



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**CURSO DE MESTRADO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES**

**ANÁLISE ECONÔMICA E AMBIENTAL DA IMPLANTAÇÃO DE  
UM ESQUEMA DE CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO URBANO PARA  
BELO HORIZONTE**

**VAGNER DE ASSIS CORREIA**

Belo Horizonte, 28 de fevereiro de 2011.

Vagner de Assis Correia

**ANÁLISE ECONÔMICA E AMBIENTAL DA IMPLANTAÇÃO DE UM  
ESQUEMA DE CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO URBANO PARA BELO  
HORIZONTE**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes da Universidade Federal de Minas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geotecnia e Transportes.

Área de concentração: Transportes

Orientador(a): Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Leise Kelli de Oliveira

Coorientador(a): Prof<sup>º</sup> Dr<sup>º</sup> Geraldo Robson Mateus

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2011

Correia, Vagner de Assis  
C824a Análise econômica e ambiental da implantação de um esquema de centro de distribuição urbano para Belo Horizonte [manuscrito] / Vagner de Assis Correia. – 2011.  
xii, 137 f., enc.: il.

Orientadora: Leise Kelli de Oliveira .  
Co-orientador: Geraldo Robson Mateus.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Anexos: f.133-137.  
Bibliografia: f. 125-132.

1. Armazenamento e transporte de cargas – Belo Horizonte (MG) – Aspectos ambientais – Teses. 2. Logística empresarial – Belo Horizonte (MG) – Teses. 3. Distribuição de mercadorias – Aspectos ambientais – Teses. I. Oliveira, Leise Kelli de. II. Mateus, Geraldo Robson. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 658.7:504(043)

Ficha elaborada pelo Processamento Técnico da EEUFMG



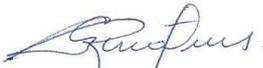
FOLHA DE APROVAÇÃO

"Análise Econômica e Ambiental da Implantação de um Esquema de Centro de  
Distribuição Urbano para Belo Horizonte"

**Vagner de Assis Correia**

Dissertação defendida e aprovada pela Banca Examinadora constituída pelos Senhores:

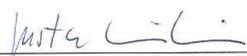
  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Leise Kelli de Oliveira

  
Prof. Dr. Geraldo Robson Mateus

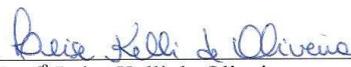
  
Prof. Dr. Antônio Artur Souza

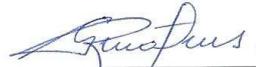
  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Nadja Glheuca da Silva Dutra

Aprovada pelo Colegiado do Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes

  
Prof. Gustavo Ferreira Simões  
Coordenador

Versão Final aprovada por

  
Prof.<sup>a</sup> Leise Kelli de Oliveira  
Orientadora

  
Prof. Geraldo Robson Mateus  
Co-Orientador

Belo Horizonte, 28 de fevereiro de 2011.

*A Deus*  
*À Nossa Senhora Aparecida*  
*Aos meus filhos e minha esposa*  
*Aos meus pais, minha irmã e meus familiares*

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela proteção, direcionamento e oportunidades concedidas e por colocar tantas pessoas maravilhosas no meu caminho.

À Nossa Senhora da Conceição Aparecida, minha intercessora e guardiã da minha fé.

Aos meus filhos, Luís Felipe e Ana Luísa, e minha esposa, Keila, pela compreensão e paciência durante os vários momentos que tive que me ausentar e pelo amor de vocês que me motiva a nunca desistir nos momentos difíceis.

Aos meus pais, José Nicolau e Maria das Graças, e minha irmã, Patrícia, pela confiança e apoio incondicional.

À minha família, o pilar que me sustenta, incentiva e conforta. Sem ela nada disso aconteceria.

Ao Fabio Júnior e ao Odilon Correia, que tanto me auxiliaram nas minhas funções profissionais nos meus vários momentos de ausência nas empresas.

À Paiva Gás Ltda., à JNC Logística e às Lojas Paiva pelo apoio financeiro durante a realização desse trabalho.

À Tecbus – Consultoria e Projetos Ltda. pela disponibilização da infra-estrutura para a realização dessa pesquisa.

À Professora Leise Kelli de Oliveira, muito mais do que uma orientadora, um anjo que me guiou em todo este processo de aprendizagem.

Ao Professor Geraldo Robson Mateus, pela paciência, confiança e apoio nos momentos críticos desse trabalho.

Ao André pelo companheirismo durante o curso e auxílio na realização desse trabalho.

Ao Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia da UFMG pelas oportunidades de crescimento pessoal e intelectual que me foram concedidas.

Aos professores deste programa de mestrado pela partilha de seus conhecimentos durante as aulas.

Ao CNPQ, pelo apoio financeiro ao Projeto Análise das Estratégias de Logística da Carga e as Restrições Físico-Operacionais do Ambiente Urbano, fundamental para a realização desta pesquisa.

Às empresas que participaram dessa pesquisa e àqueles que não foram aqui citados, mas contribuíram imensamente para a concretização deste trabalho, por favor, sintam-se igualmente agradecidos!

*“Quem não pode fazer grandes coisas,  
faça ao menos o que estiver na medida de suas forças...”.*

*Santo Antonio*

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE QUADROS .....</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>X</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>XI</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XII</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Justificativa.....	2
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo geral .....	5
1.2.2 Objetivos específicos.....	5
1.3 Estrutura do trabalho .....	5
<b>2 DISTRIBUIÇÃO URBANA DE CARGAS .....</b>	<b>7</b>
2.1 Distribuição urbana de cargas: problemas e soluções .....	7
2.2 Tendências na distribuição urbana de cargas .....	16
2.2.1 Impacto do comércio eletrônico na distribuição urbana de cargas.....	20
2.2.2 Sistemas inteligentes de transporte.....	23
<b>3 CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO URBANO.....</b>	<b>25</b>
3.1 Centro de distribuição urbano: alternativa para mitigação das externalidades negativas da distribuição de cargas .....	25
3.2 Avaliação de centros de distribuição urbano.....	32
<b>4 PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO E ROTEIRIZAÇÃO .....</b>	<b>36</b>
4.1 Problemas de localização .....	36
4.2 Problemas de roteirização.....	40
<b>5 METODOLOGIA DE PESQUISA DE PREFERÊNCIA DECLARADA .....</b>	<b>44</b>
5.1 Modelos de preferência declarada: alternativa para modelagem da demanda por transporte .....	44
<b>6 METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO URBANO</b>	<b>48</b>
6.1 Modelo de adesão .....	48
6.2 Proposição de cenários .....	52
6.3 Localização dos terminais de apoio e roteirização dos veículos .....	53
6.3.1 Estudo de localização e roteirização usando o TRANSCAD.....	55
6.3.1.1 Estudo de localização .....	56

6.3.1.2	Estudo de roteirização .....	57
6.3.1.3	Otimização da alocação de rotas .....	61
6.4	Avaliação econômica e ambiental .....	62
<b>7</b>	<b>APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DESENVOLVIDA EM BELO HORIZONTE.....</b>	<b>64</b>
7.1	Caracterização da área de estudo.....	64
7.2	Definição da área física .....	67
7.3	Delimitações do estudo.....	68
7.3.1	Avaliação da adesão dos varejistas.....	68
7.3.2	Resultados do modelo de adesão .....	69
7.4	Cenários analisados .....	71
7.4.1	Cenário base (cenário 1).....	71
7.4.2	Cenários propostos .....	73
7.4.2.1	Pontos de consolidação (cenário 2) .....	73
7.4.2.2	Configuração híbrida (cenário 3).....	76
7.5	Estudo de localização e roteirização.....	77
7.5.1	Configuração da rede.....	77
7.5.2	Resultados do estudo de localização e roteirização.....	82
7.6	Avaliação econômica e ambiental .....	90
7.6.1	Metodologia de cálculo dos parâmetros econômicos e ambientais.....	90
7.6.2	Resultados da avaliação econômica e ambiental.....	92
7.6.3	Análise da estrutura logística e da adesão dos varejistas em relação aos parâmetros econômicos e ambientais propostos .....	105
7.6.4	Detalhamento da avaliação econômica e ambiental por camadas.....	112
7.6.4.1	Avaliação econômica.....	113
7.6.4.1.1	Número de veículos.....	113
7.6.4.1.2	Distância percorrida.....	114
7.6.4.1.3	Tempo total de distribuição .....	115
7.6.4.1.4	Ocupação da frota.....	116
7.6.4.1.5	Número de rotas .....	117
7.6.4.1.6	Utilização da frota .....	118
7.6.4.2	Avaliação ambiental .....	119
7.6.4.2.1	Consumo de combustível .....	119
7.6.4.2.2	Emissão de poluentes .....	120
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>122</b>

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>126</b>
<b>A - ROTEIRO DE PESQUISA .....</b>	<b>134</b>
<b>B. EXEMPLO DE UMA APLICAÇÃO DO MODELO DE ALOCAÇÃO DE ROTAS</b>	
<b>USANDO A LINGUAGEM AMPL .....</b>	<b>137</b>
<b>A. EXEMPLO DE APLICAÇÃO E RESULTADOS DO AMPL USANDO O SOLVER</b>	
<b>CPLEX.....</b>	<b>138</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Principais atores, relações e efeitos no transporte urbano de cargas .....	14
Figura 2.2: Relacionamento das tecnologias no sistema logístico.....	19
Figura 3.1: Conceito de consolidação de carga urbana.....	25
Figura 3.2: Relação de potenciais benefícios e atividades em um CDU .....	32
Figura 6.1: Fluxograma da metodologia de avaliação econômica e ambiental de um CDU.....	48
Figura 6.2: Conceito CDU único .....	53
Figura 6.3: Conceito CDU Múltiplo .....	54
Figura 6.4: Matriz de Distâncias .....	55
Figura 6.5: Processo da ferramenta <i>Facility Location</i> do TRANSCAD.....	57
Figura 6.6: Tela do TRANSCAD com a seleção do depósito .....	58
Figura 6.7: Tela do TRANSCAD com as definições das paradas .....	59
Figura 6.8: Tela do TRANSCAD com as definições da tabela de veículos .....	59
Figura 6.9: Tela do TRANSCAD com as especificações operacionais.....	60
Figura 7.1: Áreas com restrições ao tráfego de veículos de carga em Belo Horizonte .....	67
Figura 7.2: Estratificação da amostra da pesquisa de PD .....	69
Figura 7.3: Configuração atual da rede de distribuição .....	71
Figura 7.4: Localização das áreas identificadas.....	72
Figura 7.5: Rede de atendimento do cenário com pontos de consolidação .....	73
Figura 7.6: Principais entradas de cargas na cidade de Belo Horizonte (MG).....	74
Figura 7.7: Rede de atendimento do cenário híbrido .....	76
Figura 7.8: Árvore de decisão para o escopo das configurações da rede.....	78
Figura 7.9: Distribuição da demanda por bairro e por tipo de comércio .....	80
Figura 7.10: Rede considerada nas simulações.....	84
Figura 7.11: Rede do cenário híbrido.....	85
Figura 7.12: Rede do cenário base .....	86
Figura 7.13: Resultado do estudo de localização para um terminal de apoio.....	87
Figura 7.14: Resultado do estudo de localização para dois terminais de apoio.....	87
Figura 7.15: Resultado do estudo de localização para três terminais de apoio.....	88
Figura 7.16: Resultado do estudo de localização para quatro terminais de apoio .....	88
Figura 7.17: Resultado do estudo de localização para cinco terminais de apoio.....	89
Figura 7.18: Relatório de rotas do TRANSCAD .....	91

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 7.1: Variações percentuais dos parâmetros avaliados para as estruturas propostas.....	100
Gráfico 7.2: Variação percentual do número de veículos das estruturas propostas.....	101
Gráfico 7.3: Variação percentual da distância total das estruturas propostas.....	101
Gráfico 7.4: Variação percentual do tempo total das estruturas propostas.....	102
Gráfico 7.5: Variação percentual do número de rotas das estruturas propostas.....	102
Gráfico 7.6: Variação percentual da ocupação da frota das estruturas propostas.....	102
Gráfico 7.7: Variação percentual da utilização da frota das estruturas propostas.....	103
Gráfico 7.8: Variação percentual dos parâmetros ambientais das estruturas propostas.....	103
Gráfico 7.9: Avaliação da estrutura logística para o cenário com pontos de consolidação.....	110
Gráfico 7.10: Avaliação da adesão dos varejistas para o cenário com pontos de consolidação.....	110
Gráfico 7.11: Avaliação da estrutura logística para o cenário híbrido.....	111
Gráfico 7.12: Avaliação da adesão dos varejistas para o cenário híbrido.....	111
Gráfico 7.13: Número de veículos em cada nível de análise.....	113
Gráfico 7.14: Distância percorrida em cada nível analisado.....	115
Gráfico 7.15: Tempo total de distribuição em cada nível analisado.....	116
Gráfico 7.16: Número de rotas em cada nível analisado.....	118
Gráfico 7.17: Utilização da frota em cada nível analisado.....	118
Gráfico 7.18: Consumo de combustível em cada nível analisado.....	120
Gráfico 7.19: Emissão de poluentes em cada nível analisado.....	121

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Classificação de soluções para cargas urbanas para implementação pelos administradores locais.....	11
Quadro 3.1: Custos e benefícios do CDU .....	34
Quadro 7.1: Regras para circulação dos veículos de carga em Belo Horizonte .....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 6.1: Atributos e respectivos níveis usados no modelo para avaliar adesão de varejistas.....	51
Tabela 7.1: Probabilidade dos cenários de aceitação do CDU para os varejistas.....	70
Tabela 7.2: Valores médios da base de cálculo da demanda dos varejistas.....	79
Tabela 7.3: Quantificação dos varejistas por tipo de comércio .....	80
Tabela 7.4: Demanda atendida pelos pontos de consolidação .....	81
Tabela 7.5: Demanda atendida pelos centros de distribuição do cenário híbrido.....	81
Tabela 7.6: Demanda atendida pelos centros de distribuição do cenário base .....	82
Tabela 7.7: Resultados consolidados do cenário base .....	93
Tabela 7.8: Comparação percentual dos resultados do cenário base .....	93
Tabela 7.9: Resultados consolidados do cenário com pontos de consolidação .....	94
Tabela 7.10: Avaliação comparativa dos resultados dos cenários base e com pontos de consolidação .....	96
Tabela 7.11: Resultados consolidados do cenário híbrido.....	96
Tabela 7.12: Avaliação comparativa dos resultados dos cenários base e híbrido.....	97
Tabela 7.13: Avaliação comparativa dos resultados dos cenários híbrido e com pontos de consolidação.....	99
Tabela 7.14: Segmentação dos resultados dos cenários propostos .....	104
Tabela 7.15: Análise da variação da estrutura logística para o cenário com pontos de consolidação .....	106
Tabela 7.16: Análise da variação da estrutura logística para o cenário híbrido.....	107
Tabela 7.17: Análise da variação da adesão dos varejistas para o cenário com pontos de consolidação.....	108
Tabela 7.18: Análise da variação da adesão dos varejistas para o cenário híbrido.....	109
Tabela 7.19: Variação do número de veículos em relação aos cenários base e de 100% de adesão	114
Tabela 7.20: Variação do tempo total de distribuição em relação aos cenários base e de 100% de adesão.....	116

## RESUMO

O transporte urbano de cargas é uma atividade fundamental para o desenvolvimento das grandes cidades, sendo importante para a sustentação do estilo de vida da população e para o aperfeiçoamento das atividades industriais e comerciais. Apesar desta importância, o transporte urbano também traz efeitos adversos ao meio ambiente, como o elevado consumo energético, geração de ruídos, intrusão visual e emissão de poluentes. No Brasil, os estudos envolvendo a distribuição urbana de mercadorias têm aumentado sua relevância em virtude do acelerado processo de urbanização e crescimento populacional, que vêm impactando diretamente a demanda e a complexidade deste setor. Este trabalho apresenta uma metodologia para avaliar os impactos econômicos e ambientais de um esquema de centro de distribuição urbano de mercadorias (CDU) com apoio de ferramentas de localização de instalações e roteirização de veículos com aplicação no município de Belo Horizonte (MG). Adicionalmente, foi avaliada a adesão dos varejistas em relação ao CDU e propostos cenários que refletiram a atual estrutura de distribuição de cargas no município e as possíveis configurações decorrentes da implementação da iniciativa estudada. As avaliações econômicas e ambientais foram realizadas de acordo com parâmetros previamente definidos, que possibilitaram verificar o potencial impacto do CDU em relação à mitigação das externalidades negativas do transporte urbano de cargas e aos custos de distribuição para a cadeia de suprimentos. Neste trabalho, foi utilizado o *software* TRANSCAD para a realização dos estudos de localização e roteirização e dados georeferenciados da rede viária da cidade. Os resultados deste trabalho apontaram que o esquema desenvolvido pode trazer uma substancial melhoria para os agentes envolvidos na distribuição de mercadorias, como a sociedade, transportadores e varejistas, diminuindo a emissão de poluentes e o consumo de combustíveis além de reduzir os custos de distribuição para as empresas. Este trabalho contribuiu para mostrar os resultados potenciais do CDU como uma alternativa para otimizar os processos logísticos na cidade analisada.

**Palavras-Chave:** *Logística Urbana, Distribuição Urbana de Mercadorias, Centro de Distribuição Urbano, Impactos Econômicos, Impactos Ambientais, Problema de Localização de Instalações, Problema de Roteirização de Veículos.*

## ABSTRACT

The urban freight transportation is a fundamental activity to development of big cities and also to support people's way of life and to improve industrial and commercial activities. Although this importance, urban transportation brings adverse effects on environment such as elevated energetic consumption, noise, visual intrusion and pollutant emissions. In Brazil, researches in relation to urban distribution have increased their relevance due to accelerated urbanization process and population growth that are impacting, directly, the demand and complexity of this sector. This research shows a methodology to assess the economical and environmental impacts of an urban distribution center scheme (UDC) with support of facilities location and vehicle routing tools. This methodology was applied in Belo Horizonte city (MG), where was assessed the retailers' adoption in relation to UDC and scenarios were proposed in order to show the current freight distribution structure and possible configurations due to implementation of studied initiative. In addition, economical and environmental assessments were performed, according to previously defined parameters, allowing investigate the potential impact of UDC in relation to negative externalities mitigation of urban freight and distribution costs for supply chain as well. This work used TRANSCAD software in order to solve location and routing problems according real data from city's road net. The results of this research indicated that the developed scheme may improve cargo distribution to actors involved in this activity, as society, carriers and retailers, decreasing pollutant emissions and fuel consumption besides reducing distribution costs to companies. This work contributed to show the potential results from UDC as an alternative to optimize logistics processes in Belo Horizonte city.

**Key-words:** *City Logistics, Freight Urban Distribution, Urban Distribution Center, Economical Impacts, Environmental Impacts, Facility Location Problem, Routing Problem.*

# 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, muitos estudos têm sido realizados no que se refere aos níveis de tráfego e seus impactos nas grandes cidades. Estes se concentram, essencialmente, na análise do transporte público e dos veículos particulares com uma preocupação relativamente pequena com o transporte urbano de cargas (BROWNE *et al.*, 2005).

De acordo com Crainic *et al.* (2004), as autoridades públicas promovem poucas políticas em relação ao transporte de mercadorias nas grandes cidades, atuando, principalmente, no sentido da regulamentação de estacionamento, de acesso à via e da janela de tempo para as operações de carga/descarga. Isto porque, segundo os autores, os governos tratam o transporte de mercadorias como uma atividade, essencialmente, privada e, conseqüentemente, as questões referentes a esta atividade no nível da cidade ainda não são bem compreendidas, nem quantificadas, e não existe uma metodologia voltada especificamente para a análise e planejamento da movimentação de cargas dentro das cidades. Além disso, Hensher e Figliozzi (2007) destacam que os modelos convencionais para o planejamento em transportes, como o de quatro-etapas, desenvolvidos, principalmente, para o transporte público, não abordam adequadamente o movimento da carga urbana.

No entanto, Crainic *et al.* (2004) relatam que este cenário tende a mudar, pois o número de veículos de todos os tipos está aumentando rapidamente e, como conseqüência, o congestionamento e os níveis de poluição crescem em um ritmo acelerado. Por conseguinte, observa-se aumento da consciência pública em relação aos temas, uma vez que impactam diretamente na qualidade da vida da população das grandes cidades. As autoridades públicas também começaram a tomar conhecimento e mostrar vontade política crescente em relação à implementação de estratégias relacionadas ao tráfego de veículos urbanos, aspecto que culmina na necessidade de analisar os movimentos de veículos de mercadorias nas cidades.

Vale salientar que o transporte urbano de cargas é uma variável fundamental para o desenvolvimento das grandes cidades. Segundo Browne *et al.* (2005), ele possui uma significativa importância na sustentação do estilo de vida da população; desempenha um papel importante na manutenção e conservação das atividades industriais e comerciais; contribui para a competitividade industrial; acarreta efeitos nos custos dos produtos consumidos pela população, impactando diretamente na eficiência econômica da região, além de trazer conseqüências ao meio ambiente, relativos ao consumo de energia, poluição, barulho, intrusão visual, entre outros. Desta forma, conforme salientam Taniguchi e Heijden (2000), o transporte urbano de cargas deve ser um

componente importante no planejamento urbano. A sua racionalização é essencial para um crescimento econômico sustentável.

De acordo com França e Rubin (2005), ao mesmo tempo em que os padrões do consumidor mudam e as transformações na área de tecnologia causam mudanças profundas em vários setores, também cresce a pressão da comunidade e de grupos ligados ao meio ambiente, no intuito de minimizar os impactos negativos das atividades de carga, cada vez mais intensas. As comunidades locais têm demandado, cada vez mais, ações nesse sentido.

Crainic *et al.* (2004) salientam que o volume já significativo de veículos de mercadorias, que se deslocam dentro dos limites da cidade, está crescendo e deverá continuar a crescer em ritmo acelerado. Os principais fatores que contribuem para este fenômeno são a atual produção e distribuição baseadas em baixos estoques e entregas *Just in Time* (JIT), bem como o crescimento explosivo do comércio eletrônico, que geram volumes significativos de entregas em domicílio.

Vale destacar que é fundamental analisar os fluxos de mercadorias no ambiente urbano e as possíveis alternativas que podem ser propostas para melhoria deste sistema. Neste sentido, o estudo de iniciativas que visam a uma harmonia entre as regulamentações impostas pelos setores públicos, os interesses privados e as necessidades da sociedade pode ser considerado como um aspecto essencial para a melhoria das condições da distribuição de carga urbana e, conseqüentemente, mitigação dos problemas relacionados aos congestionamentos, barulho, intrusão visual e emissão de poluentes.

## **1.1 Justificativa**

Sanches Junior (2008) destaca que o Brasil tem passado por um acelerado processo de urbanização e crescimento populacional e das cidades, que está provocando uma grave crise de mobilidade. Este fato fica evidenciado, por exemplo, ao analisar os dados dos censos demográficos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística dos anos 1940 a 2010. Neste período, a população urbana passou de cerca de 12,8 milhões de habitantes ou 31,3% do contingente populacional total para, aproximadamente, 161 milhões de pessoas ou 84,3% de toda a população (IBGE, 2010).

Este crescimento populacional afeta diretamente o sistema de transporte urbano, visto que a demanda deste setor é derivada das atividades e necessidades das pessoas e empresas presentes nas cidades. Kwon e Leather (2006) destacam que esta demanda é caracterizada pelo:

- Movimento de um grande volume de pessoas, cargas, e veículos em complexos padrões;

- Ligações com outros setores, como o industrial, em que o transporte é o meio para a realização de suas atividades;
- Presença das externalidades negativas, como o congestionamento e emissão de poluentes locais (CO - monóxido de carbono, NO<sub>x</sub> - óxido de nitrogênio e PM - materiais particulados) e globais (CO<sub>2</sub> - dióxido de carbono) e poluição sonora.

Kwon e Leather (2006) relatam que o transporte é o principal consumidor energético, sobretudo de combustíveis fósseis, e ainda possui a maior taxa de crescimento do uso deste recurso dentre os setores econômicos.

Neste contexto, o Brasil é reconhecido mundialmente por possuir sua matriz energética classificada como um das mais limpas do mundo, em virtude de uma geração marcada fortemente pelo uso da eletricidade proveniente de hidrelétricas (IEA, 2010). Este fator contribui para a baixa participação mundial do país na emissão de gases do efeito estufa, contudo, destaca-se que o setor de transporte colabora com 41% da emissão total de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), com uma tendência de alto crescimento nos próximos anos (IEA, 2010). Assim, o setor de transporte configura-se como um elemento fundamental para a redução dos níveis de emissão de gases do efeito estufa no Brasil, fato que vem merecendo grande atenção de diversas nações comprovada pelas discussões em torno do Protocolo de Kyoto.

Tendo em vista as operações de transporte, destaca-se que a distribuição urbana de mercadorias é uma atividade mais poluidora que o transporte de carga de longas distâncias. Isto porque, na média, possui veículos mais velhos, a velocidade operacional é menor que a ótima, em virtude das restrições de tráfego e congestionamentos, além das constantes acelerações e desacelerações devido aos sinais de trânsito e às paradas para entrega de produtos (DABLANC, 2010). Neste sentido, a movimentação urbana de mercadorias representa mais de 25% de toda a emissão de dióxido de carbono no ambiente das cidades, acarretando um impacto relevante em relação à emissão de gases do efeito estufa e às mudanças climáticas globais além de significar um elemento importante para a formulação de políticas mitigadoras (DABLANC, 2008).

No Brasil, prefeituras de grandes cidades como Belo Horizonte, São Paulo e Rio de Janeiro têm promovido políticas com intuito de conter os efeitos negativos da distribuição de mercadorias nos centros urbanos. Estas estratégias visam, fundamentalmente, restringir o acesso de veículos de grande porte em áreas específicas. Contudo, Dablanc (2010) ressalta que as políticas restritivas em relação à entrada de veículos de carga nos centros urbanos baseadas na capacidade ou tamanho nem sempre são interessantes, uma vez que promovem o uso de equipamentos de menor capacidade, que podem contribuir para o aumento dos congestionamentos e a diminuição da eficiência do sistema transporte de mercadorias, que pode aumentar os custos das empresas. Assim,

é fundamental identificar alternativas que possam contribuir para uma racionalização do uso das estruturas viárias existentes de modo a diminuir os congestionamentos e, conseqüentemente, mitigar as externalidades negativas do transporte de cargas no ambiente urbano e organizar os processos logísticos nas cidades. É neste contexto que se insere o conceito de centro de distribuição urbano de mercadorias (CDU).

Segundo o IEA (2010), as melhorias dos processos logísticos nas cidades passam pelo estabelecimento de centros de distribuição de produtos e de sistemas inteligentes de transporte, uma vez que estas iniciativas contribuem, de maneira efetiva, para a sustentabilidade do transporte de mercadorias quando aliados a outras políticas de planejamento urbano.

A idéia do CDU é separar as atividades de distribuição em movimentações dentro e fora da cidade (ROOIJEN e QUAK, 2009). O CDU visa consolidar cargas de diferentes embarcadores e transportadores em um mesmo veículo, aspecto considerado por diversos autores como uma das mais importantes formas de mitigação das externalidades negativas causadas pelo transporte de mercadorias nos centros urbanos (BENJELLOUN e CRAINIC, 2008; BENJELLOUN *et al.*, 2009; KARRER e RUESCH, 2007; CRAINIC *et al.*, 2009; CRAINIC *et al.*, 2009b; BROWNE *et al.*, 2007; BROWNE, *et al.*, 2005; NEMOTO *et al.*, 2006).

Dablanc (2008) destaca que muitas implementações envolvendo o conceito de CDU em cidades européias não tiveram o êxito esperado em virtude, sobretudo, da baixa diminuição do número de veículos de carga nos centros urbanos, do elevado custo operacional e da baixa adesão de empresas no modelo. Contudo, ressalta-se que o desenvolvimento deste conceito, com o surgimento de novas formas de distribuição, pode potencializar os resultados positivos envolvendo esta alternativa (DABLANC, 2009).

Tendo em vista o desenvolvimento do conceito de CDU, este estudo se justifica por apresentar uma metodologia para avaliar os impactos econômicos e ambientais de um modelo de centro de distribuição urbano com o apoio de ferramentas de localização de instalações e roteirização de veículos. Os principais elementos constituintes desta pesquisa referem-se à análise do comportamento dos parâmetros econômicos, que refletem os custos do modelo de CDU para a cadeia de suprimentos, e ambientais, que consideram algumas externalidades do transporte de carga para sociedade, tendo em vista a variação da participação dos agentes no modelo e das estratégias de distribuição de mercadorias.

## **1.2 Objetivos**

Neste item, serão apresentados os objetivos que orientaram a execução deste trabalho.

### 1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver e aplicar uma metodologia para avaliar os impactos econômicos e ambientais de um modelo de centro de distribuição urbano de mercadorias.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Aplicar a metodologia desenvolvida no município de Belo Horizonte;
- Avaliar a adesão dos varejistas na região central de Belo Horizonte em relação à utilização do centro de distribuição de cargas;
- Propor um cenário-base refletindo a estrutura atual da distribuição de cargas no município;
- Propor cenários para a distribuição de mercadorias considerando elementos constituintes da rede logística do modelo de CDU e da adesão dos varejistas a este conceito;
- Propor parâmetros econômicos e ambientais para avaliar os cenários propostos;
- Identificar, dentre os cenários propostos, a melhor configuração da distribuição de cargas na região analisada;
- Analisar os impactos da estrutura logística de atendimento do CDU e da adesão dos varejistas a este modelo sobre os parâmetros econômicos e ambientais propostos;
- Analisar as implicações do conceito de CDU para o município de Belo Horizonte tendo em vista seu potencial para a mitigação das externalidades negativas relacionadas à distribuição urbana de mercadorias e seus custos para a cadeia de suprimentos.

## 1.3 **Estrutura do trabalho**

Este trabalho possui outros seis capítulos, além deste capítulo inicial, conforme destacado a seguir:

- Capítulo 2: Distribuição Urbana de Cargas

Este capítulo fará uma análise da distribuição urbana de cargas destacando o seu relacionamento com o meio ambiente e as suas externalidades negativas, além de refletir acerca de algumas tendências envolvendo este tema.

- Capítulo 3: Centro de Distribuição Urbano

Este capítulo apresentará o conceito de Centro de Distribuição Urbano, que fundamentou este trabalho, ressaltando suas vantagens, desvantagens e critérios para sua avaliação.

- Capítulo 4: Problemas de Localização e Roteirização

Este capítulo tem como intuito descrever e classificar os problemas de localização e roteirização, demonstrando sua importância para o planejamento e desempenho de toda a cadeia logística.

- Capítulo 5: Metodologia para Avaliação de Centros de Distribuição Urbano

Neste capítulo, será apresentado o procedimento metodológico que orientou a execução deste trabalho, destacando os critérios utilizados para a avaliação do Centro de Distribuição Urbano e a estrutura proposta para este modelo.

- Capítulo 6: Resultados da aplicação do modelo desenvolvido no município de Belo Horizonte

Neste capítulo serão mostrados os resultados e as considerações referentes ao estudo realizado para o município de Belo Horizonte tendo em vista a aplicação da metodologia desenvolvida.

- Capítulo 7: Conclusões e Recomendações

O último capítulo apresentará as conclusões e recomendações a respeito da metodologia desenvolvida e de sua aplicação em Belo Horizonte, destacando sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

## 2 DISTRIBUIÇÃO URBANA DE CARGAS

Neste capítulo, serão analisados alguns aspectos referentes à distribuição de cargas no ambiente urbano, sendo apresentados os principais problemas oriundos desta atividade para as cidades e a sociedade como um todo e as soluções que, potencialmente, podem ser adotados por empresas e autoridades públicas. Além disto, serão destacadas algumas tendências desta atividade, sobretudo, em relação ao desenvolvimento de aplicações tecnológicas que visam a sua melhoria em termos de custos, qualidade dos serviços e mitigação das externalidades negativas e o impacto das mudanças do comportamento de consumo, como o crescimento do comércio eletrônico sobre a distribuição de cargas e o tráfego urbano.

### 2.1 Distribuição urbana de cargas: problemas e soluções

Dablanc (2007) define a distribuição urbana de cargas como sendo vários fluxos constantes entrando, atravessando e deixando as áreas urbanas. Já Ogden (1992) define a movimentação urbana de cargas como “o movimento de coisas (distinguindo de pessoas) para, de, dentro e através das áreas urbanas”. A OECD (2003) destaca que o transporte urbano de carga é a “entrega de produtos (não somente para os varejistas, mas também para as indústrias) nas cidades ou áreas suburbanas, incluindo o fluxo reverso de produtos utilizados em termos de resíduos limpos”. Além disso, segundo Browne *et al.* (2007) “carga urbana é parte do transporte de carga em geral e da cadeia logística que, frequentemente, envolve uma área maior do que apenas uma cidade. Portanto, torna-se difícil a implementação de uma política destinada à distribuição urbana de carga sem afetar a parte interurbana deste fluxo de produtos”.

É importante frisar que Czerniak *et al.* (2000) ressaltam que a distribuição urbana de cargas não é um fim em si mesmo, mas reflexo de um processo econômico global, nacional e local. A função do transporte de carga está em disponibilizar o produto transportado a outros setores da economia para que o mesmo seja usado, processado, reparado, modificado, armazenado ou consumido. Assim, o transporte agrega valor espacial ao produto tornando-o parte do processo econômico de produção e consumo (DUTRA, 2004). Desta forma, o transporte urbano de cargas deve ser um componente importante no planejamento urbano (TANIGUCHI e HEIJDEN, 2000). A sua racionalização é essencial não somente para o sucesso da cadeia de suprimentos, mas também para o crescimento econômico sustentável (OECD, 2003).

Segundo Lima Júnior (2003), a movimentação urbana de mercadorias tem se tornado importante por estar diretamente relacionada com a vida das pessoas nas cidades e com o aumento dos congestionamentos nas regiões mais centrais. Neste sentido, Crainic *et al.* (2004) apontam que os principais fatores que contribuem para este fenômeno são a atual produção e distribuição baseadas em baixos estoques e entregas *Just in Time*, bem como o crescimento explosivo do comércio eletrônico, que gera volumes significativos de entregas em domicílio.

De acordo com Crainic *et al.* (2004) as autoridades públicas promovem poucas políticas em relação ao transporte de mercadorias nas grandes cidades, atuando, principalmente, na regulamentação de estacionamento, de acesso à via, e de janela de tempo para as operações de carga/descarga. Isto porque, segundo os autores, os governos tratam o transporte de mercadorias como uma atividade, essencialmente, privada. Consequentemente, as questões de transporte de mercadorias no nível da cidade ainda não são bem compreendidas, nem quantificadas, e não existe uma metodologia voltada especificamente para a análise e planejamento da movimentação de cargas.

Czerniak *et al.* (2000) salientam que muitos administradores locais consideram os problemas de criação de emprego e competitividade regional de forma isolada. Desta forma, a melhoria da eficiência dos sistemas de transportes tende a perder relevância nas decisões dos gestores públicos. A OECD (2003) destaca ainda que alguns governantes seguem o princípio de que “carga não vota, passageiros votam”; assim, o transporte de passageiros recebe maior atenção e prioridade nas políticas públicas e na distribuição dos recursos financeiros.

No entanto, Crainic *et al.* (2004) relatam que este cenário tende a mudar, pois a frota de veículos de todos os tipos está crescendo rapidamente e, como consequência, o congestionamento e os níveis de poluição crescem na mesma proporção. Por conseguinte, observa-se aumento da consciência pública em relação a estes temas que impactam na qualidade da vida da população das grandes cidades. As autoridades também começaram a tomar conhecimento e mostrar vontade política crescente de fazer alguma coisa. Assim, surge a necessidade de analisar os movimentos de veículos de mercadorias nas cidades.

O transporte urbano de cargas é uma variável fundamental no desenvolvimento das grandes cidades, pois segundo Browne *et al.* (2005):

- Possui uma significativa importância na sustentação do estilo de vida da população;
- Desempenha um papel importante na manutenção e conservação das atividades industriais e comerciais;
- Contribui para a competitividade industrial;

- Acarreta efeitos nos custos dos produtos consumidos pela população, impactando diretamente na eficiência econômica da região;
- Traz consequências ao meio ambiente, relativos ao consumo de energia, poluição, barulho, intrusão visual, entre outros.

Quak (2008) salienta que vários autores (FEITELSON, 2002, NICOLAS *et al.* 2003, RICHARDSON, 2005 *apud* QUAK, 2008) distinguem três problemas referentes à sustentabilidade nas áreas urbanas: sustentabilidade ambiental, econômica e social, também conhecidos como “triplo-P”: *people* (pessoas), *profit* (economia) e *planet* (planeta). Neste sentido, Quak (2008) ressalta que os sistemas de transporte de cargas em áreas urbanas acarretam impactos no “triplo-P” da seguinte maneira:

- Impactos sobre o planeta (*planet*):
  - Emissão de poluentes incluindo poluentes globais, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), e poluentes locais, como o monóxido de carbono (CO), partículas inaláveis (PM10) e compostos orgânicos voláteis (VOC). O transporte de carga contribui para mudanças globais climáticas;
  - O uso de recursos naturais não renováveis, como o combustível fóssil;
  - Resíduos de produtos como pneus, óleo e outros materiais;
  - Perda e ameaça a espécies selvagens.
- Impactos sobre as pessoas (*people*):
  - Consequências físicas da emissão de poluentes sobre a saúde pública, como mortes e doenças;
  - Lesões e mortes resultantes de acidentes de trânsito;
  - Aumento do incômodo provocados pelo barulho, intrusão visual, mau cheiro e vibração;
  - Redução nos elementos da qualidade de vida, como a perda de locais abertos e áreas verdes nas regiões urbanas como resultado da infraestrutura de transporte, intimidação e diminuição da atratividade das áreas centrais da cidade.
- Impactos sobre a economia (*profit*):
  - Ineficiência e desperdício de recursos;
  - Diminuição na confiabilidade e pontualidade das entregas, resultando, potencialmente, em menor nível serviço ao cliente e perda de mercado;
  - Diminuição do desenvolvimento econômico;
  - Congestionamento e redução da mobilidade urbana.

A movimentação de cargas representa, no tráfego urbano das grandes cidades européias, entre 20% e 30% da distância percorrida pelos veículos, e, de 16% a 50% do total de poluentes emitidos no ar (DABLANC, 2007).

Dablanc (2007) salienta que os governos locais reconhecem o impacto da movimentação de cargas no ambiente urbano e que este fluxo deve ser controlado. No entanto, não sabem como realizar este controle. Atualmente, a maioria das cidades analisa o tráfego de caminhões como algo que deve ser proibido ou, pelo menos, estritamente regulado, e poucas consideram as atividades de transporte como um serviço que deve ser organizado de maneira mais eficiente. Neste sentido, Muñuzuri *et al.* (2005) destacam algumas soluções que podem ser aplicadas pelos administradores locais com intuito de amenizar os impactos negativos da distribuição urbana sobre o ambiente das cidades, que são divididas em cinco grupos, dependendo do seu campo de aplicação, sendo classificadas como:

- Soluções relacionadas com a infraestrutura pública, que correspondem à construção de novas infraestruturas ou adaptação das existentes para servir como ponto de transferência para os propósitos da logística urbana. Também, o deslocamento modal da movimentação da carga urbana tipicamente das vias para a ferrovia é contemplado neste grupo.

- Soluções relacionadas com a gestão do uso do solo, como a alocação de áreas a serem usadas para as operações de logística urbana, por exemplo, o provisionamento de espaços para estacionamento.

- Soluções relacionadas com as condições de acesso, incluindo dois tipos de restrições neste grupo: a restrição espacial, que impõe limites na entrada e nos deslocamentos de veículos de entregas em determinadas regiões, e a restrição de tempo, que limita os períodos em que esses veículos podem entrar em uma área ou utilizar uma infraestrutura existente.

- Soluções relacionadas com a gestão do tráfego, que são destinadas à reorganização dos fluxos de veículos de carga em áreas congestionadas das cidades. Medidas em relação ao escopo destas regulações não são soluções específicas, mas referem-se ao modo em que outras soluções afetam diferentes transportadores e áreas urbanas. As aplicações de tecnologia da informação são consideradas neste grupo para a melhoria da logística urbana e de modelos de cooperação.

- Soluções relacionadas com as sanções e promoções estão relacionadas com as categorias anteriores, representando as possibilidades de aplicação conjunta das soluções apresentadas. As ferramentas de promoção podem ser usadas pelos administradores locais para apoiar determinadas práticas sem impô-las, enquanto os instrumentos de sanções asseguram a aplicação obrigatória de soluções específicas.

O Quadro 1 apresenta a classificação de algumas soluções que podem ser aplicadas pelos administradores locais para o controle da distribuição urbana nas cidades.

Quadro 2.1: Classificação de soluções para cargas urbanas para implementação pelos administradores locais

<b>Soluções para administradores locais no que se refere à carga urbana</b>		
<b>Área</b>	<b>Atributo</b>	<b>Tipos de Solução</b>
Infraestrutura pública	Pontos de Transferência	Terminais urbanos
		Centros logísticos periféricos
		Melhoria de terminais logísticos
		Uso de terminais ferroviários ou aquaviários
	Deslocamento Modal	Uso de ferrovia ou sistemas subterrâneos
Gestão do uso do solo	Estacionamento	Provisão de uma zona para as cargas
		Planejamento de espaços de estacionamento
		Áreas de <i>hub</i>
	Regulação de Construções	Uso de outros espaços reservados
		Interface de carga/descarga
		Uso de estacionamentos privados
Condições de Acesso	Restrições espaciais	Pequenos armazéns
		Acesso de acordo com o peso e volume
		Acesso a zonas de pedestres
		Bloqueio de determinadas vias
	Restrições de tempo	Fechamento do centro para o tráfego privado
		Pedágio urbano
		Adequação de um rodízio em zonas de carga
		Entregas noturnas
Gestão do Tráfego	Escopo de regulações	Permissão para o estacionamento em fila dupla durante curtos períodos de carga/descarga
		Janela de tempo para o acesso de veículos de carga
		Classificação de transportadores
		Classificação de zonas de carga
	Informação	Harmonização das regulações
Classificação de vias		
Sanção e Promoção	Promoção	Reserva de zonas de carga <i>on-line</i>
		Benefício econômico direto
		Fóruns de logística urbana
		Suporte de informações
		Treinamento de condutores
	Sanção	Veículos alternativos
		Circuito fechado de câmeras de televisão
		Controle de rota e acesso
		Sistemas de Informação

Fonte: Muñuzuri *et al.* (2005)

As políticas relativas à movimentação de cargas urbanas podem ter vários efeitos. Por exemplo, políticas destinadas à melhoria da eficiência do transporte urbano podem contribuir para o desenvolvimento econômico regional ou nacional bem como beneficiar outros usuários uma vez que pode-se reduzir os níveis de congestionamento. Tais políticas também podem ser designadas para a redução dos impactos adversos do transporte urbano e também favorecer os níveis de poluentes locais, regionais e globais (BROWNE *et al.*, 2007).

Todavia, segundo Muñuzuri *et al.* (2005), as soluções implementadas pelos administradores locais para a melhoria da logística urbana representam, em muitos casos, restrições à movimentação dos veículos. Estas restrições podem trazer malefícios para as atividades econômicas da área onde tais políticas são aplicadas quando comparadas a outras áreas na cidade ou outras cidades que possui menor intervenção na movimentação no tráfego dos veículos. Dablanc (2007) ressalta que, em uma única área metropolitana na França, existem cerca de 30 regras diferentes sobre a capacidade e o tamanho dos caminhões. Isto acaba obrigando os motoristas a escolher quais regras serão respeitadas e quais serão desobedecidas.

A OECD (2003) destaca que as regras, em relação ao tamanho e peso dos veículos, são diferentes entre as várias cidades, causando sérias dificuldades para a organização da cadeia de suprimentos em termos globais. A falta de padronização das regras em relação ao peso e tamanho dos veículos dificulta também as ações da indústria automobilística que necessita de regras harmonizadas para o desenvolvimento de projetos de veículos mais adequados para as entregas urbanas, sobretudo, levando em conta a baixa emissão de poluentes e barulho.

Quak e Koster (2009) salientam que as regulamentações sobre a movimentação de veículos afetam consideravelmente a organização do processo de distribuição aos varejistas e o meio ambiente. Neste sentido, os autores realizaram uma análise do impacto das restrições de janela de tempo e capacidade dos veículos tendo em vista a variação nos custos logísticos e no meio ambiente sobre três cadeias de suprimentos (roupa, departamento e drogaria) na região holandesa de Randstad, composta pelas cidades de Amsterdam, Rotterdam, The Hague e Utrecht. Os resultados desta pesquisa indicaram que políticas locais destinadas à melhoria da sustentabilidade social aumentam não somente a emissão de poluentes locais e globais, mas também o custo dos varejistas. Os impactos positivos das restrições de janela de tempo e de capacidade dos veículos como o aumento da atratividade do centro da cidade e da qualidade de vida, trazem efeitos negativos sobre o meio ambiente uma vez que eleva-se os níveis de emissão de CO<sub>2</sub>, PM10 e NO<sub>x</sub>.

Quak e Koster (2009) frisam que a magnitude do acréscimo dos custos logísticos em virtude das restrições de janela de tempo e a capacidade dos veículos depende das características da cadeia de distribuição dos varejistas. Estas características incluem a dispersão geográfica dos

clientes, a quantidade de entregas alocadas em cada veículo e o tipo de entrega a ser realizada (carga completa ou fracionada).

Browne *et al.* (2007) ressaltam que o nível de facilidade com que as operações de distribuição urbana são realizadas decorrente de novas políticas públicas e/ou iniciativas privadas que podem proporcionar maior eficiência econômica, não elevam, necessariamente, a sustentabilidade social e ambiental de uma região. Em muitos casos acontece o reverso, ou seja, as operações com menor grau de regulamentação aumentam seu impacto sobre o meio ambiente. Browne *et al.* (2007) exemplificam que, em um caso extremo, se todas as regulamentações e restrições governamentais sobre o uso de veículos de transporte de cargas em áreas urbanas fossem extintas, aumentaria a facilidade com que as operações são realizadas, mas alguns impactos ambientais que estas operações causam poderiam se elevar. Neste caso, por exemplo, a inexistência de regras sobre o tamanho de veículos poderia motivar algumas empresas a utilizarem veículos de elevado porte para a distribuição no centro urbano, fato que impactaria diretamente a intrusão visual e o ruído das operações logísticas. Desta forma, muitas restrições são impostas a determinados locais por uma boa razão.

É fundamental identificar medidas políticas e iniciativas privadas que tragam benefícios tanto para as atividades de distribuição urbana, tornando-as mais eficientes, quanto para a redução dos impactos sociais e ambientais que estas operações acarretam (BROWNE *et al.*, 2007). Crainic *et al.* (2009) destaca que novos modelos para o gerenciamento da movimentação de carga nas cidades têm sido propostos com intuito de mitigar os problemas oriundos desta atividade. Segundo os autores, estes modelos são atribuídos, fundamentalmente, à idéia de Logística Urbana, que consiste em considerar o ambiente urbano (embarcadores, transportadoras e a sociedade) como um sistema logístico integrado a ser otimizado. Taniguchi *et al.* (2001) estabelecem o conceito de logística como o “processo para a completa otimização das atividades de transporte e logística pelas companhias privadas em áreas urbanas, considerando o tráfego, o congestionamento e o consumo de energia dentro da estrutura econômica”.

Crainic *et al.* (2009) salientam que os objetivos dos modelos de logística urbana são: reduzir o congestionamento e aumentar a mobilidade nas cidades; diminuir as emissões de poluentes e o ruído; contribuir para o alcance das metas acordadas no tratado de Kyoto; e, melhorar as condições de vida dos habitantes evitando penalizar as atividades do centro das cidades. A logística urbana desafia as autoridades governamentais, estabelecimentos comerciais, transportadores e cidadãos a compreender, de forma integrada, suas relações com o transporte de cargas, além de exigir um entendimento entre os entes público e privado por meio de colaboração e parcerias inovadoras.

Vale destacar que a logística urbana pode ser vista como fenômeno complexo em virtude da presença de vários atores, como os clientes, embarcadores e recebedores que possuem necessidades de transportes específicas em relação à origem e ao destino das cargas. A estrutura da logística urbana é dada pela economia local e regional, a infraestrutura de transportes e as condições ambientais e legais (DASBURG e SCHOEMAKER, 2006).

