOURADA II, SERRA	135					1029
		AV LUCIANO DAS NEVES , , , DIVINO ESPÍRITO SANTO	2400					1030
		AV LUCIANO DAS NEVES , , DIVINO ESPÍRITO SANTO	1700					1031
		AV MASCARENHA DE MORAIS , , , CENTRO, VITORIA	2153					1032
		AV MASCARENHA DE MORAIS , , CENTRO, VITORIA	151					1033

ROTEIRIZADOR | RESULTADOS DO NOVO ROTEIRO | RELATORIO DE PROGRAMACAO | ROTEIROS FINAIS | PARAMETROS | DEPARA | PROG_RECALC

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Com relação à Figura 31, os botões de acionamento e comando apresentados na janela de interface em questão têm suas funções detalhadas conforme mostra a Tabela 23.

Tabela 23 – Descrição das funções dos botões de comando apresentados na Figura 31

(continua)

BOTÃO DE COMANDO	FUNÇÃO
“Carregar Programação Existente”	O botão tem por objetivo carregar as variáveis do sistema com as informações: das programações criadas pelo sistema de informação da CASEM; dos parâmetros cadastrados no sistema; da matriz de distâncias entre origens e destinos escolhida.
“Carregar Solicitações NP”	Visa carregar a interface do roteirizador com informações das solicitações não programadas nos roteiros preexistentes.
“Programar Novas Solicitações”	Objetiva executar a heurística de inserção para a tentativa de inserção das solicitações apresentadas na janela de interface “ROTEIRIZADOR”, na sequência de cima para baixo, cadastradas na janela de interface em questão.
“Imprimir Rotas Finais”	O botão em questão visa imprimir os resultados finais dos melhores roteiros gerados para as solicitações de inserção nos roteiros por meio da heurística de inserção.
“Limpar Novas Programações Registradas”	O comando executa a rotina para limpar os dados de relatórios de programações geradas após a programação e roteirização por meio da heurística.
“Limpa Memória”	Quando acionado, executa a rotina para limpar todas as variáveis armazenadas na memória após a execução dos demais botões nas janelas de interface.
“VERIFICAR EVOLUÇÃO DOS ROTEIROS GERADOS”	Tem a função de mostrar a interface do relatório dos resultados detalhados do novo roteiro.
“VERIFICAR RELATÓRIOS GERADOS”	Objetiva exibir o relatório de interface de resultados gerais gerados pela heurística.

Tabela 23 – Descrição das funções dos botões de comando apresentados na Figura 31 (conclusão)	
“VERIFICAR ROTEIROS FINAIS”	Permite a visualização da janela de interface dos roteiros finais propostos pela heurística.
“PARÂMETROS”	Realiza a abertura da janela de interface de visualização de cadastro de parâmetros para a consideração durante a execução do algoritmo de programação e roteirização.
“DEPARA”	Permite visualizar o cadastro de informações da janela de interface “DEPARA”.

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Quanto ao projeto do algoritmo de programação e roteirização, ele foi desenvolvido progressivamente por meio da sequência de projeto, programação, testes e análise dos resultados, desde a definição das variáveis do sistema até a impressão dos roteiros finais gerados.

A formulação do modelo matemático utilizado para o projeto do algoritmo de inserção é apresentado a seguir de forma a contribuir para um melhor entendimento do algoritmo proposto. Nesse contexto, sempre que solicitada a programação e roteirização de uma nova solicitação, as solicitações são inseridas de forma sequencial respeitando as restrições apresentadas a seguir.

Minimizar $\mathrm{DPR}^{\mathrm{x}}_{\mathrm{sn,v,r}} - \mathrm{DPR}_{\mathrm{v}}$

Sujeito a:

$$\mathrm{DPR}_{\mathrm{v}} = \sum_{n=1}^{N-1} x_{n,n+1}, \qquad [(n \in v) e\ (n \in s)], v = 1, \dots, V \tag{2}$$

$$\mathrm{DPR}^{\mathrm{x}}_{\mathrm{sn,v,r}} = \sum_{n=1}^{N+1} x_{n,n+1}, \qquad \{[(n \in v) e\ (n \in s)] ou (n \in SN)\}, v = 1, \dots, V e\ r = 1 \dots R \tag{3}$$

$$\mathrm{DPR}^{\mathrm{x}}_{\mathrm{sn,v,r}} - \mathrm{DPR}_{\mathrm{v}} > 0{,}5,\ \{[(n \in v) e\ (n \in s)] ou (n \in SN)\}, v = 1, \dots, V e\ r = 1 \dots R \tag{4}$$

$$TV_i \leq H_{i^-} - H_{i^+},\ \forall\ i \in I \tag{5}$$

$$OC_{v,L_i p} \leq C_v,\ v = 1 \dots V, i = 1 \dots I\ e\ p\ \in \{+, -\} \tag{6}$$

$$H_{i^+} \geq HD_{i^+},\ \forall i \in \{CSHE\} \tag{7}$$

$$H_{i^-} \leq HD_{i^-},\ \forall i \in \{CSHD\} \tag{8}$$

$$H_{i^-} > H_{i^+},\ \forall i \in I \tag{9}$$

$$HMC_{i^+} \leq\ H_{i^+}, \qquad \forall i \in \{CSHE\} \tag{10}$$

$$HMC_{i^-} \geq\ H_{i^-},\ \forall i \in \{CSHD\} \tag{11}$$

Onde:

- s: solicitação de um determinado cliente programado a ser atendida;
- S: conjunto de solicitações de clientes programados a serem atendidas;
- i: número de identificação do cliente;
- I: conjunto de clientes a serem atendidos;
- i^{+}, i^{-}: respectivamente solicitação de embarque e desembarque de um cliente "i";
- L_{i^p}: local de parada do veículo para embarque (i^{+}) ou desembarque (i^{-}) de um cliente "i";
- *sn*: número da solicitação de um novo cliente a ser atendida;
- *SN*: conjunto de novas solicitações de clientes a serem atendidas;
- *v*: número de identificação do veículo;
- *V*: número total de veículos planejado para o dia de operação;
- $\mathrm{DPR_v}$: distância planejada da rota do veículo "*v*";
- $\mathrm{DPR^{x}_{sn,v,r}}$: proposta de distância planejada da rota "*r*" do veículo "*v*" para o atendimento da nova solicitação "*sn*";
- r: índice de identificação da combinação de rota planejada;
- R: número total de combinações possíveis;
- *n*: número de identificação da parada no roteiro;
- *N*: número de paradas programadas para o roteiro "r";
- $x_{n,n+1}$: distância entre os pontos de parada "n" e ponto de parada subsequente "n+1";
- H_{i^+}, H_{i^-}: respectivamente, hora de embarque e hora de desembarque planejada de um cliente "i";
- HD_{i^+}, HD_{i^-}: respectivamente, hora de embarque e hora de desembarque desejada de um cliente "i";
- HMC_{i^+}, HMT_{i^-}: respectivamente, hora mais cedo de embarque e hora mais tarde de desembarque permitidas a um cliente i (restrição de janela de tempo de atendimento);
- TV_i: tempo de viagem planejado para atendimentodo cliente "i";
- C_v: capacidade máxima de transporte de um veículo "v";
- $OC_{v,L_{i^p}}$: ocupação do veículo "v" no local L_{i^p};

- $CSHE, CSHD$: clientes que fazem a solicitação de atendimento com o agendamento do horário de embarque e desembarque respectivamente;

Uma vez considerado o modelo matemático, o Quadro 2 apresenta o algoritmo de inserção desenvolvido para a realização da programação e roteirização das solicitações surgidas dinamicamente.

