



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

REINALDO DANIEL FIORAVANTI

**MODELO PARA ANÁLISE *EX-ANTE* DE POLÍTICAS DE
LOGÍSTICA URBANA BASEADAS EM CENTROS DE
DISTRIBUIÇÃO URBANOS. UMA ABORDAGEM
UTILIZANDO DINÂMICA DE SISTEMAS**

CAMPINAS

2018

REINALDO DANIEL FIORAVANTI

**MODELO PARA ANÁLISE *EX-ANTE* DE POLÍTICAS DE
LOGÍSTICA URBANA BASEADAS EM CENTROS DE
DISTRIBUIÇÃO URBANOS. UMA ABORDAGEM
UTILIZANDO DINÂMICA DE SISTEMAS**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na área de Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Orlando Fontes Lima Junior

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE
DEFENDIDA PELO ALUNO REINALDO DANIEL FIORAVANTI E
ORIENTADO PELO PROF. DR. ORLANDO FONTES LIMA
JUNIOR.**

ASSINATURA DO ORIENTADOR

CAMPINAS

2018

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): Não se aplica.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2293-3621>

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

F511m Fioravanti, Reinaldo Daniel, 1973-
Modelo para análise ex-ante de políticas de logística urbana baseadas em centros de distribuição urbanos. Uma abordagem utilizando dinâmica de sistemas / Reinaldo Daniel Fioravanti. – Campinas, SP : [s.n.], 2018.

Orientador: Orlando Fontes Lima Junior.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Logística – Modelos matemáticos. 2. Cadeia de Suprimentos. 3. Planejamento urbano. 4. Dinâmica de sistemas. 5. Políticas públicas. I. Lima Junior, Orlando Fontes, 1958-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Model for ex-ante analysis of urban logistics policies based on urban distribution centers. An approach using system dynamics

Palavras-chave em inglês:

Logistics - Mathematical models

Supply Chain

Urban planning

Systems dynamics

Public policies

Área de concentração: Transportes

Titulação: Doutor em Engenharia Civil

Banca examinadora:

Orlando Fontes Lima Junior [Orientador]

Diogenes Cortijo Costa

Marcus Fabius Henriques de Carvalho

Iris Bento da Silva

Paulo Sergio de Arruda Ignácio

Data de defesa: 05-12-2018

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO

MODELO PARA ANÁLISE *EX-ANTE* DE POLÍTICAS DE LOGÍSTICA
URBANA BASEADAS EM CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO URBANOS.
UMA ABORDAGEM UTILIZANDO DINÂMICA DE SISTEMAS

Reinaldo Daniel Fioravanti

Tese de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

Prof. Dr. Orlando Fontes Lima Junior
Presidente e Orientador/UNICAMP

Prof. Dr. Diogenes Cortijo Costa
FEC/UNICAMP

Prof. Dr. Marcius Fabius Henriques de Carvalho
Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Prof. Dr. Iris Bento da Silva
Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Paulo Sergio de Arruda Ignácio
FCA/UNICAMP

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

Campinas, 5 de dezembro de 2018.

DEDICATÓRIA

“Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e os seus planos serão bem-sucedidos”

Provérbios 16:3

À minha amada esposa Giulliane pela companhia sempre fiel nessa jornada e pelo apoio incondicional especialmente nos momentos mais difíceis. Às minhas filhas Barbara e Helena pelo tempo que deixei de estar com elas. À minha tia Yolanda, quem me acolheu, adotou como filho e me ensinou o valor do trabalho duro, da ética e da importância da busca dos nossos sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por dar-me forças e fé para seguir em frente especialmente nos trechos mais difíceis do percurso.

Ao meu orientador professor Orlando Fontes Lima Júnior por guiar-me com brilhantismo na busca do conhecimento e por ensinar-me a pensar criticamente e a construir pilares para que outros possam seguir essa busca.

Pelos vários conselheiros e mentores que encontrei no caminho e que me incentivaram a buscar o doutoramento: o Professor Marcius Fabius Carvalho, Professor Antonio Novaes e Professor Mozart Menezes, entre outros.

À toda a equipe do Laboratório de Aprendizagem em Logística e Transportes – LALT, pelo constante e incansável apoio, mesmo que remotamente.

RESUMO

O aumento do número de veículos de carga nos centros urbanos causa diversas externalidades negativas sob os aspectos financeiro, ambiental e econômico; como o aumento dos congestionamentos e das emissões de gases de efeito estufa, e a deterioração acelerada da infraestrutura. Por outro lado, os custos da chamada última milha representam ao redor de 28% dos custos totais da cadeia de suprimentos das empresas, por isso, a formulação de políticas públicas que buscam melhorar o desempenho da logística urbana tem ganhado importância nas agendas dos gestores públicos. Neste contexto, este trabalho tem o objetivo de propor um modelo para apoiar a formulação de políticas públicas de logística urbana com ênfase nos Centros de Distribuição Urbanos (CDUs). O método usado é a simulação matemática contínua baseado em dinâmica de sistemas que incorpora elementos de gestão da cadeia de suprimentos. O modelo contém dois níveis: nível estratégico (NEST), o qual tem o objetivo de avaliar o retorno econômico dos CDUs e de outras medidas ao longo do tempo e o nível operacional (NOPE), que permite estimar o retorno financeiros dos CDUs sob diferentes tipos de parcerias público-privadas (PPPs). Os resultados indicam que os CDUs são soluções robustas sob os aspectos econômicos e ambientais e podem reduzir tanto os custos logísticos das empresas como as emissões de CO₂, e superam outras políticas em vários cenários; no entanto, os CDUs se aplicam principalmente em cidades que atingiram níveis de congestionamento críticos. Finalmente, embora a sustentabilidade financeira dos CDUs seja de difícil alcance, as simulações indicam que a escolha da melhor modalidade de parceria com o setor privado, incluindo o tipo de contrato de PPP, pode equilibrar os riscos e reduzir os recursos públicos envolvidos. Finalmente, propõe-se um procedimento para a replicação do modelo, bem como matrizes de decisão para o desenho de políticas públicas de logística urbana focadas nos CDUs.

Palavras Chaves: Logística Urbana, Centros de Distribuição Urbanos, Dinâmica de Sistemas, Políticas Públicas, Parcerias-Público Privadas.

ABSTRACT

The increase in the number of freight vehicles in urban areas causes several negative externalities on the financial, environmental and economic aspects, such as increased congestion and greenhouse gas emissions, and accelerated deterioration of infrastructure. On the other hand, the costs of the so-called last mile logistics represent around 28% of the total supply chain costs for private companies, therefore, the formulation of public policies to improve the performance of urban logistics has gained importance in the agenda of policy makers and public administrators. In this context, the purpose of this work is to propose a model to support the formulation of public policies focused on urban logistics, with emphasis on Urban Distribution Centers (UDCs). The method used is mathematical simulation based on System Dynamics and incorporates elements of supply chain management. The model has two levels: the strategic level (NEST), which aims to assess the economic return of UDCs over time vis-a-vis other policies; and the operational level (NOPE), which evaluates the financial return of UDCs under different types of Public-Private partnerships (PPPs). The results, measured by total logistics costs and CO₂ emissions, indicate that the UDCs are robust solutions from the economic and environmental perspective, and can reduce both logistics costs and emissions and outperform other policies. However, the UDCs are mostly feasible in cities that have reached critical congestion levels. Finally, while the financial sustainability of UDCs is difficult to achieve, the simulations indicate that choosing the best partnership scheme with the private sector (type of PPP contract) can contribute to balance the risks and reduce the public resources involved. Finally, a procedure for the replication of the model is proposed, as well as a decision framework for the design of public policies on urban logistics focused on UDCs.

Keywords: Urban Logistics, Urban Distribution Centers, System Dynamics, Public Policies, City Logistics, Public-Private Partnerships.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas da Pesquisa	20
Figura 2. A Cadeia de Suprimentos e a Última Milha.....	30
Figura 3. Posicionamento da Pesquisa.....	37
Figura 4. Componentes do Modelo	41
Figura 5. Componentes do Modelo: Nível Estratégico (NEST)	43
Figura 6. Sistema de Transporte e Distribuição (principais relações causais)	46
Figura 7. Sistema de Transporte e Distribuição (diagrama completo).....	47
Figura 8. Velocidade Média vs Densidade de Tráfego (modelo).....	49
Figura 9. Velocidade Média vs Veículos (modelo)	50
Figura 10. Velocidade Média (GEROLIMINIS e DAGANZO, 2008)	50
Figura 11. Política de Estoque EOQ e Perfil da Frota (principais relações causais) .	52
Figura 12. Política de Estoque EOQ e Perfil da Frota (diagrama completo)	53
Figura 13. Frota Ideal vs Frota Real / Custo de Transporte (caso base).....	55
Figura 14. Frota Ideal vs Frota Real / Custo de Transporte (cenário CDUs).....	55
Figura 15. Implantação e Utilização dos CDUs (principais relações causais)	57
Figura 16. Implantação e Utilização dos CDUs (diagrama completo)	57
Figura 17. Custos Logísticos/ Número de CDUs (Modelo).....	59
Figura 18. Custos/ Número de CDUs - Literatura (CHOPRA e MEINDL, 2004).....	60
Figura 19. Fator Médio de Ocupação de Carga em Curitiba e São Paulo	62
Figura 20. Velocidade Média (Cidade tipo 1 vs Cidade tipo 2).....	64
Figura 21. Custos Logísticos Cidade tipo 1	65
Figura 22. Custos Logísticos Cidade tipo 2.....	66
Figura 23. Emissões GEE Cidade tipo 1	67
Figura 24. Emissões GEE Cidade tipo 2.....	67

Figura 25. Número de CDUs nos Diferentes Cenários.....	71
Figura 26. Número de Caminhões Cidade tipo 1	72
Figura 27. Número de Caminhões Cidade tipo 2	72
Figura 28. Velocidade Média (sensibilidade em função da velocidade média inicial)	74
Figura 29. Custos Logísticos (sensibilidade em função da velocidade média inicial)	74
Figura 30. Custos Logísticos Caso Base (sensibilidade em função da distância por entrega).....	76
Figura 31. Custos Logísticos Cenário CDUs (sensibilidade em função da distância por entrega).....	76
Figura 32. Componentes do Modelo Nível Operacional (NOPE)	79
Figura 33. Tarifa e Gestão Financeira dos CDUs (principais relações causais).....	80
Figura 34. Decisão da Utilização do CDU (principais relações causais)	84
Figura 35. Rede de Distribuição com e sem CDUs	85
Figura 36. Indicadores de Desempenho dos CDUs (principais relações causais)	86
Figura 37. Subsídios Acumulados (Tarifa Sombra vs Pagamento por Disponibilidade)	88
Figura 38. Subsídios Acumulados (Tarifa Sombra vs Pagamento por Disponibilidade) (APMG, 2018)	88
Figura 39. Número de Entregas Utilizando o CDU Cidade tipo 1.....	95
Figura 40. Número de Entregas Utilizando o CDU Cidade tipo 2.....	95
Figura 41. Número de Entregas Utilizando o CDU Cidade tipo 2 (visão 10 anos) ...	96
Figura 42. Evolução dos Custos sem CDU em Diferentes Cenários.....	97
Figura 43. Tarifas CDUs para Diferentes Cenários e Modalidades de PPPs – Cidade Tipo 2	98
Figura 44. Fluxo de Caixa Acumulado Cidade tipo 2 –10 anos.....	99
Figura 45. Fluxo de Caixa Acumulado Cidade tipo 2 – 20 anos.....	100
Figura 46. Valor Presente Líquido (VPL) do Fluxo de Caixa do Operador	102

Figura 47. Subsídios Acumulados.....	103
Figura 48. Valor Presente Líquido (VPL) do Fluxo de Caixa do Operador e dos Subsídios.....	104
Figura 49. Tarifa Cobrada nos CDUs em Função dos Subsídios (tarifa sombra)....	108
Figura 50. Número de Entregas nos CDUs em Função dos Subsídios (tarifa sombra).	108
Figura 51. Fluxo de Caixa Acumulado dos CDUs em Função dos Subsídios (tarifa sombra).	109
Figura 52. Tarifas Cobradas nos CDUs em Função do Mark-up (tarifa sombra). ...	110
Figura 53. Volume de Entregas nos CDUs em Função do Mark-Up (tarifa sombra).	111
Figura 54. Fluxo de Caixa Acumulado dos CDUs em Função do Mark-up (tarifa sombra).	111
Figura 55. Componentes do Modelo e Procedimento para sua Aplicação.....	114
Figura 56. Matriz de Decisão para Implementação de Políticas Públicas (Congestionamento vs Restrições)	115
Figura 57. Matriz de Decisão para Implantação dos CDUs (Subsídios vs Retorno ao Operador).....	119
Figura 58. Mapas das Principais Vias de Curitiba (Fonte: IPPUC).....	154
Figura 59. Velocidade Média em Diferentes Cidades Brasileiras (Fonte: CLUB, 2013)	155
Figura 60. Locais e Tipos de Restrições na Cidade de Curitiba.....	157

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Probabilidade de utilizar caminhões pesados como função do EOQ.	53
Tabela 2. Políticas Testadas Nível Estratégico	61
Tabela 3. Cenários Avaliados Nível Estratégico.....	63
Tabela 4. Políticas e Cenários Avaliados no Nível Operacional.....	90

LISTA DE SIGLAS

CAPEX: *Capital Expenditure*
CDUs: Centros de Distribuição Urbanos
CET: Companhia de Engenharia de Tráfego
CLUB: Centro de Logística Urbana do Brasil
CR: Cenário com Restrições
DS: Dinâmica de Sistemas
EC: *European Commission*
EUA: Estados Unidos da América
EOQ: *Economic Order Quantity*
EPA: *Environmental Protection Agency*
GEE: Gases de Efeito Estufa
GPS: *Global Positioning System*
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDB: Inter-American Development Bank
IPPUC: Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba
MFD: *Macroscopic Fundamental Diagram*
NEST: Modelo Nível Estratégico
NOPE: Modelo Nível Operacional
PLI: Programação Linear Inteira
PPPs: *Public-Private Partnerships*
RS: Rio Grande do Sul
SCBA: *Social Cost Benefit Analysis*
SP: São Paulo
SR: Cenário sem Restrições
TLU: Terminais Logísticos Urbanos Públicos
UK: *United Kingdom*
USDOT: *United States Department of Transportation*
VPL: Valor Presente Líquido
VUC: Veículo de Carga Urbano

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	17
1.1. Justificativa e Motivação	17
1.2. Objetivos da Pesquisa	18
1.3 Estrutura do Trabalho	19
CAPÍTULO 2. ETAPAS DA PESQUISA.....	20
2.1. Revisão Bibliográfica e Construção do Referencial Teórico	20
2.2. Construção do Modelo Nível Estratégico (NEST).....	21
2.3. Construção do Modelo Nível Operacional (NOPE).....	23
CAPÍTULO 3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	24
3.1. Políticas de Logística Urbana.....	24
3.2. Centros de Distribuição Urbanos (CDUs).....	25
3.3. Tomada de Decisão em Logística Urbana	27
3.4. A perspectiva da Gestão da Cadeia de Suprimentos.	30
3.5. As Parcerias Público-Privadas	32
3.5.1. Os Diferentes Contratos de PPPs	34
3.6. Utilização de Dinâmica de Sistemas	35
3.7. Contribuição da Pesquisa	36
CAPÍTULO 4. CONSTRUÇÃO DO MODELO	39
4.1. Retorno Econômico-Social.....	39
4.2. Análise Financeira de Projetos (<i>Project Finance</i>).....	40
4.3. A Abordagem de Dinâmica de Sistemas	40
4.4. Modelo	41
CAPÍTULO 5. MODELO NÍVEL ESTRATÉGICO (NEST)	43
5.1. Premissas do Nível Estratégico	44
5.2. Estrutura dinâmica do sistema	44
5.2.1. Sistema de Transporte	45
5.2.2. Gestão de Estoque e Distribuição	51
5.2.3. Premissas do Lote Econômico	54
5.2.4. Implantação e Utilização dos CDUs.....	57
5.2.5. Premissas dos CDUs	60
5.3. Variáveis de Desempenho e Políticas Avaliadas.....	60
5.4. Cenários Avaliados NEST.....	63
5.5. Resultados das Simulações do NEST.....	64

5.5.1. Política 1: Caso Base	64
5.5.2. Política 2: Impactos das Restrições.....	68
5.5.3. Política 3: Aumento do Fator de Ocupação de Carga.....	69
5.5.4. Política 4: Implantação dos CDUs.	69
5.6. Análise de Sensibilidade do NEST.....	73
5.6.1. Velocidade Média Inicial:.....	75
5.6.2. Distância Percorrida por Entrega.....	77
CAPÍTULO 6. MODELO NÍVEL OPERACIONAL (NOPE)	78
6.1. Estrutura Dinâmica do Sistema.....	79
6.1.1. Tarifas e Gestão Financeira dos CDUs	80
6.1.2. Modalidades de Participação Público-Privada (fatores “s” e “α”).....	82
6.1.3. Decisão do Setor Privado na Utilização dos CDUs.....	83
6.1.4. Indicadores de Desempenho dos CDUs.....	86
6.2. A Análise do Modelo Nível Operacional em Contextos Urbanos Distintos	89
6.3. Premissas Utilizadas na Modelagem de PPPs na Gestão dos CDUs	89
6.4. Políticas Analisadas no Modelo Operacional (NOPE)	90
6.4.1. Política 1: Sem contrapartida do setor público.....	90
6.4.2. Política 2: Tarifa Sombra.	91
6.4.3. Política 3: Pagamento por Disponibilidade.....	91
6.5. Cenários Avaliados	92
6.6. Resultados das Simulações do NOPE	93
6.6.1. Incentivo à Utilização do CDU (Cidade tipo 1 versus Cidade tipo 2) .	93
6.6.2. Resultados para Diferentes Modalidades de PPP.	96
6.6.3. Cadeia de Suprimentos Ágil versus Eficiente	106
6.6.4. Conclusões sobre a Melhor Modalidade de PPP	106
6.7. Análise de Sensibilidade do NOPE.	107
CAPÍTULO 7. PROCEDIMENTO E MATRIZES PARA TOMADA DE DECISÃO	113
7.1. Procedimento para Aplicação do Modelo (NEST + NOPE)	113
7.2. Matriz para Tomada de Decisão 1: Implantação das Políticas	115
7.2.1. Considerações sobre as Cadeias de Suprimentos	118

7.3. Matriz para Tomada de Decisão 2. A Modalidade Contratual para o CDU..	118
7.4 Aplicação do Modelo e das Matrizes.....	120
CAPÍTULO 8. CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS...	121
8.1. Os CDUs como Política Pública e os Diferentes Contextos Urbanos.	121
8.2. Os Diferentes Níveis de Participação do Setor Privado.....	122
8.3. Outras Reflexões sobre o Modelo Desenvolvido.....	123
8.4. Aplicações do Modelo e Futuras Pesquisas.....	124
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
ANEXO I. MODELO COMPLETO DE SIMULAÇÃO NÍVEL ESTRATÉGICO (NEST)...	136
ANEXO II. EQUAÇÕES UTILIZADAS MODELO NEST	137
ANEXO III. MODELO COMPLETO DE SIMULAÇÃO NÍVEL OPERACIONAL (NOPE).143	
ANEXO IV. EQUAÇÕES UTILIZADAS MODELO NOPE	144
ANEXO V. O CASO DE CURITIBA	151
Economia.....	152
Mobilidade Urbana.....	153
A Logística Urbana em Curitiba	155
Centros de Distribuição Urbanos	157
ANEXO VI. ARTIGO ACEITO URBE: REVISTA BRASILEIRA DE GESTÃO URBANA	159

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa e Motivação

O aumento de veículos de carga nos centros urbanos causa diversas externalidades negativas, como o aumento do congestionamento e das emissões de Gases Efeito Estufa (GEE) (THOMPSON, 2015), a deterioração mais rápida da infraestrutura de transporte (CRAINIC et al., 2009) e o aumento da demanda por espaços para carga e descarga (HOLGUÍN-VERAS et al., 2008b; RODRIGUE et al., 2013). Estima-se que os níveis de emissões de Gases Efeito Estufa (GEE) geradas pelo transporte de cargas nas grandes cidades podem variar entre 15% a 30% de todas as emissões urbanas provenientes do sector dos transportes (DABLANC, 2007a). Por outro lado, os custos da chamada última milha, representam ao redor de 28% dos custos totais da cadeia de distribuição das empresas (GOODMAN, 2005); e as restrições logísticas encontradas no meio urbano representam um desafio para a competitividade das empresas (CRAINIC et al., 2009).

Historicamente, as políticas públicas de mobilidade urbana não incluíam o transporte de carga, o qual era uma preocupação delegada ao setor privado (WOLPERT e REUTER, 2012), no entanto, dado o crescente nível de urbanização, o aumento do comércio eletrônico e a tendência das empresas de buscarem um maior nível de serviço a seus clientes, gerando entregas mais frequentes; tem se tornado essencial a implementação de políticas públicas que considerem também a logística de cargas no ambiente urbano, também denominada “Logística Urbana”.

Várias políticas públicas têm sido propostas para melhorar a eficiência e reduzir as externalidades da logística urbana, como as restrições à circulação de caminhões (HOLGUÍN-VERAS et al., 2014), o aumento do fator de ocupação de carga, a introdução de limites para o tamanho e peso de veículos; a implantação de Centros de Distribuição Urbanos (CDUs) (ALLEN et al., 2012; QUAK e TAVASSZY, 2011; MARCUCCI e DANIELIS, 2008), entre outros.

Este trabalho se enfoca especialmente nos CDUS, que são infraestruturas logísticas localizadas em áreas urbanas, ou nas proximidades delas, nas quais as empresas realizam o transbordo e consolidação dos produtos que serão posteriormente distribuídos nos centros urbanos (ALLEN et al., 2014).

1.2. Objetivos da Pesquisa

Dada a variedade de opções de políticas públicas em logística urbana e a presença de múltiplos agentes (varejistas, distribuidores, transportadores, fabricantes e a população), a tomada de decisão por parte dos gestores públicos torna-se complexa, e os custos por uma decisão errada são altos (ANAND et al., 2012). Além disso, a logística urbana tem gerado novos negócios e modelos operativos que demandam uma compreensão público-privada do problema (CRAINIC et al., 2009).

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é contribuir para a tomada de decisão em logística urbana, de duas maneiras: i) identificar os potenciais benefícios e a sustentabilidade dos Centros de Distribuição Urbanos, os CDUs, comparativamente com outras políticas públicas (como por exemplo as restrições aos caminhões e os incentivos à consolidação de carga) e considerando diferentes cenários; ii) propor um modelo, utilizando dinâmica de sistemas, para apoiar os gestores públicos na avaliação, antes de sua implantação (*ex-ante*), dos resultados da implantação de CDUs.

Neste contexto, as perguntas que o presente trabalho pretende responder são:

1. Quais os benefícios da introdução dos CDUs comparados com outras políticas públicas e qual a sua sustentabilidade no longo prazo?
2. Quais modalidades de parcerias público-privadas podem reduzir os riscos e os recursos públicos investidos nos CDUs?

A principal hipótese é que os benefícios gerados pelos CDUs podem levar longo tempo para materializar-se e que além disso, dependem de fatores

característicos de cada cidade, o que pode ajudar a explicar a dificuldade em mantê-los sustentáveis (BROWNE et al., 2006; VAN DUIN et al., 2012; HOLGUÍN-VERAS et al., 2014). A segunda hipótese é que a participação público-privada é fundamental para o sucesso dos CDUs e que a escolha da modalidade adequada para implementação dessas parcerias público-privadas, as chamadas PPPs, pode reduzir os riscos e os recursos públicos investidos nos CDUs.

1.3 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está estruturado da seguinte maneira: após a presente introdução, o segundo capítulo apresenta as etapas da pesquisa; o capítulo três apresenta o referencial teórico, o qual inclui a literatura relacionada às políticas públicas de logística urbana, com especial foco sobre a utilização dos CDUs, e também da literatura relacionada aos modelos de apoio à decisão em logística urbana e às modalidades de PPPs utilizadas para financiar projetos de infraestrutura; o capítulo quatro apresenta o método e as abordagens utilizadas para o desenvolvimento do modelo proposto; o capítulo cinco e seis apresentam os dois componentes do modelo (Nível Estratégico-NEST e Nível Operacional -NOPE) e os resultados de sua aplicação em duas cidades hipotéticas; o capítulo sete descreve o procedimento para a aplicação do modelo e traz uma proposta de duas matrizes para análise de políticas públicas em logística urbana; finalmente, o capítulo oito apresenta reflexões sobre as hipóteses propostas, além de outras implicações na adoção de políticas públicas relacionadas.

CAPÍTULO 2. ETAPAS DA PESQUISA

O desenvolvimento da pesquisa seguiu as seguintes etapas (figura 1):

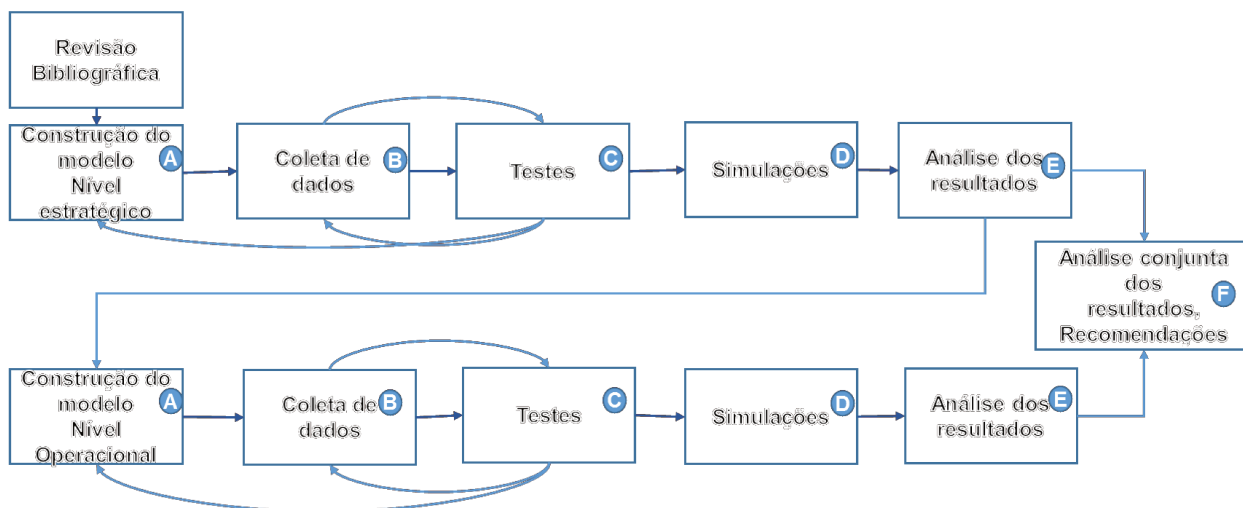


Figura 1. Etapas da Pesquisa

2.1. Revisão Bibliográfica e Construção do Referencial Teórico

Durante essa etapa, se realizou o levantamento da literatura relacionada às políticas públicas em logística urbana, com o objetivo de contextualizar o trabalho e a motivação para a pesquisa, identificar de maneira ampla as principais políticas propostas pelos trabalhos mais relevantes e finalmente com o objetivo de identificar a evolução das diferentes abordagens. A literatura específica sobre os CDUs também foi abordada nessa seção, onde além da evolução do conceito dos centros de distribuição e o resultado de sua aplicação em diferentes cidades do mundo, são abordados os principais benefícios e desafios para sua implantação.

Considerando que o principal objetivo da pesquisa é apoiar a tomada de decisão no contexto da logística urbana, a revisão da literatura inclui também as principais abordagens empíricas e teóricas adotadas por diferentes autores tanto no aspecto amplo da problemática de logística urbana, como na decisão de implementar os CDUs. Esse referencial teórico tem também o objetivo de posicionar a pesquisa, identificando como o modelo difere e complementa outras abordagens. Considerando a adoção de Dinâmica de Sistemas (DS) como ferramenta principal de modelagem,

inclui-se também nessa seção uma revisão das principais aplicações de DS na modelagem de transporte e especificamente em problemas de logística urbana.

Ainda com o objetivo de destacar a contribuição da pesquisa com base ao referencial teórico existente na literatura, inclui-se a perspectiva da gestão das cadeias de suprimentos e sua relação com a logística urbana. Finalmente, com o objetivo de servir de base teórica e empírica para a construção da segunda etapa do modelo, discute-se as parcerias público-privadas (PPPs), com foco específico nos tipos de contratos e no nível de participação pública e nos casos de aplicação de PPPs em projetos de pequeno porte.

2.2. Construção do Modelo Nível Estratégico (NEST).

Análise de diferentes políticas com a perspectiva socioeconômica.

A construção da primeira etapa do modelo teve o objetivo de descrever o comportamento do sistema macro de logística urbana e o impacto de diferentes políticas. O modelo foi construído usando a abordagem DS e as atividades de construção do mesmo se basearam no método proposto por Sterman (2000), o qual se fundamenta num método iterativo, baseado na sequência descrita a seguir, onde em cada passo, geram-se novas conclusões que podem resultar em revisões e ajustes nos passos anteriores.

A. Construção do modelo e das hipóteses

Esse passo incluiu a modelagem do problema e a determinação dos principais fatores que o influenciam, fundamentado pela revisão da literatura e pela análise de casos específicos, principalmente o de Curitiba. Nesse momento, não houve a preocupação da calibragem ou da precisão do modelo, mas sim de identificar todos os principais componentes que poderiam influenciar o comportamento do sistema e de testar as hipóteses de como eles se relacionam e como geram retroalimentação a outros componentes (*feedback*). Nesse passo também se definiram quais variáveis seriam tratadas como endógenas (ex: velocidade média,

número de caminhões) e quais seriam exógenas (ex: demanda de carga). Finalmente, definiu-se o horizonte de tempo da análise. Nesse caso, por tratar-se da análise de projetos de infraestrutura, que têm longo prazo de maturação, optou-se pelo prazo de 20 anos (EC, 2014).

B. Coleta de Dados

No próximo passo, o modelo construído foi carregado com dados coletados da literatura e do caso de Curitiba. Na ausência de alguns dados específicos, se incluiu parâmetros encontrados na literatura com base a pesquisas realizadas nas cidades de São Paulo e Fortaleza (CLUB, 2013) ou outras referências que são mencionadas nos próximos capítulos.

C. Testes e Refinamento do modelo

Após a construção do modelo inicial e do carregamento dos dados, o mesmo foi simulado e ajustado com o objetivo de garantir a calibragem com dados reais ou parâmetros referenciados na literatura. O passo C foi executado de maneira iterativa com os passos A e B: quando alguma inconsistência foi encontrada no modelo, o mesmo foi ajustado (retornando ao passo A), e no caso de ser identificado a falta de dados relevantes, foram realizadas coletas adicionais (retornando ao passo B). A calibragem das principais variáveis é discutida em detalhe nos capítulos 5 e 6.

D. Simulações

Com o modelo calibrado, executou-se a simulação para diferentes cenários e parâmetros, de acordo com os objetivos da pesquisa. Durante a construção do modelo adotou-se a estratégia de limitar os cenários aos parâmetros mais importantes, com o objetivo de aprofundar a análise sobre os temas mais relevantes.

E. Análise de resultados e comparação com a literatura

Após realizar as simulações com diferentes cenários e diferentes políticas, realizou-se a análise dos resultados. Os resultados foram comparados com modelos teóricos desenvolvido por outros autores e com resultados de medidas efetivamente implementadas em algumas cidades.

2.3. Construção do Modelo Nível Operacional (NOPE).

Análise da viabilidade Financeira dos CDUs.

A construção da segunda etapa do modelo de simulação teve o objetivo de descrever o comportamento do sistema micro de logística urbana e o comportamento operacional e financeiro de um conjunto de CDUs e incluiu os mesmos passos descritos na primeira etapa (desde o passo A até o passo E).

F. Análise Conjunta dos Resultados e Recomendações

No último passo, após a corrida do modelo NEST e do modelo NOPE, analisou-se de maneira conjunta os resultados das duas simulações, e comparou-se com os resultados da literatura e de casos reais, além de incluir-se uma discussão das implicações para políticas públicas em logística urbana e um procedimento para sua implementação, os quais são apresentados em detalhe no capítulo 7.

CAPÍTULO 3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Políticas de Logística Urbana

As políticas públicas em logística urbana têm sido discutidas e documentadas na literatura desde os anos 80, principalmente na Europa e no Japão. Button e Pearman (1981) apresentam como motivadores para a adoção de políticas de logística urbana o crescimento do tráfego de caminhões, resultado do crescimento econômico das cidades; as limitações para expansão da infraestrutura; e o aumento das preocupações ambientais. Os autores discutem políticas tradicionais como gestão de tráfego e investimento e infraestrutura; e medidas inovadoras para a época, como pedágios urbanos e centros de transbordo.

Ogden (1992) argumenta que embora o setor privado seja responsável por uma grande parcela do sistema de transporte de cargas nas áreas urbanas, o setor público tem papel vital na provisão de infraestrutura e no estabelecimento das matrizes legais e sociais sob o qual o sistema opera, nesse contexto, o autor propõe uma classificação das políticas em seis categorias de acordo aos objetivos buscados: i) objetivos de eficiência, ii) objetivos econômicos, iii) objetivos de segurança viária; iv) objetivos ambientais; v) objetivos relacionados a infraestruturas (e.g. reduzindo custos de manutenção das vias) e; vi) objetivos relacionados a infraestruturas urbanas (e.g. preservando centros históricos).

Visser et al. (1999) realizam uma análise comparativa das políticas aplicadas durante o período de 1980 a 1999 em vários países europeus (Holanda, França e Alemanha) e no Japão, e conclui que embora os problemas da logística urbana e as medidas adotadas para saná-los variem de acordo as necessidades locais de cada cidade estudada, é possível identificar padrões comuns e tendências; nesse contexto, os autores destacam políticas como o incentivo à consolidação de cargas, a adoção dos chamados centros de carga (*freight centres*), além de medidas regulatórias; os autores destacam ainda que o processo de melhoria da logística urbana pode ocorrer por meio de uma abordagem micro, quando é liderado pelo setor privado, ou macro, quando quem toma a liderança é o setor público; destacando que o melhor resultado se obtém com uma combinação dos dois. Essa teoria é corroborada por outros autores como Ogden (1992) e Van Duin (2006) que

argumentam que o poder público, através de regulações, pode e deve incentivar as empresas a buscar a sustentabilidade em suas operações.

Embora inicialmente uma preocupação das grandes cidades, recentemente a inclusão da carga no planejamento de transporte de cidades médias e pequenas começa a ganhar importância (LINDHOLM, 2013), inclusive com sua inclusão na legislação a nível nacional como no caso brasileiro.

3.2. Centros de Distribuição Urbanos (CDUs)

A presente pesquisa se enfoca em analisar mais profundamente as políticas de implantação de CDUs, uma das intervenções que apresenta potencial para atingir os objetivos da logística urbana (VAN DUIN et al., 2012) e que tem despertado interesse na literatura relacionada (ALLEN et al., 2012; KIN et al., 2016).

A literatura destaca vários benefícios que podem ser atribuídos à implantação de CDUs, como a redução do número de veículos-km percorridos (ANCAR e LOPES, 2014); o aumento da ocupação de carga e a melhor adaptação às janelas de tempo (TANIGUCHI et al., 2012); e a colaboração e consolidação de carga entre diferentes empresas (JANSSEN e OLDENBURGER, 1991; VAN DUIN, 1997, TANIGUCHI et al. 1999; QUAK e DE KOSTER, 2009). Além disso, os CDUs podem gerar redução de custos às empresas privadas, quando essas conseguem otimizar as rotas e maximizar a ocupação de carga (LEWIS, et al., 2010).

O conceito dos CDUs tem suas origens também nos anos 80 quando estudos de factibilidade foram realizados pelo setor público para desenvolver os chamados “Centros de Transbordos” no Reino Unido, Japão, EUA e Canadá; com o objetivo principal de consolidar carga e reduzir o impacto dos veículos de carga nos centros urbanos (ALLEN et al., 2012); embora nenhum projeto tenha sido implantado nesse período nesses países. Os primeiros projetos implantados nessa época foram na França e Holanda, mas tiveram problemas para atingir os volumes esperados e muitos se converteram em centros logísticos tradicionais (MCKINNON, 1998).

Nos anos 90 houve novamente um crescente interesse pelos CDUs, incluindo no Japão, sob a denominação de Terminais Logísticos Urbanos Públicos (TLU) que envolviam a gestão primariamente pública. Na mesma época, propostas similares foram implantadas na Holanda (JANSSEN e OLDENBURGER, 1991) e na Alemanha (RUSKE, 1994). Vários países europeus como Suíça e Alemanha lançaram projetos pilotos nesse período. Entre 1995 e 1999 a falta de apoio público aliado à questões comerciais fizeram com que a maioria das empresas cancelassem sua participação (VISSER et al., 1999).

Van Duin et al. (2010) avaliaram experiências na Holanda, Alemanha, UK, Espanha e França no período de 1994 a 2010 e apontam casos de sucesso, no entanto, embora os CDUs tenham atingidos os benefícios de redução de viagens e emissões, a maioria deles não atingiram os resultados financeiros esperados e tiveram que contar com subsídios públicos. No caso de La Rochelle, França, por exemplo, considerado um caso de sucesso, 9 anos após a implantação ainda não havia atingido a viabilidade financeira.

Nota-se, portanto, que embora o potencial dos CDUs seja quase consenso na literatura, os resultados de sua implantação não são consistentes. Vários trabalhos indicam sua viabilidade *ex-ante* (MARCUCCI e DANIELIS, 2008) e existem sólidas evidências sobre os benefícios em termos de redução de veículos-quilômetros, congestionamento e emissões, podendo variar de 18% a 60% na literatura (KOHLENER, 2004; TARIO et al. , 2011; VAN DUIN et al., 2012) dependendo do nível de aderência das empresas e volume de entregas processadas; especialmente se implementados de maneira complementar à outras políticas como pedágios urbanos e janelas de tempo (DABLANC, 2007a); no entanto, a viabilidade econômica e financeira após a implantação tem sido difícil de atingir, principalmente pela dificuldade de operar sem subsídios públicos (BROWNE et al., 2006; VAN DUIN, 2012); reforçando a necessidade de pesquisas que indiquem os benefícios dos CDUs com uma visão de longo prazo e sistêmica que envolva o poder público e o setor privado.

Van Duin et al. (2010) destacam que embora tanto os varejistas como transportadores podem ter benefício financeiros com a implantação dos CDUs, alguns

desafios na implementação desses centros residem na dificuldade de alocação dos custos e dos benefícios e o interesse em cooperar das transportadoras. (CHANUT e PACHÉ, 2011) corroboram essa perspectiva, destacando a necessidade da definição de qual o membro da cadeia de suprimentos que pode melhor gerenciá-lo.

Holguín et al. (2014) destaam o poder dos varejistas na relação com outros agentes, onde além de terem peso nas decisões da cadeia de suprimentos, requerem altos níveis de serviço; visão corroborada por Janjevic et al. (2016), que destacam que em muitos casos os maiores beneficiados são os distribuidores e transportadores que não têm grande poder na cadeia de suprimentos;

Finalmente, Björklund e Johansson (2018) apontam algumas brechas na literatura sobre CDUs, entre elas: i) muitas pesquisas se orientam a encontrar uma solução ótima para os projetos de CDUs, com poucas considerações sobre a viabilidade financeira e o gerenciamos dos centros; ii) embora argumentos ambientais e sociais são utilizados na avaliação dos CDUs, poucos estudos se dedicam a avaliar seus impactos e; iii) falta de discussões sobre como gera receitas nos CDUs e atingir economia de escala.

Dada a dificuldade em estimar e alocar os custos e benefícios dos CDUs, é clara a necessidade de participação ativa do poder público para garantir a sustentabilidade dessas intervenções. Além disso, torna-se importante a compreensão mais ampla dos fatores que podem tornar os CDUs uma opção atrativa como política pública; considerando diferentes cenários e reconhecendo as diferentes características das cidades. Finalmente é vital entender a evolução desses fatores ao longo do tempo; objetivos que o presente trabalho busca contribuir.

3.3. Tomada de Decisão em Logística Urbana

Não apenas no caso dos CDUs, mas na maioria das políticas e intervenções em logística urbana, não se realizam suficientes análises prévias para apoiar a tomada de decisão (COMI et al., 2012), isso leva a que as políticas sigam

muitas vezes um processo de “aprender fazendo” (VISSER et al., 1999), o que pode gerar resultados contrários aos buscados. Quak e De Foster (2006) mostram, por exemplo, que a utilização de restrições aos caminhões com janela de tempo não resulta em redução das emissões de CO₂. Sanches et al. (2013) obtém resultados similares analisando as restrições impostas na cidade de São Paulo.

Por outro lado, a experiência mostra que os modelos tradicionais utilizados no planejamento de transportes, como o modelo quatro etapas, não são adequados para representar todas as particularidades da logística urbana (TANIGUCHI et al., 2003). Portanto, dada a diversidade de políticas possíveis e a multiplicidade de agentes envolvidos, a tomada de decisão em logística urbana requer uma perspectiva sistêmica que inclua a dimensão da utilização dos recursos, da satisfação dos clientes e da sustentabilidade ambiental e econômica (LIMA JR, 2004) e o esforço de pesquisadores e gestores se deve centrar, portanto, no desenvolvimento de modelos que considerem com maior precisão os processos de decisão dos diferentes agentes que participam do sistema de logística urbana.

Nesse contexto, os modelos encontrados na literatura de logística urbana buscam descrever as decisões do setor privado relacionadas à distribuição e transporte, principalmente sob a perspectiva das viagens e da otimização de veículos e rotas (TANIGUCHI et al., 2012; FIGLIOZZI, 2007); dos fluxos de produtos ou commodities (HOLGUIN-VERAS, 2010), ou pela utilização de modelos mistos (COMI et al., 2012).