A FIG 2.1 mostra o relacionamento entre os diferentes atores, onde se verifica existirem diferentes custos diretos e indiretos envolvidos em várias atividades. Por exemplo, os custos de investimentos, operação e estocagem podem ser custos diretos para alguns autores, como os investidores, as transportadoras, etc. Já em relação aos custos com tempo, acidentes e danos afetam os atores envolvidos e a comunidade. Os custos com a poluição do ar, ruído e espaço são, usualmente, externalidades que não são pagas diretamente. Estes custos podem ser financiados por meio de impostos ou taxas. Observando o relacionamento entre os diversos atores e os custos e efeitos que são provocados por eles ou sobre eles, pode-se concluir que a tarefa de um sistema de gerenciamento de transportes de carga é garantir condições otimizadas para o transporte e suprimento de produtos urbanos, minimizando os custos internos e externos do transporte e os custos sociais da comunidade (DASBURG e SCHOEMAKER, 2006).

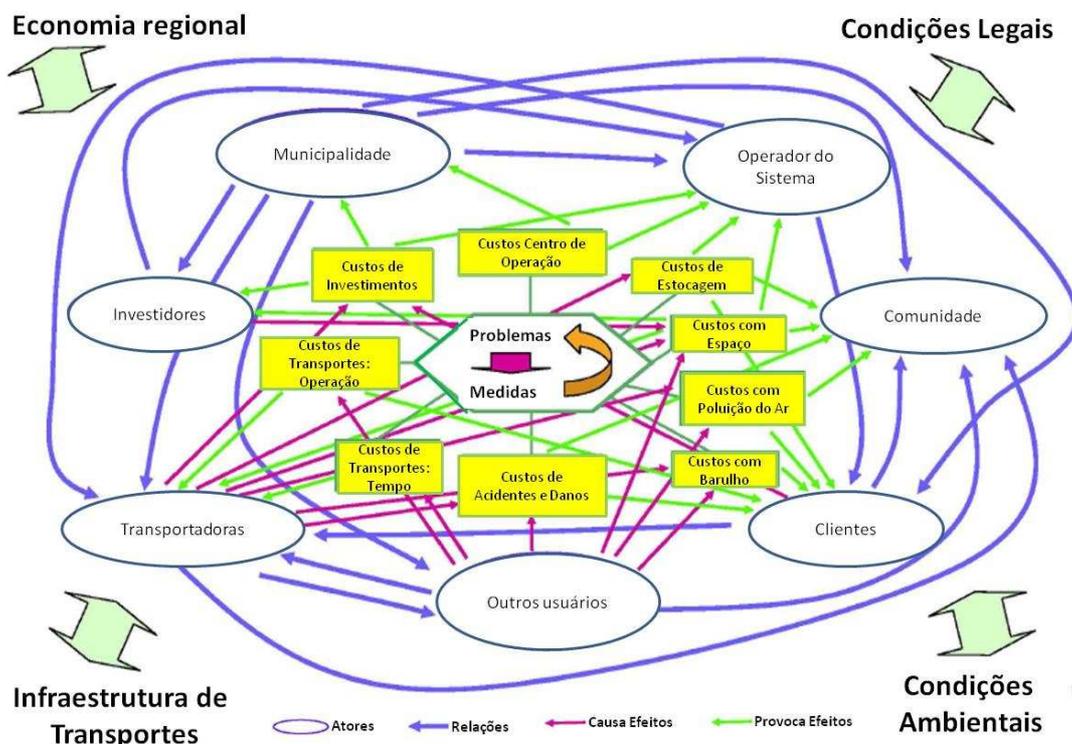


Figura 2.1: Principais atores, relações e efeitos no transporte urbano de cargas  
 Fonte: DASBURG e SCHOEMAKER, 2006

Vale destacar que nem sempre é possível estabelecer medidas que culminam em benefícios a todas as partes interessadas no que se refere à distribuição urbana de cargas. Assim, medidas que reduzem determinado impacto ambiental causado pela carga urbana podem elevar outro impacto. É importante ressaltar que a proibição do tráfego de veículos pesados em áreas urbanas pode ser benéfica em termos de intrusão visual, intimidação física e barulho, mas aumenta o número de viagens realizadas pelos veículos leves e, conseqüentemente, acentua-se o uso de combustíveis fósseis e a emissão de poluentes (BROWNE *et al.*, 2007; QUAK e KOSTER, 2009). A determinação de medidas apropriadas para reduzir o impacto do transporte urbano de cargas passa pelo entendimento dos problemas específicos de cada região. Vale frisar que as soluções aplicadas não são universais e devem ser analisados os impactos que cada uma delas acarreta sobre as partes interessadas.

Browne *et al.* (2007) salientam que algumas questões devem ser abordadas pelos administradores locais e operadores de transporte para alcançar a sustentabilidade e a eficiência das operações de distribuição urbana. Estas incluem:

- Veículos que realizam entregas devem impor o mínimo possível de impacto social e ambiental;
- Administradores (urbanos, municipais ou autoridades locais de transporte), empresas de transporte de carga e outros negócios devem cooperar para garantir que seus objetivos sejam alcançados;
- Planejadores urbanos podem necessitar influenciar ou controlar a movimentação de veículos de carga;
- Empresas de transporte devem otimizar sua eficiência operacional para reduzir o congestionamento do tráfego e os impactos ambientais.

Os tipos de medidas políticas exigidas dependem dos seguintes fatores:

- Objetivos econômicos, sociais e ambientais das autoridades urbanas;
- Nível de transporte de carga ou outro tráfego viário;
- O tamanho, densidade e leiaute da área urbana.

Verifica-se que o sucesso das soluções aplicadas à melhoria da sustentabilidade ambiental e da eficiência operacional das operações da distribuição urbana depende, sobretudo, do entendimento dos problemas específicos de cada região e da cooperação entre as várias partes interessadas (poder público, operadores logísticos e varejistas). Contudo, estas tarefas não são triviais, uma vez que os interesses de cada parte envolvida são muitas vezes conflitantes, sendo difícil estabelecer uma política que atenda, de maneira similar, a todos eles.

Segundo Browne *et al.* (2007), o Reino Unido tem realizado esforços nos últimos anos com intuito de estabelecer uma aproximação entre os setores público e privado para resolver problemas relacionados à carga urbana. Neste sentido foi testado pela *Freight Transport Association – FTA* (Associação de Transporte de Carga) o “*Freight Quality Partnership*” – FQP (Parceria para a Qualidade do Transporte) em quatro áreas urbanas do Reino Unido: Aberdeen, Birmingham, Chester e Southampton. O FQP aproximou a indústria, governos locais e representantes dos grupos de interesse do meio ambiente para identificar problemas percebidos por cada grupo em relação à movimentação e entrega de produtos na cidade; identificar medidas para resolver ou aliviar estes problemas; e, identificar melhores práticas e ações adotadas pelos governos locais e a indústria no que se refere à promoção da sensibilidade ambiental e econômica e de operações eficientes de entregas de produtos nas cidades.

Para Browne *et al.* (2007), uma das maiores vantagens do FQP é a possibilidade de melhoria do diálogo sobre os problemas do transporte urbano de cargas entre as autoridades locais, as empresas de transporte de cargas, varejistas, manufaturas e outras organizações, população local e outras partes interessadas. No entanto, existem vários problemas não resolvidos pelo FQP. O primeiro aspecto que merece ser salientado refere-se à dificuldade em engajar o envolvimento de um elevado número de empresas. Em seguida, também não é claro como assegurar a compatibilidade entre as políticas dos níveis locais, regionais e nacionais. Assim, é importante assegurar que o FQP cubra uma área significativa, o que pode ser problemático no que diz respeito às regiões metropolitanas.

## **2.2 Tendências na distribuição urbana de cargas**

Segundo França e Rubin (2005), ao mesmo tempo em que os padrões do consumidor mudam e as transformações na área de tecnologia causam mudanças profundas em vários setores, também cresce a pressão da comunidade e de grupos ligados ao meio ambiente, no intuito de minimizar os impactos negativos das atividades de carga, cada vez mais intensas. As comunidades locais têm demandado, cada vez mais, ações nesse sentido. Todavia, a despeito desses impactos negativos, o transporte de carga tem uma significativa contribuição à vitalidade da economia das cidades e, por conseguinte, das regiões nas quais se insere.

Empresas, em particular os varejistas, têm demanda crescente por novos serviços logísticos. Um levantamento feito em 2002 em lojas situadas em Lille e Tours, duas grandes cidades francesas, mostrou que 15% dos varejistas estavam interessados e dispostos a pagar um espaço de armazenamento nos centros urbanos. A mesma proporção de comerciantes gostaria de

ofertar aos seus clientes entrega domiciliar. Cerca de 8% deles estavam interessados em uma área dedicada para a recepção de suas entregas. Mais de um terço expressou a necessidade de serviços especializados para o recolhimento de *pallets* (SAMARCANDE, 2002 *apud* DABLANC, 2007).

O comportamento do consumidor também tem mudado rapidamente nos últimos anos, transformando a maneira como as pessoas realizam suas compras. O crescimento da distância entre os pontos de consumo e de vendas, principalmente através da *Internet*, tem sido considerado como a maior tendência no que se refere à diversificação da escolha dos clientes em relação aos seus locais de compras. Atualmente, as pessoas realizam suas compras em vários estabelecimentos, incluindo supermercados locais, grandes centros de compras e *web sites* em mesmo dia ou semana. Esta “volatilidade” tende a fazer as viagens de compras mais complexas, uma vez que se pode utilizar mais de um modo de transporte e ainda realizar esta viagem com mais de um propósito (por exemplo, realizar compras e pagar contas, etc.). Neste sentido, verifica-se o aparecimento de demanda por novos serviços logísticos e de transporte, entre eles podem ser citados a entrega em domicílio ou no escritório e os pontos de coleta (DABLANC, 2007).

Contudo, Dablanc (2007) relata que as iniciativas dos setores logísticos, tendo em vista a resposta à demanda crescente por novos serviços, são surpreendentemente baixas. Segundo a autora, o mercado dos principais operadores logísticos na Europa permanece inalterado e muitos destes são relutantes em oferecer entregas em domicílio. Isto porque eles consideram este tipo de serviço um mercado difícil tendo em vista a alta dispersão dos pontos de entrega e de visitas perdidas, além da dificuldade em delinear um plano de entregas eficiente.

É importante ressaltar que a complexidade operacional das entregas urbanas, em virtude de restrições impostas pelo poder público no ambiente dos centros urbanos, dos congestionamentos e da alta dispersão de pedidos, pode ser um fator inibidor das iniciativas de muitas empresas no que se refere ao atendimento das novas demandas dos clientes por melhoria dos serviços logísticos. Todavia, este cenário pode ser modificado tendo em vista o desenvolvimento, nos últimos anos, de tecnologias que visam mitigar os problemas oriundos do ambiente urbano tanto do ponto de vista do setor privado, melhorando a eficiência operacional e a confiabilidade da prestação de serviços das empresas, quanto do ponto de vista do poder público, trazendo benefícios ao tráfego de veículos para toda a sociedade. Neste sentido, destacam-se o desenvolvimento de sistemas envolvendo a aplicação de tecnologia da informação e comunicação (TIC) como os *Intelligent Transportation Systems* (Sistemas de Transportes Inteligentes – ITS).

A OECD (2003) destaca que a TIC tem se tornado um papel importante na cadeia de suprimentos por permitir não somente a integração operacional e a diversificação de fornecedores, como também a comunicação entre empresas e clientes na produção e pedido de produtos. Desta

forma, a TIC tem possibilitado a integração dos clientes na cadeia de suprimentos e a resposta rápida por parte das indústrias em relação a esta demanda complexa.

Yoshimoto e Nemoto (2005) destacam que o desenvolvimento das tecnologias de comunicação e informação aplicadas ao transporte, particularmente o crescimento da *Internet* e dos ITS, afetam, de diversas maneiras, os sistemas logísticos. Neste sentido, os autores citam que estes efeitos podem ser divididos em três categorias:

- A *Internet* aumenta as transações entre empresas (*business to business* - B2B) e entre companhias e clientes (*business to consumer* - B2C), denominado *e-commerce*, elevando a demanda por transportes;
- A *Internet* e os ITS criam um mercado mais sofisticado para as transações entre operadores logísticos e embarcadores e entre operadores logísticos, denominado *e-logistics*, promovendo a consolidação de cargas;
- Os ITS promovem a otimização de frotas baseados no tráfego de veículos ou em outra informação em tempo real, denominado *e-fleet management*, melhorando a eficiência do transporte.

Baseado no relacionamento das tecnologias de informação e comunicação com os sistemas logísticos, Yoshimoto e Nemoto (2005) estabelecem cinco hipóteses a respeito do impacto destas tecnologias sobre o transporte de cargas:

- 1) O *e-commerce* aumentará a demanda do consumidor. Acredita-se que a expansão da *Internet* diminuirá os custos de transação, podendo levar a um declínio nos preços dos produtos. Além disto, o desenvolvimento do B2C pode levar a uma melhor adequação dos produtos às necessidades dos clientes;
- 2) O *e-commerce* irá aumentar os pedidos aos operadores logísticos, particularmente, em relação às entregas fracionadas. O *e-commerce* reduzirá o volume das entregas, conseqüentemente, as cargas acondicionadas aos veículos de entrega poderão conter uma variedade de itens em unidades individuais;
- 3) O *e-logistics* poderá reduzir o volume de transporte de cargas. A eficiência do transporte de carga pode ser melhorada por meio de modelos de cooperação entre empresas, como, por exemplo, entre embarcadores e operadores logísticos (*shippers to logistics service providers* - S2L) e entre os próprios operadores logísticos (*logistics service providers to logistics service providers* - L2L), utilizando-se sistemas de coleta e entrega conjuntos. No entanto, os autores ressaltam que existem poucos exemplos de sucesso deste tipo de sistema em virtude da dificuldade em

determinar custos e lucros e manter uma distribuição equitativa entre as empresas com volumes de carga diferentes nestes modelos colaborativos;

- 4) Os ITS melhorarão a eficiência do transporte. Os centros de distribuição poderão acessar informações a respeito das condições de tráfego em tempo real o que auxiliará na realização das entregas e, conseqüentemente, no roteamento dos veículos. Este aspecto impacta na melhoria da previsão dos tempos de chegada dos veículos e melhora a habilidade em responder rapidamente e precisamente aos pedidos dos clientes;
- 5) A demanda do transporte pode ser gerenciada por meio de investimentos em infraestrutura de informação. É necessário que o governo promova uma melhor regulamentação da demanda do transporte através das tecnologias de informação e comunicação. Neste sentido, as aplicações poderão incluir o monitoramento do transporte de materiais perigosos o que contribui para a melhoria da segurança no tráfego e da resposta em caso de acidentes ou desastres ambientais. Além disto, podem ser implantados sistemas de pedágio urbano, com as tarifas baseadas no tipo de veículo e no nível de congestionamento, e sistemas de pedágio ambiental, direcionando veículos longos, por meio de desconto nas tarifas, para rotas com menor impacto ambiental.

A FIG 2.2 destaca como a *Internet* e os ITS se relacionam com as tendências que envolvem o sistema logístico.

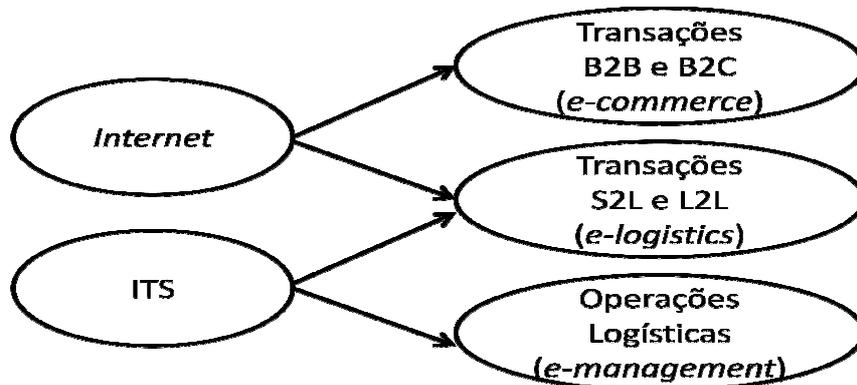


Figura 2.2: Relacionamento das tecnologias no sistema logístico  
Fonte: Yoshimoto e Nemoto, 2005

O desenvolvimento de tecnologias aplicadas ao transporte é fundamental, uma vez que pode promover a melhoria das operações das empresas no que se refere, por exemplo, ao aumento da confiabilidade na prestação dos serviços e da eficiência da frota; e do tráfego de veículos em geral, com a implementação de sistemas de informação em tempo real, controle de tráfego,

pedágios urbanos, entre outros. Neste sentido, os ITS podem ser vistos como um passo que poderia reduzir os efeitos negativos causados pelo transporte urbano de carga (ABEL e RUESCH, 2003).

### 2.2.1 Impacto do comércio eletrônico na distribuição urbana de cargas

O comércio eletrônico pode afetar, de maneira significativa, o transporte de cargas, determinando, principalmente, mudanças nos padrões de demanda, novas oportunidades para melhoria da eficiência além de aumentar a importância da logística na cadeia de suprimentos. Em relação ao primeiro aspecto, o comércio eletrônico exige soluções logísticas diferentes dos tradicionais modelos de negócio, visto que ele se caracteriza por pedidos *Just-in-Time* em pequenas quantidades e alta frequência com a utilização do serviço de entrega em domicílio. No que se refere ao segundo aspecto, ele oferece oportunidades de aumento da eficiência por meio de operações colaborativas entre provedores de serviço logístico e clientes e entre os próprios operadores logísticos. Por fim, verifica-se que a logística se torna um fator essencial para os negócios no ambiente eletrônico, o que pode acarretar no aumento da participação dos operadores logísticos na cadeia de suprimentos (RUESCH e PETZ, 2008).

É importante destacar que o comércio eletrônico pode ser dividido em duas modalidades: *business-to-business* ou B2B (comércio entre empresas) e *business-to-consumer* ou B2C (comércio entre empresas e consumidores finais) (RUESCH e PETZ, 2008). Analisando o impacto destas modalidades na distribuição urbana de cargas, verifica-se que o B2B, desde que pelo menos uma empresa esteja localizada em uma área urbana, pode acarretar em: menores lotes e entregas mais frequentes em virtude do atendimento da demanda em tempo real e das políticas de JIT; elevação da distância das viagens, tendo em vista as compras em diversas partes do mundo; a cooperação entre as empresas pode conduzir a uma maior transparência nos negócios, aumentando a competição, além de oferecer oportunidades para a consolidação de pedidos e melhoria da utilização da capacidade dos veículos.

Browne (2001) salienta que existem incertezas sobre o impacto do B2B nas viagens dos veículos e características da frota. Entretanto, o surgimento de parcerias entre empresas usando inteligência computacional com o compartilhamento de informações levaria a oportunidades de consolidação de pedidos, melhorando a utilização de veículos, além de reduzir custos. Desta forma, as mudanças no tipo de veículo a ser utilizado, com menor ou maior capacidade, dependem do efeito do crescimento do B2B sobre a logística e os sistemas de entrega.

Com efeito, estima-se que o potencial do B2C em mudar os padrões existentes do transporte urbano é muito maior comparado ao B2B. Isto porque a logística no B2C é caracterizada

por pedidos únicos e imediatos, que reduzem o tamanho dos lotes e aumentam a frequência das entregas; além disto, a compra não é limitada às áreas locais elevando as distâncias do transporte de mercadorias. Menciona-se ainda que muitas viagens individuais para compra possam ser substituídas por uma única rota de entrega de um veículo (RUESCH e PETZ, 2008).

Browne (2001) ressalta que dois fatores possuem especial importância quando se considera a entrega de produtos para os consumidores:

- Necessidade de realizar mudanças no canal de distribuição física;
- Presença do consumidor em casa para recebimento do produto.

Em relação ao primeiro fator, destaca-se que o tipo de produto pode definir a necessidade de mudanças no canal de distribuição físico. Isto pode determinar em alterações no modo e no lugar em que o produto será estocado, coletado e transportado até a casa do consumidor. No que se refere ao segundo aspecto, a exigência da presença do cliente para o recebimento do produto pode definir a eficiência em que a entrega é realizada. Neste sentido, nos casos em que a presença do cliente não é exigida no momento da entrega de seu pedido (por exemplo, pela existência de sistemas de pontos de coleta), apresenta-se uma melhor oportunidade para otimização de rotas e de frota quando comparado com o caso contrário (BROWNE, 2001).

Ruesch e Petz (2008) relatam que os efeitos do comércio eletrônico sobre o transporte não são claros, uma vez que o seu potencial depende de vários fatores, como por exemplo:

- Habilidade na consolidação de pedidos;
- Agregação de capacidades de transportes (colaboração entre transportadoras);
- Planejamento inteligente de rotas (entregas imediatas, restrições de acesso e tempo, etc.);
- Localização do centro de distribuição (armazéns dedicados, estoques).

Assim, a proposição de uma afirmação geral sobre o impacto do comércio eletrônico no volume de transporte urbano constitui-se como uma tarefa bastante difícil. Espera-se que os consumidores poderão substituir as viagens para compra por possíveis viagens para lazer. Especialistas prevêem que este efeito indutor de tráfego poderia facilmente compensar a redução dos transportes que algumas soluções podem acarretar. Com isto o comércio eletrônico poderia aumentar o número total de movimentação de veículos. Além disto, as entregas destinadas ao local de trabalho ou aos pontos de coleta (vista como uma solução interessante para o problema da “última milha”) podem influenciar a escolha modal dos consumidores. Neste sentido, eles podem substituir a viagem ao trabalho por meio do transporte público pelo veículo individual em virtude da comodidade no transporte de suas encomendas (SHACKE, 2001 *apud* RUESCH e PETZ, 2008).

Browne (2001) destaca que as entregas em casa poderiam reduzir as taxas de viagens dos veículos e a distância total percorrida nas cidades, resultando em uma diminuição nos congestionamentos e, conseqüentemente, na emissão de poluentes produzidos pelo uso de combustíveis fósseis e nas taxas de acidentes. No entanto, estes benefícios dependem de alguns fatores essenciais, a saber:

- Comportamento do consumidor resultante do comércio eletrônico: o tempo economizado nas compras em casa pode adicionar as viagens por meio de veículos particulares tendo em vista outros propósitos, como lazer, visitas a amigos etc;
- Uso de sistemas de entrega compartilhados ou dedicados: a oferta de serviços dedicados de entrega, servindo apenas a uma empresa, pode gerar uma elevação das viagens dos veículos e da distância percorrida comparado ao uso de sistemas compartilhados, com a capacidade dos veículos sendo dividida entre várias empresas;
- Frequência de pedidos e despacho de itens individuais: a desvinculação da entrega ao tamanho do pedido pode encorajar os clientes a comprarem em menores quantidades, com maior frequência, em virtude da conveniência, por exemplo, comparado as compras realizadas em supermercados, gerando um aumento no número de viagens dos veículos;
- Retorno de produtos: a quantidade de retorno de produtos provocados por inconsistência entre o que foi pedido e a efetiva entrega é um fator importante de geração de viagens e distância percorrida pelos veículos;
- Restrições de janela de tempo e necessidade da presença do cliente para recebimento do pedido: uma restrição apertada do tempo de entrega e a necessidade de retorno à casa do cliente para a efetivação da entrega pode aumentar o número de veículos e de viagens;
- Localização do depósito de distribuição: a distância média percorrida dos veículos pode aumentar em virtude da distância entre o depósito e as casas dos clientes, especialmente quando a densidade populacional da região urbana é baixa.

Vale mencionar que uma grande variedade de diferentes soluções logísticas para o comércio eletrônico tem sido implementada, cada uma delas tendo diferentes efeitos no transporte e na experiência de compra do cliente. Os padrões de transporte diferem-se fortemente entre novos ou existentes canais logísticos ou entre serviço de entregas em domicílio ou soluções com pontos de coleta. Sendo assim, faz-se necessário analisar o *trade-off* entre o conforto dos clientes (nível de serviço ao cliente) e a eficiência do processo de distribuição. Destaca-se que um dos fatores-chave do comércio eletrônico é se este mercado irá crescer suficientemente de modo que a distância média

das entregas sejam substancialmente menores que a correspondente viagem particular às compras. No entanto, o crescimento do comércio eletrônico é muito rápido e é difícil prever o desenvolvimento do transporte urbano de cargas em relação à distribuição das entregas oriundas deste mercado (RUESCH e PETZ, 2008).

### 2.2.2 Sistemas inteligentes de transporte

Crainic *et al.* (2009) salientam que o termo ITS é geralmente usado para designar a tecnologia aplicada à infraestrutura, serviços, planejamento, operação e métodos de controle concernentes ao transporte de pessoas e carga. Segundo os autores, o desenvolvimento dos ITS foi promovido, inicialmente, pela constatação de que somente o acréscimo de construções ligadas à infraestrutura urbana não responderia ao aumento da demanda do transporte e dos vários problemas que ele inevitavelmente ocasionaria. Desta forma, a resposta à necessidade de se aumentar a capacidade dos sistemas de transportes foi tentar promover a elevação da sua eficiência por meio do uso integrado dos mais recentes desenvolvimentos em várias áreas, tais como: tecnologias de infraestrutura e de veículos, eletrônica, telecomunicação, computação, sistemas de posicionamento, avançados processamento de dados e sofisticados métodos de planejamento e operação.

Ainda segundo Crainic *et al.* (2009), nos últimos 15 anos têm-se realizado esforços grandiosos orientados à criação e desenvolvimento de uma nova geração de sistemas de transporte com intuito de controlar o tráfego de veículos, aumentar a segurança nas vias e a mobilidade, e, conseqüentemente, melhorar a produtividade e efetividade das frotas públicas e privadas. Assim, a principal função dos ITS consiste em obter, processar e distribuir informações para melhor uso dos sistemas de transportes, infraestrutura e serviços. Além disto, os ITS permitem aos embarcadores e transportadores o estabelecimento de sistemas de distribuição mais eficientes e ambientalmente amigáveis (TANIGUCHI *et al.*, 2001).

É importante frisar que os ITS não se referem a um conceito novo, mas, sim, parte de uma evolução lógica da gestão de transportes baseado em novas e antigas tecnologias. A novidade neste conceito apresenta-se em relação à integração de uma visão global buscando a sinergia de sistemas que antes eram analisados de forma isolada (CRAINIC *et al.*, 2009).

Para Crainic *et al.* (2009), os ITS são apresentados de acordo com o escopo de seus sistemas, sendo classificados em duas classes:

- *Commercial Vehicle Operations* (Operações de Veículos Comerciais – CVO), cujo objetivo é aumentar o desempenho da infraestrutura, em especial as vias e os sistemas aduaneiros, simplificando e automatizando o controle relacionado às

operações de gestão de cargas e frotas em nível institucional (regional, nacional ou global). Desta forma, pretende-se melhorar a eficiência das atividades de veículos comerciais através de operações baseadas em veículos eletrônicos e identificação de cargas, localização e monitoramento, e, apuramento e verificações em movimento. Estes sistemas incluem o *Global Positioning System* – GPS (Sistema de Posicionamento Global), redes de rádio frequência, comunicação bi-direcional (rádio, satélite ou *wireless phone*) e *Electronic Data Interchange* – EDI (Troca Eletrônica de Dados);

- *Advanced Fleet Management Systems* – AFMS (Sistemas de Gestão de Frota Avançadas), dedicado à operação de um grupo particular de empresas, simplificando e automatizando a gestão de cargas e frotas de um transportador ou em entre negócios. Neste sentido, o AFMS destina-se a processar informações e integrá-las em um plano de transporte com intuito de alcançar a eficiência na alocação e utilização de frota e a satisfação dos pedidos dos clientes. É importante salientar que existe um elevado número de aplicações envolvendo o conceito do AFMS e ainda vários protótipos sendo desenvolvidos em centros de pesquisa e laboratórios, buscando oferecer, principalmente, o controle e a coordenação de operações em tempo real.

### 3 CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO URBANO

Neste capítulo, será apresentado o conceito de Centro de Distribuição Urbano (CDU) que fundamentou esta pesquisa. Além disto, serão mencionados os fatores que contribuem para o sucesso deste empreendimento, assim como suas vantagens e desvantagens tendo em vista seus impactos sobre a cadeia de suprimentos e a sociedade. Finalizando, serão analisados alguns critérios para a avaliação de um CDU.

#### 3.1 Centro de distribuição urbano: alternativa para mitigação das externalidades negativas da distribuição de cargas

A consolidação de cargas de diferentes embarcadores e transportadoras em um mesmo veículo, associada à coordenação de operações nas cidades é vista como uma das mais importantes formas de mitigação das externalidades causadas pelo transporte de mercadorias nos centros urbanos (BENJELLOUN e CRAINIC, 2008; BENJELLOUN *et. al.*, 2009; KARRER e RUESCH, 2007; CRAINIC *et al.*, 2009; CRAINIC *et al.*, 2009b; BROWNE *et. al.*, 2007; BROWNE, *et. al.*, 2005; NEMOTO *et. al.*, 2006). Neste sentido, o conceito de CDU é considerado um instrumento importante dentre as iniciativas da Logística Urbana (CRAINIC *et. al.*, 2009). A idéia do CDU é separar as atividades de distribuição em movimentações dentro da cidade e fora da cidade (ROOIJEN e QUAK, 2009), como mostra a FIG 3.1.

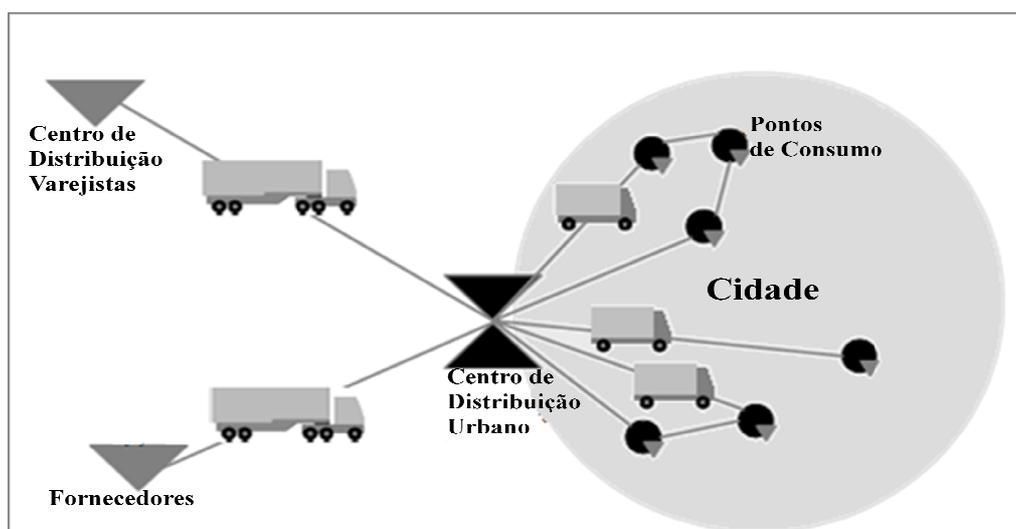


Figura 3.1: Conceito de consolidação de carga urbana  
Fonte: Quak, 2008

Vale ressaltar que muitas entregas já podem estar consolidadas de alguma forma. Entretanto, isto nem sempre é o melhor do ponto de vista da cidade. Geralmente, as cadeias de suprimentos organizam as entregas aos pontos de consumo a partir de um centro de distribuição varejista. Neste centro de distribuição, são consolidadas cargas oriundas de diversos fornecedores e, em seguida, planejadas rotas de entregas aos destinatários das mercadorias. Esta forma de distribuição pode ser mais eficiente para uma determinada cadeia de suprimento, mas não necessariamente para a perspectiva da cidade como um todo.

De maneira geral, as cadeias de suprimentos otimizam suas entregas tendo em vista a origem do fluxo, por exemplo, um centro de distribuição varejista, enquanto que, para a cidade, a otimização a partir do destino poderia alcançar melhores resultados. Neste sentido, do ponto de vista da cidade, a realização de roteiros tratando as regiões congestionadas como ambientes fechados pode, por exemplo, contribuir para a redução dos veículos nas áreas com maiores problemas em relação ao trânsito. É importante mencionar que o aumento das regulamentações sobre a distribuição urbana, como as restrições de acesso de veículos (capacidade e/ou tamanho), janela de tempo e as zonas ambientais, vem pressionando a eficiência das cadeias de suprimentos (ROOIJEN e QUAK, 2009).

Quak (2008) destaca que os CDU's estão entre as iniciativas de Logística Urbana, que visam melhorar a sustentabilidade das cidades pela mudança da infraestrutura física utilizada pelo transporte urbano de cargas. Segundo o autor, o conceito de CDU não é um novo, uma vez que ele já foi estudado na década de 1970. McDermott (1975), conforme citação de Quak (2008), analisou os potenciais benefícios e desvantagens da operação de terminais de consolidação urbana para os transportadores, embarcadores, consumidores, sociedade e administradores públicos.

Segundo KARRER e RUESCH (2007), os CDU's foram desenvolvidos, inicialmente, no Reino Unido e mais tarde na Holanda e Mônaco, fazendo parte da política nacional de muitos países europeus. Esse conceito foi um tópico proeminente na década de 1990 em relação às atividades da Logística Urbana, com destaque para a Itália que, no ano de 1990, foi o primeiro país a estabelecer uma estratégia nacional de CDU, sendo seguida pela Alemanha, em 1992, e pela França, em 1993. Apesar do elevado interesse nos CDU's, evidenciado pelas numerosas pesquisas realizadas na década de 1990, destaca-se que houve poucos modelos implementados, sendo que muitos destes tiveram suas operações encerradas em virtude do baixo volume movimentado e de insatisfação com os níveis de serviço apresentados. Browne *et al.* (2005) ressaltam que, dos 200 modelos de CDU planejados ou executados na Alemanha, apenas 5 continuam operando.

Com efeito, a partir do século XXI, verifica-se outro período de interesse em relação aos CDU's, onde se destacam, por exemplo, as iniciativas implementadas ou pesquisadas em: La

Rochele (PARTIER, 2006 *apud* QUAK, 2008), Berlin (HESSE, 2004 *apud* QUAK, 2008), Roma (CRAINIC *et al.*, 2004), Lyon (AMBROSINI, 2004 *apud* QUAK, 2008), Siena (VALENTINI *et al.*, 2001 *apud* QUAK, 2008), Nijmegen (ROOIJEN e QUAK, 2009), Bristol (MINIHANE, 2009), e Westpomeranian Region (CHWESIUK *et al.*, 2009).

Atualmente, o interesse pelos CDU é bastante heterogêneo entre os países europeus, uma vez que alguns ainda permanecem céticos em relação aos potenciais benefícios que esta alternativa pode trazer, e outros esperam um segundo período de implementações bem sucedidas, tendo em vista o aprendizado com as falhas do passado. Todavia, ressalta-se que o crescimento da preocupação ambiental em relação às externalidades oriundas do transporte aumentará a necessidade de ações para mitigação destes problemas, elevando as discussões acerca das possíveis soluções, incluindo os CDU (KARRER e RUESCH, 2007).

Em relação aos fatores de sucesso e fracasso dos CDU's, o trabalho realizado por KARRER e RUESCH (2007) apontou os principais motivos para o declínio do interesse em relação ao CDU e identificou ações que podem facilitar a implementação desta iniciativa. No que se refere às principais barreiras, destacam-se:

- Aumento nos custos de transferência, riscos e atrasos;
- Medo da perda de competitividade e contato com os consumidores;
- Medo de novas dependências;
- Elevado esforço de coordenação e iniciação do projeto;
- Dificuldades em dividir custos, atividades e responsabilidades;
- Falta de suporte das autoridades públicas;
- Relutância dos varejistas em aceitar novos modelos de distribuição.

Em relação aos potenciais fatores de sucesso, destacam-se:

- Parceria Público-Privada: forma interessante de discussão entre os diversos atores envolvidos no processo de estudo e implementação do CDU;
- Tecnologia: a telemática e a tecnologia da informação oferecem um alto potencial para aumentar a eficiência dos sistemas de transportes e a coordenação entre varejistas, embarcadores, transportadores e CDU;
- *Networks*: a integração de diferentes sistemas buscando a sinergia e a formação de uma rede urbana de distribuição de cargas;
- Conhecimento local: o conhecimento das condições locais, como a rede de transporte, os obstáculos e as restrições em relação aos pontos de entrega;
- Localização: a consolidação e os custos de distribuição dependem, fundamentalmente, da localização do CDU;

- Acesso intermodal: o acesso ao transporte por meio de outros modais, como ferrovias e hidrovias, pode ser visto como um elemento importante para aumento da capacidade do transporte de cargas e diminuição do uso das rodovias;
- Participação de empresas que realizam transporte próprio: quanto maior a participação de empresas que realizam transporte próprio na distribuição urbana, elevam-se as oportunidades de consolidação de cargas de diferentes embarcadores, potencializando o sucesso do CDU.

Dablanc (2007) salienta que muitos projetos envolvendo a instalação de um único CDU não tiveram sucesso em grandes cidades com alta densidade populacional e elevada concentração de atividades comerciais, administrativas e culturais. Crainic *et al.* (2009) ressaltam que, nestas cidades, geralmente, os veículos que possuem permissão para realizar as entregas, ou seja, que atendem às restrições de peso e tamanho, viajam longas distâncias até os pontos onde estão localizados os clientes. Com efeito, estes veículos não são apropriados para viagens longas e, por outro lado, o tipo de equipamento adequado para viagens mais extensas não possui permissão para a realização das entregas nos centros urbanos em virtude de seu tamanho e/ou capacidade de carga.

Diante desta situação, Crainic *et al.* (2007) expandem o conceito de CDU único para CDU múltiplo como forma de mitigar os problemas de adequação de frota para operação nas grandes cidades. Neste conceito, o sistema de distribuição de cargas é dividido em dois níveis: CDU's e satélites. Os CDU's são localizados fora da área urbana e recebem a carga que será distribuída nos centros urbanos. Já os satélites são alocados em áreas próximas de sua região de cobertura, na área urbana, e recebem a carga dos CDU's para entrega nos clientes. Neste sistema, estão envolvidos dois tipos de veículos, veículos com maior capacidade de carga, que transferem a carga do CDU's para os satélites, e veículos ambientalmente amigáveis, que realizam as entregas para os clientes a partir dos satélites. O problema desenvolvido pelos autores também é conhecido como problema de localização e roteirização em duas camadas (Crainic *et al.*, 2009).

Browne *et al.* (2005) realizaram uma extensiva revisão bibliográfica sintetizando os principais exemplos de CDU's encontrados na literatura, buscando identificar o seu escopo e o desenvolvimento deste conceito nas últimas décadas. No que se refere à definição de CDU, os autores relatam que não existe na literatura uma definição padronizada acerca deste conceito, uma vez que este se diferencia entre os vários trabalhos pesquisados. Tendo em vista esta lacuna na literatura pesquisada, os autores citados definiram o centro urbano de consolidação (do inglês *Urban Consolidation Centre – UCC*) como uma “instalação logística situada relativamente próxima a uma área geográfica que serve ao centro da cidade, toda extensão urbana, ou um lugar específico (por exemplo, *shopping centre*), em que as entregas são consolidadas e realizadas dentro desta

área”. Com o propósito de adaptar a nomenclatura definida por Browne *et al.* (2005) à realidade brasileira, será utilizada a nomenclatura Centro de Distribuição Urbano (CDU) ao invés de Centro Urbano de Consolidação (CUC).

Em relação aos fatores que influenciam a natureza do CDU, Browne *et al.* (2005) destacam os seguintes:

- Objetivo: um CDU pode ter um ou múltiplos objetivos, que incluem:
  - Redução dos níveis de tráfego urbano, declinando a movimentação de veículos de carga na área urbana por meio da consolidação ou transferência modal;
  - Alteração do tipo de veículo utilizado (veículos leves ou pesados);
  - Redução dos impactos ambientais associados com as atividades dos veículos de cargas, por meio da diminuição no número de viagens e/ou uso de veículos “ambientalmente amigáveis”;
  - Melhoria da eficiência do transporte urbano de cargas (aumentando os níveis de ocupação dos veículos e diminuindo o número de entregas);
  - Redução do estoque de produtos e das atividades logísticas no contexto urbano, que pode resultar no aumento do volume de negócios em decorrência da oferta de serviços com maior valor agregado pelos CDU’s como a locação de espaços para armazenamento.
- Localização: em particular, sua proximidade com a área servida;
- Cobertura espacial: a extensão da área servida varia entre os diversos modelos de CDU, podendo ser um local específico ou toda a área urbana;
- Variedade e tipos de produtos movimentados;
- Modos de transportes utilizados;
- Flexibilidade operacional: por exemplo, cronograma fixo de entregas ou de acordo com a demanda;
- Propriedade e operação do CDU: por exemplo, público ou privado, um operador ou *joint venture*;
- Aspectos financeiros: particularmente, em relação à natureza do apoio financeiro;
- Responsabilidade pelas operações de transporte: por exemplo, mesmo provedor operacional ou um acordo de transporte separado, e se é uma operação com competição ou monopolizada;
- Grau de permanência do CDU e de suas operações;
- Papel das autoridades locais e de outros setores públicos;

- Compulsório ou voluntário: o CDU pode ser operado de maneira voluntária, em que os usuários decidem pela passagem de suas entregas via CDU. Alternativamente, a utilização do CDU pode ser compulsória, na qual os produtos devem ser entregues passando por ele;
- Iniciativa autônoma ou incorporada em uma política já estabelecida dentro de um ambiente urbano regulamentado.

Browne *et al.* (2005) também identificaram uma série de vantagens e desvantagens em relação à implantação do CDU, a saber:

- Principais vantagens:
  - Benefícios sociais e ambientais, como operações transporte na área urbana com menor intrusão visual e redução da emissão de poluentes e de ruídos;
  - Melhoria no planejamento e na implementação de operações logísticas, com oportunidade para a introdução de novos sistemas de informação;
  - Melhoria no controle de estoques, disponibilidade de produtos e serviço ao cliente;
  - Potencial de ligação com outras políticas e iniciativas de regulamentação.
- Principais desvantagens:
  - Potencial aumento de custos;
  - Um único CDU pode ter dificuldades na realização de toda a movimentação de produtos, tendo em vista a variação no tipo e nas diferentes exigências de manuseio e estocagem;
  - Um único CDU para uma área urbana pode perder a atratividade para muitos fluxos de suprimentos devido ao nível de diversificação requerido de uma rota normal;
  - Falta de cumprimento de regulamentações para veículos não inclusos no modelo do CDU;
  - Perda do contato direto entre clientes e fornecedores.

Em relação aos impactos sobre as operações de transporte, Browne *et al.* (2005) salientam que, apesar de se apresentar como uma das principais justificativas para a implementação de um CDU, existe na literatura poucos estudos que visam identificar tais impactos. No entanto, em termos gerais, o uso de um CDU pode resultar em benefícios substanciais para o transporte, dependendo do nível de absorção e da natureza deste modelo. Os principais benefícios incluem:

- Redução no número de viagens;
- Redução na distância percorrida pelos veículos de carga;

- Melhoria nas taxas de utilização do veículo (peso/volume) nas entregas realizadas pelo CDU e, conseqüentemente, redução no custo de transporte unitário nas entregas ao consumidor final;
- Diminuição na quantidade de veículos na área servida pelo CDU;
- Oportunidade para melhoria do faturamento com cargas de retorno.

É importante mencionar que existem poucas pesquisas que visam demonstrar o impacto do CDU em toda a cadeia de suprimentos. No entanto, pode-se analisar o potencial impacto que atividades de consolidação acarretam na cadeia de suprimentos com intuito de expandir esta discussão para o impacto do CDU sobre o controle de estoque, local de entrega, fornecedores e operadores logísticos, e fluxo de produtos (BROWNE *et al.*, 2005). Em relação ao impacto no controle de estoques, o CDU pode ser usado como um ponto de armazenamento, sujeito à avaliação de sua capacidade e condições apropriadas para estocagem dos produtos envolvidos. Em geral, a sua utilização seria pautada em um armazenamento de curto prazo, fornecendo um depósito que poderia atender rapidamente a uma necessidade, reduzindo o tempo de entrega, melhorando a disponibilidade do produto e o serviço ao cliente (BROWNE *et al.*, 2005).

Como resultado dos serviços ofertados pelo CDU, por exemplo, espaço para armazenamento, redução do tempo de entrega, entre outros, os clientes podem aumentar a variedade de produtos em virtude do aumento do espaço em seus estabelecimentos antes usado para estocagem de produtos. Outro impacto sobre o local de entrega refere-se à diminuição do tempo que funcionários destinam ao recebimento de produtos, uma vez que várias entregas podem ser substituídas por uma única, consolidada (BROWNE *et al.*, 2005).

Dentre os atrativos para fornecedores e operadores logísticos utilizarem o CDU, destacam-se as entregas para CDU bem equipados e com maior flexibilidade no recebimento dos pedidos, sem problemas com restrições de entrega e congestionamento nos locais para carga e descarga (BROWNE *et al.*, 2005).

Vale destacar que o CDU pode ter papel importante no fluxo de produtos, incluindo o retorno de mercadorias e a coordenação da coleta de resíduos e embalagens para reutilização ou reciclagem. Além disso, o CDU pode apresentar-se como um novo canal de distribuição, resultado da consolidação de múltiplos clientes, que pode oferecer oportunidades de acesso a novos mercados a pequenos fornecedores, oferecendo serviços *Business-to-Business* (B2B) e *Business-to-Customer* (B2C), como entregas em domicílio ou ponto de coleta de produtos. A FIG 3.2 mostra uma série de conseqüências econômicas, operacionais e ambientais em virtude do uso do CDU. Destaca-se que estes resultados são complexos, já que existem vários fluxos de relacionamentos entre eles.

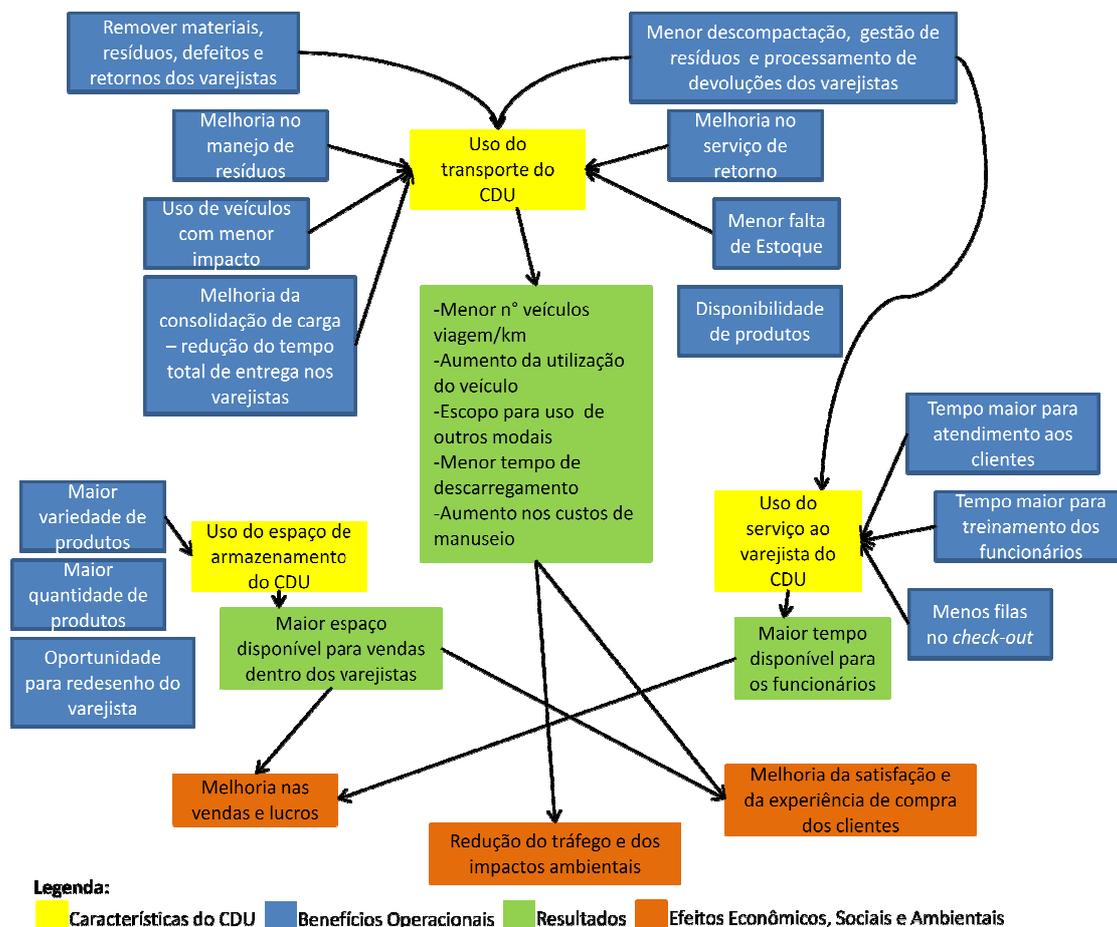


Figura 3.2: Relação de potenciais benefícios e atividades em um CDU

Fonte: Browne *et al.*, 2005

### 3.2 Avaliação de centros de distribuição urbano

Browne *et al.* (2007) salientam que a avaliação de CDU's é uma tarefa complexa na medida em que ele pode ter um ou múltiplos objetivos e, desta forma, existem várias abordagens visando avaliar as aplicações e os tipos de CDU. Com efeito, algumas medidas são tipicamente utilizadas como forma de avaliar os modelos propostos, entre estas, destacam-se: o número de rotas realizadas dos centros de distribuição até os seus clientes, distância percorrida pelos veículos envolvidos neste modelo, número de veículos, tempo total de realização das rotas, número de produtos entregues por ponto de destino, quantidade de carga por veículo, frequência e tempo de estacionamento nas vagas destinadas à carga e descarga na cidade, consumo de combustível e emissão de poluentes dos veículos envolvidos no CDU e, por último, custos operacionais.