Quadro 2 – Pseudocódigo do projeto da heurística de inserção proposta

1.Início
2. Leitura dos dados de programações existentes e armazenagem nas variáveis do sistema;
3. Leitura dos dados da Matriz O/D existente e armazenagem nas variáveis do sistema;
4. Leitura dos dados de parâmetros de programação e armazenagem nas variáveis do sistema;
5. Criar vetor de rotas de veículos com a sequência de coletas e entregas baseado na programação
_original;
6. Calcular e armazenar distâncias percorridas entre os pontos de parada do vetor de rotas
7. _conforme Matriz O/D;
8. Calcular conforme roteiros existentes e Matriz O/D: tempos de viagem; horários de chegada e _horários de partida dos veículos nos pontos de coleta e entrega; ocupação dos veículos;
9. Leitura e armazenagem dos dados das novas solicitações a serem programadas;
10. Aguardar comando de roteirização;
11. Uma vez acionada a ordem de programar novas solicitações, faça:
12. Armazene os dados do “vetor roteiro definitivo” no “vetor roteiro provisório”;
13. Para cada nova solicitação a ser programada, faça:
14. Início Para
15. Para cada veículo v programado, faça:
16. Início Para
17. Identifique os pontos de parada do “vetor roteiro definitivo” imediatamente inferior e _imediatamente superior aos horários da janela de tempo de atendimento da nova _solicitação (intervalo de inserção);
18. Caso haja pontos de parada do veículo dentro do “intervalo de inserção” com _ocupação máxima do veículo, crie subintervalos de inserção;
19. Para pontos dentro do intervalo ou subintervalo de inserção de coleta I variando do _ponto 1 até penúltimo ponto do intervalo ou subintervalo de inserção faça:
20. Início Para
21. Transfira as solicitações do “vetor roteiro provisório” do respectivo ponto I em _diante para uma posição à frente e insira o ponto de coleta da nova solicitação
_no ponto I respectivo ao ”vetor roteiro provisório”;
22. Para pontos de inserção de entrega J variando de (I+1) até último ponto do _intervalo ou subintervalo de inserção faça:
23. Início Para
24. Transfira as solicitações do “vetor roteiro provisório” do respectivo ponto J _em diante para uma posição à frente e insira o ponto de entrega da _nova solicitação no ponto J respectivo ao “vetor roteiro provisório”;
25. Calcular distâncias entre paradas e distância total do “vetor roteiro _provisório”;
26. Calcular horários de chegada aos pontos de parada e horários de

```
                                _embarque do “vetor roteiro provisório”;
27.          Calcular tempos de viagem de cada solicitação do “vetor roteiro
                                _provisório”;
28.                             Calcular a ocupação do veículo em cada parada do “vetor roteiro
                                _provisório”;
29.                            Se as restrições de janela de tempo, duração de viagem e ocupação do
                                _veículo não forem violadas:
30.                             Se a distância de viagem total aumentada do “vetor roteiro provisório”
                                 _analisado < (distância de viagem total aumentada do “vetor melhor
                                 _roteiro provisório” analisado do melhor roteiro definido até o
momento
                                 _0,5):
31.                                  “vetor melhor roteiro provisório” recebe “vetor roteiro provisório”;
32.                                  “vetor roteiro definitivo” recebe “vetor melhor roteiro provisório”;
33.                        Fim Para
34.                 Fim Para
35.            Fim Para
36.       Fim Para
37.Fim
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

O algoritmo apresentado no Quadro 2 é executado em dois momentos. No primeiro, são executadas as etapas 2 a 9, as quais realizam as leituras das bases de dados e organizam os dados em vetores e variáveis, preparando assim as programações das rotas e os dados necessários para a realização da roteirização. Ao chegar ao passo 10, o sistema fica em estado de espera da solicitação de programação de uma nova solicitação.

No segundo momento, uma vez identificada e registrada uma nova solicitação e executado o comando para programar a nova solicitação em uma das rotas dos veículos existentes, os passos de 11 a 36 são executados e na sequência o sistema entra em estado de espera novamente, aguardando a programação de novas solicitações nos roteiros mais atuais programados.

Com relação aos passos de 11 a 36, vale-se o destaque da regra de inserção das novas solicitações apresentada em maiores detalhes na Figura 38. No momento “t0” apresentado na Figura 38, o sistema consta com registro de uma sequência de coletas e entregadas programadas para atendimento em determinados horários. Num segundo momento “t1” o algoritmo analisa os horários programados e cria janelas de tempo para atendimento considerando a lotação da capacidade do veículo, formando assim os subintervalos para a tentativa de inserção da nova

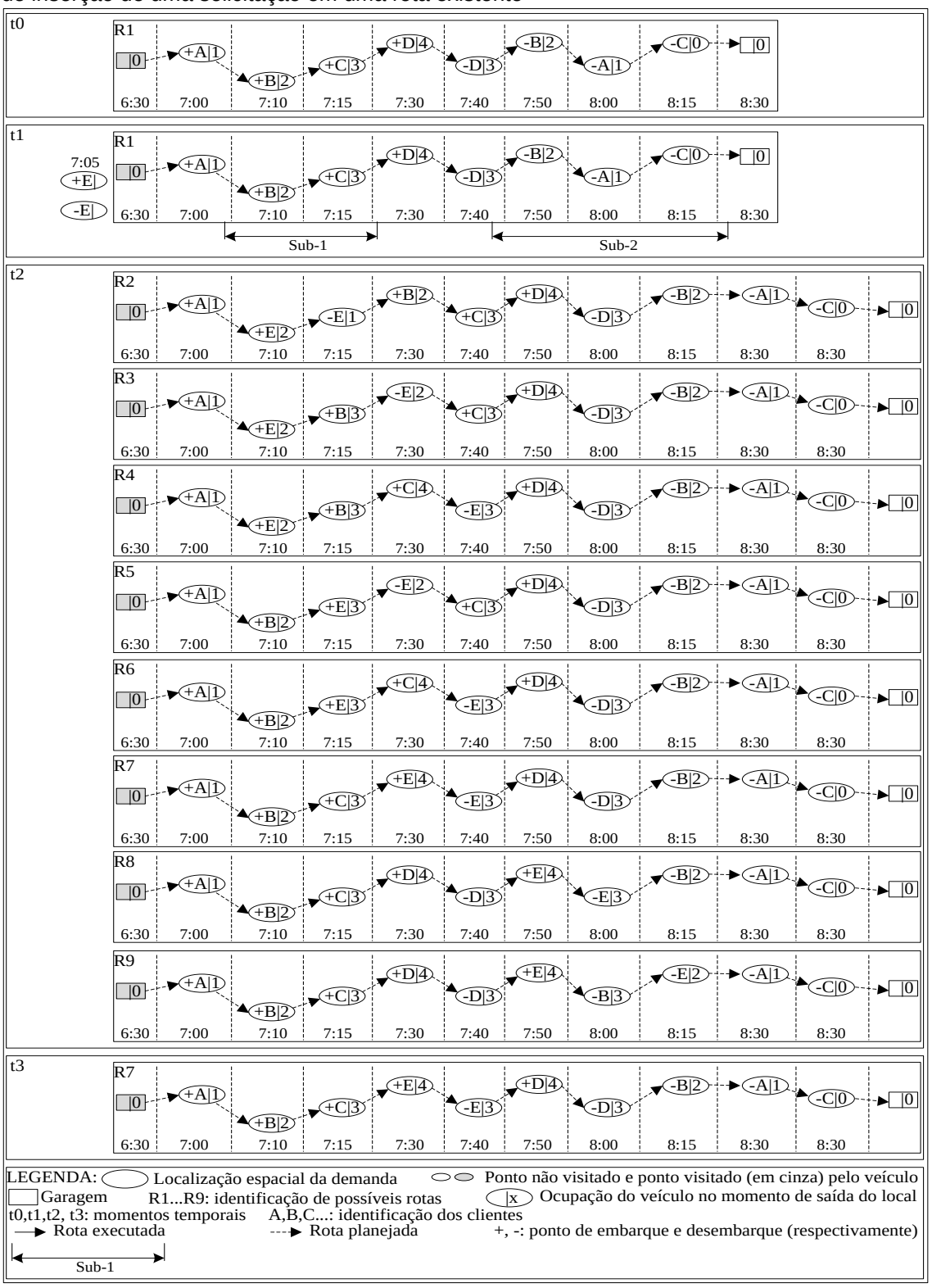
solicitação. Para os subintervalos em questão, o algoritmo insere uma nova solicitação de forma sequencial, gerando todas as possíveis combinações de rota (exemplo apresentado em “t2” na Figura 38) respeitando os tempos máximos de viagens dos clientes já programados e os limites de horários de atendimento de tais clientes. Para cada combinação de roteiro criada, o algoritmo processa as distâncias entre os pontos de embarque e desembarque e o respectivo tempo de deslocamento entre tais locais de parada. Além disso, o algoritmo computa os tempos de embarque e desembarque para a análise do atendimento das restrições. Por fim, o algoritmo verifica todas as restrições temporais e de capacidade do veículo e caso o roteiro processado seja passível de inserção da solicitação e tenha uma adição de distância deslocada maior do que 0,5Km e tenha uma menor distância adicionada ao roteiro quando comparado a uma das combinações de roteiro geradas pelo algoritmo, o algoritmo guarda o resultado e faz a mesma comparação com todas as combinações de rotas dos veículos programados. Assim que todas as combinações de rotas dos veículos programados forem analisadas, o algoritmo atualiza a rota do veículo com a menor distância de deslocamento adicionada começa o processamento de uma nova solicitação caso ela exista.

A Figura 38 apresenta ainda a sequência de combinações de rotas geradas pelo algoritmo no processamento de uma nova solicitação. No momento “t1” surge a solicitação “E” a qual deseja o atendimento de transporte e tem-se um dos veículos com a programação de rota conforme apresentado em “t1”. Uma vez identificado os possíveis subintervalos de atendimento, respeitando as restrições de capacidade e temporal, as rotas são processadas conforme as combinações apresentadas em “t2” testando todas as combinações de coletas e entregas da nova solicitação dentro de cada subintervalo e respeitando a ordem existente no subintervalo. Dessa forma, o algoritmo altera a rota apenas entres os nós de parada do veículo que tiveram a inserção de uma nova solicitação.

A Figura 38 registra o momento final “t3”. Tal momento apresenta a rota final planejada com a sequência de paradas a ser seguida pelo veículo. Dentre as rotas “R2” a “R9”, a rota escolhida pelo algoritmo foi a rota “R7”, ou seja, a rota com a menor distância adicionada frente ao roteiro anteriormente planejado. Vale ressaltar que os horários apresentados na Figura 38 não apresentam o horário planejado

processado pelo algoritmo, os mesmos foram inseridos na figura apenas para um melhor entendimento.

Figura 38 – Representação visual dos resultados do processamento do algoritmo para a tentativa de inserção de uma solicitação em uma rota existente



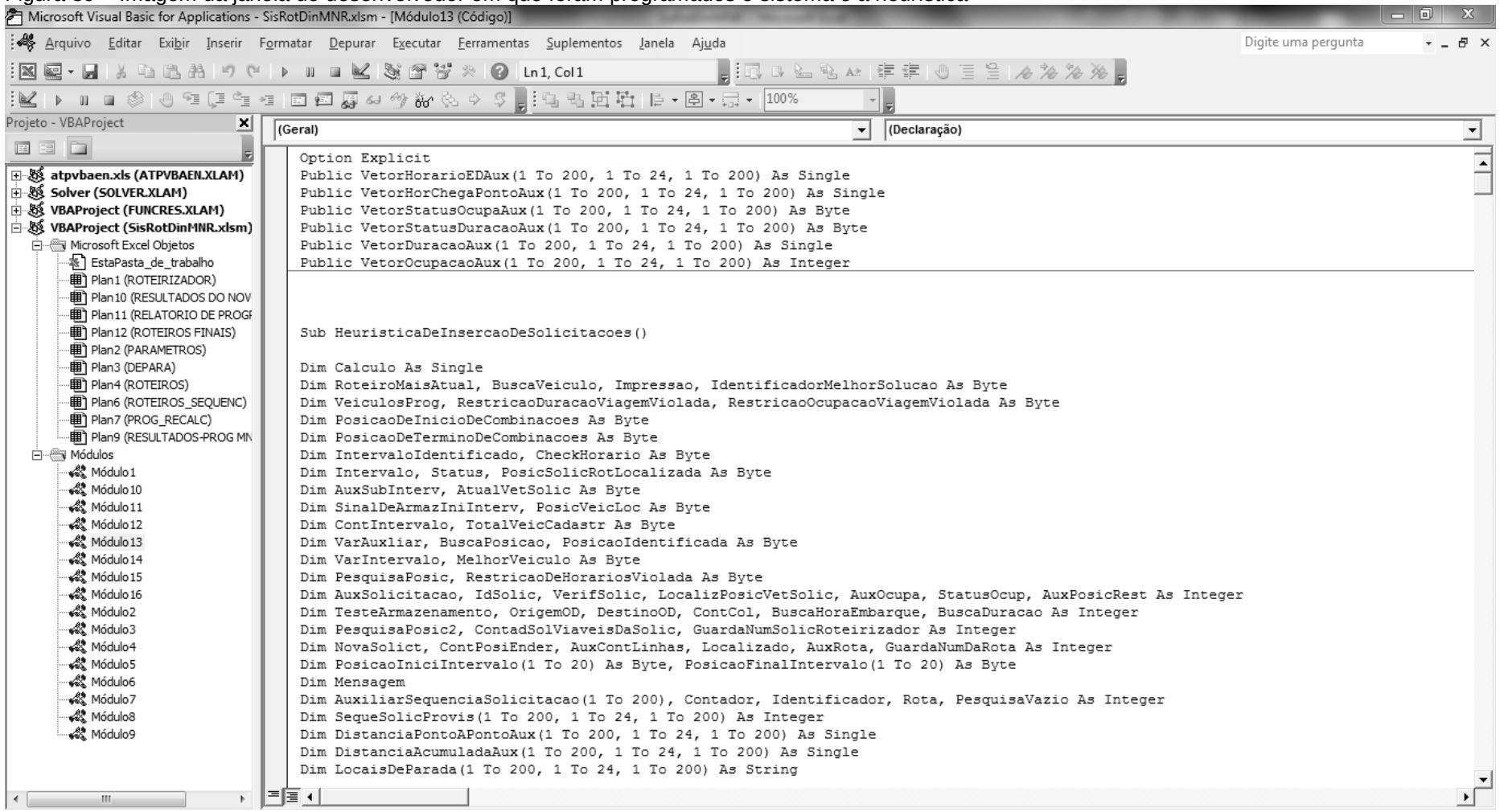
Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

O código de programação da heurística não foi apresentado uma vez que se encontra em fase de registro no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INIT), cujo código do protocolo geral é “BR 51 2016 000652 8”.

(4) Programação

A programação do sistema foi realizada na linguagem *Visual Basic For Applications* e a tela principal do desenvolvedor é apresentada na Figura 39, a qual registra também que a programação do sistema foi desenvolvida em 16 módulos.

Figura 39 – Imagem da janela do desenvolvedor em que foram programados o sistema e a heurística



Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

(5) Testes

Os testes do sistema foram realizados progressivamente de acordo com a programação citada anteriormente para os cenários mencionados.

Após a conclusão da programação do sistema, ele foi testado para 20 dias de operação do sistema de transporte para parâmetros fixos de programação e alguns dos cenários foram testados com variações dos parâmetros de velocidade do veículo e Matriz O/D. Os testes mostraram que para os cenários analisados o sistema não apresenta falhas ou erros e é capaz de realizar a tentativa de inserção das solicitações para todos os cenários considerados.