Modelos baseados em commodities estimam a quantidade de produtos que serão transportados em áreas específicas através de variáveis econômicas e depois convertem em viagens de carga (HOLGUIN-VERAS e THORSON, 2003; WISSETJINDAWAT et al., 2007; GIULIANO et al., 2010). Modelos baseados em viagens ou rotas estimam diretamente o número de viagens através de fatores de atração e classificação de utilização do solo e dados socioeconômicos (e.g., OPPENHEIM, 1993; HUNT e STEFAN, 2007; MUÑUZURI et al., 2010). Comi et al. (2012) sugerem que os métodos baseados em viagens, produtos ou entregas tem limitações seja da necessidade de dados ou na dificuldade de prever o

comportamento do sistema de maneira eficiente e sugere o desenvolvimento de modelos mistos que descrevam esses vínculos entre os consumidores e os fornecedores e especialmente entre as políticas adotadas e o comportamento dos agentes.

Outros tipos de modelos buscam representar o comportamento individual das empresas, como em Holguín-Veras e Friesz (2005a) e Holguín-Veras et al. (2005b, 2006a e 2006b) que utilizam ferramentas do campo da economia como modelos econométricos e modelos baseados em teoria dos jogos, para analisar condições necessárias para o sucesso de algumas políticas, por exemplo, a reação a pedágios urbanos e as condições e incentivos necessários para o sucesso de entregas noturnas.

Outros trabalhos buscam modelar os CDUs utilizando ferramentas de otimização: Villamizar et al. (2014) desenvolvem um modelo de otimização integrado para determinar a localização de CDUs, aplicando roteirização e utilizando programação linear inteira (PLI); os autores concluem que ao abordar a localização dos CDUs em conjunto com a definição das rotas, os benefícios podem chegar a 30% dos custos logísticos totais; Crainic et al. (2004) propõem a introdução de dois níveis de distribuição sendo os CDUs em conjunto com miniplataformas satélites e propõe novos métodos para sua solução. Uma pesquisa similar é apresentada por Muñuzuri et al. (2012), que analisam a localização ótima de 38 mini-hubs (implantados em áreas públicas que não requerem investimentos ou custos operacionais) para entregas urbanas na cidade de Sevilla na Espanha. Van Duin et al. (2012) utilizam simulação de agentes para avaliar a aderência do setor privado aos CDUs e aponta a necessidade de 50% de subsídios públicos para sua viabilidade.

Janjevic et al. (2016) analisam diferentes cenários para implantação de CDUs na região metropolitana de Bruxelas, Bélgica, utilizando a combinação de um modelo quantitativo com qualitativo e conclui que o planejamento de cenários representa metodologia robusta para abordar várias incertezas presente nas análises; o modelo apresentado, no entanto, é estático e não considera a evolução do sistema ao longo do tempo.

Nesse contexto, o presente trabalho inclui: i) modelagem das viagens, veículos e entregas; ii) a incorporação de modelos de decisão das empresas individuais relacionados à gestão de estoque e à utilização dos CDUs; iii) a modelagem do congestionamento de maneira endógena, como função do número de veículos (de carga e de passageiros); iv) simulação dinâmica, permitindo observar o comportamento do sistema ao longo de um grande período de tempo; e v) a análise de cenários com o objetivo de permitir a comparação de diferentes políticas públicas.

3.4. A perspectiva da Gestão da Cadeia de Suprimentos.

Uma brecha na literatura a qual esta pesquisa busca preencher é a falta da inclusão de elementos de gestão de da cadeia de suprimentos nos modelos desenvolvidos para a logística urbana. Ogden (1992) destaca que é fundamental que o movimento de carga urbana seja considerado como parte de um sistema mais amplo, e que a logística urbana deve refletir ações vinculadas a gestão logística na última milha, na qual a origem, o destino ou ambos estão em áreas urbanas (figura 2).

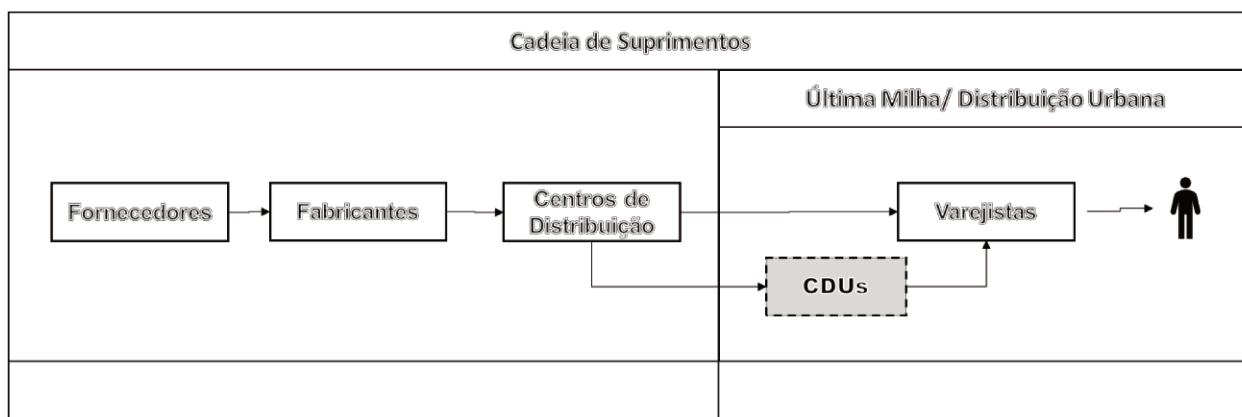


Figura 2. A Cadeia de Suprimentos e a Última Milha

McFadden et al. (1986) destacam que analisar as decisões de frete de maneira isolada pode levar a estimativas equivocadas ou viciadas com respeito às utilidades e elasticidade marginal das demandas. Nesse contexto, a premissa utilizada

neste trabalho é que as decisões das empresas, mesmo no meio urbano, são afetadas pelas medidas tomadas dentro da gestão das cadeias de suprimentos (DANIELIS et al., 2012) e como tal, as práticas utilizadas nesse nível devem ser consideradas na modelagem do sistema da logística urbana.

A gestão de estoque é o primeiro elemento fundamental a ser considerado. Como regra geral, embora os custos de transporte sejam extensivamente analisados na literatura de logística urbana, não se encontram representadas as práticas de gestão de estoque e sua influência nas decisões das empresas; como por exemplo na decisão do lote de entregas e da frota a ser utilizada; fatores que claramente têm relevância para a logística urbana.

Algumas pesquisas buscam incluir a perspectiva das cadeias de suprimentos na modelagem da logística urbana, mas de maneira limitada: Ambrosini et al. (2004) e Muñuzuri et al. (2012) incluem características específicas de cadeia de suprimentos como moda, farmacêuticos e bens duráveis na avaliação, mas não derivam modelos teóricos que podem ser replicados em outras situações. Danielis et al. (2012) caracterizam as diferentes cadeias de suprimentos e discutem potenciais impactos das diferentes políticas como restrições com janela de tempo e regulações impositivas, mas o fazem de maneira qualitativa ou descritiva com base a estudos de caso, sem tratar ou propor modelos teóricos que possam ser replicados.

Por outro lado, um dos conceitos fundamentais na literatura de gestão da cadeia de suprimentos, e amplamente aplicado pelas empresas, é que a configuração da cadeia de suprimentos deve se adequar às características dos produtos e dos mercados, pois os mesmos se refletem diretamente em como a demanda de tais produtos se comporta. Fisher (1997) introduziu esse conceito e classificou os tipos de produtos em duas categorias: inovadores e funcionais.

Produtos funcionais tem demanda estável e possuem menor valor agregado, o que favorece a produção em massa, e a distribuição tipo *push*, o que significa que os fabricantes e distribuidores podem ditar as políticas de fabricação, armazenagem e distribuição com o objetivo de minimizar os custos. Produtos

inovadores, por outro lado, são de maior valor agregado, sua demanda possui comportamento mais instável e sua distribuição requer resposta rápida; portanto a distribuição *pull* é a mais adequada, quando quem dita as regras da distribuição são os varejistas.

3.5. As Parcerias Público-Privadas

Conforme discutido anteriormente, a viabilidade socioeconômica dos CDUs é referenciada amplamente na literatura por meio de vários modelos e estudos de casos. A viabilidade financeira, por sua vez, é difícil de atingir e por isso a colaboração entre o setor público e o privado é fundamental. Nesse contexto, a presente seção busca descrever os principais conceitos e fundamentos encontrados na literatura relacionada às chamadas Parcerias Público Privadas (PPPs), com o objetivo de analisar e refletir a aplicação de PPPs nos CDUS e servir de base para a construção do Modelo Nível Operacional.

Existem várias definições de PPP na literatura: por exemplo, segundo o Guia de Referência para Parcerias Público Privadas do Banco Mundial (WORLD BANK, 2017), PPP podem ser definidas como: *“Um contrato de longo prazo entre uma parte privada e uma entidade governamental, para prover um ativo ou serviço público, no qual a parte privada mantém risco significativo e responsabilidade gerencial, e no qual a remuneração é vinculada ao desempenho”*.

Engel et al. (2014) definem PPPs como: *“Um acordo pelo qual o governo contrata uma empresa privada para construir ou melhorar uma infraestrutura, e subsequentemente, operá-la e mantê-la por um período longo de tempo, em troca de um fluxo de receita durante a vida do contrato”*. Os autores destacam ainda que embora as definições diferem entre si, pode-se concluir que a maioria delas define que as PPPs envolvem a participação de ambos o setor público e privado e o fato que os contratos estabelecer como os riscos são compartilhados entre as partes.

As motivações para o uso das PPP são várias. Segundo Engel et al. (2014) a utilização das PPPs tem como motivadores as restrições fiscais e orçamentarias e a busca de eficiência do setor privado. Embora questione-se se as PPPs realmente

permitem liberar o orçamento público e contribuir para uma melhor gestão fiscal, os autores apontam como potenciais fontes de agregação de valor das PPPs: i) a integração de tarefas de construção, operação e manutenção; ii) a alocação de riscos para a parte que pode gerenciá-la melhor; e iii) a adequada configuração dos incentivos.

Não se encontra na literatura uma discussão profunda e específica sobre a aplicação de PPPs em projetos de CDUs, limitando-se a referências sobre os arranjos e modalidades de colaboração entre público e privado (Van Duin et al., 2010; Tario et al., 2011).

A literatura que trata de PPPs de pequeno porte, categoria a qual os CDUs podem ser classificados, também é limitada. Ahmad e Shukla (2014) destacam a crescente tendência do interesse de governos em todo o mundo pela estruturação de PPPs de pequeno porte em setores como resíduos sólidos, iluminação pública e armazenagem de grãos, entre outros. Os autores destacam que ainda é limitado o número de projetos concretizados, comparativamente com a demanda existente, e apontam como motivos alguns fatores como: i) por tratar de setores que historicamente não tem aplicado as PPPs, há, na maioria dos casos, falta de visão estratégica e de processos padronizados para estruturar contratos, o que faz com que os custos transacionais sejam altos; ii) complexidade institucional, pela necessidade de aprovação de vários níveis da esfera governamental ou de diferente agências; e iii) limitação da disponibilidade de financiamento de bancos comerciais ou de operadores com capacidade de financiamento próprio.

Segundo Guasch (2004), apesar dos argumentos favoráveis, a experiência com PPPs tem sido mista. Considerando que, em alguns casos, as expectativas dos governos não são atendidas, em muitos casos os contratos são renegociados em favor do operador ou concessionário, ou, inversamente, estão sujeitos a aquisições regulatórias. Outras vezes os prazos não são cumpridos, ou o projeto requer subsídios substanciais para serem concluído; em alguns casos subsídios que não estavam originalmente previstos. Entre as razões apontadas pelo autor para as renegociações, se destaca o fato que a rentabilidade dos projetos de PPP está sujeita a grande incerteza de demanda exógena, que muitas vezes não é considerada adequadamente

ao projetar os contratos. Por isso uma importância de estabelecer contratos adequados, que equilibrem os riscos, especialmente o relacionado à demanda.

3.5.1. Os Diferentes Contratos de PPPs

Os contratos de PPPs podem ser estruturados de diferentes maneiras e devem ter como conceito e objetivo fundamental alocar os riscos do projeto, em toda seu ciclo de vida, à parte que melhor pode gerenciá-los (World Bank, 2017). Dada a complexidade dos projetos de infraestrutura e sua natureza de longo prazo, os contratos de PPPs devem incluir, entre outros, provisões sobre aspectos técnicos, financeiros, ambientais, sociais, de mercado, além de uma descrição detalhada no mecanismo de avaliação de desempenho e de remuneração do parceiro privado. No presente trabalho, o principal objetivo é avaliar algumas modalidades de remuneração dos concessionários, ou do operador do CDU, para o caso específico.

Iossa et al. (2007) apresentam uma classificação breve dos diferentes mecanismos de pagamento para as PPPs:

Cobrança ao Usuário. Pagamento coletado pela parte privada diretamente dos usuários da infraestrutura ou do serviço.

Pagamento do Governo. Pagamento do governo ao parceiro privado, que podem ser de três tipos:

- i. Baseado em utilização: por exemplo tarifa sombra ou subsídios baseados em insumos produzidos pelo concessionário.
- ii. Baseado na disponibilidade: pagamento condicional à disponibilidade de um ativo ou serviço sujeito a um nível de qualidade pré-determinado.
- iii. Subsídios antecipados: Baseados em certos compromissos. Por exemplo avanço de obras civis.

Embora o tipo de contrato e de remuneração dependa em grande medida do tipo de infraestrutura, das condições do mercado e dos agentes privados; segundo Engel et al. (2014), a modelo ótimo de contrato deve incluir provisões para garantia de receita mínima e limite para lucros.

Nas próximas sessões desse trabalho e na construção e simulação do modelo nível operacional, se aplicará, para a análise dos modelos de negócios dos CDUs dois tipos de contratos: i) a tarifa sombra e ii) pagamento baseado em disponibilidade.

3.6. Utilização de Dinâmica de Sistemas

O modelo proposto neste trabalho é baseado em simulação continua utilizando os conceitos de Dinâmica de Sistemas (SD, pela sua sigla em inglês de *System Dynamics*). A literatura apresenta a utilização de DS na modelagem de problemas de transporte e logística como ferramenta potente para avaliar políticas e estratégias setoriais (ABBAS e BELL, 1994), como políticas de introdução de veículos elétricos e gestão de manutenção de rodovias (SHEPHERD, 2014); DS também é amplamente utilizado em problemas de gestão da cadeia de suprimentos (ANGERHOFER e ANGELIDES, 2000).

Taniguchi et al. (2014) apresentam DS como ferramenta promissora para modelar a logística urbana, mas ainda são poucas as referências na literatura (Thaller et al., 2016), destacando-se Oliveira et al. (2010) que estudam a aderência do setor privado à pontos de entregas inteligentes e Sanches et al. (2013) que modelam a resposta das transportadoras às restrições de veículos em São Paulo e Qiu et al. (2013) que utilizam SD para modelar a demanda de atividades logísticas na cidade de Beijing, China. Mais recentemente, Thaller et al. (2016) apresentam um modelo conceitual em DS para modelar a logística urbana com foco na demanda e nos serviços de transporte, mas não apresenta aplicação. Jlassi et al. (2018) destacam que embora outras técnicas como Simulação Baseada em Agentes (SBA) e Simulação de Eventos Discretos (SED) sejam opções naturais para modelar sistemas

complexos, alguns fatores, como a necessidade de micro-modelagem e de iterações explícitas, as tornam mais difíceis de aplicação e validação que a abordagem DS.

A utilização de DS no presente trabalho tem o objetivo de integrar uma visão sistêmica e dinâmica do problema da logística urbana, que permita entender as relações entre os principais componentes que interagem no sistema ao longo do tempo e que podem impactar no resultado das políticas e intervenções testadas. Ao mesmo tempo, a modelagem DS permite trabalhar com dados agregados e incorporar modelos de decisão no nível das empresas individuais.

3.7. Contribuição da Pesquisa

Como discutido anteriormente, a presente pesquisa busca contribuir à literatura por meio da introdução de um modelo teórico que incorpora aspectos da gestão da cadeia de suprimentos, ao mesmo tempo que mantém uma abordagem agregada e sistêmica da logística urbana. A figura 3 ilustra o posicionamento da presente pesquisa comparativamente com outras categorias de modelagem; como função do nível de agregação dos dados e da abordagem vertical da gestão das cadeias de suprimentos. Para efeito comparativo, se destacam 4 tipos de modelos e abordagens utilizados na literatura, além da utilizada na presente pesquisa.



Figura 3. Posicionamento da Pesquisa

Modelos empíricos: Os modelos empíricos tipicamente descrevem estudos de casos de soluções de logística urbana, onde as melhores práticas implantadas são discutidas (BOERKAMPS e BINSBERGEN, 1999; AMBROSINI et al., 2004; LOZANO et al., 2005; DABLANC, 2007b; entre outros). Os modelos empíricos tratam de casos específicos e sua replicação em termos de agregação no nível da cidade ou em outros contextos urbanos nem sempre é possível.

Modelos de simulação ou otimização. Essa categoria inclui modelos de simulação (agentes, simulação discreta) ou de otimização (linear, não linear, mista) (TANIGUCHI et al., 1999; YAMADA e TANIGUCHI, 2005; VAN DUIN et al., 2012; QURESHI et al., 2013; entre outros) e modelos decisão multicritérios (FIORAVANTI et al., 2007). Incluem certo nível de agregação, permitindo modelar as viagens e as entregas, mas tipicamente se concentram nos processos de transportes e entregas e não incluem decisões mais estratégicas como estoque e decisões de abertura ou não de CDUs.

Modelos econômicos. Os modelos nesta categoria podem atingir um alto nível de agregação, pois trabalham com as matrizes de origem destino ou preferências declaradas; e descrevem as decisões econômicas das empresas e do mercado por meio de funções de utilidade e curvas de equilíbrio (HOLGUÍN-VERAS e THORSON, 2003; HOLGUÍN-VERAS et al., 2006; HOLGUÍN-VERAS, 2008a; entre outros), mas tampouco permitem incorporar as decisões individuais das empresas e os modelos de gestão das cadeias de suprimentos e não permitem uma análise dinâmica.

Modelos tradicionais de *Supply Chain*. Os modelos focados na gestão da cadeia de suprimentos, buscam apoiar a análise da cadeia composta por fornecedores, fabricantes, distribuidores, varejistas, e as correspondentes práticas de aquisições, produção e distribuição (SIMCHI-Levi et al., 2000; CHOPRA e MEINDL, 2004; entre outros), mas o fazem no nível da empresa individual ou grupo de empresas do mesmo setor e tipicamente não discutem a agregação seja no nível da última milha ou no nível urbano

Modelo Agregado Dinâmico utilizando DS. O modelo apresentado no presente trabalho utiliza uma abordagem mista e busca descrever o nível agregado da cidade, focar no sistema da logística urbana e incorporar modelos de decisão das empresas privadas, as quais, por sua vez, são refletidas também no nível agregado. Adicionalmente, o modelo descreve a dinâmica de retroalimentação (*feedback*) entre as variáveis chaves, por exemplo, entre o número de caminhões e a velocidade média nas vias.

É importante destacar, conforme descrito anteriormente, que embora a abordagem apresentada busque descrever de maneira mais realista os processos de decisão do setor privado, o modelo não tem a pretensão de prever ou estimar com precisão os resultados do sistema, mas sim; identificar padrões que permitam entender o sistema e os elementos do mesmo que podem ter maior impacto no momento de definir as políticas públicas.

CAPÍTULO 4. CONSTRUÇÃO DO MODELO

Para responder às perguntas da pesquisa utilizou-se a simulação matemática incorporando métodos fundamentais aplicados na análise de políticas públicas e na análise de investimentos em infraestrutura: o Modelo de Priorização de Infraestrutura (MARCELO et al., 2016), o qual constitui uma simplificação da Análise Social de Custo Benefício (SCBA por sua sigla e inglês); e a análise financeira de projetos ou *Project Finance* (ESTY, 2003). Adicionalmente, foi utilizada a abordagem de Dinâmica de Sistemas (SD por sua sigla em inglês) (STERMAN, 2000) com parâmetros e dados coletados em estudos de casos e na literatura.

4.1. Retorno Econômico-Social

A análise de retorno econômico-social ou análise do custo-benefício social (SCBA por sua sigla em inglês) tem o objetivo de priorizar projetos que beneficiam a sociedade em geral. Idealmente se um projeto, iniciativa ou política pública não é comparativamente melhor que outras alternativas do ponto de vista socioeconômico, ou não tem retorno socioeconômico positivo, não deveria ser implementado e, portanto, a etapa seguinte, a análise financeira, não precisa ser realizada. Segundo Marcelo et al. (2016), a SCBA requer grande volume de dados e custos altos para sua realização, e, portanto, muitos governos buscam métodos mais simplificados para priorizar os investimentos.

Nesse contexto, a abordagem adotada na primeira etapa deste trabalho, segue os conceitos do modelo proposto por Marcelo et al. (2016), com uma simplificação, pois trabalha com dois indicadores chaves para medir o benefício dos CDUs, o custo logístico total das empresas, e as emissões de CO₂. Por outro lado, o modelo incorpora simulação dinâmica que permite avaliar as alternativas ao longo do tempo e a retroalimentação entre as variáveis (SHEPHERD, 2014), as quais não são tipicamente consideradas em análises socioeconômicas.

4.2. Análise Financeira de Projetos (*Project Finance*)

Diferentemente da análise de retorno econômico-social, a análise financeira se limita a analisar os fluxos financeiros (positivos e negativos) do patrocinador ou “dono” do projeto, sem tomar em conta outros benefícios exógenos que podem ser apoderados por outros atores da sociedade. O principal objetivo da análise financeira de projetos é verificar sua viabilidade como negócio e sua capacidade de se sustentar sem recursos externos ao projeto (ESTY, 2003). Nesse contexto, assumindo um comportamento racional dos gestores públicos, se um projeto tem retorno socioeconômico positivo, mas um retorno financeiro negativo, o poder público pode participar do projeto através de várias modalidades de colaboração com o setor privado, como por exemplo, por meio das parcerias público-privadas, que são discutidas em detalhe nos próximos capítulos.

4.3. A Abordagem de Dinâmica de Sistemas

Com relação à modelagem do sistema, utilizou-se a abordagem de Dinâmica de Sistemas (DS), a qual foi inicialmente desenvolvida por Forrester (1958) e inspirada na teoria dos sistemas dinâmicos e na teoria de controle usado em modelagem de sistemas elétricos. A abordagem DS se baseia na representação de sistemas complexos por meio de relações quantitativas entre variáveis dinâmicas, tendo um de seus principais fundamentos a construção de ciclos causais a partir de modelos mentais (a percepção dos atores sobre como funciona o sistema). Algumas das vantagens da abordagem DS comparativamente com outras abordagens de simulação incluem: i) prioriza as inter-relações e interdependências entre variáveis em detrimento de componentes individuais; ii) permite detectar as relações de causalidade; iii) permite trabalhar com as demoras (*delays*) nos processos dinâmicos. Essas características da abordagem DS implicam que o objetivo de modelar um problema utilizando essa abordagem deve estar mais relacionado ao entendimento do comportamento do sistema e menos nos resultados específicos gerados pela simulação.

A aplicação de DS inicialmente estavam centradas em gestão de negócios, especialmente em questões estratégicas, mas nas últimas décadas tem sido utilizado em outras áreas como operações, estudos urbanos e políticas públicas (STERMAN, 2000) e na modelagem de transporte (ABBAS e BELL, 1994; SHEPHERD, 2014). A utilização de DS na modelagem de transporte tem se mostrado adequada para descrever e testar políticas estratégicas *ex-ante* e no apoio à tomada de decisão (ABBAS e BELL, 1994). A modelagem DS permite identificar, por exemplo, os reais ativadores de demanda além de permitir modelar mudanças de percepção e comportamento nos diversos agentes envolvidos no sistema (SHEPHERD, 2014).

4.4. Modelo

A inclusão dos elementos mencionados anteriormente é refletida na construção do modelo que contém dois níveis, os quais são definidos como Modelo Nível Estratégico (NEST) e Modelo Nível Operacional (NOPE) (figura 4).

Nível Estratégico (NEST)	Variáveis de transição	Nível Operacional (NOPE)
<p>Velocidade Média</p> <p># Entregas/dia</p> <p>Distância / entrega</p>		
Análise Socioeconômica		Análise Financeira
Benefícios à sociedade (monetários e não monetários)		Benefícios ao patrocinador do projeto (operador) Custos ao setor público (subsídios)

Figura 4. Componentes do Modelo

O Modelo Nível Estratégico representa o sistema de logística urbana, através de um diagrama de relacionamentos entre as principais variáveis, e busca

avaliar, através de indicadores de desempenho, o retorno econômico à sociedade e as externalidades ambientais geradas como consequência de várias políticas públicas, entre elas, a implantação dos CDUs. Os principais componentes do nível estratégico são: o sistema de transporte, as decisões do setor privado, a demanda de carga e as políticas públicas. O detalhe do NEST é discutido no capítulo 5.

O Modelo Nível Operacional descreve o sistema de gestão dos CDUs, é representado por um outro diagrama de relacionamentos, e busca estimar os benefícios e retornos financeiros ao operador do CDU e os custos ao setor público. Os principais componentes do nível operacional são: o sistema de gestão do CDU, as decisões do setor privado, a demanda de carga e as políticas públicas. O detalhe do NOPE é discutido no capítulo 6.

O vínculo entre o NEST e o NOPE é feito pelas variáveis de transição, que são geradas pelo primeiro nível do modelo e que alimentam o segundo nível. As variáveis de transição principais são: a velocidade média, o número de entregas por dia e a distância média percorrida por entrega.

Outros autores utilizam modelos com dois níveis para descrever o sistema de logística urbana, entre eles Taniguchi e Van der Heijden (2000) propõem um modelo com um nível para calcular as rotas dos veículos e outro para a simulação das condições de tráfego. Taniguchi et al. (2003) desenvolvem um modelo conceitual onde o primeiro nível descreve a visão do planejador, com o objetivo de definir a localização ótima dos CDUs, e o segundo nível modela a utilização dos CDUs.

Nas próximas sessões são apresentados os componentes do modelo proposto, iniciando-se pelo nível estratégico, o qual tem o objetivo de comparar a política de CDUs com outras políticas e analisar os impactos do ponto de vista econômico e ambiental.

CAPITULO 5. MODELO NIVEL ESTRATEGICO (NEST)

O modelo proposto para analisar o desempenho dos CDUs comparativamente com outras políticas, o qual se define como Modelo Nível Estratégico – NEST (figura 5) é composto por seis componentes: i) a demanda de transporte de carga, que é exógena ao sistema e acompanha o crescimento econômico da cidade e da economia; ii) o sistema de transporte, que relaciona a densidade de tráfego nas vias com a velocidade média dos veículos; iii) as decisões do setor privado, que incluem as decisões de lote econômico, tamanho dos caminhões e a utilização ou não dos CDUs; iv) as políticas públicas; v) os investimentos em infraestrutura pública; e vi) os indicadores de desempenho.

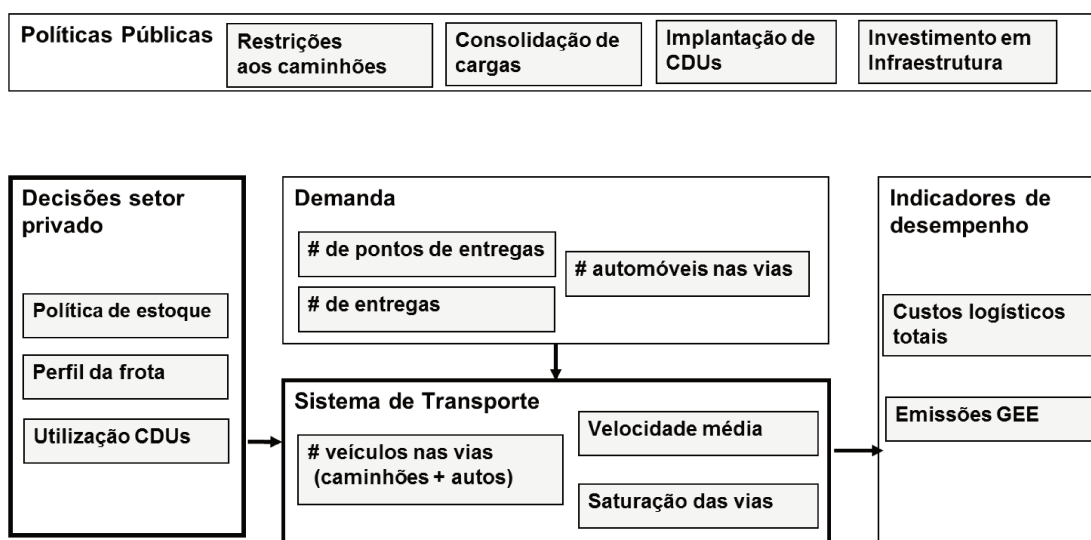


Figura 5. Componentes do Modelo: Nível Estratégico (NEST)

Comi et al. (2012) propõem um modelo geral para a simulação do sistema de logística urbana que inclui os componentes similares, incluindo: demanda de carga, sistema de transporte, decisão do setor privado e indicadores de desempenho, além de políticas públicas a serem aplicadas no longo, médio e curto prazo. O modelo proposto na presente pesquisa traz novos elementos: o EOQ como modelo de gestão de estoque, a decisão do perfil da frota, e a decisão de utilização dos CDUs.

5.1. Premissas do Nível Estratégico

O modelo internaliza algumas das variáveis que tipicamente são consideradas como exógenas: a decisão sobre o tipo de frota, que é representada como função do lote econômico; a decisão de abrir CDUs, como função dos custos de transporte e dos custos de estoque; e a velocidade média, como função da densidade de tráfego. As simulações incluem o fluxo de produtos (representado pelas entregas) e o fluxo de veículos. Cabe ressaltar que o modelo inclui apenas o fluxo logístico resultante do comércio entre empresas e não inclui as entregas em residências, ou de outras atividades comerciais e industriais.

Durante a aplicação do modelo, se utilizaram cidades hipotéticas, sendo que a calibragem e a configuração do Caso base apresentado na tabela 1 baseou-se em dados coletados na Cidade de Curitiba (IDB, 2013; IPPUC, 2014), descrito no Anexo V, e em outras fontes da literatura. O desenvolvimento do modelo de simulação utilizou o software Vensim PLE versão 7.1.

5.2. Estrutura dinâmica do sistema

A seguir, detalha-se os principais componentes do modelo NEST por meio da utilização de diagramas de relações causais, com o objetivo de descrever as várias dinâmicas presentes no sistema de logística urbana.

O diagrama de relações causais consiste em um conjunto de variáveis conectadas por flechas (ou conectores): os conectores estabelecem o tipo de relação entre as variáveis, conectando uma variável independente a outra variável dependente. A cada conector é assignado uma polaridade (+) ou (-) para indicar como a variável dependente varia em função da variável independente. O sinal (+) significa que as variáveis são diretamente proporcionais e o sinal (-) significa que são inversamente proporcionais. Por exemplo: a saturação das vias é diretamente proporcional ao número de caminhões que circulam na mesma, e inversamente proporcional à velocidade média nas vias (figura 6).

Quando duas ou mais variáveis formam um circuito fechado de relações, ou seja, quando a primeira influencia a segunda, que influencia uma enésima, que por sua vez influencia novamente a primeira; forma-se um ciclo de retroalimentação (*feedback*) ou ciclo causal. Os ciclos causais são responsáveis pelos mecanismos de reforço (positivo) e equilíbrio (negativo) que fazem com que um sistema cresça, decresça, oscile ou se mantenha estagnado (SHEPHERD, 2014).

Embora as funções matemáticas que estabelecem a relação entre as variáveis não estejam representadas no diagrama de relacionamentos, estão estabelecidas na definição de cada variável dependente. Nesse sentido, a utilização da dinâmica de sistemas e a representação do sistema através das relações causais, embora constitua ferramenta poderosa para a construção de modelos mentais e para a comunicação do modelo e das hipóteses; não elimina a necessidade de modelagem matemática rigorosa, motivo pelo qual, ao longo do texto do presente trabalho, se descrevem as principais equações utilizadas no modelo. O conjunto complexo de equações é apresentado nos anexos II e IV.

O modelo no seu nível estratégico contém três principais ciclos causais: um ciclo que representa o sistema de transporte e dois ciclos que descrevem as decisões do setor privado (gestão de estoque e implantação dos CDUs). A seguir detalha-se cada um desses ciclos (o modelo completo se apresenta no anexo I).

5.2.1. Sistema de Transporte

O primeiro ciclo (figura 6) relaciona o congestionamento (medido pela densidade de tráfego), com a velocidade média e com o número de caminhões nas vias: quando os níveis de congestionamento aumentam, a velocidade média nas vias diminui; logo, para cumprir com as entregas exigidas pelos clientes, mais caminhões são enviados às ruas, aumentando ainda mais o nível de congestionamento.

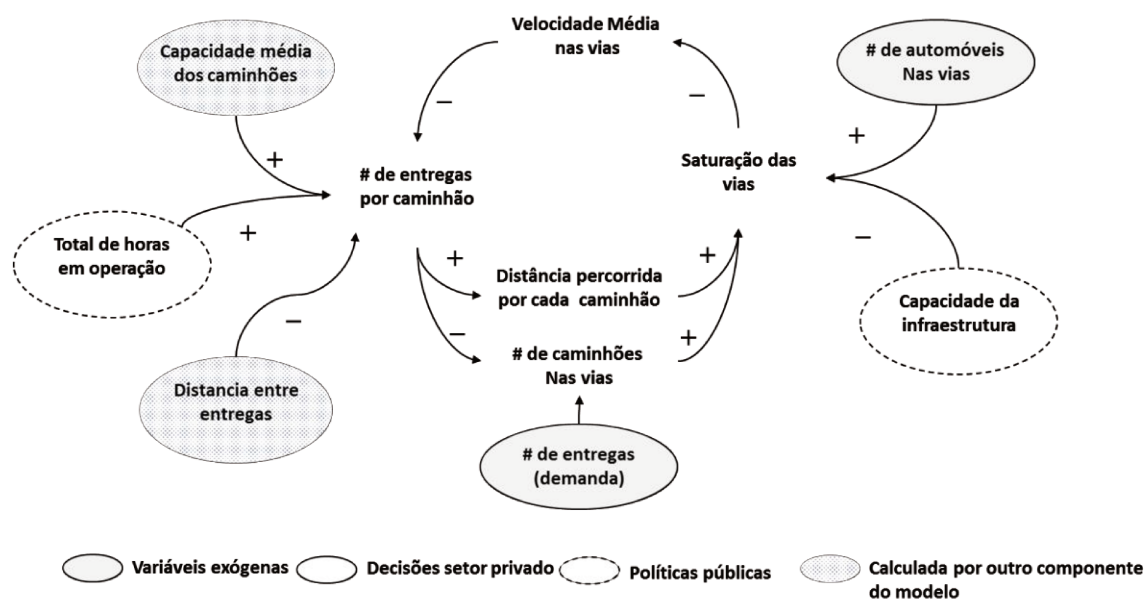


Figura 6. Sistema de Transporte e Distribuição (principais relações causais)

A relação entre o aumento do congestionamento e o impacto no número de veículos de carga é discutida em Sanches et al. (2013), no entanto, os autores não incluem a velocidade média na estrutura do modelo, e consideram a opção de entregas noturnas aos varejistas, a qual não foi incluída na presente pesquisa pelas dificuldades encontradas em várias cidades; principalmente devido ao aumento dos custos, problemas de segurança e de ruído (HOLGUÍN-VERAS, 2008a).

A figura 7 apresenta o diagrama de relações que representa o ciclo causal 1. Note-se que no diagrama se apresentam variáveis simples e variáveis em formato de “caixas”. A representação gráfica das caixas, significa que a variável em referência é uma variável “estoque”, ou seja, que acumula os valores ao longo do tempo, e a função matemática que a define é uma função integral. Por exemplo, a variável *infrastructure capacity*, que representa os quilômetros de vias urbanas existentes, tem seu valor acumulado ao longo do tempo e é alimentada pela variável *new infrastructure*, ou seja, a quantidade de nova infraestrutura construída ao longo do tempo.

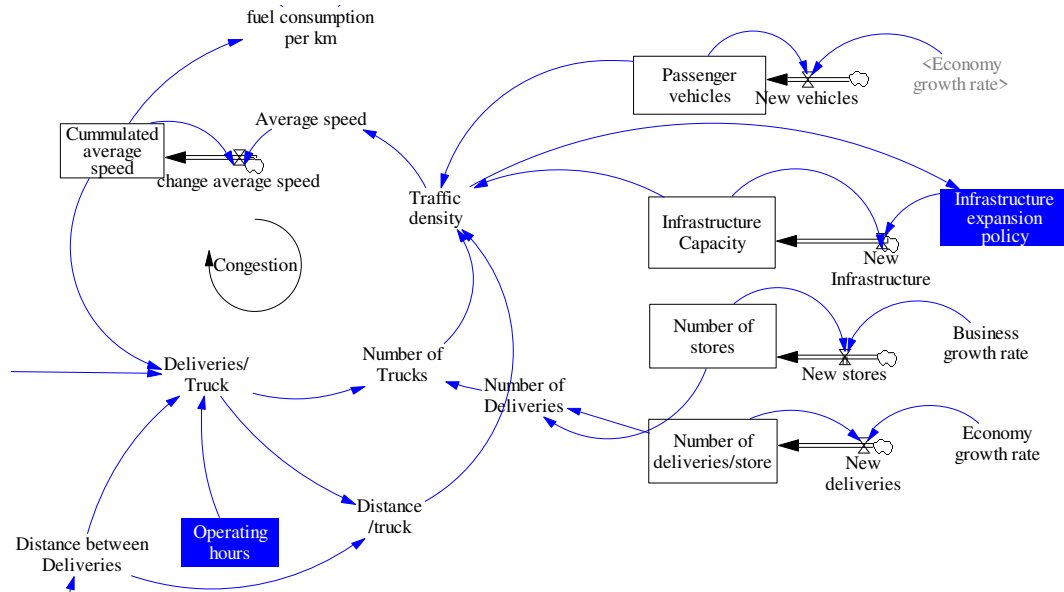


Figura 7. Sistema de Transporte e Distribuição (diagrama completo)

As equações 1, 2 e 3 descrevem a relação entre as principais variáveis do primeiro ciclo:

$$S = 60 \cdot e^{-2f} \quad (1)$$

$$f = \text{Min} \left(\frac{(V_t \cdot L_t + V_a \cdot L_a \cdot 0,5)}{C_r}, 1 \right) \quad (2)$$

$$\frac{D}{V_t} = \text{Min} \left(\frac{(S \cdot H \cdot (1 - T_d)) - L_e}{L_d}, C_t \right) \quad (3)$$

A velocidade média (S), medida em km/h, e dada pela equação 1 e é função da densidade de tráfego (f) e da velocidade máxima nas vias (60 km/h), por meio de uma função exponencial negativa baseada em Karato e Sato (2009).

A densidade de tráfego ($f \in [0,1]$) é determinada pelo número de caminhões nas vias (V_t), da distância percorrida por cada caminhão (L_t), do número

de automóveis (V_a), da distância percorrida pelos automóveis (L_a) e da capacidade das vias (C_r)¹, o fator 0.5 é aplicado ao número de autos assumindo que ocupam metade do espaço de um caminhão (equação 2).

Finalmente, o número de entregas por caminhão por dia (D/V_i), descrito na equação 3, é dado pela velocidade média das vias (S), o total de horas de operação (H), o tempo médio para carga e descarga (T_d), a distância média que o caminhão percorre vazio (L_e) e a distância média por entrega (L_d), limitado pela capacidade média dos caminhões (C_i) medidas em número de entregas.

Como parte do processo de calibragem do modelo, os gráficos a seguir representam o comportamento da velocidade média em função da densidade de tráfego absoluta medida em veículos/km (figura 8), e em função da densidade de tráfego relativa ou ocupação das vias (figura 9) comparado com valores apresentado na literatura por Geroliminis e Daganzo (2008) (figura 10).

¹ Alguns autores definem densidade de tráfego (f) como o número de veículos por faixa da via, medido por veículos/km-faixa. Com o objetivo de permitir a aplicação ampla do modelo em diferentes cidades, optou-se por incluir a capacidade das vias na equação, de modo que a densidade passa a ser uma medida relativa e não absoluta. Alguns autores chamam essa relação de *densidade de tráfego/capacidade das vias* de *ocupação das vias* (GEROLIMINIS e DAGANZO, 2008).

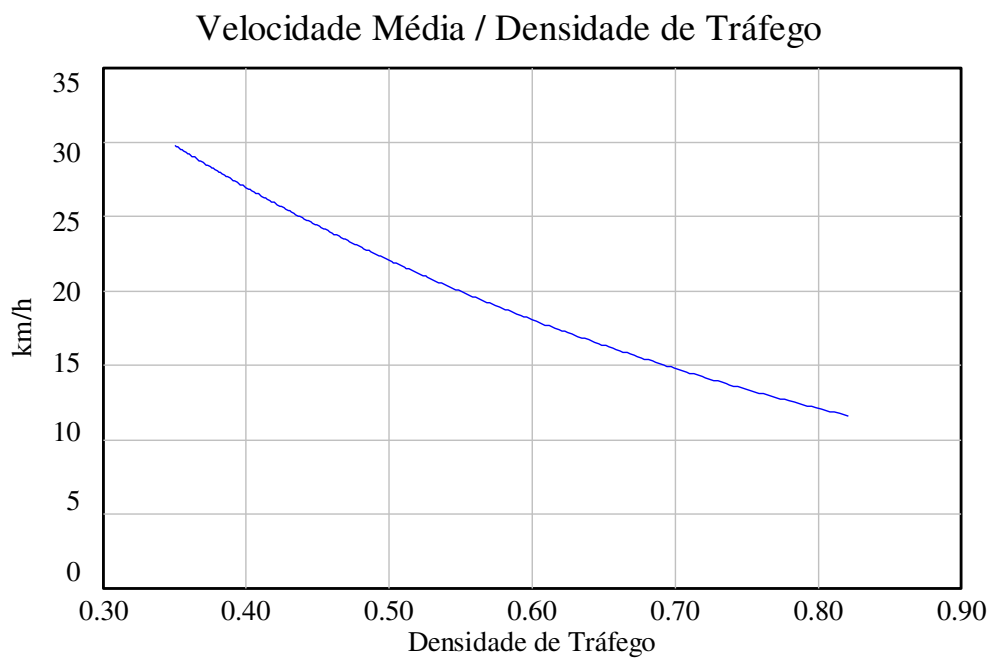


Figura 8. Velocidade Média vs Densidade de Tráfego (modelo)

O gráfico da figura 8 apresenta a velocidade média (km/h) calculada pelo modelo, em função da densidade de tráfego, definida como o número de veículos/km/capacidade das vias. Por questões de simplificação se consideram apenas uma faixa em cada sentido da via.