Os efeitos que um CDU provoca nas partes envolvidas dependem fundamentalmente das condições prévias de sua implantação, culminando em resultados diferentes para as medidas adotadas. Browne *et al.* (2007) salientam que recentes estudos envolvendo o CDU têm se preocupado em aumentar a ocupação dos veículos com intuito de melhorar os níveis de utilização e

eficiência do transporte de carga urbano ao invés de tratar este problema apenas com modelos de transferência de carga onde as cargas são movimentadas de veículos de maior capacidade para veículos menores para a realização de entregas aos clientes finais deste modelo. Desta forma, os resultados potenciais do CDU para cidades em que os veículos já circulam com altos níveis de ocupação não se apresentam de maneira tão favorável.

Browne *et al.* (2007) destacam que a alocação dos custos e benefícios entre as partes envolvidas, principalmente, varejistas, transportadores e fornecedores é um elemento crítico na determinação da viabilidade de um modelo de CDU. Na teoria, esta quantificação pode ser analisada como um processo simples, sujeito à concordância sobre os custos e benefícios medidos. No entanto, o nível de dificuldade na alocação dos custos e benefícios depende da natureza do CDU e, em particular, do número e multiplicidade de partes afetadas, por exemplo, número de transportadores, fornecedores e recebedores. Neste sentido, a quantificação de todos os custos e benefícios pode ser visto como um desafio primordial uma vez é quase inevitável que, em determinados aspectos, a implantação do CDU envolve a presença de “ganhadores” e “perdedores” e, em geral, as partes envolvidas se preocupam apenas com os custos e benefícios que afetam diretamente suas atividades.

A monetarização dos custos e benefícios também se apresenta como um fator importante. Isto porque alguns custos são facilmente expressos em termos monetários, por exemplo, os de natureza operacional (operação do CDU, distribuição de mercadorias etc) enquanto que, para outros, esta tarefa não é tão trivial, como a melhoria do ambiente do comércio, aumento do espaço nas lojas destinado às vendas, emissão de poluentes, entre outros (BROWNE *et al.*, 2007). O Quadro 3.1 ilustra alguns custos e benefícios para as partes envolvidas nos modelos de CDU.

Quadro 3.1: Custos e benefícios do CDU

<b>Ator</b>	<b>Custos</b>	<b>Benefícios</b>
Fornecedores	- Diversificação nas operações “porta-a-porta”.	- Menor tempo gasto nas entregas nas cidades, reduzindo custos operacionais; - Potencial uso da economia de tempo para geração de receitas adicionais.
Transportadores	- Segurança; - Perda de controle ou responsabilidade sobre as entregas; - Aumento nos danos percebidos com mais uma etapa de manuseio; - Encargos adicionais com manuseio/entregas.	- Aumento no número de entregas; - Oportunidade para entregas noturnas; - Aumento da eficiência com o aumento da velocidade média e menores problemas com estacionamento; - Melhoria no consumo de combustível.
Recebedores	- Estágio adicional em casos de atrasos e entregas perdidas.	- Melhoria na confiabilidade das entregas; - Diminuição no número de entregas; - Recebimento do pedido em partes; - Coleta no CDU; - Diminuição dos estoques; - Serviços com maior valor agregado; - Melhoria no ambientes das lojas e ruas; - Remoção contínua de materiais recicláveis.
Autoridades Locais	- Custo de regulação da movimentação de carga.	- Aumento de receitas com licenciamento; - Diminuição do número de veículos na área urbana e dos congestionamentos; - Melhoria da qualidade do ar e do fluxo do tráfego; - Potencial uso de veículos com combustíveis alternativos.
Operador do CDU	- Altos investimentos em tecnologias de informação; - Alto nível de serviço; - Identificação de perdas e danos na entrada de produtos;	- Aumento do faturamento com novos negócios;

Fonte: Browne *et al.* (2007)

Este capítulo apresentou o centro de distribuição urbana como uma iniciativa para a mitigação dos problemas referentes às atividades da distribuição urbana de mercadorias, analisando suas vantagens, desvantagens e fatores que contribuem para o seu sucesso. No capítulo a seguir serão analisados os problemas de localização de instalações e de roteirização de veículos que se

configuram como aspectos essenciais para a diminuição dos custos de logístico das empresas e das externalidades negativas das atividades do transporte urbano de produtos além de compor o escopo de estudo de modelo de um centro de distribuição urbano.

## 4 PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO E ROTEIRIZAÇÃO

Os sistemas de transportes possuem uma significativa complexidade envolvendo pessoas e recursos materiais com diversos relacionamentos e *trade-offs* entre várias decisões e políticas de gestão que afetam diferentes componentes. Neste sentido, Crainic e Laporte (1997) classificam estas políticas em níveis de planejamento estratégico, tático e operacional. O planejamento em nível estratégico refere-se às decisões que envolvem grandes investimentos em um longo horizonte de tempo. Os principais exemplos de ações neste nível reportam-se ao desenho de uma rede de distribuição de produtos e sua evolução, localização das instalações essenciais e definição do nível de serviço e preços. O planejamento tático objetiva assegurar, em um horizonte médio de tempo, uma alocação eficiente e racional dos recursos existentes com intuito de aumentar o desempenho de todo o sistema. Decisões táticas incluem a escolha de rotas de entregas, o tipo de serviço da operação, as regras gerais para a operação de cada terminal e alocação de trabalho entre terminais. Já o planejamento operacional é realizado pela gestão local em um ambiente altamente dinâmico onde o fator tempo e uma detalhada operação de veículos, instalações e atividades são fundamentais.

Neste capítulo serão apresentados os problemas de localização e roteirização que, segundo Laporte e Crainic (1997), fazem parte, respectivamente, do planejamento estratégico e tático de um sistema de transportes. É importante mencionar que as decisões envolvendo estes problemas impactam significativamente o desempenho de toda a cadeia logística, e conseqüentemente, podem determinar as possibilidades de sucesso ou fracasso de iniciativas como os CDU. Assim, é interessante uma abordagem conjunta destes problemas uma vez que a determinação de uma localidade afeta diretamente os custos de distribuição das mercadorias e o serviço aos clientes atendidos.

### 4.1 Problemas de localização

Browne *et al.* (2007) salientam que a localização de um CDU resulta em importantes conseqüências no tráfego, no meio ambiente e nas relações comerciais entre os agentes. Um CDU localizado em uma área distante dos pontos de entregas finais pode culminar no aumento do número de viagens e da distância percorrida, impactando de maneira desfavorável o meio ambiente e relações comerciais. Já um CDU localizado muito próximo de sua área de cobertura pode ter

problemas com o acesso de veículos de grande porte e aumentar o tráfego de veículos em regiões congestionadas, trazendo consequências negativas para o tráfego de veículos e o meio ambiente.

Dablanc (2007) ressalta que um operador logístico está muito mais preocupado com a definição de onde será localizado o seu terminal de cargas do que com a infraestrutura que a cidade dispõe para a realização das atividades logísticas. Por exemplo, as questões relativas aos ciclos de entregas de uma pequena ou média cidade são organizadas em terminais que se encontram, freqüentemente, localizados a mais de 80 km do centro das cidades. Isso reforça a idéia de que a logística da carga urbana está muito mais preocupada com a distância do terminal até o centro da cidade e os melhores acessos à área central do que com a existência de áreas para a realização das atividades logísticas. Na verdade, cada vez são mais escassas as instalações permanentes logísticas nos centros urbanos e os operadores logísticos sabem que devem circular na cidade somente o tempo necessário para a entrega da sua mercadoria, pois, ali, eles não são bem-vindos.

A escolha final para a localização do CDU pode ser resultante de um relacionamento bilateral entre operador logístico e a comunidade local. Alguns municípios apóiam as atividades logísticas considerando que elas promovem empregos em regiões com oportunidades escassas. No entanto, algumas cidades rejeitam as atividades logísticas por considerarem que elas geram barulho, tráfego de caminhões, problemas de segurança e baixo raio de empregos por área utilizada (DABLANC, 2009).

Vale destacar que a decisão sobre o local mais apropriado para se instalar um CDU constitui-se num aspecto fundamental na concepção da estratégia competitiva de uma cadeia de suprimentos. Neste sentido, pode-se centralizar com intuito de obter economia de escala ou descentralizar para se tornar mais responsiva, diminuindo a distância entre os pontos de suprimento e consumo (CHOPRA e MEINDL, 2003).

A escolha entre centralizar e descentralizar influencia o comportamento do custo logístico total e do nível de serviço (CHOPRA e MEINDL, 2003). Assim, é essencial analisar os *trade-offs* que envolvem esta decisão estratégica, merecendo destaque o impacto da variação do nível de serviço ao cliente nos custos de estoque, transportes e instalações. Em relação aos custos de estoque, verifica-se que ele aumenta à medida que o número de instalações se amplia em virtude do efeito da desagregação do estoque de segurança.

No tocante aos custos de transporte, observa-se que, de uma maneira geral, ele diminui com a ampliação do número de instalações devido à redução da distância entre os pontos de consumo e de suprimento. No que se refere aos custos de instalações, nota-se que ele é acentuado com o acréscimo de instalações uma vez que aumenta-se os custos fixos (aluguel, construção etc) e

variáveis (produção, operação de depósito etc). Avaliando os custos logísticos totais, Chopra e Meindl (2003) salientam que estes custos diminuem em um primeiro momento e depois aumentam.

Desta forma, é fundamental a busca de um equilíbrio entre os custos logísticos totais e o nível de serviço ao cliente, uma vez que o foco de uma empresa deve ser em maximizar seus lucros e não simplesmente em determinar o custo mínimo de uma operação. Neste sentido, analisando a literatura, observa-se que os problemas de localização de instalações se configuram como importantes ferramentas para a determinação de um número ótimo de instalações tendo em vista o *trade-off* entre custos e nível de serviço ao cliente.

Daskin (2008) menciona que os modelos de localização de instalações possuem uma aplicação bem diversificada, incluindo a localização de: bases de serviços médicos emergenciais, corpo de bombeiros, escolas, hospitais, armazéns, pontos para a eliminação de resíduos, dentre outros. É importante salientar que os modelos de localização podem ser subdivididos utilizando vários critérios, Daskin (2008) baseia-se no espaço em que os problemas são modelados. Desta forma, o autor identifica quatro grupos de modelos: analíticos, contínuos, redes e discretos. Estes modelos se diferenciam pela forma com que a demanda é distribuída sobre uma área de serviço e o modo como as instalações podem ser localizadas dentro desta área.

Segundo Daskin (2008), nos modelos discretos, a demanda, geralmente, origina-se nos nós do grafo e as instalações são restringidas por um conjunto finito de locais candidatos. Nestes modelos, a utilização de uma distância métrica é opcional. A distância ou os custos entre qualquer par de nós pode ser arbitrária, desde que seja seguida alguma regra, como, por exemplo: Euclidiana, Manhattan, redes, ou distância no grande círculo. Daskin (2008) classifica os modelos de localização discreto em cobertura (cobertura de conjuntos, máxima cobertura, p-centro), mediana (p-mediana e não-capacitados) e outros (p-dispersão).

Os modelos baseados em cobertura são fundamentados no modo em que a demanda será atendida, partindo da determinação de um nível de serviço ao cliente (distância ou tempo máximos de atendimento) (DASKIN, 2008). SAHIN e SÜRAL (2007) salientam que nos modelos de cobertura a demanda não é, necessariamente, satisfeita pela instalação mais próxima. No entanto, ela deve ser satisfeita por pelo menos uma instalação dentro de um intervalo (distância ou tempo) limite.

No que se refere aos modelos de baseados em mediana, Daskin (2008) menciona que eles minimizam a distância média entre um nó de demanda e a instalação que lhe é atribuída. Este tipo de modelo é tipicamente usado na localização de centros de distribuição de mercadorias.

Em relação aos outros tipos de modelos de localização de instalações, Daskin (2008) destaca o método p-dispersão que visa maximizar a distância mínima entre qualquer par de

instalações com intuito de minimizar a concorrência entre as instalações. A localização de pontos de franquias e de varejistas de uma rede pode ser exemplificada como um tipo de problema abordado por este método. Aboolian *et al.* (2007) desenvolveram um modelo para otimizar simultaneamente a localização e o desenho de um dado conjunto de instalações dado uma restrição orçamentária e a competição com instalações pré-existentes. Zhang e Rushton (2008) propuseram um modelo para selecionar locais em sistemas competitivos de serviços. Os autores realizaram um estudo de caso para a localização de agências bancárias, considerando a competição entre os estabelecimentos existentes, a acessibilidade aos clientes, a qualidade do serviço e restrições orçamentárias.

É importante mencionar que os modelos apresentados possuem algumas limitações. Daskin (2008) relata que os modelos de cobertura de conjuntos podem determinar um número muito grande instalações tornando a rede inviável economicamente, dado que estes tipos de modelos buscam atender a demanda de todos os clientes sem ponderar pelo potencial de cada um. Além disto, neste tipo de modelagem podem existir várias soluções ótimas para o mesmo tipo de problema. Já os problemas de p-mediana ignoram a variação nos custos de localização de instalações em diferentes locais. Apesar das limitações, o autor salienta que estes modelos se configuram como importantes ferramentas para avaliar o *trade-off* entre os diferentes objetivos, isto é, minimizar a distância média ou maximizar a distância/tempo máximo entre clientes e instalações. Além disto, estes modelos oferecem boas soluções para os problemas de localização de instalações.

Modelos envolvendo a localização de terminais de carga foram estudados por diversos por diversos autores. A seguir serão apresentadas algumas aplicações de modelos envolvendo a localização de terminais intermodais de carga.

Bergqvist e Tornberg (2008) salientam que a escolha da localização de um terminal de cargas é uma decisão que acarreta implicações não apenas para a cadeia de abastecimento, mas para toda a população residente nas mediações desta instalação. A cadeia de abastecimento necessita estimar o tráfego e incorporar os custos de cada localidade em potencial como forma de auxiliar na decisão de investimento. Já o poder público necessita de instrumentos e ferramentas para analisar o efeito do terminal de cargas sobre o ambiente e comparações entre locais candidatos para assegurar a sustentabilidade e a competitividade em longo-prazo. Bergqvist e Tornberg (2008) desenvolveram um modelo que permite a avaliação comparativa de um conjunto possível de locais candidatos tendo em vista o fluxo de materiais e os dados relacionados à infraestrutura. Cada local candidato foi avaliado de acordo com: custos, baseando-se na distância entre origem destino; impactos ambientais, isto é, barulho e emissão de poluentes; e qualidade, seguindo o tempo de transporte dos fluxos de materiais em todo sistema de distribuição. O modelo desenvolvido pelos autores foi

aplicado em duas regiões suecas denominadas de *Skaraborg* e *Sjuhara* localizadas na parte ocidental deste país.

Farahani *et al.* (2009) desenvolveram um algoritmo utilizando técnicas de programação dinâmica para a localização de uma instalação com múltiplas oportunidades de realocação, minimizando o custo total de localização e realocação. O modelo desenvolvido considera um conjunto pré-definido de tempos de realocação e que todo ponto na rede é um local candidato para instalação de um terminal de cargas. Desta forma, o problema busca determinar o melhor tempo de realocação para minimizar o custo total.

Sirikijpanichkul *et al.* (2007) apresentam um modelo integrado para a avaliação de decisão de localização de terminal intermodal rodo-ferroviário. O modelo é baseado em uma análise multi-objetivo que visa satisfazer o interesse de cada agente envolvido no processo de localização do terminal, a saber: operadores ou donos do terminal, prestadores da infraestrutura da rede de transporte, usuários do terminal e a comunidade. O processo de escolha inicia-se com uma análise da localização potencial dos terminais por meio de um modelo baseado em cobertura de conjunto. Após a determinação dos locais candidatos é realizada uma análise de cenário variando o número, capacidade e localização padrão de cada terminal proposto. Desta forma, busca-se remover locais candidatos seguindo critérios como a capacidade de acomodar um aumento de demanda. Em seguida, os locais candidatos são analisados por cada *stakeholder* e um modelo de avaliação multi-objetivo é utilizado com intuito de determinar uma solução satisfatória para cada agente. O processo é repetido iterativamente até uma solução final ser alcançada.

## 4.2 Problemas de roteirização

Conforme definido por Laporte *et al.* (2000), o problema de roteirização de veículos (PRV) consiste em determinar roteiros de veículos que minimizem o custo total de atendimento. Na maioria dos casos, cada um dos roteiros deve iniciar e terminar no depósito ou base onde os veículos são estacionados. Deve-se assegurar que cada ponto seja visitado exatamente uma vez e a demanda em qualquer rota não exceda a capacidade do veículo que a atende. Mais especificamente, Carvalho *et al.* (2003) definem o PRV como: dado um conjunto de cidades (ou consumidores), cada qual com uma demanda  $q_i$  por um produto, e um depósito com veículos de capacidade  $Q$ , encontrar as rotas para os veículos de maneira que os custos de transporte sejam mínimos.

É importante mencionar que a roteirização de veículos envolve um conjunto muito grande de diferentes tipos de problemas (CUNHA, 1991). Neste sentido, verifica-se que, em muitos casos, a classificação destes problemas é realizada de acordo com o atendimento de especificidades

presenciadas em situações reais. Entre estas, podem ser citadas o comportamento da demanda (estocástica ou determinística), o tipo de frota (homogênea ou heterogênea), localização dos clientes (nós ou arcos), número de roteiros (um ou múltiplos), número de bases (uma ou múltiplas), a presença de janela de tempo para a realização da coleta/entrega, tipo de atendimento (coleta, entrega ou coleta e entrega), entre outras.

Bodin *et al.* (1983) propõem uma estrutura que classifica os problemas em função de restrições de aspectos espaciais e/ou temporais. Assim, os problemas de roteirização podem ser classificados em três grupos: problemas de roteirização pura, problemas de programação de veículos e problemas combinados de roteirização e programação.

Nos problemas de roteirização pura, não há restrições temporais relacionadas ao horário de atendimento dos clientes, nem relações de precedência entre os clientes. Nesse tipo de problema, consideram-se apenas aspectos espaciais, e o objetivo é construir um conjunto de roteiros viáveis com o menor custo possível (BODIN *et al.*, 1983).

No problema de programação de veículos, há restrição de horários preestabelecidos para cada atividade a ser executada, como horário de chegada e saída das lojas, horário de saída do depósito, parada para reabastecimento, dentro outros, dependendo do tipo do caso. Nesse tipo de problema, consideram-se tanto os aspectos espaciais quanto os temporais (BODIN *et al.*, 1983).

Nos problemas combinados de roteirização e programação de veículos, há restrições de precedência entre tarefas e/ou restrições de janela de tempo. Relações de precedência ocorrem, por exemplo, quando a entrega de uma mercadoria deve ser precedida pela sua coleta. As janelas de tempo correspondem ao intervalo de tempo em que pode ocorrer o início do atendimento dos clientes (BODIN *et al.*, 1983).

Segundo Nunes (1998), o PRV pertence à categoria de problemas NP-difícil, na qual o tempo computacional é uma função exponencial do tamanho do problema. Assim, na grande maioria das aplicações, o uso de métodos heurísticos tem demonstrado ser mais adequado, resultando em soluções freqüentemente de boa qualidade e tempo reduzido. No entanto, Ochi (1994) salienta a dificuldade de criar heurísticas de caráter geral que sejam eficientes na solução de uma classe mais ampla de problemas práticos, como a classe de problemas de roteamento de veículos.

Os principais PRV, segundo Bodin *et al.* (1983), são:

- Problema do Caixeiro Viajante (PCV);
- Problema do Carteiro Chinês (PCC);
- Problema dos Múltiplos Caixeiros Viajantes (PCVM);

- Problema de Roteamento de Nós com um Único Depósito e Múltiplos Veículos (PRDMV);
- Problema de Roteamento de Nós com Múltiplos Depósitos e Múltiplos Veículos (PRMDMV);
- Problema de Roteamento de Nós com Depósito Único, Múltiplos Veículos e Demanda Estocástica nos Vértices (PRDMVE);
- Problema do Carteiro Chinês Capacitado (PCCC).

O estudo dos PRV tornou-se um desafio para a área de Otimização Combinatória da Pesquisa Operacional, após as divulgações dos artigos de Dantzig e Ramser (1959), os quais inspiraram o desenvolvimento de pesquisas neste assunto.

As abordagens exatas de solução garantem a obtenção de um ótimo global para o problema. Conforme salientado anteriormente, verifica-se que o PRV é classificado como NP-difícil. Desta forma, o tempo computacional e o tipo de máquina disponível podem limitar a resolução de problemas com grandes instâncias de clientes. Assim, a elaboração de heurísticas pode se configurar como uma alternativa para a resolução deste tipo de problema.

As primeiras heurísticas que foram propostas são hoje conhecidas como heurísticas gulosas ou *greedy heuristics* e geralmente existem para qualquer tipo de problema em otimização combinatória. As heurísticas gulosas começam geralmente com uma solução viável qualquer. A partir de características percebidas ou instruídas do problema, são realizadas avaliações de algumas possibilidades de movimento, ou seja, de modificação da solução atual. A partir das opções avaliadas, a solução encontrada de melhor custo para função objetivo é escolhida, melhorando a solução atual (CUNHA, 1991).

A maior parte dos métodos de construção de rotas foi desenvolvida a partir do trabalho de Clarke e Wright (1964), que desenvolveram um método que assume como solução inicial  $n$  rotas, cada uma delas constituída por um único cliente. Avalia-se a economia em termos de distância que resulta em atender os clientes de cada par de rotas por uma única rota, unindo essas duas rotas a partir dos seus nós iniciais ou finais. A escolha da combinação de rotas será efetivada, sendo que em cada estágio é escolhida a associação que resulta na maior economia. Este método permite que, com pequeno esforço computacional, soluções com boas características sejam obtidas. Por outro lado, o acréscimo de restrições, em geral, gera soluções de pior qualidade.

O Método do Vizinho mais Próximo é apontado como sendo outro método de construção da solução inicial e consiste numa heurística gulosa, que parte de um nó inicial (escolhido aleatoriamente) e seleciona o nó com a menor distância do nó corrente, como o próximo a ser visitado. Ao final do procedimento todos os nós estarão roteirizados. O Método da Varredura,

por outro lado, obtém a solução inicial em duas etapas. Na primeira etapa, os clientes são agrupados através de um procedimento de varredura e na segunda esses grupos são roteirizados através de algum algoritmo para este tipo de problema. As rotas entre os nós serão criadas preferencialmente entre vizinhos (BARBOSA, 2005).

Outra forma de resolução do PRV é através do algoritmo genético (AG) proposto inicialmente por John Holland (HOLLAND, 1992), com intuito de aplicar a teoria da evolução das espécies elaborada por Darwin, ou seja, utilizar os conceitos da evolução biológica, tais como, como genes, cromossomos, cruzamento, mutação e seleção em outros problemas de otimização através de algoritmos computacionais. Mais tarde, Goldberg (1989) disseminou o uso do AG aplicando-o a uma série de problemas de otimização. Os Algoritmos Genéticos empregam um processo adaptativo e paralelo de busca de soluções em problemas complexos, o que o torna uma técnica muito útil em problemas de roteirização.

Neste capítulo foram analisados os problemas de localização de instalações e roteirização de veículos que se constituem como elementos importantes para a diminuição dos custos econômicos e ambientais das atividades logísticas. No capítulo a seguir será apresentada a metodologia de pesquisa de preferência declarada.

## 5 METODOLOGIA DE PESQUISA DE PREFERÊNCIA DECLARADA

A falta de dados a respeito da distribuição urbana de mercadorias pode ser um fator complicador para o desenvolvimento de pesquisas nesta área já que os procedimentos de coleta de dados exigem o dispêndio de recursos financeiros que muitas vezes são escassos ou indisponíveis. Neste sentido, os modelos de preferência declarada são alternativas interessantes por proporcionar resultados baseados em técnicas estatísticas com testes de confiabilidade que podem ser obtidos com experimentos de baixo custo de execução.

Neste capítulo serão apresentados os modelos de preferência declarada e o modelo de análise de dados logit multinomial (MNL) com enfoque em sua aplicação na modelagem da demanda por transporte. Além disto, serão analisadas as limitações destes modelos e alguns exemplos de pesquisas realizadas.

### 5.1 Modelos de preferência declarada: alternativa para modelagem da demanda por transporte

Segundo Danielis e Rotaris (2000), a modelagem da demanda do transporte cargas vem sendo estudada há vários anos por meio de modelos, por exemplo, agregados e desagregados. Nos modelos agregados, como os neoclássicos, a demanda do transporte de carga por um determinado modal é derivada de uma função de custo que assume que todas as empresas em uma região possuem a mesma tecnologia e usam os mesmos dados do fluxo de transporte. Já os modelos desagregados, possuem uma vantagem teórica em relação aos anteriores na medida em que são mais consistentes com as teorias comportamentais permitindo uma rica especificação empírica. Nesses modelos, a importância de variáveis como o tamanho e valor da carga pode ser testada, enquanto que nos modelos agregados este tipo de análise pode ser comprometida pelos processos de agregação. A pesquisa de preferência declarada é uma importante fonte de dados para a modelagem da demanda, principalmente, nos modelos desagregados.

Kroes e Sheldon (1988) relataram que os métodos de preferência declarada foram desenvolvidos originalmente em pesquisas de *marketing* no início da década de 1970 e tornaram-se amplamente conhecidos a partir de 1978. Green e Srinivasan (1978) *apud* Kroes e Sheldon (1988) deram a seguinte definição para estes modelos: “qualquer método de decomposição que estima a estrutura da preferência do entrevistado... dado a avaliação global de um conjunto de alternativas que são pré-especificadas em níveis de diferentes atributos.”

Os métodos de preferência declarada são bastante atrativos em virtude da facilidade em relação ao controle de experimentos já que os pesquisadores definem as condições que devem ser avaliadas pelos entrevistados. Além disso, eles são flexíveis por lidar com uma ampla variedade de variáveis e ainda possuem baixo custo de aplicação visto que os entrevistados podem fornecer múltiplas observações para variações das variáveis explicativas que interessam ao analista (KROES e SHELDON, 1988).

Contudo, existe uma significativa desvantagem em relação aos métodos de preferência declarada gerada pela dúvida no que se refere ao comportamento dos entrevistados que nem sempre condiz com a sua realidade, ou seja, os entrevistados podem emitir ou omitir uma resposta em função de uma condição que julgam ser mais adequada sem, necessariamente, estar fundamentada na sua prática cotidiana. Este aspecto deve ser cuidadosamente tratado nos processos de estimação da demanda baseados somente em dados dos métodos de preferência declarada (KROES e SHELDON, 1988).

Muitas aplicações envolvendo os métodos de preferência declarada nas pesquisas de transporte visam identificar estimativas de pesos da utilidade relativa ao invés de valores absolutos para a demanda. Esses métodos podem ser bastante interessantes em experimentos que avaliam o potencial de uma alternativa em que a exatidão dos resultados não é tão relevante. Neste sentido, é fundamental garantir que o entrevistado avalie adequadamente o conjunto de alternativas descritas no experimento e expresse de maneira apropriada suas preferências. Em experimentos em que a exatidão dos resultados é exigida faz-se necessário o uso dos métodos de preferência declarada com outros métodos, como os de preferência revelada (KROES e SHELDON, 1988).

Martins *et al.* (2005) destaca que os métodos de preferência declarada consistem em três passos básicos: elaboração, execução e análise. A primeira etapa, ou seja, elaboração, consiste em definir os atributos que serão estudados e analisados no experimento, bem como os níveis de cada um. Essa etapa determina o número total de alternativas do experimento trazendo efeitos para a complexidade da pesquisa, visto que quanto maior a quantidade de atributos e níveis em um experimento maior será a dificuldade para a obtenção de dados junto aos entrevistados. A etapa de elaboração pode ser realizada por meio de uma pesquisa prévia com uma amostra de entrevistados ou conforme a experiência dos pesquisadores.

Curtarelli *et al.* (2006) ressalta que os métodos de preferência declarada são fundamentados em entrevistas nas quais se apresenta ao entrevistado cenários hipotéticos, para que sejam escolhidas situações de seu maior interesse. Os dados nesses tipos de métodos podem ser levantados de diversas formas, como por exemplo, pessoalmente, eletronicamente e/ou por telefone. No entanto, Kroes e Sheldon (1988) mencionam que o uso de técnicas face-a-face são preferíveis,

pois proporcionam ao entrevistado um melhor entendimento das alternativas especificadas e ao pesquisador um maior controle do experimento.

Uma questão de extrema relevância associada ao ordenamento das alternativas apresentadas aos entrevistados refere-se a especificação matemática da função utilidade. Esta função expressa as hipóteses analíticas sobre o modo em que os entrevistados combinam suas utilidades parciais em uma avaliação ou preferência mais ampla (KROES e SHELDON, 1988). Martins *et al.* (2005) destaca que a função utilidade expressa matematicamente as preferências dos entrevistados e é, geralmente, usada de forma linear aditiva delineada da seguinte forma:

$$U_{in} = \sum \beta_k X_{ink} \quad (5.1)$$

Em que:

$U_{in}$  = utilidade da alternativa  $i$  para o indivíduo  $n$ ;

$\beta_k$  = coeficiente do modelo para o atributo  $k$ ;

$X_{ink}$  = valor do atributo  $k$  para a alternativa  $i$ , para o indivíduo  $n$ ;

$K$  = quantidade de atributos das alternativas.

Novaes *et al.* (2006) frisa que os coeficientes dos métodos de preferência declarada podem ser utilizados para várias finalidades, como determinar o peso relativo de cada atributo incluído no modelo, e para especificar a probabilidade de escolha de cada alternativa nos modelos de previsão de demanda.

Kroes e Sheldon (1988) ressaltam que a maneira mais usual utilizada nas pesquisas é a ordenação das respostas em forma de *ranking*, em que os entrevistados determinam suas escolhas seguindo os atributos que lhes são mais atrativos. Existem diversos métodos para análise dos dados que envolvem esse tipo de experimento, como as técnicas de regressão e os modelos de estimação Logit. Destaca-se que Kroes e Sheldon (1988) realizaram um trabalho interessante sobre os modelos de análise dos pesos das utilidades, no entanto este trabalho dará ênfase nos modelos Logit, mais especificamente no modelo MNL.

O modelo MNL assume que os elementos aleatórios da função utilidade seguem a distribuição de Gumbel. Este aspecto permite a estimação de parâmetros que expressam a probabilidade de escolha de uma dada alternativa em uma função dos atributos que a compõem, quando comparados aos atributos que determinam as outras alternativas (HAIDER, 2002). Martins *et al.* (2005) descreve esse modelo como:

$$P_n(i) = \frac{e^{\beta_k X_{ink}}}{\sum_{j \in C} e^{\beta_k X_{inj}}} \quad (5.2)$$

Em que  $P_n(i)$  é a probabilidade da alternativa  $i$  ser escolhida pelo indivíduo  $n$  dentro de um conjunto de possibilidades  $C$ . Já  $e$  representa o número de Neper (2,78182). As outras variáveis foram definidas na equação 1.

O modelo MNL é baseado na Teoria da Utilidade Aleatória e é normalmente calibrado pelo procedimento de maximização da função de verossimilhança (HEYWOOD, 2010). Destaca-se que os modelos de preferência declarada com a utilização do modelo MNL para análise dos pesos das probabilidades vêm sendo amplamente utilizados em diversos tipos de pesquisas em transportes, conforme será descrito a seguir.

Novaes *et al.* (2006) avaliaram a demanda pelo transporte intermodal no Brasil, avaliando possíveis alterações na matriz de transporte de produtos de alto valor agregado, como couro, calçados, tintas, plásticos, roupas e produtos eletro-eletrônicos. Nesta pesquisa, foram selecionados atributos para os modais rodoviário, ferroviário e marítimo gerando seis alternativas para primeiro modal e quatro para os dois últimos. Estas alternativas foram combinadas aleatoriamente para coleta de dados junto a representantes de diversos setores produtivos, transportadores dos três modais avaliados, especialistas e autoridades públicas.

Waisman *et al.* (2010) criaram um modelo de escolha discreta para avaliar a demanda de um serviço ferroviário, denominado Expresso Aeroporto, ligando o centro de São Paulo e o Aeroporto de Guarulhos. Esta pesquisa envolveu funcionários e usuários do aeroporto com a formatação de cenários de acordo com a combinação das potenciais opções para a realização desta viagem, destacando os veículos particulares, táxi, ônibus, e o metroviário.

Marcucci e Danielis (2008) avaliaram a demanda potencial de um centro de consolidação de cargas para a cidade de Fano na Itália. Nesta pesquisa, foram realizadas 86 entrevistas com varejistas situados na zona com limitações ao tráfego de veículos de carga e transportadores que prestam serviço nesta área.

Lunaro e Ferreira (2009) identificaram e avaliaram as características físicas e ambientais das calçadas tendo em vista os atributos conforto, segurança e condições ambientais. A pesquisa foi conduzida na cidade de Barretos e indicou os atributos mais importantes para a melhoria da acessibilidade das pessoas com mobilidade reduzida.

Neste capítulo foi apresentada a metodologia de pesquisa de preferência declarada, o modelo MNL além de exemplos de aplicações envolvendo estas duas técnicas. No próximo capítulo será desenvolvida a metodologia que orientou a execução deste trabalho.

## 6 METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO URBANO

Esta seção consolida os conceitos anteriormente abordados, resgatando e organizando os principais tópicos com intuito de constituir um método que sirva de guia para avaliar os impactos econômicos e ambientais de um modelo de centro de distribuição urbana. A FIG 6.1 apresenta o esquema da metodologia que apresentada neste estudo.

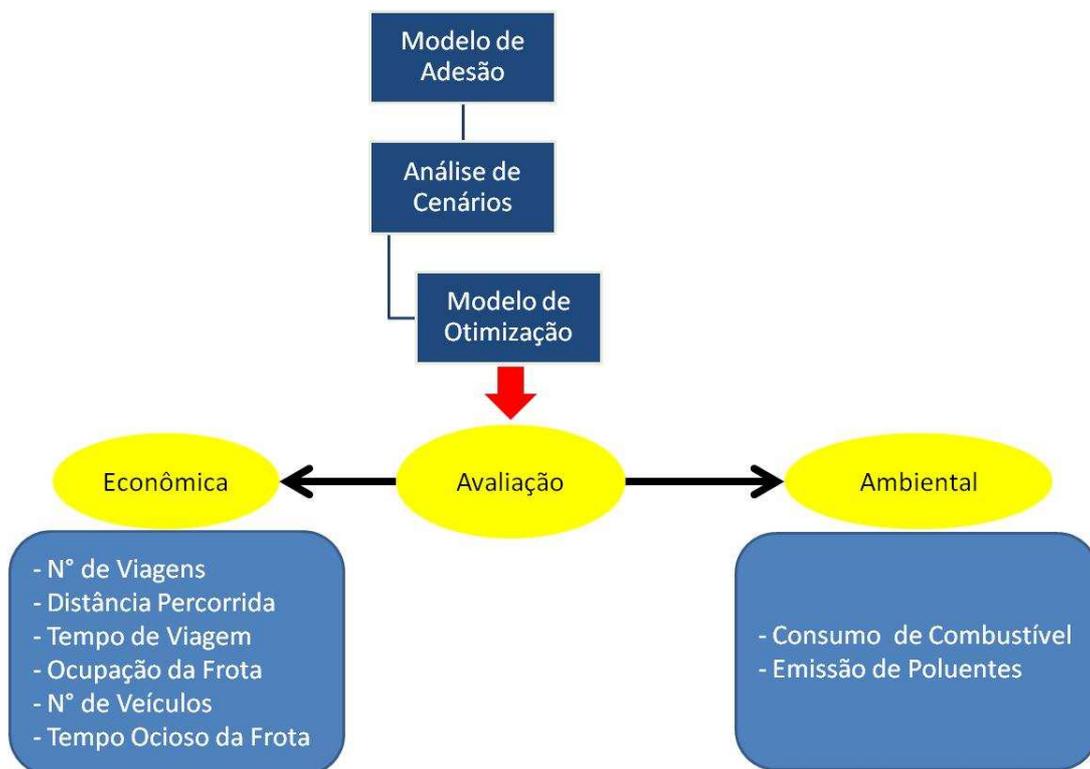


Figura 6.1: Fluxograma da metodologia de avaliação econômica e ambiental de um CDU

### 6.1 Modelo de adesão

O primeiro passo desta metodologia consiste em um modelo para avaliar a adesão de varejistas ao modelo de centro de distribuição urbana. Esta avaliação é fundamental uma vez que, conforme salientam Rooijen e Quak (2009), um dos principais fatores de insucesso das aplicações realizadas em diversas cidades europeias refere-se à inexistência de uma análise prévia da demanda potencial dos varejistas em relação a este modelo.

No Brasil as pesquisas envolvendo os centros de distribuição urbana, tendo como base os conceitos de Logística Urbana, são ainda incipientes, destacando-se o trabalho de Carrara (2007) que realizou um estudo de localização de um centro de distribuição para a cidade de Uberlândia.

Menciona-se também que este modelo de distribuição ainda é pouco conhecido pela maioria dos pequenos varejistas visto que não existem registros de sua implementação no país. Em virtude disto, o modelo de adesão desenvolvido fundamentou-se na técnica de pesquisa de preferência declarada e elementos da teoria da adesão com intuito de analisar a demanda potencial dos clientes.

No que se refere à teoria da adesão, Figueiredo (2005) ressalta que muitas inovações não atingem os resultados esperados por falhas em satisfazer às necessidades dos potenciais adotantes. Portanto, para ser bem sucedido na introdução de inovações no mercado, torna-se importante entender os aspectos correlacionados a esse processo, como, por exemplo, avaliar os potenciais clientes e os fatores que influenciam sua decisão de adoção.

Segundo Rogers (1995), a adoção refere-se à decisão de qualquer indivíduo ou organização de fazer uso de uma inovação. Para Oliveira (2010), conseguir adotar uma idéia, mesmo quando são óbvias as vantagens, freqüentemente é muito difícil. Muitas inovações exigem um longo período de tempo, muitas vezes anos, para serem totalmente aceitas.

Rogers (1995) destaca que a difusão é o processo pelo qual uma inovação é comunicada ao longo do tempo, através de certos canais, entre os membros de um sistema social. Assim, a difusão de uma nova idéia conduz a uma mudança social, sendo um processo pelo qual alterações ocorrem na estrutura social do sistema. Quando novas idéias são inventadas, difundidas, adotadas ou rejeitadas, elas deixam certas conseqüências, que, por sua vez, levam a uma mudança social. Ainda, a decisão individual sobre uma inovação não é instantânea, sendo um processo que ocorre ao longo do tempo, consistindo de várias ações e decisões.

Uma maneira de avaliar os principais elementos de uma adoção é através de técnica de preferência declarada, que identifica os fatores relevantes num processo de adoção. Segundo Almeida (1999), a manifestação das preferências dos indivíduos em relação a um serviço reflete o seu comportamento frente a um conjunto de opções disponíveis.

A técnica de preferência declarada envolve as preferências dos indivíduos e estima o seu comportamento através de modelos de escolha. Este tipo de enfoque permite analisar situações ainda não existentes, e identificar características do sistema em estudo que sejam relevantes para o usuário. Ainda, possibilita explorar as combinações dos atributos e sua variabilidade, uma vez que nos permite conhecer a importância relativa de cada atributo selecionado. Deste modo, torna-se possível configurar situações para o serviço analisado bem próximas dos interesses dos usuários.

A técnica de preferência declarada pode ser vista como uma interação entre um método de pesquisa e uma teoria comportamental (Novaes *et al.*, 1996). Os paradigmas utilizados para a modelagem do comportamento das pessoas não estão preocupados com a teoria comportamental por si só, mas com métodos que possam ser usados para testar aspectos desta teoria. A utilização desta

técnica se justifica pela falta de dados sobre centros de distribuição urbanos de cargas, uma vez que não existem registros sobre a implementação deste tipo de modelo no Brasil. Sendo assim, esta técnica permite avaliar a demanda potencial pelo CDU partindo dos seus principais atributos.

Dentre os envolvidos na implantação de um CDU, os varejistas são os que mais se destacam, uma vez que este modelo pode envolver uma alteração direta em suas operações e custos. Para se desenvolver o modelo de adesão utilizando a técnica de preferência declarada, faz-se necessário, primeiramente, definir seus atributos.

Entende-se por atributos, as principais características do sistema atual com impacto direto na adoção do sistema proposto. Browne *et al.* (2007) destacam uma série de potenciais custos e benefícios oriundos da implementação de um modelo de CDU para os varejistas. Em relação aos custos, os autores relatam a possibilidade de seu incremento em virtude do acréscimo de mais um estágio de manuseio de materiais na cadeia de suprimentos. Como benefícios, os autores mencionam, dentre outros, o aumento do espaço das lojas destinados às vendas, diminuição de estoques e a melhoria da confiabilidade das entregas.

Fundamentado nos custos e benefícios mencionados por Browne *et al.* (2007), foi realizada uma entrevista com cinco varejistas, na região analisada, com intuito de identificar quais aspectos são mais relevantes para o seu negócio. Neste levantamento, os entrevistados deram peso de 1 a 10 para cada atributo definido, variando de 1, considerado o menos importante, até 10, como sendo o mais importante. Vale destacar que foi feita uma descrição de cada atributo visando facilitar o entendimento dos entrevistados acerca do objeto de pesquisa. Em relação ao modelo desenvolvido, foi definido que seriam considerados apenas os quatro principais atributos de acordo com a percepção dos varejistas. Com isto, a complexidade da pesquisa da pesquisa é reduzida uma vez que, conforme será descrito a seguir, diminui-se a combinação de atributos no arranjo fatorial. Assim, foram alocados os seguintes atributos para o modelo:

- Custo: dispêndio financeiro dos varejistas para o alcance de seus objetivos. Supõe-se que uma das consequências do CDU seja o aumento nos custos decorrente do acréscimo de mais um estágio na cadeia de suprimentos;
- Prestação de serviço: forma com que os varejistas são atendidos por seus fornecedores. Considera-se que o CDU proporciona a melhoria dos serviços prestados através de maior flexibilidade operacional como, por exemplo, a possibilidade de fracionamento do pedido realizado e redução do número de entregas;

- Confiabilidade: credibilidade dos varejistas em relação aos serviços prestados pelas transportadoras. Admite-se que o CDU melhora a confiabilidade do serviço com, por exemplo, o aprimoramento na pontualidade das entregas;
- Estoque versus exposição: quantidade de produtos armazenados versus quantidade de produtos expostos. Presume-se que o CDU proporciona o aumento do espaço de exposição de produtos por meio da redução das áreas de armazenagem, visto que o CDU serviria como ponto de armazenagem.

Para cada atributo foram definidos dois níveis, em que o primeiro reflete a situação atual vivenciada pelos varejistas e o segundo refere-se às alterações potenciais em suas operações e/ou custos em virtude da implantação do centro de distribuição urbano. A TAB 6.1 apresenta os atributos e a descrição dos respectivos níveis considerados no modelo para os varejistas.

Tabela 6.1: Atributos e respectivos níveis usados no modelo para avaliar adesão de varejistas

Atributo	Nível
Custo	0: Situação Atual 1: Potencial aumento de custos
Prestação de Serviços	0: Situação Atual 1: Melhoria da prestação do serviço
Confiabilidade no Serviço	0: Situação Atual 1: Melhoria da confiabilidade do serviço de transporte
Estoque versus Exposição	0: Situação Atual 1: Diminuição dos estoques e aumento do espaço de exposição

Após a definição dos atributos e níveis, foi definido que as alternativas seriam apresentadas aos entrevistados sob a forma de cartões, que foram confeccionados seguindo arranjos fatoriais, sendo utilizado o ensaio 1.1, de fatorial  $2^4$  (dois níveis e quatro atributos), com blocos balanceados com quatro alternativas, desenvolvido por Souza (1999).

Com os cartões confeccionados, definiu-se que as pesquisas seriam realizadas pessoalmente, para capturar outros aspectos importantes e/ou perspectivas de rejeição ou adoção ao CDU. Neste sentido, foi elaborado um roteiro de entrevista específico para os varejistas, abordando questões como a frequência, número de entregas, volume, além da origem e tipo dos produtos recebidos. O APÊNDICE A apresenta o roteiro de pesquisa desenvolvido assim como os cartões apresentados aos entrevistados.

Após a aplicação do roteiro de entrevistas, foram apresentados os cartões para ordenação da preferência por meio de *ranking*, sendo a forma de aquisição das preferências mais utilizada, uma vez que é menos cansativa para o entrevistado (ALMEIDA, 1999; CAMARGO *apud* MARTINS *et al.*, 2005). Os dados foram processados utilizando o *software* LMPC (Logit

Multinomial com Probabilidade Condicional), desenvolvido por Souza (1999). Além destes cálculos, o *software* realiza o teste das hipóteses nulas de todos os atributos para verificar a aderência dos resultados e utiliza o método da verossimilhança para obtenção das alternativas dos parâmetros e calibração do modelo. Os resultados da pesquisa permitiram a definição de cenários para analisar a probabilidade de adesão ao centro de distribuição urbano. Estas probabilidades foram calculadas de acordo com o modelo Logit Multinomial com a utilização da equação 2 do item 5.1.

A proposição dos cenários, na etapa seguinte desta metodologia, tem como uma de suas fundamentações os resultados do modelo de adesão dos varejistas.

## **6.2 Proposição de cenários**

A elaboração de cenários é uma técnica bastante empregada na descrição e no estudo de planejamento e controle de diversos sistemas. Neste sentido, um cenário pode ser definido como um estudo prospectivo em relação ao futuro aliado à organização das informações obtidas, de modo a oferecer um conjunto de informações coerentes, sistemáticas e compreensíveis com intuito de descrever um determinado evento e oferecer instrução e suporte à tomada de decisões (COATES, 2000). A identificação e a análise de cenários é uma etapa essencial na avaliação de um modelo de centro de distribuição de cargas, na medida em que as cidades são sistemas extremamente complexos e, portanto, exigem o estudo de várias configurações para uma tomada de decisão coerente com os interesses dos diversos atores, como o poder público, a população, os transportadores e os varejistas, envolvidos neste modelo.

O primeiro passo na proposição dos cenários é a identificação de um panorama base que reflita as características correntes da distribuição urbana na cidade. Assim, pode-se avaliar o impacto que o CDU pode trazer sobre a área analisada tendo em vista as várias configurações que ele pode assumir e compará-las à situação atual do processo logístico na cidade.

Em relação às configurações do modelo de CDU, podem ser realizadas variações na rede logística de atendimento e no número de varejistas atendidos, com intuito de identificar os impactos econômicos e ambientais do CDU, que serão apresentadas na última etapa desta metodologia. A variação na rede logística de atendimento visa analisar o impacto da disponibilidade e do custo dos imóveis, como galpões, em áreas urbanas congestionadas e/ou com alta densidade populacional, que podem ser utilizados nas operações que envolvem o modelo de CDU. Já a variação no número de varejistas almeja identificar os resultados deste modelo tendo em vista o

nível de adesão de seus potenciais clientes de acordo com o modelo de adesão apresentado na etapa anterior.