Foram realizados também testes manuais e empíricos de coerência dos cálculos e resultados apresentados pelo sistema, os quais se mostraram coerentes com os parâmetros utilizados para a programação. Desse modo, o sistema foi considerado apto para a programação e roteirização dinâmica dos veículos para as novas solicitações surgidas, e os resultados são apresentados na seção a seguir.

5.2 RESULTADOS E ANÁLISE

Para a verificação dos resultados das programações e roteirizações geradas pelo sistema, duas análises são apresentadas: a análise detalhada da programação para um dia de operação e a análise geral dos resultados para os 20 dias de operação estudados.

5.2.1 Análise detalhada da programação para um dia de operação

Para a análise detalhada dos resultados, foi definido o dia de operação “20-08-2014” por apresentar um número elevado de solicitações a serem programadas pelo sistema, quando comparado aos demais dias apresentados na Tabela 15. A Figura 40 apresenta a interface de programação e roteirização com as 50 solicitações, as quais foram consideradas pelo sistema para a inserção nos roteiros existentes.

Figura 40 – Registro da interface de programação e roteirização após a execução da programação e roteirização pelo sistema para o cenário “20-08-2014”

Universidade Federal do Espírito Santo

SISTEMA DE PROGRAMAÇÃO ROTEIRIZAÇÃO DINÂMICA DE VEÍCULOS

DATA:	26/10/2015 21:57	DATA DA ROTA	20-08-2014
		MATRIZ O/D	OD-1,2

VERIFICAR EVOLUÇÃO DOS ROTEIROS GERADOS | VERIFICAR RELATÓRIOS GERADOS | VERIFICAR ROTEIROS FINAIS | PARÂMETROS | DEPARA

Carregar Programação Existente | Carregar solicitacoes NP | Programar Novas Solicitações | Imprimir Rotas Finais | Limpar Novas Programações Registradas | Limpa Memória

Nº	Credencial	Beneficiário	Prioridade	Local de Embarque	Local de Desembarque	Horário Desejado	Tipo de Agendamento	Nº Prioridade	TMV	Status
1008	116		ONSULTAS MÉDICA	R. JOSE FEVERINO , ,	R. DOIS, 420, CASA, PAD	16:00	HE	2	1:00	Programado
1010	539		ONSULTAS MÉDICA	AV. MINISTRO SALG	R. PASTEUR , 0, CASA, VI	15:00	HE	2	1:00	Programado
1017	1742		ONSULTAS MÉDICA	R. SAO JOAO BATIST	R. BARIRI, 2, CASA, COST	11:00	HE	2	1:00	Não Programado
1006	2851		ONSULTAS MÉDICA	R. GASTAO ROUBAC	R. 70, 18, QX 86, NOVA R	10:00	HE	2	1:00	Programado
1031	116		ONSULTAS MÉDICA	R. DOIS, 420, CASA,	R. JOSE FEVERINO , , , VE	14:00	HD	2	1:00	Programado
1034	539		ONSULTAS MÉDICA	R. PASTEUR , 0, CASA	AV. MINISTRO SALGADO	13:00	HD	2	1:00	Programado
1045	1742		ONSULTAS MÉDICA	R. BARIRI, 2, CASA, C	R. SAO JOAO BATISTA, 2	10:00	HD	2	1:00	Não Programado
1047	2851		ONSULTAS MÉDICA	R. 70, 18, QX 86, NOV	R. GASTAO ROUBACH, 0	8:30	HD	2	1:00	Programado
1016	967		FISIOTERAPIA	R. COLATINA, 358, V	R. BETIM, 1, , VILA PRUD	17:00	HE	4	1:00	Programado
1011	2646		FISIOTERAPIA	R. SOROCABA, 3132,	R. AFONSO CLAUDIO , 12	15:00	HE	4	1:00	Programado
1019	2279		FISIOTERAPIA	R. SOROCABA, 3132,	R. ANTONIO GOVEIA, 01	15:00	HE	4	1:00	Programado
1028	967		FISIOTERAPIA	R. BETIM, 1, , VILA P	R. COLATINA, 358, VILA	16:00	HD	4	1:00	Programado
1030	661		FISIOTERAPIA	R. IRERE, 2, , SERRA	AV. PERIMETRAL, 0, COC	14:00	HD	4	1:00	Programado
1036	2646		FISIOTERAPIA	R. AFONSO CLAUDIO	R. SOROCABA, 3132, MA	13:00	HD	4	1:00	Programado
1038	2279		FISIOTERAPIA	R. ANTONIO GOVEIA	R. SOROCABA, 3132, MA	13:00	HD	4	1:00	Programado
1022	16		TRABALHO	R. LEOPOLDO GOME	AV. PERIMETRAL, 0, COC	18:00	HD	5	2:00	Programado
1004	971		EDUCAÇÃO	R. HENRIQUE MEYER	R. FLORESMAR, 12, CASA	17:30	HE	6	2:00	Programado
1013	1621		EDUCAÇÃO	R. CARLOS ROGERIO	R. H, 8, , ROSA DA PENHA	17:30	HE	6	2:00	Programado
1014	1186		EDUCAÇÃO	R. ANTONIO BORGE	R. ANTONIO RODRIGUES	17:30	HE	6	2:00	Programado
1015	1984		EDUCAÇÃO	R.ALMIRANTE TAMA	R. ANTONIO VIERA , 78,	17:20	HE	6	2:00	Programado
1021	745		EDUCAÇÃO	AV. BELO HORIZONT	R. SAO JOSE, 129, , FLOR	17:00	HE	6	2:00	Programado
1023	722		EDUCAÇÃO	R. RESPLENDOR, 32,	R. JOSE DE ANCHIETA, 1,	16:30	HE	6	2:00	Programado
1002	533		EDUCAÇÃO	R. SESSENTA E UM ,	R. VINTE E TRES, 33, QUA	16:30	HE	6	2:00	Programado
1009	811		EDUCAÇÃO	R. JOANA MARIA DA	R. URUGUAI, , , JUSCELIN	15:30	HE	6	2:00	Programado
1024	1798		EDUCAÇÃO	R. JOANA MARIA DA	R. DEZESEIS, 157, , CASTE	15:00	HE	6	2:00	Programado
1012	2174		EDUCAÇÃO	R. C, 00, CAMPO VER	R. MARTINS VAZ, 1, , NO	11:20	HE	6	2:00	Programado
1003	1805		EDUCAÇÃO	R. CARLOS ROGERIO	R. BOM PASTOR, 1, , CAM	11:00	HE	6	2:00	Programado
1032	722		EDUCAÇÃO	R. JOSE DE ANCHIET	R. RESPLENDOR, 32, CAM	13:30	HD	6	2:00	Programado
1033	1798		EDUCAÇÃO	R. DEZESEIS, 157, , C	R. JOANA MARIA DA SILV	13:20	HD	6	2:00	Programado
1035	1456		EDUCAÇÃO	R. MANDARIM, 20, C	R. AFONSO ARINOS DE M	13:00	HD	6	2:00	Programado
1037	1621		EDUCAÇÃO	R. H, 8, , ROSA DA PE	R. CARLOS ROGERIO JES	13:00	HD	6	2:00	Programado
1040	811		EDUCAÇÃO	R. URUGUAI, , , JUSC	R. JOANA MARIA DA SILV	13:00	HD	6	2:00	Programado
1041	745		EDUCAÇÃO	R. SAO JOSE, 129, , F	AV. BELO HORIZONTE, ,	13:00	HD	6	2:00	Programado
1042	533		EDUCAÇÃO	R. VINTE E TRES, 33,	R. SESSENTA E UM , 0, N	13:00	HD	6	2:00	Programado
1043	1186		EDUCAÇÃO	R. ANTONIO RODRIG	R. ANTONIO BORGES RO	12:20	HD	6	2:00	Programado
1044	1456		EDUCAÇÃO	R. SANHACO, 0, NOV	R. MANDARIM, 20, CASA	11:00	HD	6	2:00	Programado
1049	2174		EDUCAÇÃO	R. MARTINS VAZ, 1,	R. C, 00, CAMPO VERDE,	7:30	HD	6	2:00	Programado
1050	1805		EDUCAÇÃO	R. BOM PASTOR, 1, ,	R. CARLOS ROGERIO DE	7:00	HD	6	2:00	Programado
1001	2089		JURÍDICO	R. SAO JOAO BATIST	R. DA GALERIA, 217, CAS	18:00	HE	7	2:00	Programado
1029	2089		JURÍDICO	R. DA GALERIA, 217,	R. SAO JOAO BATISTA, 2	14:00	HD	7	2:00	Programado
1026	679		LAZER	R. ANA CIQUEIRA, 28	R. G, 105, , JARDIM DE H	13:00	HE	11	2:00	Programado
1048	679		LAZER	R. G, 105, , JARDIM D	R. ANA CIQUEIRA, 28077	8:20	HD	11	2:00	Programado
1005	1925		OUTROS	R. VARGEM ALEGRE,	R. PRINCESA ISABEL, 6, C	21:50	HE	12	2:00	Programado
1018	161		OUTROS	R.DAS ACASSIAS , 7,	R. CÓRREGO GRANDE, 1	21:00	HE	12	2:00	Programado
1025	2363		OUTROS	R. GASTAO ROUBAC	R. CALANDRINA, 64, , SE	14:00	HE	12	2:00	Programado
1027	2578		OUTROS	AV. MARECHAL CAM	AV. BELA VISTA, 779, , P	11:30	HE	12	2:00	Programado
1007	1925		OUTROS	R. PRINCESA ISABEL	R. VARGEM ALEGRE, , , C	19:30	HD	12	2:00	Programado
1020	161		OUTROS	R. CÓRREGO GRAND	R.DAS ACASSIAS , 7, IGR	19:15	HD	12	2:00	Programado
1039	2363		OUTROS	R. CALANDRINA, 64,	R. GASTAO ROUBACH, 0	13:00	HD	12	2:00	Programado
1046	2578		OUTROS	AV. BELA VISTA, 779	AV. MARECHAL CAMPOS	8:30	HD	12	2:00	Programado
1051										

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

A Figura 40 mostra que, dentre as 50 solicitações a serem programadas, 48 foram inseridas nos roteiros existentes, satisfazendo todas as restrições, e as outras duas não foram programadas por violarem tais restrições. Podem-se analisar também os resultados mediante as interfaces de resultados da programação. A Figura 41 apresenta parte do relatório de resultados detalhados da programação, o qual registra todos os roteiros com melhores resultados identificados, à medida que o algoritmo processa os dados e identifica tais rotas.

Figura 41 – Imagem do relatório de resultados detalhados da programação para o cenário “20-08-2014”

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
4	SOLICITACAI	1008	T.M.V.	0:12				REST. JT	REST. OCUPAC.	Ocupção Média	
5	VEICULO	50001	DIST. TOTAL					0	0	0,95	
6	ROTA	1								Ocup. Máx.	Flag Ocu.
7	DIST. AUMEN	1,0289917								4	4
8	SOLICITAÇÃO	HORA DE CHEGADA NO PONTO	HORA DE BEM./DESEM.	DISTANCIA PTO A PTO	DISTANCIA ACUMULADA	STATUS	DURAÇÃO	REST. JAN. TEMPO	REST. OCUPACAO	OCUPACAO	
9	1	5:55	5:55	0,000	0,000	OK	0:00	0	0	1	
10	2	6:01	6:01	1,795	1,795	OK	0:00	0	0	2	
11	-1	6:07	6:07	2,158	3,953	OK	0:12	0	0	1	
12	-2	6:23	6:23	8,244	12,197	OK	0:22	0	0	0	
13	3	6:35	6:40	6,268	18,465	OK	0:00	0	0	1	
14	-3	7:16	7:16	19,399	37,864	OK	0:36	0	0	0	
15	4	7:21	9:50	2,471	40,335	OK	0:00	0	0	1	
16	-4	10:16	10:16	13,553	53,888	OK	0:26	0	0	0	
17	5	10:22	10:22	2,546	56,434	OK	0:00	0	0	1	
18	-5	10:26	10:26	0,789	57,223	OK	0:04	0	0	0	
19	6	10:32	11:30	2,530	59,753	OK	0:00	0	0	1	
20	7	11:41	11:41	5,237	64,990	OK	0:00	0	0	2	
21	8	11:50	11:55	3,445	68,435	OK	0:00	0	0	3	
22	9	12:11	12:15	7,979	76,414	OK	0:00	0	0	4	
23	-6	12:26	12:26	5,040	81,454	OK	0:56	0	0	3	
24	-8	12:37	12:37	5,678	87,132	OK	0:42	0	0	2	
25	-7	12:39	12:39	0,000	87,132	OK	0:57	0	0	1	
26	-9	12:40	12:40	0,000	87,132	OK	0:25	0	0	0	
27	10	12:56	15:10	8,397	95,529	OK	0:00	0	0	1	
28	-10	15:25	15:25	7,485	103,014	OK	0:15	0	0	0	
29	11	15:38	16:00	6,292	109,306	OK	0:00	0	0	1	
30	1008	16:05	16:05	1,576	110,882	OK	0:00	0	0	2	
31	-1008	16:12	16:12	2,281	113,163	OK	0:06	0	0	1	
32	-11	16:32	16:32	10,725	123,888	OK	0:32	0	0	0	
33	12	17:00	17:00	15,253	139,141	OK	0:00	0	0	1	
34	13	17:03	17:03	0,000	139,141	OK	0:00	0	0	2	
35	-12	17:16	17:16	6,234	145,375	OK	0:16	0	0	1	
36	-13	17:19	17:19	0,785	146,160	OK	0:16	0	0	0	
37	14	17:23	17:35	1,583	147,743	OK	0:00	0	0	1	
38	-14	17:39	17:39	0,844	148,587	OK	0:04	0	0	0	
39	15	17:45	18:05	2,879	151,466	OK	0:00	0	0	1	
40	-15	18:20	18:20	7,261	158,727	OK	0:15	0	0	0	
41	16	18:28	18:50	4,108	162,835	OK	0:00	0	0	1	
42	-16	19:01	19:01	5,192	168,027	OK	0:11	0	0	0	
43	17	19:13	20:30	5,927	173,954	OK	0:00	0	0	1	
44	-17	20:46	20:46	7,608	181,562	OK	0:16	0	0	0	
45	18	21:08	22:00	12,104	193,666	OK	0:00	0	0	1	