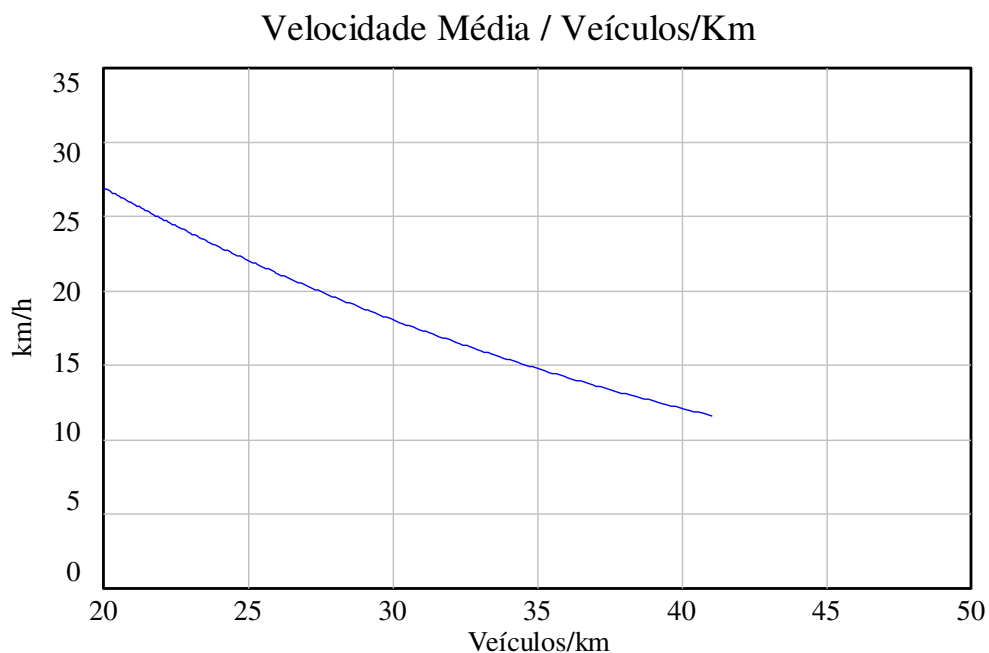


Figura 9. Velocidade Média vs Veículos (modelo)

O gráfico da figura 9 apresenta a velocidade média (km/h) calculada pelo modelo, em função do número de veículos/km. Por questões de simplificação se consideram apenas uma faixa em cada sentido da via.

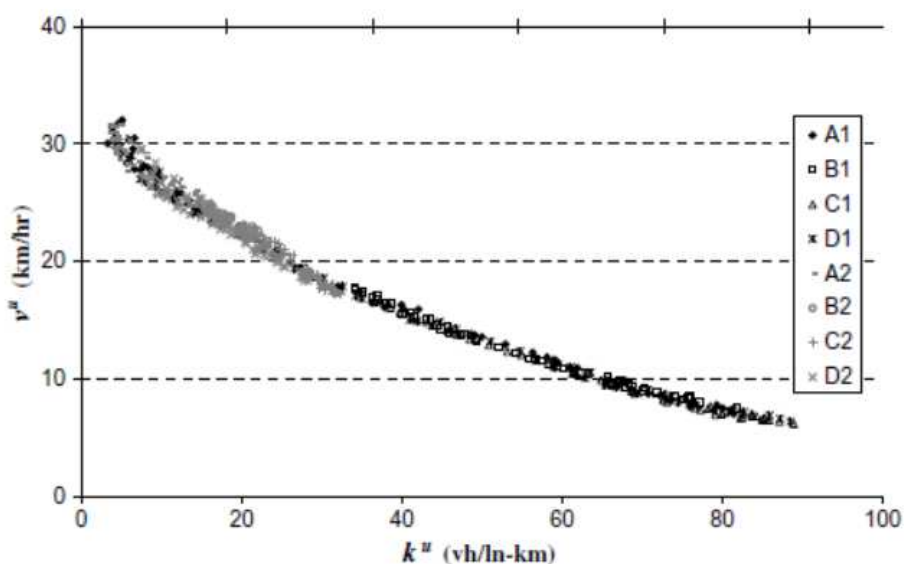


Figura 10. Velocidade Média (GEROLIMINIS e DAGANZO, 2008)

A figura 10 descreve os resultados de um experimento de campo realizado por Geroliminis e Daganzo (2008) em Yokohama, Japão, utilizando sensores na via e GPS nos veículos, com o objetivo de testar a existência do chamado Diagrama Macroscópico Fundamental (MFD por sua sigla em inglês) que relaciona as variáveis fluxo do tráfego, intensidade de tráfego e velocidade das vias. O resultado apresentado no gráfico confirma a relação monotônica decrescente entre densidade de tráfego (medida em veículos/km-faixa) e a velocidade das vias (medida em km/h), a qual é consistente com a calculada pelo modelo. Os índices A1, B1, C1, D1, A2, B2, C2, D2, apresentados no gráfico, se referem aos diferentes tipos de veículos, incluindo os veículos particulares, coletivos e veículos de carga.

5.2.2. Gestão de Estoque e Distribuição

O segundo ciclo destacado (Figura 11) descreve a resposta do setor privado aos congestionamentos: como a velocidade média diminui, o custo de transporte total aumenta, em razão de mais consumo de combustível e mais tempo necessário para entregas. Logo, de acordo com a lógica do lote econômico (EOQ, pela sigla em inglês de *Economic Order Quantity*), a reação racional das empresas seria aumentar o tamanho do lote mínimo de cada entrega (COMBES, 2012), o que por sua vez aumentaria a utilização de veículos pesados e aumentaria a correspondente capacidade média dos caminhões. A figura 12 apresenta o diagrama de relacionamentos completo.

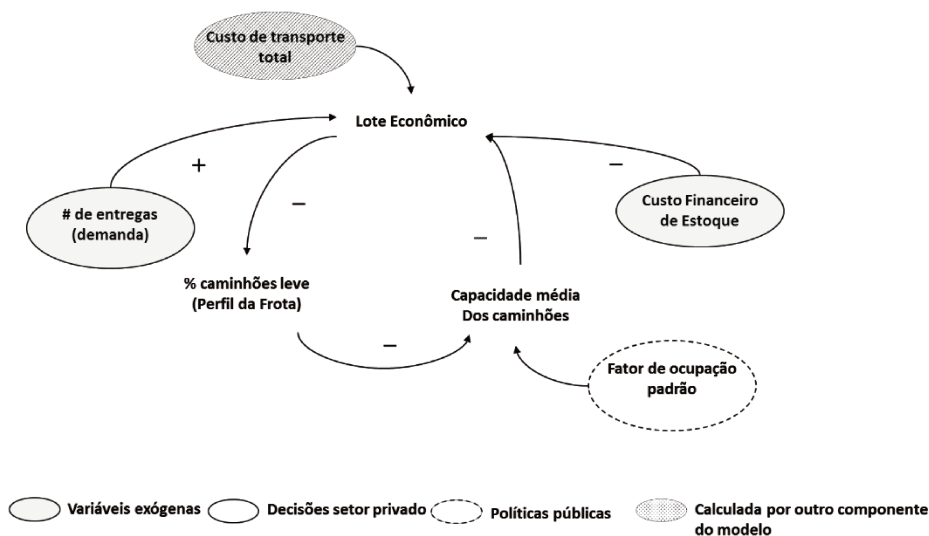


Figura 11. Política de Estoque EOQ e Perfil da Frota (principais relações causais)

A equação 4 descreve o cálculo do *EOQ* para cada caminhão, dado pelo custo de transporte por entrega (T/D), a capacidade média dos caminhões (C_t), o número de entregas por ponto de venda (D/P) durante o ano (300 dias); e o custo anual de estoque (h).

$$EOQ = \sqrt{\frac{\left(2 \cdot \frac{T}{D} \cdot C_t\right) \cdot \left(\frac{D}{P} \cdot 300\right)}{h}} \quad (4)$$

Considerando que o EOQ não é o único fator que define o tamanho da frota, para estimar o percentual de caminhões pesados (λ_t), foi assumido uma curva normal, com média igual ao EOQ e desvio padrão de 50%, onde λ_t é a probabilidade de utilizar um caminhão pesado com capacidade média de 7 toneladas. A tabela 1 descreve os valores do EOQ em número de entregas e o valor de λ_t correspondente.

EOQ (# entregas)	λ_t	EOQ (# entregas)	λ_t	EOQ (# entregas)	λ_t
3,33	-	23,33	0,61	43,33	0,86
6,67	0,00	26,67	0,69	46,67	0,87
10,00	0,02	30,00	0,75	50,00	0,88
13,33	0,16	33,33	0,79	53,33	0,89
16,67	0,34	36,67	0,82	56,67	0,90
20,00	0,50	40,00	0,84	60,00	0,91

Tabela 1. Probabilidade de utilizar caminhões pesados como função do EOQ.

Finalmente, a equação 5 descreve a capacidade média dos caminhões como função do percentual de caminhões pesados (λ_t) e o fator de ocupação (φ). Para os caminhões leves utilizou-se a capacidade média de 3 toneladas, a qual representa caminhões tipo Veículo Urbano de Carga (VUC). O peso de cada entrega se assume como 0.15 toneladas.

$$C_t = \frac{(7.\lambda_t + 3.(1-\lambda_t)).\varphi}{0.15} \quad (5)$$

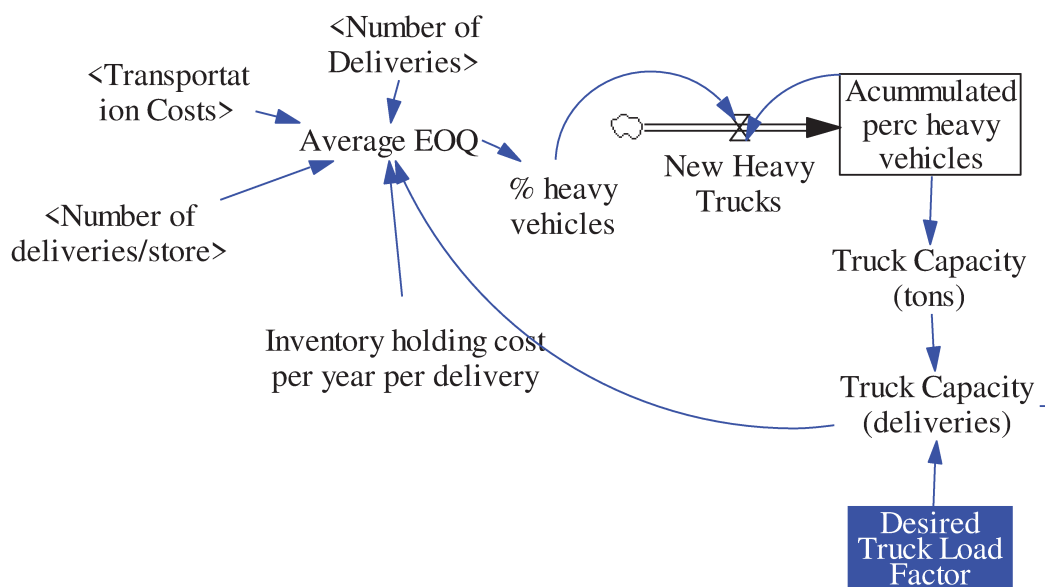


Figura 12. Política de Estoque EOQ e Perfil da Frota (diagrama completo)

5.2.3. Premissas do Lote Econômico

A utilização da política de lote econômico no ambiente urbano, onde prevalece a estratégia *just in time* ditada pelos varejistas, tem aplicação limitada, especialmente na logística do comércio eletrônico (JAMANANCHI, 2011), no entanto, em muitos casos, os fabricantes e distribuidores continuam adotando o EOQ para seus processos produtivos o de aquisição (FAZEL, 1997); além disso, a busca continua por eficiência no transporte, com a redução de custos e a consolidação de carga, tende a aumentar o tamanho dos caminhões (LAKE et al., 2002), e o mesmo ocorre quando há aumento da demanda (ABATE e DE JONG, 2014).

Neste contexto, o modelo inclui o EOQ no processo de decisão de distribuição, o qual contribuiu para confirmar, como se descreve a seguir, a hipótese que, apesar do EOQ, o tamanho da frota tende em realidade a reduzir em razão de outros fatores presentes no cenário da logística urbana (BROWNE et al., 2010).

Os resultados da simulação, apresentados nas figuras 13 e 14 mostram, como era de se esperar, que o lote econômico aumenta com o aumento dos custos de transportes e conseqüentemente, aumenta o tamanho da frota ideal (representada pelo indicador “% de caminhões pesados”); no entanto, a frota real, calculada com base ao número de entregas que cada caminhão consegue cumprir, diminui ao longo do tempo no caso do caso base. Isso acontece porque ao utilizar caminhões maiores (de 7 toneladas ou mais), embora se possa acomodar mais entregas, o tempo necessário para percorrer todo o percurso não seria suficiente e as empresas optam então pelos veículos menores. Como conclusão, nota-se que claramente as decisões de distribuição e atendimento ao cliente são dominantes com relação ao planejamento usando o lote econômico e a utilização do EOQ não altera significativamente os resultados para o caso base; se comparado com a decisão de usar apenas caminhões leves (FIORAVANTI e LIMA JR, 2015).

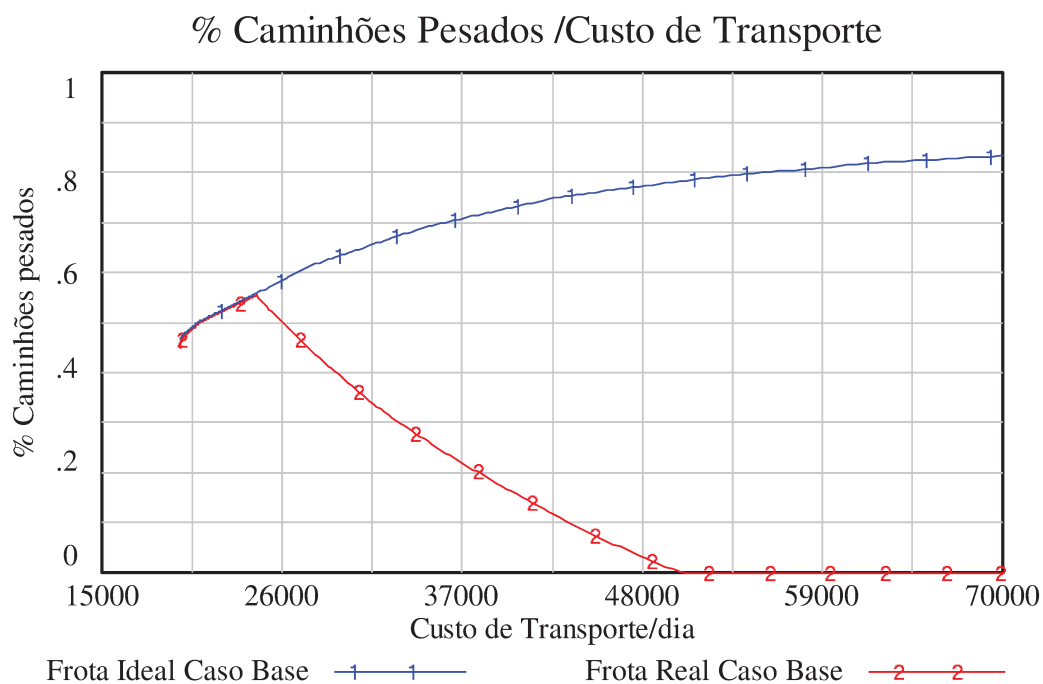


Figura 13. Frota Ideal vs Frota Real / Custo de Transporte (caso base)

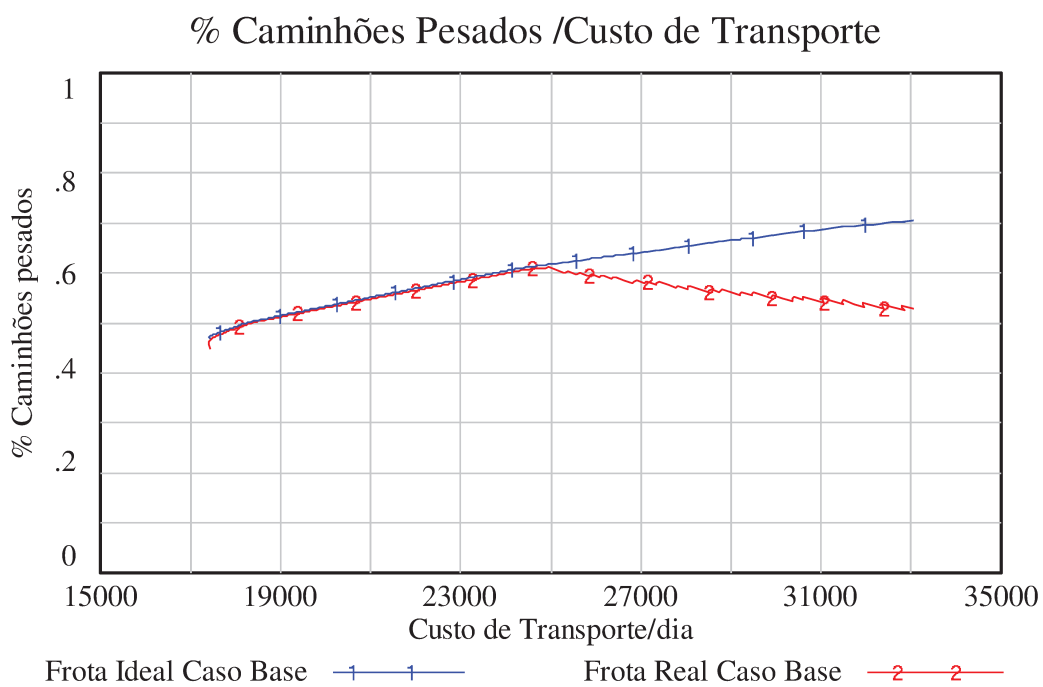


Figura 14. Frota Ideal vs Frota Real / Custo de Transporte (cenário CDUs)

Embora o resultado anterior sirva para validar a hipótese que o tamanho dos caminhões tende a reduzir, uma conclusão interessante é que esse comportamento varia de acordo ao cenário analisado:

O resultado é válido para o caso base, pois de acordo ao EOQ deveria haver predominância de caminhões pesados (até 80%), porém, constatou-se que em razão do congestionamento e menores velocidades, a proporção de veículos pesados caiu a zero, ou seja, se utilizaram apenas caminhões leves (figura 13).

No caso do cenário com a implantação dos CDUs (figura 14), no entanto, a frota real tende a estar mais próxima da frota ideal chegando a 45% de caminhões pesados, maior que o resultado do caso base, onde não há CDUs. O resultado é contra intuitivo pois dever-se-ia esperar caminhões menores com os CDUs, mas o efeito identificado no modelo é que, ao implementar os CDUs, aumenta a velocidade média das vias e os caminhões podem fazer mais entregas no mesmo período, logo, o planejador pode buscar a configuração que minimize o custo, implicando na utilização de caminhões maiores. Uma premissa importante para que esse resultado seja válido é que não há restrições de circulação vinculada ao tamanho dos caminhões e nem problemas de acesso aos CDUs ou aos clientes.

É importante destacar que a realidade das cidades já inclui em muitos casos restrições vinculadas ao tamanho dos veículos, como o próprio caso de Curitiba (Anexo V), e nesse caso levam também ao processo de adoção de caminhões menores, como discutido em Sanches et al. (2013) mas não necessariamente resultam em um cenário vantajoso ou ótimo para todos os atores.

Por questões de simplificação, o modelo considera dois tipos de caminhões representativos, o caminhão leve, tipo Veículo Urbano de Carga (VUC) com capacidade de carga de até 3 toneladas e o caminhão pesado tipo “toco” ou rígido com capacidade média de 7 toneladas.

5.2.4. Implantação e Utilização dos CDUs

O terceiro ciclo (Figura 15) do nível estratégico descreve a implantação dos CDUs, por meio de uma equação de equilíbrio entre custos de transporte e custos de estoque, com a premissa de que os dois deveriam convergir para o mesmo valor no ponto de custo logístico ótimo (CHOPRA e MEINDL, 2004).

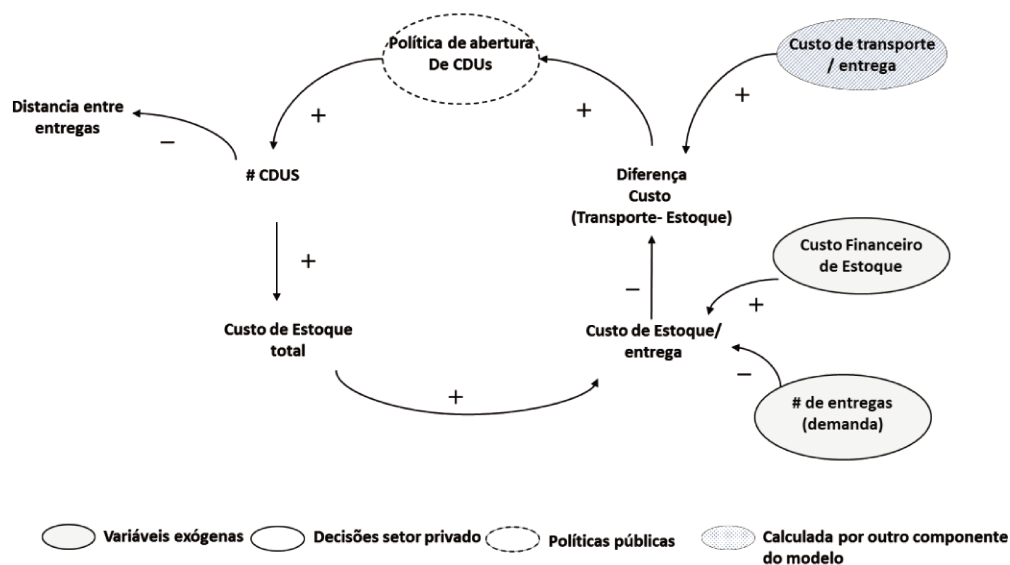


Figura 15. Implantação e Utilização dos CDUs (principais relações causais)

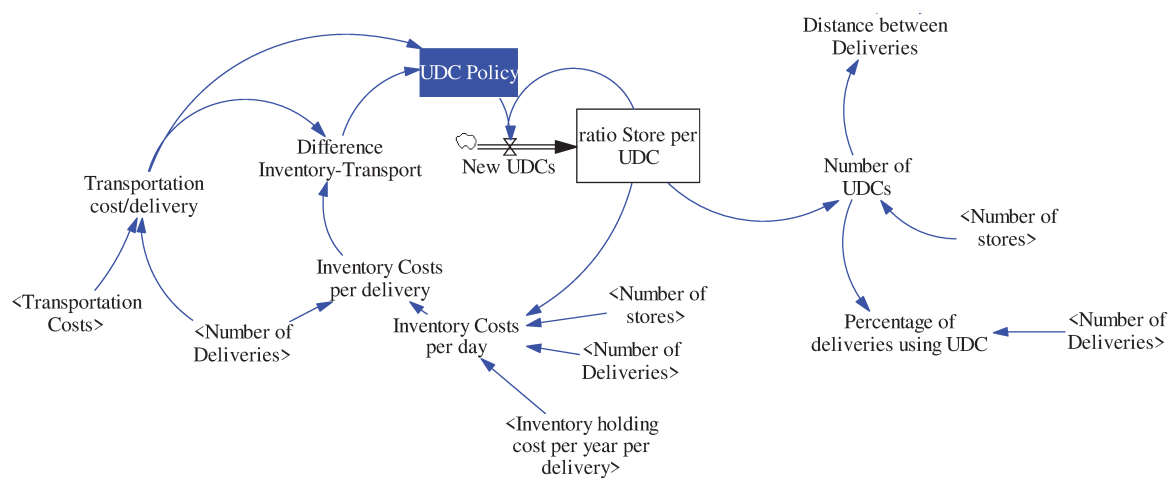


Figura 16. Implantação e Utilização dos CDUs (diagrama completo)

Com o aumento dos custos de transporte, aumenta a diferença para o custo de estoque, logo em função da política de abertura de CDUs, novas empresas utilizam os centros, gerando dois efeitos principais: por um lado a distância média percorrida por cada entrega diminui (ALLEN et al., 2014) e os custos de transporte também diminuem; e por outro lado o custo de estoque aumenta em razão dos custos operacionais dos CDUs e dos custos de estoque. O sistema converge para o equilíbrio quando a diferença entre os custos atinge o nível mínimo definido na política (nesse caso definido arbitrariamente como 10%).

A variação incremental do número de CDUs utilizados (dU/dt) é determinada pela diferença entre o custo de transporte total (T), custo de estoque total (I), obedecendo a relação descrita na equação 6 com valor constante de 5% ao mês² e o fator de 10% definido anteriormente.

A equação 7, por sua vez, descreve a relação entre a distância média por entrega (L_d), medida em quilômetros, e o número de CDUs (U) e foi determinada por regressão baseado em Janjevic et al. (2016) e calibrado com dados de Curitiba, onde a distância máxima na ausência de CDUs é de 8 kms para o caso base. Importante destacar que o modelo não diferencia o tipo de CDU e trata de maneira homogênea a relação entre a abertura de novos centros e a redução da distância média por entrega.

$$\frac{dU}{dt} = \begin{cases} 0.05, & \frac{T}{I} \geq 1.10 \\ 0, & \frac{T}{I} < 1.10 \end{cases} \quad (6)$$

$$L_d = 8 - 0.3 \cdot U \quad (7)$$

² O valor de 5% ao mês para o crescimento na utilização dos CDUs assume que um centro leva de 12 a 14 meses para atingir sua capacidade máxima.

A figura 17 mostra o comportamento dos custos de transportes, custo de estoque e o custo logístico calculado pelo modelo, que apresentam padrões consistentes aos valores teóricos estimados na literatura (CHOPRA e MEINDL, 2004) e apresentados na figura 18. Nota-se que ao aumentar o número de CDUs o custo de transporte se reduz enquanto o custo de estoque (o qual inclui os custos operacionais dos CDUs) diminui e ambos convergem para um equilíbrio de acordo ao limite estabelecido no modelo.

É importante destacar que os custos logísticos (soma de custos de estoque com custo de transporte) continuam subindo levemente no gráfico da figura 17, porque o sistema é dinâmico e ao mesmo tempo que se aumentam os CDUs o número de entregas e veículos segue crescendo. Neste contexto, o gráfico da figura 17 deve ser comparado com a primeira metade do gráfico da figura 18, pois o equilíbrio do sistema se dá onde os custos logísticos atingem seu ponto mínimo.

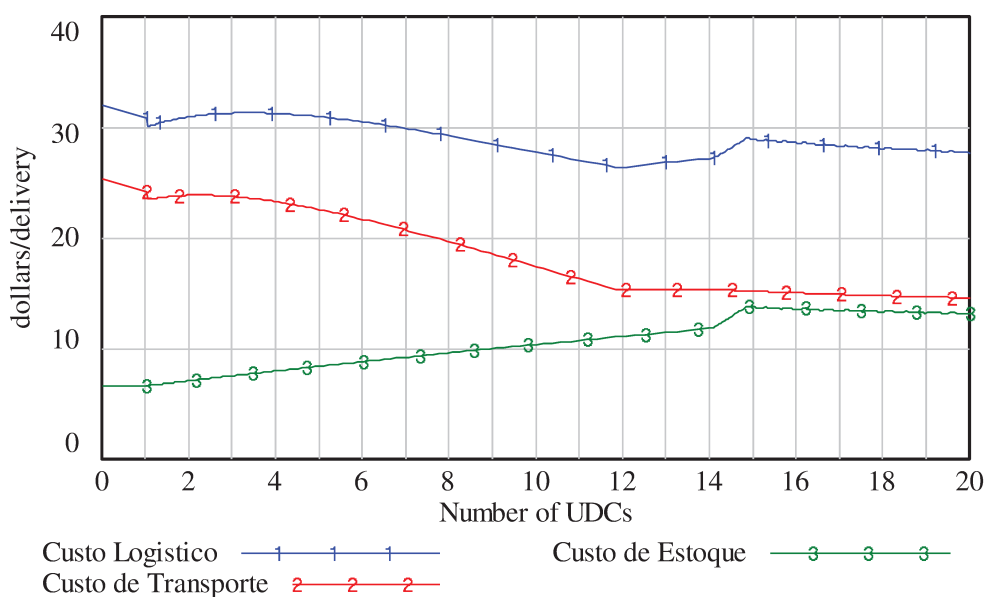


Figura 17. Custos Logísticos/ Número de CDUs (Modelo)

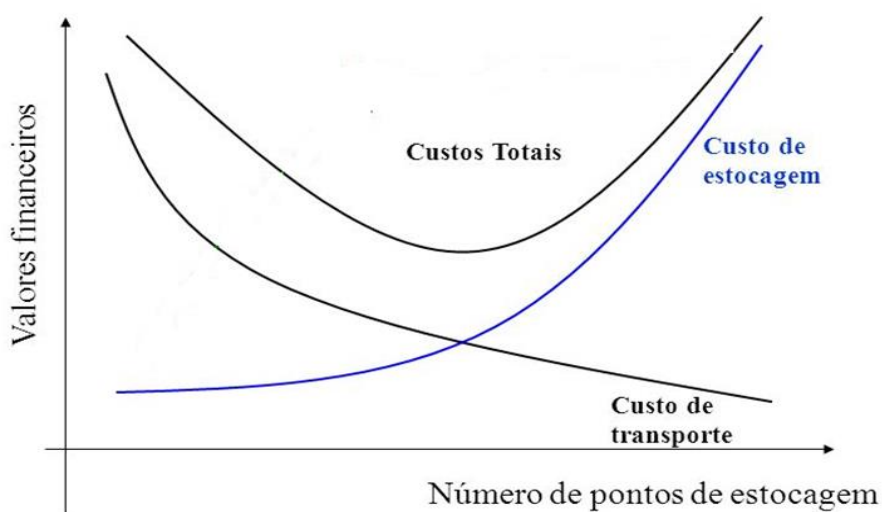


Figura 18. Custos/ Número de CDUs - Literatura (CHOPRA e MEINDL, 2004)

5.2.5. Premissas dos CDUs

As premissas adotadas nesse ciclo incluem: i) o abastecimento dos CDUs é feito durante a noite (TARIO et al., 2011); o que implica que a viagem para abastecer os CDUs não tem impacto relevante no nível de congestionamento e, portanto, não são computadas para tal (embora os custos das mesmas foram incluídos com um valor constante); ii) os CDUs estão distribuídos em pontos estratégicos da cidade, otimizando as distâncias aos pontos de entrega; iii) a utilização do CDU adiciona em média 1 dia de estoque ao sistema.

5.3. Variáveis de Desempenho e Políticas Avaliadas

As variáveis de desempenho utilizadas no modelo são: i) as emissões de GEE (medidas em kg equivalentes de CO₂/dia) e ii) os custos logísticos totais (R\$/ano) que incluem custo de transporte, armazenagem e estoque. Em seguida, o modelo foi simulado usando quatro configurações de políticas, descritas na tabela 2.

Parâmetro	Unidade	Política 1: Caso Base	Política 2: Restrições de caminhões	Política 3: Fator de Ocupação	Política 4: CDUs
Horas de Operação (1)	horas	10	6	10	10
Fator de Ocupação (2)	%	70%	70%	90%	80%
Tx. Ampliação CDUs (3)	%/mês	0	0	0	5%
Distancia por entrega (4)	km	8	8	8	8 - 0,3 U
Ponto crítico congestionamento (5)	%	95%	95%	95%	95%

(1) 10 horas disponíveis para entregas, sendo reduzidas para 7 horas com a política de restrições (das 10h as 17hs)

(2) Ocupação padrão de 70%, sobre para 80% no caso da política de CDUs e para 90% na política 3 com ações específicas do

(3) Tomando como referência que o tempo para maturidade operacional de um CDU pode ser de 12 a 18 meses. O modelo

(4) Para a política de CDUs, as distâncias percorridas por entrega variam segunda a equação $Ld=7(8-0,3U)$ (equação 7) , onde

(5) medido pela densidade de tráfego, definido pela relação entre o número de veículos/faixa-km e a capacidade das vias.

após atingir o ponto crítico de 95%, são feitos investimentos para ampliar a capacidade, pois o poder público tende a atacar os sintomas do problema de congestionamento e aumentar a capacidade das vias, principalmente devido às pressões da população, (Sterman, 2000).

Tabela 2. Políticas Testadas Nível Estratégico

As políticas avaliadas foram:

Política 1: Caso Base: Qualquer gestor público tem a opção de política “Não Fazer Nada” com relação a algum problema; embora possa não parecer uma opção inteligente à primeira vista, essa escolha pode se aplicar em alguns casos (MCCONNELL e HART, 2014), especialmente quando o gestor público transfere para o mercado ou para o setor privado a expectativa de que o problema seja resolvido. Nesse contexto, no modelo estratégico, define-se o Caso Base para representar essa opção de política.

Política 2: Restrições de Caminhões: A segunda política inclui a restrição à circulação de caminhões por meio de janelas de tempo (política 2), medida onde os

caminhões são proibidos de circular em horários de maior movimento, a qual é adotada em várias cidades (ALLEN et al., 2012).

Política 3: Aumento do Fator de Ocupação. A premissa dessa política é que cada empresa busca a otimização das rotas e o aumento do fator de ocupação de carga através de um melhor planejamento e do uso de ferramentas de roteirização (JALLER et al., 2016). O modelo utiliza uma linha base de 70% de ocupação, que chega a 80% com a utilização dos CDUs e a 90% com melhoras no planejamento. Os números adotados são conservadores já que a literatura destaca casos com linha base de 45% a 60% de ocupação subindo até 80% com a utilização dos CDUs (BROWNE et al., 2006). No caso de Curitiba e São Paulo se situam na faixa entre 60 e 90% (figura 19).

Política 4: Implantação dos CDUs. Nesse cenário, o poder público toma medidas para facilitar a implantação dos CDUs, seja por meio de cessão do terreno, redução de impostos, subsídios ou de outros incentivos (BROWNE et al., 2006; VAN DUIN et al., 2010) que favoreçam o estabelecimento dos CDUs. A premissa utilizada é que o CDU reduz a distância média entre entregas realizadas e aumenta o fator de ocupação de carga (TARIO et al., 2011). A taxa de abertura dos CDUs é dada pela equação 6 apresentada anteriormente e a distância média entre entregas pela equação 7.

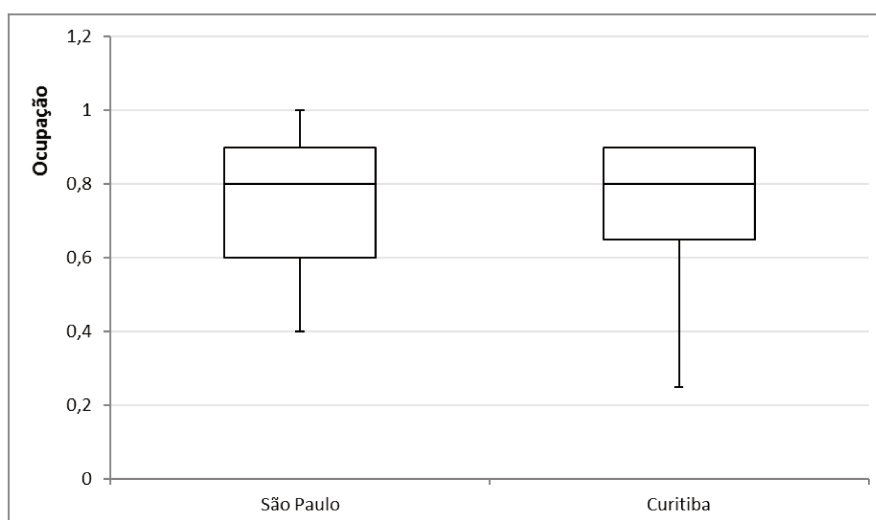


Figura 19. Fator Médio de Ocupação de Carga em Curitiba e São Paulo

Fonte: CLUB (2013)

5.4. Cenários Avaliados NEST

Como próximo passo, as quatro políticas e intervenções foram testadas sob dois cenários que representam cidades hipotéticas (tabela 3). A Cidade tipo 1 representa uma cidade com operação logística de pouca intensidade, níveis de congestionamento baixo e custos de operação do CDU relativamente baixo. A Cidade tipo 2 representa operação logística intensa, alto nível de congestionamento, custos de operacionais altos. Os dados da Cidade tipo 1 foram baseados na cidade de Curitiba (Anexo V). Para a Cidade tipo 2 foram extrapolados com base a Curitiba e complementado com dados da literatura (BROWNE et al., 2006; VAN DUIN et al., 2012; CLUB, 2013).

Parâmetro	Unidade	Cidade tipo 1 (3)	Cidade tipo 2
# de pontos de entrega	unidades	2.000	4.000 (4)
# entregas/dia	entregas	1.000	2.000 (4)
distancia média por entrega (1)	kms	8	10(5)
custo fixo CDU	R\$/mês	22.500	30.000 (6)
nível de congestionamento (2)	%	30%	55% (5)
velocidade média inicial	km/h	30	20 (5)
% caminhões	%	12%	25% (6)

(1) valor estabelecido para o cenário base. Esse parâmetro se torna variável nos cenários com CDUs.

(2) medido pela densidade de tráfego, definido pela relação entre o n. veículos/ faixa-km e a capacidade da via

(3) dados coletados em Curitiba, Brasil

(4) # pontos de entrega: Browne et al, 2005; entregas por dia estimado de acordo a relação: 1 entrega / cada 2 dias.

(5) velocidade média e distância entre entregas: Curitiba e São Paulo, fonte: CLUB- Centro de Logística do Brasil, 2013.

nível de congestionamento estimado de acordo a função $S=60e^{2f}$ (equação 1).

(6) custo fixo CDU e % caminhões foram extrapolados com base a referência de Curitiba

Tabela 3. Cenários Avaliados Nível Estratégico

5.5. Resultados das Simulações do NEST

Os gráficos das figuras 20, 21, 22, 23 e 24 apresentam os resultados das simulações para os dois indicadores de desempenho: custos logísticos e emissões de CO₂ além de considerações sobre o comportamento da velocidade média, uma das variáveis chaves do modelo.

5.5.1. Política 1: Caso Base

Os resultados das simulações indicam que no Caso Base a velocidade média das vias tendem a decrescer linearmente chegando a níveis críticos, no qual se estabiliza, depois do período de 20 anos na Cidade Tipo 1 e aproximadamente 12 anos na Cidade Tipo 2 (Figura 20). Essa estabilização se dá porque abaixo de certos valores, a pressão da população faz com que o poder público tome ações para aumentar a capacidade da infraestrutura, ou os usuários reduzem o número de viagens (STERMAN, 2000).

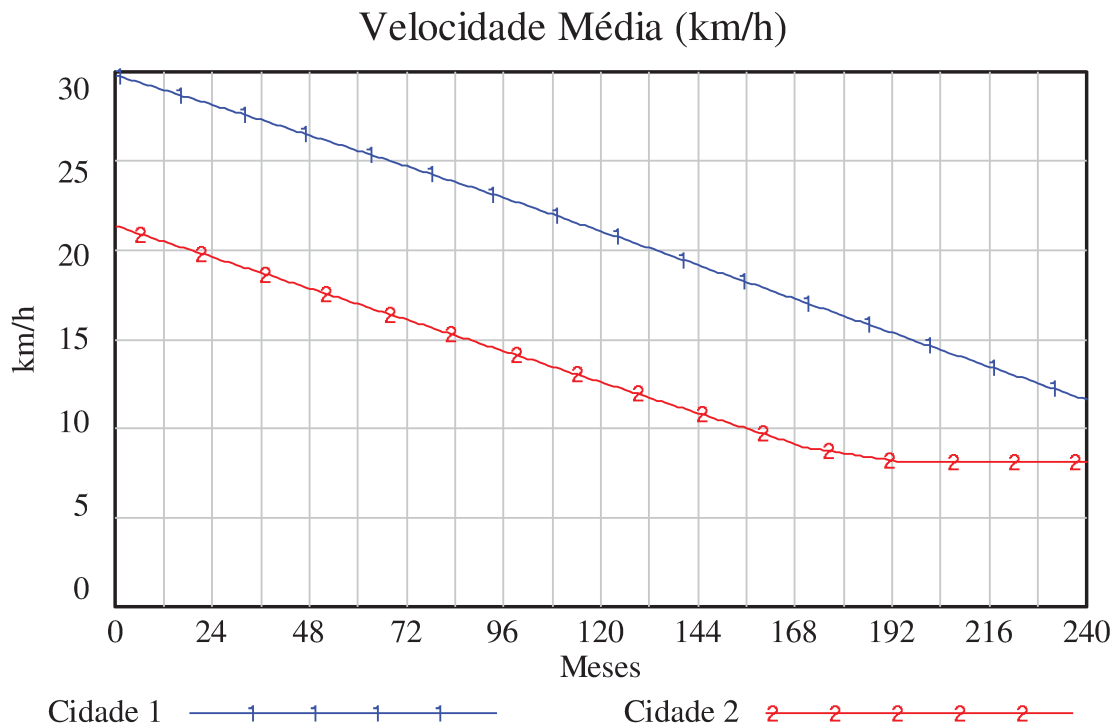


Figura 20. Velocidade Média (Cidade tipo 1 vs Cidade tipo 2)

Com relação aos custos logísticos, na Cidade tipo 1, o padrão é um crescimento linear até um período de 15 anos e um crescimento acentuado a partir desse ponto (Figura 21), enquanto na Cidade tipo 2 a partir do ano 7 o crescimento do custo logístico já passa ser bastante acentuado (Figura 22). Nota-se, portanto, que há uma defasagem entre os níveis definidos como críticos para o planejador urbano ou para a população em geral, medido simplesmente pela velocidade média nas vias e os efeitos percebidos pelo setor privado, que na verdade são percebidos muito antes. Essa defasagem pode levar por exemplo a que na falta de ação do setor público, o setor privado busque melhorar a eficiência de sua logística e implementar iniciativas com o objetivo de reduzir esses custos, ou alternativamente, transfira esses custos a seus clientes ou consumidores finais.