### 6.3 Localização dos terminais de apoio e roteirização dos veículos

É importante mencionar que esta metodologia adota o conceito de sistema de distribuição em duas camadas, desenvolvido por Crainic *et al.* (2009b), em que foi expandido o CDU único para CDU múltiplo como forma de mitigar os problemas de adequação de frota para operação nas grandes cidades. Neste conceito, o sistema de distribuição de cargas é dividido em dois níveis: CDU e terminais de apoio. Os CDU's são localizados fora da área urbana e recebem a carga que será distribuída nos centros urbanos. Já os terminais de apoio são alocados em áreas próximas de sua região de cobertura e recebem a carga dos CDU's para a entrega nos clientes.

Neste sistema, estão envolvidos dois tipos de veículos, caminhões com maior capacidade de carga, que transferem a carga do CDU para os terminais de apoio e veículos ambientalmente amigáveis, como os elétricos ou os Veículos Urbanos de Carga (VUC's), que realizam as entregas para os clientes a partir dos terminais de apoio. Dablanc (2007) salienta que muitos modelos de CDU único não tiveram sucesso em cidades europeias com alta densidade populacional e elevada concentração de atividades comerciais, características bastante similar aos das grandes metrópoles brasileiras. As FIG 6.2 e 6.3 apresentam, respectivamente, os conceitos de CDU único e CDU múltiplo abordados neste trabalho.

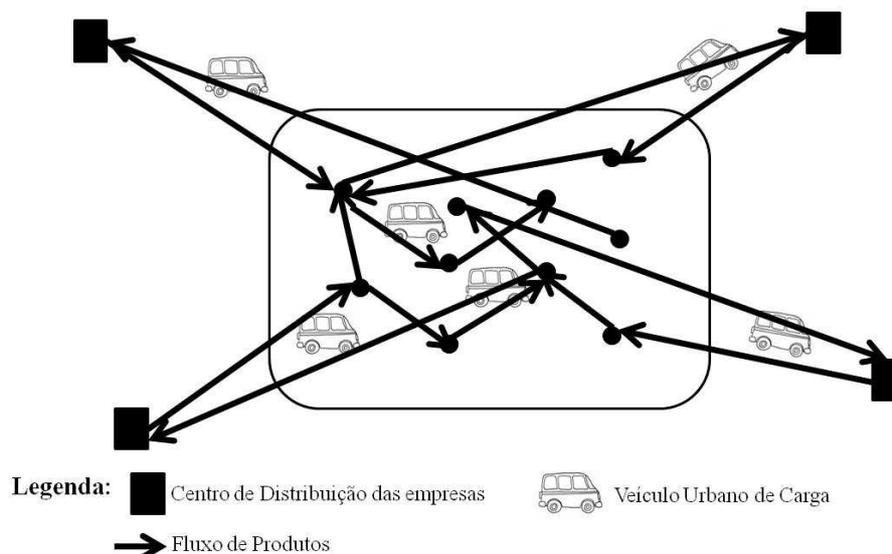


Figura 6.2: Conceito CDU único

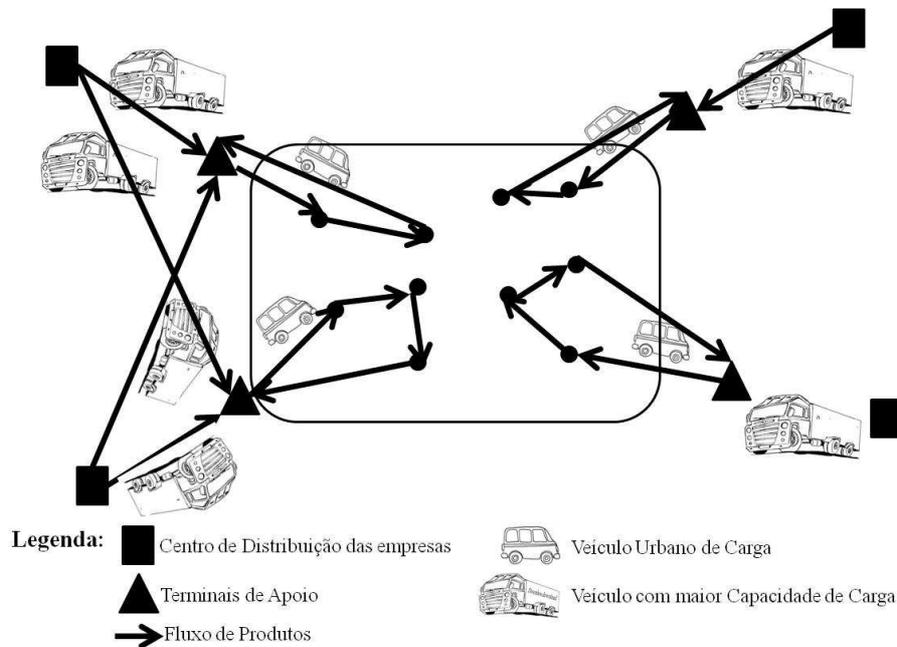


Figura 6.3: Conceito CDU Múltiplo

Esta etapa contempla a escolha da localização dos centros de distribuição e dos terminais de apoio e a roteirização de veículos nos dois níveis de atendimento, isto é, dos centros de distribuição aos terminais de apoio e, destes últimos, aos varejistas, seguindo as características de cada cenário proposto na etapa anterior.

Vale destacar que esta etapa pode ser realizada de diversas formas, dependendo dos recursos disponíveis e a estrutura da região analisada. Neste sentido, uma alternativa possível é o desenvolvimento de um modelo matemático de otimização da localização das facilidades e da roteirização de veículos. Outro caminho viável é a utilização de um *software* comercial, que possua suas rotinas heurísticas para a localização de facilidades e a roteirização de veículos. Neste trabalho optou-se pela utilização do TRANSCAD, *software* que atende aos quesitos mencionados.

O TRANSCAD é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) projetado para o planejamento, operação e análise das características dos sistemas de transporte (CALIPER, 2005). Além das funções comuns aos SIG como manipular, armazenar, analisar e apresentar informações geográficas, o TRANSCAD possui modelos de demanda e de logística integrados a estas funções, como a localização de facilidades e a roteirização de veículos. Na rotina de localização de facilidades, o TRANSCAD oferece quatro objetivos: minimização do custo médio de serviço; minimização do custo mais alto de serviço; maximização do custo mais baixo e maximização de lucro. Na rotina de roteirização, é possível propor rotas com intervalos de atendimento pré-determinados nos clientes (janela de tempo), utilizar frota heterogênea e/ou homogênea, entre outros. Mais informações sobre os SIG's com modelos de transportes em suas rotinas podem ser obtidas em WATERS (1999).

Uma das vantagens deste sistema é a possibilidade de trabalhar com dados reais das distâncias entre os nós analisados da rede de atendimento (como os varejistas, terminais de apoio e CDU), além de uma interface interessante com usuário, com a visualização dos mapas da rede a geração de relatórios dos resultados. Por outro lado, o TRANSCAD não permite a realização de um estudo simultâneo da localização dos terminais de apoio e da roteirização entre os níveis de atendimento. Neste sentido, é necessária a realização do estudo de localização para uma posterior análise da roteirização dos veículos dos CDU para os terminais de apoio e/ou varejistas e dos terminais de apoio para os clientes.

### 6.3.1 Estudo de localização e roteirização usando o TRANSCAD

O primeiro passo para a resolução de problemas de localização e roteirização usando o TRANSCAD é a preparação da rede, que contém os arquivos com a localização dos pontos candidatos e os pontos de demanda, ou seja, os nós do modelo, além da distância entre todos estes os pontos, que representam os arcos do modelo ou as ruas do sistema de transporte de uma cidade. A partir da distância entre todos os pontos da rede analisada, é criada a Matriz de Distâncias que se configura como a base para a definição dos locais escolhidos e das rotas realizadas.

Cada nó da rede é representado por uma identificação (ID). Na FIG 6.4, pode-se observar uma Matriz de Distâncias do TRANSCAD com as distâncias entre pontos de uma rede e seus respectivos ID que nomeiam colunas e linhas.

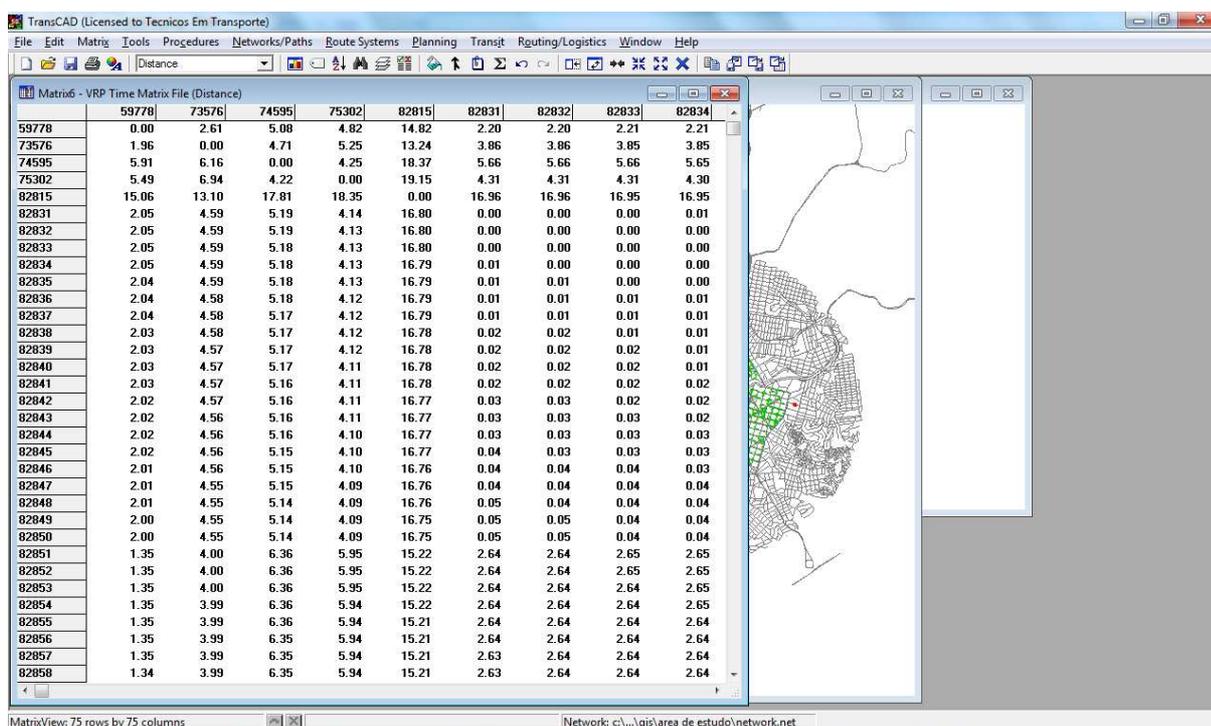


Figura 6.4: Matriz de Distâncias

### 6.3.1.1 Estudo de localização

O primeiro aspecto a ser considerado em um estudo de localização é a escolha do modelo a ser utilizado. Daskin (2008) destaca que existem diversas classificações de modelos de localização de instalações que variam de acordo com o modo em que a demanda é distribuída e a forma como as instalações podem ser localizadas, como os analíticos, contínuos, redes e discretos. Neste trabalho, a demanda é dividida entre os nós da rede e as instalações são restringidas por um conjunto finito de locais candidatos, aspecto que caracteriza o uso de um modelo discreto. Os modelos de localização discretos são organizados, principalmente, em cobertura e mediana (DASKIN, 2008).

O TRANSCAD fornece quatro tipos de problemas de localização de instalações, que são classificados de acordo com o seu objetivo (CALIPER, 2005):

- Minimizar o custo médio de serviço: fornece o melhor nível de serviço total aos clientes, sem preocupar-se se o serviço a um cliente é muito pior que a média;
- Minimizar o custo mais alto de serviço: fornece o melhor serviço possível ao cliente que é mais afastado do conjunto de instalações, muito utilizado para serviços de emergência;
- Maximizar o custo mais baixo de serviço: define as instalações tal que elas estejam o mais longe possível do cliente mais próximo;
- Maximizar o lucro: escolhe locais para aumentar a diferença entre as receitas e os custos.

Observa-se que os objetivos dos problemas de localização do TRANSCAD possuem relação com os modelos discretos definidos por Daskin (2008). Seguindo a disposição de Daskin (2008), ressalta-se que os modelos baseados em mediana, sub-classificação dos modelos discretos, minimizam a distância média entre um nó de demanda e a instalação que é atribuída, sendo tipicamente utilizados na localização de centros de distribuição de mercadorias. Assim, foi utilizada a opção de minimização do custo médio de serviço do TRANSCAD por assemelhar-se ao conceito dos modelos de mediana considerados interessantes por Daskin (2008) para o tipo de problema tratado nesta metodologia. Apesar do código do algoritmo usado por este *software* não ser conhecido, WATERS (1999) ressalta que o modelo de minimização do custo médio de serviço do TRANSCAD está associado aos modelos de localização de facilidades baseados em medianas.

O algoritmo para o problema de localização de instalações do TRANSCAD é fundamentado em uma heurística gulosa. Este algoritmo trabalha da seguinte forma: primeiramente,

define-se um conjunto inicial de instalações, escolhidas de acordo com o conjunto de pontos candidatos; depois, são realizadas tentativas de melhorias do conjunto inicial por meio da comparação entre pares de locais candidatos até que nenhuma melhoria seja alcançada. A heurística gulosa escolhe a localização avaliando todos os candidatos e selecionando aqueles que melhor atingem o objetivo desejado (CALIPER, 2005).

A FIG 6.5 apresenta o processo para a solução do problema de localização de instalações utilizando a ferramenta *Facility Location* do TRANSCAD. O primeiro aspecto em um problema de localização de instalações refere-se à escolha do modelo a ser utilizado, na ferramenta *Facility Location* do TRANSCAD esta tarefa é realizada no ponto 1. Neste trabalho, foi definido o modelo de minimização do custo médio de serviço. Em seguida, determina-se o número de instalações que deverão ser alocadas na rede logística no ponto 2. Nesta metodologia, os terminais de apoio constituem-se como o objeto de estudo da ferramenta de localização. No ponto 3, seleciona-se o arquivo com a matriz de custo, que nesta pesquisa representa a distância entre todos os pontos da rede. Nos pontos 4 e 5 são realizadas definições, respectivamente, em relação ao conjunto de instalações a serem escolhidas e ao conjunto de clientes da rede. O item 6.5 deste trabalho apresenta os resultados do estudo de localização realizado para os cenários analisados.

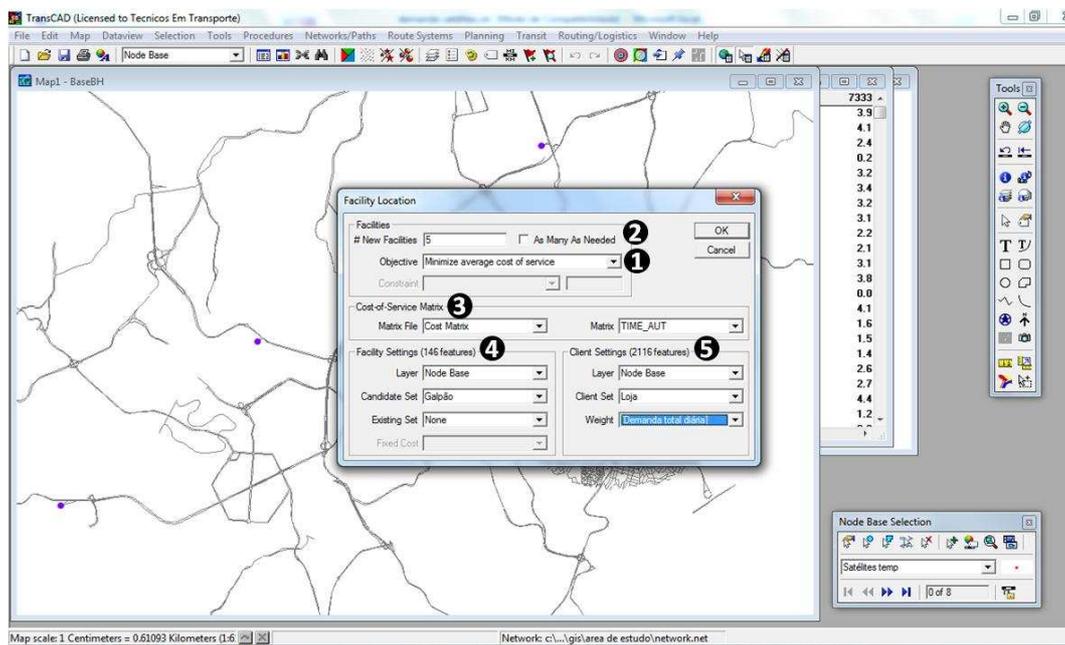


Figura 6.5: Processo da ferramenta *Facility Location* do TRANSCAD

### 6.3.1.2 Estudo de roteirização

Cunha (1991) destaca que a roteirização de veículos envolve um conjunto muito grande de diferentes tipos de problemas, que podem ser classificados de acordo com o atendimento de especificidades presenciadas em situações reais, como o tipo de frota (homogênea ou heterogênea),

localização dos clientes (nós ou arcos), a presença de janela de tempo para a realização da coleta/entrega, tipo de atendimento (coleta, entrega ou coleta e entrega), dentre outros. O TRANSCAD permite a introdução de uma série destes quesitos para a solução de problemas de roteirização, como a janela de tempo, tipo de frota, coleta e entrega. Além disto, pode-se minimizar o tempo ou a distância e, ainda, realizar um balanceamento das rotas baseados no tempo, na distância ou no número de paradas. Destaca-se que este *software* usa a heurística gulosa para a determinação da roteirização, assim como mencionado no estudo de localização (CALIPER, 2005).

O procedimento para usar a ferramenta de roteirização do TRANSCAD deve ser realizado da seguinte forma (CALIPER, 2005):

- 1) Preparar os dados dos depósitos ou a origem das cargas e das paradas, geralmente, os clientes que receberão os produtos. A FIG 6.6 mostra a tela do TRANSCAD com os aspectos que devem ser definidos para o depósito. Em relação aos depósitos, são definidas características, como o horário de abertura (ponto 1) e fechamento (ponto 2).



Figura 6.6: Tela do TRANSCAD com a seleção do depósito

A FIG 6.7 mostra a tela do TRANSCAD com as definições para as paradas. No que se refere às paradas, devem ser especificados o horário de abertura e fechamento, o tempo de serviço (período para a realização da descarga das mercadorias que pode ser por produto ou por operação), além da seleção do arquivo com a demanda de cada ponto.



Figura 6.7: Tela do TRANSCAD com as definições das paradas

- 2) Preparar a matriz de custos com os dados sobre distâncias e tempos entre os nós da rede. Esta matriz também é a base para o estudo de localização;
- 3) Criar uma tabela de veículos, com as características da frota como a quantidade, capacidade, tipo e o custo de cada equipamento. A FIG 6.8 mostra a tela com as definições da tabela de veículos.

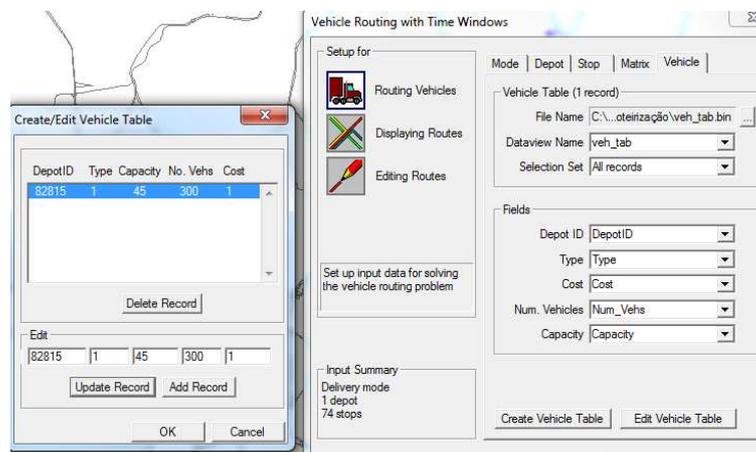


Figura 6.8: Tela do TRANSCAD com as definições da tabela de veículos

- 4) Especificar as particularidades operacionais, como o tipo de problema (coleta, entrega ou ambos e pontos que devem ter características próprias de atendimento chamados de “backhaul stops”) e a máxima duração e o balanceamento das rotas. A FIG 6.9 mostra a tela com as especificações que devem ser realizadas nesta etapa.



Figura 6.9: Tela do TRANSCAD com as especificações operacionais

Neste trabalho, o estudo de roteirização seguiu as disposições consideradas na proposição dos cenários, assim o conceito de “depósito” e de “parada” do TRANSCAD sofreu variações conforme o tipo de análise realizada. Foram feitos quatro tipos de estudos de roteirização:

- 1) As cargas partiam dos centros de distribuição das empresas (depósitos), em direção às paradas, varejistas localizados na região analisada;
- 2) As cargas partiam dos terminais de apoio, definidos pelo estudo de localização, e seguiam para as paradas (varejistas);
- 3) As cargas saíam dos pontos de consolidação (depósitos), determinados com base na Pesquisa de Origem e Destino (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2003), para atendimento dos terminais de apoio (paradas);
- 4) As cargas proviam dos centros de distribuição das empresas (depósitos) para servir aos terminais de apoio (paradas).

Destaca-se que o terminal de apoio foi um ponto para transbordo de mercadorias. Desta forma, sua demanda foi representada pela agregação dos pedidos dos varejistas situados dentro de sua área de cobertura.

O procedimento da ferramenta de roteirização do TRANSCAD produz vários relatórios, como o itinerário de cada veículo, um relatório contendo inconformidades dos dados de entrada e uma tabela de rotas com a listagem das paradas em cada rota quando a matriz de roteirização é baseada na rede (CALIPER, 2005).

É importante destacar que a versão 5 do TRANSCAD, utilizada neste trabalho, apresentou algumas limitações que tiveram de ser tratadas para a realização do estudo de roteirização. A primeira delas refere-se à demanda. Nela, os pedidos dos clientes tiveram que ser divididos de forma a não ultrapassar a capacidade dos veículos utilizados em cada estudo de

roteirização para que toda a rede de distribuição pudesse ser atendida pelos equipamentos. A segunda refere-se ao número de veículos utilizados, o *software* destina um veículo para cada rota (conjunto de clientes atendidos pelo mesmo veículo), fato que acarreta uma elevada ociosidade em relação ao uso dos equipamentos. Em virtude desta limitação, foi desenvolvido um modelo matemático para determinação do dimensionamento ótimo dos veículos, conforme será apresentado no item a seguir.

### 6.3.1.3 Otimização da alocação de rotas

A versão 5 do TRANSCAD limita-se em determinar um veículo para cada rota criada na ferramenta de roteirização, levando a um dimensionamento incorreto da frota devido à subutilização dos equipamentos. Para resolver este problema, foi desenvolvido um modelo matemático para a alocação ótima das rotas, criadas pelo TRANSCAD, aos veículos conforme definido a seguir. Seja:  $c_i$  o tempo de serviço para atender uma rota  $i$ ;  $y_j$  é uma variável binária onde  $y_j = 1$ , se o caminhão  $j$  é usado e 0 caso contrário;  $x_{ij}$  é uma variável binária onde  $x_{ij} = 1$ , se a rota  $i$  é atendida pelo veículo  $j$ .

$$\text{minimize } \sum_j y_j \quad (6.1)$$

Sujeito à:

$$\sum_i c_i x_{ij} \leq 480, \quad \forall j \quad (6.2)$$

$$\sum_j x_{ij} \geq 1, \quad \forall i \quad (6.3)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i, \forall j \quad (6.4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (6.5)$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad (6.6)$$

O modelo de alocação foi formulado da seguinte maneira, uma quantidade pré-definida de rotas, onde cada rota  $i$  é um conjunto de vértices escolhidos pelo TRANSCAD, deve ser alocada a um único veículo por meio de um conjunto de arestas, que constitui todas as possíveis vinculações de rotas com veículos. Neste problema, a cada rota está associado um custo  $c_i$ , representando o tempo de total de serviço, ou seja, a soma dos tempos de entrega e de deslocamento do depósito até a primeira parada e da última parada até o depósito. Já os veículos podem atender uma ou um conjunto de rotas desde que satisfaçam ao limite de tempo diário de 480 minutos. A equação (1) é a função objetivo do problema, que considera o número mínimo de veículos. As restrições (2)

garantem que a soma do tempo de todas as rotas atendidas por um caminhão não ultrapasse o limite máximo de minutos trabalhados pela tripulação de cada veículo, no caso, 480 minutos. As restrições (3) garantem que cada rota seja alocada apenas uma vez a um veículo. As restrições (4) associam as variáveis  $x_{ij}$  e  $y_j$ , ou seja, as rotas somente poderão ser alocadas a um caminhão caso o mesmo seja usado. Já as equações (5) asseguram a integralidade binária das variáveis do problema.

Este modelo foi tratado como um problema de programação linear, delineado com a linguagem AMPL desenvolvida por Fourer *et al.* (1993), com a utilização da ferramenta de otimização do *software* CPLEX, versão 11.2. O APÊNDICE B mostra um exemplo de aplicação do modelo matemático de alocação de rotas desenvolvido neste trabalho usando a linguagem AMPL. O ANEXO A mostra um exemplo de aplicação e de resultado do AMPL usando o solver CPLEX.

#### **6.4 Avaliação econômica e ambiental**

Um dos principais objetivos da logística urbana, segundo Crainic *et al.* (2009b) é a otimização da movimentação de carga, tendo em vista a redução dos congestionamentos e o aumento da mobilidade nas cidades, a diminuição da emissão de poluentes e ruídos e a melhoria das condições de vida dos habitantes evitando penalizar as atividades do centro das cidades. Sendo assim, a avaliação econômica e ambiental é substancial para os estudos de CDU já que muitos modelos, principalmente em países europeus, como França e Alemanha, não obtiveram resultados satisfatórios, em virtude, por exemplo, dos baixos índices de redução de emissão de poluentes, da necessidade contínua de subsídios públicos e do uso de uma frota inadequada. A avaliação prévia dos impactos de um CDU configura-se como etapa essencial para verificar a viabilidade de sua implementação.

Em relação às medidas da avaliação econômica, foi analisado o número de viagens realizadas pelos veículos, a distância percorrida, o tempo de viagem, a ocupação e o tempo ocioso da frota, além do número de veículos utilizados, na medida em que estes atributos são importantes elementos do custo de total de distribuição na cadeia de suprimentos e constituem-se como variáveis que impactam o trânsito da cidade. Já no que se refere à avaliação ambiental, foi quantificado o consumo total de combustíveis fósseis e a emissão de poluentes oriundos dos veículos utilizados nos modelos propostos, a fim de verificar a influência da estrutura logística de atendimento do centro de distribuição urbano sobre a qualidade do ar da cidade e a melhoria das condições de vida da população.

Nesta etapa analisaram-se os impactos econômicos e ambientais das possíveis configurações de rede do centro de distribuição urbano seguindo cada um dos cenários propostos.

Para o quantificação dos impactos ambientais, foi utilizada a ferramenta *GHG Protocol* que apresenta uma metodologia para o cálculo da emissão direta de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (*GHG Protocol*, 2010).

A ferramenta *GHG Protocol* foi desenvolvida pelo *World Resources Institute* (WRI) em associação com o *World Business Council for Sustainable Development* (WBSCD), além da participação de várias instituições como empresas, governos e organizações não governamentais (ONGs), com uma ampla consulta pública, sendo muito utilizada mundialmente por empresas e governos para entender, quantificar e gerenciar suas emissões. A metodologia utilizada por esta ferramenta é compatível com as normas da Organização Internacional para Padronização (ISO) e os procedimentos de quantificação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) (*GHG Protocol*, 2010).

A implementação do Programa Brasileiro *GHG Protocol* teve início em 2008, de forma adaptada ao contexto nacional, com intuito de estabelecer uma cultura de inventários corporativos no país, por meio da transferência gratuita da metodologia e do conhecimento para o cálculo de emissões em uma parceria entre a Fundação Getúlio Vargas (FGV), o WRI, o Ministério do Meio Ambiente, o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS) e o WBSCD. A participação neste programa permite às empresas publicar informações segundo os critérios do *Carbon Disclosure Project* (CDP), do Índice Bovespa de Sustentabilidade Empresarial (ISE), da *Global Reporting Initiative* (GRI), entre outros, além de proporcionar oportunidades para realizar projetos de obtenção de créditos comercializáveis no mercado de carbono (*GHG Protocol*, 2010).

Os participantes do Programa Brasileiro *GHG Protocol* devem incluir em seu inventário de emissões todos os gases do efeito estufa regulados pelo Protocolo de Kyoto, como o Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Metano (CH<sub>4</sub>), Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O), Hexafluoreto de Enxofre (SF<sub>6</sub>), Hidrofluorcarbonos (HFC<sub>5</sub>) e os Perfluorcarbonos (PFC<sub>5</sub>). Estes gases são usados para o cálculo do Dióxido de Carbono Equivalente (CO<sub>2</sub>-e). Atualmente, o programa conta com a participação de 35 empresas (*GHG Protocol*, 2010).

A avaliação econômica e ambiental configura-se como o último passo da metodologia desenvolvida neste trabalho. No próximo capítulo, serão apresentados os resultados de sua aplicação no município de Belo Horizonte.

## **7 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DESENVOLVIDA EM BELO HORIZONTE**

A metodologia desenvolvida nesta pesquisa foi aplicada no município de Belo Horizonte (MG). Neste capítulo, é apresentado o detalhamento desta aplicação.

### **7.1 Caracterização da área de estudo**

Belo Horizonte é a capital do Estado de Minas Gerais com cerca de 2,4 milhões de habitantes, com uma área de 331 km<sup>2</sup> e o quarto maior Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, com cerca de 38,21 bilhões de reais e mais de 100 mil empresas (IBGE, 2010). O município está inserido numa região metropolitana com 34 cidades e, aproximadamente, 5 milhões de habitantes (PBH, 2010).

Esse município é considerado um dos exemplos de cidade planejada. O projeto criado foi inspirado em modelos de cidades como Paris e Washington, e dividia a cidade em três zonas: a área central urbana, a área suburbana e a área rural. Na área central urbana foi feito um traçado geométrico com avenidas largas, dispostas em sentido diagonal e um padrão de ruas retas, formando uma espécie de quadriculado. A região central foi planejada para receber toda a estrutura urbana de transportes, educação, saneamento, assistência médica e os edifícios públicos das instalações estaduais, sendo limitada pela atual Avenida do Contorno, chamada, à época, de 17 de Dezembro. Já a região suburbana não recebeu o mesmo tratamento da área central em virtude da sua desocupação. A área rural foi composta por cinco colônias agrícolas, que seriam responsáveis por abastecer a cidade com produtos hortigranjeiros (PBH, 2010).

A cidade foi inaugurada em 12 de dezembro de 1897 sem a execução total do planejamento realizado em função de uma crise econômica daquela época que contribuiu também para o baixo desenvolvimento de indústrias e comércio durante anos. Nas duas primeiras décadas de fundação, a cidade viveu períodos de grande crise e pequenos surtos de desenvolvimento, como nos anos 1905, 1912-1913 e 1917-1919. Durante os anos de 1920 e 1930, a cidade passou por um período de progresso com o surgimento de atividades culturais e ampliação dos serviços urbanos para atendimento da crescente população que refletiu no aparecimento de novos bairros. Contudo, a expansão da cidade aconteceu sem um maior controle ou planejamento, trazendo sérios problemas urbanos naquele momento já que muitos dos bairros não possuíam os serviços básicos de água, luz e esgotos (PBH, 2010).

Os anos 1940 e 1950 foram marcados por um grande impulso de desenvolvimento, que levou à criação do Parque Industrial (1941) e ao fortalecimento do comércio, tornando a região central uma área muito valorizada. Em 1943, no Governo de Juscelino Kubstichek, a cidade ganhou projeção internacional com a inauguração do Complexo Arquitetônico da Pampulha, delineado pelo arquiteto Oscar Niemeyer. Nesta época, a população da cidade passou de 350 mil para 700 mil habitantes devido ao grande êxodo rural. Os problemas urbanos e a falta de moradia, motivados pelo crescimento desordenado da cidade, pressionaram a criação do Plano Diretor para Belo Horizonte (PBH, 2010).

A cidade atingiu um elevado crescimento econômico com a chegada de novas indústrias e comércio, além de serviços financeiros nos anos de 1960 e 1970, que refletiu em cidades vizinhas, as quais também começaram a se desenvolver rapidamente. Apesar da importância deste período em relação aos aspectos econômicos, vale destacar que houve a descaracterização do projeto inicial da cidade com a sua verticalização devido à construção de vários edifícios, desfiguração das áreas verdes para o alargamento e o surgimento de novas ruas e avenidas além do agravamento das desigualdades e problemas sociais, marcando o aparecimento de inúmeras favelas (PBH, 2010). Este cenário levou à instituição da Região Metropolitana de Belo Horizonte e da Plambel (Planejamento da Região Metropolitana de Belo Horizonte), autarquia de planejamento e apoio técnico para orientar o governo no que se refere aos interesses comuns das cidades que compunham a região criada (ABREU, 2007).

Em 1980 e 1990 novos projetos surgiram com intuito de amenizar os vários problemas da cidade, como a criação de um novo sistema de transportes e de diversos espaços de lazer como o Parque das Mangabeiras, a canalização do Rio Arrudas e o tombamento de várias construções de valor histórico. Em 1996, o Plano Diretor da cidade e a Lei de Uso e Ocupação do Solo passaram a regular e ordenar o crescimento da capital (PBH, 2010).

Dando continuidade ao processo de regulação e ordenação, a Prefeitura de Belo Horizonte, por meio da BHTRANS, empresa responsável pelo gerenciamento do tráfego, desde outubro de 2009, vem alterando as regras para circulação e operação de carga e descarga na cidade como forma de mitigar os problemas relacionados aos congestionamentos e à segurança viária uma vez que, em menos de 10 anos, a frota total de veículos de Belo Horizonte passou de 706.480 (2001) para 1.291.208 (agosto de 2010), representando um aumento de cerca 83% (DENATRAN, 2010). Esta elevação do número de veículos, aliada a uma estrutura viária e a um transporte público que necessitam melhorias, vem trazendo sérios problemas à mobilidade da cidade.

Vale destacar que a restrição ao tráfego de veículos de carga é uma das medidas que vem sendo adotadas pelo município para a melhoria da sua mobilidade e diminuição das

externalidades negativas da circulação de veículos. Esta medida visa, fundamentalmente, restringir a entrada de veículos de carga de determinados tamanhos e capacidades em certas regiões, conforme pode se observar no Quadro 7.1 (BHTRANS, 2010).

Quadro 7.1: Regras para circulação dos veículos de carga em Belo Horizonte

Capacidade o Veículo	Região/ Horário Proibidos
Até 5 toneladas e comprimento até 6,50 metros	Livre em qualquer horário/região
Acima de 5 toneladas e comprimento acima de 6,50 metros	<p><b>Hipercentro e Av. Senhora do Carmo:</b> Proibido de segunda a sexta das 7 às 20 horas. Sábados das 7 às 15 horas. Domingo: livre.</p> <p><b>Savassi e Lourdes:</b> Proibido de segunda a sexta das 7 às 9 horas e de 17 às 20 horas. Sábados das 7 às 9 horas. Domingo: livre.</p> <p><b>Assembléia e Barro Preto:</b> Proibido de segunda a sexta das 7 às 9 horas e de 17 às 20 horas. Sábados das 7 às 9 horas. Domingo: livre.</p> <p><b>Área Hospitalar:</b> Proibido de segunda a sexta das 7 às 9 horas e de 17 às 20 horas. Sábados das 7 às 9 horas. Domingo: livre.</p> <p><b>Corredores de Tráfego:</b> Proibido de segunda a sexta das 7 às 9 horas e de 17 às 20 horas. Sábados das 7 às 9 horas. Domingo: livre.</p>
Carretas e cavalos mecânicos	Expressamente proibido em qualquer horário

Fonte: BHTRANS, 2010

A FIG 7.1 apresenta as áreas com restrições ao tráfego de veículos de carga implantadas em Belo Horizonte. Os pontos 1, 2, 3, 4 e 5 representam, respectivamente, a área Hospitalar, a Savassi e a Avenida Senhora do Carmo, o Bairro de Lourdes, a área da Assembléia e Barro Preto e, por último, o Hipercentro. A imposição das restrições de acesso a estas áreas foi realizada por etapas, iniciando pelo Hipercentro e terminando em 25/10/2010 com a inclusão da Área Hospitalar. A última etapa deste processo foi realizada em 21/02/2011 com implantação das regulamentações aos principais corredores de tráfego que dão acesso às áreas já regulamentadas como partes das avenidas Afonso Pena, Cristiano Machado, Antônio Carlos, Carlos Luz, Raja Gabaglia, Prudente de Moraes, Amazonas, Dom Pedro II, Tereza Cristina e Dos Andradas, destacadas em vermelho na Figura 14.

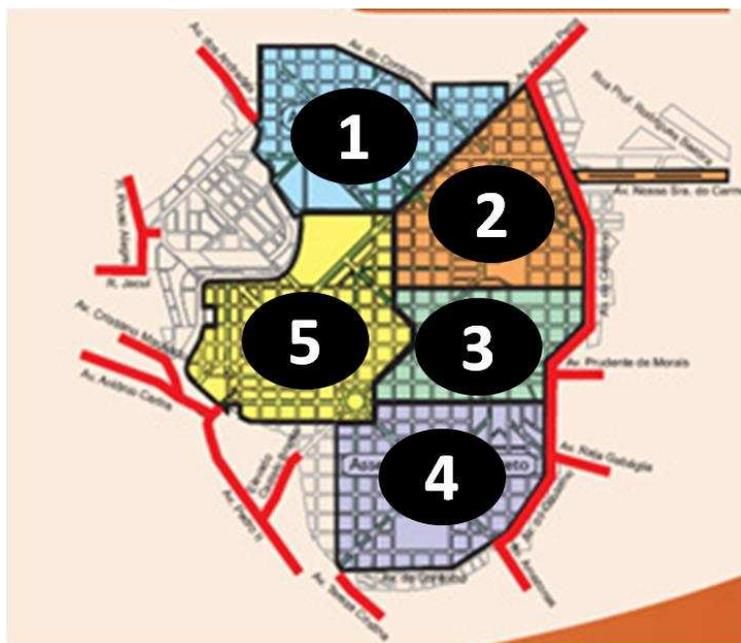


Figura 7.1: Áreas com restrições ao tráfego de veículos de carga em Belo Horizonte  
Fonte: BHTRANS, 2010

As medidas que vêm sendo adotadas pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte em relação ao tráfego de veículos de mercadorias em Belo Horizonte, quando realizadas sem uma integração com outras iniciativas de tratamento da carga urbana, ao invés de mitigar os problemas causados pela movimentação de produtos, como o ruído, segurança viária e emissão de poluentes, podem contribuir para o seu agravamento em virtude do potencial aumento do número de pequenos veículos de carga transitando no perímetro urbano. Este fato pode acarretar, ainda, inconvenientes em relação às vagas de carga e descarga de mercadorias devido à elevação do número de veículos em circulação no centro urbano, além de impactar a eficiência operacional das empresas e, conseqüentemente, seus custos de transportes.

## 7.2 Definição da área física

A área regulamentada pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte com restrições à circulação de veículos de carga, de acordo com critérios de peso e volume conforme descritos no item 6.1, representada pelo Hipercentro, Savassi, Lourdes, Assembléia/Barro Preto e a Área Hospitalar, fundamentou a determinação da área de estudo deste trabalho. Esta área constituiu-se como um pólo de atração de cargas, onde foram estabelecidos os varejistas que possuíam uma demanda a ser atendida pela estrutura logística de serviço estando conectados pelas ruas da malha viária da cidade. Já a região fora desta área configurou-se como uma zona para o atendimento da demanda gerada pelos varejistas. Nela, foram alocados os centros de distribuição das empresas, os

pontos de consolidação e os terminais de apoio que representavam a base do serviço logístico. Esta região se estendeu para fora do limites territoriais de Belo Horizonte e foi composta pelas vias que conectavam todos os pontos presentes na rede logística da cidade, ou seja, varejistas, terminais de apoio, centros de distribuição e pontos de consolidação.

### **7.3 Delimitações do estudo**

Este trabalho possui limitações já que foram utilizados alguns pressupostos em relação à quantidade e à demanda dos varejistas presentes no modelo de CDU. No que se refere à quantidade de varejistas, considerou-se apenas os estabelecimentos com área entre 20 e 500 m<sup>2</sup>, que representam cerca de 30% do total de pontos comerciais, conforme o cadastro de imóveis da região analisada. A demanda dos varejistas foi calculada com base em uma amostra de dados socioeconômicos desenvolvida nesta pesquisa, que contou com a presença de 25 empresas, quantidade que pode ser considerada pequena em virtude do número da população analisada. Estes dados foram generalizados, formatando uma demanda diária de 4.507 produtos conforme será explanado no item 6.5.1 deste trabalho.

Destaca-se que as cargas foram tratadas de forma homogênea, ou seja, o fluxo de mercadorias deste trabalho baseou-se em apenas um tipo de produto qualquer, sem especificações acerca das condições de acondicionamento nos veículos, ou tipo de entrega. Neste sentido, considerou-se que o produto demandado era composto por uma caixa de 1 m<sup>3</sup>. Assim, a demanda dos varejistas a ser atendida foi de 4.507 m<sup>3</sup>.

Outro aspecto que merece ser mencionado refere-se à origem do fluxo de mercadorias, representada pelas atuais empresas que realizam a distribuição de cargas na região estudada. Isto porque foram consideradas apenas as principais regiões do município conforme levantamento realizado e critérios adotados. Desta forma, regiões menos expressivas em termos de área destinada às operações logísticas não foram ajustadas nesta pesquisa. Além disto, as proporções definidas para os nós de origem no cenário com pontos de consolidação basearam-se na última Pesquisa de Origem e Destino, realizada em 2001 e 2002, comprometendo a exatidão dos resultados em virtude de possíveis alterações na movimentação de veículos.

#### **7.3.1 Avaliação da adesão dos varejistas**

O cadastro de imóveis da região estudada aponta a existência de 13.730 estabelecimentos comerciais, incluindo bares, restaurantes, lojas de vestuário e de calçados, entre

outros (PBH, 2010). Para a realização desta pesquisa, foi realizada uma amostragem que considerou empresas com uma área total entre 20 e 500 m<sup>2</sup>, perfil observado através da pesquisa de preferência declarada e a observação visual dos empreendimentos da região, totalizando 3.787 pontos de demanda para a rede do TRANSCAD.

A FIG 7.2 mostra a estratificação dos resultados da PD, em que foram entrevistados 25 estabelecimentos comerciais varejistas com a aplicação de 100 roteiros de entrevista. Verifica-se que a maior parte das empresas recebe produtos duas vezes por semana (40%), geralmente, com apenas uma entrega (44%), sendo recebidas duas ou mais caixas (80%), com destaque para produtos de vestuário (40%).

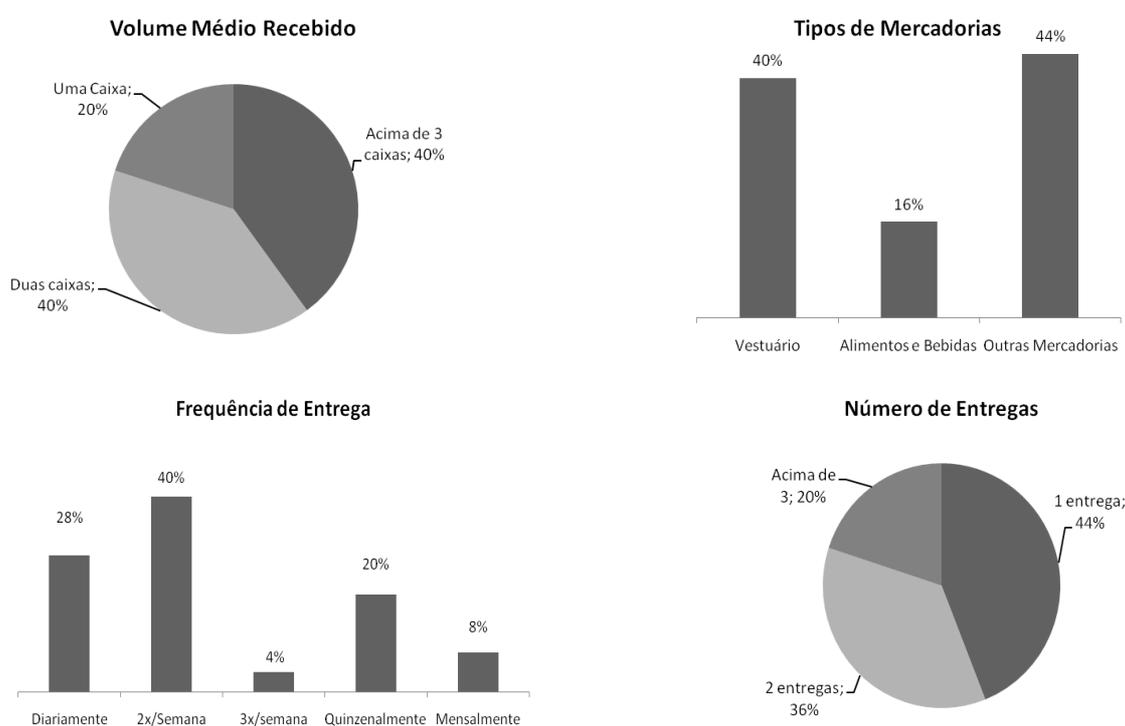


Figura 7.2: Estratificação da amostra da pesquisa de PD

### 7.3.2 Resultados do modelo de adesão

A TAB 7.1 apresenta os resultados das probabilidades de aceitação do CDU para os varejistas com base na presença de seus atributos calculados de acordo com a PD utilizando o modelo Logit Multinomial definido no item 5.1 deste trabalho, contemplando a primeira etapa da metodologia apresentada. Verifica-se que o custo se mostra como um atributo de grande peso na adesão dos varejistas ao modelo de CDU. Isto porque os cenários que tiveram a presença deste atributo apresentaram valores relativamente baixos em relação à probabilidade de adesão ao CDU. Já quando este atributo não está presente, a probabilidade analisada aumenta consideravelmente,

chegando a 82% quando todos os outros atributos são escolhidos. Este fato demonstra a importância da participação do poder público na implantação dos CDU, atuando, principalmente, com incentivos para a minimização dos custos que ele potencialmente pode acarretar.

Tabela 7.1: Probabilidade dos cenários de aceitação do CDU para os varejistas

Cenário	Probabilidade Analisada
Melhoria da Prestação de Serviço, Confiabilidade e do Espaço para Exposição	82%
Melhoria da Confiabilidade e do Espaço para Exposição	79%
Melhoria da Prestação de Serviço e da Confiabilidade	73%
Melhoria da Confiabilidade	69%
Melhoria da Prestação de Serviço e do Espaço para Exposição	67%
Melhoria do Espaço para Exposição	63%
Custo com Melhoria da Prestação de Serviço, Confiabilidade e do Espaço para Exposição	60%
Custo com Melhoria da Confiabilidade e do Espaço para Exposição	55%
Melhoria da Prestação de Serviço	55%
Custo com Melhoria da prestação de Serviço e da Confiabilidade	47%
Custo com Melhoria da Confiabilidade	42%
Custo com Melhoria da prestação de Serviço e do Espaço para Exposição	40%
Custo com Melhoria do Espaço para Exposição	35%
Custo com Melhoria da Prestação de Serviço	28%
Custo	24%

Com base nos resultados deste modelo, evidenciados na Tabela 2, foi realizada a variação no número de varejistas atendidos pelo modelo de CDU. Foram propostos cenários com níveis de adesão de 100%, 82%, 60% e 47%. No cenário com 100% de adesão, buscou-se apresentar uma configuração em que uso deste modelo se torne obrigatório, isto é, totalmente regulamentado pela administração pública local. Já no cenário com 82%, procurou-se refletir um modelo de CDU em que a adesão não seja obrigatória, mas conta com subsídios governamentais que visam diminuir os custos econômicos do sistema. Com 60%, pretendeu-se representar uma situação sem a presença dos incentivos governamentais. No que se refere ao cenário com 47%, presumiu-se uma situação pessimista em que não haveria a adesão da maioria dos varejistas ao modelo de CDU em virtude da ausência de um dos seus atributos, que neste caso, foi a melhoria da prestação do serviço.