46	-18	22:20	22:20	9,961	203,627	OK	0:20	0	0	0	
47	19	22:34	22:34	7,506	211,133	OK	0:00	0	0	1	
48	-19	23:15	23:15	22,195	233,328	OK	0:41	0	0	0	
49											
50											

	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
4	SOLICITAC	1008	T.M.V.	0:09				REST. JT	ST. OCUP	upção Média	
5	VEICULO	50701	DIST. TOTAL					0	0	0,9375	
6	ROTA	1								Ocup. Máx	Flag Ocu.
7	DIST. AUMI	0,11499023								4	4
8	SOLICITAÇÃO	HORA DE CHEGADA NO PONTO	HORA DE BEM./DESEM.	DISTANCIA PTO A PTO	DISTANCIA ACUMULADA	STATUS	DURAÇÃO	REST. JAN. TEMPO	REST. OCUPACAO	OCUPACAO	
9	325	6:20	6:20	0,000	0,000	OK	0:00	0	0	1	
10	-325	6:29	6:29	3,659	3,659	OK	0:09	0	0	0	
11	326	6:32	6:32	1,209	4,868	OK	0:00	0	0	1	
12	-326	6:37	6:37	1,208	6,076	OK	0:05	0	0	0	
13	327	6:55	7:00	9,132	15,208	OK	0:00	0	0	1	
14	328	7:11	7:11	4,977	20,185	OK	0:00	0	0	2	
15	-327	7:17	7:17	1,488	21,673	OK	0:17	0	0	1	
16	-328	7:18	7:18	0,000	21,673	OK	0:07	0	0	0	
17	329	7:27	8:00	4,110	25,783	OK	0:00	0	0	1	
18	-329	8:04	8:04	0,892	26,675	OK	0:04	0	0	0	
19	330	8:13	9:30	4,506	31,181	OK	0:00	0	0	1	
20	-330	9:43	9:43	6,240	37,421	OK	0:13	0	0	0	
21	331	9:55	10:20	6,240	43,661	OK	0:00	0	0	1	
22	332	10:23	10:30	0,000	43,661	OK	0:00	0	0	2	
23	333	10:33	10:33	0,000	43,661	OK	0:00	0	0	3	
24	335	10:36	11:00	0,000	43,661	OK	0:00	0	0	4	
25	-331	11:09	11:09	3,885	47,546	OK	0:49	0	0	3	
26	-332	11:23	11:23	6,951	54,497	OK	0:53	0	0	2	
27	-333	11:34	11:34	6,064	60,561	OK	1:01	0	0	1	
28	-335	11:44	11:44	4,497	65,058	OK	0:44	0	0	0	
29	1008	11:56	16:00	6,521	71,579	OK	0:00	0	0	1	
30	-1008	16:06	16:06	2,281	73,860	OK	0:06	0	0	0	
31	336	16:15	18:00	3,942	77,802	OK	0:00	0	0	1	
32	-336	18:16	18:16	7,911	85,713	OK	0:16	0	0	0	
33	337	18:22	18:35	2,618	88,331	OK	0:00	0	0	1	
34	-337	18:43	18:43	3,069	91,400	OK	0:08	0	0	0	
35	338	18:50	19:15	3,068	94,468	OK	0:00	0	0	1	
36	-338	19:26	19:26	4,795	99,263	OK	0:11	0	0	0	
37	339	19:32	21:30	2,884	102,147	OK	0:00	0	0	1	
38	-339	21:34	21:34	0,671	102,818	OK	0:04	0	0	0	
39	340	21:40	22:00	3,112	105,930	OK	0:00	0	0	1	
40	-340	22:04	22:04	0,885	106,815	OK	0:04	0	0	0	

RETORNAR AO ROTEIRIZADOR

ROTEIRIZADOR | RESULTADOS DO NOVO ROTEIRO | RELATORIO DE PROGRAMACAO | ROTEIROS FINAIS | PARAMETROS | DEPARA | PROG_RECALC

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

A Figura 41 apresenta o roteiro detalhado da inserção da solicitação 1008 e pode-se destacar que a inserção na rota do veículo 50001 na posição apresentada na figura gera um acréscimo de distância na distância total do roteiro de 1,029 km. Por outro lado, a figura mostra que uma solução de inserção com melhor resultado foi encontrada, ou seja, inserindo a solicitação 1008 no roteiro do veículo 50701 na posição apresentada na coluna “SOLICITAÇÃO”, a distância total do roteiro terá um aumento inferior, de 0,115 km. É válido destacar, para efeito de entendimento, que, na coluna “SOLICITAÇÃO”, os números positivos representam as coletas das solicitações em questão e os números negativos representam as entregas delas.

Para uma análise sintética da evolução dos resultados gerados pelo algoritmo, a Figura 42 apresenta os resultados gerais dos roteiros gerados pelo sistema encontrados ao longo do processamento realizado pelo algoritmo.

Figura 42 – Imagem dos resultados por meio da interface de resultados gerais da programação e roteirização para o cenário "20-08-2014"

	A	B	C	D	E	F	G	H
5	RETORNAR AO ROTEIRIZADOR		INÍCIO E FIM DA PROGRAMAÇÃO		TEMPO DE ROTEIRIZAÇÃO	FÓRMULAS	Programar Novas Solicitações	
6			HORA DE INÍCIO DA PROGRAMAÇÃO	26/10/15 21:53	0:04:32	26/10/2015 21:53		
7			HORA DE TÉRMINO DA PROGRAMAÇÃO	26/10/15 21:57		26/10/2015 21:57		
9	SOLICITAÇÃO_VEÍCULO_ROTA	Nº	SOLICITAÇÃO INSERIDA	VEÍCULO	ROTA	DISTÂNCIA AUMENTADA NA ROTA COM A INSERÇÃO (Km)	TEMPO MÉDIO DE VIAGEM (horas)	OCUPAÇÃO MÉDIA DO VEÍCULO POR ARCO
10	1008_50001_1	1	1008	50001	1	1,03	0:12:03	0,95
11	1008_50701_1	2	1008	50701	1	0,11	0:09:55	0,94
12	1010_50304_1	3	1010	50304	1	76,77	0:09:38	0,75
13	1010_50503_1	4	1010	50503	1	50,26	0:10:15	0,75
14	1010_50701_1	5	1010	50701	1	40,16	0:10:30	0,91
15	1010_50801_2	6	1010	50801	2	12,28	0:11:25	1,24
16	1006_50304_1	7	1006	50304	1	50,00	0:11:18	0,75
17	1006_50401_2	8	1006	50401	2	30,98	0:17:46	1,21
18	1006_50401_5	9	1006	50401	5	26,15	0:13:33	1,17
19	1031_50103_4	10	1031	50103	4	5,74	0:19:46	1,32
20	1031_50103_9	11	1031	50103	9	4,92	0:18:39	1,32
21	1031_50103_10	12	1031	50103	10	3,80	0:16:51	1,27
22	1031_50801_4	13	1031	50801	4	2,87	0:15:30	1,25
23	1034_50305_1	14	1034	50305	1	78,44	0:11:29	0,91
24	1034_50401_1	15	1034	50401	1	33,02	0:19:57	1,14
25	1034_50401_2	16	1034	50401	2	27,11	0:20:58	1,18
26	1034_50502_1	17	1034	50502	1	26,48	0:22:56	0,50
27	1047_50302_1	18	1047	50302	1	51,40	0:16:14	0,67
28	1047_50502_1	19	1047	50502	1	43,42	0:21:15	0,50
29	1047_50503_1	20	1047	50503	1	36,23	0:09:19	0,75
30	1016_50001_12	21	1016	50001	12	19,95	0:13:00	0,95
31	1016_50001_16	22	1016	50001	16	19,33	0:12:02	0,90
32	1016_50701_1	23	1016	50701	1	16,72	0:11:37	0,91
33	1016_50801_1	24	1016	50801	1	13,16	0:17:04	1,21
34	1011_50001_1	25	1011	50001	1	26,53	0:14:45	0,90

ROTEIRIZADOR | RESULTADOS DO NOVO ROTEIRO | **RELATORIO DE PROGRAMACAO** | ROTEIROS FINAIS | ROTEIROS FINAIS (2) | ANÁLISE GERAL | RESULTADOS-

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

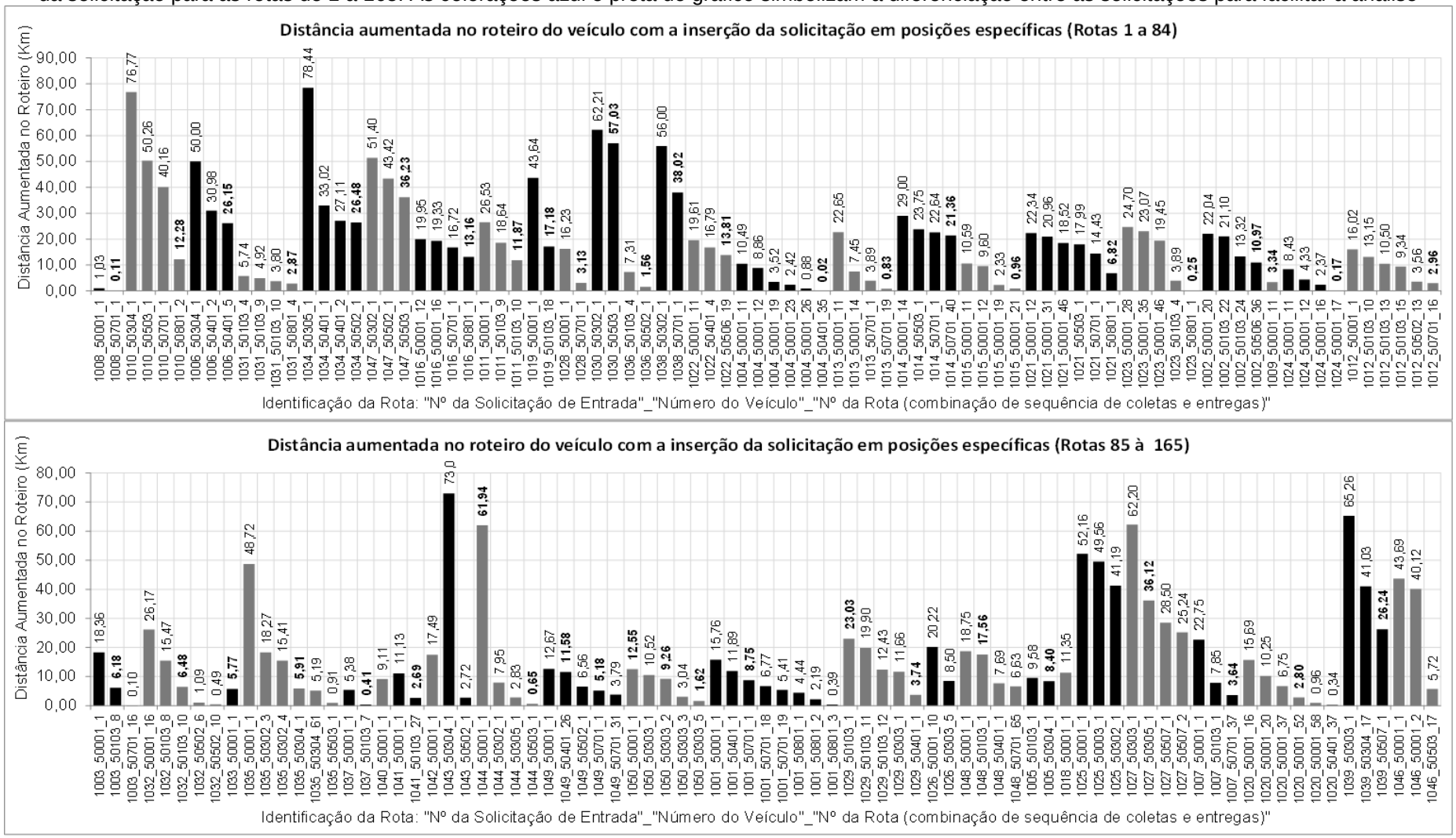
Os resultados apresentados na Figura 42 registram, em cada linha, um número de controle geral (coluna “N.º”), o número da solicitação que foi inserida em dado processamento do algoritmo (coluna “SOLICITAÇÃO INSERIDA”), o veículo para o qual a solicitação teve a proposta de inserção (coluna “VEÍCULO”), o número de identificação da rota calculada pelo algoritmo (coluna “ROTA”), a distância aumentada na distância total da rota devido à inserção da nova solicitação na rota do veículo em questão (coluna “DISTÂNCIA AUMENTADA”), o tempo médio de viagem entre os pontos de parada do veículo na rota proposta (coluna “TEMPO MÉDIO DE VIAGEM”) e a ocupação média do veículo entre os pontos de parada do veículo na rota proposta (coluna “OCUPAÇÃO MÉDIA”).

Com relação ao tempo necessário para a programação e roteirização por parte do sistema, a Figura 42 registra o tempo de 4,5 minutos de processamento para a busca de soluções para o atendimento das 50 solicitações de viagem pendentes de atendimento, consolidando o tempo médio de processamento de 5,44 segundos/solicitação.

Para uma análise geral dos dados apresentados na Figura 42, uma síntese dos 165 roteiros é apresentada na Figura 43. Os gráficos apresentados na figura em questão mostram a evolução da melhoria dos roteiros no atendimento à determinada solicitação mediante o parâmetro de “distância aumentada no roteiro” com o atendimento às solicitações para cada melhor combinação de rota identificada por meio do processamento do algoritmo para um determinado veículo.

Com relação ao relatório da interface de roteiros finais gerados, a imagem parcial dele é apresentada na Figura 44. A mesma apresenta os resultados da sequência de coletas e entrega de cada solicitação para cada veículo, uma síntese geral do número de viagens para cada veículo programado e a distância a ser percorrida por ele para o atendimento às solicitações.

Figura 43 – Análise geral dos resultados da programação gerada para o cenário “20-08-2014” mediante o acréscimo de distância no roteiro com a inserção da solicitação para as rotas de 1 a 165. As colorações azul e preta do gráfico simbolizam a diferenciação entre as solicitações para facilitar a análise



Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Figura 44 – Imagem do relatório de interface dos roteiros finais gerados e resultados gerais do número de viagens e distância total a ser percorrida para cada veículo

DATA DA ROTA	20-08-2014

Nº	VEÍCULO	Nº VIAGENS	DISTÂNCIA TOTAL PERCORRIDA
1	50001	52	280,5
2	50002	38	218,1
3	50003	32	158,9
4	50101	48	251,5
5	50103	50	200,6
6	50302	24	195,7
7	50303	32	165,2
8	50304	24	126,1
9	50305	42	227,3
10	50306	28	176,3
11	50307	40	278,4
12	50400	44	252,3
13	50401	48	216,9
14	50502	12	64,1
15	50503	16	119,6
16	50505	26	212,4
17	50506	26	201,6
18	50507	36	210,2
19	50701	50	187,3
20	50703	40	158,6
21	50800	40	165,1
22	50801	48	188,9
23	50903	50	209,7
24	50904	58	168,2
25			

RETORNAR AO ROTEIRIZADOR

VEÍCULO 50001 SEQUÊNCIA DE SOLICITAÇÕES	VEÍCULO 50002 SEQUÊNCIA DE SOLICITAÇÕES	VEÍCULO 50003 SEQUÊNCIA DE SOLICITAÇÕES	VEÍCULO 50101 SEQUÊNCIA DE SOLICITAÇÕES	VEÍCULO 50103 SEQUÊNCIA DE SOLICITAÇÕES	VEÍCULO 50302 SEQUÊNCIA DE SOLICITAÇÕES	VEÍCULO 50303 SEQUÊNCIA DE SOLICITAÇÕES	VEÍCULO 50304 SEQUÊNCIA DE SOLICITAÇÕES	VEÍCULO 50305 SEQUÊNCIA DE SOLICITAÇÕES	VEÍCULO 50306 SEQUÊNCIA DE SOLICITAÇÕES	VEÍCULO 50307 SEQUÊNCIA DE SOLICITAÇÕES	VEÍCULO 50400 SEQUÊNCIA DE SOLICITAÇÕES	VEÍCULO 50401 SEQUÊNCIA DE SOLICITAÇÕES	VEÍCULO 50502 SEQUÊNCIA DE SOLICITAÇÕES	VEÍCULO 50503 SEQUÊNCIA DE SOLICITAÇÕES	VEÍCULO 50505 SEQUÊNCIA DE SOLICITAÇÕES	VEÍCULO 50506 SEQUÊNCIA DE SOLICITAÇÕES	VEÍCULO 50507 SEQUÊNCIA DE SOLICITAÇÕES
1	22	43	64	91	112	1050	139	153	174	192	217	239	1043	265	272	289	302
2	23	44	65	92	-112	123	-139	-153	-174	-192	-217	240	-1043	-265	273	-289	303
-1	-23	-43	66	-91	113	124	140	154	176	193	218	241	1034	266	-273	290	-303