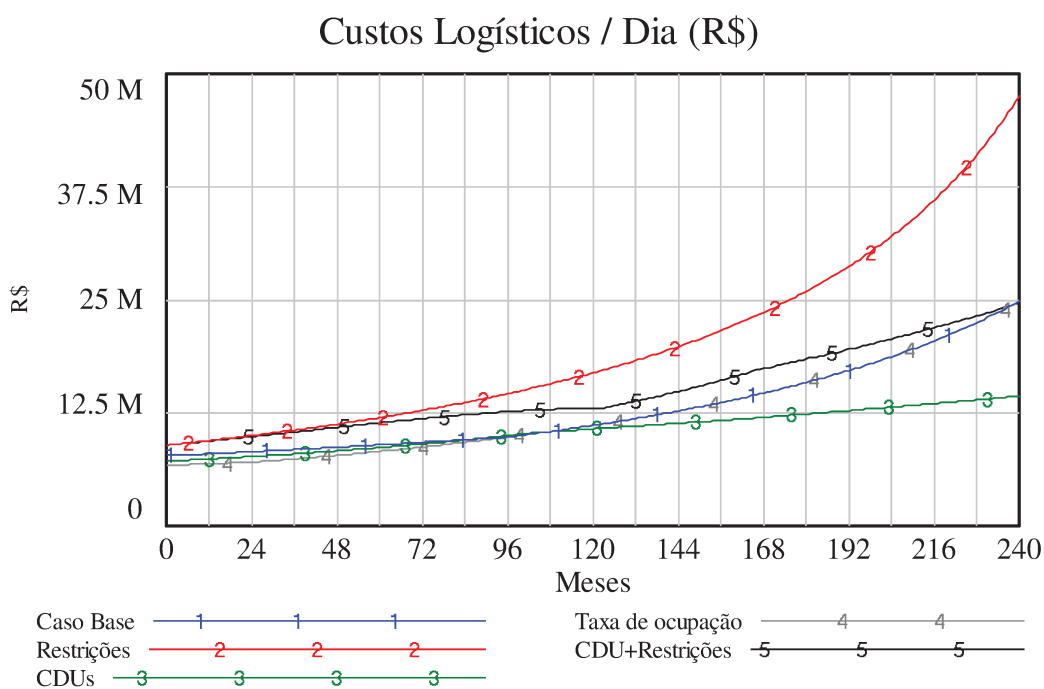


Figura 21. Custos Logísticos Cidade tipo 1

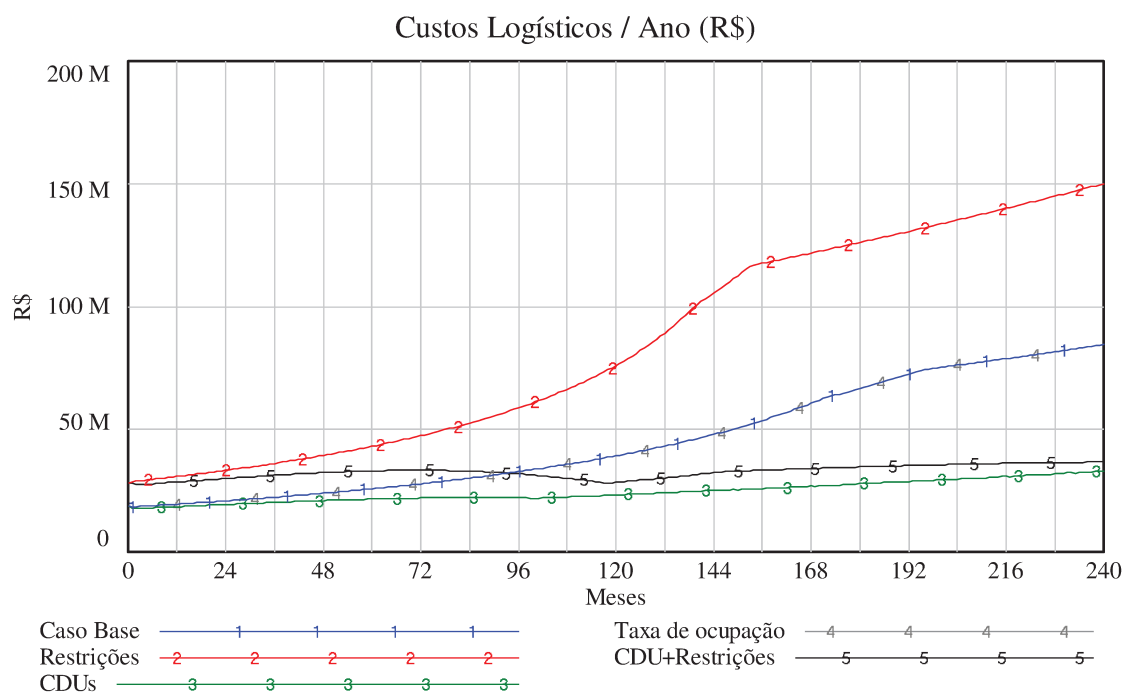


Figura 22. Custos Logísticos Cidade tipo 2

No caso das emissões de GEE, nota-se que o crescimento na Cidade Tipo 1 é aproximadamente linear durante todo o período da simulação, com crescimento mais acentuado após 15 anos (180 meses) (Figura 23). Na Cidade Tipo 2 o aumento das emissões se dá antes que o aumento dos custos logísticos (Figura 24). Esse padrão também ajuda a entender as dificuldades dos gestores públicos em tomar decisões em Cidade Tipo 1 e as pressões sofridas na Cidade Tipo 2 pelos impactos ambientais da logística urbana.

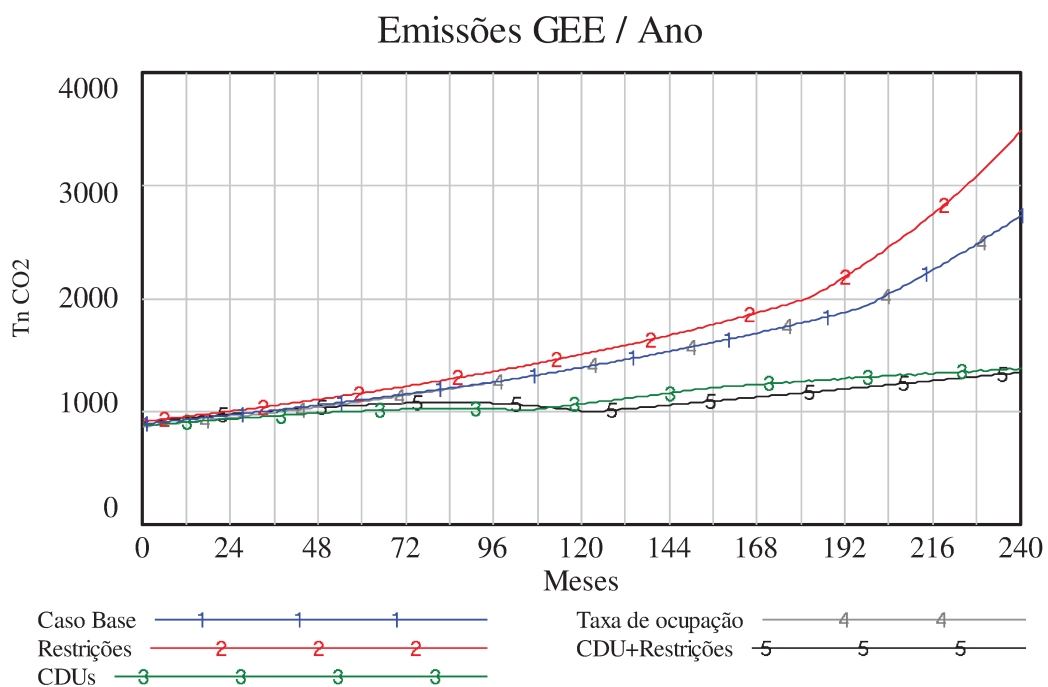


Figura 23. Emissões GEE Cidade tipo 1

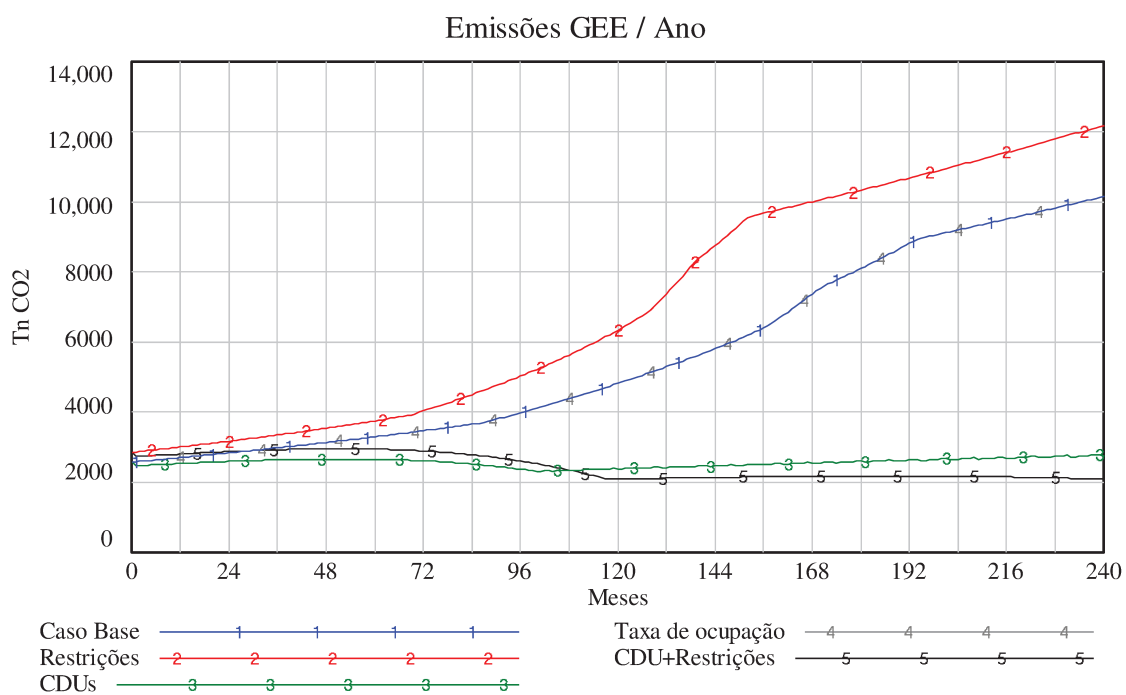


Figura 24. Emissões GEE Cidade tipo 2

5.5.2. Política 2: Impactos das Restrições

A restrição à circulação de veículos de cargas em horas-pico, embora possa reduzir o congestionamento nesse período do dia (antes das 10h e após as 16h), aumenta os custos logísticos nos cenários analisados (figuras 21 e 22). Esse aumento ocorre porque, com a diminuição do tempo disponível para os caminhões realizarem entregas, mais veículos são enviados para as ruas para realizar o mesmo número de entregas. Esse resultado é consistente com outras pesquisas (YAMADA e TANIGUCHI, 2005; SANCHES et al., 2013). O modelo assume que a circulação de todos os caminhões é permitida entre as 10h e 16hs, horário similar ao adotado na Cidade de Curitiba. O fator de ocupação de carga com essa política é reduzido em até 40% comparativamente ao caso base. O modelo indica, portanto, um grande impacto das restrições para as empresas privadas, o que explica em parte a resistência que tal política enfrenta (GLOBO.COM, 2016).

Com relação às emissões de CO₂, o modelo indica que para a Cidade tipo 1, as restrições geram um leve aumento nos níveis de emissões (figura 23), o qual, se somado ao benefício da redução dos veículos de carga nos horários críticos (não considerado no modelo), podem, em alguns casos, ter um efeito líquido positivo do ponto de vista ambiental, consistente com alguns estudos (YAMADA e TANIGUCHI, 2005). Por outro lado, quando essa política é aplicada na Cidade tipo 2, as emissões apresentam um aumento de até 20% considerado com o caso base (figura 24); e a política de restrições nesse caso não traz benefícios nem econômicos nem ambientais. Esse padrão se dá porque nas cidades onde o sistema de transporte não está saturado, os veículos já estão trabalhando mais próximos de sua capacidade, e a diminuição da janela de entregas impacta menos o número de entregas que cada caminhão pode fazer; no caso de cidades com trânsito intenso, o caminhão está operando em um nível sub ótimo; nesse caso a introdução das restrições de horários agrava essa situação.

Nota-se que nos gráficos da Cidade tipo 2, tanto para o caso base como para o cenário das restrições há um crescimento exponencial (tanto nos custos logísticos como nas emissões) seguido por um crescimento linear. Esse padrão se dá porque o modelo inclui a premissa que ao atingir o nível de 95% de densidade de

tráfego, o que indica uma saturação das vias, o poder público tende de aumentar a capacidade das vias, principalmente devido às pressões da população (STERMAN, 2000).

5.5.3. Política 3: Aumento do Fator de Ocupação de Carga

De acordo com os resultados da simulação, o aumento do fator de ocupação de carga permite a redução dos custos logísticos no curto prazo e na Cidade tipo 1 (figura 21), no entanto, não é robusta, pois quando o nível de congestionamento atinge níveis críticos, os custos logísticos atingem valores maiores que no caso base. Isso acontece porque, com níveis críticos de congestionamento, não é possível aumentar o número de entregas com um mesmo caminhão, pois não haveria tempo hábil para realizar tais entregas. Um possível cenário onde a consolidação de carga poderia ser sustentável no longo prazo, é quando há colaboração entre empresas (YANG e ODANI, 2006) e um mesmo caminhão realiza entregas de várias empresas no mesmo percurso.

5.5.4. Política 4: Implantação dos CDUs.

Finalmente, nota-se que a adoção dos CDUs é a única política que supera o caso base no longo prazo (240 meses) e estabiliza tanto os custos como as emissões. A principal razão é que a introdução dos CDUs muda a estrutura da rede de distribuição, reduzindo as distâncias que os caminhões percorrem para realizar as entregas.

O modelo para a Cidade tipo 2 (figura 22) mostra redução de 8 a 10% nos custos com relação ao caso base nos primeiros 4 anos, chegando a 35% no ano 10 e 60% de redução no ano 20. A velocidade média nas vias no ano 20 passa de 8 km/h no caso base para 16 km/h com os CDUs. Os resultados para a Cidade tipo 1, no entanto, não são tão consistentes (figura 21): nos primeiros 4 anos, são semelhantes a Cidade tipo 2, mas os benefícios continuam abaixo de 10% até o ano 15, sendo que o máximo de redução é de 25%. Soma-se a isso o fato que a política 3 - a melhora do fator de ocupação - tem desempenho melhor nesse caso, até o ano 15.

Com relação às emissões, a utilização de CDUs supera todas as outras políticas mesmo em cidades com níveis de congestionamento baixo (Cidade tipo 1) e inclusive no curto prazo (figura 23); isso se dá porque a redução do custo de transporte é compensada pelo custo adicional de operar os CDUs, no entanto, para as emissões não há essa contrapartida e toda a redução contribui para diminuir as emissões. Isso indica que a adoção dos CDUs, se analisada com uma visão integrada que considere também os aspectos ambientais, terá maiores chances de ser implementada.

Finalmente, é importante destacar que na Cidade tipo 2, nota-se que durante o período analisado, no cenário dos CDUs, a cidade não atinge o nível crítico onde novos investimentos de infraestruturas são necessários (figura 22 e 24), por isso, pode-se inferir que a política de CDUs reduz a necessidade de investimentos em infraestrutura o que representa um benefício adicional não computado explicitamente no modelo.

O cenário de CDU + Restrições também foi testado: nos dois casos a implantação de CDUs acompanhado das restrições tem desempenho pior que o caso base no curto prazo; no entanto, no médio e longo prazo, com a implantação de mais CDUs, esse cenário se torna atrativo na Cidade Tipo 2, sendo que os custos logísticos se aproximam dos resultados do cenário apenas com CDUs (sem restrições). Essa conclusão é importante porque indica que as cidades que já tem restrições podem adotar os CDUs como medida para minimizar os impactos negativos ao setor privado. Com relação às emissões, os resultados são ainda mais interessantes, pois nos dois tipos de cidades, a implementação das restrições em conjunto com os CDUs tem desempenho melhor que o caso dos CDUs isoladamente; esse efeito se dá porque nesse indicador os custos adicionais dos CDUs não impactam o resultado.

O gráfico da figura 25 mostra o padrão de abertura de CDUs nos dois cenários mencionados (CDUs e CDUs + Restrições) nos dois tipos de cidades.

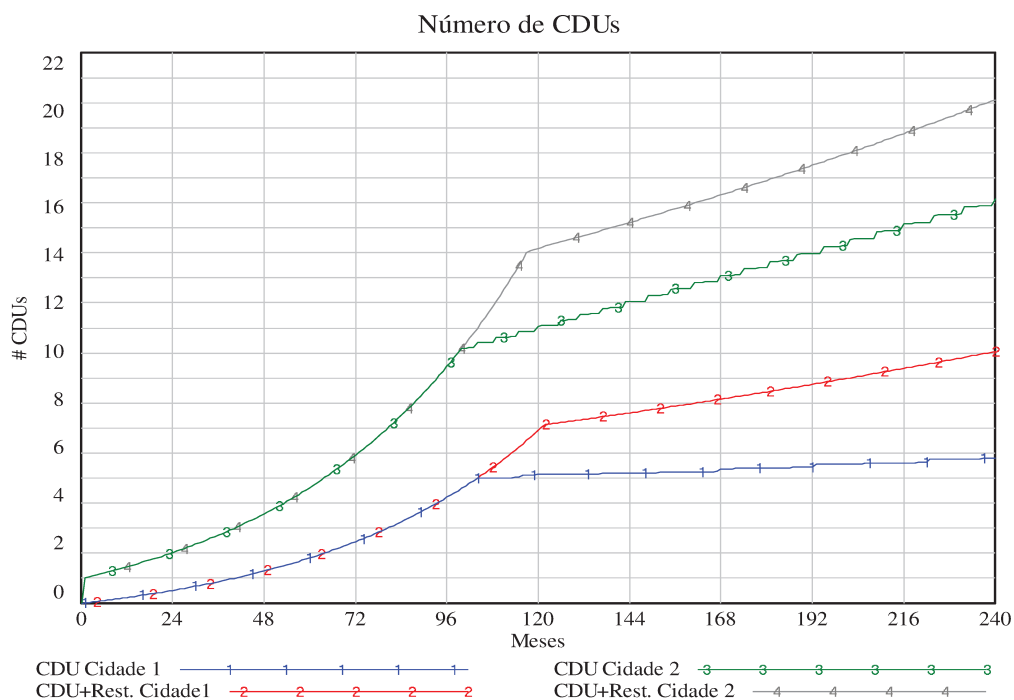


Figura 25. Número de CDUs nos Diferentes Cenários

No caso do cenário com CDUs sem restrições há um crescimento inicial no número de CDUs até aproximadamente o mês 100 (aproximadamente 8 anos), seguindo por uma estabilização, pois a diferença de custos com CDUs e sem CDUs não aumenta consideravelmente após esse período. No caso da Cidade 2, após o período inicial de crescimento acentuado no qual se atinge aproximadamente o dobro do número de CDUs que a Cidade 1, há uma redução no ritmo de abertura, mas continua a tendência de crescimento. No caso do cenário onde as restrições são implementadas em conjunto com os CDUs, tanto o número de CDUs quanto o tempo para estabilização são maiores, pois, como mencionado anteriormente, os custos logísticos na presença de restrições são maiores e, portanto, mais CDUs são necessários.

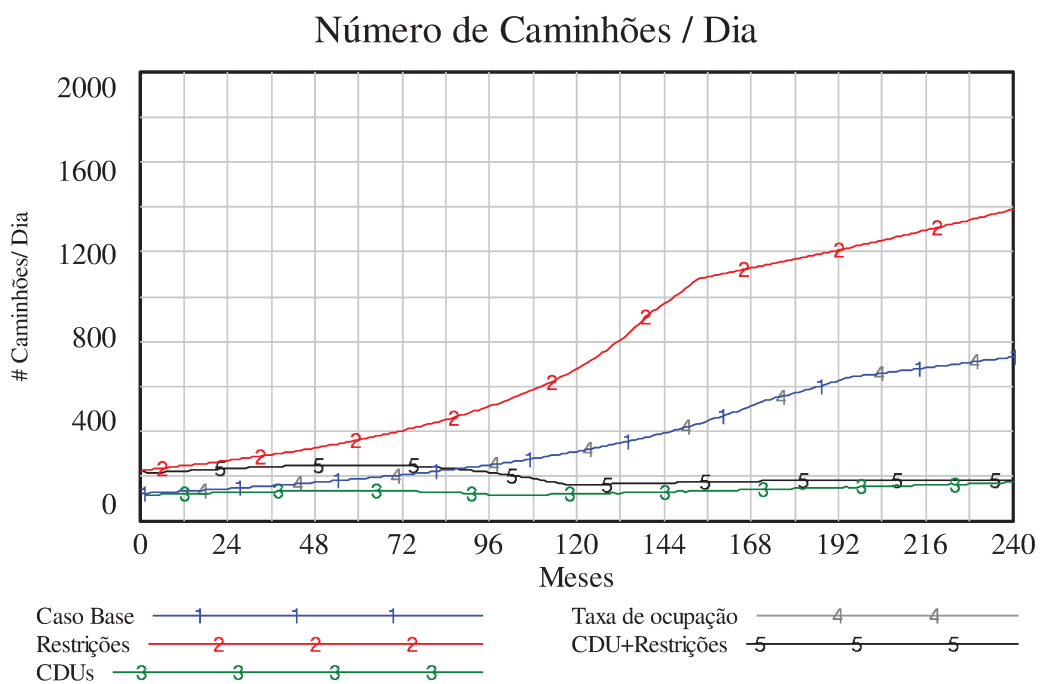


Figura 26. Número de Caminhões Cidade tipo 1

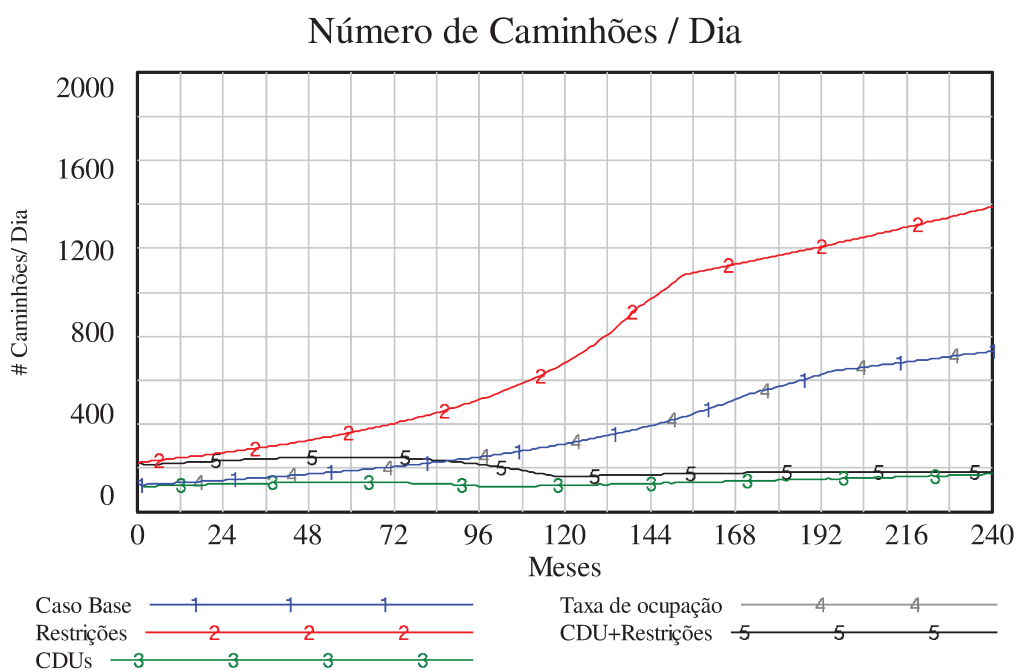


Figura 27. Número de Caminhões Cidade tipo 2

Ao analisar-se o número de caminhões nas vias (figuras 26 e 27), nota-se um padrão similar ao dos custos logísticos, com exceção da Cidade 1, no caso da política de restrições + CDU onde embora o número de caminhões se estabilize em um nível mais baixo que o caso base, os custos logísticos são maiores. Isso acontece porque o benefício de redução da distância média por entrega não é suficiente para cobrir os custos adicionais. Ou seja, o custo logístico no caso das restrições é maior, principalmente porque mais CDUs seriam abertos.

5.6. Análise de Sensibilidade do NEST

Como parte do processo de modelagem, realizou-se uma análise de sensibilidade com dois objetivos: o primeiro de verificar a robustez do modelo de simulação, a consistência dos parâmetros utilizados e a relação com os padrões identificados; o segundo objetivo foi identificar o comportamento do sistema ao expandir os cenários discutidos na tabela 2 e 3 apresentadas anteriormente.

Nesse contexto, as variáveis escolhidas para a análise de sensibilidade foram a Velocidade Média Inicial e a Distância Média entre Entregas.

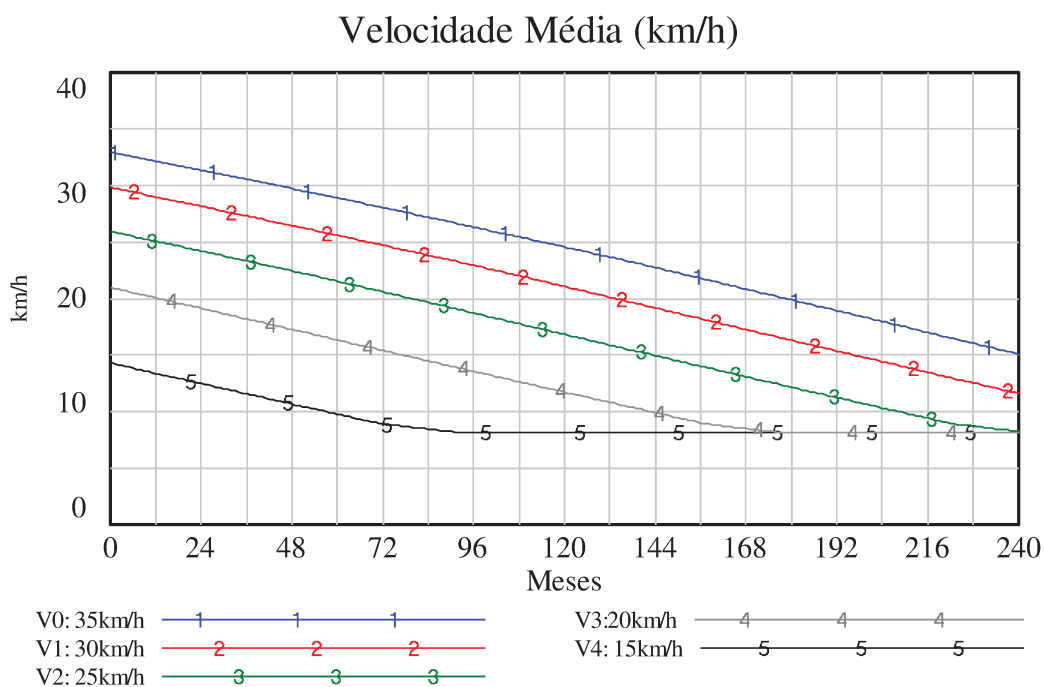


Figura 28. Velocidade Média (sensibilidade em função da velocidade média inicial)

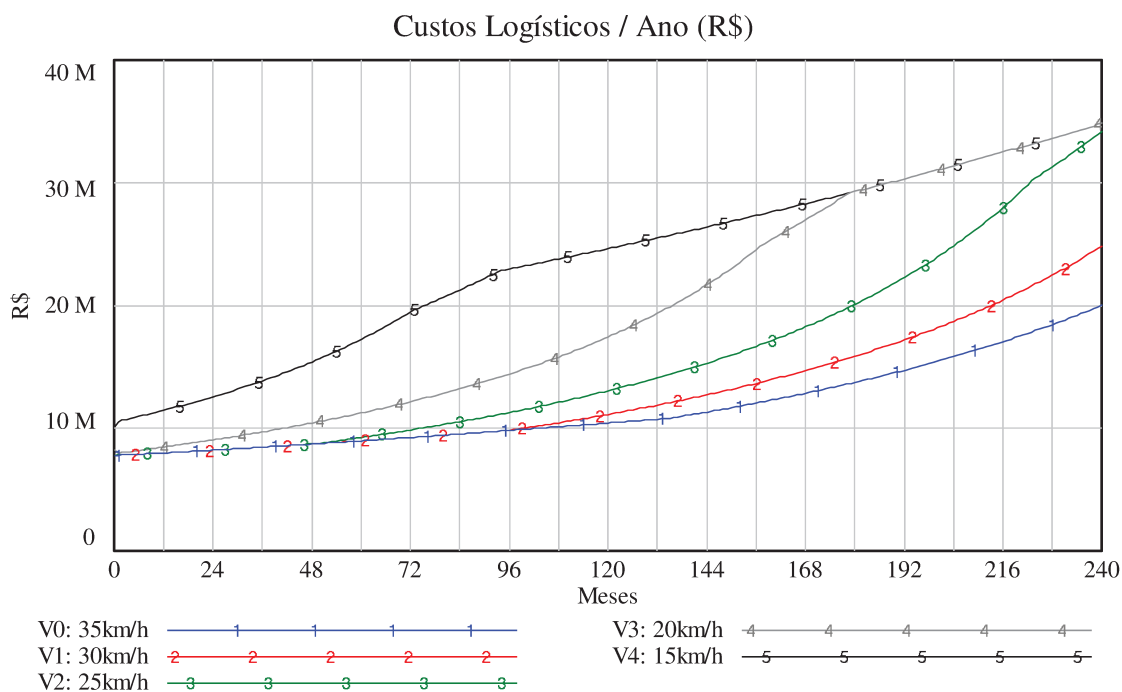


Figura 29. Custos Logísticos (sensibilidade em função da velocidade média inicial)

5.6.1. Velocidade Média Inicial:

A primeira variável testada na análise de sensibilidade foi a velocidade média inicial, considerando sua importância na caracterização das cidades, sua relevância no desempenho do sistema de logística urbana e o caráter endógeno da velocidade média no modelo.

Para a análise de sensibilidade, utilizou-se vários cenários com valores distintos para a velocidade média inicial, além das duas tipologias discutidas (Cidade tipo 1 e Cidade tipo 2), incluindo um cenário com velocidade de apenas 15 km/h, ou seja, mais baixo que o usado na Cidade tipo 2 e um cenário com velocidade média de 22 km/h, um cenário intermediário entre a Cidade tipo 1 e Cidade tipo 2. Nota-se que, de acordo ao esperado, o padrão que se identifica é que ao reduzir a velocidade, o sistema chega mais rapidamente ao seu ponto de saturação, onde investimentos em infraestrutura viária são necessários (figura 28).

O mesmo acontece com os custos logísticos para o caso base, onde, com a utilização de cenários onde a velocidade considerada é extremamente baixa, o crescimento é exponencial e atinge mais rapidamente a fronteira máxima de custos (figura 29). Os valores no longo prazo convergem para valores próximos em razão da premissa adotada de que há um limite mínimo para a velocidade nas vias.

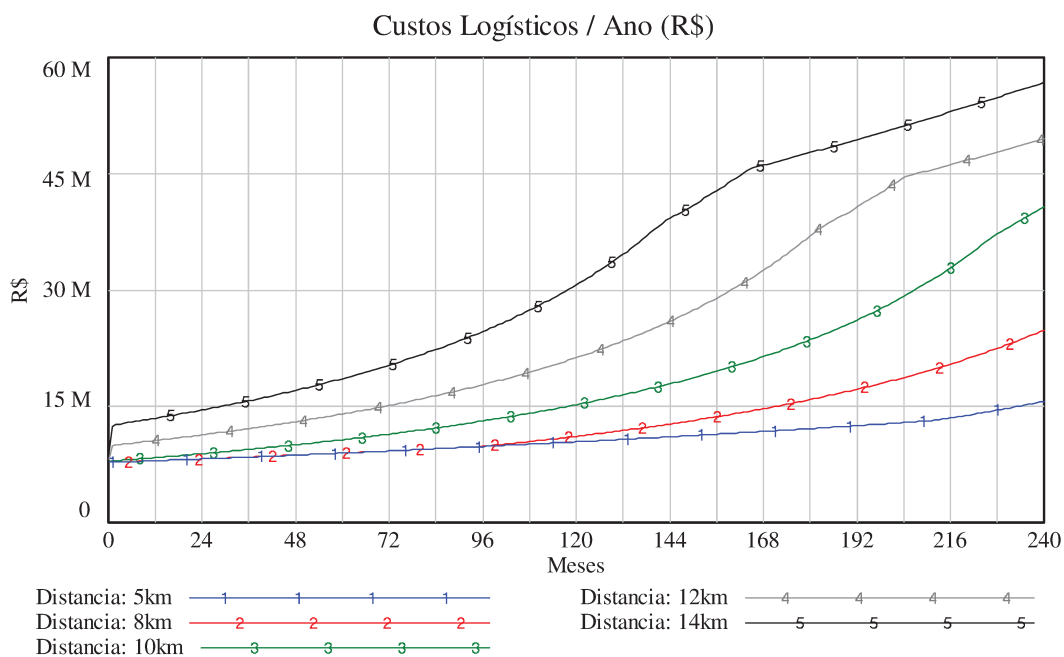


Figura 30. Custos Logísticos Caso Base (sensibilidade em função da distância por entrega)

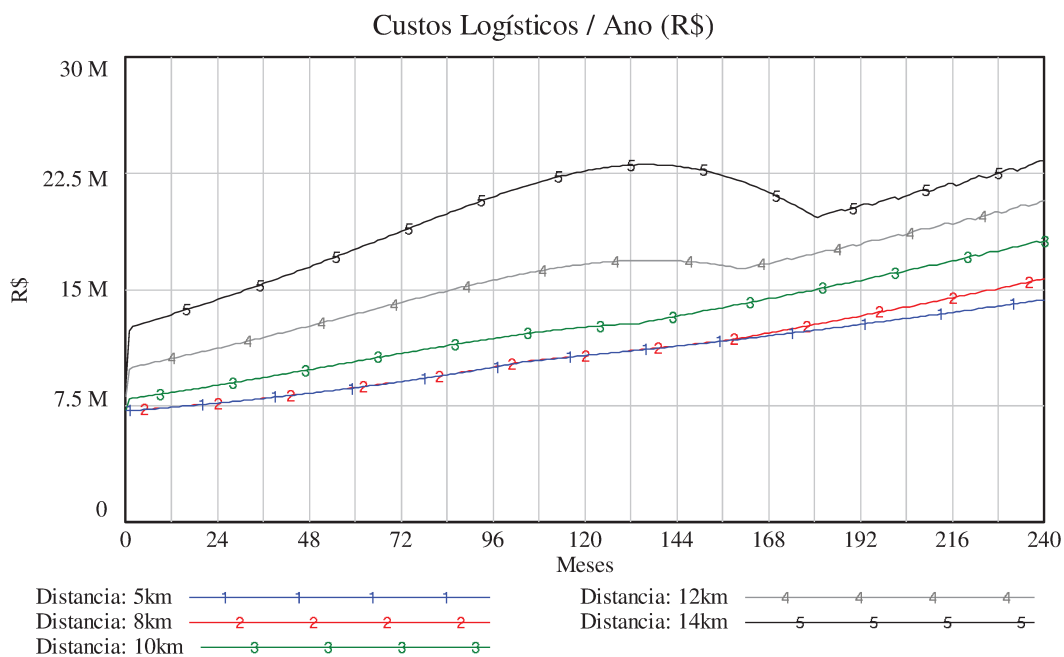


Figura 31. Custos Logísticos Cenário CDUs (sensibilidade em função da distância por entrega)

5.6.2. Distância Percorrida por Entrega

A segunda variável a ser testada na análise de sensibilidade foi a distância média percorrida por cada entrega, a qual também está relacionada às características urbanas e geográficas das cidades. A distância por entrega é bastante relevante na avaliação da política de CDUs, uma vez que essa é a principal variável afetada por essa política. Para a análise de sensibilidade, variou-se os valores além do valor padrão de 8 km e 10 km usados durante a simulação e utilizou-se valores de 5 km para representar uma cidade de menor dimensão, ou uma cidade onde as atividades econômicas estão bastante concentradas e aglomeradas e valores de 12 km e 15 km para representar cidades onde o *urban sprawl* é mais amplo.

Com relação aos custos logísticos para o caso base, ou seja, onde nenhuma política de logística urbana é implementada (figura 30), nota-se, naturalmente, que ao aumentar a distância percorrida por entrega e pelo fato de que o , os custos logísticos crescem mais rapidamente, o que significa que o sistema de transporte urbano se satura mais rapidamente, além disso se mantém em níveis superiores durante toda a simulação, sem convergir para nenhum nível, o que reflete a diferença estrutural da dinâmicas de logística urbana, onde medidas conjunturais e reparadoras, como investimento em infraestrutura viária não conseguem impactar ou melhorar o desempenho do sistema.

Ao simular o cenário de implantação dos CDUs (figura 31), nota-se que a implantação dos centros contribui para reverter a tendência de crescimento dos custos logísticos e fazem os mesmos convergirem a valores similares no longo prazo. Obviamente quanto maior a distância inicial entre entregas, mais CDUs serão necessários para atingir esse ponto de convergência. Finalmente, nota-se que ao reduzir para 5 km a distância por entrega, os custos logísticos caem a patamares similares aos da implantação do CDU, o que indica que nesses casos, os CDUs não são necessários ou factíveis do ponto de vista econômico.

CAPÍTULO 6. MODELO NÍVEL OPERACIONAL (NOPE)

A seguir se apresenta o modelo proposto para descrever o sistema de financiamento do CDU (figura 32) o qual foi definido como Modelo Nível Operacional, e é composto por cinco componentes: i) as variáveis de transição que são geradas pelo modelo nível estratégico e incluem a velocidade média, a distância percorrida por entrega com a presença dos CDUs, e o número de entregas/dia; ii) o sistema de gestão financeira do CDU que relaciona o volume processado nos centros de distribuição com as receitas e despesas ; iii) as decisões do setor privado, que incluem as decisões dos usuários, de utilizar ou não o CDU, e a decisão do operador do CDU com relação à tarifa para a utilização do mesmo; iv) as políticas públicas; e v) os indicadores de desempenho.

A relação entre o Modelo Estratégico e o Modelo Operacional se determina a partir das variáveis de transição descritas anteriormente, além de parâmetros que são comuns aos dois modelos. No capítulo 7 é discutido o procedimento proposto para a aplicação conjunta e sequencial dos dois níveis do modelo.

Outros autores utilizam modelos de simulação para estimar a aderência das empresas aos CDUs, mas com perspectivas distintas: Van Duin et al. (2012) desenvolvem um modelo baseado em simulação de agentes, composto pelos operadores do CDU, os transportadores, os varejistas, os caminhões e a municipalidade, mas a decisão de utilizar o CDU é feita diariamente no momento da roteirização e a simulação é feita para um CDU específico. Oliveira et al. (2010) utilizam dinâmica de sistemas para modelar a adesão a pontos de consolidação para entregas de comércio eletrônico (*intelligent delivery points*), mas a curva de demanda não é determinada pelos custos do usuário, e sim por uma curva de adesão influenciada pela utilização de outros usuários (*Bass Model*).

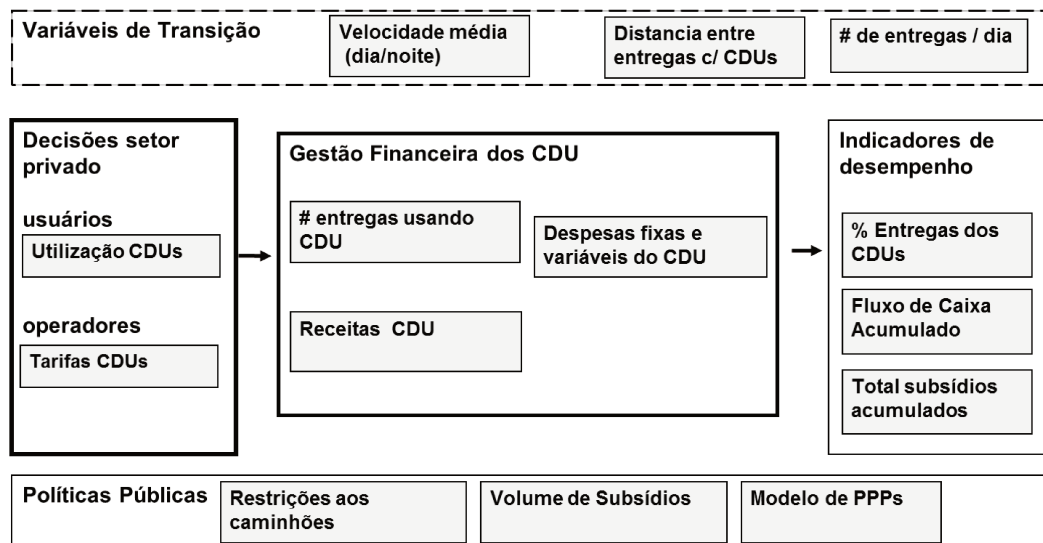


Figura 32. Componentes do Modelo Nível Operacional (NOPE)

6.1. Estrutura Dinâmica do Sistema

A modelagem do nível operacional inclui um ciclo causal que relaciona o nível de utilização dos CDUs, com base as decisões dos usuários e a tarifa cobrada pelos operadores. Esse ciclo é essencial para determinar maturidade financeira do CDU e sua sustentabilidade ao longo do tempo. O modelo também inclui, no ciclo 2, os passos realizados pelos potenciais usuários dos CDUs para comparar os custos com e sem o centro, o que irá determinar a demanda do CDU, de acordo ao preço (tarifa) estabelecido no ciclo 1. Finalmente, no ciclo 3, o modelo inclui a evolução ao longo do tempo, do fluxo de caixa do operado do CDU e dos subsídios e contraprestações públicas ao longo da vida do CDU.