## 7.4 Cenários analisados

Nesta seção serão apresentados os cenários que fundamentaram a aplicação da metodologia desenvolvida neste trabalho.

### 7.4.1 Cenário base (cenário 1)

Nesta etapa, será caracterizado o cenário base que contempla a atual configuração da distribuição de cargas na região analisada. Nesta estrutura, as cargas oriundas dos mais diversos destinos são dirigidas a centros de distribuição de propriedade de varejistas, atacadistas e operadores logísticos. Nestas instalações, geralmente, as cargas são desagregadas para armazenagem e/ou para entrega aos seus destinos finais. Considerando o caso específico das cargas que têm como destino a região analisada neste trabalho, verifica-se que os produtos movimentados em veículos que não atendem às restrições de tamanho e peso, regulamentadas pela prefeitura municipal, devem, necessariamente, ser transferidos para locais de transbordo de carga como os centros de distribuição ou pontos de *cross doking* para uma posterior entrega aos seus locais de destino. A FIG 7.3 mostra a organização da rede logística que retrata a situação corrente da distribuição de cargas em Belo Horizonte. Vale destacar que este trabalho não analisa o fluxo de mercadorias entre fornecedores e centros de distribuição, mas sim a movimentação de produto destes últimos até os varejistas situados na região analisada.

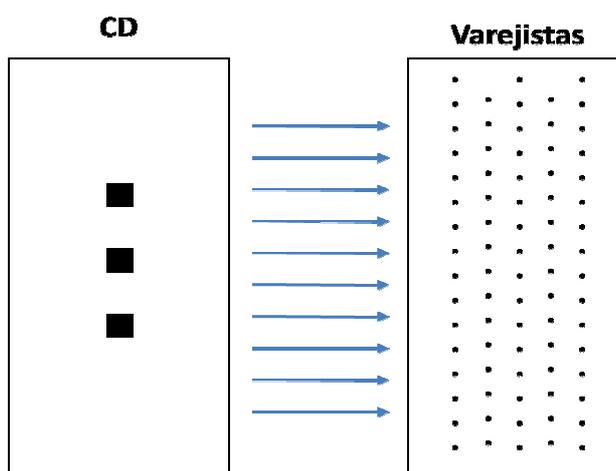


Figura 7.3: Configuração atual da rede de distribuição

Para definir o cenário base, foi necessário, primeiramente, identificar as regiões onde se encontravam a maior concentração de centros de distribuição, principalmente de operadores logísticos, que atuam na distribuição de cargas para a região com restrição de circulação de veículos de carga, notadamente, a área abrangida pela Avenida do Contorno no município de Belo

Horizonte. Para isto, foi realizada uma análise da lista telefônica e consulta ao SETCEMG (Sindicato das Empresas de Transportes de Carga de Minas Gerais), onde se buscou catalogar a localização das empresas para uma posterior alocação em um mapa para análise das regiões mais relevantes em termos de concentração de transportadoras de cargas fracionadas e área total destinada às operações logísticas.

Desta forma, identificaram-se três importantes regiões de acordo com os critérios relatados. Em seguida, foram realizadas consultas com pessoas que atuam no mercado de distribuição de cargas no município como supervisores de empresas e motoristas. Nestas consultas, buscou-se identificar outras regiões relevantes para alocação na rede de distribuição base. No entanto, os entrevistados não adicionaram outras áreas importantes, confirmando a análise documental e a consulta ao SETCEMG. Assim, as três principais áreas identificadas foram inseridas como nós na rede do TRANSCAD. Cada um destes nós representou a localização das empresas das regiões identificadas conforme pode ser observado na FIG 7.4.



Figura 7.4: Localização das áreas identificadas  
Fonte: DER/MG (2010)

O segundo aspecto da caracterização do cenário base refere-se à análise em relação à proporção da demanda dos varejistas atendida por cada ponto identificado. Para definir a quantidade de carga que partiria destes pontos para a entrega aos varejistas, utilizou-se como critério a área de cada região. Desta forma, identificou-se a área total das três regiões caracterizadas e a demanda dos varejistas que atuam na região analisada foi distribuída de forma proporcional a cada uma delas. Estes nós foram responsáveis pelo atendimento de 72% (área de 1,84 km<sup>2</sup>), 18% (área de 0,94 km<sup>2</sup>) e 10% (área de 0,34 km<sup>2</sup>), da demanda dos varejistas representada na Figura 17, respectivamente,

pelos pontos 1, 3 e 2. Com base nestas informações foi realizado um estudo de roteirização utilizando uma jornada de trabalho de 8 horas e uma frota homogênea com capacidade de 12 m<sup>3</sup>, volume médio de um veículo urbano de carga que atende as restrições de circulação regulamentadas pelo governo municipal conforme metodologia apresentada.

#### 7.4.2 Cenários propostos

Neste item, serão apresentados os cenários desenvolvidos tendo como referência a aplicação do modelo de centro de distribuição urbano proposto neste trabalho.

##### 7.4.2.1 Pontos de consolidação (cenário 2)

Destaca-se que a estrutura atual de distribuição de cargas na cidade possui um nível de atendimento em que as entregas são realizadas tendo como origem os centros de distribuição das empresas e, como destino, os varejistas. A configuração deste cenário inclui mais um nível na rede de atendimento ou um nó na rede atual e a alteração da função dos nós apresentados no cenário base. Neste sentido, as mercadorias seguem de pontos de consolidação para os terminais de apoio e, destes últimos, para os varejistas, conforme se observa na FIG 7.5, detalhado a seguir.

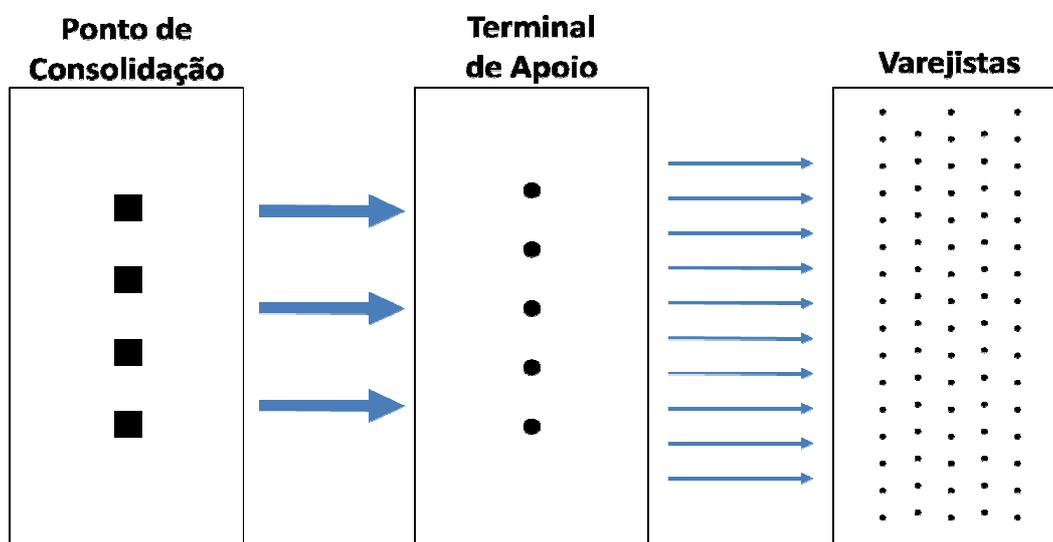


Figura 7.5: Rede de atendimento do cenário com pontos de consolidação

É importante mencionar que a estrutura proposta estipulou uma nova configuração para a distribuição das cargas no centro urbano. Nesta nova formatação, foram considerados os mesmos nós identificados na FIG 7.6, contudo, com uma nova função, ou seja, representando pontos de consolidação das cargas oriundas de cada uma das vias de entrada do município. Destaca-se que

Belo Horizonte possui quatro principais passagens de fluxos de cargas, conforme pode ser observado na Figura 19, representadas pelas BR-040 e BR-381, que formam a estrutura de entrada e saída de mercadorias na região analisada. Estas rodovias são interligadas pelo Anel Rodoviário por onde trafegam cerca de 100 mil veículos em um trecho de, aproximadamente, 27 quilômetros (BHTRANS, 2010).

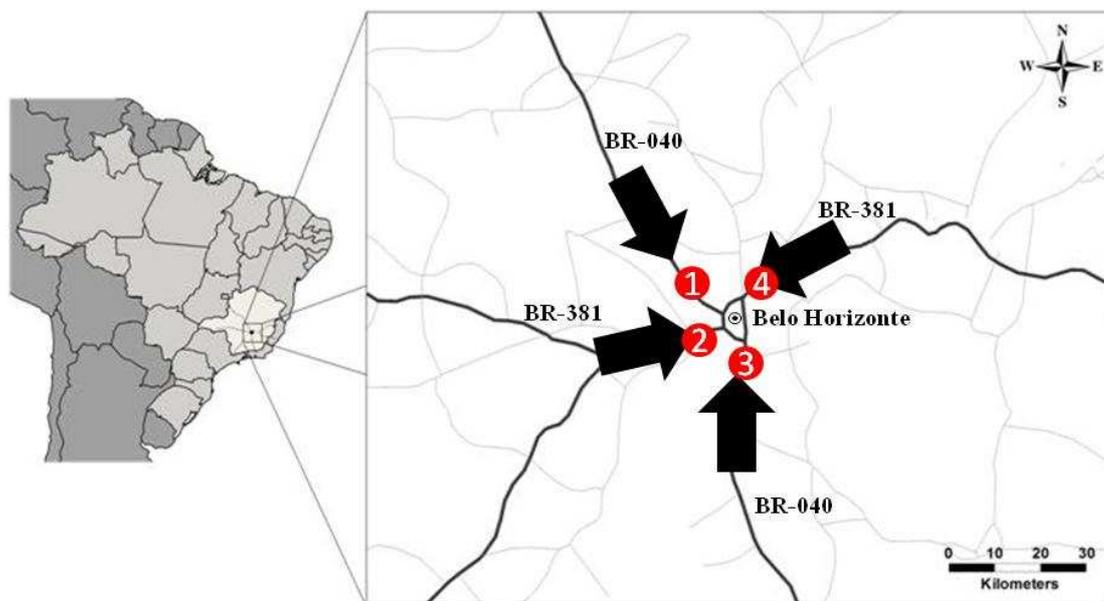


Figura 7.6: Principais entradas de cargas na cidade de Belo Horizonte (MG)

Após a identificação dos fluxos de entrada e saída de produtos, analisou-se a influência destes na região de estudo por meio da Pesquisa Domiciliar de Origem e Destino (Pesquisa OD), realizada nos anos 2001 e 2002 pela Fundação João Pinheiro (2003) na região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) com intuito de determinar o nível de atendimento da demanda de cada ponto de consolidação. Essa influência foi medida pela quantidade de veículos de carga que passaram por cada fluxo de entrada de mercadorias e que tiveram como destino a região analisada. De acordo com a Pesquisa OD, constatou-se que 59%, 12%, 8% e 21% foram provenientes, respectivamente, dos pontos 2, 4, 1 e 3. Estes valores foram utilizados para definir a porcentagem da demanda estimada dos varejistas que cada um dos pontos de consolidação atenderia. Neste sentido, os pontos 2, 4, 1 e 3, atenderam, respectivamente, 59%, 12%, 8% e 21% dos pedidos realizados pelos varejistas.

Os pontos identificados na Figura 19 representam:

- BR 381 (ponto 2): entrada de veículos vindos do sul do estado e do país, como sul de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, etc.;
- BR 381 (ponto 4): acesso de veículos originados, principalmente, do leste de Minas Gerais e Espírito Santo;

- BR 040 (ponto 1): ingresso de veículos provenientes, essencialmente, do norte do estado e da região centro-oeste do país;
- BR 040 (ponto 3): chegada de veículos procedentes, sobretudo, da zona da mata mineira e do Rio de Janeiro.

É importante destacar que os pontos 2, 4 e 1 foram representados pelos mesmos nós do cenário base uma vez que estas regiões já possuíam uma importante concentração de atividades logísticas conforme levantamento realizado. Contudo, a função destes nós nesta formatação proposta foi modificada passando de centros de distribuição das empresas (cenário base) para pontos de consolidação de cargas (cenário proposto) que eram responsáveis pela agregação de todas as mercadorias oriundas das regiões especificadas e com destino a região analisada. Nota-se que o ponto 3 foi adicionado à rede logística do modelo de CDU mas não foi considerado uma região relevante na configuração base apresentada em função do baixo número de empresas instaladas. A motivação para a inclusão deste ponto se deu em virtude da análise da Pesquisa OD onde se verificou que existe um importante fluxo de veículos de carga (21%) passando por esta localidade e tendo a região analisada como destino.

Vale frisar que a Pesquisa OD utilizada neste trabalho é o estudo mais recente sobre a movimentação de veículos na RMBH, fato que talvez não retrate com exatidão apurada a realidade atual do município. Contudo, destaca-se que as proporções definidas para a origem das cargas possuem certa relação com a magnitude do Produto Interno Bruto (PIB) das regiões que elas representam. Neste sentido, o nível de importância de cada uma das regiões, que pode ser refletida pelo tamanho do seu PIB, não teve alterações significativas ao longo destes anos que justificasse, por exemplo, que os pontos 2 ou 3 perdessem sua posição de destaque na origem do fluxo de mercadorias no modelo analisado neste trabalho.

A configuração apresentada neste cenário pode ser caracterizada por possuir dois níveis de agregação de cargas. O primeiro nível é representado pelos pontos de consolidação, responsáveis pelo agrupamento das cargas considerando toda a região analisada. Já o segundo nível é constituído pelos terminais de apoio que realizam a associação das cargas tendo em vista a sua região de cobertura dentro da região estudada, definida no estudo de localização. Neste trabalho, os pontos de consolidação são lugares fixos, conforme os nós determinados, ao passo que os terminais de apoio são instalações que foram estabelecidas de acordo com um número de locais candidatos e ainda foram objeto de variações em sua configuração como será demonstrado no estudo de localização realizado.

A configuração apresentada nesta seção teve como finalidade apresentar uma nova formatação para a distribuição de cargas na região analisada com a introdução de dois níveis de

consolidação de cargas motivados pela análise dos fluxos de entrega de veículos. Nesta formatação, buscou-se uma melhor organização dos processos logísticos da cidade com intuito de analisar o comportamento dos custos econômicos e ambientais definidos e, conseqüentemente, verificar a sua contribuição para a mitigação das externalidades do transporte urbano de mercadorias.

#### 7.4.2.2 Configuração híbrida (cenário 3)

Conforme anteriormente destacado, foram definidos dois cenários: o primeiro objetivando retratar a atual configuração da distribuição de cargas no município e, o segundo, com intuito de propor uma nova formatação para as operações logísticas da cidade. O cenário apresentado nesta seção visa compor elementos das duas estruturas anteriormente relatadas, conforme pode ser observado na FIG 7.7.

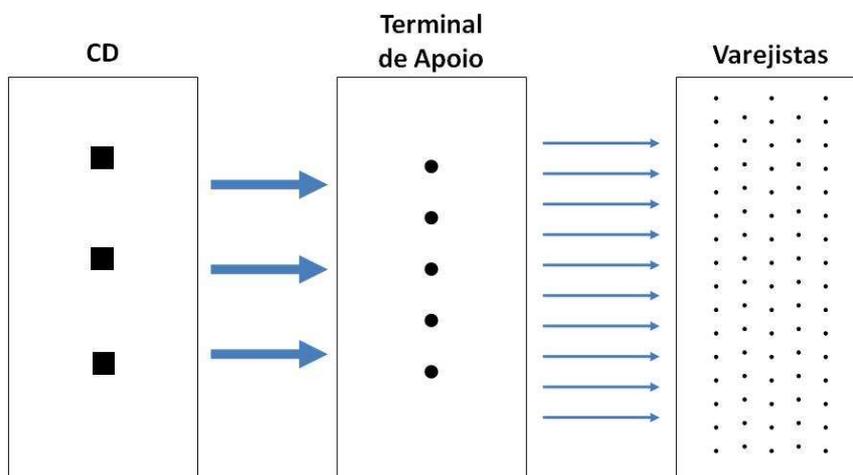


Figura 7.7: Rede de atendimento do cenário híbrido

Na configuração híbrida, o fluxo de mercadorias segue dos centros de distribuição das empresas mencionadas no cenário base em direção aos terminais de apoio que consolida as cargas de sua região de cobertura, definidas pelo estudo de localização, para a entrega aos varejistas. Neste sentido, foi inserido um nível de instalações para agregação de cargas ao invés da entrega direta aos varejistas, conforme era realizada no cenário base. No entanto, estes centros de distribuição recebem produtos de diversas localidades, ou seja, não têm a função de agrupar as cargas de determinadas regiões, como os pontos de consolidação anteriormente relatados. Assim, o atual fluxo de entrada de mercadoria não sofreu alterações.

Vale mencionar que foi utilizado o mesmo critério no que se refere à alocação do atendimento da demanda entre os centros de distribuição, isto é, os pontos 1, 2 e 3, conforme Figura 17, foram responsáveis por servir, respectivamente, 72%, 10% e 18% de toda as entregas para os varejistas. Destaca-se que foi realizado um estudo de localização para os terminais de apoio e

realizadas variações em relação à quantidade destas instalações conforme a metodologia proposta. Este cenário objetivou identificar a influência da consolidação de cargas realizada nos terminais de apoio sobre os parâmetros econômicos e ambientais contribuindo para demonstrar a importância deste tipo de instalação para a mitigação das externalidades negativas da distribuição de cargas no centro urbano de Belo Horizonte.

## **7.5 Estudo de localização e roteirização**

Neste item, será apresentado o estudo de localização que determinou o posicionamento dos terminais de apoio nos cenários propostos e o estudo de roteirização para todos os cenários analisados neste trabalho.

### **7.5.1 Configuração da rede**

A configuração da rede constitui-se como o primeiro aspecto em um estudo de localização e roteirização usando o TRANSCAD. Neste trabalho, a rede foi configurada de acordo com os cenários propostos que consideraram aspectos diferentes em relação à origem do fluxo de materiais, a transferência de cargas e a adesão dos clientes.

Nos cenários 1 e 2, a origem do fluxo de produtos foi determinada pelos pontos representados pelos centros de distribuição das empresas. Já no cenário 3, a origem do fluxo foi definida pelos pontos de consolidação.

Nos cenários 2 e 3 a rede era composta pelos terminais de apoio, diferentemente do cenário base que não possuía esta estrutura de transferência de cargas. Em todos os cenários, foram realizadas variações na quantidade de varejistas, o que modificou a demanda dos clientes atendidos pelo modelo de CDU nas configurações híbrida, base e de pontos de consolidação. Assim, para cada variação dos cenários apresentados, foi configurada uma rede específica que fundamentou os estudos de localização e roteirização e, conseqüentemente, as análises realizadas.

A FIG 7.8 apresenta a árvore de decisão que orientou a formatação da configuração de cada rede. Observa-se que a rede foi influenciada pela variação de três componentes, conforme ressaltado anteriormente, ou seja, cenário, número de terminais de apoio e demanda dos clientes. Para exemplificar, uma rede foi composta pelo cenário base e uma rede representada por 100% dos clientes; em outro caso, foi formatada uma rede para o cenário com pontos de consolidação considerando 1 terminal de apoio e uma rede de atendimento composta por 47% dos clientes

analisados. Desta forma, neste trabalho foram configuradas 44 redes que serviram de base para os estudos de localização e roteirização e para as análises dos parâmetros econômicos e ambientais.

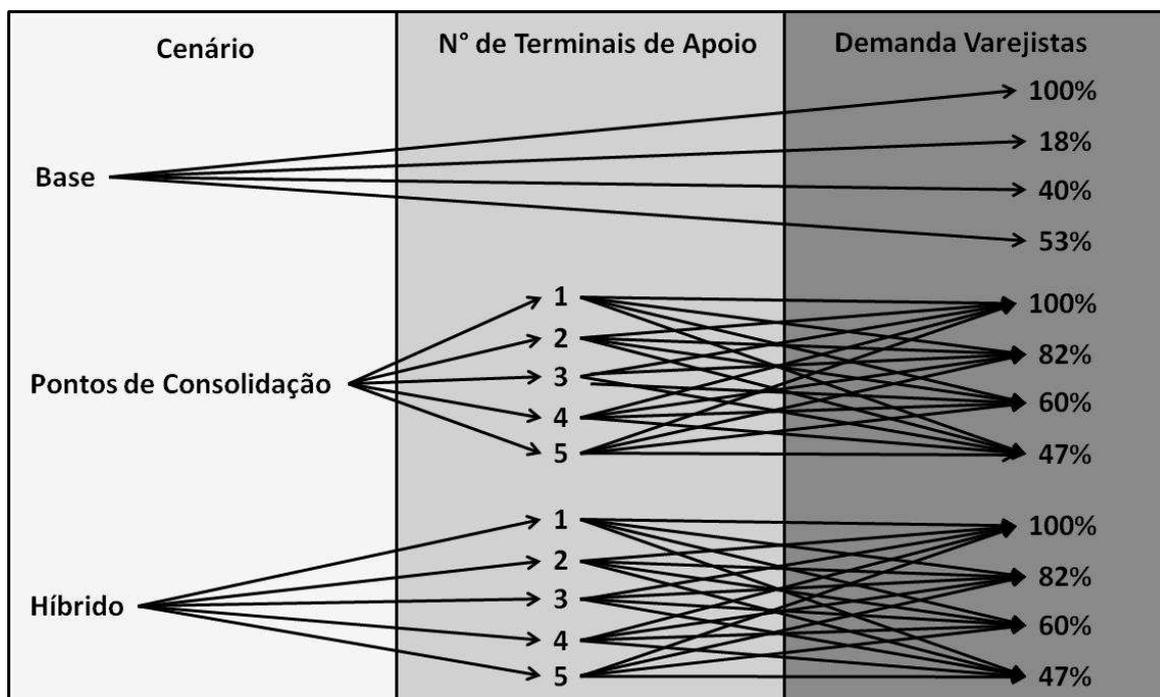


Figura 7.8: Árvore de decisão para o escopo das configurações da rede

Após a definição do escopo das redes, foi realizada a inserção dos nós, compostos pelos centros de distribuição das empresas, pontos de consolidação, varejistas e terminais de apoio. Os dois primeiros foram constituídos por pontos fixos posicionados seguindo as determinações de localização descritas na seção 6.5. Já a determinação da localização dos dois últimos foi realizada de acordo com o cadastro de imóveis da cidade.

Em relação aos varejistas, o cadastro de imóveis da região estudada aponta a existência de 13.730 estabelecimentos comerciais, incluindo bares, restaurantes, lojas de vestuário e de calçados, entre outros (PBH, 2010). Este trabalho considerou empresas com uma área total entre 20 e 500 m<sup>2</sup>, perfil observado através da pesquisa de preferência declarada e a observação visual dos empreendimentos da região, totalizando 3.787 pontos de demanda para a rede do TRANSCAD. É importante mencionar que a variação da adesão dos varejistas refere-se à probabilidade de escolha de cada um deles em relação à participação no modelo de CDU. A inserção dos varejistas na rede do TRANSCAD dos cenários com 82%, 60% e 47% foi feita de maneira aleatória, respeitando cada nível de adesão.

No que se refere aos terminais de apoio, o cadastro apontou a existência de 2.130 galpões, que foram segmentados de acordo com a área do terreno utilizada. Nesta pesquisa foram considerados empreendimentos com área total entre 1.000 e 10.000 m<sup>2</sup>, dimensão considerada

interessante para um terminal de apoio, totalizando, assim, 269 pontos. Vale destacar que todos os pontos identificados já possuem alguma destinação comercial, industrial ou de prestação de serviços e existe uma escassez de terrenos vazios na região analisada por se tratar de uma área de elevado contingente populacional e alto custo da terra. A população pode ter resistência em relação à mudança de atividade de alguns tipos de empreendimentos como, por exemplo, o caso de igrejas, quadras e clubes esportivos e escolas. Assim, foram excluídos (da amostra inicial de 269 pontos) os imóveis que tinham destinação de grande interesse público. Após esse refinamento, determinou-se 146 pontos candidatos na rede, que constituiu a base para o estudo de localização dos terminais de apoio.

Após a alocação dos nós na rede, foi necessário determinar a demanda dos varejistas e a quantidade de produtos que partiria da origem de cada fluxo de materiais, ou seja, a proporção da demanda dos clientes atendidos pelos nós representativos dos pontos de consolidação e os centros de distribuição das empresas.

O método para o cálculo da demanda dos varejistas baseou-se nos dados da pesquisa de preferência declarada (PD), utilizada também no modelo de adesão, e a distribuição espacial do comércio de acordo com a lista telefônica da região analisada. Primeiramente, estipulou-se o volume mensal de entregas por tipo de estabelecimento baseando-se na PD. Os tipos de estabelecimentos identificados nesta pesquisa foram classificados como alimentício (açougue, supermercado e lojas de conveniência), vestuário (lojas de calçados, confecções, tecidos e roupas) e outros (produtos para animais, bancas de jornais, eletrodomésticos e informática). Este volume foi calculado de acordo com os dados da frequência diária de entregas, número de entregas em cada dia de recebimento de pedidos e quantidade de caixas entregues no processo de descarga de mercadorias para cada tipo de comércio analisado. A TAB 7.2 mostra os valores médios que fundamentaram estes cálculos.

Tabela 7.2: Valores médios da base de cálculo da demanda dos varejistas

<b>Tipo de Comércio</b>	<b>Frequência</b>	<b>Número de Entregas</b>	<b>Quantidade de Caixas</b>	<b>Volume Médio (Mês)</b>
Alimentício	0,73	2	2,5	69
Vestuário	0,21	1,87	2	33
Outros	0,60	1,55	2,09	20

No passo seguinte deste método, foi determinada a quantidade total de pontos comerciais entre 50 e 500 m<sup>2</sup> seguindo dados do cadastro de IPTU do município. Em seguida, verificou-se a proporção dos tipos dos estabelecimentos comerciais de acordo com um levantamento na lista telefônica da região analisada. A TAB 7.3 mostra a quantificação total e relativa do comércio por tipo de comércio e região.

Tabela 7.3: Quantificação dos varejistas por tipo de comércio

Região	Alimentício		Vestuário (%)		Outros (%)		Total
	Relativa	Total	Relativa	Total	Relativa	Total	
Centro	6%	68	54%	614	40%	456	1.138
Floresta	7%	13	18%	33	75%	139	185
Funcionários	2%	5	71%	170	27%	65	240
Savassi	2%	15	71%	516	27%	196	727
Lourdes	2%	9	68%	301	30%	132	442
Santa Efigênia	4%	14	54%	184	42%	144	342
Santo Agostinho	2%	5	65%	151	33%	77	233
Barro Preto	2%	9	80%	367	18%	83	459

Por fim, de acordo com o volume médio mensal, mostrado na Tabela 5, e a proporção de cada tipo de estabelecimento nas regiões analisadas, conforme Tabela 6, foi calculada a demanda diária por tipo de empreendimento e por região, dividindo-se a demanda mensal pelo número de dias operacionais em um mês (esta pesquisa considerou 22 dias) totalizando 4.507 caixas entregues por dia. Estes valores foram inseridos na rede (*network*) do TRANSCAD. A FIG 7.9 apresenta a distribuição da demanda por bairro e por tipo de negócio.

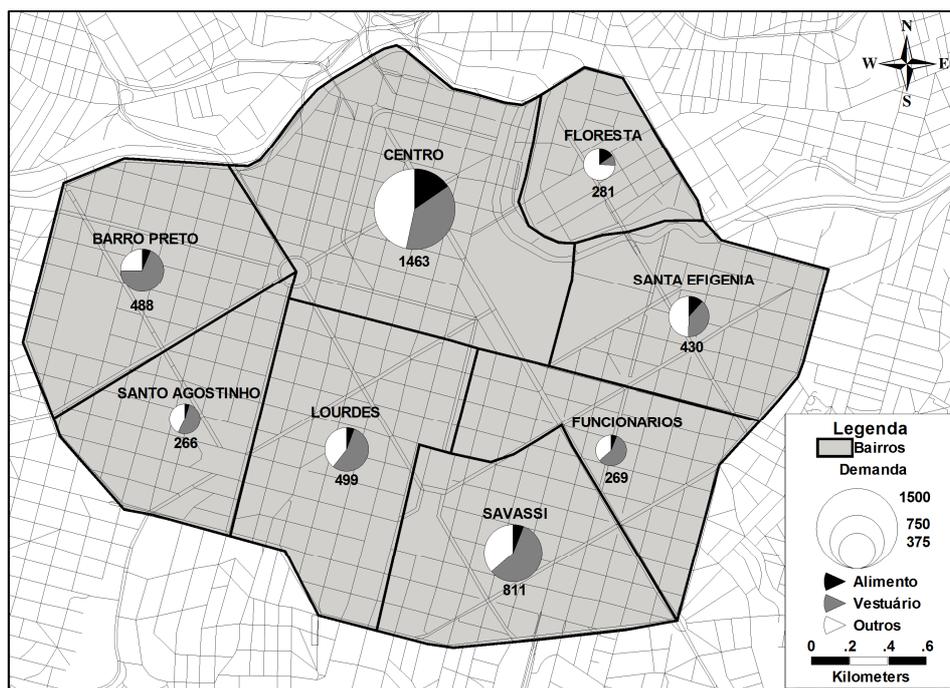


Figura 7.9: Distribuição da demanda por bairro e por tipo de comércio

Conforme anteriormente mencionado, a adesão dos varejistas refere-se à probabilidade de escolha de cada um tendo em vista a participação no modelo de CDU. É importante destacar que a demanda total dos clientes do cenário com 82% de adesão, por exemplo, não necessariamente é representada por 82% da quantidade total dos produtos, uma vez que cada nó possui características distintas em relação à sua demanda, determinada de acordo com o tipo de empreendimento. A

demanda dos varejistas por cenários de adesão foi de: 4.507 para 100% de adesão, 3.550 para 82% adesão, 2.592 para 60% de adesão e, por fim, 2.061 para 47% de adesão.

Já o método para o cálculo da quantidade de produtos que partiria dos nós definidos como pontos de consolidação e centros de distribuição seguiu as considerações mencionadas na seção 6.5 (Análise de Cenários) tendo como referência também a demanda total dos varejistas, descrita anteriormente.

A TAB 7.4 apresenta a demanda atendida pelos pontos de consolidação para cada nível de adesão dos varejistas. Os pontos 1 a 4 representam os nós, definidos na descrição deste cenário (realizada no item 6.4.2.1).

Tabela 7.4: Demanda atendida pelos pontos de consolidação

Ponto de Consolidação	Proporção de Varejistas	Variação da adesão dos varejistas			
		100%	82%	60%	47%
1	8%	360	284	207	165
2	59%	2660	2094	1531	1216
3	21%	946	746	544	433
4	12%	541	426	310	165
Total	100%	4507	3550	2592	2061

A TAB 7.5 apresenta a demanda atendida pelos centros de distribuição do cenário híbrido para cada nível de adesão dos varejistas. Os pontos 1 a 3 representam os nós definidos na descrição deste cenário realizada no item 6.4.2.2.

Tabela 7.5: Demanda atendida pelos centros de distribuição do cenário híbrido

Híbrido	Proporção de Varejistas	Variação da adesão dos varejistas			
		100%	82%	60%	47%
1	72%	3245	2556	1866	1484
2	10%	451	355	259	206
3	18%	811	639	467	371
Total	100%	4507	3550	2592	2061

A TAB 7.6 apresenta a demanda atendida pelos centros de distribuição do cenário base para cada nível de adesão dos varejistas. Os pontos 1 a 3 representam os nós definidos na descrição deste cenário realizada no item 6.4.1. É importante destacar que a adesão dos varejistas para este cenário é um valor complementar à adesão dos cenários anteriores. Isto significa que a demanda de todos os varejistas foi atendida nas simulações realizadas, mesmo nos cenários em que a adesão ao CDU foi inferior a 100%. Neste caso, os varejistas tiveram sua demanda atendida pela configuração definida no cenário base.

Tabela 7.6: Demanda atendida pelos centros de distribuição do cenário base

Base	Proporção de Varejistas	Variação da adesão dos varejistas			
		100%	18%	40%	53%
1	72%	3245	689	1379	1761
2	10%	451	96	191	245
3	18%	811	172	345	440
Total	100%	4507	957	1915	2446

### 7.5.2 Resultados do estudo de localização e roteirização

Na estrutura proposta para o cenário com pontos de consolidação, as cargas partem destes nós da rede logística em direção aos terminais de apoio. Cada um dos terminais consolida as cargas originárias dos pontos de consolidação para realizar a entrega das mercadorias em sua região de atuação. Este mesmo processo é realizado no cenário híbrido; contudo as cargas se originam nos centros de distribuição, são transferidas aos terminais de apoio e, finalmente, entregues aos varejistas. Nestas estruturas, os pontos de consolidação e os centros de distribuição possuem uma posição previamente definida, conforme descrito na análise de cenários (seção 6.4). Os varejistas também têm uma localização fixa, variando a quantidade atendida pelo modelo de CDU e pelo modelo atual. Já a posição dos terminais foi objeto do estudo de localização realizado neste trabalho, visto que ela poderia variar em função da rede logística definida em cada rede configurada.

O estudo de localização dos terminais de apoio teve como intuito determinar os melhores pontos dentre um conjunto de nós candidatos selecionado de acordo com a disponibilidade de facilidades que poderiam atender ao modelo proposto em torno da Avenida do Contorno. Para isso, foi utilizada a ferramenta de minimização do custo médio de serviço do TRANSCAD. Nesta ferramenta, foram realizadas simulações para diferentes números de terminais de apoio, partindo da escolha de 8 até 1 facilidade, objetivando verificar a sensibilidade da quantidade de terminais em relação aos parâmetros econômicos e ambientais avaliados.

Concomitante ao estudo de localização, foi realizado um estudo de roteirização, que utilizou uma jornada de trabalho de 8 horas para os veículos envolvidos nos dois níveis, sendo que o primeiro nível foi representado pelo deslocamento das mercadorias dos pontos de consolidação para os terminais de apoio e o segundo nível foi constituído pela movimentação dos produtos dos terminais de apoio até os varejistas. Vale mencionar que a capacidade da frota utilizada no primeiro nível foi de 45 m<sup>3</sup>, volume médio de um veículo truck e, no segundo nível, foi de 12 m<sup>3</sup>, volume médio de um veículo urbano de carga consoante com a simulação feita no cenário base.

É importante mencionar que a versão 5 do TRANSCAD limita-se em determinar um veículo para cada rota criada na ferramenta de roteirização, levando a um dimensionamento de uma frota ociosa devido à subutilização dos equipamentos. Para sanar este problema, foi feito um estudo para a alocação ótima dos veículos às rotas criadas pelo TRANSCAD de acordo com o modelo matemático definido na metodologia. Destaca-se que a maioria das soluções do problema de alocação das rotas foi obtida em um baixo tempo computacional, isto é, menos de 60 segundos, com a utilização de um processador Intel Dual-Core e uma memória RAM de 3 GB. Constatou-se que alguns varejistas não haviam sido alocados a nenhuma rota em virtude de suas demandas serem superiores à capacidade do veículo. Tendo em vista esta limitação do TRANSCAD, a demanda destes varejistas foi dividida em vários pontos na rede de forma que cada um destes não ultrapassasse a carga máxima do veículo para a total alocação dos clientes às rotas determinadas pelo *software*.

Vale destacar que a demanda do terminal de apoio foi representada pela soma da demanda dos varejistas por ele atendidos, calculada com base na roteirização do segundo nível da rede logística do CDU. Assim, cada terminal de apoio possuía uma área de cobertura, conforme pode ser observado nas Figuras 26, 27, 28, 29 e 30. Esta demanda era atendida pelos quatro pontos de consolidação criados no modelo de CDU proposto, respeitando o percentual de produtos oriundo de cada ponto de acordo com a análise da Pesquisa OD mencionada anteriormente.

Verificou-se que entre 5 a 8 terminais de apoio, a variação nos parâmetros observados foi ínfima, sendo de, aproximadamente, 2%. Considerando, por exemplo, a distância percorrida em um cenário com pontos de consolidação e 100% de adesão dos varejistas, para 8 terminais este parâmetro foi de 1654 Km, para 7 terminais foi de 1691 Km, para 6 terminais foi de 1673 Km e 1673 para 5 terminais, representando uma variação média de apenas 1,36%. Tendo em vista estes resultados, verificou-se a convergência para uma quantidade máxima de cinco terminais de apoio uma vez que um número superior a este culmina no aumento da complexidade do modelo, além de elevar o seu custo de implantação sem uma contrapartida relevante em relação à redução dos impactos ambientais, aspecto fundamental na implementação do modelo de CDU. Desta forma, os cenários propostos para análise contaram com a escolha de 5, 4, 3, 2, e 1 terminal de apoio, contemplando a metodologia proposta e também subsidiando a estrutura da árvore de decisão mostrada na Figura 21.

A FIG 7.10 apresenta a rede do TRANSCAD que constitui a configuração do estudo de localização e roteirização para o cenário proposto com os pontos de consolidação. Nela, observa-se o posicionamento dos nós que representaram os pontos de consolidação, os nós dos locais candidatos e escolhidos para os terminais de apoio, além dos nós dos varejistas considerados na área



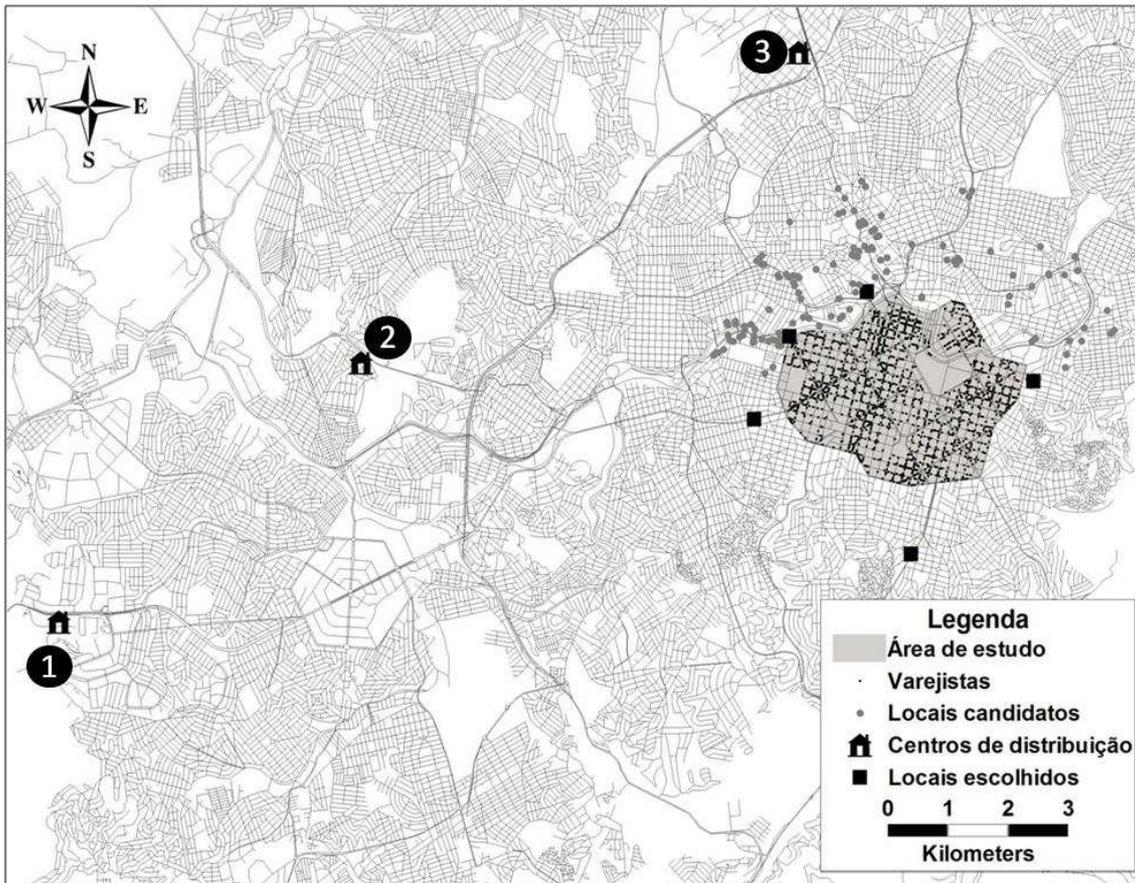


Figura 7.11: Rede do cenário híbrido

A FIG 7.12 apresenta a rede do TRANSCAD que constitui a configuração do estudo de localização e roteirização para o cenário base. Nela, observa-se o posicionamento dos nós que representaram os centros de distribuição das empresas e os nós dos varejistas considerados na área de estudo desta pesquisa. Os números 1, 2, e 3 referem-se aos pontos definidos na descrição desse cenário.

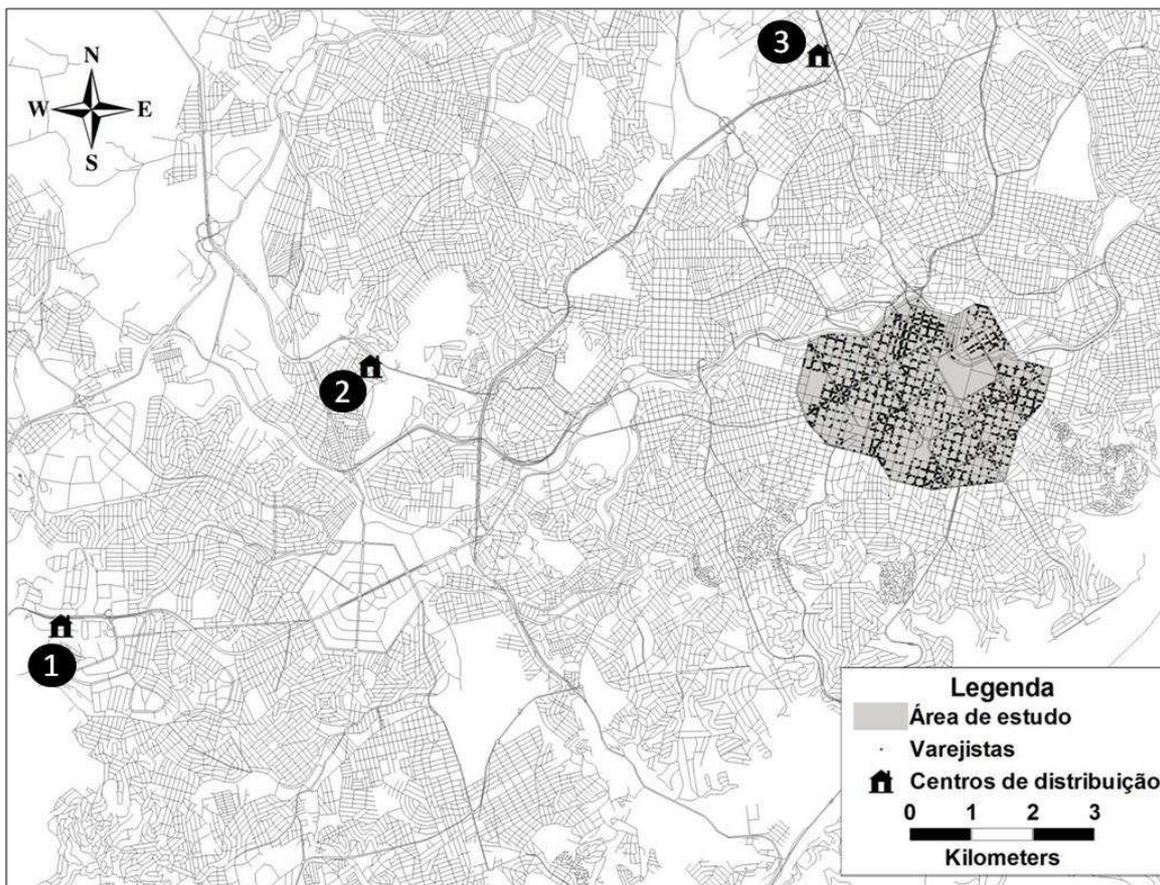


Figura 7.12: Rede do cenário base

Seguindo a metodologia proposta, para cada cenário de adesão dos clientes, foram realizadas variações na configuração da rede logística do modelo de CDU partindo da escolha de 5 até 1 terminal de apoio tendo em vista as estruturas dos cenários propostos. As FIGS 7.13, 7.14, 7.15, 7.16 e 7.17 apresentam a localização dos terminais escolhidos tendo em vista as variações realizadas. A FIG 7.17, além da localização, mostra também a região de cobertura dos terminais de apoio. Estes cenários totalizaram 41 situações possíveis para o caso analisado com diferentes valores para os parâmetros econômicos e ambientais avaliados.