-2	-22	-44	67	-92	-113	-123	-140	-154	-176	194	-218	-240	1036	267	-272	-290	-302
3	24	46	-64	93	114	-124	141	155	177	-193	219	-239	1032	1046	274	291	304
-3	25	-46	-66	-93	115	-1050	-141	-155	178	-194	220	-241	-1032	-266	275	292	-304
4	26	47	-67	94	-115	125	143	156	179	195	221	242	-1036	-267	-274	-291	305
-4	-26	-47	-65	-94	-114	-125	-143	-156	180	-195	-220	243	-1034	1047	-275	-292	-305
5	-24	48	68	95	116	127	144	157	181	196	-219	-242	260	-1046	276	294	1039
-5	-25	49	-68	96	-116	-127	145	-157	-177	197	-221	-243	-260	-1047	-276	-294	-1039
1040	27	50	70	97	1025	128	146	158	-179	-196	222	244	262	1044	277	295	1027
1042	-27	-50	71	-95	-1025	-128	-145	-158	-178	198	-222	245	-262	-1044	278	296	309
-1042	28	51	-71	1037	117	129	-144	159	-181	-198	223	-244		1035	279	-295	-1027
-1040	29	-48	-70	-1037	118	-129	-146	160	-180	-197	-223	1006		-1035	-279	-296	310
1033	-28	-51	72	-96	-118	130	147	-159	183	199	224	-245		1030	-277	298	-309
-1033	-29	-49	-72	1041	-117	-130	-147	-160	184	200	-224	-1006		-1030	-278	-298	-310
6	30	52	73	-1041	119	131	148	161	-183	-200	225	1029			281	299	311
7	31	53	74	-97	-119	132	-148	-161	-184	-199	226	-1029			-281	300	312
8	-30	54	-73	98	120	1026	150	162	185	201	227	246			284	-299	-311
9	-31	-53	-74	-98	-120	-131	-150	-162	-185	-201	228	-246			285	1022	-312
-6	33	-54	76	99	121	-132	152	163	186	202	-228	247			286	-1022	313
-8	34	56	77	100	-121	133	-152	-163	-186	204	-227	-247			287	-300	314
-7	35	-52	78	-100	122	-133	1005	164	188	206	-226	248			-285	301	-313
-9	36	-56	-77	101	-122	-1026	-1005	165	-188	-202	-225	249			-284	1002	-314
10	-34	57	-76	-101		134		-164	190	-206	229	250			-286	-1002	315
-10	37	58	-78	-99		-134		-165	-190	-204	230	-250			-287	-301	-315
11	-36	60	79	102		136		166	191	208	231	-248					318
1024	-37	-57	80	103		-136		-166	-191	209	232	-249					319
1009	-33	-58	-79	-102		137		167		210	-232	251					-318

ROTEIRIZADOR | RESULTADOS DO NOVO ROTEIRO | RELATORIO DE PROGRAMACAO | **ROTEIROS FINAIS** | PARAMETROS | DEPARA | PROG_RECALC

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Com relação à sequência de coletas e entregas de cada solicitação, na Figura 44 apresenta-se, nas colunas de “J” a “AA”, o número de cada solicitação a ser atendida da linha seis em diante na sequência do roteiro apresentada. Os sinais positivos nos números das solicitações apresentam uma coleta e o sinal negativo representa uma entrega para cada veículo apresentado na linha 4.

Para uma análise comparativa entre resultados da programação e roteirização empírica dos roteiros iniciais apresentados pela CASEM e os resultados da programação e roteirização apresentados pelo sistema proposto, na Tabela 24 apresenta-se uma síntese e comparação de tais informações para o cenário “20-08-2014”.

Na Tabela 24 se evidencia que, entre as 50 solicitações de transporte, 48 podem ser atendidas, uma vez que utilizadas as programações de roteiros gerados pelo sistema proposto. Na tabela, mostra-se também que os roteiros gerados têm como consequência o aumento geral percentual no número de solicitações atendidas de 12%; por outro lado, o percentual de distância aumentada na distância total terá um acréscimo de 13% quando comparado ao roteiro inicial proposto pela CASEM.

TABELA 24 – SÍNTESE E ANÁLISE DOS DADOS DOS ROTEIROS DOS VEÍCULOS DA PROGRAMAÇÃO INICIAL APRESENTADA PELA CASEM E DOS ROTEIROS GERADOS PELA PROGRAMAÇÃO POR MEIO DO SISTEMA PROPOSTO PARA O CENÁRIO “20-08-2014”. CONSIDEREM-SE OS DADOS DE DISTÂNCIA DA TABELA EM QUESTÃO EM KM

Nº	VEÍCULO	DADOS DA PROGRAMAÇÃO EMPÍRICA INICIAL			DADOS DA PROGRAMAÇÃO GERADA PELO SISTEMA			ANÁLISE			
		Nº SOLICITAÇÕES PROGRAMADAS	Nº DE VIAGENS	DISTÂNCIA TOTAL	Nº SOLICITAÇÕES PROGRAMADAS	Nº DE VIAGENS	DISTÂNCIA TOTAL	Nº SOLICITAÇÕES ADICIONADAS	AUMENTO DE DISTÂNCIA NA ROTA	AUMENTO % DE SOLICITAÇÕES NA ROTA	AUMENTO % DE DISTÂNCIA NA ROTA
1	50001	19	38	211,738	26	52	280,497	7	68,759	37%	32%
2	50002	19	38	218,087	19	38	218,087	0	0,000	0%	0%
3	50003	16	32	158,896	16	32	158,896	0	0,000	0%	0%
4	50101	24	48	251,486	24	48	251,486	0	0,000	0%	0%
5	50103	21	42	168,452	25	50	200,601	4	32,149	19%	19%
6	50302	11	22	154,528	12	24	195,716	1	41,188	9%	27%
7	50303	14	28	155,047	16	32	165,171	2	10,124	14%	7%
8	50304	11	22	117,705	12	24	126,101	1	8,396	9%	7%
9	50305	21	42	227,300	21	42	227,300	0	0,000	0%	0%
10	50306	14	28	176,282	14	28	176,282	0	0,000	0%	0%
11	50307	20	40	278,418	20	40	278,418	0	0,000	0%	0%
12	50400	22	44	252,290	22	44	252,290	0	0,000	0%	0%
13	50401	20	40	186,660	24	48	216,909	4	30,249	20%	16%
14	50502	2	4	32,864	6	12	64,102	4	31,238	200%	95%
15	50503	3	6	19,094	8	16	119,643	5	100,549	167%	527%
16	50505	13	26	212,371	13	26	212,371	0	0,000	0%	0%
17	50506	11	22	176,822	13	26	201,605	2	24,783	18%	14%
18	50507	16	32	158,754	18	36	210,232	2	51,478	13%	32%
19	50701	15	30	106,700	25	50	187,280	10	80,580	67%	76%
20	50703	20	40	158,578	20	40	158,578	0	0,000	0%	0%
21	50800	20	40	165,149	20	40	165,149	0	0,000	0%	0%
22	50801	18	36	153,103	24	48	188,870	6	35,767	33%	23%
23	50903	25	50	209,687	25	50	209,687	0	0,000	0%	0%
24	50904	29	58	168,211	29	58	168,211	0	0,000	0%	0%
	Total	404	808	4118,222	452	904	4633,482	48	515,260	12%	13%

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

5.2.2 Análise geral dos resultados para 20 dias de operação

Para a realização da análise geral dos cenários de programação e roteirização considerados, na Tabela 25 é apresentada uma síntese dos dados de todos os roteiros agrupados para cada dia de operação analisado. Além disso, a tabela mostra uma análise comparativa entre os resultados das programações e roteirizações apresentadas pela CASEM em relação aos resultados apresentados pelo sistema proposto.

Na Tabela 25 mostra-se que, entre as 419 solicitações consideradas para a inserção nos roteiros existentes, 415 foram programadas, resultando em um percentual de inserção de 99,05% em relação ao número de novas solicitações. Para o processamento de tais solicitações, os resultados da tabela registram um tempo total de execução do algoritmo de 00:37:56 horas, formando um tempo aproximadamente de 00:00:05 segundos por solicitação de entrada, para que o algoritmo analise todos os roteiros e restrições e realize a inserção ou registre que a inserção não pode ser atendida ante o cenário de programações já existentes.

TABELA 25 – ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS DOS ROTEIROS DESENVOLVIDOS PELA CASEM COMPARADOS COM OS RESULTADOS DO SISTEMA PROPOSTO PARA CADA CENÁRIO

CENÁRIO	Nº DE VEÍCULOS UTILIZADOS	Nº NOVAS SOLICITAÇÕES	DADOS DA PROGRAMAÇÃO EMPÍRICA INICIAL			DADOS DA PROGRAMAÇÃO GERADA PELO SISTEMA				ANÁLISE					
			Nº SOLICITAÇÕES PROGRAMADAS	Nº DE VIAGENS	DISTÂNCIA TOTAL	Nº SOLICITAÇÕES PROGRAMADAS	Nº DE VIAGENS	DISTÂNCIA TOTAL	TEMPO DE PROCESSAMENTO	Nº SOLICITAÇÕES ADICIONADAS	TEMPO DE PROCESSAMENTO POR SOLICITAÇÃO	AUMENTO DE DISTÂNCIA TOTAL DAS ROTAS	AUMENTO % DE SOLICITAÇÕES ATENDIDAS	AUMENTO % DE DISTÂNCIA PERCORRIDA	% NOVAS SOLICITAÇÕES ATENDIDAS
01-08-2015	23	7	295	590	3532,683	302	604	3608,302	0:00:37	7	0:00:05	75,619	2%	2%	100%
02-08-2015	13	0	109	218	1691,752	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
03-08-2015	10	0	72	144	1321,508	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
04-08-2015	23	37	321	642	3606,861	358	716	4013,264	0:03:20	37	0:00:05	406,403	12%	11%	100%
05-08-2015	22	17	356	712	3817,432	373	746	4086,084	0:03:01	17	0:00:11	268,652	5%	7%	100%
06-08-2015	23	27	353	706	3851,210	380	760	4084,225	0:03:52	27	0:00:09	233,015	8%	6%	100%
07-08-2015	22	35	374	748	4030,822	409	818	4321,472	0:03:34	35	0:00:06	290,650	9%	7%	100%
08-08-2015	22	20	305	610	3782,396	325	650	4036,936	0:01:23	20	0:00:04	254,540	7%	7%	100%
09-08-2015	12	0	140	280	1950,026	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10-08-2015	12	0	81	162	1145,236	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11-08-2015	22	45	373	746	3966,247	417	834	4471,973	0:03:26	44	0:00:05	505,726	12%	13%	98%
12-08-2015	24	16	375	750	3765,653	391	782	3938,698	0:01:24	16	0:00:05	173,045	4%	5%	100%
13-08-2015	23	48	364	728	3777,167	412	824	4286,530	0:03:24	48	0:00:04	509,363	13%	13%	100%
14-08-2015	22	48	375	750	3885,823	422	844	4676,923	0:03:49	47	0:00:05	791,100	13%	20%	98%
15-08-2015	22	8	290	580	3493,840	298	596	3655,263	0:00:42	8	0:00:05	161,423	3%	5%	100%
16-08-2015	17	0	131	262	2063,818	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17-08-2015	9	0	64	128	1082,653	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18-08-2015	24	48	376	752	4242,142	424	848	4851,435	0:03:34	48	0:00:04	609,293	13%	14%	100%
19-08-2015	23	13	357	714	3669,404	370	740	3898,364	0:01:17	13	0:00:06	228,960	4%	6%	100%
20-08-2015	24	50	404	808	4118,222	452	904	4633,482	0:04:32	48	0:00:05	515,260	12%	13%	96%
Soma de cenários com inserções	319	419	4918	9836	53539,902	5333	10666	58562,951	0:37:56	415	0:00:05	5023,049	8%	9%	99%

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões quanto ao trabalho desenvolvido e os resultados alcançados. São apresentadas também as limitações desta pesquisa e sugestões de possíveis trabalhos futuros a serem desenvolvidos.

6.1 CONCLUSÕES