6.1.1. Tarifas e Gestão Financeira dos CDUs

O ciclo 1 (figura 33) relaciona o nível de utilização dos CDUs, como função da decisão do setor privado. A premissa utilizada é que as empresas, que são os potenciais usuários do CDUs, tomam a decisão racional com objetivo de maximizar o lucro, que nesse caso é equivalente à opção que minimiza os custos de operação.

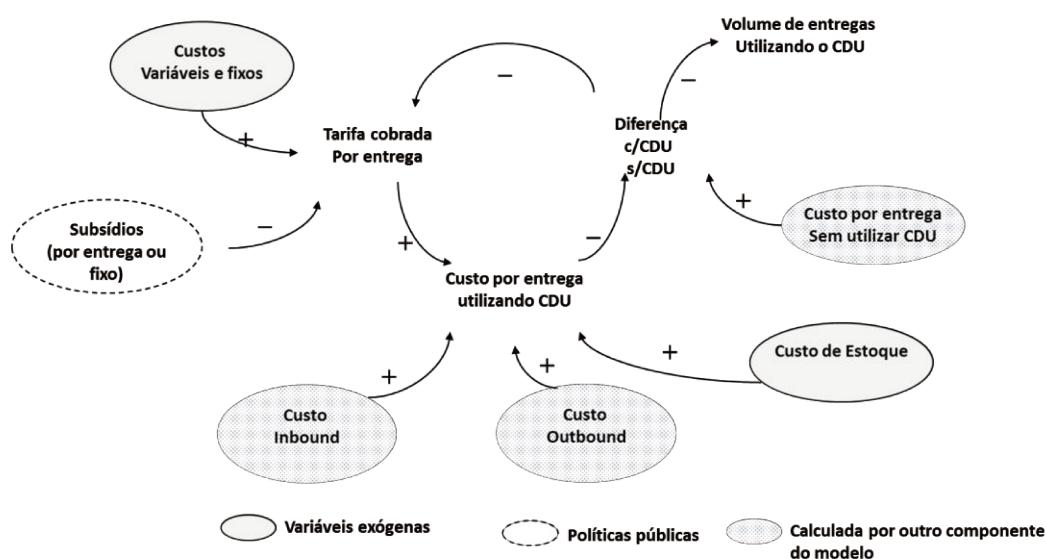


Figura 33. Tarifa e Gestão Financeira dos CDUs (principais relações causais)

As equações 8, 9, 10, 11 e 12 determinam a tarifa do CDU (p) e a quantidade de entregas que são processadas no CDU (Q).

$$p = (1 - s) \cdot \left(c_v + \frac{F(1-\alpha)}{D_e} \right) \cdot (1 + k) \quad (8)$$

$$p_0 = (1 - s) \cdot \left(c_v + \frac{F(1-\alpha)}{D_e} \right) \cdot (1 + 1) \quad (9)$$

$$p_{min} = (1 - s) \cdot \left(c_v + \frac{F(1-\alpha)}{D_e} \right) \cdot (1 + 1/4) \quad (10)$$

$$p_t = p_{t-1} - \min (|c_{cdu} - c_{ncdu}|, (p_{t-1} - p_{min})) \quad (11)$$

$$Q(p) = \begin{cases} 0, & c_{cdu} + p \geq c_{ncdu} \\ \frac{\lambda D t}{T}, & c_{cdu} + p < c_{ncdu} \end{cases} \quad (12)$$

A tarifa cobrada pelo operador (p) (que tem seu valor geral definido pela equação 8) é função dos custos fixos (F/D_e), o qual é dado pelo custo fixo de operar o CDU (F), dividido pelo número esperado de entregas por dia por CDU (D_e); e os custos variáveis (c_v), menos os subsídios oferecidos pelo poder público, dado pelo parâmetro $s \in [0, 1]$, no caso da modalidade de tarifa sombra; e dado pelo parâmetro $\alpha \in [0, 1]$, no caso de pagamento por disponibilidade; finalmente, a tarifa inclui um *mark-up* (k) para atingir o lucro desejável.

A equação 9 descreve a tarifa no momento zero (p_0), onde o valor inicial de k é adotado como 1, ou seja, o operador inicia com um *mark-up* de 100%.

A equação 10 descreve a tarifa mínima (p_{min}), a qual assume, para efeito de referência na simulação, um valor de k_t de 1/4, ou seja, a tarifa cobrada pelo operador incluirá um mínimo de 25% de *mark-up*. O ajuste do *mark-up* entre o 100% e 25% representa o esforço do operador em capturar a demanda do CDU. Os valores foram definidos arbitrariamente, mas não implicam perda da generalidade do modelo.

A equação 11, descreve por sua vez, o valor da tarifa em um determinado momento t (p_t) a qual é função da diferença de custos com CDU (C_{cdu}) e sem o CDU (C_{ncdu}) e a diferença entre a tarifa do mês anterior p_{t-1} e a tarifa mínima p_{min} .

Finalmente, a função de demanda para os CDUs é então determinada pela equação 12, utilizando a seguinte premissa: as empresas comparam o custo por entrega utilizando o CDU com o custo por entrega sem utilizar o CDU, se o primeiro for menor, um percentual de empresas opta pelo CDU. O cálculo da quantidade de entregas utilizando CDUs, para um determinado preço (p) cobrado pelo operador, é dada pela demanda total diária, ajustada pelo fator (λ), que representa o percentual

de empresas que estão dispostas a utilizar o CDU. Como algumas empresas podem usar outros critérios para a utilização do CDU que não necessariamente o estritamente financeiro, como por exemplo o nível de serviço oferecido e o risco de perder o contato com o cliente, inclui-se o parâmetro (λ) que determina o % de empresas que estão dispostas a usar o CDU (foi adotado o valor de 80% que é consistente com o percentual atingido no modelo NEST). Finalmente, o outro elemento da equação (t/T) estabelece um fator linear para a captura em função do tempo decorrido desde a implantação da política de CDU e da implantação da operação do CDU, que é calculado pela razão entre o tempo decorrido e o tempo total do ciclo de vida do CDU.

6.1.2. Modalidades de Participação Público-Privada (fatores “s” e “ α ”)

Conforme discutido na literatura, a garantia mínima de receita ao operador, constitui mecanismo útil para buscar maximizar os benefícios das PPPs (ENGEL et al., 2014). Nesse contexto, o modelo inclui duas modalidades de garantia mínima de receita: a tarifa sombra ou o pagamento por disponibilidade.

Tarifa Sombra

No caso da tarifa sombra, o poder público paga ao operador do CDU, um valor pré-determinado por cada entrega processada no CDU. A tarifa sombra incentiva o operador do CDU a buscar mais usuários (DECORLA-SOUZA, 2006), uma vez que a contrapartida pública é paga apenas para carga efetivamente manipulada no CDU, ou seja o risco de demanda é transferido ao operador. Uma outra interpretação para a tarifa sombra é como subsidio aos usuários, onde o valor pago pelo poder público pode ser interpretado como auxílio ao usuário (nesse caso às empresas usuárias dos CDUs) para que possam ter acesso à infraestrutura e aos serviços do CDU. Modelos de tarifa sombra são aplicados por exemplo em concessões rodoviárias (CAMPOS NETO et al., 2018). No caso do modelo de simulação, considerou-se que a tarifa sombra é calculada como um percentual sobre a tarifa de monopólio (que seria a tarifa que o operador do CDU cobraria para maximizar seu lucro caso a utilização do CDU fosse obrigatória) assumindo um cenário com 50% de contribuição do setor público. Na equação 8, a tarifa sombra é definida pelo fator $s \in [0, 1]$.

Pagamento por Disponibilidade

O pagamento por disponibilidade também pode ser classificado como uma garantia mínima de receita, mas que diferentemente da tarifa sombra, não depende do volume de carga manipulada no CDU, ou seja não está relacionado ao serviço efetivamente prestado pelo operador, mas sim pela disponibilidade da infraestrutura para que os usuários a utilizem e o risco de demanda fica com o poder público. O pagamento por disponibilidade tem como vantagem o fato de que oferece uma segurança ao investidor/operador de que independente da demanda, dado que a infraestrutura está disponível e com o nível de serviço desejado a receita mínima será garantida, além disso permite maior flexibilidade na cobrança das tarifas (POOLE, 2017). Modalidades similares são usadas por exemplo em concessões de água e saneamento e também em rodovias (USDOT, 2017). Por outro lado, a desvantagem dessa modalidade é que o incentivo ao operador para buscar mais usuários é limitado. No caso do modelo desenvolvido, o valor do pagamento por disponibilidade foi definido como o valor dos custos fixos, o que garante o *break-even* do operador, mas incentiva o mesmo a buscar usuários para atingir os objetivos de lucro do negócio. Na equação 8, o pagamento por disponibilidade é definido pelo fator $\alpha = \{0, 1\}$.

6.1.3. Decisão do Setor Privado na Utilização dos CDUs

O ciclo 2 (figura 34) do modelo nível operacional, embora não tenha a estrutura de um ciclo causal, representa a dinâmica dos diferentes fatores que definem a demanda do CDU, discutida no ciclo 1: o custo por entrega utilizando o CDU e o custo por entrega sem utilizar o CDU.

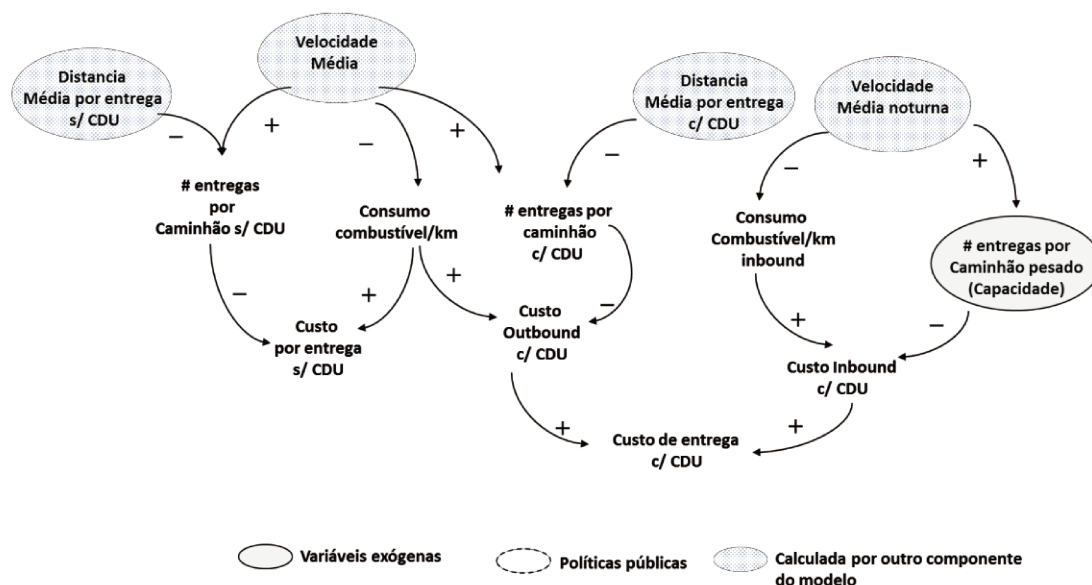


Figura 34. Decisão da Utilização do CDU (principais lações causais)

O custo por entrega sem CDU (C_{ncdu}), descrito na equação 13, é função dos custos fixos do caminhão, (F_t) e dos custos variáveis por entrega (C_{vt}) os custos fixos são distribuídos entre as entregas feitas por cada caminhão (D/V_t). O custo variável por sua vez é função do consumo de combustível que por sua vez é diretamente relacionado a velocidade média nas vias de acordo a Barth et al. (1999) e EPA (2018). Destaca-se que a velocidade média é uma das variáveis de transição do modelo nível estratégico para o modelo nível operacional e utiliza as velocidades adotadas para o cenário com os CDUs.

$$C_{ncdu} = C_{vt} + \frac{F_t}{D/V_t} \quad (13)$$

$$C_{cdu} = C_{in} + C_{out} + C_e \quad (14)$$

$$C_{cdu} = C_{vin} + \frac{F_h}{D/V_{in}} + C_{vout} + \frac{F_t}{D'/V'_t} + C_e \quad (15)$$

O custo de entrega com o CDU (equação 14) é composto pelo custo *inbound* (C_{in}), desde o ponto de origem até o CDU, mais o custo *outbound* (C_{out}), do CDU até o cliente, além do custo de estoque (C_e) adicional dos produtos armazenados temporariamente no CDU.

A figura 35 representa a estrutura da rede de distribuição sem CDUs e com CDUs.

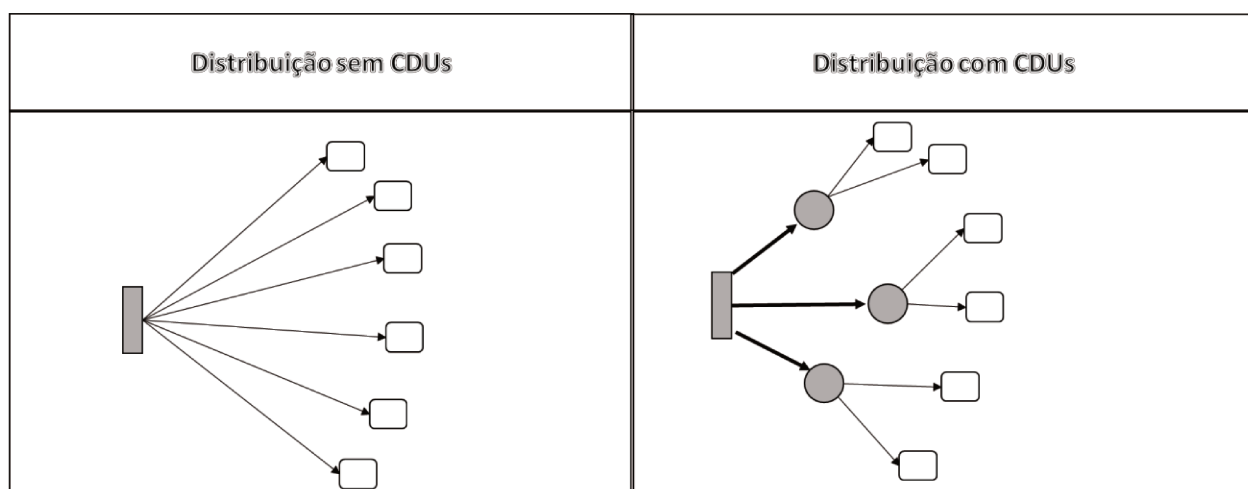


Figura 35. Rede de Distribuição com e sem CDUs

Na determinação do custo *inbound*, a premissa utilizada é os CDUs são abastecidos à noite, com caminhões que possuem capacidade maior (7 toneladas) e o custo fixo na equação 15 (definido como F_h) representa essa tipologia de veículos (o número de entregas por veículo nesse caso é definido pela relação D/V_{in}). Para o cálculo dos custos variáveis *inbound* (C_{vin}), a velocidade média noturna foi definida como constante e igual a 40 km/h.

Na determinação do custo *outbound*, considera-se que o caminhão tem o mesmo custo fixo (F_t) que o cenário sem CDUs, mas terá que percorrer distâncias menores desde o CDU ao cliente (D'/V'_t) de acordo aos resultados do modelo nível estratégico, o que impacta também o custo variável por entrega (definido como C_{vout}).

6.1.4. Indicadores de Desempenho dos CDUs

Finalmente, o ciclo 3 (figura 36) do modelo descreve as relações que determinam a dinâmica da gestão financeira dos CDUs ao longo do tempo, com o objetivo de estimar o ponto de *break-even* e o nível de lucro que pode ser almejado pelos operadores, assim como o comportamento e o nível de subsídios necessários em cada um dos cenários avaliados.

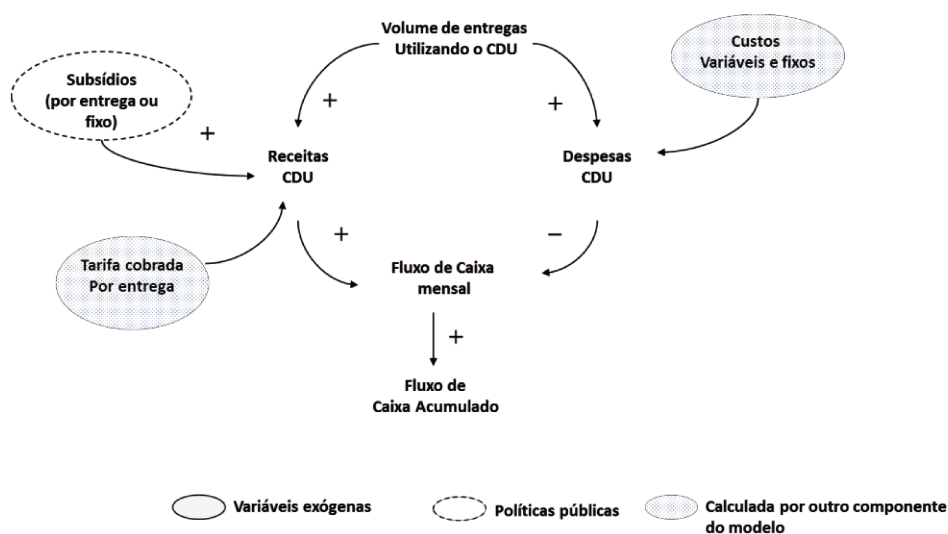


Figura 36. Indicadores de Desempenho dos CDUs (principais relações causais)

A receita total do CDU (R_t) é dada pela equação 16 e 17 e é função das entregas processadas nos CDUs (Q), a tarifa por entrega (p) e o subsídio público pago por cada entrega (s) (ou subsídio fixo (α) no caso do pagamento por disponibilidade).

$$R_t = R(Q, p) + S(Q, p) \quad (16)$$

$$R_t = p \cdot Q(p) + s \cdot p' \cdot Q(p) + \alpha \cdot F \quad (17)$$

$$C_f = R_t - F - c_v \cdot Q(p) \quad (18)$$

O subsídio pago na modalidade de tarifa sombra é aplicado sobre a tarifa cheia, ou tarifa de monopólio (p') que inclui o mark-up de 100%. No caso da modalidade de pagamento por disponibilidade, o fator alpha é aplicado sobre o custo fixo do CDU e assume valores de 0 ou 1, de acordo a implantação ou não da modalidade.

O fluxo de caixa mensal (C_f) é dado pela receita mensal menos os custos (equação 18), os quais incluem os custos fixos para operar os CDUs (F), mais os custos variáveis (c_v) multiplicado pela demanda capturada no CDU (Q). O fluxo de caixa acumulado é a soma dos fluxos mensais durante toda a vida do CDU. O modelo não inclui investimentos iniciais no CDU de maneira segregada (as chamadas despesas de capital ou CAPEX pela sua sigla em inglês), considerando que os operadores podem financiar tais custos e diluí-los durante a vida do projeto; os mesmos foram diluídos nos custos fixos do CDU.

A modelagem em DS não incluiu o desconto financeiro do fluxo de caixa ao longo do tempo, em razão de que o objetivo do modelo é observar o comportamento do sistema com os valores nominais, e seus padrões de crescimento. No entanto, na análise dos cenários e das modalidades de PPP, descritas nas próximas seções, calculou-se o Valor Presente Líquido (VPL) do fluxo de caixa para as comparações de diferentes retornos ao operador.

O processo de calibragem do modelo NOPE incluiu a análise do comportamento no longo prazo do volume de subsídios requerido para o contrato de tarifa sombra comparado com o pagamento por disponibilidade. A figura 37 apresenta os valores calculados pelo modelo e a figura 38 uma referência da literatura (APMG, 2018). Nota-se que ambas têm padrões similares: o contrato por pagamento por disponibilidade requer maiores subsídios no curto prazo que a tarifa sombra, mas no longo prazo a tarifa sombra cresce de maneira muito mais acentuada que o contrato por disponibilidade. Uma discussão mais profunda sobre esses padrões é feita nas próximas seções.

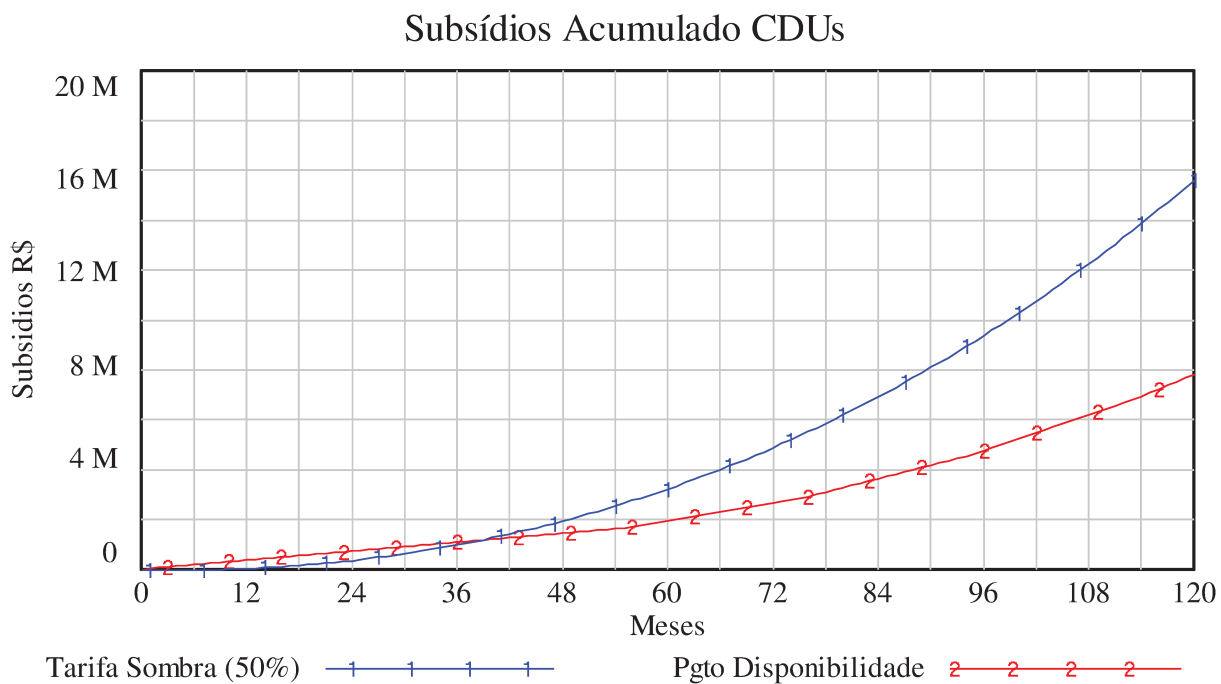


Figura 37. Subsídios Acumulados (Tarifa Sombra vs Pagamento por Disponibilidade)

Shadow toll vs. Availability payments

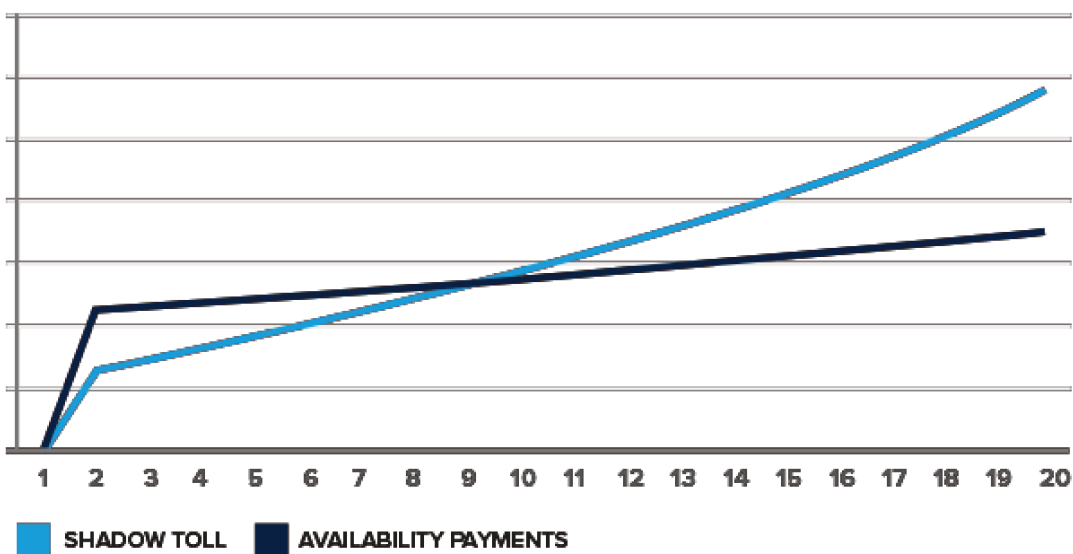


Figura 38. Subsídios Acumulados (Tarifa Sombra vs Pagamento por Disponibilidade) (APMG, 2018)

6.2. A Análise do Modelo Nível Operacional em Contextos Urbanos Distintos

Finalmente, mantendo a consistência com os cenários discutidos no modelo estratégico, a simulação realizada no modelo operacional inclui duas perspectivas, analisadas em contextos urbanos distintos: uma cidade com nível de congestionamento aceitável (Cidade tipo 1) e uma cidade onde as vias se encontram saturadas e o nível de congestionamento já atingiu níveis críticos (Cidade tipo 2). Ao contrário do modelo nível estratégico, no qual a velocidade média foi tratada como variável endógena, no modelo nível operacional a velocidade média é configurada como variável exógena e os valores utilizados para cada uma das cidades analisadas, são os mesmos resultados do cenário com CDUs que foi originado durante as simulações do modelo nível estratégico; ou seja, a velocidade média, como discutido anteriormente, é uma variável de transição entre o modelo nível estratégico e o modelo nível operacional.

6.3. Premissas Utilizadas na Modelagem de PPPs na Gestão dos CDUs

Durante a construção do modelo nível operacional algumas premissas foram consideradas:

O poder público, em razão de restrições fiscais e de outras prioridades para os investimentos públicos, busca minimizar a contraprestação ou subsídios públicos alocados aos CDUs e, portanto, busca que os centros sejam financiados pelas tarifas aos usuários (empresas privadas).

A demanda pela utilização dos CDUs é elástica com relação às tarifas cobradas pelo operador dos CDU: Os potenciais usuários dos CDU comparam o custo total de entrega utilizando o centro e sem utilizar o mesmo. A premissa é que essa revisão se dá a cada 3 meses. Nesse contexto, o operador dos CDU pode aplicar um esforço para influenciar a demanda, por meio da redução das tarifas.

O operador busca maximizar o seu lucro, comparando o retorno financeiro líquido do investimento no período do contrato, que no caso específico foi considerado de 20 anos). Embora o operador possa investir esforço para capturar a demanda, baixando as tarifas, considera-se que durante o período do contrato não há aumento de tarifas, portanto não se considera uma tarifa dinâmica no CDU (como em Van Duin et al., 2012).

6.4. Políticas Analisadas no Modelo Operacional (NOPE)

O próximo passo após a construção do modelo foi a simulação das diferentes políticas de participação público-privada e a análise de diferentes cenários de acordo ao contexto urbano (ou tipo de cidade) e quanto às características das cadeias de suprimentos encontradas em cada contexto.

A tabela 4 resume as diferentes políticas e cenários analisados:

Cenários	Política 1: Sem Subsídio	Política 2: Tarifa Sombra de 50%	Política 3: Pgto por Disponibilidade
Supply Chain 1 <ul style="list-style-type: none"> • 10 horas para entregas • Menor valor agregado 	Não há contrapartida pública	Subsídio por cada entrega processada no CDU (50% da tarifa ideal)	Poder público cobre os custos fixos do CDU
Supply Chain 2 <ul style="list-style-type: none"> • 4 horas para entregas • Maior valor agregado 	Operador cobra tarifa que maximiza seu lucro (tarifa ideal)	Operador cobra diferença entre tarifa ideal	Operador cobra diferença entre tarifa ideal e subsídio
Restrições <ul style="list-style-type: none"> • 6 horas para entregas 	Operador reduz tarifa para captar mais demanda	Operador reduz tarifa para captar mais demanda	Operador reduz tarifa para captar mais demanda

Tabela 4. Políticas e Cenários Avaliados no Nível Operacional

6.4.1. Política 1: Sem contrapartida do setor público.

A política 1 assume que o poder público não aporta financeiramente à operação do CDU, nesse caso, a tarifa do CDU é definida pelo operador, de acordo à

equação 8 com o valor de $s = 0$ e $\alpha = 0$. Essa política é a utilizada em arranjos de CDUs na Europa, Ásia e em outras regiões. A adoção da política 1, tende a ser a de mais fácil aceitação pública e política, uma vez que não envolve subsídios os compromissos financeiros que envolvam o dinheiro público; no entanto como nota-se na discussão encontrada na literatura, e também nos resultados da simulação que serão discutidos mais adiante, é uma das razões que muitos CDUs não são sustentáveis e não sobrevivem no longo prazo.

6.4.2. Política 2: Tarifa Sombra.

Conforme descrito anteriormente, no contrato com tarifa sombra, o poder público paga ao operador do CDU, um valor pré-determinado por cada entrega processada no CDU. Esse modelo de contrato transfere o risco de demanda ao operador, uma vez que o pagamento é apenas feito caso haja demanda, e, portanto, incentiva o operador a buscar usuários para os CDUs. Modalidades com tarifa sombra são aplicadas por exemplo em concessões de rodovias. No caso do modelo de simulação, considerou-se que a tarifa sombra é calculada como um percentual sobre a tarifa de monopólio (que seria a tarifa que o CDU cobraria para maximizar seu lucro sem considerar a concorrência) e foi analisado o cenário com 50% de contribuição do setor público. Adicionalmente se realizou uma análise de sensibilidade variando esse percentual de 25 a 75%, a qual é apresentada na seção 6.7.

6.4.3. Política 3: Pagamento por Disponibilidade

Conforme descrito anteriormente, o modelo de pagamento por disponibilidade envolve o pagamento de um valor fixo do poder público ao operador do CDU de maneira periódica (mensal o anual tipicamente) em troca da disponibilidade da infraestrutura para que os usuários a utilizem. O pagamento por disponibilidade tem como vantagem o fato de que oferece uma segurança ao investidor/operador de que independente da demanda, dado que a infraestrutura está disponível e com o nível de serviço desejado a receita mínima será garantida. Por outro lado, a desvantagem dessa modalidade é que o incentivo ao operador para buscar mais usuários é limitado. No caso do modelo de simulação o valor do pagamento por disponibilidade foi definido como o valor dos custos fixos, o que

garante o break-even do operador, mas incentiva o mesmo a buscar usuários para atingir os objetivos de lucro do negócio.

6.5. Cenários Avaliados

O próximo passo na aplicação do Modelo Nível Operacional (NEST) foi a definição dos cenários nos quais as políticas descritas na tabela 4 foram testadas. O primeiro aspecto utilizado na construção dos cenários foi a predominância de diferentes cadeias de suprimentos nas cidades hipotéticas e o segundo foi a existência ou não das restrições aos caminhões. O resumo dos cenários analisados se encontra também na tabela 4. Durante a simulação, foram utilizadas combinações dos cenários das Cadeia de suprimentos com restrição e sem restrição, as quais são discutidas na próxima seção.

Conforme discutido nas sessões anteriores, diferentes setores e diferentes cadeias de suprimentos tem objetivos, metas e características diferentes com relação ao nível de serviço, o que reflete por exemplo na velocidade e flexibilidade das entregas e em quem dita as regras (distribuidores ou varejistas); por outro lado os produtos e bens que são objeto de diferentes cadeias de suprimentos também possuem diferentes níveis de agregação de valor, o que reflete por exemplo no custo financeiro do estoque. Nesse contexto, durante a simulação do modelo nível operacional, inclui-se dois cenários canônicos que buscam refletir essas particularidades, Cadeia de suprimentos 1 e Cadeia de suprimentos 2 que são descritas a seguir; as particularidades de cada cadeia, para efeitos do modelo de simulação são traduzidas em dois parâmetros: o número de horas totais que o varejista pode receber as cargas (horas de operação) e o valor por cada unidade de estoque.

Cadeia de suprimentos 1 (*Supply Chain 1*) (eficiente): Nesse cenário, a premissa é que na cidade ou a área atendida pelo CDU em questão, predomina a Cadeia de suprimentos 1, a qual é classificada como “eficiente” segundo Fischer (1997). Nesse tipo de cadeia de suprimentos, embora a velocidade seja importante a prioridade é o custo e a eficiência, tipicamente são produtos de menor valor agregado, por exemplo

como alimentos ou commodities. Nesse caso, utilizou-se uma janela de 10 horas para entregas, pois o distribuidor busca maximizar a utilização dos caminhões; e o valor por unidade de estoque de R\$ 0,5 por dia.

Cadeia de suprimentos 2 (*Supply Chain 2*) (ágil): Nesse cenário, a premissa é que na cidade ou a área atendida pelo CDU em questão, predomina a Cadeia de suprimentos 2, a qual é classificada como “ágil” segundo Fischer (1997). Nesse tipo de cadeia de suprimentos, a velocidade de resposta é o fator mais importante e tipicamente são produtos de maior valor agregado, por exemplo como moda, eletrônicos e/ou produtos perecíveis. Nesse caso os parâmetros utilizados foram 4 horas de janela de entrega, pois quem define o nível de serviço é o varejista, o qual busca ter uma maior previsibilidade nas entregas, maior tempo de resposta ao cliente e busca ter pouco ou nenhum estoque nos pontos de vendas. O valor por unidade de estoque utilizado foi de R\$ 2 por dia.

Restrições de Tráfego: De forma consistente com as políticas utilizadas no modelo nível estratégico, utilizou-se como outro cenário, as restrições de tráfego com janela de tempo, na qual o tempo disponível de entregas passa de 10 horas para 6 horas. Essa restrição afeta principalmente o cenário com predominância de Cadeia de suprimentos 1, uma vez que no caso da Cadeia de Suprimentos 2, a premissa é que os próprios varejistas impõem restrições de horário de entrega.

6.6. Resultados das Simulações do NOPE

6.6.1. Incentivo à Utilização do CDU (Cidade tipo 1 versus Cidade tipo 2)

A aderência das empresas ao CDU, medida pelo volume de entregas que são processadas no centro, é claramente maior na Cidade tipo 2 do que na Cidade tipo 1, o que era de se esperar, uma vez que os custos de entrega são consideravelmente maiores nesse cenário e a diferença entre o custo com CDU e sem CDU são vantajosos ao primeiro desde o início da simulação.

É importante lembrar que como resultado das simulações do modelo estratégico, a Cidade tipo 1 não configura um ambiente propício a implantação do CDU, e os resultados do modelo operacional corroboram as indicações do modelo estratégico: Nota-se no gráfico 39, que no melhor dos casos, onde se inclui 50% de subsídio como tarifa sombra, levam cerca de 160 meses para que o CDU comece a ser atrativo para as empresas e comece a operar, no caso do pagamento por disponibilidade um pouco antes, com 150 meses. Claramente, sob os parâmetros e premissas analisadas, a implantação de CDUs, ou em maior medida, a participação privada na implantação dos CDUs é bastante improvável.

No contexto da Cidade tipo 2, nota-se um padrão diferente: no cenário onde há restrições aos caminhões, os CDUs começam a operar no primeiro ano (figura 40), tanto com a modalidade de tarifa sombra de 50%, como no contrato com pagamento por disponibilidade, e também no cenário onde se considera a predominância de cadeias de suprimento tipo ágil. No caso de não haver nenhum subsídio, os CDUs levariam mais tempo, cerca de 60 meses para serem atrativos aos transportadores. No caso de não haver restrições, o comportamento é similar ao caso sem subsídios, apenas a partir do mês 80 os CDUs se tornam atrativos.

Assumindo que a viabilidade econômica e financeira do CDU em uma Cidade tipo 1 é bastante improvável, dado os resultados do modelo e sua consistência com a literatura, é razoável focar a análise na Cidade tipo 2, com o objetivo de entender quanto a característica dos Cadeia de suprimentos predominante podem influenciar, e, além disso, quais as vantagens e desvantagens de cada modalidade de PPP.

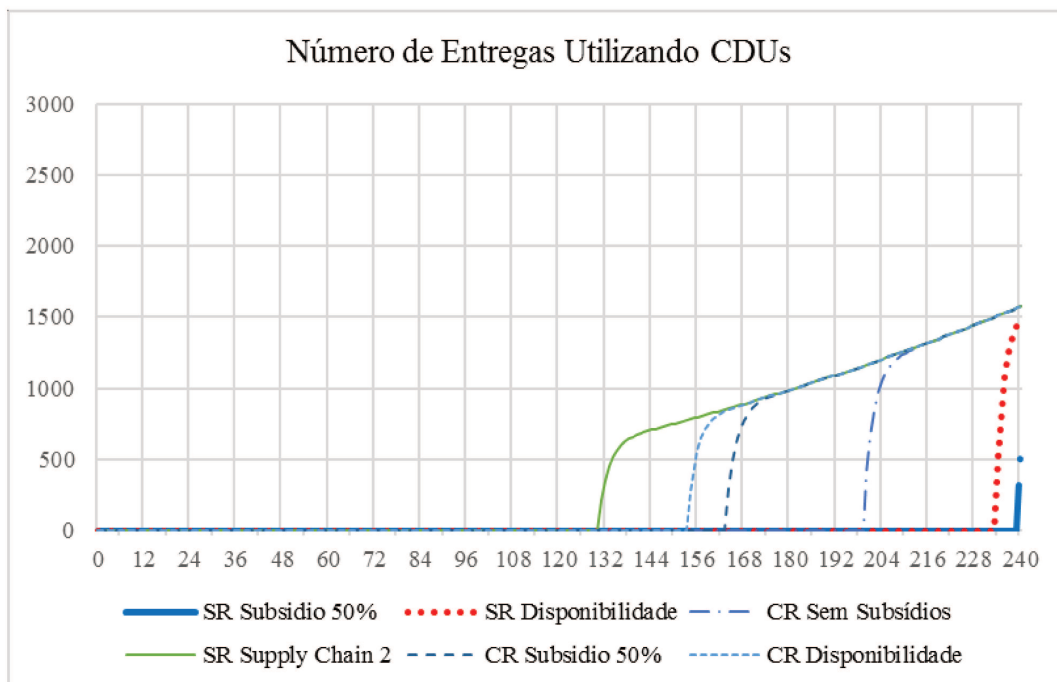


Figura 39. Número de Entregas Utilizando o CDU Cidade tipo 1

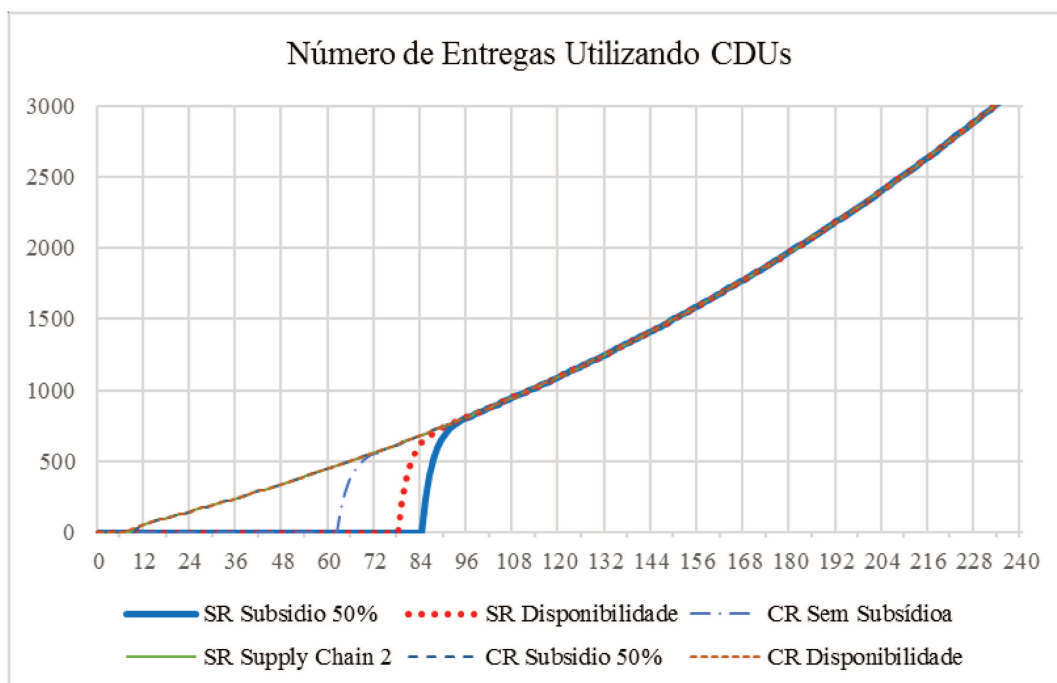


Figura 40. Número de Entregas Utilizando o CDU Cidade tipo 2

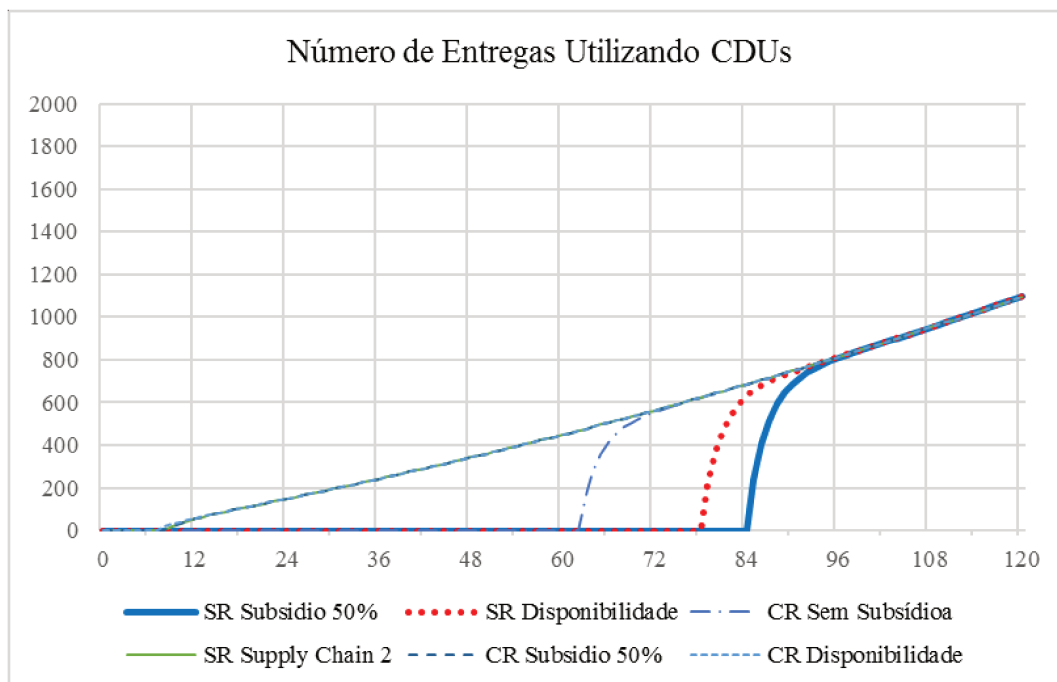


Figura 41. Número de Entregas Utilizando o CDU Cidade tipo 2 (visão 10 anos)

6.6.2. Resultados para Diferentes Modalidades de PPP.

Incentivo à Utilização dos CDUs na Cidade Tipo 2

Ao aprofundar-se a análise da Cidade Tipo 2, mais especificamente na comparação dos diferentes tipos de contratos de PPP, nota-se que a opção que mais rapidamente incentiva a utilização dos CDUs (a partir do 8.º mês de operação) se dá no cenário onde há restrições e se adota a modalidade de pagamento por disponibilidade; a tarifa sombra, também com a presença de restrições, é a segunda opção mais favorável à utilização dos CDUs (9.º mês). Nota-se que o cenário onde se considera a presença de uma Cadeia de Suprimento Ágil (*Supply Chain 2*), mesmo que sem restrições a caminhões, também implica uma utilização dos CDUs no início de operação, por volta do mês 9.