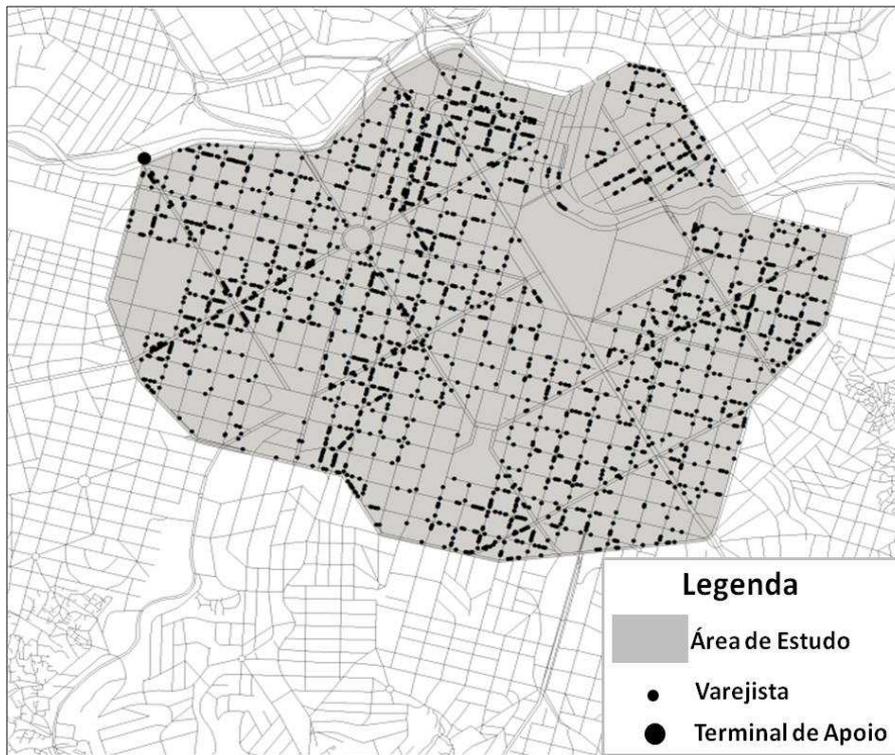


Figura 7.13: Resultado do estudo de localização para um terminal de apoio

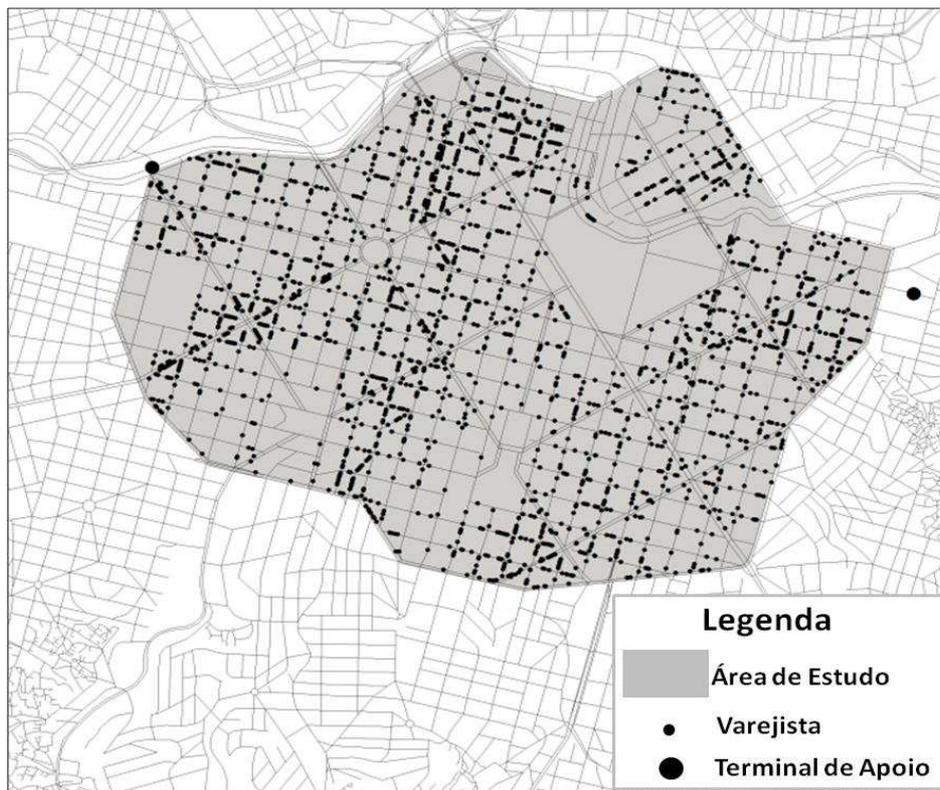


Figura 7.14: Resultado do estudo de localização para dois terminais de apoio

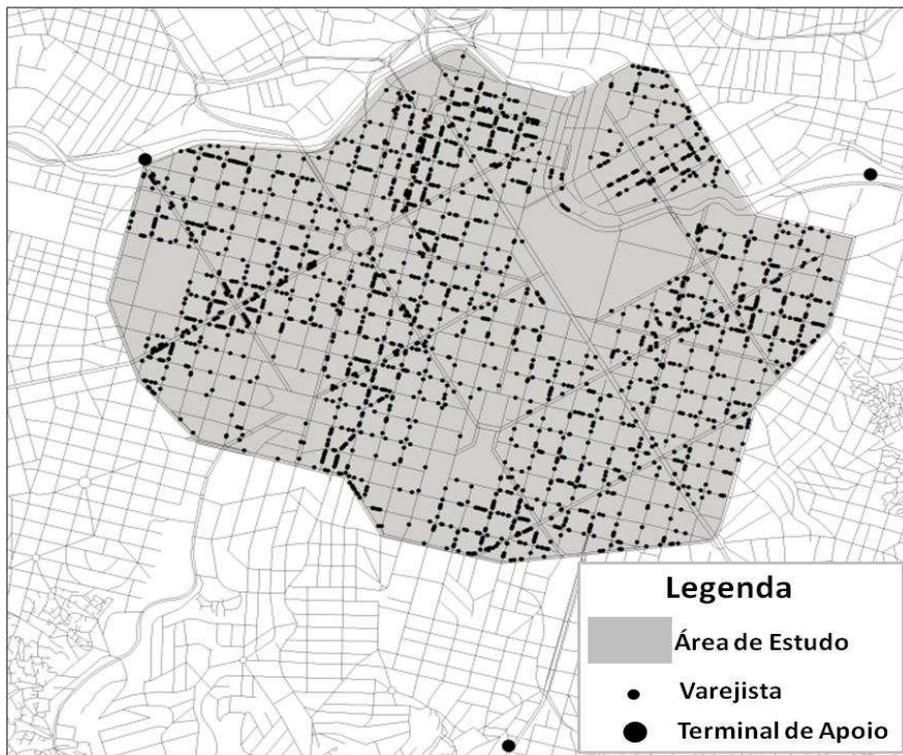


Figura 7.15: Resultado do estudo de localização para três terminais de apoio

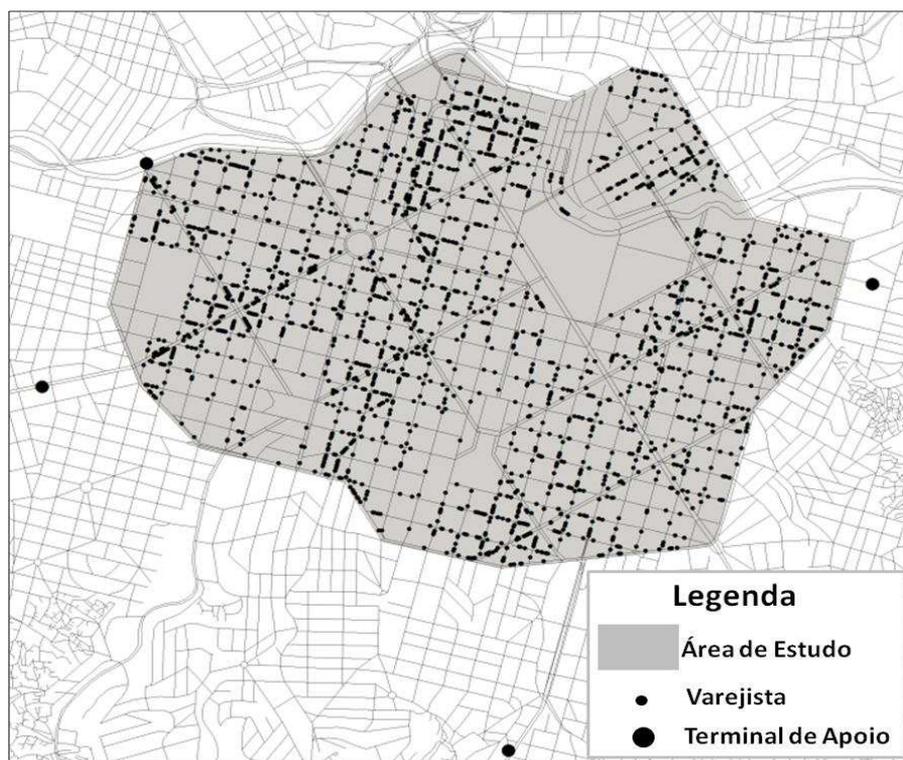


Figura 7.16: Resultado do estudo de localização para quatro terminais de apoio

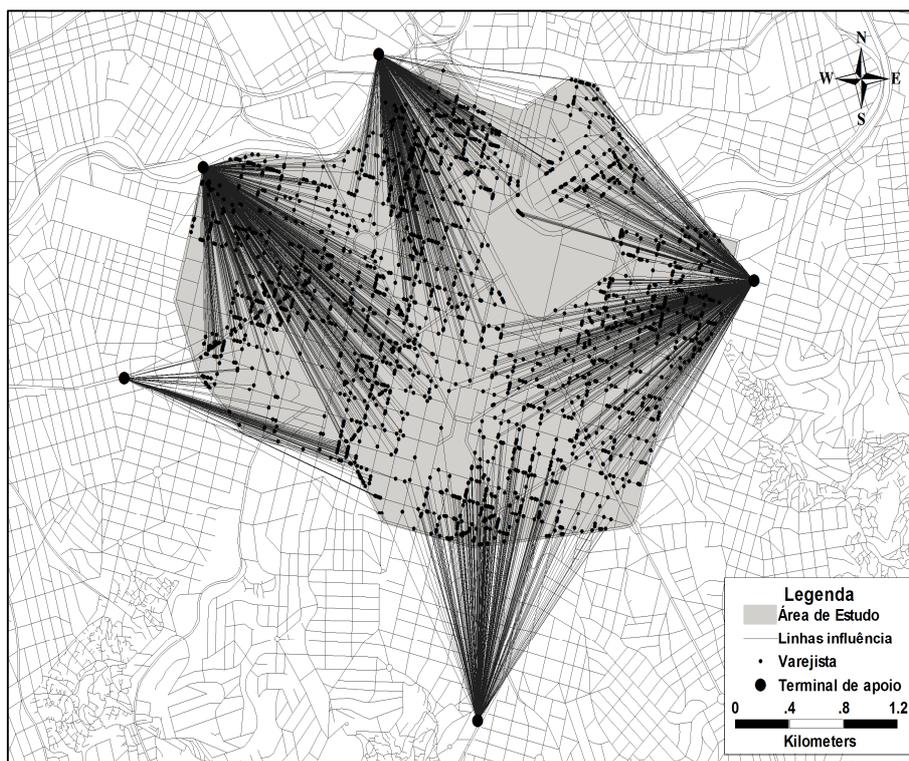


Figura 7.17: Resultado do estudo de localização para cinco terminais de apoio

Vale destacar que em todos os cenários a demanda dos clientes foi totalmente atendida, mesmo quando considerados níveis de adesão diferentes de 100%. Neste sentido, presumindo o cenário com 82% de adesão dos varejistas, por exemplo, o modelo de CDU foi responsável pelo atendimento de 82% da movimentação de mercadorias para a região analisada, já os 18% restantes foram atendidos pela estrutura atual de distribuição de cargas do município em que os veículos partem das três regiões apresentadas no cenário base, realizando a entrega em veículos de menor porte, para os varejistas não atendidos pelo modelo de CDU.

Ressalta-se ainda que, conforme mencionado, a variação realizada nos cenários, refere-se ao número de varejistas que aderem ao sistema proposto e não à demanda atendida. Desta forma, um cenário com 60% de adesão pode ter uma demanda atendida superior ou inferior a este valor já que ela não foi distribuída de forma homogênea entre os varejistas, ou seja, respeitou à demanda do tipo de comércio, calculada seguindo a pesquisa de preferência declarada realizada para o modelo de adesão.

No próximo item, serão apresentados os resultados da avaliação econômica e ambiental proposta nesta pesquisa.

## 7.6 Avaliação econômica e ambiental

Neste tópico, serão evidenciados a metodologia de cálculo dos parâmetros econômicos e ambientais propostos e os resultados da avaliação realizada para os cenários analisados neste trabalho. Em seguida, será avaliada a influência da estrutura de atendimento e da adesão dos varejistas nos parâmetros econômicos e ambientais propostos visando identificar como as variações estruturais e da demanda alteram o desempenho do modelo proposto. Por fim, será feito o detalhamento dos cálculos para as duas camadas de atendimento para o melhor cenário identificado com intuito de analisar o comportamento dos parâmetros avaliados em cada uma delas de acordo com a variação do número de varejistas presentes no modelo proposto.

### 7.6.1 Metodologia de cálculo dos parâmetros econômicos e ambientais

Neste trabalho, foram realizados quatro tipos de estudos de roteirização seguindo a estrutura dos cenários analisados. O primeiro tipo refere-se ao fluxo de produtos dos centros de distribuição até os varejistas. O segundo e o terceiro remetem-se, respectivamente, ao fluxo de produtos dos pontos de consolidação e dos centros de distribuição até os terminais de apoio. Já o quarto e último reporta-se à transferência das mercadorias dos terminais de apoio para o atendimento das demandas individuais dos varejistas. Os parâmetros econômicos e ambientais avaliados foram resultantes da quantificação destes itens em cada tipo de estudo de roteirização realizado.

O cálculo dos parâmetros econômicos e ambientais foi feito de acordo com o relatório “*Itinerary Report*” do estudo de roteirização do TRANSCAD, que teve como base os tipos de estudos de roteirização realizados. Este relatório contém as informações das rotas criadas pelo *software* como o tipo de veículo utilizado, a distância percorrida total e entre paradas, o volume total transportado e a demanda atendida de cada cliente, o tempo total da rota e o tempo decorrido em cada parada.

A FIG 7.18 mostra a configuração do relatório “*Itinerary Report*” e serviu de base para a descrição da metodologia de cálculo dos parâmetros econômicos e ambientais apresentados a seguir.

Itinerary Report				
Route# : 1		Tot Time: 1:09	Capacity : 12.0	
Veh. Type: 2		Tot Dist: 5.9	Depart Load: 11.5	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
-----				
	-2147483647	0:00am		
1	0	0:02am- 0:14am	2.4	1.3
2	0	0:14am- 0:25am	0.2	1.3
3	0	0:26am- 0:37am	0.0	1.3
4	0	0:38am- 0:54am	0.5	6.4
5	0	0:55am- 1:06am	0.2	1.3
	END -2147483647	1:09am		2.3
-----				
Total			5.9	11.5

Figura 7.18: Relatório de rotas do TRANSCAD

A metodologia para cálculo dos parâmetros econômicos consistiu-se das seguintes etapas:

- Número de veículos: calculado de acordo com o modelo desenvolvido para alocação das rotas, mencionado no item 5.3.1.3 deste trabalho. Este modelo otimizou a quantidade de rotas em cada veículo de acordo com o tempo de trabalho da tripulação dos caminhões (8 horas) e a duração das rotas (“*Tot Time*”);
- Distância total: definido pelo somatório da distância total do percurso realizados pelos veículos, identificado campo “*Tot Dist*”;
- Tempo total: determinado pelo somatório dos tempos consumidos em cada entrega e dos deslocamentos entre varejistas e destes até a origem, que variou em função do tipo de estudo realizado, determinado pelo campo “*Tot Time*”;
- Ocupação da frota: resultante da média da razão entre a carga transportada em cada rota e a capacidade de carga do veículo utilizado. A carga transportada e a capacidade de carga do veículo são representadas, respectivamente, pelos campos “*Depart Load*” e “*Capacity*”;
- Número de rotas: representado pelo somatório das rotas criadas pelo TRANSCAD, cada uma delas é representada por um número no item “*Route #*”;
- Utilização da frota: estabelecido pela razão entre o tempo total de viagem e o tempo potencial de utilização dos caminhões. O tempo potencial de utilização foi calculado pela multiplicação da quantidade total de veículos pelo seu tempo total de trabalho que, conforme anteriormente descrito, foi de 8 horas.

A metodologia para cálculo dos parâmetros ambientais foi composta pelas seguintes análises:

– Consumo de combustível: determinado pela razão entre a distância total de cada rota (“Tot Dist”) e o fator médio de consumo de cada tipo de veículo envolvido no modelo. Para os caminhões alocados na primeira camada, isto é, dos centros de distribuição ou pontos de consolidação até os terminais de apoio, foi utilizado um fator médio de consumo de 3 quilômetros por litro. Já na segunda camada, representada pela distribuição dos produtos dos terminais de apoio para os varejistas o fator médio de consumo dos veículos foi de 6 quilômetros por litro. Os valores dos fatores de consumo foram determinados por profissionais que atuam com gerenciamento de frota;

– Emissão de poluentes: definido de acordo com a ferramenta desenvolvida pelo Programa Brasileiro GHG Protocol o cálculo da emissão direta de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Esta ferramenta se baseia no consumo de combustível para determinação das emissões de CO<sub>2</sub> e emissões de CO<sub>2</sub> de biomassa da seguinte forma:

$$EC = \frac{CD \times 0,965 \times 2,68134633426855}{1000} \quad (7.1)$$

$$EB = \frac{((CD - CD \times 0,965 \times 2,68134633426855) \times 2,49906761794882)}{1000} \quad (7.2)$$

Em que:

EC = Emissões de CO<sub>2</sub>

EB = Emissão de CO<sub>2</sub> de biomassa

CD = Consumo de óleo diesel

O item a seguir apresenta os resultados da avaliação econômica e ambiental realizada neste trabalho, que foi fundamentada de acordo com a metodologia de cálculo anteriormente desenvolvida.

### 7.6.2 Resultados da avaliação econômica e ambiental

A TAB 7.7 mostra os resultados consolidados das simulações realizadas tendo em vista o cenário base. Este cenário apresentou os piores resultados dentre as configurações analisadas em virtude dos altos valores de seus parâmetros quando comparados às melhores estruturas dos cenários propostos. Neste sentido, em relação aos parâmetros econômicos como, por exemplo, a quantidade de veículos entrando na região analisada e a distância percorrida, os valores auferidos foram, respectivamente, cerca de 103% e 153% superiores aos índices obtidos pelas melhores estruturas dos outros cenários. Já no que se refere aos quesitos ambientais, os resultados do cenário

base são, aproximadamente, 54% maiores que os valores das estruturas de destaque dos cenários propostos.

Tabela 7.7: Resultados consolidados do cenário base

Cenários Analisados		Parâmetros							
		Econômicos						Ambientais	
Número de Terminais de Apoio	Percentual de Adesão	Número de Veículos	Distância Total (Km)	Tempo Total (h)	Ocupação da Frota	Número de Rotas	Utilização da Frota	Consumo de Combustível (l)	Emissão de Poluentes (ton)
-	100%	181	11.854	1.344	93%	399	93%	1.976	5,29

Nota: km = Quilômetro h = Hora l = Litros ton = Toneladas Métricas

A TAB 7.8 mostra o resumo da comparação percentual dos resultados do cenário base em relação às melhores estruturas dos cenários propostos. Destaca-se que a redução no número das rotas é um dado interessante quando acompanhado de outros índices, como o número de veículos, a distância percorrida e a ocupação da frota, podendo representar a produtividade da frota utilizada. Neste sentido, nas melhores estruturas foram alocadas uma menor quantidade de veículos, percorrida uma menor distância com uma quantidade menor de roteiros, transportando a mesma quantidade de carga, ou seja, houve ganhos de produtividade em relação a frota total utilizada.

Tabela 7.8: Comparação percentual dos resultados do cenário base

Cenários Propostos	Cenário Base (variação %)							
	Parâmetros Econômicos						Parâmetros Ambientais	
	Número de Veículos	Distância Total (Km)	Tempo Total (h)	Ocupação da Frota	Número de Rotas	Utilização da Frota	Consumo de Combustível (l)	Emissão de Poluentes (ton)
Pontos de Consolidação	105,7%	160,3%	109,9%	-0,7%	-21,3%	2,0%	59,4%	59,4%
Híbrido	103,4%	153,6%	108,7%	-0,9%	-21,1%	2,6%	54,4%	54,5%

Nota: km = Quilômetro h = Hora l = Litros ton = Toneladas Métricas

Nos resultados de ocupação da frota, apontados neste trabalho, foi considerado o melhor cenário para a cidade uma vez que foram explorados apenas dados da região analisada, ou seja, presumiu-se que as cargas dos veículos carregados eram destinadas somente para o centro urbano estudado, sem a realização de entregas fora desta região. A estratégia de distribuição de cargas das empresas geralmente considera que os veículos partem, por exemplo, de seus centros de distribuição, respeitando-se um roteiro previamente definido de entregas. Um dos problemas deste tipo de abordagem é que as rotas são otimizadas a partir da localização da origem do fluxo de mercadorias e não das cidades acarretando a entrada de veículos vazios em ambientes com elevado tráfego de veículos (ROOIJEN e QUAK, 2009). Neste trabalho considerou-se que todas as cargas tinham a região analisada como único destino, fato que contribuiu para o elevado índice da

ocupação da frota no cenário base. Na análise detalhada deste quesito (item 6.6.4.1.4) serão mencionadas outras particularidades sobre o seu cálculo.

A TAB 7.9 mostra os resultados consolidados das simulações realizadas para o cenário com pontos de consolidação. A coluna estrutura desta tabela refere-se a cada combinação feita entre a quantidade de terminais de apoio e o percentual de adesão dos varejistas. Neste sentido, foram avaliadas 20 configurações da rede logística de atendimento para esse cenário. É importante destacar que, em todos os resultados apresentados nessa tabela, considerou-se o atendimento de toda a demanda dos varejistas, ou seja, nas configurações com adesão inferior a 100%, por exemplo, uma estrutura com 82% de adesão, considerou-se que 82% dos varejistas seriam atendidos pelo modelo de CDU e os 18% restantes receberiam seus produtos pela forma atual de distribuição, que foi representada pelo cenário base. Desta forma, os resultados econômicos e ambientais apresentados nessa tabela referem-se ao impacto do CDU na distribuição urbana da região analisada em uma forma ampla e não somente uma avaliação isolada do modelo já que, em todas as estruturas, foram simulados e compilados os resultados tendo em vista o atendimento de todos os varejistas conforme a rede proposta.

Tabela 7.9: Resultados consolidados do cenário com pontos de consolidação

Cenários Analisados		Parâmetros								Estrutura
		Econômicos				Ambientais				
Número de Terminais de Apoio	Percentual de Adesão	Número de Veículos	Distância Total (Km)	Tempo Total (h)	Ocupação da Frota	Número de Rotas	Utilização da Frota	Consumo de Combustível (l)	Emissão de Poluentes (ton)	
1	47%	138	8.957	1.025	94%	446	93%	1.699	4,54	1
	60%	124	8.145	933	95%	454	94%	1.611	4,31	2
	82%	105	6.810	787	95%	478	94%	1.483	3,97	3
	100%	87	5.206	651	96%	495	94%	1.314	3,51	4
2	47%	137	8.811	1.023	94%	446	93%	1.692	4,53	5
	60%	125	7.962	931	95%	456	93%	1.608	4,30	6
	82%	105	6.538	784	95%	478	93%	1.468	3,93	7
	100%	86	4.859	644	96%	497	94%	1.289	3,45	8
3	47%	137	8.810	1.024	94%	447	93%	1.687	4,51	9
	60%	126	8.020	932	94%	459	92%	1.618	4,33	10
	82%	104	6.564	785	94%	481	94%	1.471	3,94	11
	100%	86	4.882	644	95%	500	94%	1.288	3,45	12
4	47%	143	8.771	1.024	94%	448	89%	1.686	4,51	13
	60%	126	7.911	932	94%	459	92%	1.597	4,27	14
	82%	105	6.420	782	94%	483	93%	1.445	3,86	15
	100%	86	4.735	644	95%	501	94%	1.266	3,39	16
5	47%	138	8.697	1.024	93%	451	93%	1.677	4,49	17
	60%	126	7.865	933	93%	464	93%	1.596	4,27	18
	82%	105	6.318	782	94%	485	93%	1.432	3,83	19
	100%	88	4.554	641	94%	507	91%	1.239	3,32	20

Nota: km = Quilômetro h = Hora l = Litros ton = Toneladas Métricas

Este cenário apresentou significativas reduções na maioria dos parâmetros avaliados comparados ao cenário base conforme observa-se na TAB 7.10. Esta tabela compara todos os valores dos quesitos econômicos e ambientais calculados do cenário base em relação ao cenário com pontos de consolidação. Neste sentido, os valores positivos desta tabela indicam a diminuição percentual do parâmetro avaliado do cenário base em relação à estrutura do cenário com pontos de consolidação, por exemplo, a estrutura com 1 terminal de apoio e 47% de adesão dos varejistas utilizou uma frota 31,2% menor que a empregada no cenário base. Já os valores negativos apontam o aumento percentual da estrutura analisada do cenário com pontos de consolidação em relação ao cenário base, por exemplo, a ocupação da frota do cenário base foi 0,9% inferior à mesma estrutura destacada anteriormente, ou seja, houve uma melhoria deste parâmetro na estrutura analisada comparado à configuração atual.

Analisando os melhores resultados para cada parâmetro avaliado de acordo com a relação entre o cenário base e o cenário com pontos de consolidação na TAB 7.10, verifica-se algumas estruturas que se destacaram. Em relação ao número de veículos, houve uma redução de 110,5% nas estruturas 8, 12 e 16. No que se refere à ocupação da frota, a estrutura 4 teve um desempenho interessante uma vez que o valor deste quesito é 3% superior ao cenário base. A utilização da frota para a estrutura 11 foi 1,6% inferior ao cenário analisado. Já a estrutura 20 apresentou o melhor desempenho para distância total (160,3%), o tempo total (109,9%), o número de rotas (21,3%), o consumo de combustível (59,4%) e a emissão de poluentes (59,4%) uma vez que seus valores foram percentualmente vantajosos comparados ao cenário base.

Analisando os resultados de todos os quesitos econômicos e ambientais avaliados para cada configuração proposta na Tabela 11, verifica-se que a estrutura 20 apresentou o melhor desempenho geral. Isto porque possui vários valores (62,5%) que se destacam entre os melhores resultados para o cenário com pontos de consolidação. Além disto, a diferença dos valores dos outros quesitos é ínfima comparada aos melhores resultados alcançados pelas outras configurações.

A TAB 7.11 mostra os resultados consolidados das simulações realizadas para o cenário híbrido. Esta tabela tem como referência as mesmas considerações feitas anteriormente para o cenário com pontos de consolidação em relação à estrutura, à demanda dos varejistas e aos resultados econômicos e ambientais apresentados.

Tabela 7.10: Avaliação comparativa dos resultados dos cenários base e com pontos de consolidação

Pontos de Consolidação		Cenário Base (variação %)									Estrutura
Número de Terminais de Apoio	Percentual de Adesão	Parâmetros Econômicos						Parâmetros Ambientais			
		Número de Veículos	Distância Total	Tempo Total	Ocupação da Frota	Número de Rotas	Utilização da Frota	Consumo de Combustível	Emissão de Poluentes		
1	47%	31,2%	32,3%	31,2%	-0,9%	-10,5%	0,0%	16,3%	16,3%	1	
	60%	46,0%	45,5%	44,1%	-2,0%	-12,1%	-1,3%	22,6%	22,6%	2	
	82%	72,4%	74,1%	70,7%	-1,8%	-16,5%	-1,0%	33,2%	33,2%	3	
	100%	108,0%	127,7%	106,4%	-3,0%	-19,4%	-0,8%	50,4%	50,4%	4	
2	47%	32,1%	34,5%	31,3%	-0,9%	-10,5%	-0,6%	16,8%	16,8%	5	
	60%	44,8%	48,9%	44,4%	-1,5%	-12,5%	-0,2%	22,9%	22,9%	6	
	82%	72,4%	81,3%	71,5%	-1,8%	-16,5%	-0,5%	34,6%	34,6%	7	
	100%	110,5%	144,0%	108,6%	-2,7%	-19,7%	-0,9%	53,2%	53,2%	8	
3	47%	32,1%	34,6%	31,3%	-0,7%	-10,7%	-0,6%	17,1%	17,1%	9	
	60%	43,7%	47,8%	44,2%	-0,9%	-13,1%	0,4%	22,1%	22,1%	10	
	82%	74,0%	80,6%	71,3%	-1,2%	-17,0%	-1,6%	34,3%	34,3%	11	
	100%	110,5%	142,8%	108,6%	-2,1%	-20,2%	-0,9%	53,3%	53,3%	12	
4	47%	26,6%	35,2%	31,3%	-0,4%	-10,9%	3,7%	17,2%	17,2%	13	
	60%	43,7%	49,9%	44,2%	-0,9%	-13,1%	0,4%	23,7%	23,7%	14	
	82%	72,4%	84,7%	71,8%	-0,8%	-17,4%	-0,3%	36,8%	36,8%	15	
	100%	110,5%	150,4%	108,7%	-1,9%	-20,4%	-0,8%	56,0%	56,0%	16	
5	47%	31,2%	36,3%	31,3%	0,2%	-11,5%	0,1%	17,8%	17,8%	17	
	60%	43,7%	50,7%	44,1%	0,2%	-14,0%	0,3%	23,8%	23,8%	18	
	82%	72,4%	87,6%	71,8%	-0,4%	-17,7%	-0,3%	37,9%	37,9%	19	
	100%	105,7%	160,3%	109,9%	-0,7%	-21,3%	2,0%	59,4%	59,4%	20	

Tabela 7.11: Resultados consolidados do cenário híbrido

Cenários Analisados		Parâmetros								Estrutura
Número de Terminais de Apoio	Percentual de Adesão	Econômicos						Ambientais		
		Número de Veículos	Distância Total (Km)	Tempo Total (h)	Ocupação da Frota	Número de Rotas	Utilização da Frota	Consumo de Combustível (l)	Emissão de Poluentes (ton)	
1	47%	137	8.932	1.024	94%	445	93%	1.691	4,52	1
	60%	125	8.154	933	95%	454	93%	1.614	4,32	2
	82%	105	6.799	787	95%	477	94%	1.479	3,96	3
	100%	87	5.199	651	96%	494	94%	1.311	3,50	4
2	47%	136	8.819	1.023	94%	445	94%	1.695	4,53	5
	60%	125	7.985	931	95%	455	93%	1.616	4,32	6
	82%	105	6.587	784	95%	477	93%	1.484	3,97	7
	100%	86	4.929	646	96%	495	94%	1.313	3,51	8
3	47%	137	8.775	1.024	94%	447	93%	1.675	4,48	9
	60%	126	7.943	932	94%	458	92%	1.592	4,26	10
	82%	105	6.482	783	95%	480	93%	1.444	3,86	11
	100%	89	4.823	645	95%	500	91%	1.269	3,39	12
4	47%	138	8.786	1.024	94%	447	93%	1.691	4,52	13
	60%	126	7.953	932	94%	458	92%	1.611	4,30	14
	82%	108	6.501	784	94%	482	91%	1.472	3,94	15
	100%	86	4.825	641	95%	506	93%	1.296	3,46	16
5	47%	138	8.713	1.024	93%	450	93%	1.682	4,50	17
	60%	126	7.932	932	93%	464	92%	1.619	4,33	18
	82%	105	6.411	784	94%	485	93%	1.463	3,91	19
	100%	89	4.674	644	94%	506	90%	1.279	3,42	20

Nota: km = Quilômetro h = Hora l = Litros ton = Toneladas Métricas

Este cenário também apresentou significativas reduções na maioria dos parâmetros avaliados comparados ao cenário base, conforme se observa na TAB 7.13. A análise desta tabela seguiu os mesmos critérios em relação aos valores positivos e negativos mencionados a respeito da TAB 7.10, que mostrou os resultados do cenário com pontos de consolidação. Desta forma, analisando os melhores valores para cada quesito econômico e ambiental avaliado, observam-se algumas estruturas que se destacaram. Para o número de veículos que se constitui como o primeiro parâmetro de análise, houve uma redução de 110,5% nas estruturas 8 e 16. A estrutura 16 ainda teve um papel de destaque em relação ao tempo total, com uma diminuição de 109,7%. No que se refere à ocupação da frota, a estrutura 4 teve um desempenho importante uma vez que o valor deste quesito é 3,2% superior ao cenário base. A utilização da frota para a estrutura 5 foi 1,3% inferior ao cenário analisado. Já a estrutura 20 apresentou o melhor desempenho para distância total (153,6%), o número de rotas (21,1%), o consumo de combustível (54,4%) e a emissão de poluentes (54,5%) uma vez que seus valores foram percentualmente vantajosos comparados ao cenário base.

Tabela 7.12: Avaliação comparativa dos resultados dos cenários base e híbrido

Cenário Híbrido		Cenário Base (variação %)								Estrutura
		Parâmetros Econômicos				Parâmetros Ambientais				
Número de Terminais de Apoio	Percentual de Adesão	Número de Veículos	Distância Total	Tempo Total	Ocupação da Frota	Número de Rotas	Utilização da Frota	Consumo de Combustível	Emissão de Poluentes	
1	47%	32,1%	32,7%	31,3%	-1,1%	-10,3%	-0,6%	16,9%	16,9%	1
	60%	44,8%	45,4%	44,1%	-1,9%	-12,1%	-0,5%	22,4%	22,3%	2
	82%	72,4%	74,4%	70,8%	-2,0%	-16,4%	-0,9%	33,6%	33,5%	3
	100%	108,0%	128,0%	106,5%	-3,2%	-19,2%	-0,8%	50,7%	51,0%	4
2	47%	33,1%	34,4%	31,4%	-1,1%	-10,3%	-1,3%	16,6%	16,7%	5
	60%	44,8%	48,5%	44,4%	-1,7%	-12,3%	-0,3%	22,3%	22,3%	6
	82%	72,4%	80,0%	71,4%	-2,0%	-16,4%	-0,5%	33,2%	33,1%	7
	100%	110,5%	140,5%	108,1%	-3,0%	-19,4%	-1,1%	50,5%	50,6%	8
3	47%	32,1%	35,1%	31,3%	-0,7%	-10,7%	-0,6%	17,9%	18,0%	9
	60%	43,7%	49,2%	44,2%	-1,1%	-12,9%	0,4%	24,1%	24,1%	10
	82%	72,4%	82,9%	71,7%	-1,4%	-16,9%	-0,4%	36,8%	36,9%	11
	100%	103,4%	145,8%	108,4%	-1,9%	-20,2%	2,5%	55,7%	55,9%	12
4	47%	31,2%	34,9%	31,3%	-0,7%	-10,7%	0,1%	16,8%	16,9%	13
	60%	43,7%	49,1%	44,2%	-1,1%	-12,9%	0,4%	22,6%	22,9%	14
	82%	67,6%	82,3%	71,4%	-1,0%	-17,2%	2,3%	34,2%	34,2%	15
	100%	110,5%	145,7%	109,7%	-1,9%	-21,1%	-0,4%	52,4%	52,7%	16
5	47%	31,2%	36,1%	31,3%	0,0%	-11,3%	0,1%	17,4%	17,4%	17
	60%	43,7%	49,5%	44,2%	0,2%	-14,0%	0,4%	22,1%	22,1%	18
	82%	72,4%	84,9%	71,4%	-0,3%	-17,7%	-0,5%	35,0%	35,0%	19
	100%	103,4%	153,6%	108,7%	-0,9%	-21,1%	2,6%	54,4%	54,5%	20

Analisando os resultados do cenário híbrido, verifica-se que, de uma forma geral, a estrutura 20 apresentou o melhor desempenho uma vez que 44,4% dos valores de seus quesitos econômicos e ambientais possuem posição de destaque entre as configurações propostas. Além

disto, os outros parâmetros avaliados não mostraram diferenças significativas para as estruturas com resultados superiores.

Conforme anteriormente analisado, verifica-se que os cenários propostos apresentaram resultados muito interessantes quando comparados ao cenário base, uma vez que os valores dos parâmetros econômicos e ambientais foram significativamente vantajosos para estes cenários. Este fato mostra a importância do modelo de CDU para a cidade e, conseqüentemente, a população na medida em que esta forma de distribuição de mercadorias pode diminuir o número de veículos em movimentação nas regiões congestionadas, além de reduzir o consumo de combustíveis fósseis e a emissão de poluentes. No que se refere às empresas, a implementação da iniciativa analisada neste trabalho pode diminuir a distância total percorrida, o número de veículos, a ociosidade da frota e o tempo total de distribuição, que leva a uma redução dos custos operacionais da entrega de mercadorias, além de aumentar a ocupação da frota e o número de rotas que pode contribuir para melhorar a produtividade da frota utilizada.

Nos dois cenários propostos configura-se uma estrutura em duas camadas em virtude da presença da estrutura composta pelos terminais de apoio. Estes cenários se diferenciam na origem do fluxo de mercadorias, que pode ser nos pontos de consolidação ou nos centros de distribuição da empresa. A estrutura com pontos de consolidação pode ser considerada uma estrutura mais complexa uma vez que ela visa organizar todo o fluxo de entrada de mercadorias desde os fornecedores de materiais até os varejistas localizados na área estudada. Já a estrutura com centros de distribuição tem como intuito organizar apenas as entregas para os varejistas situados na região analisada.

Desta forma, é importante analisar os resultados comparativos entre estes cenários para verificar o comportamento dos parâmetros econômicos e ambientais avaliados tendo em vista a mudança da estrutura na primeira camada de roteirização. A TAB 7.13 apresenta os resultados comparativos considerando os cenários propostos. Esta tabela compara todos os valores dos quesitos econômicos e ambientais calculados do híbrido em relação ao cenário com pontos de consolidação. Neste sentido, os valores positivos desta tabela indicam a diminuição percentual do parâmetro avaliado do híbrido em relação à estrutura do cenário com pontos de consolidação, por exemplo, a estrutura com 3 terminais de apoio e 100% de adesão dos varejistas utilizou uma frota 3,5 % menor que a empregada no híbrido. Já os valores negativos apontam o aumento percentual da estrutura analisada do cenário com pontos de consolidação em relação ao híbrido, por exemplo, a distância total do cenário híbrido foi 0,3% inferior à mesma estrutura destacada anteriormente. Verifica-se nesta tabela que houve uma variação pequena dos resultados comparativos dos dois cenários, visto que a maioria dos valores percentuais está próxima de zero. Em relação ao

desempenho individual das estruturas, observa-se que a configuração 20 apresentou as maiores diferenças relativas fato que a classifica como a melhor configuração para a distribuição de cargas em Belo Horizonte tendo em vista a utilização do modelo de CDU com pontos de consolidação. A estrutura composta por cinco terminais de apoio será analisada minuciosamente na seção 6.7.3 por meio de um detalhamento da avaliação econômica e ambiental por camada.

Tabela 7.13: Avaliação comparativa dos resultados dos cenários híbrido e com pontos de consolidação

Pontos de Consolidação		Cenário Híbrido (variação %)								Estrutura
Número de Terminais de Apoio	Percentual de Adesão	Parâmetros Econômicos				Parâmetros Ambientais				
		Número de Veículos	Distância Total	Tempo Total	Ocupação da Frota	Número de Rotas	Utilização da Frota	Consumo de Combustível	Emissão de Poluentes	
1	47%	-0,7%	-0,3%	-0,1%	0,2%	-0,2%	0,7%	-0,5%	-0,5%	1
	60%	0,8%	0,1%	0,0%	-0,1%	0,0%	-0,8%	0,2%	0,2%	2
	82%	0,0%	-0,2%	0,0%	0,2%	-0,2%	0,0%	-0,3%	-0,2%	3
	100%	0,0%	-0,1%	0,0%	0,2%	-0,2%	0,0%	-0,2%	-0,4%	4
2	47%	-0,7%	0,1%	0,0%	0,2%	-0,2%	0,7%	0,1%	0,1%	5
	60%	0,0%	0,3%	0,0%	0,2%	-0,2%	0,0%	0,5%	0,4%	6
	82%	0,0%	0,7%	0,0%	0,2%	-0,2%	0,0%	1,1%	1,1%	7
	100%	0,0%	1,4%	0,2%	0,4%	-0,4%	0,2%	1,8%	1,8%	8
3	47%	0,0%	-0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-0,7%	-0,7%	9
	60%	0,0%	-1,0%	0,0%	0,2%	-0,2%	0,0%	-1,6%	-1,5%	10
	82%	1,0%	-1,2%	-0,2%	0,2%	-0,2%	-1,1%	-1,8%	-1,9%	11
	100%	3,5%	-1,2%	0,1%	-0,1%	0,0%	-3,3%	-1,5%	-1,6%	12
4	47%	-3,5%	0,2%	0,0%	0,2%	-0,2%	3,6%	0,3%	0,2%	13
	60%	0,0%	0,5%	0,0%	0,2%	-0,2%	0,0%	0,9%	0,7%	14
	82%	2,9%	1,3%	0,2%	0,2%	-0,2%	-2,6%	1,9%	1,9%	15
	100%	0,0%	1,9%	-0,5%	0,0%	1,0%	-0,5%	2,4%	2,2%	16
5	47%	0,0%	0,2%	0,0%	0,2%	-0,2%	0,0%	0,3%	0,3%	17
	60%	0,0%	0,9%	-0,1%	0,0%	0,0%	-0,1%	1,4%	1,4%	18
	82%	0,0%	1,5%	0,2%	0,0%	0,0%	0,2%	2,2%	2,2%	19
	100%	1,1%	2,6%	0,5%	0,2%	-0,2%	-0,6%	3,2%	3,2%	20

O GRA 7.1 mostra as variações percentuais de cada parâmetro avaliado para todas as estruturas propostas. Nela, verifica-se que a maioria dos atributos tiveram uma variação próxima de 0%.

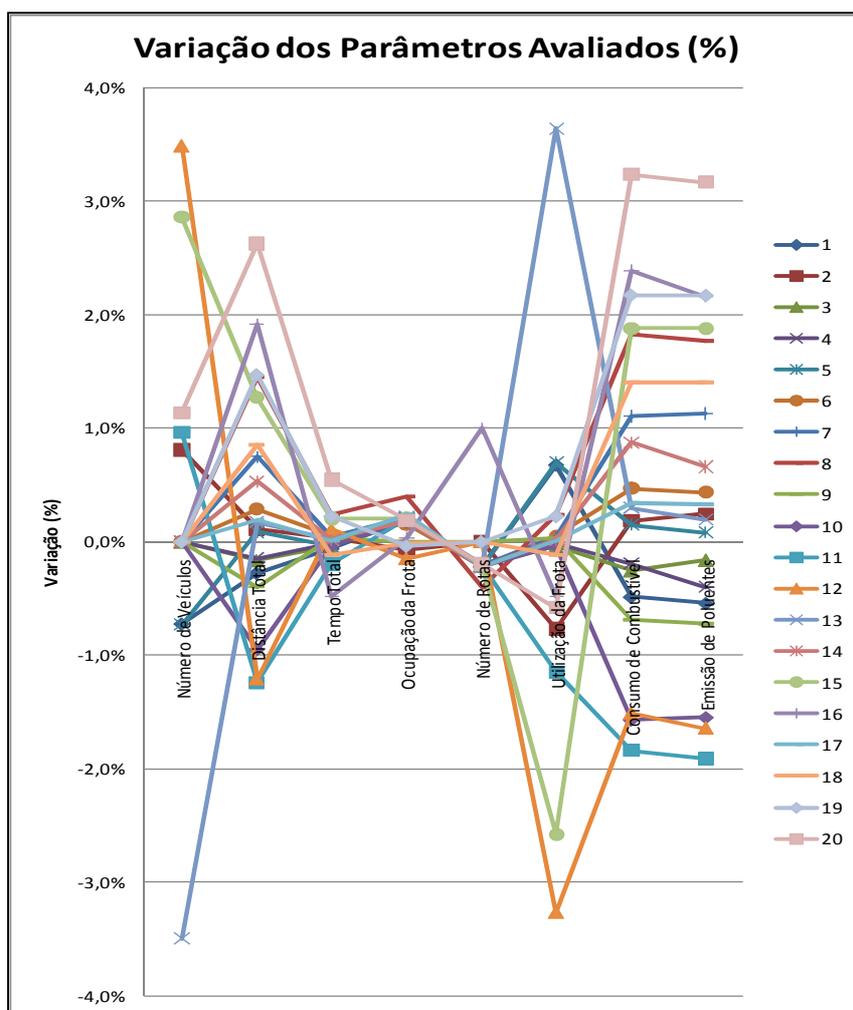


Gráfico 7.1: Variações percentuais dos parâmetros avaliados para as estruturas propostas

Os GRA 7.2 a 7.8 apresentam a variação individual dos parâmetros econômicos e ambientais de acordo com as estruturas propostas, comparando-se os resultados dos cenários híbrido e de pontos de consolidação. Estas figuras identificam as estruturas com melhor desempenho e traçam o comportamento dos resultados de acordo com o número de terminais de apoio e a adesão dos varejistas. Os números de 1 a 5 no eixo horizontal representam a quantidade de terminais de apoio das estruturas analisadas. A adesão dos varejistas foi de 100%, 82%, 60% e 47%; desta forma, o maior número identificado no intervalo de cada terminal representa 100% de adesão, variando de acordo com os cenários de adesão propostos até o menor número, que representa 47% de adesão.

O GRA 7.2 mostra a variação percentual do número de veículos. Esta variação foi de 0% para a maioria das estruturas, contudo destaca-se a oscilação dos resultados para 3 e 4 terminais de apoio. Nas configurações com 3 terminais de apoio, na medida em que a adesão dos varejistas aumentou, a diferença relativa se elevou consideravelmente chegando a 3,5% que representa o maior redução comparativa do cenário com pontos de consolidação para o cenário híbrido. Este

comportamento dos resultados também ocorreu para as configurações com 4 terminais de apoio, contudo partindo do extremo negativo que representa que o valor do cenário híbrido foi inferior ao do cenário com pontos de consolidação (-3,5%) até 2,9%.

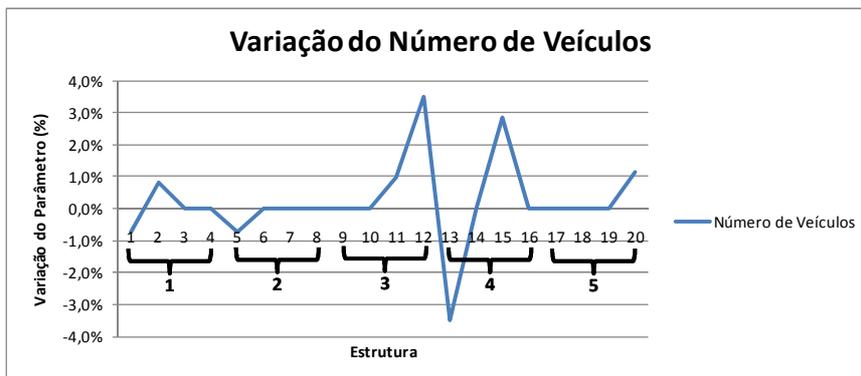


Gráfico 7.2: Variação percentual do número de veículos das estruturas propostas

O GRA 7.3 representa a variação percentual da distância total. Esta variação teve um comportamento interessante na medida em que os valores das diferenças relativas entre os cenários aumentaram de acordo com a elevação da adesão dos varejistas. Observa-se também que, para todas as configurações de terminais de apoio, o desempenho do cenário com pontos de consolidação foi superior com uma única exceção referente ao cenário com 3 terminais de apoio, em que o cenário híbrido apresentou melhores resultados.

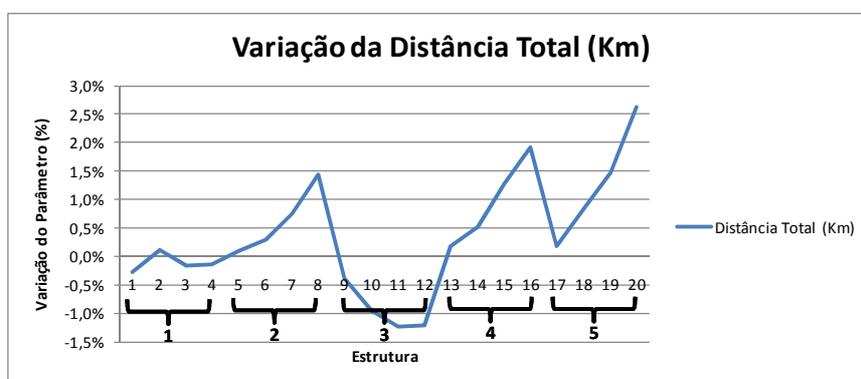


Gráfico 7.3: Variação percentual da distância total das estruturas propostas

O GRA 7.4 mostra que os resultados para a variação do tempo total não tiveram diferenças relativas importantes para as estruturas propostas. Os resultados variaram de -0,5% (estrutura 16) até 0,5% (estrutura 20).

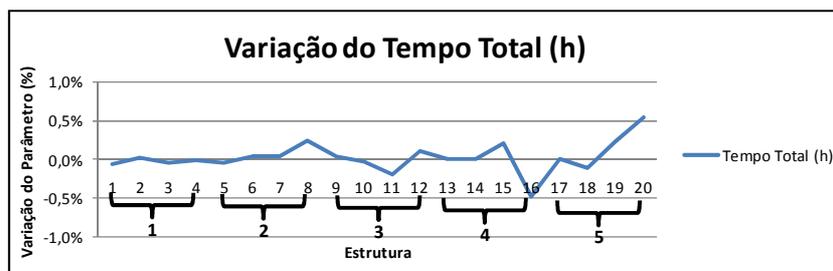


Gráfico 7.4: Variação percentual do tempo total das estruturas propostas

A variação do número de rotas não apresentou diferenças relativas relevantes como mostra o GRA 7.5, destacando que a maioria dos resultados foram favoráveis ao cenário híbrido já que a variação deste parâmetro foi negativa para todas as estruturas. A única exceção ocorreu para a estrutura 16 que possui 4 terminais de apoio e 100% de adesão dos varejistas em que o número de rotas do cenário com pontos de consolidação foi 1% inferior ao cenário híbrido.

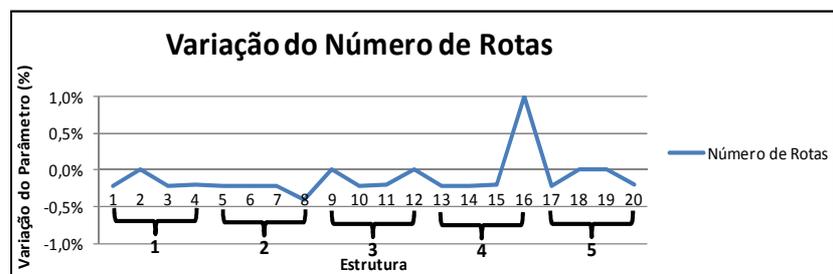


Gráfico 7.5: Variação percentual do número de rotas das estruturas propostas

O GRA 7.6 mostra a variação percentual da ocupação da frota. Verifica-se que não existiram oscilações relevantes nas diferenças relativas deste parâmetro. O cenário com pontos de consolidação possui resultados mais vantajosos uma vez que as diferenças relativas são positivas para todos os valores, excetuando as estruturas 2 e 12.