Nesta dissertação foi proposto um sistema de programação e roteirização dinâmica de veículos, aplicado ao serviço de transporte de cadeirantes – “Serviço Especial Mão na Roda” – com o objetivo de programar novas solicitações de transportes surgidas dinamicamente em roteiros existentes, buscando minimizar o aumento de distância na rota de cada veículo. Para isso, tanto as etapas de projeto do desenvolvimento do sistema quanto o sistema em si foram apresentados, assim como os resultados computacionais alcançados com a utilização desse sistema.

Para a realização do objetivo geral deste projeto, foram desenvolvidos cinco objetivos específicos.

O primeiro objetivo consistiu na elaboração de um referencial teórico básico para o desenvolvimento deste estudo. Dessa forma, o capítulo dois apresentou três seções em que foi abordado o tema transporte de cadeirantes, sendo registradas legislações relacionadas ao tema e estatísticas relevantes para a consideração. Além disso, foi apresentado um referencial teórico sobre o tema programação e roteirização de veículos na segunda seção, na qual foram exploradas referências de um contexto macro para um contexto restrito, organizados em quatro subseções, desde o problema de roteirização e programação de veículos até o problema de roteirização dinâmica de veículos aplicado ao transporte de pessoas. Por fim, foi registrado o desenvolvimento da seção Sistemas de Informação, na qual foram conceituados termos e definições relacionadas a sistemas de informações, apresentados os tipos de sistemas de informações existentes segundo as referências estudadas, ademais foi detalhado o tema sistema de suporte à decisão e, na última subseção, foram apresentados diferentes modelos de desenvolvimento de sistemas de informação apresentados na literatura analisada.

Para a realização do segundo objetivo, foi proposta uma metodologia para a resolução do problema da perspectiva dinâmica considerada no capítulo 3. Foram apresentados o método de pesquisa utilizado e a classificação dela. Foram definidos o universo e amostra, o plano de coleta de dados utilizado, a forma de tratamento de dados e, por fim, as limitações do método.

Quanto ao terceiro objetivo, “definir e apresentar um estudo de caso e dados relacionados para a realização de testes computacionais”, o capítulo 4 apresentou a caracterização do Serviço Especial Mão na Roda e uma análise geral dos dados de 20 dias de operação realizados pela CASEM, os quais foram utilizados para os testes computacionais.

O quarto objetivo específico teve a sua apresentação no capítulo 5, em sua primeira seção, a qual registrou a proposta do sistema de roteirização desde o projeto até a sua concepção. Na seção 2 do capítulo, foram apresentados os resultados computacionais e a análise de forma detalhada para o cenário de um dia de operação e, de forma geral, para o cenário de 20 dias de operação considerados. Além disso, os resultados foram comparados com o método utilizado pelo Serviço Especial Mão na Roda em relação aos resultados alcançados pelo sistema apresentado, atendendo ao quinto objetivo específico.

Com relação aos resultados computacionais alcançados, o processamento das solicitações, por meio do sistema proposto mediante aos cenários registrados, mostrou que o sistema é capaz de inserir as solicitações surgidas dinamicamente nos roteiros existentes, buscando o aperfeiçoamento da solução quanto à minimização do aumento da distância adicionada na rota para o atendimento de uma solicitação. Entre as 419 solicitações quanto à inserção, 415 foram inseridas nos roteiros existentes com um tempo computacional médio de 5 segundos por solicitação, levando, consequentemente, a um aumento percentual médio geral de 9% na distância percorrida pelos veículos. Além disso, uma comparação geral entre a literatura específica estudada e essa pesquisa é apresentada na Tabela 26.

TABELA 26 – RESUMO DE INFORMAÇÕES PARA COMPARATIVO ENTRE A APLICAÇÃO PROPOSTA E LITERATURAS DE APLICAÇÕES DO DARP DINÂMICO RELATIVO À ÚLTIMA DÉCADA

Autor	**Características do problema**	**Área de Aplicação**	**Principais Conclusões**
Fraga Neto (2015)	*Instancias rotas reais com solicitações adtadas para a realidade dinâmica;* média de 20 veículos/dia; *Média aproximada de 30 solicitações dinâmicas por ciclo de programação e roteirização; *Média de 276 solicitações/dia;	Transporte de cadeirantes	% de aceitação de 99,05% das solicitações; Tempo médio de processamento 5 segundos/solicitação; Aumento percentual de solicitações atendidas de 8%; Aumento percentual na distância total percorrida de 9%; O sistema é capaz de inserir solicitações surgidas dinamicamente nos roteiros objetivando a minimização da distância aumentada com a inserção da solicitação.
Raddaoui *et al*. (2013)	*Instâncias artificiais; *10 a 15 veículos; *20 a 35 solicitações/hora.	Não especificado	Tempo médio de viagem e satisfação do cliente, algoritmo genético foi superior; Tempo de processamento da solução, Simulated Annealing foi superior (apresentou um menor tempo).
Berbeglia *et al*. (2012)	*Instâncias artificiais e reais; *Capacidade dos veículos entre 3 e 8; *24 a 200 solicitações ; *Tempo máximo de viagem de 60 a 120 minutos; *Janela de tempo nos vértices de 15 a 90 minutos.	Não especificado	CP: capacidade de de aceitação e rejeição de novas solicitações; *TS*: tende a aceitar rapidamente novas solicitações; O algoritmo de programação *Eager* se mostrou mais vantajoso do que o *Lazy* no aspecto de aceitação de novas solicitações.
Kergosien *et al*. (2011)	*Instâncias artificiais e reais; *Capacidade dos veículos unitária; *130 a 132 solicitações de transporte por dia; *15 ou 25 veículos; *Dois tipos de veículos; *Grau de dinamismo entre 47% e 76%.	Transporte de pacientes entre hospitais	O método apresentou vantagens de flexibilidade e robustez; Experimentos computacionais mostraram que o método pode encontrar boas soluções em menos de cinco segundos (em média), podendo auxiliar a atribuição de veículos e tripulação às novas demandas de transporte em tempo real.
Beaudry *et al*. (2010)	*Instâncias reais do hospital alemão; *Dois tipo de veículos; *Capacidade de carga do veículo entre 1 e 7; *Em média, 240 solicitações de transporte por dia; *Tempo máximo de viagem entre 21 e 30 minutos; *Janelas de tempo 5 ou 15 minutos; *Grau de dinamismo médio de 96%.	Transporte de pacientes dentro de um campo hospitalar	O método de inserção mostrou resultados inferiores ao processo de melhoramento *TS*, porém obteve os melhores tempos computacionais médios, de 2,8 minutos contra 18,7 e 45,3 minutos. A pós-otimização mostrou-se capaz de realizar melhorias significativas ao procedimento de inserção. De forma geral, o trabalho possibilitou uma significativa redução do tempo de espera aos pacientes utilizando poucos veículos.
Coslovich *et al*. (2006)	*Instâncias artificiais; *540 instâncias divididas em 18 cenários; *Número de cluster entre 1 e 3; *Clientes entre 25 e 50; *Número de clientes inesperados entre 5 e 15; * Percentual de tempo excessivo de transporte (50% ou 100%).	Transporte coletivo de pessoas	O método *on-line* apresentou resultados muito próximos do método de inserção *off-line*. Além disso, o método de inserção *off-line*, executado quantas vezes for possível durante o processo de transporte entre duas paradas reduz o número de operações em tempo real com respostas rápidas, o que se mostrou essencial para o caso.
Gendreau *et al*. (2006)	*5 instâncias artificiais; *Simulação de três cenários (4 ou 7,5 horas de simulação; 10 ou 20 veículos; 24 ou 33 solicitações por hora); *Não capacitado.	Serviços de correio	A descida adaptativa (*adaptative descent*) e o *Tabu Search* podem lhe dar com a complexidade de ambientes dinâmicos e produzir melhores resultados do que heurísticas simples, quando existe um tempo computacional suficiente.
Attanasio *et al*. (2004)	*Instâncias de Cordeau e Laporte (2003); 20 instâncias artificiais; *6 instâncias reais de uma companhia Dinamarquesa.	Não especificado	A computação paralela se mostrou benéfica para a roteirização em tempo real, com um percentual de aceitação de solicitações de 76,84%, 80,79% e 83,51% para as linhas de execução respectivas de 1, 4 e 8.

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Pode-se concluir que o desenvolvimento de ferramentas computacionais para o suporte à tomada de decisão de programação e roteirização dinâmica de veículos é promissor, uma vez que a complexidade da tomada de decisão do problema apresenta um grande aumento de combinações de soluções possíveis para o aumento de um pequeno número de solicitações a serem atendidas. Vale também a consideração da importância de tais sistemas, visto que os cenários planejados estaticamente se alteram no dia a dia das operações de coleta e entrega e as decisões do que fazer ante as mudanças ocorridas normalmente são necessárias.