O papel das restrições aos caminhões na viabilidade dos CDUs

Quando se compara os cenários onde há presença de restrições à circulação de caminhões com aqueles nos quais a restrição não é implantada, nota-se que desde a perspectiva dos CDUs, as restrições são positivas e geram incentivos para sua utilização dos mesmos. Nas figuras 40 e 41, pode-se notar que, para um mesmo tipo de política, por exemplo, a tarifa sombra de 50%, o qual no cenário com restrições captura demanda a partir do mês 8, no cenário onde não há restrições, leva mais de 80 meses para ser atrativo. A lógica desse padrão é bastante trivial, pois conforme os resultados do modelo estratégico, as restrições aumentam os custos aos transportadores comparativamente ao caso base, já que os mesmos enviam mais caminhões para realizar as mesmas entregas; logo, a vantagem comparativa do CDU é maior.

O gráfico da figura 42 detalha os diferentes níveis de custos considerando a não utilização dos CDUs, para os cenários com restrições, sem restrições e com a presença de cadeia de suprimentos ágil.

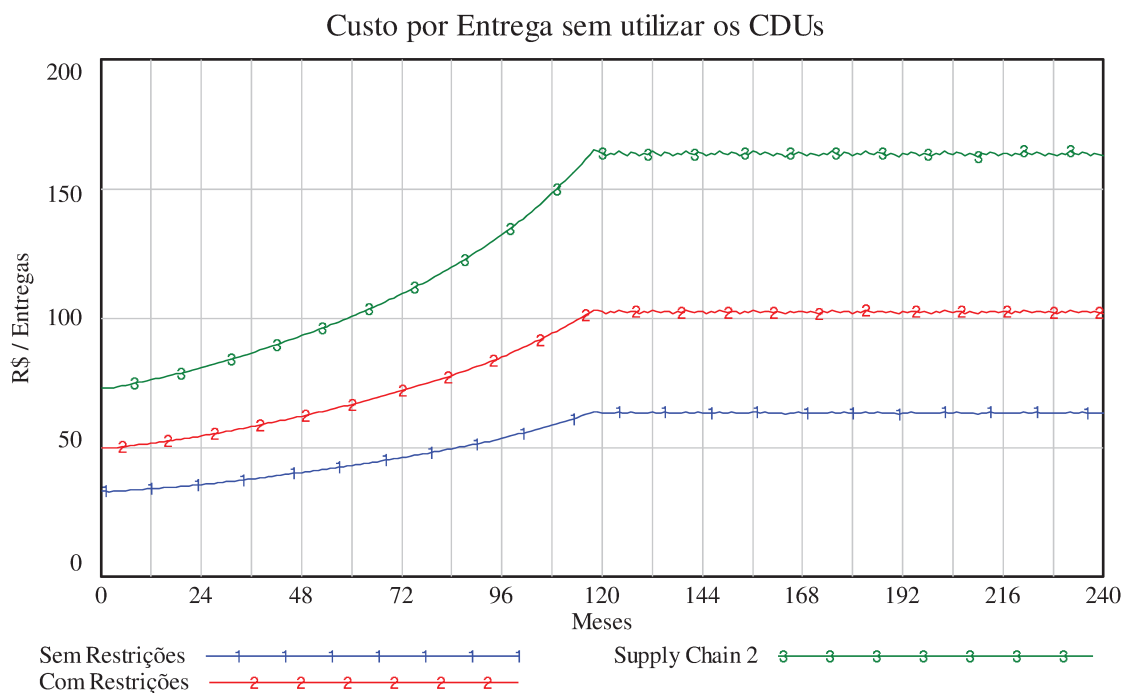


Figura 42. Evolução dos Custos sem CDU em Diferentes Cenários

As Tarifas Cobradas pelos CDUs

Como visto anteriormente, a decisão do valor a ser cobrado pela utilização do CDU é tomada pelo operador, com base aos parâmetros de custos e de objetivos de lucros discutidos anteriormente. A seguir analisa-se a evolução das tarifas nos diferentes cenários e políticas testados.

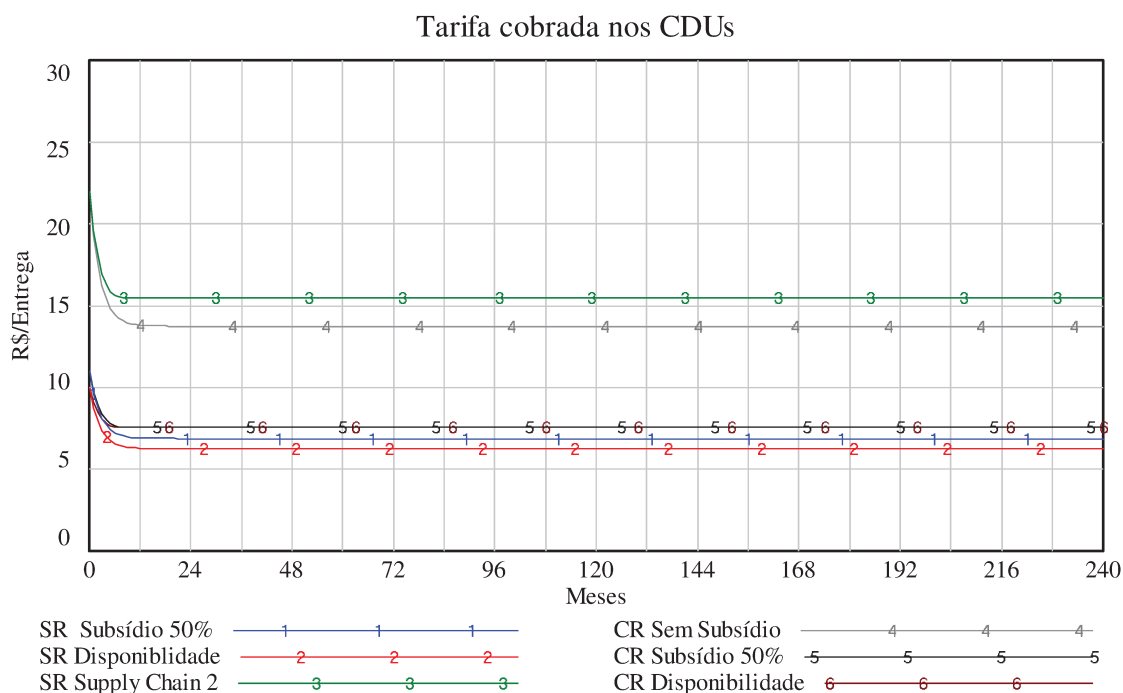


Figura 43. Tarifas CDUs para Diferentes Cenários e Modalidades de PPPs – Cidade Tipo 2

Nota-se no gráfico da figura 43 que no cenário com restrições e com tarifa sombra de 50%, a tarifa cobrada pelo operador do CDU tem um valor inicial alto (R\$ 11), mas o operador baixa a tarifa de maneira acentuada nos primeiros meses para capturar a demanda do CDU, quando as empresas passam a utilizar o CDU, a um nível de tarifa de R\$ 7,9, o operador não tem incentivo para baixar a tarifa ainda mais. No caso do pagamento por disponibilidade, o valor inicial é levemente inferior ao cenário anterior (R\$ 10), pois os custos fixos estão cobertos e a tarifa tem que cobrir os custos fixos mais o objetivo de lucro; no entanto, o operador também baixa a tarifa nos meses iniciais para capturar a demanda, e a mesma se estabiliza por volta de R\$ 7,5, a qual permanece até o final da simulação.

Nota-se que ao não oferecer subsídios, a tarifa se estabiliza em um patamar bastante mais alto (R\$ 15,5 versus R\$ 7,9 no caso da tarifa sombra e R\$ 7,5 no caso do pagamento por disponibilidade), isso implica que se leva mais tempo para os CDUs serem atrativos, como visto anteriormente.

Retorno Financeiro ao Operador

O pagamento por disponibilidade, além de garantir a menor tarifa e permitir a captura de demanda mais rapidamente, é claramente a melhor modalidade para o operador no curto prazo, pois garante os custos fixos incorridos pelo mesmo, ainda que o concessionário ou operador não processar uma única entrega no CDU. A modalidade adotada permite que o operador não tenha fluxo de caixa negativo o que do ponto de investimento de longo prazo tem um papel fundamental na viabilidade do projeto. No longo prazo, no entanto, o modelo beneficia mais o setor público que o operador, pois os subsídios não aumentam com o crescimento da demanda.

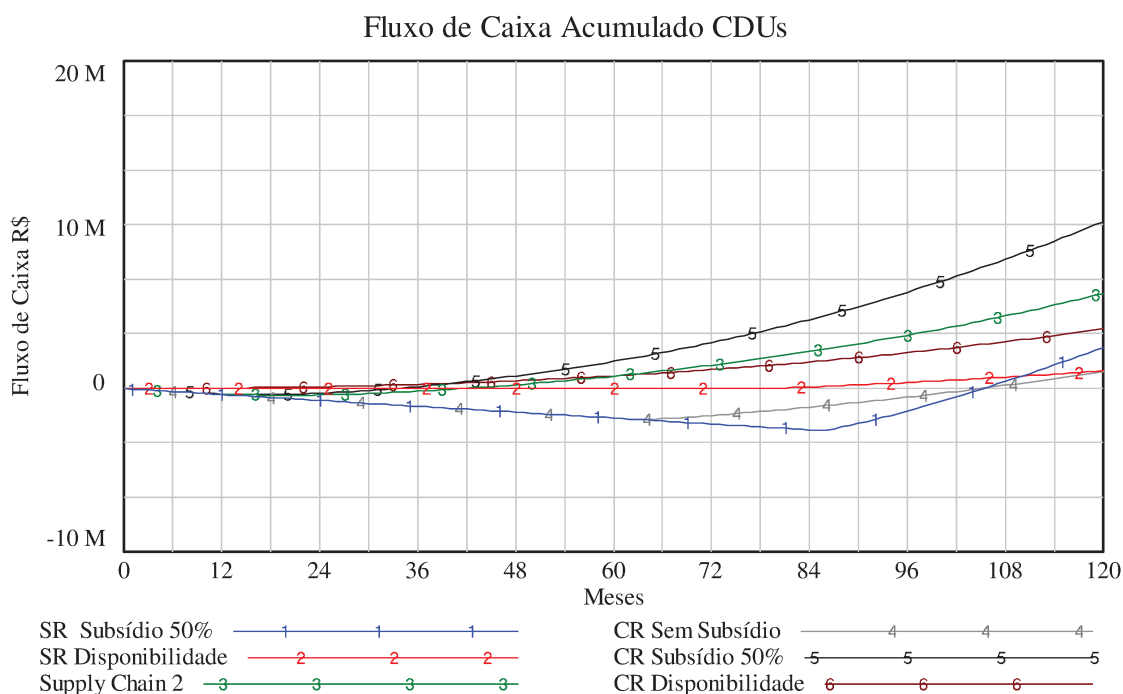


Figura 44. Fluxo de Caixa Acumulado Cidade tipo 2 –10 anos

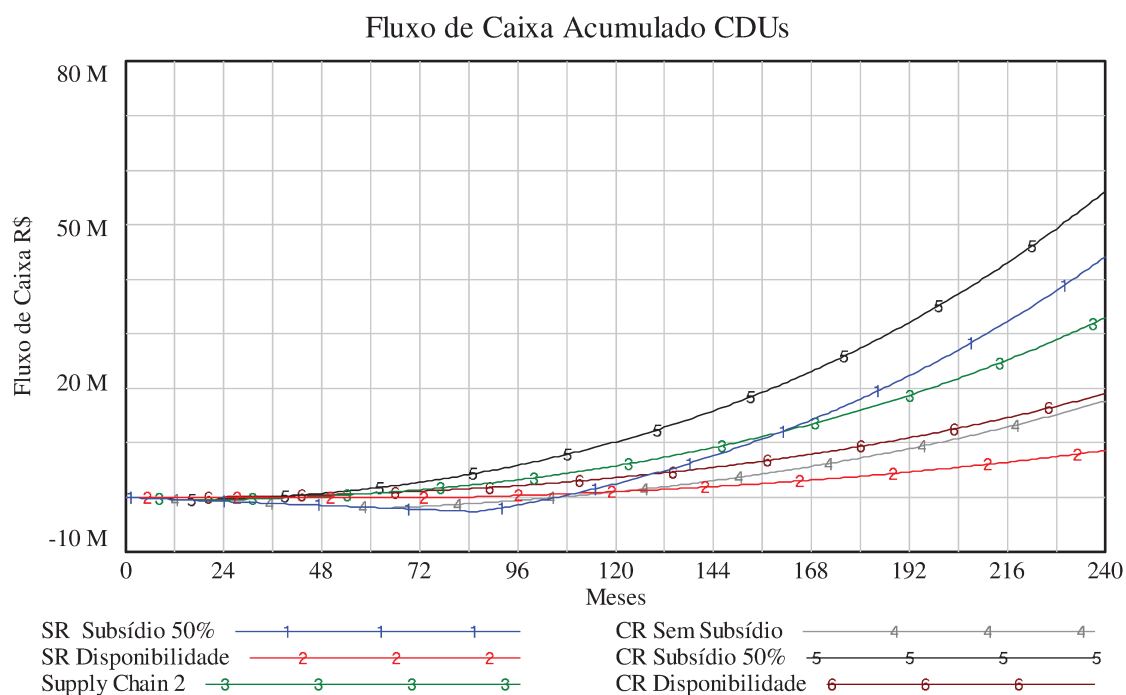


Figura 45. Fluxo de Caixa Acumulado Cidade tipo 2 – 20 anos

Nota-se no gráfico da figura 44, que nos cenários sem restrições (SR), o fluxo de caixa acumulado pode levar até 120 meses para tornar-se positivo quando se utiliza o contrato de tarifa sombra (com 50% de subsídio da tarifa) no caso do pagamento por disponibilidade, o fluxo torna-se positivo alguns meses antes (mês 80) e destaca-se o fato que nessa segunda modalidade, o fluxo nunca fica negativo (os custos fixos são pagos pelo setor público). No caso dos cenários com restrições (CR), os resultados são mais satisfatórios ao operador, pois a partir do mês 15 e mês 30 os fluxos se tornam positivos com a utilização do contrato de disponibilidade e tarifa sombra respectivamente. No caso da ausência de subsídios, mesmo no caso com restrições, podem levar mais de 100 meses até o *break-even*.

Finalmente nota-se que no cenário onde as cadeias de suprimentos ágeis dominam (*Supply Chain 2*), ou seja, a maioria das entregas se realizam com janelas de entregas menores e para produtos de maior valor agregado, o retorno do operador se torna positivo a partir do mês 40, mesmo na ausência de restrições.

Na figura 45, onde se apresenta os valores do fluxo de caixa no período completo do contrato (240 meses), nota-se que para os contratos de tarifa sombra, no longo prazo, o fluxo de caixa cresce de maneira acentuada, pois o mesmo tem forte relação com o aumento do número de entregas processadas nos CDUs. No caso dos contratos de disponibilidades, o crescimento é menos acentuado no longo prazo, pois a contribuição do governo para o aumento do fluxo de caixa está vinculada ao aumento do número de CDUs apenas; embora este cenário ainda seja satisfatório aos operadores, como se verificará nas análises a seguir.

Valor Presente Líquido (VPL) do Fluxo de Caixa

Conforme discutido anteriormente, o modelo de simulação apresenta a evolução do fluxo de caixa mensal sem considerar o valor desse fluxo no tempo, portanto, com o objetivo de complementar essa análise inclui-se no presente trabalho uma análise do Valor Presente Líquido (VPL) do fluxo de caixa do operador. Para o cálculo do VPL, utilizou-se uma taxa de desconto de 12%. Como interpretação dos resultados, um VPL positivo implica que o operador, ao utilizar uma taxa de retorno esperado de 12% tomaria a decisão de investir no projeto. Obviamente, quanto maior o VPL, maior a chance de haver operadores interessados em operar o CDU.

No gráfico da figura 46, se apresenta os valores de VPL para o fluxo de caixa em cada um dos cenários:

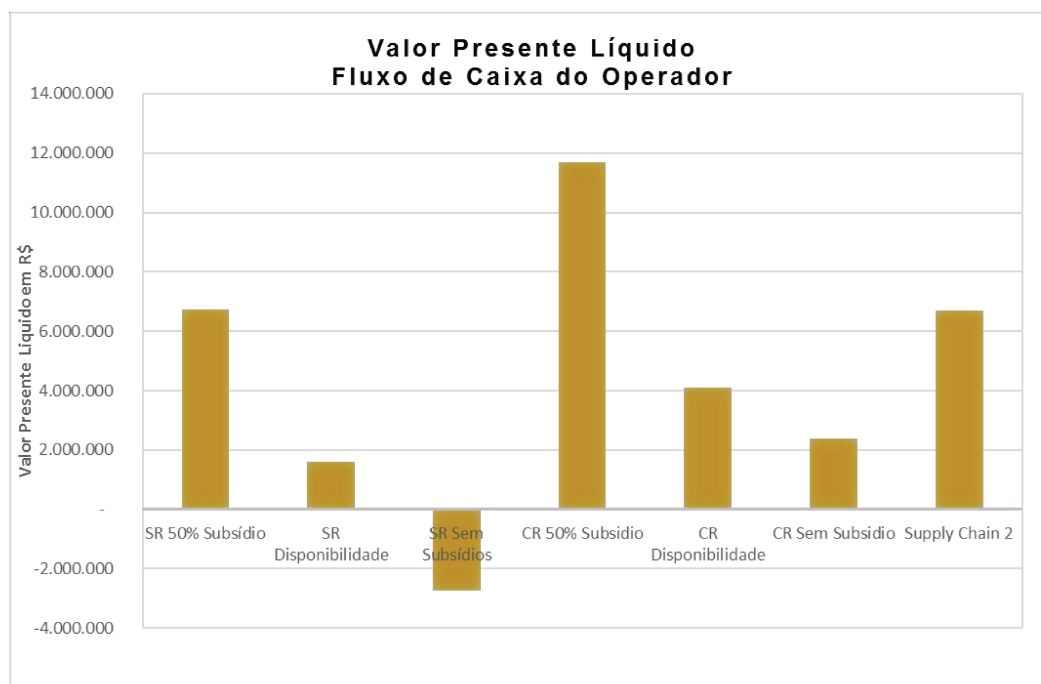


Figura 46. Valor Presente Líquido (VPL) do Fluxo de Caixa do Operador

No caso base, sem restrições ao fluxo de caminhões, o VPL do fluxo de caixa chega a R\$ 6,7 M na modalidade de tarifa sombra de 50%; no caso do pagamento por disponibilidade é de aproximadamente R\$ 1,5 M. Nos cenários onde as restrições são introduzidas, o valor chega a aproximadamente R\$ 11,7 M no contrato de tarifa sombra e 4 M na modalidade de pagamento por disponibilidade. No caso do cenário com restrições, nota-se ainda que mesmo o modelo sem subsídio, gera um VPL positivo de aproximadamente R\$ 2,4 M, o que implica que em alguns casos pode ser viável a introdução de um CDU sem participação pública. Embora como discutido anteriormente, o tempo para atingir o *break-even* pode ser uma barreira. Nota-se ainda, que ao testar a política de não utilizar subsídios, em um cenário onde não há restrições a circulação de caminhões, o VPL é negativo, ou seja, o retorno do operador não atinge os valores esperados de retorno.

Finalmente, no cenário onde as cadeias de suprimentos predominantes são ágeis (*Supply Chain 2* na figura 46), mesmo sem subsídios o retorno de operador atinge R\$ 6,7 M, o que indica potencial viabilidade sem participação pública. Esse cenário obviamente é exógeno às políticas adotadas pois a presença ou não das

cadeias referidas é uma característica intrínseca da cidade e das indústrias que ali operam.

Volume de Contraprestação Pública ou Subsídios

Além do fluxo de caixa do operador, o que indica a atratividade do CDU ao setor privado, uma variável de decisão adicional na adoção da melhor modalidade de gestão do CDU, e da melhor modalidade de PPP a ser adotada; deve ser o volume de contraprestação pública paga ao longo do projeto, que também pode ser interpretada como subsídio.

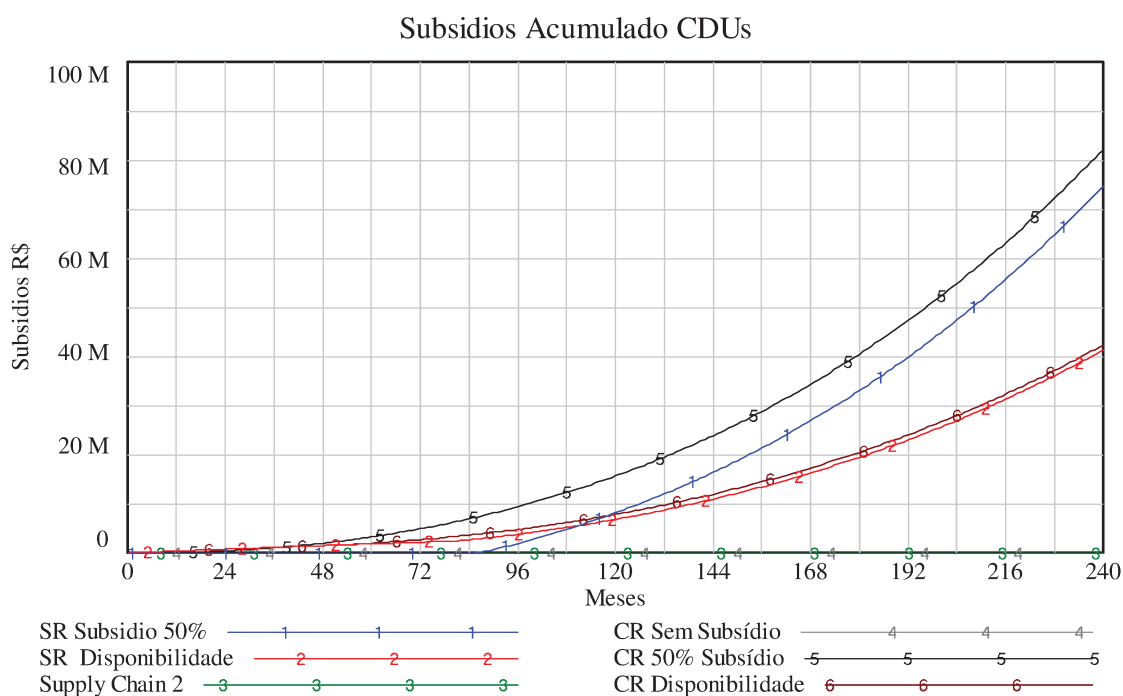


Figura 47. Subsídios Acumulados

No gráfico da figura 47 nota-se que os contratos de tarifa sombra com subsídio de 50% implicam um atraso no pagamento dos subsídios comparativamente à modalidade por disponibilidade, pois o “gatilho” se dá ao início das operações nos CDUs; no entanto, no longo prazo atingem valores bastante superiores que o modelo de disponibilidade. Esses padrões indicam que embora o contrato de disponibilidade

possa gerar um benefício líquido maior, como se discute mais adiante, em alguns casos, o contrato de tarifa sombra pode ser o escolhido pelo gestor público por exigir menos recursos no curto prazo.

Valor Presente Líquido (VPL) dos Subsídios

De maneira análoga ao caso do fluxo de caixa do operador, o modelo de simulação apresenta a evolução do valor pago de subsídios mensais sem considerar o valor desse fluxo no tempo, portanto, com o objetivo de complementar essa análise inclui-se a seguir uma análise do Valor Presente Líquido dos subsídios. Para o cálculo do VPL, utilizou-se também a taxa de desconto de 12%. Nesse contexto, o gráfico da figura 48 apresenta a comparação entre o VPL do fluxo de caixa do operador, com o VPL dos subsídios, ou contribuição pública ao CDU.

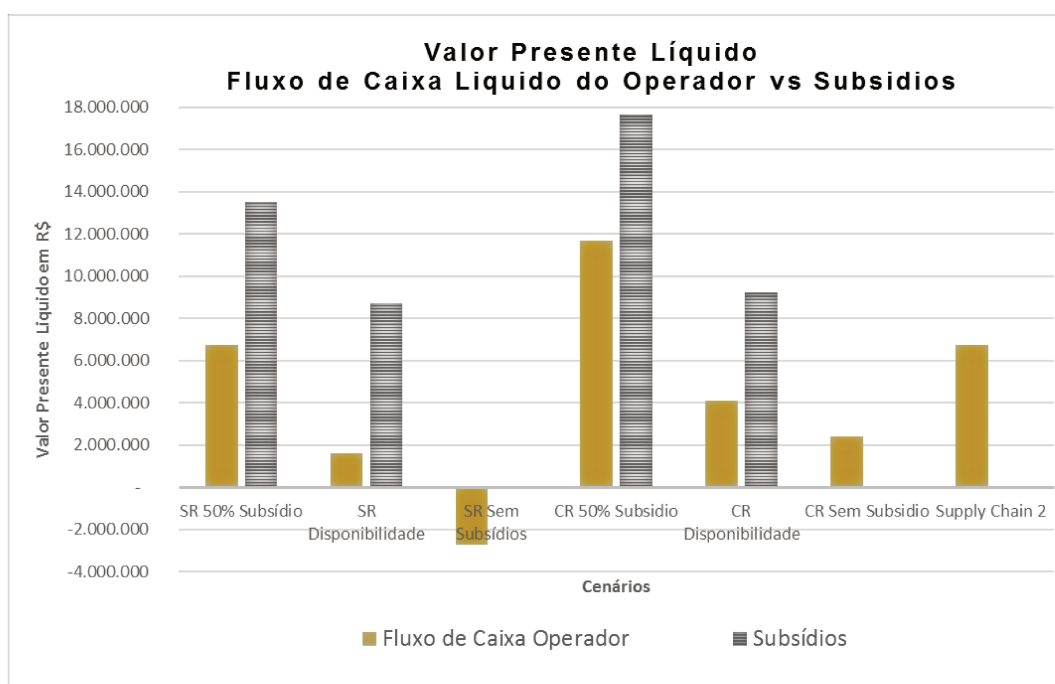


Figura 48. Valor Presente Líquido (VPL) do Fluxo de Caixa do Operador e dos Subsídios

Nos cenários sem restrições, nota-se que os valores dos subsídios para os contratos de tarifa sombra e pagamento por disponibilidade atingem valores de R\$

13,5 M e R\$ 8,7 M respectivamente. No caso dos cenários com restrições o VPL passa a R\$ 17,6 M para a modalidade de tarifa sombra e para R\$ 9,2 M para o pagamento por disponibilidade. O aumento dos subsídios, da mesma maneira que o aumento do fluxo de caixa se originam como consequência do aumento de entregas que são processadas pelos CDUs.

Nota-se um comportamento interessante nesses valores: o aumento do valor de subsídios no caso da tarifa sombra é relevante entre os dois cenários (cerca de 30%), enquanto no caso da modalidade de pagamento por disponibilidade é marginal (cerca de 6%). Isso se dá pelo fato que no primeiro tipo de contrato, o subsídio inicia com valor zero – enquanto não há movimento nos CDUs e cresce de maneira diretamente proporcional ao número de entregas processadas. No caso do segundo tipo de contrato, o valor subsidiado por cada CDU é fixo e o valor total dos subsídios varia apenas em função do número dos CDUs, o que implica um crescimento muito mais moderado.

Esse fato ainda gera outro padrão interessante: embora nos dois casos o VPL do subsídio é sempre maior que o VPL do fluxo de caixa, a relação entre subsídio/fluxo de caixa é muito maior no caso do pagamento por disponibilidade, de 5,4 e 2,2 versus 2 e 1,5 para o caso da tarifa sombra. Pode-se interpretar, por essa relação, que no contrato por disponibilidade, os subsídios contribuem para que se transfira uma maior parte dos benefícios aos usuários e uma pequena parte ao operador.

Embora essas conclusões corroborem a superioridade do contrato de disponibilidade para o setor público, uma das debilidades dessa modalidade é a necessidade de pagamento público desde o mês 1 de operação do CDU, por isso no caso de não ser possível, por questões fiscais ou questões políticas, a tarifa sombra seria a segunda opção. Há que se considerar que, embora a tarifa sombra com contribuição de 50% gere uma situação vantajosa para o operador e adie a contraprestação pública, vemos que seu crescimento no longo prazo é muito acentuado e pode trazer problemas fiscais e dificuldades para honrar os contratos, logo, uma alternativa para esses contratos é dividir os ganhos entre o setor privado e

público, por meio da introdução de um limite superior para receita, acima do qual o operador transfere ao poder público uma parcela do seu lucro. Esse arranjo é discutido por Engel et al. (2014) como o modelo mais eficiente de PPPs.

6.6.3. Cadeia de Suprimentos Ágil versus Eficiente

Outra conclusão importante é que na presença de Cadeia de Suprimentos Tipo 2, os resultados indicam que há potencial viabilidade dos CDUs mesmo sem subsídios. Esse cenário se comporta de maneira equivalente à modalidade com tarifa sombra de 50% na presença de Cadeia de Suprimentos Tipo 1; isso se dá pelo fato que dado os maiores custos que os usuários que atuam na Cadeia de Suprimentos 2 enfrentam, em função da necessidade de agilidade e das menores janelas de entregas impostas pelos varejistas, essas empresas têm uma maior disposição a pagar pelos serviços dos CDUs, e, portanto, o operador pode cobrar a tarifa de monopólio, sem necessidade de contraprestação pública.

6.6.4. Conclusões sobre a Melhor Modalidade de PPP

Considerando os resultados apresentados nas sessões anteriores, com a ressalva das premissas e das simplificações adotadas no modelo, uma importante reflexão é que a modalidade de pagamento por disponibilidade com um possível compartilhamento de receita acima de um certo nível, é a modalidade de PPP que provavelmente mais se adequa aos CDUs.

A modalidade de pagamento por disponibilidade permite ao poder público ter mais controle e gerenciar um aumento gradual dos subsídios, além de dar mais segurança ao operador que nunca enfrenta fluxo de caixa negativo, por outro lado, essa modalidade envolve mais recursos públicos no curto prazo e talvez não ofereça os incentivos ideais para que o concessionário faça esforço (e) para aumentar a demanda.

Em alguns casos, quando o retorno exigido pelo operador for maior que o oferecido pelo contrato de disponibilidade, poderia ser aplicado uma variação do contrato de tarifa sombra com mecanismos claros de compartilhamento de receita. Outras combinações de modalidades poderiam ser aplicadas, por exemplo com um pagamento por disponibilidade no curto prazo, durante 2 anos para incentivar novos operadores, seguido por uma tarifa sombra menor que 50% no longo prazo.

Em qualquer caso, corroborando o proposto por Engel et al. (2014), a modalidade ótima de contrato deveria conter uma garantia de receita mínima e um limite para receita máxima, onde os subsídios seriam ativados caso o operador não atinja um nível mínimo definido em contrato, e seriam limitados a um nível máximo de receita, acima da qual uma parte da receita ou lucro do operador seria retornado ao poder público.

6.7. Análise de Sensibilidade do NOPE.

Com o objetivo de analisar os diferentes padrões que emergem do sistema com respeito aos indicadores chaves, realiza-se nesta seção uma análise de sensibilidade para o Modelo Nível Operacional. O foco escolhido foi comparar os efeitos de mudanças no esforço por parte de poder público (que se materializam pelos subsídios) e do setor privado (que se materializam através da redução de seu mark-up e a correspondente redução de tarifas).

Os indicadores analisados são os relacionados à captura de demanda pelo CDU (representada pelo Número de Entregas nos CDUs), à tarifa cobrada nos CDUs e ao fluxo de caixa acumulado dos CDUs. A sensibilidade foi calculada para o cenário sem restrições (SR) e com contrato de tarifa sombra.

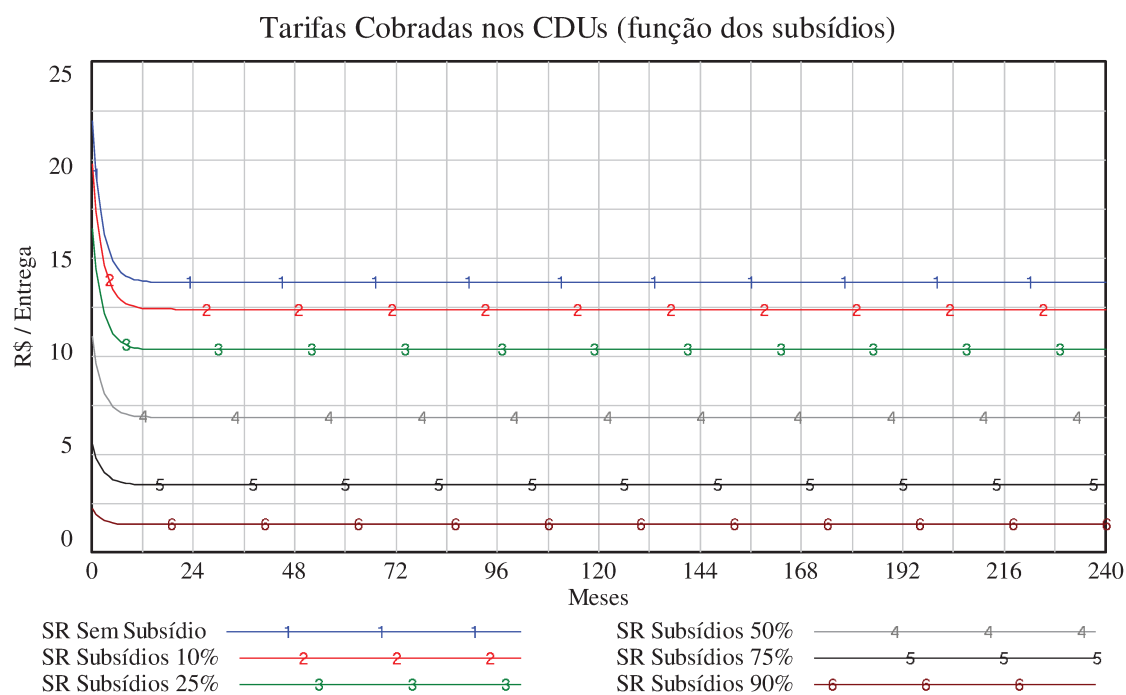


Figura 49. Tarifa Cobrada nos CDUs em Função dos Subsídios (tarifa sombra).

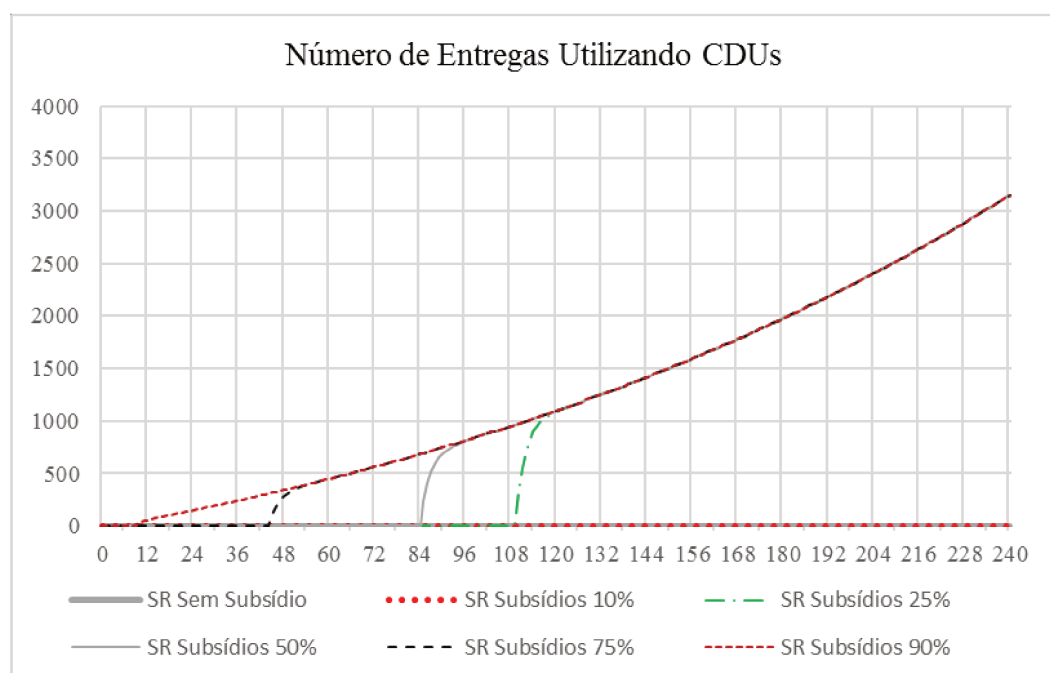


Figura 50. Número de Entregas nos CDUs em Função dos Subsídios (tarifa sombra).

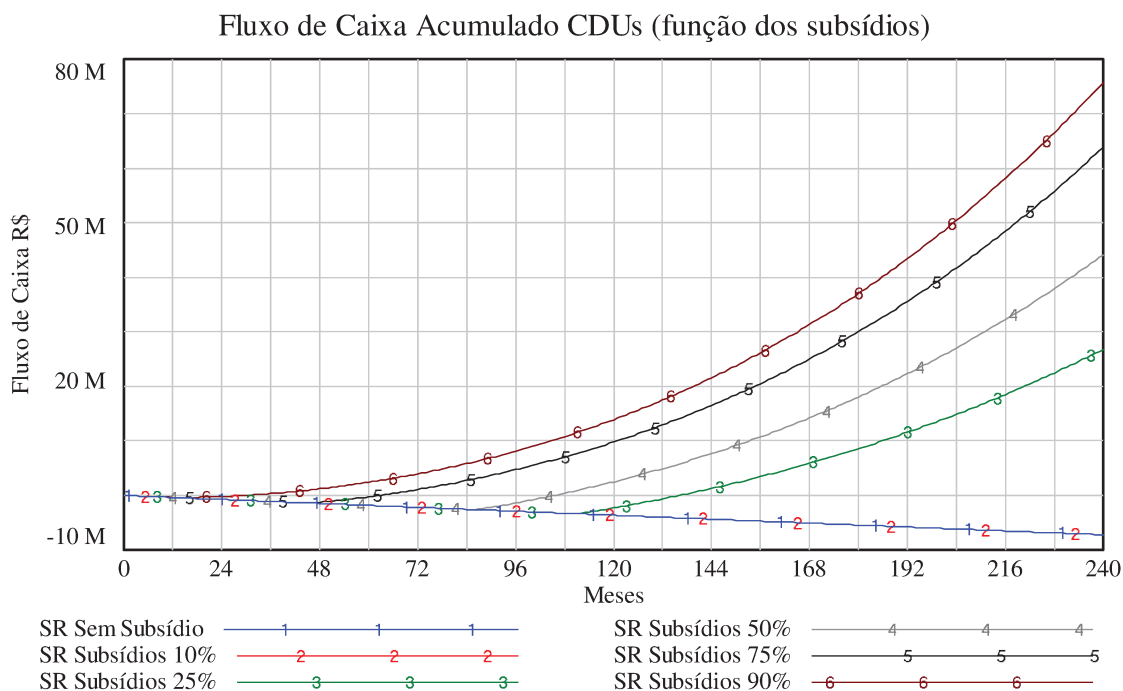


Figura 51. Fluxo de Caixa Acumulado dos CDUs em Função dos Subsídios (tarifa sombra).