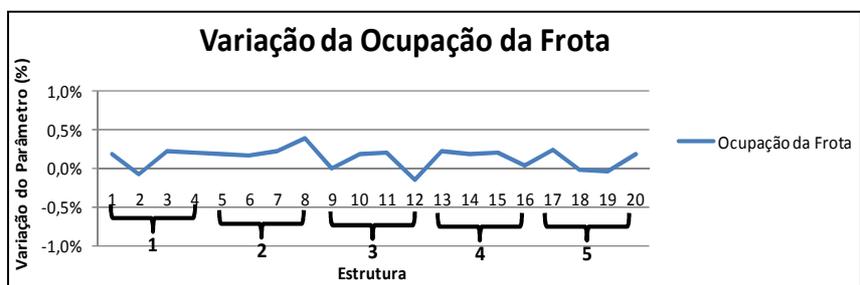


Gráfico 7.6: Variação percentual da ocupação da frota das estruturas propostas

O GRA 7.7 mostra que a variação da utilização da frota teve um comportamento bem parecido ao da variação percentual do número de veículos. Esta variação foi de 0% para a maioria das estruturas, contudo destaca-se a oscilação dos resultados para 3 e 4 terminais de apoio. Nas

configurações com 3 terminais de apoio, na medida em que a adesão dos varejistas aumentou, a diferença relativa também se elevou, chegando a 3,3%, que representa a maior redução comparativa do cenário com pontos de consolidação para o cenário híbrido. Este comportamento dos resultados também ocorreu para as configurações com 4 terminais de apoio, contudo partindo do extremo negativo, que representa que o valor do cenário híbrido foi inferior ao do cenário com pontos de consolidação (-2,6%) até 3,6%.

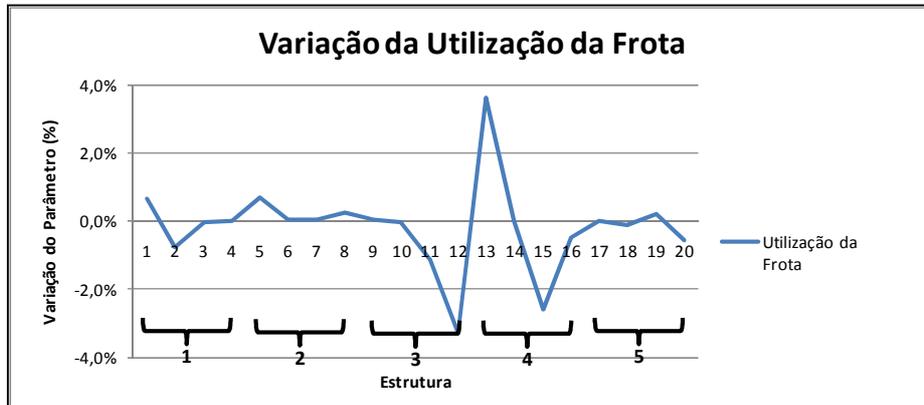


Gráfico 7.7: Variação percentual da utilização da frota das estruturas propostas

O GRA 7.8 representa a variação percentual do consumo de combustível e da emissão de poluentes. Verifica-se que o comportamento destes parâmetros foi quase idêntico, além de terem sido muito parecidos ao comportamento da distância percorrida. Isto ocorreu em decorrência da metodologia do Programa Brasileiro *GHG Protocol* que considera o consumo de combustíveis para definir a emissão de poluentes. Por sua vez, o consumo de combustível calculado neste trabalho teve como base o fator de consumo que utilizou a distância percorrida como dado de entrada. Destaca-se que a variação dos parâmetros ambientais teve um comportamento interessante à medida que os valores das diferenças relativas entre os cenários aumentaram de acordo com a elevação da adesão dos varejistas. Observa-se também que, para todas as configurações de terminais de apoio, o desempenho do cenário com pontos de consolidação foi superior com uma única exceção referente ao cenário com 3 terminais de apoio, em que o cenário híbrido apresentou melhores resultados.

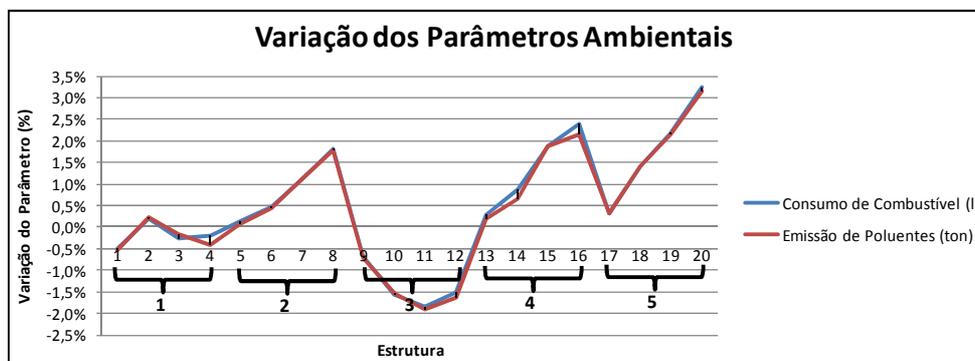


Gráfico 7.8: Variação percentual dos parâmetros ambientais das estruturas propostas

Com base nas análises individuais dos parâmetros econômicos e ambientais, verificou-se que a oscilação das diferenças relativas para os cenários com pontos de consolidação e híbrido foi pequena, alcançando, no máximo, 3,5% para a maioria dos quesitos. É importante mencionar que as principais oscilações aconteceram em virtude do aumento da adesão dos varejistas, conforme observado na análise dos quesitos distância total, tempo total, utilização da frota, número de veículos, consumo de combustível e emissão de poluentes. Desta forma, observa-se que o aumento da adesão dos varejistas ao modelo de CDU oferece vantagens econômicas e ambientais para o uso dos pontos de consolidação de mercadorias.

Apesar da variação das diferenças relativas não terem sido significativas, é interessante avaliar o desempenho de cada um dos cenários propostos. A TAB 7.14 mostra um resumo dos resultados dos cenários em que foi feita segmentação dos valores tendo o número “0” como referência. Para cada quesito econômico e ambiental foi realizado o somatório dos valores maiores, menores e iguais a zero. Valores maiores que zero indicam um desempenho favorável ao cenário com pontos de consolidação, ao passo que valores inferiores a zero demonstram vantagem para o cenário híbrido. O número de rotas é a única exceção a este critério, já que valores negativos favorecem o cenário com pontos de consolidação e os positivos o cenário híbrido. Nesta tabela foram analisados 160 resultados sendo que 59,4% deles foram compostos por valores positivos, 30% valores negativos e 10,6% valores iguais a zero. Desta forma, conclui-se que o cenário com pontos de consolidação, de uma maneira geral, apresentou melhores resultados que o cenário híbrido.

Tabela 7.14: Segmentação dos resultados dos cenários propostos

Valor de Referência	Contagem das diferenças relativas dos cenários propostos							
	Parâmetros Econômicos						Parâmetros Ambientais	
	Número de Veículos	Distância Total	Tempo Total	Ocupação da Frota	Número de Rotas	Utilização da Frota	Consumo de Combustível	Emissão de Poluentes
Maior que 0	5	13	12	15	1	10	13	13
Menor que 0	3	7	8	5	14	10	7	7
Igual a 0	12	0	0	0	5	0	0	0

Conforme as análises anteriormente realizadas, verifica-se que o cenário com pontos de consolidação apresentou melhores resultados comparados ao cenário híbrido, mas com uma diferença ínfima entre eles. Isto porque a principal vantagem do cenário com pontos de consolidação refere-se à organização do fluxo de materiais desde os fornecedores, que pode ter como consequência a redução da movimentação de veículos na primeira camada de roteirização, aspecto que não foi quantificado neste trabalho. Esta diminuição pode ocorrer na medida em que os veículos originários das regiões de cobertura dos pontos de consolidação diminuem o seu

deslocamento já que, por exemplo, um veículo com capacidade superior à permitida pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, oriundo do Rio de Janeiro, com mercadorias a serem entregues na região analisada, não necessita movimentar-se até um centro de distribuição de uma empresa, pois o ponto de consolidação configura-se como uma instalação exclusiva para transferência de produtos localizada em uma região próxima à zona de entrada do veículo no município.

No item a seguir será analisada a influência da estrutura de atendimento e da adesão dos varejistas de acordo com os cenários propostos neste trabalho.

### 7.6.3 Análise da estrutura logística e da adesão dos varejistas em relação aos parâmetros econômicos e ambientais propostos

No item analisado anteriormente, verificou-se que os cenários propostos apresentaram um desempenho significativamente superior em relação aos parâmetros econômicos e ambientais. Vale destacar que a melhoria deste desempenho está associada à estrutura logística proposta em cada cenário, ou seja, a presença dos terminais de apoio, e, sobretudo, pela adesão dos varejistas ao modelo de CDU. Neste item, será quantificada e avaliada a influência destes fatores sobre os resultados dos critérios econômicos e ambientais propostos nesta pesquisa.

O coeficiente de variação (CV) é uma medida estatística usada para comparar a dispersão dos resultados de diferentes distribuições. A variabilidade dos resultados oscila de acordo com o coeficiente desta medida, isto é, quanto maior o seu valor, maior é a variabilidade dos resultados. O cálculo do CV é interessante para este trabalho pelo fato de que cada parâmetro avaliado possui uma distribuição própria de seus resultados, ou seja, os valores médios dos quesitos são diferentes. Desta forma, essa medida estatística padroniza os resultados econômicos e ambientais fundamentando a realização das análises que quantificaram a influência dos resultados de acordo com a variação da estrutura logística e da adesão dos varejistas.

A quantificação da influência da estrutura logística e da adesão dos varejistas foi realizada baseada em uma análise do CV de cada parâmetro econômico e ambiental proposto. Para verificar a influência da estrutura logística, agruparam-se os resultados de acordo com os percentuais de adesão. Desta forma, calculou-se o CV que quantificou a variabilidade dos resultados tendo em vista a mudança do número de terminais de apoio para cada cenário de adesão proposto. O cálculo do CV, para a análise da influência da adesão, seguiu o mesmo processo mencionado para a análise da estrutura logística; contudo, para este caso, foi feito o agrupamento dos terminais de apoio.

A TAB 7.15 apresenta os resultados dos coeficientes de variação do cenário com pontos de consolidação tendo em vista a mudança na quantidade de terminais de apoio na rede logística de atendimento. Esta tabela mostra que o maior valor do CV médio ocorreu para o quesito utilização da frota (6,11%). Já os outros parâmetros apontaram coeficientes de variação com valores relativamente pequenos, indicando que a mudança do número de terminais logísticos não acarreta uma variabilidade significativa dos resultados econômicos e ambientais do modelo de CDU com pontos de consolidação.

Tabela 7.15: Análise da variação da estrutura logística para o cenário com pontos de consolidação

Cenários Analisados		Parâmetros							
		Econômicos					Ambientais		
Número de Terminais de Apoio	Percentual de Adesão	Número de Veículos	Distância Total (Km)	Tempo Total (h)	Ocupação da Frota	Número de Rotas	Utilização da Frota	Consumo de Combustível (l)	Emissão de Poluentes (ton)
1	47%	138	8.957	1.025	94%	446	93%	1.699	4,54
2		137	8.811	1.023	94%	446	93%	1.692	4,53
3		137	8.810	1.024	94%	447	93%	1.687	4,51
4		143	8.771	1.024	94%	448	89%	1.686	4,51
5		138	8.697	1.024	93%	451	93%	1.677	4,49
<b>Coefficiente de Variação</b>		1,62%	0,96%	0,04%	0,41%	0,41%	1,58%	0,43%	0,43%
1	60%	124	8.145	933	95%	454	94%	1.611	4,31
2		125	7.962	931	95%	456	93%	1.608	4,30
3		126	8.020	932	94%	459	92%	1.618	4,33
4		126	7.911	932	94%	459	92%	1.597	4,27
5		126	7.865	933	93%	464	93%	1.596	4,27
<b>Coefficiente de Variação</b>		0,64%	1,22%	0,09%	0,74%	0,74%	0,64%	0,51%	0,51%
1	82%	105	6.810	787	95%	478	6%	1.483	3,97
2		105	6.538	784	95%	478	7%	1.468	3,93
3		104	6.564	785	94%	481	6%	1.471	3,94
4		105	6.420	782	94%	483	7%	1.445	3,86
5		105	6.318	782	94%	485	7%	1.432	3,83
<b>Coefficiente de Variação</b>		0,38%	2,53%	0,24%	0,57%	0,57%	6,89%	1,27%	1,27%
1	100%	87	5.206	651	96%	495	6%	1.314	3,51
2		86	4.859	644	96%	497	6%	1.289	3,45
3		86	4.882	644	95%	500	6%	1.288	3,45
4		86	4.735	644	95%	501	6%	1.266	3,39
5		88	4.554	641	94%	507	9%	1.239	3,32
<b>Coefficiente de Variação</b>		0,92%	4,41%	0,53%	0,82%	0,82%	15,32%	1,96%	1,96%

Nota: km = Quilômetro h = Hora l = Litros ton = Toneladas Métricas

A TAB 7.16 apresenta os resultados dos coeficientes de variação do cenário híbrido tendo em vista a mudança na quantidade de terminais de apoio na rede logística de atendimento. Os resultados deste cenário são bem parecidos com os valores do cenário anterior, no entanto o maior valor do CV ocorreu para o quesito distância total (1,86%). Destaca-se que os resultados dos parâmetros apontaram coeficientes de variação com valores relativamente pequenos, indicando que

a mudança do número de terminais logísticos não acarreta uma variabilidade significativa dos resultados econômicos e ambientais do modelo de CDU para o cenário híbrido.

Tabela 7.16: Análise da variação da estrutura logística para o cenário híbrido

Cenários Analisados		Parâmetros							
		Econômicos						Ambientais	
Número de Terminais de Apoio	Percentual de Adesão	Número de Veículos	Distância Total (Km)	Tempo Total (h)	Ocupação da Frota	Número de Rotas	Utilização da Frota	Consumo de Combustível (l)	Emissão de Poluentes (ton)
1	47%	137	8.932	1.024	94%	445	93%	1.691	4,52
2		136	8.819	1.023	94%	445	94%	1.695	4,53
3		137	8.775	1.024	94%	447	93%	1.675	4,48
4		138	8.786	1.024	94%	447	93%	1.691	4,52
5		138	8.713	1.024	93%	450	93%	1.682	4,50
<b>Coefficiente de Variação</b>		0,55%	0,82%	0,04%	0,39%	0,41%	0,52%	0,42%	0,40%
1	60%	125	8.154	933	95%	454	93%	1.614	4,32
2		125	7.985	931	95%	455	93%	1.616	4,32
3		126	7.943	932	94%	458	92%	1.592	4,26
4		126	7.953	932	94%	458	92%	1.611	4,30
5		126	7.932	932	93%	464	92%	1.619	4,33
<b>Coefficiente de Variação</b>		0,39%	1,03%	0,07%	0,74%	0,76%	0,40%	0,58%	0,58%
1	82%	105	6.799	787	95%	477	94%	1.479	3,96
2		105	6.587	784	95%	477	93%	1.484	3,97
3		105	6.482	783	95%	480	93%	1.444	3,86
4		108	6.501	784	94%	482	91%	1.472	3,94
5		105	6.411	784	94%	485	93%	1.463	3,91
<b>Coefficiente de Variação</b>		1,14%	2,04%	0,17%	0,65%	0,64%	1,16%	0,95%	1,00%
1	100%	87	5.199	651	96%	494	94%	1.311	3,50
2		86	4.929	646	96%	495	94%	1.313	3,51
3		89	4.823	645	95%	500	91%	1.269	3,39
4		86	4.825	641	95%	506	93%	1.296	3,46
5		89	4.674	644	94%	506	90%	1.279	3,42
<b>Coefficiente de Variação</b>		1,55%	3,57%	0,51%	0,88%	1,03%	1,62%	1,33%	1,33%

Nota: km = Quilômetro h = Hora l = Litros ton = Toneladas Métricas

A TAB 7.17 apresenta os resultados dos coeficientes de variação do cenário com pontos de consolidação em que foram realizadas mudanças na adesão dos varejistas em relação ao modelo de CDU. Os coeficientes de variação desta tabela apontaram valores significativos para a maioria dos parâmetros avaliados, com exceção da ocupação e utilização da frota. Isto indica que a diminuição da adesão dos varejistas acarreta uma variabilidade relevante dos resultados econômicos e ambientais analisados. É importante destacar que esta tabela mostra os resultados tendo em vista toda a estrutura de distribuição de cargas na área analisada, incluindo as cargas que passam pelo modelo de CDU e pela configuração atual do município para os cenários com adesão inferior a 100%. Assim, verifica-se que os benefícios do modelo de CDU para a região analisada são potencialmente reduzidos em função da sua sensibilidade à variação da adesão dos varejistas.

Tabela 7.17: Análise da variação da adesão dos varejistas para o cenário com pontos de consolidação

Cenários Analisados		Parâmetros							
		Econômicos						Ambientais	
Número de Terminais de Apoio	Percentual de Adesão	Número de Veículos	Distância Total (Km)	Tempo Total (h)	Ocupação da Frota	Número de Rotas	Utilização da Frota	Consumo de Combustível (l)	Emissão de Poluentes (ton)
1	47%	138	8.957	1.025	94%	446	93%	1.699	4,54
	60%	124	8.145	933	95%	454	94%	1.611	4,31
	82%	105	6.810	787	95%	478	94%	1.483	3,97
	100%	87	5.206	651	96%	495	94%	1.314	3,51
<b>Coefficiente de Variação</b>		16,98%	19,53%	16,74%	0,78%	4,15%	0,48%	9,50%	9,50%
2	47%	137	8.811	1.023	94%	446	93%	1.692	4,53
	60%	125	7.962	931	95%	456	93%	1.608	4,30
	82%	105	6.538	784	95%	478	93%	1.468	3,93
	100%	86	4.859	644	96%	497	94%	1.289	3,45
<b>Coefficiente de Variação</b>		17,17%	21,29%	17,05%	0,64%	4,21%	0,24%	10,08%	10,08%
3	47%	137	8.810	1.024	94%	447	93%	1.687	4,51
	60%	126	8.020	932	94%	459	92%	1.618	4,33
	82%	104	6.564	785	94%	481	94%	1.471	3,94
	100%	86	4.882	644	95%	500	94%	1.288	3,45
<b>Coefficiente de Variação</b>		17,41%	21,19%	17,07%	0,54%	4,32%	0,69%	10,08%	10,08%
4	47%	143	8.771	1.024	94%	448	89%	1.686	4,51
	60%	126	7.911	932	94%	459	92%	1.597	4,27
	82%	105	6.420	782	94%	483	93%	1.445	3,86
	100%	86	4.735	644	95%	501	94%	1.266	3,39
<b>Coefficiente de Variação</b>		18,68%	22,06%	17,12%	0,54%	4,37%	1,74%	10,65%	10,65%
5	47%	138	8.697	1.024	93%	451	93%	1.677	4,49
	60%	126	7.865	933	93%	464	93%	1.596	4,27
	82%	105	6.318	782	94%	485	93%	1.432	3,83
	100%	88	4.554	641	94%	507	91%	1.239	3,32
<b>Coefficiente de Variação</b>		16,82%	23,04%	17,31%	0,38%	4,46%	0,89%	11,27%	11,27%

Nota: km = Quilômetro h = Hora l = Litros ton = Toneladas Métricas

A TAB 7.18 apresenta os resultados dos coeficientes de variação do cenário híbrido em que foram realizadas mudanças na adesão dos varejistas em relação ao modelo de CDU. Os resultados para o cenário híbrido apresentaram o mesmo comportamento dos resultados do cenário com pontos de consolidação uma vez que os coeficientes de variação desta tabela apontaram valores significativos para a maioria dos parâmetros avaliados, com exceção da ocupação e utilização da frota. Isto indica que a diminuição da adesão dos varejistas acarreta uma variabilidade relevante dos resultados econômicos e ambientais analisados, fato que pode contribuir para a redução dos potenciais benefícios do modelo de CDU para a região analisada.

Tabela 7.18: Análise da variação da adesão dos varejistas para o cenário híbrido

Cenários Analisados		Parâmetros							
		Econômicos						Ambientais	
Número de Terminais de Apoio	Percentual de Adesão	Número de Veículos	Distância Total (Km)	Tempo Total (h)	Ocupação da Frota	Número de Rotas	Utilização da Frota	Consumo de Combustível (l)	Emissão de Poluentes (ton)
1	47%	137	8.932	1.024	94%	445	93%	1.691	4,52
	60%	125	8.154	933	95%	454	93%	1.614	4,32
	82%	105	6.799	787	95%	477	94%	1.479	3,96
	100%	87	5.199	651	96%	494	94%	1.311	3,50
<b>Coefficiente de Variação</b>		16,83%	19,52%	16,74%	0,79%	4,12%	0,15%	9,47%	9,52%
2	47%	136	8.819	1.023	94%	445	94%	1.695	4,53
	60%	125	7.985	931	95%	455	93%	1.616	4,32
	82%	105	6.587	784	95%	477	93%	1.484	3,97
	100%	86	4.929	646	96%	495	94%	1.313	3,51
<b>Coefficiente de Variação</b>		16,94%	20,84%	16,97%	0,72%	4,15%	0,41%	9,47%	9,46%
3	47%	137	8.775	1.024	94%	447	93%	1.675	4,48
	60%	126	7.943	932	94%	458	92%	1.592	4,26
	82%	105	6.482	783	95%	480	93%	1.444	3,86
	100%	89	4.823	645	95%	500	91%	1.269	3,39
<b>Coefficiente de Variação</b>		16,25%	21,47%	17,07%	0,46%	4,33%	1,21%	10,34%	10,39%
4	47%	138	8.786	1.024	94%	447	93%	1.691	4,52
	60%	126	7.953	932	94%	458	92%	1.611	4,30
	82%	108	6.501	784	94%	482	91%	1.472	3,94
	100%	86	4.825	641	95%	506	93%	1.296	3,46
<b>Coefficiente de Variação</b>		17,13%	21,47%	17,24%	0,47%	4,81%	1,00%	9,88%	9,90%
5	47%	138	8.713	1.024	93%	450	93%	1.682	4,50
	60%	126	7.932	932	93%	464	92%	1.619	4,33
	82%	105	6.411	784	94%	485	93%	1.463	3,91
	100%	89	4.674	644	94%	506	90%	1.279	3,42
<b>Coefficiente de Variação</b>		16,48%	22,28%	17,10%	0,40%	4,46%	1,18%	10,30%	10,32%

Nota: km = Quilômetro h = Hora l = Litros ton = Toneladas Métricas

As análises anteriormente realizadas demonstraram o impacto da estrutura logística do CDU e da adesão dos varejistas em relação ao CDU sobre os parâmetros econômicos e ambientais analisados. Verificou-se que a adesão dos varejistas tem uma importância significativa para o modelo proposto em virtude da sensibilidade dos resultados em relação à sua variação. Os Gráficos 9 e 10 mostram o comportamento da média do coeficiente de variação de todos os quesitos avaliados para o cenário com pontos de consolidação.

No Gráfico 7.9 foi avaliado o comportamento do CV em função das variações estruturais do modelo de CDU, ou seja, a mudança da quantidade de terminais de apoio para o cenário com pontos de consolidação. Verificou-se uma variação do CV de 0,74%, 0,64%, 1,71% e 3,34% para as alterações da quantidade de terminais de apoio dos cenários, respectivamente, com 47%, 60%, 82% e 100% de adesão dos varejistas, representando um CV médio de 1,61%. Já o Gráfico 10 apresenta o comportamento da média do CV em decorrência da mudança da adesão dos varejistas. A variação do CV para a adesão dos varejistas foi mais acentuada comparada a variação

do CV da estrutura logística, sendo de 9,71%, 10,1%, 10,17%, 10,73% e 10,68% para, respectivamente, 1, 2, 3, 4 e 5 terminais de apoio, constituindo um CV médio de 10,28%.

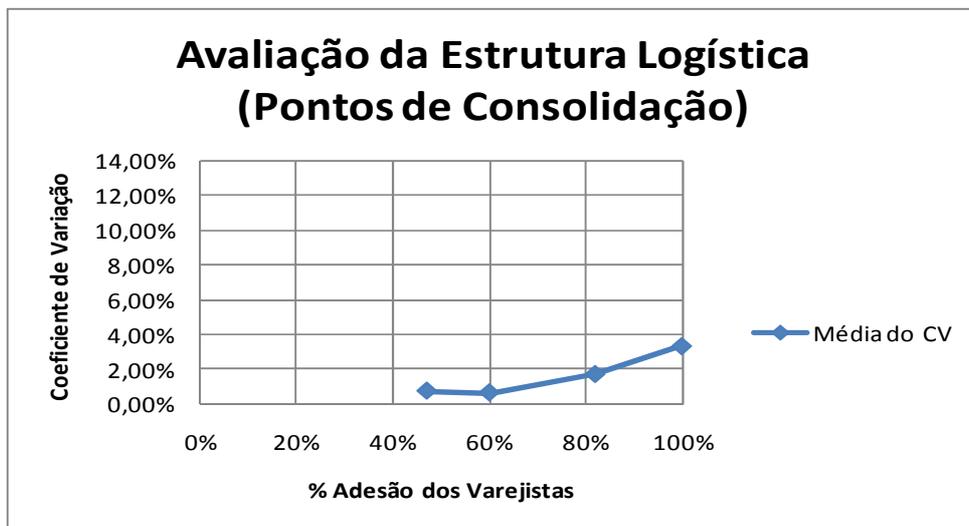


Gráfico 7.9: Avaliação da estrutura logística para o cenário com pontos de consolidação

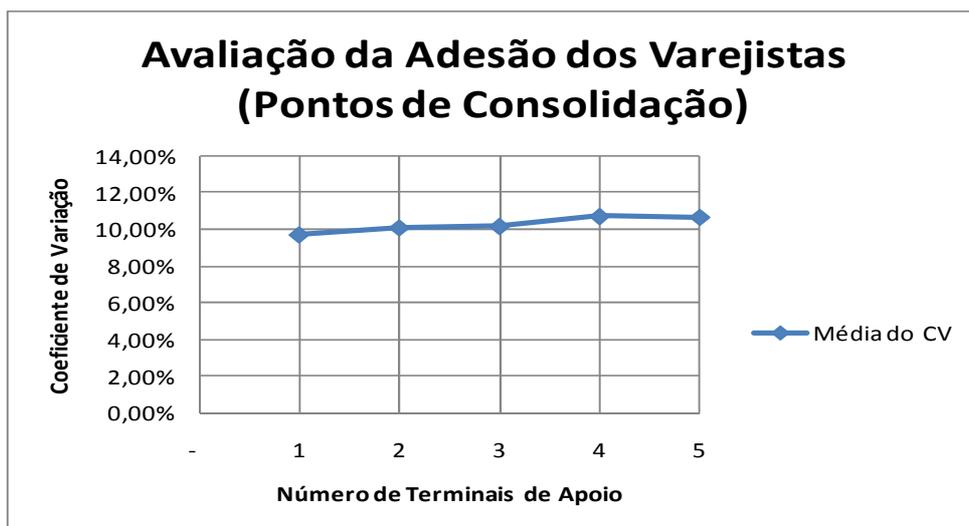


Gráfico 7.10: Avaliação da adesão dos varejistas para o cenário com pontos de consolidação

Os GRA 7.11 e 7.12 mostram o comportamento da média do coeficiente de variação de todos os quesitos avaliados para o cenário híbrido. Estas figuras avaliaram, respectivamente, o comportamento do CV em função das variações estruturais do modelo de CDU e das alterações da adesão dos varejistas em relação ao CDU. No GRA 7.11, verificou-se uma variação do CV de 0,44% para o cenário com 47% de adesão dos varejistas, 0,57% para o cenário com 60%, 0,97% para o cenário com 82% e 1,48% para o cenário com 100% representando um CV médio de 0,86%. Já o GRA 7.12 a variação do CV para a adesão dos varejistas foi mais acentuada comparada a

variação do CV da estrutura logística, sendo de 9,64%, 9,87%, 10,19%, 10,24% e 10,32% para, respectivamente, 1, 2, 3, 4 e 5 terminais de apoio, constituindo um CV médio de 10,05%.

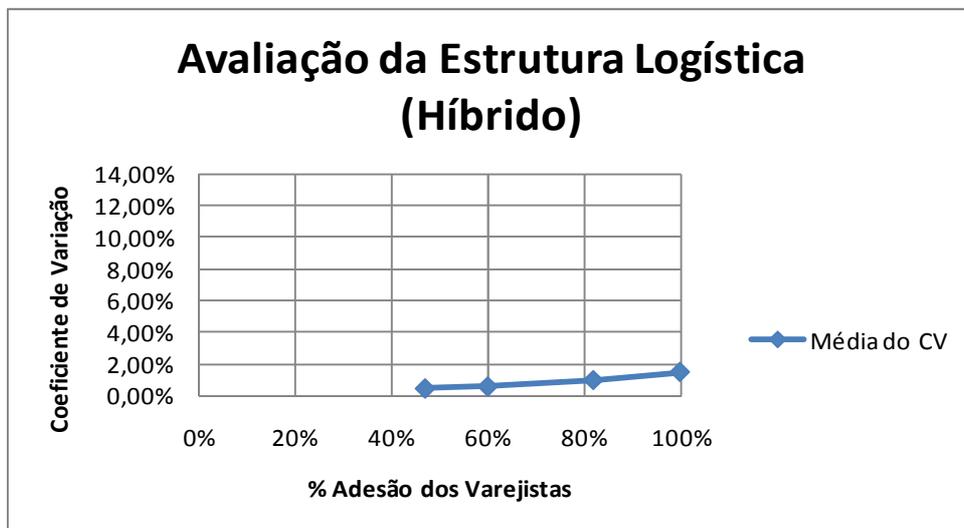


Gráfico 7.11: Avaliação da estrutura logística para o cenário híbrido

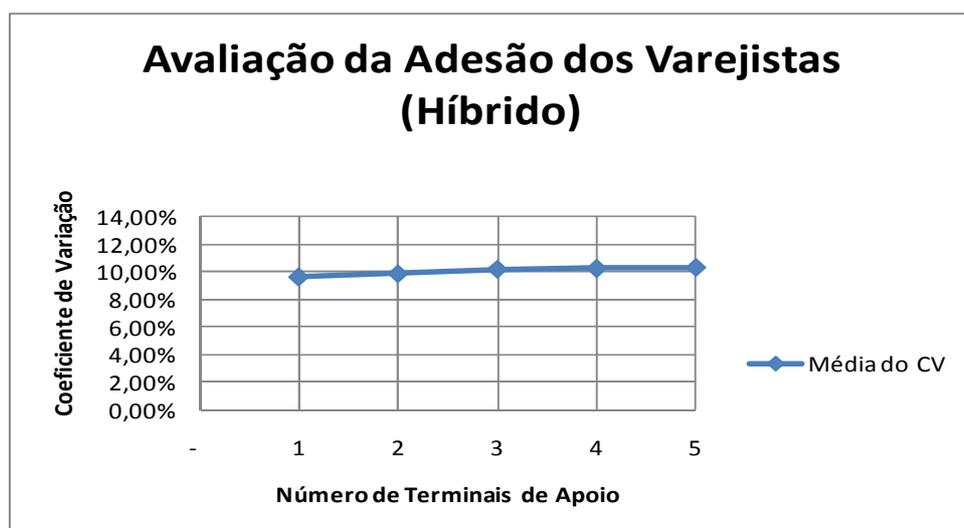


Gráfico 7.12: Avaliação da adesão dos varejistas para o cenário híbrido

Analisando os resultados do coeficiente de variação dos cenários híbrido e com pontos de consolidação, verifica-se que a estrutura logística e a adesão dos varejistas possuem o mesmo nível de influência sobre estes cenários já que o comportamento da média dos CV dos parâmetros propostos é praticamente equivalente. Desta forma, a sensibilidade dos resultados econômicos e ambientais, em decorrência da variação da configuração logística ou da adesão dos varejistas, tende a ser uniforme, oscilando quase na mesma proporção independentemente da escolha do cenário proposto.

É importante destacar que a adesão dos varejistas ao modelo de CDU tem um papel fundamental para a diminuição das externalidades negativas da distribuição de carga no ambiente urbano e da redução dos custos na cadeia de suprimentos. Isto porque, conforme as análises realizadas, os parâmetros econômicos e ambientais possuem uma significativa sensibilidade em relação à variação dos cenários de adesão apresentados. Os terminais de apoio também possuem uma função importante na estrutura logística do CDU na medida em que eles são responsáveis pelo agrupamento das mercadorias da primeira camada de roteirização possibilitando uma composição de frota que é essencial para a redução dos custos de distribuição das empresas e dos impactos ambientais das atividades de entrega urbana de cargas.

Contudo, a quantidade de terminais de apoio não interfere preponderantemente os resultados dos parâmetros econômicos ambientais em virtude do baixo índice dos coeficientes de variação apontados nas análises anteriormente realizadas. Desta forma, independente da estrutura logística do modelo de CDU, ou seja, do número de terminais de apoio envolvidos no modelo, é essencial estabelecer estratégias que garantam a adesão dos varejistas, como por exemplo, a divulgação dos potenciais benefícios do modelo e a minimização de possíveis custos adicionais oriundos de novas instalações na cadeia de suprimentos. Vale frisar que o terminal de apoio pode gerar um aumento de tráfego de veículos na região em que foi localizado. A diminuição do número de terminais pode culminar no aumento da estrutura das outras instalações, dada uma quantidade fixa de carga a ser movimentada, que pode trazer transtornos à população em virtude do potencial incremento de veículos em circulação na região em que foram localizados.

#### 7.6.4 Detalhamento da avaliação econômica e ambiental por camadas

Neste tópico serão evidenciados os resultados da avaliação econômica e ambiental para os quatro cenários de adesão dos varejistas baseada na rede de logística com cinco terminais de apoio. Neste sentido, foi feito o detalhamento dos cálculos para os dois níveis de atendimento, com intuito de analisar o comportamento dos parâmetros avaliados em cada um deles tendo em vista a variação do número de varejistas presentes no modelo. Além disto, foram comparados estes resultados com o cenário atual da distribuição de carga na área analisada visando explorar o potencial que o modelo oferece em contraposição com o cenário atual do município.

#### 7.6.4.1 Avaliação econômica

Os aspectos econômicos são fundamentais na avaliação do modelo de CDU proposto neste trabalho uma vez que qualquer alteração na estrutura de custos ou na prestação de serviço aos varejistas da área analisada pode trazer consequências para toda a cadeia de suprimentos. Os quesitos apreciados no critério econômico foram: número de veículos, distância percorrida, tempo total de serviço, ocupação e tempo ocioso da frota. A seguir, serão apresentados os resultados destes quesitos na estrutura com cinco terminais de apoio seguindo os cenários de adesão propostos.

##### 7.6.4.1.1 Número de veículos

Observa-se no GRA 7.13 que o número de veículos utilizados no primeiro nível, ou seja, dos terminais de apoio para os clientes foi 63, no segundo nível, isto é, dos CDU para os terminais foi 25, totalizando 88. Já no cenário base, a quantidade calculada foi de 181 equipamentos; comparando-se este valor com o modelo de CDU, percebe-se uma redução de 51,38% no total de veículos utilizados para o cenário com 100% de adesão dos varejistas. Contudo, considerando apenas a área urbana, que sofre os maiores problemas com congestionamento, notadamente representada pelo primeiro nível de atendimento, a redução foi de 65,19%. Neste sentido, 118 veículos deixariam de circular na área central com o modelo de CDU, fato que demonstra a relevância deste quesito não somente como uma forma de reduzir os custos das empresas na distribuição de cargas, mas também para mitigar os graves problemas que o excesso de veículos em circulação acarreta nas grandes cidades.

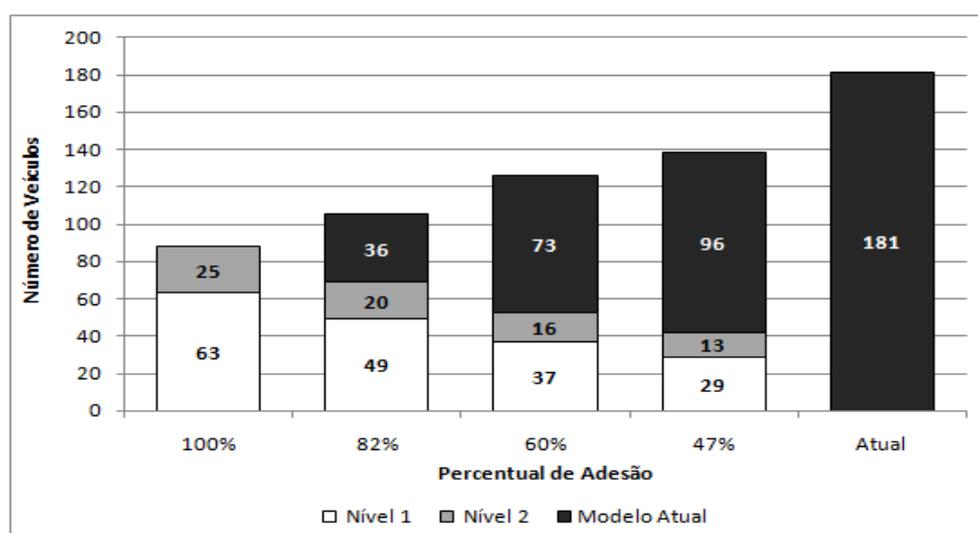


Gráfico 7.13: Número de veículos em cada nível de análise

Nos cenários com adesão inferior a 100%, conforme anteriormente destacado, foi acrescentado o fluxo de veículos para o atendimento dos varejistas que não aderiram ao modelo de CDU. Este fluxo parte dos pontos de distribuição convencionais do modelo corrente de distribuição adotado pela cidade e realizavam a entrega para os varejistas. Assim, o cenário com 82% de adesão incorreu nos seguintes resultados: 49 veículos (1º nível), 20 (2º nível) e 36 (modelo atual), totalizando 105, aumento de 29,62% em relação a 100% de adesão e redução de 41,98% tendo como referência o cenário base. Já com 60% de adesão, verificou-se: 37 veículos (1º nível), 16 (2º nível) e 73 (modelo atual), totalizando 126, elevação de 43,18% em relação a 100% de adesão e diminuição de 32,97% tendo como referência o cenário base. No último cenário analisado, com 47% de adesão, observou-se: 29 veículos (1º nível), 13 (2º nível) e 96 (modelo atual), totalizando 105, representando um incremento de 56,81% em relação a 100% de adesão e declínio de 23,37% tendo como referência o cenário base.

A TAB 7.19 apresenta o resumo das análises anteriormente realizadas indicando a variação percentual do número de veículos dos cenários com menor aprovação dos varejistas em relação ao cenário com 100% de adesão e ao cenário base. Os valores mostrados indicam um incremento do número de veículos do cenário avaliado comparado ao cenário com 100% de adesão e uma redução deste parâmetro quando comparado ao cenário base.

Tabela 7.19: Variação do número de veículos em relação aos cenários base e de 100% de adesão

Cenários de Referência	Cenários Avaliados (variação %)		
	82%	60%	47%
100%	+29,62	+43,18	+56,81
Base	- 41,98	- 32,97	- 23,37

#### 7.6.4.1.2 Distância percorrida

Analisando o cenário com 100% de adesão no GRA 7.14, verifica-se que a distância percorrida pelos veículos no primeiro nível foi de 1.673 km e no segundo nível foi de 2.881 km, totalizando 4.554 km. O modelo de CDU proposto acarreta uma redução de 61,58% no percurso realizado pelos veículos de carga, uma vez que, no cenário base, a distância percorrida foi de 11.855. A redução de distância percorrida, além de diminuir os custos da distribuição urbana, é importante para a conservação das vias e um elemento fundamental para a redução do consumo de combustíveis e emissão de poluentes.

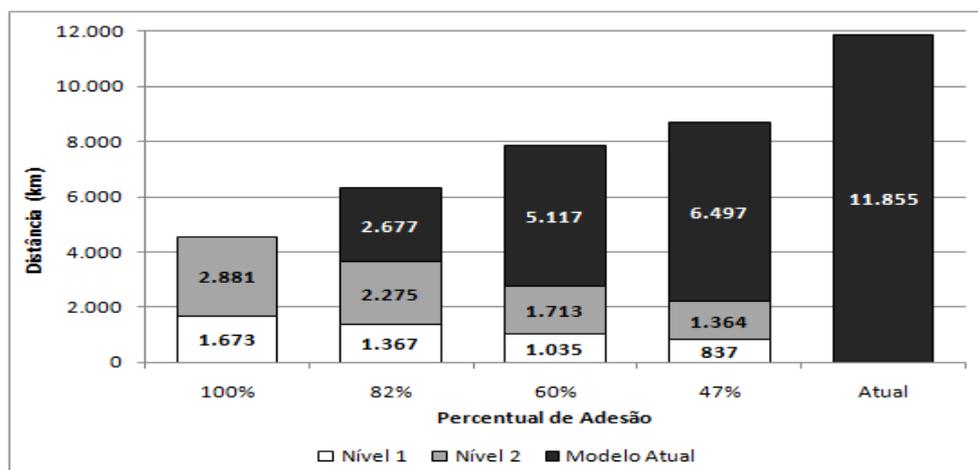


Gráfico 7.14: Distância percorrida em cada nível analisado

A redução da adesão dos clientes levou a um aumento da distância percorrida comparado com o cenário em que todos participam do modelo de CDU, contudo todos eles apresentaram valores inferiores ao cenário base.

#### 7.6.4.1.3 Tempo total de distribuição

O tempo total de distribuição representa o tempo gasto nas operações de carga e descarga nos clientes, com o carregamento dos veículos nos terminais de apoio, nos pontos de consolidação e CDU convencionais e, na realização do trajeto entre os varejistas e destes para os terminais de apoio ou CDU convencionais e dos terminais de apoio para os pontos de consolidação. No cenário com 100% de adesão, conforme pode-se observar no GRA 7.15, o tempo de distribuição no primeiro nível foi de 463 horas e de 178 horas no segundo nível, totalizando 641 horas. Já no cenário base, o tempo total de distribuição foi de 1.344 horas. Isto representa que o modelo proposto neste cenário acarreta uma redução de 52,36% em relação ao tempo total do panorama atual de distribuição de cargas da cidade na área analisada. Vale mencionar que o tempo de distribuição é um aspecto fundamental para o dimensionamento da frota, sendo que a sua redução contribui para o uso de um menor contingente de veículos e, conseqüentemente, menor custo para as empresas e menores impactos ambientais e congestionamentos.

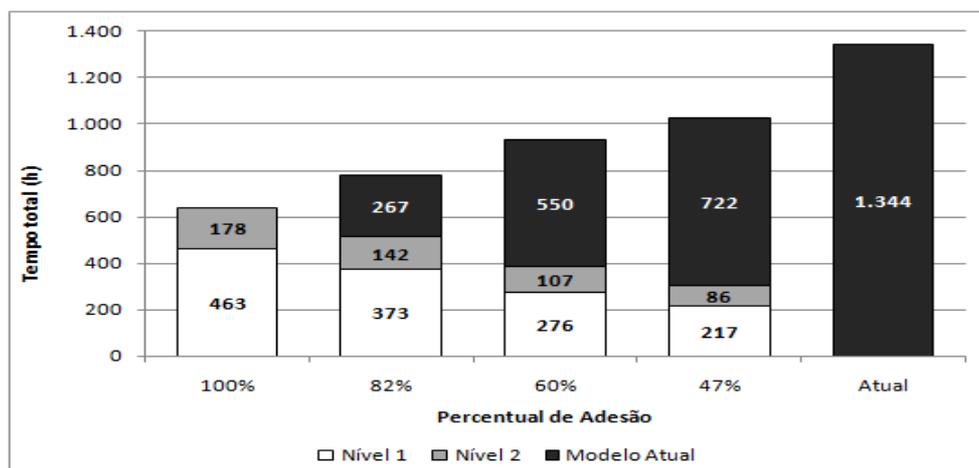


Gráfico 7.15: Tempo total de distribuição em cada nível analisado

A TAB 7.20 apresenta a variação percentual do tempo total de distribuição dos cenários com menor aprovação dos varejistas em relação ao cenário com 100% de adesão e ao cenário base. Os valores mostrados indicam um incremento do tempo do cenário avaliado comparado ao cenário com 100% de adesão e uma redução deste parâmetro quando comparado ao comparado ao cenário base. Nesta tabela, verifica-se que a redução da adesão dos varejistas em relação ao modelo de CDU acarreta um aumento no tempo de distribuição que, mesmo para o pior cenário, ainda é 23,82% inferior ao cenário base.

Tabela 7.20: Variação do tempo total de distribuição em relação aos cenários base e de 100% de adesão

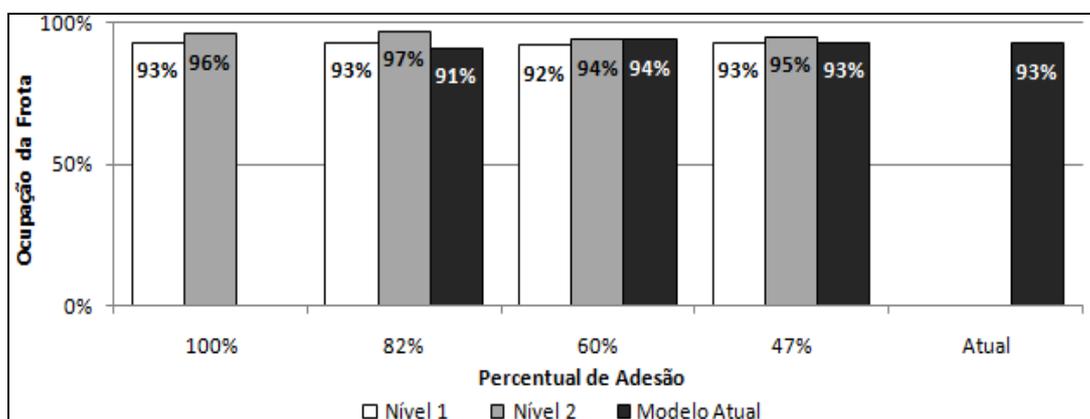
Cenários de Referência	Cenários Avaliados (variação %)		
	82%	60%	47%
100%	+15,02	+31,37	+37,47
Base	- 43,94	- 30,59	- 23,82

#### 7.6.4.1.4 Ocupação da frota

Um dos grandes problemas de alguns centros urbanos é a circulação de veículos vazios em áreas congestionadas, e, em Belo Horizonte, este problema não é diferente, conforme salienta Magalhães (2010). Um dos motivos para esta complicação é que, muitas vezes, as rotas são otimizadas, principalmente, a partir da localização das empresas distribuidoras e não dos centros urbanos congestionados, acarretando a entrada de veículos vazios em ambientes com elevado tráfego de veículos (ROOIJEN e QUAK, 2009). Nos resultados de ocupação da frota, apontados neste trabalho, foi considerado o melhor cenário para a cidade, visto que foram explorados apenas dados da região analisada, ou seja, presumiu-se que as cargas dos veículos carregados eram

destinadas somente para o centro urbano estudado sem a realização de entregas fora desta região. Correia *et. al.* (2010) verificaram que a ocupação dos veículos não é aspecto primordial para os transportadores que atuam na área central de Belo Horizonte já que este atributo teve uma utilidade de 25%, bem inferior, por exemplo, ao estacionamento, com 44%. Assim, é latente a necessidade de uma melhor organização da carga urbana tendo em vista também os interesses da cidade, fato que pode ser alcançado com a contribuição do modelo de CDU.

Observa-se na FIG 7.15 um alto índice de ocupação da frota em todos os cenários analisados, inclusive para o cenário base. Todavia, é importante destacar que a presença do modelo de CDU pode aumentar consideravelmente este indicador no primeiro nível, que representa a área urbana congestionada, promovendo uma melhor utilização dos veículos, tendo em vista também as necessidades do município.



**Figura 15:** Ociosidade em relação à capacidade disponível da frota para nível analisado

#### 7.6.4.1.5 Número de rotas

O modelo de CDU acarretou um acréscimo no número de rotas comparado ao panorama atual de distribuição de cargas do município, como pode ser observado no GRA 7.16. Esta elevação foi de, respectivamente, 21,30%, 17,73%, 16,29% e 13,03%, para os cenários com 100%, 87%, 60% e 47% de adesão. Estes resultados podem ser explicados, em parte, pelo aumento da complexidade do sistema, em que é necessária a roteirização em dois níveis de atendimento e por um melhor aproveitamento da frota utilizada, uma vez que, no cenário base, são alocadas, em média, 2,2 rotas por veículo; já, por exemplo, na simulação com 100% de adesão, este valor passa para 5,8 rotas por veículo.