Com relação à hipótese de que o desenvolvimento do sistema de suporte à decisão do problema em questão baseado em uma heurística de inserção é capaz de gerar soluções de rotas que possam inserir clientes ainda não atendidos em rotas anteriormente desenvolvidas com um baixo custo adicionado ao roteiro em função do atendimento de tal solicitação, os resultados mostraram para os cenários considerados a hipótese é verdadeira. Dessa forma, a utilização da heurística de inserção proposta é capaz de inserir solicitações surgidas dinamicamente buscando a minimização do aumento de distância adicionada dentre os roteiros existentes.

6.2 LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Entre as limitações deste trabalho, destaca-se que o sistema proposto foi desenvolvido para a realidade do Serviço Especial Mão na Roda. Portanto, a utilização do sistema apresentado para outros serviços de transportes com características similares deve ser realizada com cautela e com as devidas adaptações.

Outra limitação relevante ocorre quanto à matriz de distâncias utilizada neste trabalho. Para a análise dos cenários, foi utilizada uma matriz de distâncias entre os pontos de embarque e desembarque, calculadas com base em coordenadas geográficas e distâncias euclidianas corrigidas por um fator positivo de 20% no aumento da distância. Tais variáveis podem apresentar diferenças significativas quando comparadas às distâncias reais entre origens e destino, uma vez que a parte da região de realização do estudo de caso é uma ilha e a rede viária em questão

apresenta pontos de concentração de ligação de vários pontos de parada (existência de pontes).

Com relação ao número de veículos utilizados, a heurística se limita aos veículos previamente programados; desse modo, a heurística não tem capacidade de sugerir a utilização de veículos que não sejam os previamente programados, mesmo que haja veículos sem programação disponíveis na garagem.

Todas as solicitações utilizadas nas análises foram classificadas com relação ao tipo de agendamento “HE” (Horário de Embarque) e “HD” (Horário de Desembarque), o que interfere diretamente na definição das restrições de janela de tempo para o atendimento de cada solicitação. De modo geral, as solicitações programadas ou solicitadas para o horário antes das 12 horas foram classificadas como “HD” e as solicitações referentes ao período superior ou igual a 12 horas foram classificadas como “HE”. Tais classificações podem interferir nos resultados apresentados, por isso, durante a utilização do sistema, deve-se garantir que os tipos de agendamento estejam corretamente classificados para a definição das janelas de tempo.

Quanto aos resultados alcançados, eles se limitam a parâmetros de programação utilizados, tais como velocidade média dos veículos e tempos médios de embarque, desembarque dos usuários nos veículos, entre outros. Tais constantes devem ser revisadas para a utilização constante do sistema, porém essa opção foi configurada para a livre escolha por parte dos programadores de rota.

No intuito de apresentar as oportunidades de pesquisa futuras identificadas, a seguir são sugeridos trabalhos passíveis de realização, a saber:

- Consideração de outros fatores dinâmicos por parte da heurística para realizar a programação e roteirização dinâmica, tais como: condições das vias, alterações das solicitações previamente programadas, quebras de veículos, entre outros.

- O sistema proposto pode ser utilizado sob a perspectiva estática, porém não foi desenvolvido para essa demanda. Visto isso, vale o desenvolvimento de um sistema de programação e roteirização estática que busque soluções ótimas ou

próximas das ótimas para o apoio nas programações empíricas realizadas pela CASEM no dia anterior à data da viagem.

- Desenvolvimento de uma heurística de melhoramento para que o sistema de roteirização dinâmica processe os roteiros que tiveram solicitações inseridas dinamicamente e busque melhores soluções para eles com alterações das solicitações entre rotas e intrarrotas.

- Desenvolvimento da integração entre o sistema de agendamento da CASEM e o sistema PRODV, de forma a reduzir as necessidades de processamento dos dados por parte dos programadores.

- Desenvolvimento de um aplicativo de comunicação via *Web* que realize a ligação entre veículos, programadores de rota, atendentes e solicitantes do transporte e permita toda a troca de informações entre os atores, não se limitando, mas permitindo às partes a identificação exata do veículo no momento da PRODV; a solicitação de agendamento de transporte via celular; a previsão de chegada do veículo no local solicitado; a comunicação automática ao cliente da chegada do veículo nas proximidades do local de embarque; a informação aos usuários do atendimento ou não à solicitação; disponibilização de informações atualizadas aos sistemas para que estes possam processar as informações e dar as respostas necessárias aos envolvidos em tempo real.

- Adaptação e aplicação do sistema proposto para outros serviços de transporte de cadeirantes existentes.

- Realização de estudos estatísticos para definir parâmetros de programação confiáveis, de forma que o sistema seja testado e utilizado com tais dados.

- Adaptação do algoritmo proposto de modo que permita aos programadores de rota a flexibilização das restrições dos horários de atendimento. Tal variação permitirá aos programadores a visualização de rotas alternativas que violem as restrições de horários de atendimento, no caso de não haver solução viável.

Dessa forma, será possível informar aos usuários que o horário solicitado não é passível de atendimento, porém ele pode ser atendido em horário alternativo conforme o resultado do roteiro proposto pelo algoritmo adaptado.

- Desenvolvimento de relatórios de análise de desempenho das programações geradas pelo algoritmo para acompanhamento periódico do desempenho do mesmo.

- Aprimoramento do algoritmo proposto, de forma que sejam considerados na modelagem as garagens dos veículos e os intervalos de parada necessários, para que os motoristas façam as refeições e necessidades pessoais.

REFERÊNCIAS

ATTANASIO, A. *et al.* ***Parallel tabu search heuristics for the dynamics-vehicle dial-a-ride problem***. *ParallelComputing*, v. 30, n. 3, p. 377-387, 2004.

BALLOU, R.H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BEAUDRY, A. *et al.* ***Dynamic transportation of patients in hospitals***. *OR Spectrum*, v. 32, n. 1, p. 77-107, 2010.

BERBEGLIA, G.; CORDEAU, J.-F.; LAPORTE, G. ***A hybrid tabu search and constraint programming algorithm for the dynamic dial-a-ride problem***.*INFORMS Journal on Computing*, v. 24, n. 3, p. 343-355, 2012.

BODIN, L. D. *et al.* ***Routing and scheduling of vehicles and crews: the state of the art***. *Computers & Operations Research*, v. 10, n. 2, p. 63-211, 1983.

BRASIL. Decreto n.º 3.298, de 20 de dezembro de 1999. Regulamenta a Lei n.º 7.853, de 24 de outubro de 1989, dispõe sobre a Política Nacional para a Integração da Pessoa Portadora de Deficiência, consolida as normas de proteção, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 21 de dezembro de 1999. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ decreto/d3298.htm>. Acesso em: 19 abril 2014.

BRASIL. Decreto n.º 5.296, de 2 de dezembro de 2004. Regulamenta a Lei n.º 10.048, de 8 de novembro de 2000, que dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica, e n.º 10.098, de 19 de dezembro de 2000, que estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 03 dezembro 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5296.htm>. Acesso em: 19 abr. 2014.

BRASIL. Lei Federal n.º 10.048, de 08 de novembro de 2000. Dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 09 novembro 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l10048.htm>. Acesso em: 19 abr. 2014.

BRASIL. Lei Federal n.º 10.098, de 19 de dezembro de 2000. Estabelece normas gerais e critério básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 20 dezembro 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l10098.htm>. Acesso em: 19 abr. 2014.

BRASIL. Lei Federal n.º 7.853, de 24 de outubro de 1989. Dispõe sobre o apoio às pessoas portadoras de deficiência, sua integração social, sobre a Coordenadoria Nacional para Integração da Pessoa Portadora de Deficiência – Corde, institui a tutela jurisdicional de interesses coletivos ou difusos dessas pessoas, disciplina a

atuação do Ministério Público, define crimes, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 25 outubro 1989. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7853.htm>. Acesso em: 19 abr. 2014.

CALIPER. **Routing and logistics with TransCAD, versão 3.0, transportation GIS software**: Caliper Coporation, 1996.

COLORNI, A.; RIGHINI, G. ***Modeling and optimizing dynamic dial-a-ride problems***. *International Transactions in Operational Research*, v. 8, p. 155-166, 2001.

COSLOVICH, L.; PESENTI, R.; UKOVICH, W.***A two-phase insertion technique of unexpected customers for a dynamic dial-a-ride problem***.*European Journal of Operational Research*, v. 175, n. 3, p. 1605-1615, 2006.

COSTA, G. R. V.; MAIOR, I. M. M. L.; LIMA, N. M. **Acessibilidade no Brasil**: uma visão histórica. ATIID 2005 – III Seminário e II Oficinas "Acessibilidade, TI e Inclusão Digital", USP/Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, p. 1-5, 2005.