Esforço do poder público

Nos gráficos das figuras 49, 50 e 51 nota-se que ao variar os subsídios de 10% a 90%, há uma redução nas tarifas, como era de se esperar, e uma mudança no ponto onde os CDUs passam a capturar demanda, variando de 9 meses (para a política de 90% de subsídios, até 110 meses no caso de um subsidio de 25%). Nota-se que, como discutido anteriormente, na ausência de subsídios (ou mesmo com 10% de subsidio), o fluxo de caixa acumulado segue negativo toda a vida do projeto. Essa análise corrobora o fato que o aumento de subsídios serve como mecanismo para antecipar a utilização dos CDUs e nota-se que aumenta de maneira acentuada o retorno financeiro do operador, no entanto, como discutido na seção anterior, implica em aumento bastante relevante nos valores necessários de subsídios mensais, especialmente no caso da tarifa sombra e no longo prazo.

Esforço do Operador

Do ponto de vista do operador, considera-se que o esforço que o mesmo pode realizar está dentro do intervalo determinado pela tarifa mínima e a tarifa máxima onde se aplica o valor máximo do mark-up. Nesse contexto, os resultados apresentados nos gráficos 52, 53 e 54, permitem comparar o impacto da redução do mark-up do operador nas variáveis de interesse (tarifas, volumes nos CDUs e fluxo de caixa).

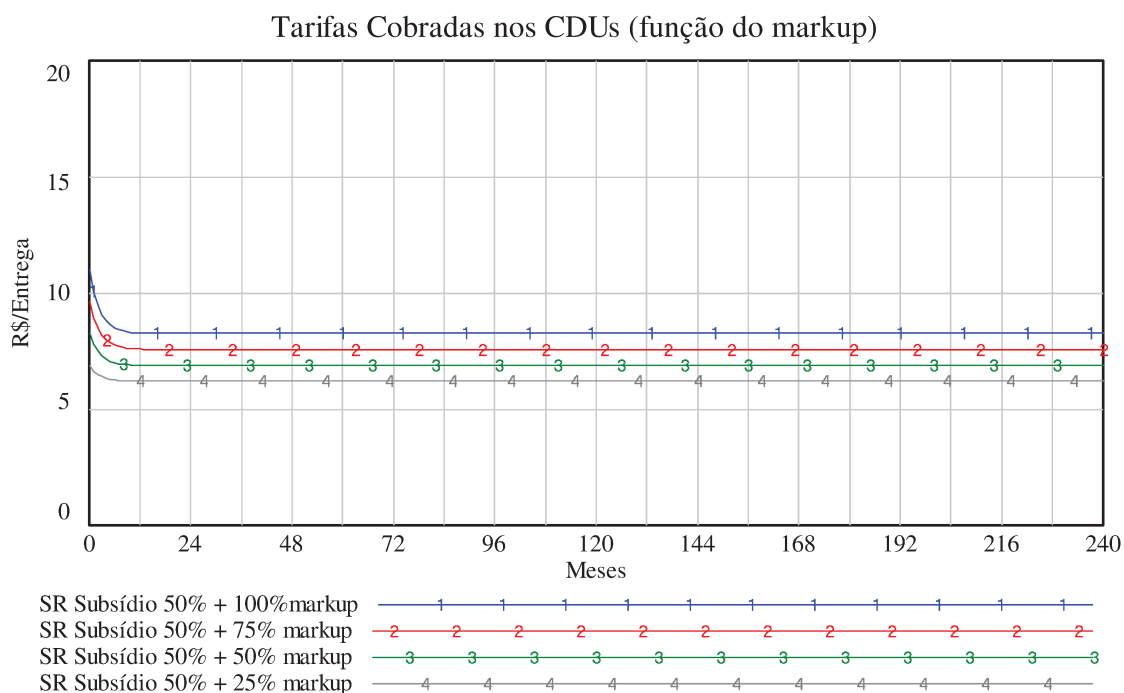


Figura 52. Tarifas Cobradas nos CDUs em Função do Markup (tarifa sombra).

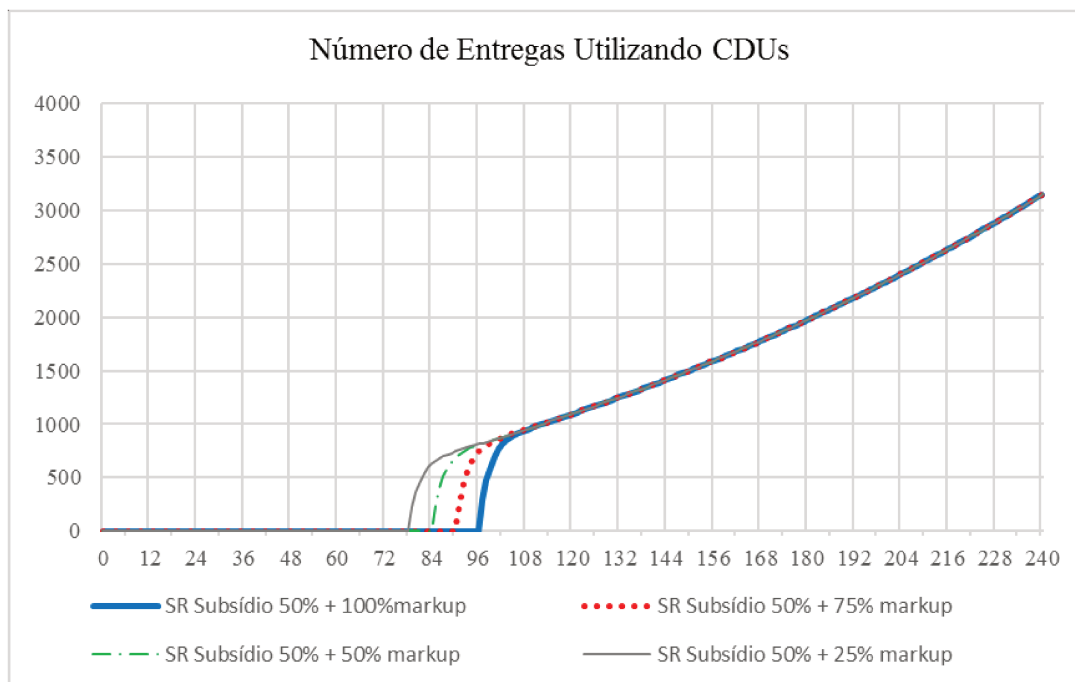


Figura 53. Volume de Entregas nos CDUs em Função do Mark-Up (tarifa sombra).

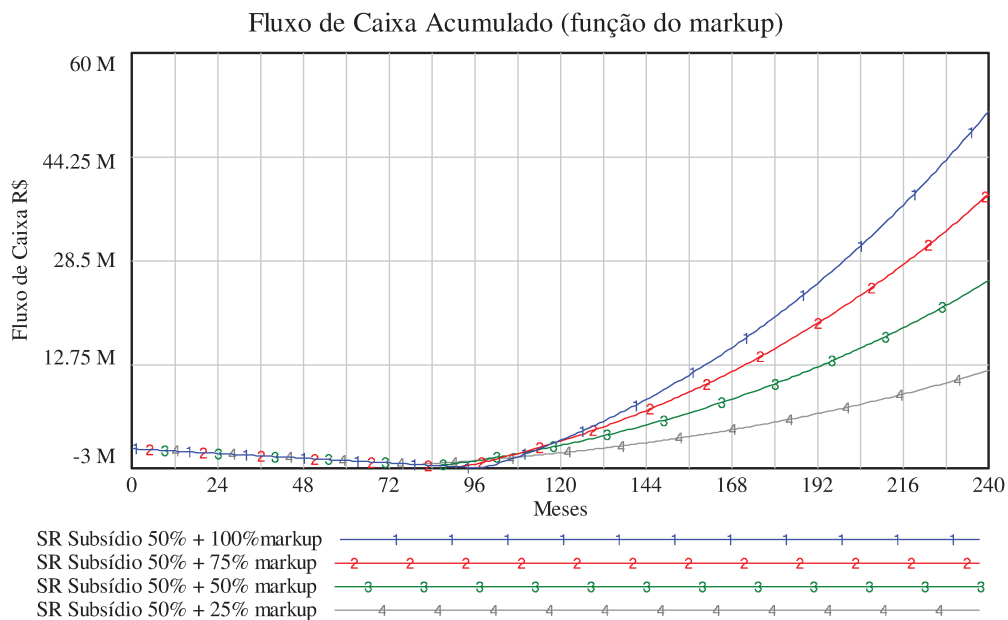


Figura 54. Fluxo de Caixa Acumulado dos CDUs em Função do Mark-up (tarifa sombra).

Nota-se padrões bastante similares nas variáveis chaves quando se varia o valor dos subsídios (esforço do setor público) e do mark-up (esforço operador); no entanto, ao contrário que o primeiro caso, onde há uma sensibilidade relevante dos

indicadores com relação ao volume de subsidio oferecido, no caso do mark-up, que na análise assume valores de 25% a 100%, o impacto foi de aproximadamente 50% no caso das tarifas (de R\$ 6,8 a R\$ 11) e no caso do número de entregas no CDU, antecipa em cerca de 15 meses a operação (figuras 52, 53 e 54). Com relação ao fluxo de caixa do operador, esse indicador é sensível ao mark-up no longo prazo, pois diminui consideravelmente o ingresso do operador, no entanto não muda o comportamento no curto prazo de maneira relevante.

Essa análise permite reflexões valiosas, por exemplo que a viabilidade dos CDUs depende em grande medida do nível de esforço que o setor público pode fazer para remunerar os operadores, por meio de subsídios que busquem monetizar as externalidades que são reduzidas pelos CDUs. O setor privado, considerando as premissas e condições estabelecidas no modelo, tem margem limitada para influenciar esses indicadores.

CAPÍTULO 7. PROCEDIMENTO E MATRIZES PARA TOMADA DE DECISÃO

Neste capítulo, se apresenta um procedimento simplificado para a aplicação do modelo desenvolvido, o qual contém seis passos sequenciais que definem um protocolo para sua aplicação em outras cidades. Adicionalmente, considerando os resultados obtidos nas simulações do NEST e do NOPE para as cidades hipotéticas, em conjunto com a análise do referencial teórico e da literatura e do estudo de caso de Curitiba, propõe-se duas matrizes que têm o objetivo de oferecer um guia para decisões vinculadas às políticas públicas em logística urbana, com foco nos CDUs.

7.1. Procedimento para Aplicação do Modelo (NEST + NOPE)

O procedimento descrito a seguir e representando na figura 55 (que foi integrado à estrutura do modelo inicialmente apresentado na figura 4) é baseado nas etapas observadas durante o desenvolvimento da pesquisa, sendo composto de seis passos, com três passos para o Nível Estratégico (NEST) e três passos para o Nível Operacional (NOPE):

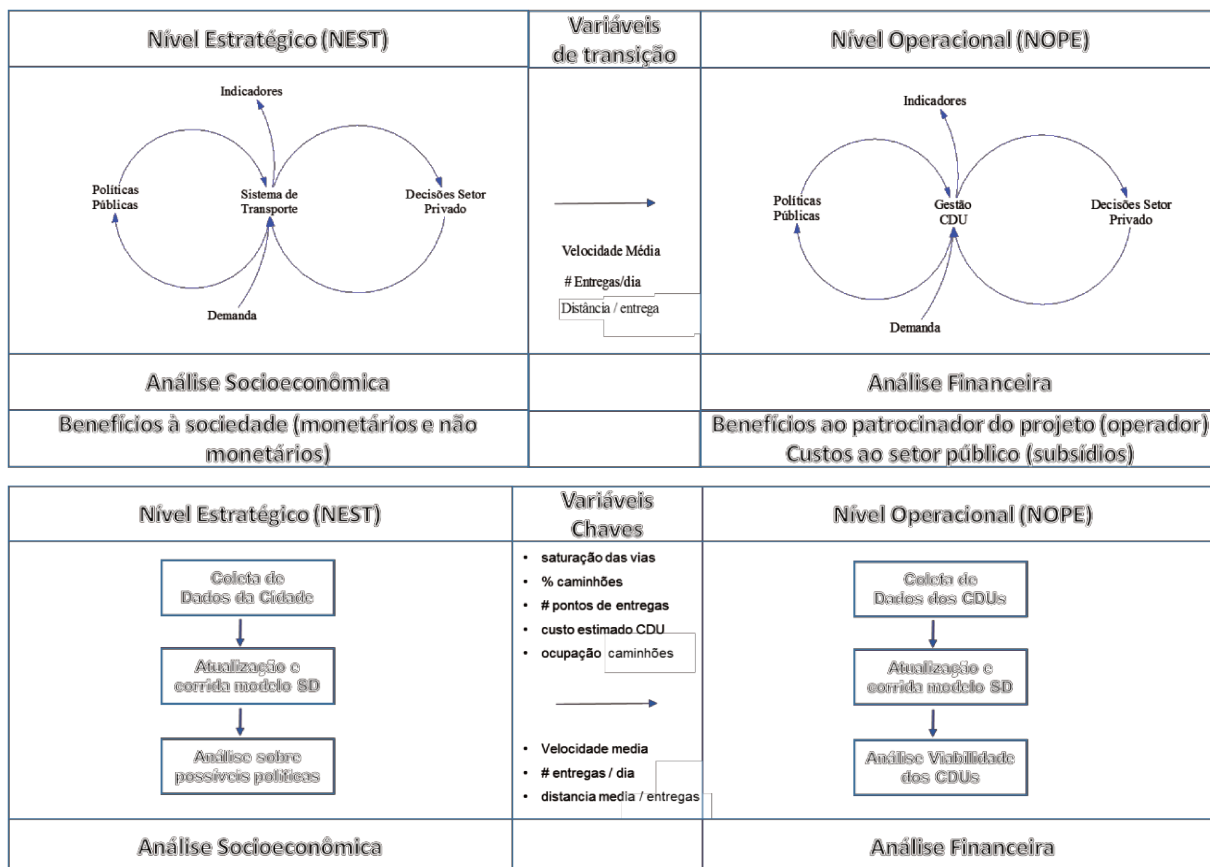


Figura 55. Componentes do Modelo e Procedimento para sua Aplicação.

Passos para aplicação do NEST

- 1) Coleta de dados de cidade específica;
- 2) Atualização dos parâmetros e corrida do modelo de simulação; e
- 3) Análise dos resultados para a cidade específica;

Passos para aplicação do NOPE

- 4) Coleta de dados dos CDUs específicos;
- 5) Construção e corrida do modelo de simulação; e
- 6) Análise dos resultados e conclusão sobre a viabilidade financeira dos CDUs.

A figura 55 destaca adicionalmente algumas variáveis chaves que são essenciais para o modelo e as variáveis de transição, as quais fazem o vínculo entre os modelos NEST e o NOPE. As variáveis de transição, conforme destacado no capítulo 2, são a velocidade média, que descreve o nível de mobilidade na cidade, a distância média entre entregas, a qual tem relação direta com o número de CDUs

implantados e o número de entregas por dia, que representa o nível de atividade logística na cidade.

7.2. Matriz para Tomada de Decisão 1: Implantação das Políticas

A seguir apresenta-se as matrizes para tomada de decisão e uma reflexão sobre suas potenciais aplicações:

A primeira matriz (figura 56) vincula as decisões sobre os CDUs e sobre outras políticas complementares de logística urbana com base em duas variáveis chaves: o nível de congestionamento da cidade, que, como foi discutido ao longo de todo o trabalho, é medido pela velocidade média das vias; e o nível de restrições já impostas para a carga na cidade. No eixo horizontal utiliza as duas cidades hipotéticas como referência, Cidade Tipo 1, localizada nos quadrantes 1 e 2 e Cidade Tipo 2, nos quadrantes 3 e 4.

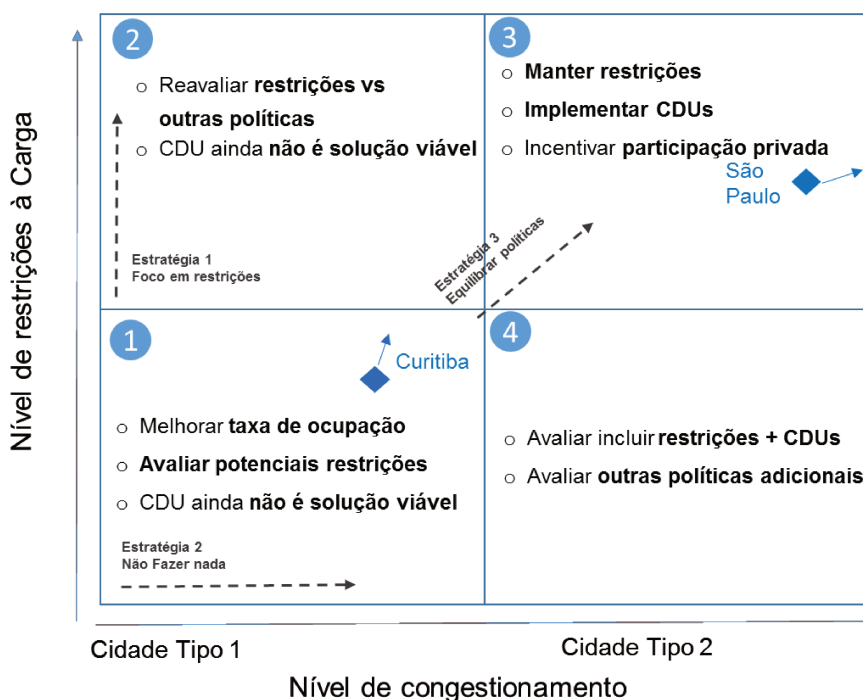


Figura 56. Matriz de Decisão para Implementação de Políticas Públicas (Congestionamento vs Restrições)

Quadrante 1: As cidades localizadas nesse quadrante ainda não atingiram níveis críticos de congestionamento, a mobilidade urbana ainda não causa grandes impactos negativos aos indivíduos nem a carga, e como os resultados do modelo e da literatura indicam, os CDUs muito provavelmente não são soluções viáveis. A Cidade de Curitiba pode ser incluída nesta categoria.

Nesse quadrante, o gestor pode tomar três caminhos com relação a estratégia de logística urbana, uma política passiva de não fazer nada, o que, conforme discutido anteriormente, é uma opção que sempre o gestor público tem, especialmente se a logística é vista como uma atividade privada; no entanto essa decisão muito provavelmente irá levar mais rapidamente ao quadrante quatro, onde medidas amplas e mais profundas terão que ser tomadas em algum momento pelo setor público.

Outra opção nesse quadrante, é adotar uma política focada em restrição, a qual pode reduzir congestionamento nas horas picos e benefícios aos veículos privados, mas que como já discutido, se implantadas de maneira isolada podem gerar resultados contrários no médio e longo prazo, além de reclamações e boicotes, que muitas vezes fazem os gestores públicos reverter decisões e dificultar futuras implantações.

Finalmente, a estratégia recomendada para os gestores públicos nesse caso é antecipar os problemas que a logística urbana pode apresentar no futuro e tomar medidas preventivas e equilibradas que tomem em conta diferentes políticas e a adequação das mesmas ao perfil da cidade e da logística. Entre as medidas possíveis incluem incentivar políticas de aumento na taxa de ocupação dos caminhões, por meio de colaboração entre empresas por exemplo, além de iniciar as análises e discussões sobre possíveis restrições aos caminhões, que venham sempre em conjunto com outras medidas.

Quadrante 2: As cidades localizadas nesse quadrante ainda não atingiram níveis críticos de congestionamento, a mobilidade urbana ainda não causa grandes impactos negativos aos indivíduos nem a carga, mas algumas restrições já estão implementadas, o que pode indicar uma sobre regulação, seja para resolver problemas localizados ou específicos da cidade, ou seja pela pro atividade do gestor público; nesse caso, o melhor caminho a ser adotado é a revisão dessas políticas, considerando a implantação das políticas complementares discutidas no Quadrante 1. Esse processo, no entanto, deve ser feito com muito cuidado pois a reversão de medidas impopulares pode gerar cenários onde sua futura implantação seja inviabilizada. Da mesma maneira os CDUs não são recomendáveis ainda nesse quadrante.

Mais uma vez a Cidade de Curitiba constitui um exemplo valioso para ilustrar a aplicação dessa matriz: após uma tentativa inicial de incluir restrições aos caminhões, (passando do quadrante 1 para o 2) que embora tenham sido amplamente discutidas e socializadas com a população e empresas, geraram efeitos negativos e tiveram que ser parcialmente revertidas, os gestores buscaram soluções sofisticadas, incluindo os CDUs, mas que mostraram não ser viáveis pelos motivos já aqui discutidos, as políticas adotadas convergiram então para medidas complementares como zonas de baixa emissão, restrições no micro centro entre outras (localizando-se hoje entre o quadrante 1 e 3 como ilustrado na figura 56). Esse processo mostra uma política de tentativa e erro que pode ser evitada com a utilização estratégica dessa matriz e do modelo apresentado.

Quadrante 3: As cidades localizadas nesse quadrante já atingiram níveis críticos de congestionamento e já adotaram políticas restritivas. Normalmente as grandes metrópoles, como São Paulo, se localizam neste quadrante. Neste caso, temos dois fatores que, como o modelo mostrou, são catalizadores para a viabilidade dos CDUs, os altos níveis de congestionamento e as restrições que aumentam os custos logísticos e criam as condições próximas de ideais para o sucesso dos CDUs. A estratégia nesse caso é manter as restrições (que podem ser melhoradas em alguns casos), iniciar a implantação de CDUs, e além disso, buscar maximizar a participação privada, pois como discutido anteriormente, as restrições já criam condições para isso,

pois o custo ao privado já é bastante alto e o benefício marginal do CDU também, o que aumenta a disponibilidade a pagar pelos serviços dos CDUs.

Quadrante 4: Finalmente, as cidades localizadas nesse quadrante já atingiram níveis críticos de congestionamento, mas ainda não adotaram medidas restritivas e estão atrasadas com relação a sua política de logística urbana. Nesse caso é fundamental uma aplicação equilibrada de várias opções de políticas, que inclui as restrições em conjunto com os CDUs e outras medidas complementarias, lembrando que as restrições de maneira isolada não são eficientes. A implantação dos CDUs de maneira isolada pode inclusive atrasar a necessidade de restrições, mas há que destacar-se que isso depende de fatores que façam os CDUs financeiramente sustentáveis, como foi discutido no desenvolvimento do modelo NOPE. A aplicação do modelo com dados específicos da cidade nesses casos seria altamente recomendável.

7.2.1. Considerações sobre as Cadeias de Suprimentos

Como discutido anteriormente no resultado das simulações, a presença de cadeias de suprimentos tipo “ágil”, pode acelerar a viabilidade dos CDUs, neste contexto, se uma cidade está localizada nos quadrantes 1 ou 2, por exemplo, e há predominância de cadeias com essas características em algumas áreas da cidade, os CDUs podem ser viáveis, o que pode contribuir para evitar as restrições. Essa decisão tem que ser tomada, obviamente, no caso específico e recomenda-se a aplicação do modelo usando informações específicas da cidade ou da área analisada.

7.3. Matriz para Tomada de Decisão 2. A Modalidade Contratual para o CDU

A segunda matriz (apresentado na figura 57) oferece um guia para decisões relacionadas à melhor modalidade de implantação dos CDUs, incluindo o modelo puramente privado, os contratos de pagamento por disponibilidade; e os contratos por tarifa sombra, que foram analisados ao longo da aplicação do modelo NOPE. A matriz permite analisar essas modalidades em função do nível de subsídio que o setor público pode oferecer, versus o nível de retorno que os operadores exigem, esse

último, diretamente vinculado ao mercado local e a concorrência, além da existência dessas empresas interessadas em operar os CDUs.

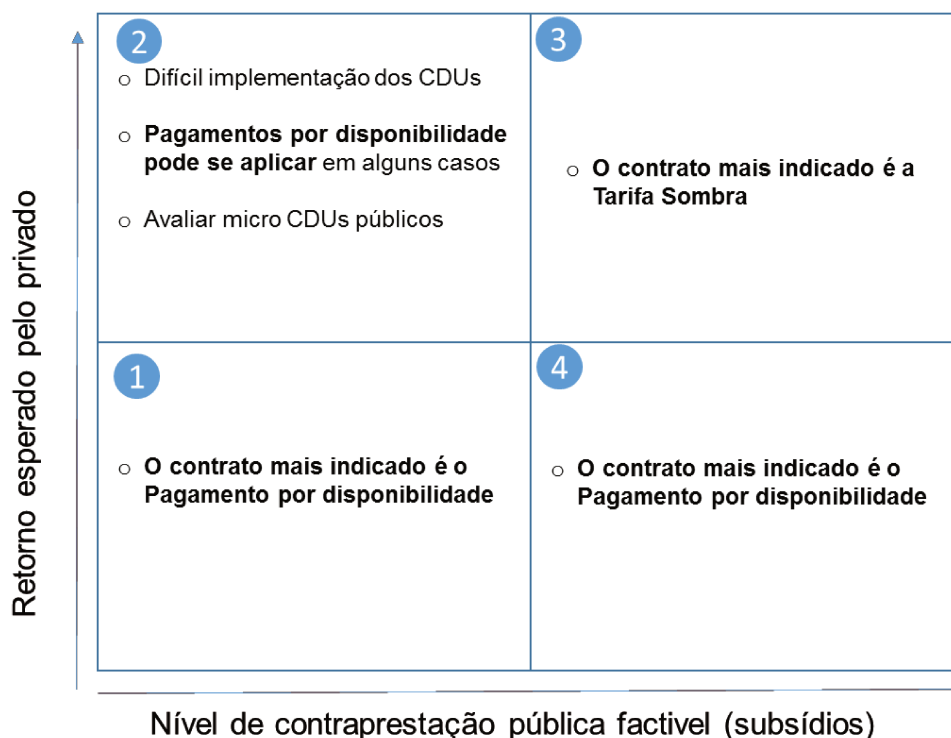


Figura 57. Matriz de Decisão para Implantação dos CDUs (Subsídios vs Retorno ao Operador)

Quadrante 1. No quadrante 1, enquadram-se as cidades que tenham limitada capacidade ou interesse em subsidiar os CDUs, seja por disponibilidade fiscal ou por estratégia, e onde o retorno esperado pelos potenciais operadores não é alto, o que pode ocorrer quando há um mercado de operadores logísticos maduro e uma certa cultura de logística urbana. Nesse contexto, o contrato por disponibilidade é o mais indicado pois conforme visto nos resultados discutidos nas seções anteriores, esse contrato reduz o volume de subsídios necessários, ao mesmo tempo que reduz o retorno do operador.

Quadrante 2. Nesse quadrante, o desafio de implantar o CDU é mais alto, pois considera um contexto onde há pouca disponibilidade de subsídios por parte do setor público e ao mesmo tempo, um alto retorno esperado dos operadores privados, que pode ocorrer quando o risco percebido é muito alto, por exemplo. As estratégias

possíveis para o gestor público nesse quadrante, consistem em analisar o modelo por disponibilidade e avaliar se o mesmo atende os volumes de fluxo de caixa esperado pelos operadores, se isso não se confirmar, considerando que o incentivo ao setor privado fica limitado, os gestores públicos podem avaliar a implantação de micro CDUs públicos com investimentos menores que sirvam como pilotos para provar o conceito e estimular os privados.

Quadrante 3. Nesse quadrante, as cidades têm disponibilidade e prioridade para subsidiar os CDUs e ao mesmo tempo os privados requerem alto retorno, nesse caso, o contrato de tarifa sombra é o mais indicado pois atende a essas duas condições.

Quadrante 4. Finalmente, no quadrante quatro a situação é bastante propícia aos CDUs, pois embora haja disponibilidade em subsidiar, os operadores privados não exigem alto retorno, por considerar de baixo risco o projeto. Nesse caso a melhor estratégia é usar o contrato por disponibilidade que requer menos subsídios ou mesmo avaliar opções privadas puras, que podem dar o retorno esperado ao operador, sem a necessidade de subsídios.

7.4 Aplicação do Modelo e das Matrizes

A aplicação do modelo seguindo o procedimento indicativo pode exigir maior ou menor esforço dependendo da qualidade das informações disponíveis em cada cidade, por outro lado é importante destacar que matrizes apresentadas nesse capítulo servem de guias estratégicas para estabelecer opções de políticas e não têm a pretensão de ser prescritivos e de nenhuma maneira substituem análises detalhadas que podem e devem ser feitas para a tomada de decisão no caso específico; seja com a aplicação do modelo desenvolvido neste trabalho ou através de outros métodos.

CAPÍTULO 8. CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo contribuiu para responder as perguntas da pesquisa e para validar as hipóteses, além de contribuir para gerar novas reflexões com relação aos CDUs. O modelo permitiu comparar os potenciais benefícios e a sustentabilidade dos CDUs comparativamente com outras políticas de logística urbana e pode ser replicado em outros contextos urbanos, através do procedimento proposto. Nesse contexto o objetivo da pesquisa foi atingido.

Com relação às hipóteses propostas no início da pesquisa. As seguintes conclusões podem ser destacadas:

8.1. Os CDUs como Política Pública e os Diferentes Contextos Urbanos.

Em qualquer dos cenários analisados, os benefícios dos CDUs no curto prazo, até 2 anos, são difíceis de atingir e se materializam apenas sob certas condições específicas, pois, outras políticas como o aumento do fator de ocupação de carga podem gerar resultados mais imediatos, embora precisem ser lideradas pelo setor privado e, como concluiu-se, não resolvem o problema no médio e no longo prazo. Essa dificuldade em provar os retornos no curto prazo ajuda a explicar alguns dos problemas que os gestores públicos têm para justificar os projetos de CDUs.

Outra conclusão importante – essa favorável aos CDUs – é que no longo prazo os CDUs oferecem uma solução robusta do ponto de vista sócio econômico e ambiental, uma vez que reduzir os quilômetros-veículos percorridos, contribuindo para reduzir os congestionamentos, além de retardar a saturação da infraestrutura e reduzir a necessidade de novos investimentos, e esse comportamento se dá especialmente em cidades que já possuem uma atividade logística mais intensa. A principal razão é que a introdução dos CDUs é a única solução que muda a rede logística, reduzindo as distâncias que os caminhões circulam para realizar as entregas. Outras políticas ou intervenções buscam limitar viagens ou otimizar rotas e embora possam atingir

certo grau de eficiência no curto prazo, em situações extremas são difíceis de manter e podem gerar efeitos colaterais; como o caso das restrições de caminhões, que fazem com que mais veículos sejam necessários. Essa é provavelmente a principal contribuição do presente trabalho.

Além disso, ainda sob o aspecto estratégico, conforme o discutido na matriz para políticas públicas discutido no capítulo 7, é necessária uma visão contextualizada e baseada em etapas para a tomada de decisão eficiente em logística urbana, que tome em consideração o contexto da atividade logística, mas também o nível de intervenções já realizadas, pois em muitos casos, a reversão da mesma tem um custo político relevante ou impacta diretamente a vida dos cidadãos e empresas e a reação dos atores afetados podem impactar diretamente os resultados.

Essas conclusões se alinham aos casos reais, por exemplo, na cidade de São Paulo, onde os níveis de congestionamento são críticos e onde restrições já foram implementadas (SÃO PAULO, 2008), o município lançou um programa piloto de entregas noturnas (CET, 2015), que pode ser o primeiro passo para viabilizar os CDUs. A cidade de Curitiba por outro lado, que conta com um nível médio de congestionamento e uma atividade logística menos intensa, implementou medidas de restrições de carga (GLOBO.COM, 2016), mas enfrentou barreiras para a implantação de CDUs (IDB, 2013), pela dificuldade de provar seus benefícios.

8.2. Os Diferentes Níveis de Participação do Setor Privado.

Com relação à segunda pergunta, a literatura e as simulações mostram que o sucesso das políticas de logística urbana não dependem apenas do setor público (como o caso da consolidação de carga), mas que por outro lado, dificilmente são aplicadas apenas pelo setor privado (como no caso dos CDUs); por isso as parcerias público-privadas têm surgido em vários países como solução para a logística urbana (TARIO et al., 2011). Portanto, uma vez definido que no longo prazo os CDUs podem contribuir aos objetivos buscados, a discussão não deve centrar-se na sustentabilidade financeira sem dependência do poder público; mas sim em qual a melhor modalidade de parceria público-privada para gerenciá-los.

Nesse contexto, conforme discutido no capítulo 7, uma vez que a decisão de implantar os CDUs é tomada, é preciso tomar em conta os aspectos financeiros e fiscais da cidade, pois a escolha do melhor modelo de PPP, deve tomar em conta a disponibilidade fiscal do município e a possibilidade de oferecer subsídios, além do perfil dos operadores privados e o “apetite” para esse tipo de projeto; o que impactará diretamente o nível de retorno financeiro esperado. Como concluído no capítulo 6, por exemplo, os contratos de pagamento por disponibilidade são mais eficientes do ponto de vista de alocação de riscos e de compromisso financeiro do setor público, mas exigem mais recursos no curto prazo e nem sempre serão atrativos ao setor privado, ocasião em que outros modelos, como tarifa sombra, devem ser considerados.

Finalmente, além do aspecto financeiro, os gestores públicos terão que analisar outros aspectos técnicos, por exemplo se o operador tem capacidade e experiência para oferecer esses serviços; esses fatores não foram o foco deste trabalho, mas são relevantes nos casos reais pois implicam também em maiores ou menores riscos ao projeto.

8.3. Outras Reflexões sobre o Modelo Desenvolvido.

Considerando a dinâmica e complexidade do sistema de logística urbana, a utilização de dinâmica de sistemas permitiu internalizar variáveis chaves na compreensão mais ampla do sistema e testar vários cenários por um período longo, contrapondo outros modelos que avaliam os resultados ou de maneira estática ou no curto prazo. A incorporação da política de gestão da cadeia de suprimentos, por sua vez, contribuiu para entender os modelos de decisão em relação às frotas, bem como definir o ritmo de implantação e o número de CDUs para atingir o equilíbrio, finalmente permitiu iniciar uma discussão de como o impacto que diferentes cadeias podem ter na dinâmica da última milha e como os gestores podem abordá-las no contexto dos CDUs.

O modelo proposto e o procedimento para sua implementação são de fácil aplicação e não exigem grande quantidade de dados, que podem ser obtidos através de pesquisas em base de dados existentes (e.g. número de empresas), entrevistas a empresas (e.g. número de entregas semanais, tamanho dos lotes, distância entre

entregas, etc.) ou através de coleta de dados em campo (e.g. velocidade média e densidade de tráfego). Na ausência desses dados, podem-se utilizar parâmetros de outras cidades, devidamente ajustados e calibrados através de análises de sensibilidade.

8.4. Aplicações do Modelo e Futuras Pesquisas.

É importante reforçar que o objetivo do modelo é oferecer uma ferramenta estratégica para que os gestores públicos analisem alternativas de políticas em logística urbana, com um esforço razoavelmente baixo para coleta de dados; não tendo a pretensão de ser uma ferramenta de previsão, mas sim de apoio para a compreensão do sistema que possa guiar decisões de políticas públicas.

Adicionalmente, a utilização do modelo aqui apresentado em nenhuma medida substitui a necessidade de análises detalhadas de custo benefícios e dos aspectos técnicos e contratuais na implantação dos CDUs específicos, mas permite sim uma análise prévia que pode apoiar os gestores públicos no melhor caminho a seguir.

Durante o processo de modelagem, algumas simplificações foram feitas: no caso específico das restrições de circulação, o modelo não reflete as diferentes variações a essa política, que podem incluir, por exemplo, flexibilidade de circulação para caminhões menores de três toneladas (SANCHES et al., 2013); algumas dessas flexibilizações podem reduzir os impactos ao setor privado e torná-las mais atrativas. Por outro lado, alguns potenciais benefícios dos CDUs não foram incluídos, como por exemplo a utilização de veículos elétricos (VERLINDE et al., 2014), a redução de tempos de carga e descarga, e a provisão de serviços de valor agregado (BROWNE et al., 2006; ALLEN et al., 2012). Embora possam contribuir para aumentar os benefícios e mudar as decisões de políticas públicas, entende-se que esses benefícios dependem de particularidades de cada caso e por isso optou-se por modelar cenários mais gerais, cujas conclusões possam ser aproveitadas com uma perspectiva mais ampla; isso, no entanto, não limita que futuras versões do modelo

possam incluir essas variações o que poderia ser realizado com relativamente pouco esforço de modelagem.

Finalmente, é importante destacar que algumas tendências tecnológicas como internet das coisas, impressão 3D, mobilidade compartilhada, carros elétricos, podem impactar de maneira disruptiva tanto a logística (Hofmann e Rusch, 2017) quanto a própria mobilidade urbana (Krane e Whitehead, 2017). A análise dessas tendências não foi objeto do presente trabalho e envolvem suas próprias complexidades que podem ou não alterar as conclusões discutidas no modelo. O modelo apresentado pode, no entanto, ser ampliado em futuras pesquisas para permitir tais análises.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABATE, M. e DE JONG, G. The optimal shipment size and truck size choice: The allocation of trucks across hauls. **Transportation Research Part A**, v. 59, p. 262-277, 2014.

ABBAS, K. A. e BELL, M. G. System dynamics applicability to transportation modeling. **Transport Research Part A: Policy and Practice**, v. 28, n.5, p. 373-390, 1994.

AHMAD, A. e SHUKLA, S. A preliminary review of trends in small-scale public-private partnership projects. **World Bank**, 2014. Disponível em: <http://documents.worldbank.org/curated/en/658281468128125129/pdf/932560WP0B0x380ds0in0small0projects.pdf>, Acesso em: 15 de junho de 2017.

ALLEN, J. et al. The role of urban consolidation centres in sustainable freight transport. **Transport Reviews**, v. 32, n.4, p. 473-490, 2012.

_____. Review of urban consolidation centres in the supply chain based on a case study approach. **Supply Chain Forum**. vol. 15(4), p. 100-112, 2014.

AMBROSINI, C.; ROUTHIER, J.; TOILIER, F. How do urban policies work on urban goods transport flows? WORLD TRANSPORT CONFERENCE - PROCEEDING OF THE 2004 WORLD TRANSPORT CONFERENCE, Istanbul. **Anais**. 2004, p.1-17.

ANAND, N. et al. City logistics modeling efforts: trends and gaps-a review. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, 39, 101–115, 2012.

ANGERHOFER, B.J. e ANGELIDES, M.C. System dynamics modelling in supply chain management: research review. In: SIMULATION CONFERENCE, 2000. **Anais**. Winter. IEEE, 2000, v.1, p. 342 – 351.

APMG, Structuring and Drafting the Tender Contract, The PPP Guide, 2018. Disponível em: <https://ppp-certification.com/ppp-certification-guide/49-volume-linked-payment-mechanisms>. Acesso em: 18 de julho de 2018.

BARTH, M.; SCORA, G.; YOUNGLOVE, T. Estimating emissions and fuel consumption for different levels of freeway congestion. **Transportation Research Record**, 1664, v.1, p. 47-57, 1999.

BJÖRKLUND, M. E JOHANSSON, H. Urban consolidation centre – a literature review, categorisation, and a future research agenda. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, Vol. 48 Issue: 8, pp.745-764, 2018.

BOERKAMPS, J. e BINSBERGEN, A. V. Goodtrip: A new approach for modeling and evaluation of urban goods distribution. In: 2ND KFB-RESEARCH CONFERENCE, Lund, Sweden, 1999.

BROWNE, M. et al. Urban Freight Consolidation Centres, In: E. TANIGUCHI, R. G. THOMPSON (Org.). **Recent Advances in City Logistics**. Amsterdam: Elsevier, 2006. p. 253-265.

_____. Light Goods Vehicles in Urban Areas. **Procedia: Social and Behavioral Sciences**. v. 2, n. 3, p. 5911–5919, 2010.

BUTTON, K. e PEARMAN, A.D., 1981. **The Economics of Urban Freight**. London: McMillan, 1981.

CAMPOS NETO, C.A.; MOREIRA, S. V.; MOTTA, L. V. Modelos de concessão de rodovias no Brasil, no México, no Chile, na Colômbia e nos Estados Unidos: Evolução histórica e avanços regulatórios. **IPEA**, 2018.

CET- COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO. Programa de entrega noturna. Projeto Piloto. 2015, Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/consultas/caminhoes/programa-de-entrega-noturna/projeto-piloto.aspx>. Acesso em: 30 de julho de 2017.

CHANUT, O. e PACHÉ, G. Supply Networks in Urban Logistics - Which Strategies for 3PL? In: EMNET CONFERENCE, LIMASSOL, CYPRUS. 2011.

CHOPRA, S. e MEINDL, P. **Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation**. Prentice Hall, 2004.

CLUB-CENTRO DE LOGÍSTICA URBANA DO BRASIL. Debates sobre Logística Urbana Brasileira, Banco Mundial, 2013. Disponível em: <http://www.clubbrasil.org/observatorio/relatorios.html>. Recuperado em 20 de janeiro de 2017.

COMI, A. et al. Urban freight transport demand modelling: a state of the art. **European Transport**, 51, 2012.

CRAINIC, T.G.; NICOLLETA, R.; STORCHI, G. Advanced Freight Transportation System for Congested Urban Areas. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 12, n. 2, p. 119-137, 2004.

CRAINIC, T.G.; RICCIARDI, N.; STORCHI, G. Models for evaluating planning city logistics systems. **Transport Science**, v. 43, n. 4, p. 432-454, 2009.

COMBES, F. An Empirical Evaluation of the EOQ Model of Choice of Shipment Size in Freight Transport. **Transportation Research Record- Journal of the Transportation Research Board**, pp.92-98, 2012.