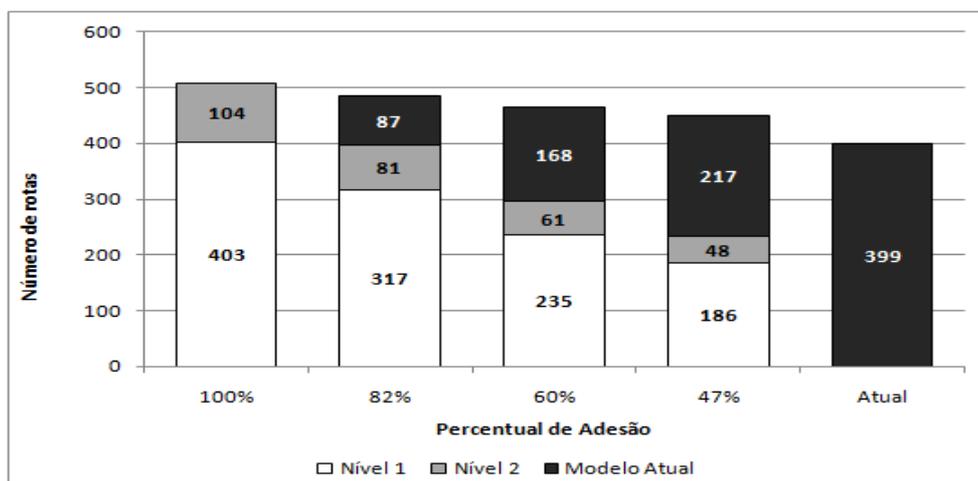


Gráfico 7.16: Número de rotas em cada nível analisado

#### 7.6.4.1.6 Utilização da frota

A utilização da frota configura-se como o último parâmetro da avaliação econômica abordado neste trabalho. Este parâmetro, assim como a ocupação da frota, apresentou elevados índices em todos os cenários analisados, conforme pode ser observado no GRA 7.17. Contudo, vale mencionar que o nível dos pontos de consolidação para os terminais de apoio apresentou os piores resultados para este parâmetro, com índices de utilização de, respectivamente, 89%, para os cenários com 100% e 87% de adesão, e, 84% e 82%, para os cenários, respectivamente, com 60% e 47% de adesão. O uso de uma frota heterogênea e/ou a diminuição de pontos de consolidação neste nível poderiam contribuir para a melhoria destes valores, mas também trariam impactos sobre os outros indicadores, como o número de veículos e a distância percorrida. Neste sentido, é interessante analisar o CDU também em uma forma ampla uma vez que qualquer alteração em sua estrutura pode acarretar mudanças nos resultados de outros indicadores.

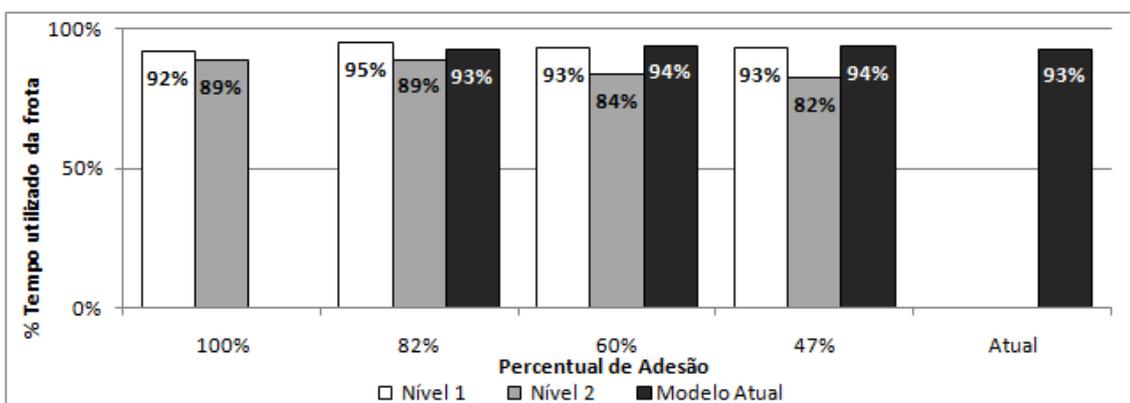


Gráfico 7.17: Utilização da frota em cada nível analisado

#### 7.6.4.2 Avaliação ambiental

A avaliação ambiental é um fator essencial no modelo de CDU na medida em que uma das principais justificativas para a implantação desta alternativa é a mitigação dos impactos ambientais causados pela distribuição urbana nas grandes cidades. É importante destacar que existe uma grande variedade de tipos de impactos ambientais que podem ser avaliados como, por exemplo, a poluição sonora e visual. Neste trabalho, foram avaliados o consumo de combustíveis e a quantificação da emissão de poluentes que são derivados da distância percorrida e do fator de consumo do tipo de frota utilizada no modelo. Neste sentido, é importante destacar que a minimização de alguns custos econômicos também culmina na redução de certos impactos ambientais, demonstrando assim os benefícios que este modelo de CDU traz para os diversos atores envolvidos neste processo, como a sociedade, empresas e autoridades públicas.

A seguir serão apresentados os resultados da avaliação ambiental tendo em vista a estrutura de distribuição com cinco terminais de apoio e os diversos cenários de adesão, comparando-os com a situação atual vivenciada na cidade.

##### 7.6.4.2.1 Consumo de combustível

O consumo de combustível se configura como um parâmetro de análise essencial no modelo de CDU, tendo em vista que se trata do uso de uma fonte de energia não-renovável e, conseqüentemente, a sua redução acarreta benefícios para toda a sociedade. Vale mencionar que os cálculos realizados basearam em um fator de consumo médio de 6 km/l para os veículos de menor porte e 3 km/l para os equipamentos com capacidade de carga ampliada e na distância percorrida em cada nível de análise. Estes valores estão congruentes com o tipo de frota utilizada e o tipo de atividade realizada pelos veículos segundo a prática das empresas que operam na região analisada. Destaca-se uma significativa redução no consumo de combustível em relação ao cenário atual, mesmo este tendo sido calculado, conforme anteriormente mencionado, com base na melhor situação de roteirização do ponto de vista da cidade. Esta redução foi de, respectivamente, 37,27%, 27,5%, 19,2% e 15,1%, para os cenários de adesão de 100%, 82%, 60% e 47%, conforme evidenciado no GRA 7.18.

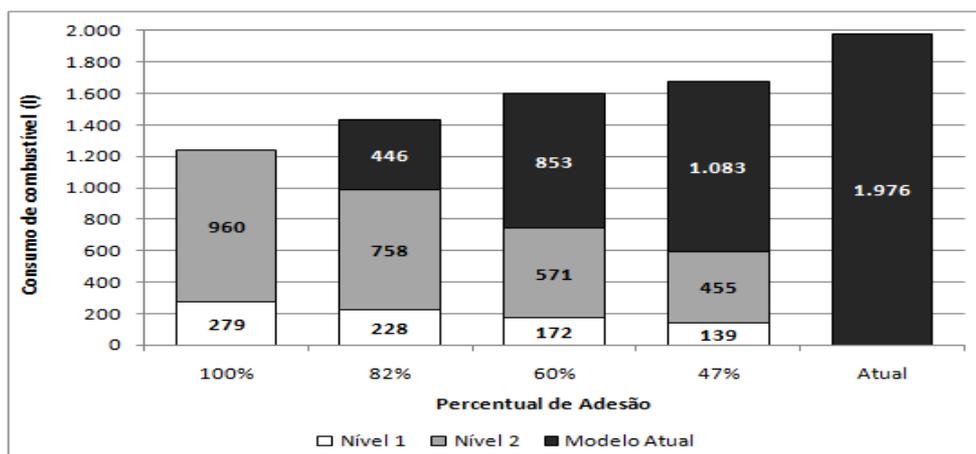


Gráfico 7.18: Consumo de combustível em cada nível analisado

No que se refere aos níveis da rede logística, observa-se que a sensibilidade do consumo de combustível em relação à variação da adesão apresentou resultados bem parecidos para o primeiro e o segundo nível. Neste sentido, a variação da adesão dos varejistas representou um aumento de, aproximadamente, 21% em cada nível. Já para os varejistas que eram atendidos pelo modelo atual de distribuição, a variação do consumo foi bem superior, atingindo, em média, 38% de aumento para cada variação realizada. Isto significa que, à medida que adesão ao CDU diminui, o consumo de óleo diesel aumenta consideravelmente.

#### 7.6.4.2.2 Emissão de poluentes

A emissão de poluentes traz consequências negativas para toda a sociedade, como os problemas respiratórios e o aquecimento global, que culminam na diminuição da qualidade de vida da população. Assim, um dos objetivos fundamentais do modelo de CDU é a redução da emissão de poluentes. Vale destacar que o cálculo deste parâmetro foi feito com base a ferramenta para a realização de inventários de gases do efeito estufa do Programa Brasileiro GHG *Protocol* (2010), conforme descrito na metodologia desta pesquisa. Os resultados da emissão de poluentes foram bem parecidos aos do consumo de combustíveis uma vez que a base de cálculo da ferramenta utilizada considera a quantidade de combustível em cada nível analisado. Neste sentido, a redução da emissão de poluentes dos cenários propostos, em relação ao panorama base, foi de, respectivamente, 37,27%, 27,5%, 19,2% e 15,1%, para os cenários de adesão de 100%, 82%, 60% e 47%. Já a sensibilidade da emissão em no que se refere à variação da adesão de varejistas foi, em média, cerca de, 27% nos dois níveis e 38% no modelo de atendimento atual. O GRA 7.19 mostra os resultados da emissão de combustíveis nos níveis analisados.

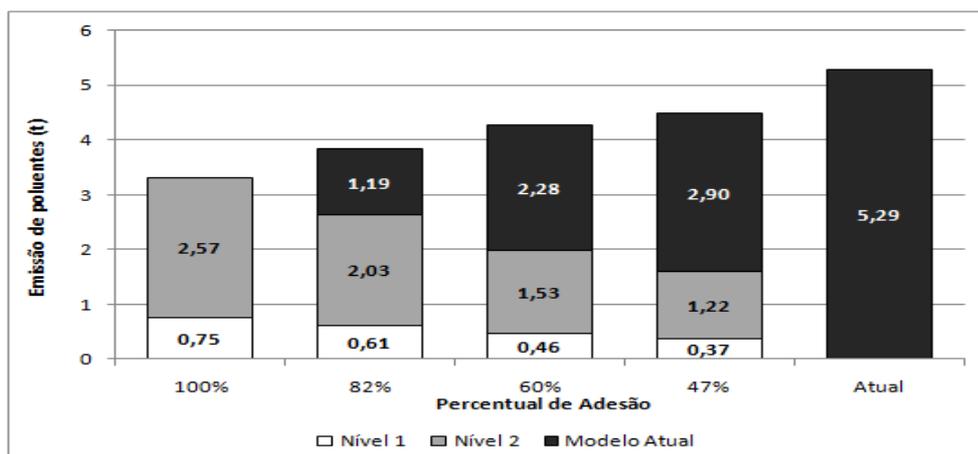


Gráfico 7.19: Emissão de poluentes em cada nível analisado

É importante mencionar que o potencial de redução de emissão de poluentes no modelo de CDU proposto é significativo. Nesta pesquisa, foi utilizada uma frota composta por veículos no qual a fonte de energia é o óleo diesel visto que desenvolvimento da tecnologia para a aplicação de motores com fontes alternativas de energia limpa, como os elétricos, ainda é algo incipiente no Brasil. Verifica-se, no Gráfico 20, que o nível 2 apresenta o maior valor de emissão dentre os cenários de adesão dos varejistas, resultando em uma média de 48% de todo poluente emitido no modelo proposto. Destaca-se que este nível apresenta um elevado potencial para utilização de veículos “ambientalmente amigáveis”, uma vez que ele possui roteiros curtos em virtude da distância reduzida entre os terminais de apoio e os varejistas atendidos, fato crucial para a aplicação desta tecnologia segundo Crainic *et al.* (2009).

## 8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho desenvolveu uma metodologia para avaliar os impactos econômicos e ambientais de um centro de distribuição urbano de mercadorias (CDU) tendo como objeto de estudo a área central de Belo Horizonte que possui restrições de acesso aos veículos de carga e os maiores problemas com o tráfego de veículos. É importante mencionar que esta alternativa configura-se como uma das principais medidas da logística urbana para atenuar os graves problemas que a distribuição de carga acarreta nas cidades.

A metodologia proposta considerou configurações alternativas para a realização das entregas no centro urbano do município com intuito de reduzir as externalidades negativas do transporte de carga e os custos de distribuição para a cadeia de suprimentos. Os resultados apontaram que o modelo desenvolvido pode trazer uma substancial melhoria para os agentes envolvidos na distribuição de mercadorias, como a sociedade, transportadores e varejistas, comprovando que o CDU se constitui como uma importante iniciativa para otimizar os processos logísticos na cidade analisada em virtude dos resultados dos parâmetros econômicos e ambientais apresentados. Desta forma, foram alcançados os objetivos que orientaram o desenvolvimento deste trabalho.

Os parâmetros econômicos e ambientais propostos neste trabalho foram desenvolvidos de acordo com as referências citadas, buscando identificar os componentes constituintes dos custos de distribuição das empresas e que também trazem consequências ao meio ambiente e à sociedade. Neste sentido, este trabalho não formatou um modelo matemático para determinar os impactos econômicos e ambientais, mas apresentou o detalhamento dos elementos que poderiam configurar esta função com intuito de analisar o comportamento destas variáveis em decorrência das alterações das estruturas logísticas conforme os cenários apresentados.

Os resultados dos parâmetros econômicos e ambientais observados estão em consonância com a realidade atual de Belo Horizonte. Isto porque eles têm como principal referência o percurso e a distância percorrida dos veículos que foram obtidas por meio da malha viária real do município configurada na rede do TRANSCAD.

É importante destacar que a formatação da estrutura logística de abastecimento na cidade analisada e o estudo da adesão dos varejistas ao modelo de CDU constituíram-se como princípios fundamentais nas análises realizadas neste trabalho. Na formatação da estrutura do modelo de CDU foram propostos cenários com a presença de duas camadas de atendimento, a primeira, refere-se ao fluxo de mercadorias dos pontos previamente definidos até os locais de

transferência de cargas, ou seja, os terminais de apoio. Já a segunda, constituiu o curso dos produtos dos terminais de apoio até os varejistas, instalados na região analisada. A posição dos terminais de apoio foi determinada pelo estudo de localização de instalações. Além disto, foi feito um estudo de roteirização para as duas camadas propostas. Destaca-se que o estudo de adesão dos varejistas definiu a demanda destes agentes que fundamentou os estudos de localização e roteirização realizados.

Vale destacar que foram instituídos três cenários que fundamentaram as simulações realizadas. O primeiro cenário, ou cenário base, refletiu a estrutura atual da distribuição de cargas no município. O segundo, ou cenário com pontos de consolidação, apresentou mudanças profundas em relação ao cenário inicial, buscando organizar o processo logístico na cidade desde o fluxo de entrada das mercadorias até a entrega aos varejistas localizados na região pesquisada. Já no terceiro, ou cenário híbrido, as alterações na estrutura inicial foram menos significativas comparadas ao anterior, mas também com uma rede logística formada por duas camadas, aspecto fundamental para o modelo de CDU analisado neste trabalho. Nos dois últimos foram realizadas variações na quantidade de terminais de apoio alocados à estrutura de atendimento.

Além disto, avaliou-se a adesão dos varejistas na região central de Belo Horizonte em relação à utilização do CDU, determinando cenários de adesão que alteraram a quantidade destes agentes presentes no modelo proposto. Verificou-se que estes agentes aprovam a iniciativa pesquisada desde que ela não acarrete aumento nos custos de seus empreendimentos. Destaca-se que no Brasil não existem registros de implantação de CDU congruente com o conceito apresentado neste trabalho, assim os casos de implantação deste sistema em alguns países, como França, Inglaterra e Alemanha, contou com uma presença importante do setor público, atuando, principalmente, com incentivos para a minimização dos custos que este modelo potencialmente pode acarretar. Os resultados desta pesquisa indicam que esta participação pode se justificar também para a realidade brasileira na medida em que o nível de adesão dos varejistas aumenta substancialmente quando o modelo é implantado sem ônus para este segmento, com a probabilidade analisada passando de 60% para 82%.

As variações da estrutura da rede logística de atendimento e da adesão dos varejistas constituíram 40 situações possíveis para a configuração do modelo de CDU. Neste sentido, o cenário com pontos de consolidação, 5 terminais de apoio e 100% de adesão dos varejistas foi apresentado como uma boa alternativa para a formatação da distribuição urbana de mercadorias na região analisada. É importante frisar que, por meio da análise do coeficiente de variação dos resultados dos parâmetros econômicos e ambientais, verificou-se que a estrutura da rede logística, ou seja, a quantidade de terminais de apoio e a presença dos pontos de consolidação não se figuram

como elementos significativos para os objetivos do modelo de CDU. Isto porque a variação da estrutura do modelo resultou em baixa oscilação dos valores parâmetros econômicos e ambientais avaliados. Contudo, a variação da adesão dos varejistas acarretou uma elevada mudança nestes parâmetros, demonstrando sua importância para o modelo proposto.

O estabelecimento de estratégias que garantam a efetiva participação dos varejistas no modelo de CDU é um aspecto fundamental para a mitigação as externalidades negativas do transporte urbano de cargas e também para a diminuição dos custos deste sistema de distribuição de mercadorias. Este fato corrobora com a pesquisa realizada para o modelo de adesão dos varejistas, destacando mais uma vez a importância destes agentes para varejistas o modelo de CDU.

Recomenda-se para pesquisas futuras um aprofundamento em relação aos fatores motivadores da participação dos varejistas em relação ao CDU. Isto pode ser um aspecto interessante para um melhor entendimento das necessidades dos varejistas e, conseqüentemente, a formulação de estratégias mais adequadas para a atração destes agentes ao modelo de CDU.

É relevante também o estudo de um modelo para o gerenciamento do modelo de CDU que consiga agregar a participação dos transportadores que operam na região analisada uma vez que estes agentes possuem papel importante para o sucesso deste empreendimento. As parcerias público-privadas e os sistemas colaborativos de gestão se constituem como importantes elementos para pesquisas futuras.

Os elementos constituintes deste estudo como o modelo de adesão e a determinação da demanda foram baseados em número reduzido de varejistas. Este fato aumenta a incerteza em relação aos resultados alcançados. Neste sentido, o aumento da amostra pesquisa é pertinente para futuros estudos em virtude da elevação da precisão dos resultados e a possibilidade de um tratamento estatístico dos dados.

É importante a realização de um estudo para o dimensionamento das instalações envolvidas no modelo de CDU, como os terminais de apoio e os pontos de consolidação. Este fato constitui-se como um importante elemento para a determinação dos custos fixos dos armazéns.

Sugere-se a incorporação dos custos de armazenamento e manuseio nos nós de origem e transferência das cargas. É interessante que estes custos sejam integrados ao modelo de localização de instalações para os terminais de apoio. Estes fatores contribuem para a realização de uma análise de investimentos para a implantação do modelo de CDU.

Para trabalhos posteriores, seria interessante uma análise do impacto do CDU no tráfego da cidade, principalmente, nas áreas de implantação dos terminais de apoio e dos pontos de consolidação uma vez que o fluxo de veículos nestas áreas é potencialmente elevado. Outro aspecto

essencial é a análise dos impactos do modelo de CDU em toda a cadeia de suprimentos, considerando as alterações na rede logística desde a origem do fluxo de produtos até os varejistas.

O desenvolvimento de uma meta-heurística para a resolução simultânea dos problemas de localização e roteirização se configura como um fator primordial para pesquisas futuras. Isto porque a abordagem destes problemas de forma conjugada em um problema otimização combinatória pode aumentar a confiança e a precisão dos resultados. Além disto, o TRANSCAD é um *software* comercial em que os algoritmos de resolução do problema são desconhecidos.

Vale destacar que o potencial de melhoria do modelo de CDU pode ser aumentado uma vez que utilizou-se como base para a retratação da situação atual da distribuição de cargas do município um cenário que considerou a roteirização dos veículos a cidade como um sistema fechado contendo apenas a região analisada. Neste sentido, todos os veículos realizaram apenas entregas consolidadas para a área pesquisada, apresentando altos níveis de ocupação da frota algo não observado na situação corrente da cidade conforme mencionado por Magalhães (2010). Além disto, a utilização de uma frota movida à energia limpa poderia melhorar substancialmente os parâmetros ambientais avaliados. Sugere-se para trabalhos posteriores a incorporação de rotas na definição dos cenários condizentes com a realidade operacional das empresas.

Apesar das limitações deste estudo, verificou-se que o modelo de CDU pode trazer resultados interessantes para os agentes envolvidos no transporte urbano de mercadorias, como a sociedade, poder público e as organizações privadas, diminuindo os custos de distribuição para as empresas e as externalidades negativas desta atividade, como os congestionamentos, ruído, emissão de poluentes e consumo energético. Destaca-se que a cooperação e a parceria entre os agentes constituintes do ambiente urbano se configuram como aspectos essenciais para o alcance efetivo dos objetivos que envolvem o modelo de CDU. Neste sentido, é fundamental a participação das autoridades públicas, principalmente como um agente facilitador do modelo, incentivando as empresas e buscando um entendimento comum entre as partes envolvidas para um desenvolvimento consistente e uma aplicação bem sucedida deste empreendimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ABEL, H., RUESCH, M. *Intelligent Transport Systems*. BESTUFS, Best Practice Handbook Year 4 Part II. 2003. 102 p. Disponível em: <[http://www.bestufs.net/bestufs2\\_results.html](http://www.bestufs.net/bestufs2_results.html)>. Acesso em: 20 jun. 2010.
- 2 ABOOLIAN, R., BERMAN, O., & KRASS, D. Competitive facility location and design problem. *European Journal of Operational Research*, v. 182, p. 40-62, 2007.
- 3 ABREU, F. R. C. Planos diretores participativos na RMBH: experiências de planejamento local em municípios metropolitanos. In: SEMINÁRIO DE EXPERIÊNCIAS EM PLANOS DIRETORES PARTICIPATIVOS E DE REGULAÇÃO FUNDIÁRIA, 2007, Blumenau. Santa Catarina. *Anais...*. Blumenau: Universidade Regional de Blumenau/SC Núcleo de Estudos Urbanos e Regionais, 2007. p. 1-12. Disponível em: <[http://www.furb.br/neur/cd/conteudo/artigos/PD05\\_artigo\\_neur\\_2007.pdf](http://www.furb.br/neur/cd/conteudo/artigos/PD05_artigo_neur_2007.pdf)>. Acesso em: 20 nov. 2010.
- 4 ALMEIDA, L. M. W. *Desenvolvimento de uma metodologia para análise locacional de sistemas educacionais usando modelos de interação espacial e indicadores de acessibilidade*. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999. Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/teses99/werle/index.html>>. Acesso em: 20 abr. 2010.
- 5 BARBOSA, J. M. R. *Aplicação de uma abordagem adaptativa de busca tabu a problemas de roteirização e programação de veículos*. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- 6 BENJELLOUN, A., CRAINIC, T.G. Trends, Challenges and Perspectives in City Logistics. In: DANS TRANSPORTATION AND LAND USE INTERACTION. *Proceedings TRANSLU'08*. Editora Politecnica Press, Bucharest, Romania, 2008. p. 269-284.
- 7 BENJELLOUN, A., CRAINIC, T.G., BIGRAS, Y. Toward a Taxonomy of City Logistics Projects. In: CITY LOGISTICS VI. *Proceedings of the 6th International Conference on City Logistics*, Puerto Vallarta, Mexico, Institute for City Logistics, Japan, 2009. p. 409-421.
- 8 BERGQVIST, R., TORNBERG, J. Evaluating locations for intermodal transport terminals. *Transportation Planning and Technology*, v. 31, N° 4, p. 465-485, 2008.
- 9 BHTRANS, EMPRESA DE TRANSPORTE E TRÂNSITO DE BELO HORIZONTE. Disponível em: <<http://www.bhtrans.pbh.gov.br>>. Acesso em: 05 mar. 2010.
- 10 BODIN, L. D., ASSAD, B. L., BALL, A. Routing and scheduling of vehicles and crew, the state of the art. *Computers & Operations Research*, v. 10, p. 69-211, 1983.
- 11 BROWNE, M. The impact of e-commerce on urban transport. In: EUROPEAN CONFERENCE OF MINISTERS OF TRANSPORT. *Proceedings of Joint OECD/ECMT*

- Seminar*. Paris, 2001. p. 1-29. Disponível em:  
<<http://www.oecd.org/dataoecd/53/23/2536564.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2010.
- 12 BROWNE, M., PIOTROWSKA, M., WOODBURN, A., ALLEN, J. *Literature Review WM9: Part I - Urban Freight Transport*. Grupo de Estudos em Transportes da University of Westminster, London, 2007. 51 p. Relatório. Disponível em:<  
[http://www.greenlogistics.org/SiteResources/dbcff9ad-57c7-4d2a-bd27-ac3729f62a7a\\_WM9%20-%20Westminster%20-%20LGVs.pdf](http://www.greenlogistics.org/SiteResources/dbcff9ad-57c7-4d2a-bd27-ac3729f62a7a_WM9%20-%20Westminster%20-%20LGVs.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2010.
  - 13 BROWNE, M., SWEET, M., WOODBURN, A., ALLEN, J. *Urban freight consolidation centres*. Grupo de Estudos em Transportes da University of Westminster, London, 2005. 190 p. Relatório. Disponível em: <  
[www.oresund.org/.../RR3%20Urban%20Freight%20Consolidation%20Centre%20Report.pdf](http://www.oresund.org/.../RR3%20Urban%20Freight%20Consolidation%20Centre%20Report.pdf)>. Acesso em: 02 abr. 2010.
  - 14 CALIPER. *Routing and logistics with TRANSCAD 4.8*. 1ª Edição. Massachusetts: Caliper Corporation, 2005. 134 p.
  - 15 CARRARA, C. M. *Uma aplicação do SIG para localização e alocação de terminais logísticos em áreas urbanas congestionadas*. 2007. 247 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
  - 16 CARVALHO, D. B. F., OLIVEIRA, G. A., SOUZA, M. J. F. Método de Pesquisa em Vizinhança Variável Aplicado à Resolução do Problema de Roteirização de Veículos. In: XXXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL – SBPO. *Anais...* . Natal, p. 675-684, 2003.
  - 17 CHOPRA, S., MEINDL, P. *Gerenciamento da cadeia de suprimentos – estratégia, planejamento e operação*. 1ª Edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003. 480 p.
  - 18 CHWESIUK, K., KIJEWSKA, K., IWAN, S. Idea of urban consolidation centres for medium-size touristics cities of Westpomeranian Region of Poland. In: CITY LOGISTICS VI. *Proceedings of the 6th International Conference on City Logistics*, Puerto Vallarta, Mexico, Institute for City Logistics, Japan, 2009. p. 467-479.
  - 19 CLARKE, G., WRIGHT, J. W. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, v. 12, p. 568-581, 1964.
  - 20 COATES, J.F. Scenario planning. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 5, p. 115-123, 2000.
  - 21 CORREIA, V. A., OLIVEIRA, L. K., ABREU, B. R. A. Modelo para avaliar a adesão de transportadores e varejistas à utilização de um centro de distribuição urbano. XXIV CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES. *Anais...*, Salvador, 2010. p. 1-13.
  - 22 CRAINIC, 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.

- 23 CRAINIC, T. G., KIM, K. H. Intermodal Transportation. In: BARNHART, C., LAPORTE, G. *Transportation. Handbooks in Operations Research and Management Science*. Volume 14. Amsterdam: Editora Elsevier. 2007. cap. 8. p. 467-537.
- 24 CRAINIC, T. G., LAPORTE, G. Planning models for freight transportation. *European Journal of Operational Research*, v. 97, p. 409-438, 1997.
- 25 CRAINIC, T. G., RICCIARDI, N., STORCHI, G. Advanced freight transportation systems for congested urban areas. *Transportation Research Part C*, v. 12, p. 119-137, 2004.
- 26 CRAINIC, T. G., RICCIARDI, N., STORCHI, G. Models for evaluating and planning city logistics systems. *Transportation Science*, v. 43, n. 4, p. 432-454, 2009b.
- 27 CUNHA, C. B. *Algoritmos para roteamento e programação de veículos no contexto da distribuição física*. 1991. 178 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- 28 CURTARELLI, L., JÚNIOR, W. F. R., SHIKIDA, P. F. A. Modelagem comportamental pela técnica da preferência declarada aplicada aos agricultores de Santa Helena (PR). *RER*, v. 44, n. 2, p. 243-262, 2006.
- 29 CZERNIAK, R. J., LAHSENSE, J. S., CHATTERJEE, A. Urban freight movement – What form Will it take? *Transportation in the New Millennium: State of the Art and Future Directions*, p. 1-7, 2000. Disponível em: <<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/millennium/00139.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2010.
- 30 DABLANC, L. Freight transport, a key element of the urban economy, guidelines for practitioners. In: 89<sup>TH</sup> ANNUAL MEETING OF TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. *Proceedings of World Bank Meeting*, Washington DC, EUA, 2010. 22 p.
- 31 DABLANC, L. Goods transport in large European cities: Difficult to organize, difficult to modernize. *Transportation Research Part A*, v. 41, p. 280-285, 2007.
- 32 DABLANC, L. Urban goods movement and air quality policy and regulation issues in European cities. *Journal of Environmental Law*, p. 1-22, 2008. Disponível em: <<http://jel.oxfordjournals.org/content/early/2008/02/28/jel.eqn005.full.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2010.
- 33 DABLANC, L., RAKOTONARIVO, D. The impacts of logistic sprawl: how does the location of parcel transport terminals affect the energy efficiency of goods' movements in Paris and what can we do about it? In: CITY LOGISTICS VI. *Proceedings of the 6th International Conference on City Logistics*, Puerto Vallarta, Mexico, Institute for City Logistics, Japan, 2009. p. 251-263.
- 34 DASBURG, N., SCHOEMAKER, J. *Quantification of Urban Freight Transport Effects II*. BESTUFS II: Best Urban Freight Solutions II. 2006a. 99 p. Relatório. Disponível em: <[http://www.bestufs.net/bestufs2\\_results.html](http://www.bestufs.net/bestufs2_results.html)>. Acesso em: 20 jun. 2010.

- 35 DANIELIS, R., ROTARIS, L. *Analysing freight transport demand using stated preference data: a survey and a research project for the Friuli-Venezia Giulia Region*. Working Paper. University of Trieste, Trieste, 2000. Relatório.
- 36 DANTTZIG, G.B., RAMSER, J. The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, v. 6, p.80-91, 1959.
- 37 DASKIN, M. S. What you should know about location modeling. *Naval Research Logistics*, v. 55, p. 283-294, 2008.
- 38 DENATRAN, DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. Estatísticas da frota de veículo nacional. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em: 20 dez. 2010.
- 39 DER-MG, DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE MINAS GERAIS. Mapa Rodoviário da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Disponível em <[http://200.198.22.36/html/mapa\\_rodoviario/novo\\_mapa/cmmz/instru/rm.html](http://200.198.22.36/html/mapa_rodoviario/novo_mapa/cmmz/instru/rm.html)>. Acesso em: 10 dez. 2010.
- 40 DUTRA, N. G. S. *O enfoque de “City Logistics” na distribuição urbana de encomendas*. 2004. 212 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- 41 FARAHANI, R. Z., DREZNER, Z., ASGARI, N. Single facility location and relocation problem with time dependent weights and discrete planning horizon. *Annals of Operation Research*, v. 167, n. 1, p. 353-368, 2009.
- 42 FIGUEIREDO, L. A. *A indústria de prestação de serviços logísticos e o modelo de negócio*. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- 43 FOURER, R., GAY, D. M., KERNIGHAN, B. W. *AMPL: A modeling language for mathematical programming*. 1<sup>th</sup> Edition. Duxbury Press, Belmont, CA, 1993.
- 44 FRANÇA, P. T.; RUBIN, M. *Transporte Urbano de Mercadorias, Logística Urbana e City Logistics*. Grupo de Estudos Logísticos, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2005. 25 p. Relatório. Disponível em: <<http://www.gelog.ufsc.br/site>>. Acesso em: 16 abr. 2010.
- 45 FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. *Pesquisa domiciliar de origem e destino na região metropolitana de Belo Horizonte em 2001/2002*. Matrizes de Origem e Destino de Veículos. Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte, 2003. Relatório.
- 46 GHG Protocol. *Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol: Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa*. Fundação Getúlio Vargas e World Resources Institute, Segunda Edição, 2010. 39 p. Disponível em: <<http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/cms/arquivos/ghgespec.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2010.
- 47 GOLDBERG, D. E. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Boston, MA: Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989. 99 p.

- 48 HAIDER, W. Stated preference & choice models – a versatile alternative to traditional recreation research. *Proceedings of Monitoring and Management of Visitor Flows in Recreational and Protected Areas*, Vienna, Austria, 2002. p. 115-121.
- 49 HENSHER, D., FIGLIOZZI, M. Behavioural insights into the modelling of freight transportation and distribution systems. *Transportation Research Part B*, v. 41, p. 921-923, 2007.
- 50 HEYWOOD, C. *Review of stated preference and willingness to pay methods*. Introductory note by the Competition Commission. 2010. Relatório.
- 51 HOLLAND, J. H. *Adaptation in natural and artificial systems*. Boston, Cambridge: MIT Press Cambridge, 1992. 211 p.
- 52 IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Primeiros resultados do censo 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/censo2010/>>. Acesso em: 22 dez. 2010.
- 53 IEA, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Transport energy efficiency*. Energy Efficiency Series. 2010. Relatório. Disponível em: <[http://www.iea.org/papers/2010/transport\\_energy\\_efficiency.pdf](http://www.iea.org/papers/2010/transport_energy_efficiency.pdf)>. Acesso em: 22 dez. 2010.
- 54 KARRER, R., RUESCH, M. *Road pricing and urban freight transport – Urban freight platforms*. BESTUFS II: Best Urban Freight Solutions II. Best Practice Update 2007 Part I. 2007. 254 p. Relatório. Disponível em: <[http://www.bestufs.net/bestufs2\\_results.html](http://www.bestufs.net/bestufs2_results.html)>. Acesso em: 20 jun. 2010.
- 55 KROES, P. E., SHELDON, R. J. Stated preference methods: an introduction. *Journal of Transport Economics and Policy*, v. 28, n° 1, p. 11-25, 1988.
- 56 KWON, E., LEATHER, J. A. *Urban transport energy efficiency*. Asian Development Bank. 2006. 32 p. Relatório. Disponível em: <<http://www.adb.org/Documents/Reports/Technical-Notes/Urban-Transport-Energy-Efficiency/transport-energy-efficiency.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2010.
- 57 LAPORTE, G., GENDREAU, M., POTVIN, J.Y., SEMET, E. F. Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem. *International Transactions in Operational Research*, v. 7, p. 285-300, 2000.
- 58 LIMA JÚNIOR., O. F. A carga na cidade: hoje a amanhã. *Revista dos Transportes Públicos – ANTP*, ano 25, p. 219-230, 3° trimestre, 2003.
- 59 LUNARO, A., FERREIRA, M. A. G. Os espaços públicos e a questão da acessibilidade sob o ponto de vista dos idosos. *Ciência & Engenharia*, v. 15, n° 2, p. 67-72, 2005.
- 60 MAGALHÃES, D. J. A. V. Urban freight transport in a metropolitan context: The Belo Horizonte City Case Study. In: CITY LOGISTICS VI. *Proceedings of the 6th International Conference on City Logistics*, Procedia-Social and Behavioral Sciences, v. 2, 2010. p. 6076-6086. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/issue/59087-2010-999979996-2245748>>. Acesso em: 28 dez. 2010.

- 61 MARCUCCI, E.; DANIELIS, R. The potencial demand for a urban freight consolidation centre. *Transportation*, v. 35, p. 269-284, 2008.
- 62 MARTINS, R. S., LOBO, D. S., PEREIRA, S. M. Atributos Relevantes no Transporte de Granéis Agrícolas: Preferência Declarada pelos Embarcadores. *Revista de Economia e Negócio*, v. 3, nº 2, p. 173-192, 2005.
- 63 MINIHANE, E. D. *Bristol Consolidation Centre*. START – Short term actions to reorganize transport of goods, Bristol City Council, Bristol, 2009. 23 p. Relatório. Disponível em: <<http://www.ciltuk.org.uk/pages/downloadfile?d=52F89921-7B0D-4B0E>>. Acesso em: 15 abr. 2010.
- 64 MUÑUZURI, J., LARRAÑETA, J., ONIEVA, L., CORTÉS, P. Solutions applicable by local administrations for urban logistics improvement. *Cities*, v. 22, nº 1, p. 15-28, 2005.
- 65 NEMOTO, T., BROWNE, M., VISSER, J., CASTRO, J. T. Intermodal transport and city logistics policies. In: RECENT ADVANCES IN CITY LOGISTICS. *Proceedings of the 4th International Conference on City Logistics*, Langkawi, Malasia, Institute for City Logistics, Japan, 2006. 15 p. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/10086/14568>>. Acesso em: 15 mar. 2010.
- 66 NOVAES, A. G., GONÇALVES, B. S., COSTA, M. B., SANTOS, S. Rodoviário, ferroviário ou marítimo de cabotagem? O uso da técnica de preferência declarada para avaliar a intermodalidade no Brasil. *Transportes*, v. 14, nº 2, p. 11-17, 2006.
- 67 NOVAES, A. G., VIEIRA, H. F., RODRIGUEZ, C. M. T., GRANEMANN, S. R. Aferição do nível logístico portuário por meio de técnicas de preferência declarada. In: X CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES. *Anais... v. 2*. 1996. p. 567-576.
- 68 NUNES, L. F. *Algoritmos Genéticos Aplicados na Abordagem de um Problema Real de Roteirização de Veículos*. 1998. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.
- 69 OCHI, L. S. Conhecimento heurístico aplicados a problemas de otimização combinatória. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO. *Anais da XII Jornadas de atualização em informática*. Caxambú, Minas Gerais, 1994. 43 p.
- 70 OECD, Organization for Economic Co-operation and Development. *Delivering the goods: 21st century challenges to urban goods transports*. Paris: OECD Publishing, 2003. 160 p.
- 71 OGDEN, K. W. *Urban goods movement: a guide to policy and planning*. 1ª Edição. Inglaterra: Editora Ashgate, 1992. 397 p.
- 72 OLIVEIRA, L. K, NUNES, N. T. R., NOVAES, A. G. N. Assessing model for adoption of new logistical services: An application for small orders of goods distribution in Brazil. In: CITY LOGISTICS VI. *Proceedings of the 6th International Conference on City Logistics*, Procedia-Social and Behavioral Sciences, v. 2, 2010. p. 6286-6296. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/issue/59087-2010-999979996-2245748>>. Acesso em: 28 dez. 2010.

- 73 PBH, PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. Disponível em: <<http://www.pbh.gov.br>>. Acesso em: 23 out. 2010.
- 74 QUAK, H. *Sustainability of urban freight transport retail distribution and local regulations in cities*. 2008. Thesis (Ph.D. in Management), Erasmus Research Institute of Management (ERIM), Erasmus University Rotterdam, Rotterdam, 2008.
- 75 QUAK, H., KOSTER, M. Delivering goods in urban areas: how to deal with urban policy restrictions and the environment. *Transportation Science* v. 43, n° 2, p. 211-227, 2009.
- 76 ROGERS, E. M. *Diffusion of Innovations*. 4ª Edição. Editora: Free Press. 1995. 519 p.
- 77 ROOIJEN, T. V., QUAK, H. Local impacts of a new urban consolidation centre - the case of Binnenstadservice.NL In: CITY LOGISTICS VI. *Proceedings of the 6th International Conference on City Logistics*, Puerto Vallarta, Mexico, Institute for City Logistics, Japan, 2009. p. 101-116.
- 78 RUESCH, M., PETZ, C. *Best Practice Update: E-Commerce and urban freight distribution (home shopping)*. BESTUFS II, Best Urban Freight Solutions II. 2008. 101 p. Relatório. Disponível em: <[http://www.bestufs.net/bestufs2\\_results.html](http://www.bestufs.net/bestufs2_results.html)>. Acesso em: 20 jun. 2010.
- 79 RUESCH, M., PETZ, C. *Best Practice Update: Public Private Partnerships (PPP) in urban freight transport*. BESTUFS II, Best Urban Freight Solutions II. 2008b. 110 p. Relatório. Disponível em: <[http://www.bestufs.net/bestufs2\\_results.html](http://www.bestufs.net/bestufs2_results.html)>. Acesso em: 20 jun. 2010.
- 80 SAHIN, G., SÜRAL, H. A review of hierarchical facility location models. *Computers & Operations Research*, v. 34, pp. 2310-2331, 2007.
- 81 SANCHES JUNIOR, P. F. *Logística da carga urbana: uma análise da realidade brasileira*. 2008. 238 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- 82 SIRIKIJPANICHKUL, A., KOEN, V. D., FERREIRA, L., ZOFIA, L. Optimizing the location of intermodal freight hubs: an overview of the agent based modelling approach. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, v. 7, p. 71-81, 2007.
- 83 SOUZA, O. A. *Delineamento experimental em ensaios fatoriais utilizados em preferência declarada*. 1999. Tese. (Doutorado em Engenharia de Produção) - Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999. Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/teses99/osmar/>>. Acesso em: 22 abr. 2010.
- 84 TANIGUCHI, E., HEIJDEN, R. E. C. M. V. D. An evaluation methodology for city logistics. *Transportation Reviews*, v. 20, n° 1, p. 65-90, 2000.
- 85 TANIGUCHI, E., THOMPSON, R. G., YAMADA, T., DUIN, J. H. R. V. *City logistics: network modelling and intelligent transport systems*. 1ª Edição. Oxford: Editora Pergamon. 2001. 260 p.

- 86 WAISMAN, J., PAIVA JR, H., FERIANCIC, G., CARVALHO JR, G. Desenvolvimento de modelo de escolha discreta para projeção de demanda para transporte especial sobre trilhos para o Aeroporto Internacional de São Paulo. In: XVI PANAM. *Proceedings of the XVI Pan-American Conference of Traffic and Transportation Engineering and Logistics*, Lisboa, Portugal, 2010. p. 1-13.
- 87 WATERS, N. M. Transportation GIS: GIS-T. In: LONGLEY, P.A., GOODCHILD, M.F., MAGUIRE, D.J., RHIND, D.W. *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*. 1ª Edição. Abridged: Editora Wiley, 1999. cap. 59, p. 827-844. Disponível em: <<http://ggs.gmu.edu/People/Waters/WatersGIS-T.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2010.
- 88 YOSHIMOTO, R., NEMOTO, T. (2005) The impact of information and communication technology on road freight transportation. *IATSS Research*, v. 29, n° 1, p. 16-21, 2005. Disponível em: <<http://www.iatss.or.jp/pdf/research/29/29-1-03.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2010.
- 89 ZHANG, L., & RUSHTON, G. Optimizing the size and locations of facilities in competitive multi-site service systems. *Computers & Operations Research*, v. 35, p. 327-338, 2008.

## APÊNDICE A

### APÊNDICE A - ROTEIRO DE PESQUISA

#### Varejista

Frequência de Entrega

Diária	2 vezes por semana	3 vezes por semana
Quinzenal	Mensal	Outro?

Número de Entregas

1 entrega	2 entregas	Acima de 3 entregas
-----------	------------	---------------------

Volume (em caixas)

1 caixa	2 Caixas	Acima de 3 caixas
---------	----------	-------------------

Qual o tipo de mercadoria entregue?

Bebidas	Alimentos	Vestuário	Outros. Especificar:
---------	-----------	-----------	----------------------

Origem do produto (pode ser indicada mais de uma origem)

Brasil	Rio de Janeiro
	São Paulo e Região Sul
	Região Centro Oeste
	Região Nordeste
	Espírito Santo
Minas Gerais	Triângulo Mineiro (Uberlândia, Uberaba)
	Sul de Minas (Varginha, Pouso Alegre, Lavras)
	Região Leste (Governador Valadares, Ipatinga)
	Região Norte (Montes Claros)
	Zona da Mata (Juiz de Fora, Barbacena, Viçosa)
	Região Metropolitana

Bloco de Cartões

I	II	III	IV
---	----	-----	----

VAREJISTA - FICHA 1

	Custo	Prestação de Serviço	Confiabilidade	Estoque versus Exposição
I	Permanece \$	Permanece 	Sem Confiabilidade 	↑ Estoque ↓ Exposição 
II	Aumenta \$\$	Melhora 	Com Confiabilidade 	↑ Estoque ↓ Exposição 
III	Aumenta \$\$	Melhora 	Sem Confiabilidade 	↓ Estoque ↑ Exposição 
IV	Permanece \$	Permanece 	Com Confiabilidade 	↓ Estoque ↑ Exposição 

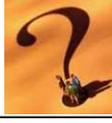
VAREJISTA - FICHA 2

	Custo	Prestação de Serviço	Confiabilidade	Estoque versus Exposição
I	Aumenta \$\$	Melhora 	Sem Confiabilidade 	↑ Estoque ↓ Exposição 
II	Permanece \$	Permanece 	Com Confiabilidade 	↑ Estoque ↓ Exposição 
III	Permanece \$	Permanece 	Sem Confiabilidade 	↓ Estoque ↑ Exposição 
IV	Aumenta \$\$	Melhora 	Com Confiabilidade 	↓ Estoque ↑ Exposição 

VAREJISTA - FICHA 3

	<i>Custo</i>	<i>Prestação de Serviço</i>	<i>Confiabilidade</i>	<i>Estoque versus Exposição</i>	
I	Aumenta \$\$	Permanece 	Sem Confiabilidade 	↑ Estoque	↓ Exposição 
II	Permanece \$	Melhora 	Com Confiabilidade 	↑ Estoque	↓ Exposição 
III	Permanece \$	Melhora 	Sem Confiabilidade 	↓ Estoque	↑ Exposição 
IV	Aumenta \$\$	Permanece 	Com Confiabilidade 	↓ Estoque	↑ Exposição 

VAREJISTA - FICHA 4

	<i>Custo</i>	<i>Prestação de Serviço</i>	<i>Confiabilidade</i>	<i>Estoque versus Exposição</i>	
I	Permanece \$	Melhora 	Sem Confiabilidade 	↑ Estoque	↓ Exposição 
II	Aumenta \$\$	Permanece 	Com Confiabilidade 	↑ Estoque	↓ Exposição 
III	Aumenta \$\$	Permanece 	Sem Confiabilidade 	↓ Estoque	↑ Exposição 
IV	Permanece \$	Melhora 	Com Confiabilidade 	↓ Estoque	↑ Exposição 

## APÊNDICE B

### APÊNDICE B - EXEMPLO DE UMA APLICAÇÃO DO MODELO DE ALOCAÇÃO DE ROTAS USANDO A LINGUAGEM AMPL

```
param rota {i in 1..22};
var x {i in 1..22, j in 1..22} binary;
var y {j in 1..22} binary;
minimize veic: sum {j in 1..22} y[j];
subject to temp_rota {j in 1..22}:
sum {i in 1..22} rota[i] * x[i,j] <= 480;
subject to tota_ro {i in 1..22}:
sum {j in 1..22} x[i,j] >= 1;
subject to assoc {i in 1..22, j in 1..22}:
x[i,j] <= y[j];
```

```
data;
```

```
param rota
```

1	86
2	18
3	99
4	99
5	119
6	28
7	38
8	99
9	98
10	65
11	87
12	88
13	89
14	67
15	97
16	67
17	77
18	78
19	77
20	67
21	67
22	56

```
;
```

```
end;
```

## ANEXO A

### ANEXO A. Exemplo de aplicação e resultados do AMPL usando o solver CPLEX

```
AMPL: option solver cplex;
AMPL: model modelpt.mod;
AMPL: solve;
CPLEX 11.2.1: optimal integer solution; objective 4
7195 MIP simplex iterations
469 branch-and-bound nodes
2 Gomory cuts
8 implied-bound cuts
AMPL: display y;
y [*] :=
1 0   3 0   5 0   7 0   9 0   11 0  13 0  15 0  17 0  19 1  21 1
2 0   4 0   6 0   8 0  10 0  12 0  14 0  16 0  18 0  20 1  22 1
;
AMPL:
```