CRANIC, T.G.; GENDREAU, M.; POTVIN, J.-Y. ***Intelligent freight-transportation systems: assessment and the contribution of operations research***. *Transportation Research Part C*, v. 17, p. 541-557, 2009.

ESPÍRITO SANTO. Lei Complementar n.º 433, de 08 de janeiro de 2008. Reordena o Programa de Inclusão Social do Transporte Coletivo da Região Metropolitana da Grande Vitória – Transcol Social e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**, 09 janeiro 2008. Disponível em: <http://www.ceturb.es.gov.br/download/lei433.doc>. Acesso em: 3 maio 2014.

ESPÍRITO SANTO. Decreto Estadual n.º 2012-R, de 13 de fevereiro de 2008. Regulamenta a Lei Complementar n.º 433, de 08 de janeiro de 2008, que reordena o Programa de Inclusão Social do Transporte Coletivo da Região Metropolitana da Grande Vitória – Transcol Social, e dá outras providências. **Palácio Anchieta**, **Vitória**, 14 fevereiro 2008. Disponível em: <http://www.ceturb.es.gov.br/default.asp>. Acesso em: 3 maio 2014.

ESPÍRITO SANTO. Decreto Estadual n.º 3252-R, de 13 de março de 2013. Regulamenta a Lei Complementar n.º 664/12, que amplia o Programa de Inclusão Social do Sistema de Transporte Urbano de Passageiros da Região Metropolitana da Grande Vitória - TRANSCOL SOCIAL, e dá outras providências. **Diário Oficial**, Vitória, ES, 14 março 2013. Disponível em: <http://www.gvbus.com.br/userfiles/file/Decreto%20N%C2%BA%203252-R_13_de_Marco_de_%202013.doc>. Acesso em: 21 jul. 2014.

ESPÍRITO SANTO. Ementa Constitucional n.º 86, de 16 de julho de 2012. Altera a redação do § 5.º do artigo 229 da Constituição do Estado do Espírito Santo e acrescenta os §§ 6.º, 7.º, 8.º e 9.º. **Diário Oficial do Estado**, Vitória, ES, 18 julho 2012. Disponível em: <http://www.al.es.gov.br/antigo_portal_ales/images/leis/html/EC86.html>. Acesso em: 22 maio 2014.

ESPÍRITO SANTO. Lei Complementar n.º 433, de 08 de janeiro de 2008. Reordena o Programa de Inclusão Social do Transporte Coletivo da Região Metropolitana da Grande Vitória – Transcol Social e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**, Vitória, ES, 09 janeiro 2008. Disponível em: <http://www.al.es.gov.br/ antigo_portal_ales/images/leis/html/lc%20433.html>. Acesso em: 24 abr. 2014.

ESPÍRITO SANTO. Lei Complementar n.º 505, de 30 de novembro de 2009. Altera a redação dos artigos 3.º e 4.º da Lei Complementar n.º 433, de 08.01.2008, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**, Vitória, ES, 01 dezembro 2009. Disponível em: <http://www.al.es.gov.br/antigo_portal_ales/images/leis/html/LC%20505.html>. Acesso em: 21 jul. 2014.

ESPÍRITO SANTO. Lei Estadual Complementar n.º 213, de 3 de dezembro de 2001. Regulamenta a Emenda Constitucional n.º 029/00, de 29 de novembro de 2000, que altera a redação do "caput" do art. 229 da Constituição Estadual do Espírito Santo, publicada no Diário Oficial de 30 de novembro de 2000. **Diário Oficial do Estado**, Vitória, ES, 04 dezembro 2001. Disponível em: <http://www.al.es.gov.br/ antigo_portal_ales/images/leis/html/LC213.html>. Acesso em: 21 abr. 2014.

ESPÍRITO SANTO. Lei Estadual Complementar n.º 664, de 28 de dezembro de 2012. Regulamenta o artigo 229 da Constituição do Espírito Santo, alterado pela Ementa Constitucional n.º 86, de 16.07.2012. **Diário Oficial**, Vitória, ES, 28 dezembro 2012. Disponível em: <http://www.legisweb.com.br/legislacao/ ?id=249158>. Acesso em: 21 jul. 2014.

FEUERSTEIN, E.; STOUGIE, L. ***On-line single server dial-a-ride problems***.*Theorical Computer Science*, v. 268, p. 91-105, 2001.

FRAGA NETO, A.; CARDOSO, P.A. **Desenvolvimento de um sistema de roteirização de veículos em um armazém para apoio na decisão de coleta de produtos acabados**. In: X Congresso Nacional de Excelência em Gestão, Rio de Janeiro, 2014a.

FRAGA NETO, A.; CARDOSO, P. A.; CALMON, J. L. **Roteirização dinâmica de veículos aplicado ao transporte de cadeirantes**: Uma revisão de literatura. In: 6.º Congresso PLURIS, 2014.

FRAGA NETO, A; CARDOSO, P.A. **Desenvolvimento de um sistema de roteirização dinâmica de veículos aplicado ao serviço de transporte de cadeirantes**. Resumo de Tese. In: XXVIII ANPET, 2014b.

GENDREAU, M. *et al.* ***Neighborhood search heuristics for a dynamic vehicle dispatching problem with pick-ups and deliveries***.*Transportation Research Part C*, v. 14, n. 3, p. 157-174, 2006.

GENDREAU, M. *et al.* ***A generalized insertion heuristic for the traveling salesman problem with time windows***. Operations Research, v. 46, n. 3, p. 330-335, 1998.

GHIANI, G.; LAPORTE, G.; MUSMANNO, R. ***Introduction to logistics systems planning and control***. West Sussex: John Wiley & Sons, 2004.

GOLDBAR,M.C.; LUNA, H. P. L. **Otimização combinatória e programação linear:** modelos e algoritmos. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

***GOOGLE Maps*.** Disponível em: <https://maps.google.com.br/>. Acesso em: 7 jan. 2015.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. 8. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

HOLBORN, P.l. ***Heuristics for a dynamics vehicle routing problems with pickups and deliveries and time windows***. 2013. 252 p. Tese (Doutorado), *SchoolofMathematics*, *Cardiff University*, Reino Unido, maio de 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas do censo demográfico, 2010 / IBGE**. Rio de Janeiro, p. 1-156, 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – Censo Demográfico e Contagem da População**. Disponível em: <www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 19 jun. 2014.

IJSN (Instituto Jones dos Santos Neves). Janeiro de 2011. Disponível em: <http://www.ijsn.es.gov.br/Sitio/index.php?option=com_attachments&task=download&id=3976>. Acesso em: 17 jul. 2014.

KERGOSIEN, Y. *et al.* ***A tabu search heuristic for the dynamic transportation of patients between care units****. European Journal of Operations Research*, v. 214, p. 442-452, 2011.

KRIPKA, R. M. L.; BARÃO, F. R.; KRIPKA, M. **Determinação da rota ótima para a coleta de resíduos sólidos urbanos no município de Passo Fundo-RS**. In: xxxi CNMAC, 2008.

LAUDON, K.C.; LAUDON, J. P. ***Management information systems****: managing the digital firm.* 9. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2006.

LAUDON, K.C.; LAUDON, J.P. ***Management information systems****: managing the digital firm*. 12. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2011.

MITROVIĆ-MINIĆ, S.; KRISHNAMURTI, R.; LAPORTE, G. ***Double horizon based heuristics for the dynamics pick-up and delivery problem with time windows***. *Transportation Research Part B*, v. 38, n. 8, p. 669-685, 2004.

O'BRIEN, J.A. **Sistemas de informação e as decisões gerenciais na era da internet**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

O'BRIEN, J. A.; MARAKAS, G. M. ***Introduction to Information Systems***. 15. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2010.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, BANCO MUNDIAL. Relatório mundial sobre a deficiência. São Paulo: SEDPcD, p. 1-334, 2012.

PILLAC, V. *et al*. ***A review of dynamic vehicle routing problems****. European Journal of Operational Research*, v. 225, p. 1-11, 2013.

RADDAOUI, A.; ZIDI, I.; GHEDIRA, K. ***Distributed approach using NSGAII algorithm to solve the dynamic dial a ride problem***.*World Congress on Engineering and Computer Science*, v. 1, São Francisco, EUA, outubro de 2013.

RIBEIRO, G. M.; RUIZ, M. D. V.; DEXHEIMER, L. **Programa de roteamento de veículos aplicação no sistema de coleta dos correios**. In: ENEGEP, 2015.

STAIR, R. M.; REYNOLDS, G. W. **Princípios de sistemas de informação**: Uma abordagem gerencial. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

STAIR, R. M.; REYNOLDS, G. W. ***Principles of Information Systems****:* A *managerial approach*. 9. ed. Boston: Cengage Learning, Course Technology, 2010.

TALBI, E.-G. ***Metaheuristics: from design to implementation***. John Wiley & Sons, Inc. Nova Jersey, 2009.

TURBAN, E.; RAINER JR., R. K.; POTTER, R. E. **Administração de tecnologia da informação**. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2003.

VERGARA, S.C. **Projeto e relatórios de pesquisa em administração**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

VITÓRIA. Norma Complementar n.º 001/2005, de 19 de janeiro de 2005. Regulamenta a operação e uso de Serviço Especial “Mão na Roda”, que integra o Sistema de Transporte Coletivo da Região Metropolitana da Grande Vitória, destinado a usuários portadores de deficiência com mobilidade reduzida. **Companhia de Transportes Urbanos da Grande Vitória – CETURB-GV**, Vitória, ES, 19 janeiro 2005. Disponível em: <http://www.ceturb.es.gov.br/download/nc2005001.doc>. Acesso em: 24 abr. 2014.

VITÓRIA. Norma Complementar n.º 002/2013, de 22 de maio de 2013. Normatiza a fiscalização, apuração e a aplicação de penalidades relacionadas ao uso irregular da gratuidade concedida às pessoas com deficiência, conforme previsto na Lei Complementar n.º 213/01. **Companhia de Transportes Urbanos da Grande Vitória – CETURB-GV**, Vitória, ES, 22 maio 2013. Disponível em: <http://www.ceturb.es.gov.br/default.asp>. Acesso em: 5 maio 2014.