DABLANC, L. Goods transport in large european cities: Difficult to organize, difficult to modernize. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 41, n.3, p. 280-285, 2007a.

_____. Urban goods movement and air quality policy and regulation issues in european cities. **Journal of Environmental Law**, v. 20, n. 2, p. 245–266, 2007b.

DANIELIS, R. et al. **Urban supply chains and transportation policies** [Relatório de Pesquisa]. Trieste: SIET, University of Triest, 2012.

DECORLA-SOUZA, P. Implementing congestion pricing on metropolitan highway networks with self-financing public-private partnerships. **Journal of the Transportation Research Forum**, 45, 1, 5-22, 2006.

EC-EUROPEAN COMMISSION. **Guide to cost-benefit analysis of investment projects, 2014**. Disponível em: http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/cba_guide.pdf. Acesso em: 1 de setembro de 2017.

ENGEL, E.; FISCHER, R.; GALETOVIC, A. **The Economics of Public-Private Partnerships: A Basic Guide**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014., B. C. **Modern Project Finance: A casebook**. New York: Wiley, 2003.

EPA, Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle, **EPA**, Office of Transportation and Air Quality. 2018, US, EPA-420-F-18-008.

FAZEL, F. A comparative analysis of inventory costs of JIT and EOQ purchasing. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, Vol. 27 No. 8. pp. 496-504, 1997.

FIGLIOZZI, M. A. Analysis of the efficiency of urban commercial vehicle tours: data collection, methodology and policy implications. **Transportation Research Part B**, v.41, p. 1014–1032, 2007.

FISHER, M. What is the Right Supply Chain for your Product? A Simple Framework Can Help You Figure out the Answer. **Harvard Business Review**, v.75, p. 105-116, 1997.

FIORAVANTI, R. D.; AMANCIO, M. A.; GALVES, M. L. Alternatives to reduce congestion and improve the road system using multi-criteria decision analysis: A case study in the City of Campinas-Brazil. In: URBAN TRANSPORT AND THE ENVIRONMENT IN THE 21ST CENTURY, 2007, Coimbra. **Anais**. Coimbra. p. 63-74.

FIORAVANTI, R. D.; LIMA JR, O. F. Análise ex-ante de políticas de restrição de tráfego e a resposta das empresas sob a perspectiva da gestão de inventário. In: XXIX

ANPET - CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, OURO PRETO, 2015.

FORRESTER, J. W. Industrial Dynamics: A major breakthrough for decision makers. **Harvard Business Review**, 36 (4):37-66, 1958.

GEROLIMINIS, N. e DAGANZO, C. F. **Existence of Urban-Scale Macroscopic Fundamental Diagrams: Some Experimental Findings** [Projeto de Pesquisa]. Berkeley: University of California Berkeley Center for Future Urban Transport, 2008.

GIULIANO, G. et al. Estimating freight flows for metropolitan area highway networks using secondary data sources. **Networks and Spatial Economics**, 10(1), 73-91, 2010.

GLOBO.COM. Limite de peso para tráfego na Linha Verde sobe para dez toneladas, 2016. Disponível em : <http://g1.globo.com/pr/parana/transito/noticia/2016/07/limite-de-peso-para-trafego-na-linha-verde-sobe-para-dez-toneladas.html>. Acesso em: 20 de novembro de 2017.

GOODMAN, R.W. Whatever you call it, just don't think of last-mile logistics. **Global Logistics and supply chain strategies**, 1-5, 2005.

GUASCH, J.L. et al. The Renegotiation of PPP Contracts: An Overview of its recent evolution in Latin America. **International Transport Forum**, Discussion Paper 2014-18, Arlington, USA, 2014.

HOFMANN, E. e RUSCH, M. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. **Computers in Industry**, 89,23-34, 2017.

HOLGUÍN-VERAS J. Necessary conditions for off-hour deliveries and the effectiveness of urban freight road pricing and alternative financial policies in competitive markets. **Transportation Research Part A**, v 42, p. 392–413, 2008a.

HOLGUÍN-VERAS, J. e THORSON, E. Modeling commercial vehicle empty trips with a first order trip chain model. **Transportation Research Part B**, 37(2), 129-148, 2003.

HOLGUÍN-VERAS, J. e FRIESZ, T. L. Dynamic game-theoretic models of urban freight: formulation and solution approach. **Methods and Models in Transport and Telecommunications: Cross Atlantic Perspectives**, Springer-Verlag, p. 143-161, 2005a.

HOLGUÍN-VERAS, J.; CRUZ, C. A. T.; BAN, X. On the comparative performance of urban delivery vehicle classes. **Transportmetrica A: Transport Science**, v. 9, n. 1, p. 50-73, 2013.

HOLGUÍN-VERAS J. et al. off-peak freight deliveries: challenges and stakeholder's perceptions. **Transportation Research Record**, v. 1906, p. 42–48, 2005b.

_____. On the effectiveness of financial incentives to off-peak deliveries to Manhattan restaurants. **Transportation Research Record**, v. 1966, p. 51-59, 2006a.

_____. The impacts of time of day pricing on the behavior of freight carriers in a congested urban area: implications to road pricing. **Transportation Research, Part A: Policy and Practice**, v. 40, p. 744–768, 2006b.

_____. An investigation on the effectiveness of joint receiver–carrier policies to increase truck traffic in the off-peak hours. **Networks and Spatial Economics**, v. 8, n. 4, p. 327-354, 2008b.

_____. The New York city off-hour delivery project: lessons for city logistics. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 125, p. 36-48, 2014.

HUNT, J. D. e STEFAN, K. J. Tour-based microsimulation of urban commercial movements. **Transportation Research Part B**, 41(9), 981-1031, 2007.

IDB- INTER-AMERICAN DEVELOPMENT BANK. Support to Improve City Logistics Performance in Curitiba. Washington, DC, 2013. Disponível em: de <https://www.iadb.org/en/project/BR-T1165>. Acesso em: 3 de dezembro de 2016.

IOSSA, E.; SPANGNOLO, G.; VELLEZ, M. Best Practices on Contract Design in Public-Private Partnerships, World Bank, 2007. Disponível em: <https://library.pppknowledgelab.org/d/4282/download>. Acesso em: 15 de março de 2018.

IPPUC-INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA. Estudo de Logística Urbana de Curitiba, 2014. Disponível em: http://www.ippuc.org.br/visualizar.php?doc=http://admsite2013.ippuc.org.br/arquivos/documentos/D327/D327_004_BR.rar. Acesso em: 2 de março de 2017.

JALLER, M. et. al Quantifying the impacts of sustainable city logistics measures in the Mexico City Metropolitan Area. **Transportation Research Procedia**, V.12, p. 613-626, 2016.

JANSSEN, B. J. P. e OLDENBURGER. A. H. Product channel logistics and city distribution centers: The case of The Netherlands. In: OECD SEMINAR ON FUTURE ROAD TRANSPORT SYSTEMS AND INFRASTRUCTURES IN URBAN AREAS. **Anais**. Chiba. 289–302, 1991.

JAMANANCHI, B. Analysis of economic order quantity under e-commerce paradigm. **Competition Forum**, v.9 (2), p. 339-347, 2011.

JANJEVIC, M. et al. Strategic scenarios for sustainable urban distribution in the Brussels capital. **Transportation Research Procedia**, v.12, p. 598-612, 2016.

JLASSI, S.; TAMAYO, S.; GAUDRON, A. Simulation Applied to Urban Logistics: A State of the Art. In TANIGUCHI, E. e THOMPSON, R.G. (Org.). **City Logistics 3: Towards Sustainable and Liveable Cities**. London: ISTE, 2018, p. 65-87.

KANE, M. e WHITEHEAD, J. How to ride transport disruption –a sustainable framework for future urban mobility. **Australian Planner**, 54(3), 177185, 2017.

KARATO, K. e SATO, N. **The speed–density relationship: road traffic flow analysis with spatial panel data**. Faculty of Economics, Tokyo, 2009, Graduate School of Public Policy, University of Tokyo.

KIN, B. et al. Is there life after subsidy for an urban consolidation centre? An investigation of the total costs and benefits of a privately initiated concept. **Transportation Research Procedia**, v.12, 357 – 369.2016.

KOHLER, U. New ideas for the city logistics project in Kassel. In **Logistics systems for sustainable cities: Proceedings of the 3rd international conference on city logistics**, 321-332, 2004. Amsterdam: Elsevier.

LAKE, M.; FERREIRA, L.; STEWART, D. The effect of multi-combination vehicles in urban traffic. In: L. Sucharov and C.A. Brebbia (Org.). **Urban Transport and the Environment VIII** . Wessex Institute of Technology Press p 233-244, 2002.

LEWIS, A.; FELL, M.; AND PALMER, D. Freight Consolidation Centre Study – Main Report. **Department for Transport**, London, 2010.

LIMA JR, O. F. **Desempenho em Serviços de Transportes: Conceitos, Métodos e Práticas**. 2004. Tese (Livre Docência) - Faculdade De Engenharia Civil, Universidade de Campinas, Campinas.

LINDHOLM, M. Urban freight transport from a local authority perspective: a literature review. **Trasporti Europei**, 54(3), 2013.

LOZANO et al. Basis for a Policy for the Development of Logistics Platforms in the Metropolitan Zone of Mexico City. In: E. Taniguchi and R.G. Thomson (Org.). **Recent Advances in City Logistics**, p. 385-397.Elsevier, 2005.

MARCELO, D. et al. **An Alternative approach to project selection: The Infrastructure Prioritization Framework** [Relatório de Pesquisa]. World Bank, Washington, 2016.

MARCUCCI, E., e DANIELIS, R. The potential demand for an urban freight consolidation centre. **Transportation**, 35(2), 269-284, 2018.

MCCONNELL, A., HART, P. Public policy as inaction: The politics of doing nothing. In: AUSTRALIAN POLITICAL STUDIES ASSOCIATION ANNUAL CONFERENCE,

University of Sidney, 2014. Disponível em SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2500010>. Acesso em: 18 de julho de 2017.

MCFADDEN, D.; WINSTON, C.; BOERSCH-SUPAN, A. Joint estimation of freight transportation decisions under nonrandom sampling. In: Daugherty, A. (Org.). **Analytical Studies in Transport Economics**, Cambridge: Cambridge University Press, 1986, p. 137-15.

MCKINNON, A. **International review of urban transshipment studies and initiatives**. Edinburgh, Herriot Watt University, 1998. Disponível em: <http://www2.hw.ac.uk/sml/downloads/logisticsresearchcentre/UKTranshipINT.pdf>. Acesso em: 20 de junho de 2018.

MUÑUZURI, J. et al. Modeling peak-hour urban freight movements with limited data availability. **Computers & Industrial Engineering**, 59(1), 34-44, 2010.

_____. Selecting the location of minihubs for freight delivery in congested downtown areas. **Journal of Computational Science**, 3(4), 228-237, 2012.

OGDEN, K.W. **Urban Goods Movement**. England: Ashgate Publishing Limited, 1992.

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. **Procedia: Social and Behavioral Sciences**, v. 2, n. 3, p. 6286–6296, 2010.

OPPENHEIM, N. A combined, equilibrium model of urban personal travel and goods movements. **Transportation Science**, 27(2), 161-171, 1993.

POOLE, R. W. Availability Payment or Revenue-Risk P3 Concessions? Pros and Cons for Highway. **Infrastructure Reason Foundation**, Policy Study No. 458, 2017.

QUAK, H., e DE KOSTER, R. The impacts of time access restrictions and vehicle weight restrictions on food retailers and the environment. **European Journal of Transport and Infrastructure Research**, 6(2): 131-150, 2006.

QUAK, H. e TAVASSZY L. Customized solutions for sustainable city logistics: the viability of urban freight consolidation centres. In: NUNEN, J.A.E.E.; VAN HUIJBREGTS, P., RIETVELD, P. (Org.). **Transitions Towards Sustainable Mobility**, Springer, p. 213-233, 2011.

QIU, Y., SHI, X., & SHI, C. (2013). A System Dynamics Model for Simulating the Logistics Demand Dynamics of Metropolitans: A Case Study of Beijing. **Journal of Industrial Engineering and Management China**, 8(3), 783–803, 2013.

QURESHI, A.G.; TANIGUCHI, E.; YAMADA, T. Evaluation of Truck Ban Schemes Using Exact Optimization for Vehicle Routing Problem with Time Windows. In:

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD 92ND ANNUAL MEETING, Washington, DC, USA, 2013.

RODRIGUE, J.; COMTOIS, C.; SLACK, B. **The Geography of Transport Systems**. Routledge, 2013.

RUSKE, W. City logistics solutions for urban commercial transport by cooperative operations management. In: OECD SEMINAR ON ADVANCED ROAD TRANSPORT TECHNOLOGIES, Omiya, Japan, 1994.

SANCHES, L., M.; PINTO, J.A.; LIMA JR, O.F. Freight Vehicle Circulation Restriction Policy in an Emerging Country Metropolitan Area: undesired impacts, In: 31ST INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE SYSTEM DYNAMICS SOCIETY. 2013. Disponível em: <https://www.systemdynamics.org/assets/conferences/2013/proceed/papers/P1227.pdf>. Acesso em: 9 de Janeiro de 2018.

SÃO PAULO. Decreto n. 49.800, de 23 de Julho de 2008. Regulamenta a Lei nº 14.751, de 28 de maio de 2008, que dispõe sobre a implantação do Programa de Restrição ao Trânsito de Veículos Automotores Pesados, do tipo caminhão, no Município de São Paulo. *Diário Oficial da Cidade de São Paulo*, 24 de Julho de 2008, p. 1.

SHEPHERD, S.P. A Review of System Dynamics Models Applied in Transportation. **Transportmetrica B: Transport dynamics**, v. 2, n. 2, p. 83-105, 2014.

SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. **Designing and managing the Supply Chain**. Maidenhead, McGraw-Hill, 2000.

SIMO, M.; Crainic, T. G. e BIGRAS, Y. Simulation of a City Logistics Solution for Montreal. In TANIGUCHI, E. e THOMPSON, R.G. (Org.). **City Logistics 3: Towards Sustainable and Liveable Cities**. London: ISTE, 2018, p. 47-63.

STERMAN J. D. Compensating Feedback: The Source of Policy Resistance. In _____ **Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World**. Columbus: Irwin McGraw-Hill, p. 189-190, 2000.

TANIGUCHI, E. et al. Optimal size and location planning of public logistics terminals. **Transportation Research**, 35(3), 207–222. 1999.

TANIGUCHI, E. e VAN DER HEIJDEN, R. E. C. M. An Evaluation Methodology for City Logistics. **Transportation Review**, v. 20, p. 65-90, 2000.

TANIGUCHI, E. e THOMPSON, R. G. Modeling City Logistics. **Transportation Research Record**, v. 1790, p. 45-51, 2002.

TANIGUCHI, E.; THOMPSON, R. G.; YAMADA T. Emerging Techniques for Enhancing the Practical Application of City Logistics Models. **Procedia: Social and Behavioral Sciences**, v. 39, p.3-18, 2012.

_____. Recent trends and innovations in modelling city logistics. **Procedia and Behavioral Sciences**, 125, 4-14, 2014.

TARIO, J. D. et al. **Urban distribution centers a means to reducing freight vehicle miles traveled**. Final Report. NYU, New York, 2011.

THALLER, C. et al. Describing and explaining urban freight transport by System Dynamics. **Transportation Research Procedia**, 25, 1075–1094, 2016.

THOMPSON, R.G. Vehicle Orientated Initiatives for Improving the Environmental Performance of Urban Freight Systems. In: **Green Logistics and Transportation**, Springer, p.119-129, 2015.

USDOT-UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION- Federal Highway Administration. **Payment mechanisms in public-private partnerships (p3s)**, 2017. Disponível em: https://www.fhwa.dot.gov/ipd/pdfs/fact_sheets/techtools_P3_payment_mechanisms.pdf. Acesso em: 17 de julho de 2018.

VAN DUIN, J. H. R. Evaluation and evolution of the city distribution concept. In SUCHAROV, L. J.; BIDINI, G. (Org.). **Urban transport and the environment for the 21st century**. Southampton: WIT Press, 1997, p. 327-337.

VAN DUIN, J.H.R; QUAK, H.; MUNUZURI, J. New Challenges for Urban Consolidation Centres: A Case Study in Hague. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v.2, n. 3, p. 6177-6188, 2010.

VAN DUIN, J.H.R et al. Towards agent-based modelling approach for the evaluation of dynamic usage of urban distribution centres. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 39, p.333 – 348, 2012.

VERLINDE, S. et al. Does a mobile depot make urban deliveries faster, more sustainable and more economically viable: results of a pilot test in Brussels. **Transportation Research Procedia**, 4, 361–373, 2014.

VISSER, J.; VAN BINSBERGEN, A.; TOSHINORI, N. Urban freight transport policy and planning. **1st International Symposium on City Logistics**, 1999. Cairns.

VILLAMIZAR, A. F. M.; TORRES, J. R. M.; PADILLA, N. H. Mathematical programming modeling and resolution of the location-routing problem in urban logistics. **Ingeniería y Universidad**, 18(2), 271-289, 2014.

WISSETJINDAWAT, W. et al. P. Microsimulation model for modelling freight agents interactions in urban freight movement. **Proceedings of TRB 2007 Annual Meeting**, Washington DC.

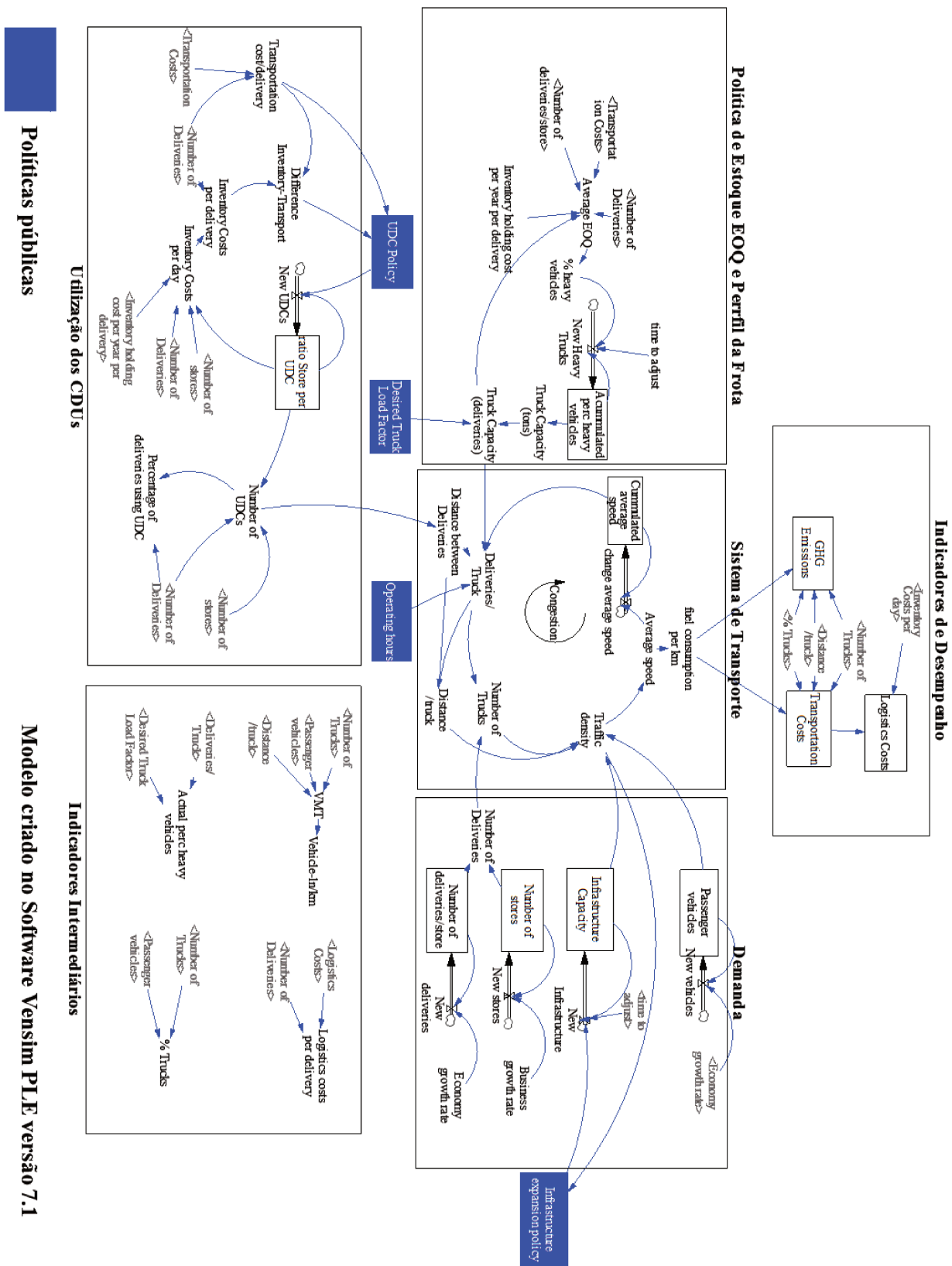
WOLPERT, S. e REUTER, C. Status quo of city logistics in scientific literature: a systematic literature review. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, 2269, 110-116, 2012.

WORLD BANK (2017). Public-Private Partnerships Reference Guide, Version 3, 2017. Disponível em: <https://ppp.worldbank.org/public-private-partnership/library/ppp-reference-guide-3-0>. Acesso em: 15 de Agosto de 2018

YAMADA, T. e TANIGUCHI, E. Modelling the effects of city logistics schemes. In TANIGUCHI, E. e THOMPSON, R.G. (Org.). **Recent Advances in City Logistics – Proceedings of the 4th International Conference on City Logistics**. Kidlington: Elsevier, 2005, p. 75-89.

YANG, D. e ODANI, M. Analysis on movement of profit for the partner companies in joint delivery system. **Proceedings of Infrastructure Planning**, vol. 33, p. 327, 2006.

ANEXO I. MODELO COMPLETO DE SIMULAÇÃO NÍVEL ESTRATÉGICO (NEST).



ANEXO II. EQUAÇÕES UTILIZADAS MODELO NEST

(Software Vensim PLE versão 7.1)

(01) "% heavy vehicles" = WITH LOOKUP (Average EOQ, ([[3,0] (60,4)], (3.33,0),(6.67,0),(10,0.02),(13.33,0.16),(16.67,0.34),(20,0.5),(23.33,0.61), (26.67,0.69),(30,0.75),(33.33,0.79),(36.67,0.82),(40,0.84),(43.33,0.86), (46.67,0.87),(50,0.88),(53.33,0.89),(56,0.9),(60,0.91)))

Units: %

(02) "% Trucks"= Number of Trucks/(Passenger vehicles + Number of Trucks)

Units: %

(03) "Distance /truck"="Deliveries/ Truck"*Distance between Deliveries+10

Units: km

10 km caminhão vazio

(04) Actual perc heavy vehicles = WITH LOOKUP ("Deliveries/ Truck"/((Desired Truck Load Factor), ([[3,0]-(60,4)], (3.33,0),(6.67,0),(10,0.02),(13.33,0.16),(16.67,0.34), (20,0.5),(23.33,0.61),(26.67,0.69),(30,0.75),(33.33,0.79),(36.67,0.82),(40,0.84), (43.33,0.86),(46.67,0.87),(50,0.88),(53.33,0.89),(56,0.9),(60,0.91)))

Units: perc

(05) Actual Truck Load factor= "Deliveries/ Truck"*0.15/"Truck Capacity (tons)"

Units: Dmnl

toneladas por entrega= 0.15

(06) Accumulated perc heavy vehicles= INTEG (New Heavy Trucks, 0.45)

Units: perc

(07) Average EOQ= sqrt ((2* ("Number of deliveries/store")*300)* ((Transportation Costs/Number of Deliveries)*"Truck Capacity (deliveries)"/(Inventory holding cost per year per delivery))

Units: deliveries/vehicles

(08) Average speed= 60*EXP (-2*Traffic density)

Units: km/hour

(09) "Deliveries/ Truck"= MIN("Truck Capacity (deliveries)",((1-0.2)*Operating hours*Cummulated average speed -10)/Distance between Deliveries)

Units: deliveries/vehicles

Distancia caminhão vazio = 10km

Tempo de Carga e Descarga = 12 min (20% da hora)

- (10) Business growth rate=0.005/12
Units: Dmnl
- (11) change average speed=(Average speed-Cummulated average speed)
Units: Dmnl
- (12) Cummulated average speed= INTEG (change average speed,21)
Units: km/hour
- (13) Desired Truck Load Factor=0.8
Units: Dmnl
- (14) "Difference Inventory-Transport"= "Transportation cost/delivery"-Inventory Costs per delivery
Units: R\$/delivery
- (15) Distance between Deliveries= 10-0.3*Number of UDCs
Units: km
Cidade Tipo 1: 8 km caso base (sem CDU)
Cidade Tipo 2: 10km caso base (sem CDU)
- (16) Economy growth rate=0.03/12
Units: Dmnl
- (17) FINAL TIME = 240
Units: Month
The final time for the simulation.
- (18) fuel consumption per km = WITH LOOKUP (Average speed, ((0,0)-(40,1) , (5,0.38),(10,0.25),(15,0.19),(20,0.18),(30,0.16),(40,0.16)))
Units: liters/km

- (19) $\text{GHG Emissions} = ((\text{fuel consumption per km} * 2.5 * (1 - \% \text{ Trucks})) + (\text{fuel consumption per km} * 2.5 * 1.4 * \% \text{ Trucks})) * \text{Number of Trucks} * \text{Distance /truck} * 300 / 1000$
 Units: tons
2.5 g de CO2 por grama de combustivel consumo caminhao = 40% acima de automovel
- (20) $\text{Infrastructure Capacity} = \text{INTEG}(\text{New Infrastructure}, 90000)$
 Units: km*vehicles
- (21) $\text{Infrastructure expansion policy} = \text{IF THEN ELSE}(\text{Traffic density} \geq 0.95, 0.01, 0)$
 Units: Dmnl
- (22) $\text{INITIAL TIME} = 0$
 Units: Month
 The initial time for the simulation.
- (23) $\text{Inventory Costs per day} = (\text{Number of Deliveries} * \text{Inventory holding cost per year per delivery} / 300) + \text{Number of Deliveries} * 5 + (\text{Number of stores} / \text{ratio Store per UDC}) * 1200$
 Units: R\$/day
1 dia de estoque, R\$ 5 custo variável e 1200 custo fixo por dia CDU.
- (24) $\text{Inventory Costs per delivery} = \text{Inventory Costs per day} / \text{Number of Deliveries}$
 Units: R\$/delivery
- (25) $\text{Inventory holding cost per year per delivery} = 120$
 Units: R\$/delivery/year
Considerando valor médio entrega de R\$ 1.000 e custo financeiro de 12%/ ano.
- (26) $\text{Logistics Costs} = (\text{Transportation Costs} + \text{Inventory Costs per day}) * 300$
 Units: R\$/day
- (27) $\text{Logistics costs per delivery} = (\text{Logistics Costs} / 300) * \text{Number of Deliveries}$
 Units: R\$/delivery
- (28) $\text{New deliveries} = \text{Number of deliveries/store} * \text{Economy growth rate}$
 Units: deliveries/store

- (29) New Heavy Trucks= IF THEN ELSE(Acumulated perc heavy vehicles<1,("% heavy vehicles"- Acummulated perc heavy vehicles)/time to adjust,0)
Units: Dmnl
- (30) New Infrastructure= Infrastructure Capacity*Infrastructure expansion policy/(time to adjust*2)
Units: km*vehicles
- (31) New stores=Number of stores*(Business growth rate)
Units: Dmnl
- (32) New UDCs=ratio Store per UDC*UDC Policy/3
Units: Dmnl
Considerando 3 meses para responder a demanda.
- (33) New vehicles= Passenger vehicles*Economy growth rate*2
Units: vehicles/day
- (34) Number of Deliveries="Number of deliveries/store"*Number of stores
Units: deliveries/day
- (35) "Number of deliveries/store"= INTEG (New deliveries, 0.5)
Units: deliveries/store
- (36) Number of stores= INTEG (New stores, 4000)
Units: stores
- (37) Number of Trucks=Number of Deliveries/"Deliveries/ Truck"
Units: vehicles/day
- (38) Number of UDCs= MIN (Number of Deliveries/200, IF THEN ELSE(ratio Store per UDC=2000, 0 , Number of stores/ratio Store per UDC-1))
Units: CDUs
200 entregas por CDU
- (39) Operating hours= 10
Units: hours

- (40) Passenger vehicles= INTEG (New vehicles,400)
Units: vehicles
- (41) Percentage of deliveries using UDC= (Number of UDCs*200)/Number of Deliveries
Units: deliveries/day
- (42) ratio Store per UDC= INTEG (-New UDCs, 2000)
Units: Dmnl
Número de CDUs por Loja
- (43) SAVEPER = TIME STEP
Units: Month [0,?]
The frequency with which output is stored.
- (44) TIME STEP = 1
Units: Month [0,?]. The time step for the simulation.
- (45) time to adjust= 3
Units:meses
3 meses para tomar a decisao
- (46) Traffic density= MIN(1, ((("Distance /truck"*Number of Trucks)*2+(Passenger vehicles*10))/Infrastructure Capacity)
Units: Dmnl
*Veículo de passageiros percorre 10km por dia.
Caminhão equivalente a 2 veículos de passageiro.*
- (47) "Transportation cost/delivery"=Transportation Costs/Number of Deliveries
Units: R\$/delivery
- (48) Transportation Costs="Distance /truck"*(fuel consumption per km*(1-"% Trucks")+fuel consumption per km*1.4*"% Trucks")*4 + (10*30 + 50)*Number of Trucks
Units: R\$/day
*Combustivel=R\$ 4/litro.
Custo mão de obra R\$ 30/h e Custo fixo de 50. 10 h de operação.*

Consumo caminhão 40% mais que automóvel.

(49) "Truck Capacity (deliveries)"= Desired Truck Load Factor*"Truck Capacity (tons)"/0.15

Units: deliveries/vehicles

Toneladas por entrega= 0.15

(50) "Truck Capacity (tons)"= Accumulated perc heavy vehicles*7+ (1-Accumulated perc heavy vehicles)*3

Units: tons

Caminhão pesado: 7 toneladas. Caminhão leve: 3 toneladas.

(51) UDC Policy=IF THEN ELSE ("Difference Inventory-Transport"/"Transportation cost/delivery" >0.1, 0.05,0)

Units: Dmnl

(52) "Vehicle-ln/km"=VMT/300/2

Units: Vehicle-ln/km

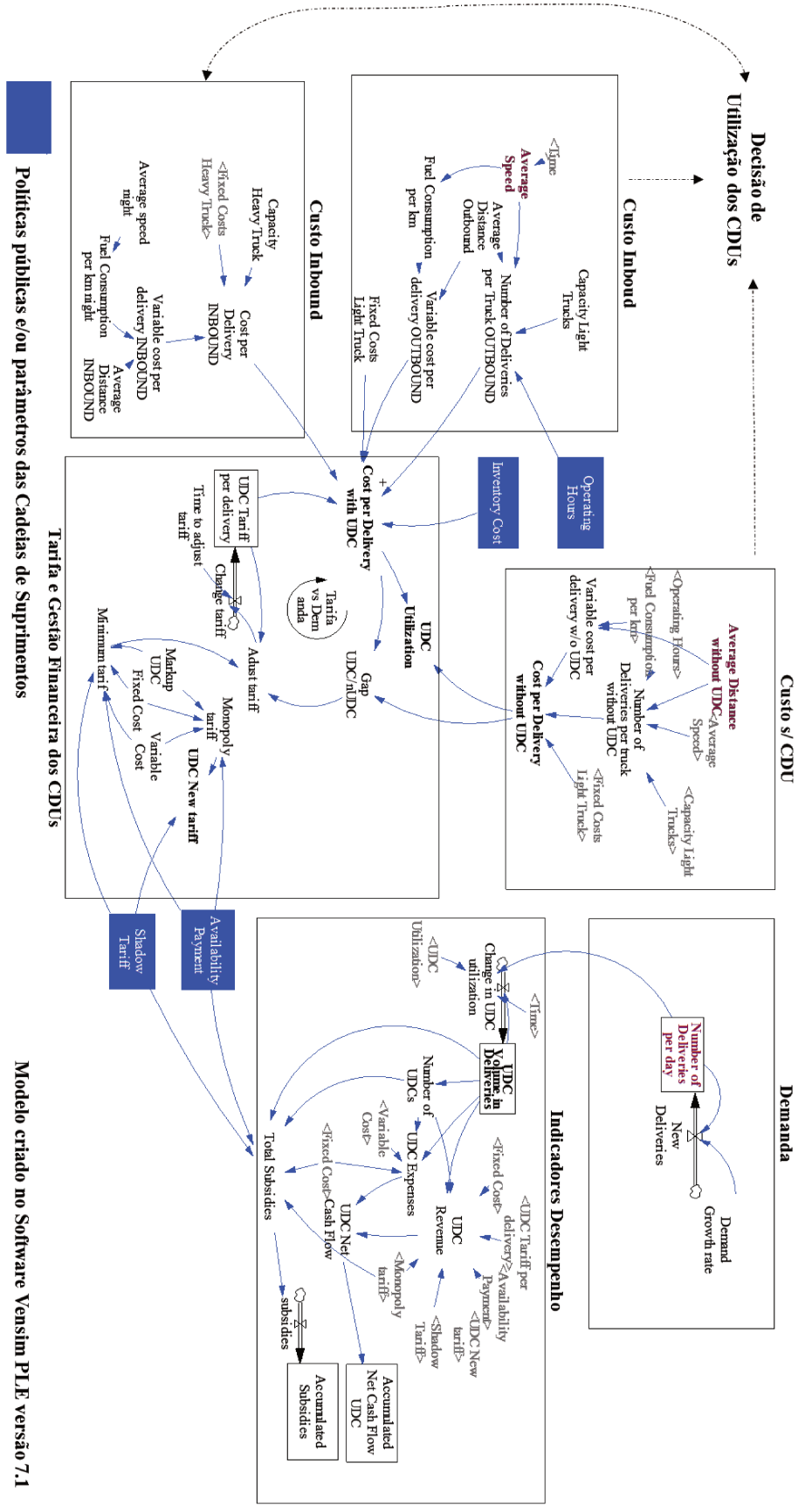
(53) VMT= "Distance /truck"*Number of Trucks+0.5*Passenger vehicles*10

Units: Vehicle*Km

Distancia media veículo passageiros: 10km.

Caminhão equivale a 2 veículos de passageiros.

ANEXO III. MODELO COMPLETO DE SIMULAÇÃO NÍVEL OPERACIONAL (NOPE).



ANEXO IV. EQUAÇÕES UTILIZADAS MODELO NOPE

(Software Vensim PLE versão 7.1)

(01) Accumulated Net Cash Flow UDC= INTEG (UDC Net Cash Flow, UDC Net Cash Flow)

Units: R\$

(02) Accumulated Subsidies= INTEG (subsidies,0)

Units: R\$

(03) Adjust tariff= min(max("Gap UDC/nUDC", 0), UDC Tariff per delivery-Minimum tariff)

Units: R\$/delivery

Esforço para capturar demanda = Markup/2

(04) Availability Payment= 0

Units: Dmnl

(05) Average Distance INBOUND=3

Units: km

(06) Average Distance Outbound=7

Units: km

(07) Average Distance without UDC=10

Units: km

(08) Average Speed = WITH LOOKUP (Time, [(0,0)-(260,40)],

(0,30),(1,26.79),(2,26.86),(3,26.79),(4,26.73),(5,26.66),(6,26.59),(7,26.53),(8,26.46),(9,26.39),(10,26.33),(11,26.26),(12,26.19),(13,26.12),(14,26.06),(15,25.99),(16,25.92),(17,25.86),(18,25.79),(19,25.72),(20,25.65),(21,25.59),(22,25.52),(23,25.45),(24,25.38),(25,25.32),(26,25.25),(27,25.18),(28,25.11),(29,25.04),(30,24.97),(31,24.9),(32,24.83),(33,24.76),(34,24.69),(35,24.62),(36,24.55),(37,24.48),(38,24.41),(39,24.34),(40,24.26),(41,24.19),(42,24.12),(43,24.05),(44,23.98),(45,23.91),(46,23.84),(47,23.77),(48,23.7),(49,23.63),(50,23.55),(51,23.48),(52,23.41),(53,23.34),(54,23.27),(55,23.2),(56,23.13),(57,23.06),(58,22.98),(59,22.91),(60,22.84),(61,22.77),(62,22.7),(63,22.63),(64,22.55),(65,22.48),(66,22.41),(67,22.34),(68,22.27),(69,22.2),(70,22.12),(71,22.05),(72,21.98),(73,21.91),(74,21.84),(75,21.76),(76,21.69),(77,21.62),(78,21.55),(79,

21.47),(80,21.4),(81,21.33),(82,21.26),(83,21.19),(84,21.11),(85,21.04),(86,20.97),(87,20.9),(88,20.82),(89,20.75),(90,20.68),(91,20.61),(92,20.53),(93,20.46),(94,20.39),(95,20.32),(96,20.24),(97,20.17),(98,20.1),(99,20.03),(100,19.95),(101,19.88),(102,19.81),(103,19.74),(104,19.66),(105,19.59),(106,19.52),(107,19.45),(108,19.37),(109,19.3),(110,19.23),(111,19.16),(112,19.08),(113,19.01),(114,18.94),(115,18.86),(116,18.79),(117,18.72),(118,18.65),(119,18.57),(120,18.5),(121,18.43),(122,18.35),(123,18.28),(124,18.21),(125,18.14),(126,18.06),(127,17.99),(128,17.92),(129,17.85),(130,17.77),(131,17.7),(132,17.63),(133,17.55),(134,17.48),(135,17.41),(136,17.34),(137,17.26),(138,17.19),(139,17.12),(140,17.05),(141,16.97),(142,16.9),(143,16.83),(144,16.76),(145,16.68),(146,16.61),(147,16.54),(148,16.46),(149,16.39),(150,16.32),(151,16.25),(152,16.17),(153,16.1),(154,16.03),(155,15.96),(156,15.88),(157,15.81),(158,15.74),(159,15.67),(160,15.59),(161,15.52),(162,15.45),(163,15.38),(164,15.31),(165,15.23),(166,15.16),(167,15.09),(168,15.02),(169,14.94),(170,14.87),(171,14.8),(172,14.73),(173,14.66),(174,14.58),(175,14.51),(176,14.44),(177,14.37),(178,14.3),(179,14.22),(180,14.15),(181,14.08),(182,14.01),(183,13.94),(184,13.87),(185,13.79),(186,13.72),(187,13.65),(188,13.58),(189,13.51),(190,13.44),(191,13.36),(192,13.29),(193,13.22),(194,13.15),(195,13.08),(196,13.01),(197,12.94),(198,12.86),(199,12.79),(200,12.72),(201,12.65),(202,12.58),(203,12.51),(204,12.44),(205,12.37),(206,12.3),(207,12.22),(208,12.15),(209,12.08),(210,12.01),(211,11.94),(212,11.87),(213,11.8),(214,11.73),(215,11.66),(216,11.59),(217,11.52),(218,11.45),(219,11.38),(220,11.31),(221,11.24),(222,11.17),(223,11.09),(224,11.02),(225,10.95),(226,10.88),(227,10.81),(228,10.74),(229,10.67),(230,10.6),(231,10.53),(232,10.46),(233,10.39),(234,10.32),(235,10.25),(236,10.18),(237,10.11),(238,10.04),(239,9.97),(240,9.9))

Units: km/h

Valores importados do modelo 1

(09) Average speed night= 40

Units: km/h

(10) Capacity Heavy Truck=40

Units: deliveries

(11) Capacity Light Trucks=30

Units: deliveries

(12) Change in UDC utilization=UDC Utilization*(Number of Deliveries per day * 0.8 * (Time/240) - UDC Volume in Deliveries)/3

Units: deliveries/day

Diferença é ajustada pelo tempo para tomada de decisão (3 meses)

- (13) Change tariff=-Adust tariff/Time to adjust tariff
Units: R\$/delivery
- (14) Cost per Delivery INBOUND=Fixed Costs Heavy Truck/Capacity Heavy Truck + Variable cost per delivery INBOUND
Units: R\$/delivery
- (15) Cost per Delivery with UDC=Fixed Costs Light Truck/Number of Deliveries per Truck OUTBOUND + Cost per Delivery INBOUND +UDC Tariff per delivery + Inventory Cost +Variable cost per delivery OUTBOUND
Units: R\$/delivery
- (16) Cost per Delivery without UDC=Fixed Costs Light Truck/Number of Deliveries per truck without UDC + "Variable cost per delivery w/o UDC"
Units: R\$/delivery
- (17) Demand Growth rate=0.035/12
Units: Dmnl
- (18) FINAL TIME = 240
Units: Month
The final time for the simulation.
- (19) Fixed Cost=1200
Units: R\$/day
custo operacao CDU 1200 por dia
- (20) Fixed Costs Heavy Truck= 230
Units: R\$/day
30 per hour driver x 6 hours 50 fixed
- (21) Fixed Costs Light Truck=350
Units: R\$/day
30 per hour driver x 10 hours + 50 fixed costs

- (22) Fuel Consumption per km = WITH LOOKUP (Average Speed,
 ((0,0)-(40,1)],(5,0.53),(10,0.35),(15,0.26),(20,0.25),(30,0.23),(40,0.24)))
 Units: R\$/km
Consumo caminhões 40% acima dos automoveis
- (23) Fuel Consumption per km night = WITH LOOKUP (Average speed night,
 ((0,0)-(40,1)],(5,0.53),(10,0.35),(15,0.26),(20,0.25),(30,0.23),(40,0.24)))
 Units: R\$/km
- (24) "Gap UDC/nUDC"=Cost per Delivery with UDC-Cost per Delivery without UDC
 Units: Dmnl
- (25) INITIAL TIME = 0
 Units: Month
 The initial time for the simulation.
- (26) Inventory Cost=0.5
 Units: R\$/delivery
R\$ 0.5 para Supply Chain 1 and R\$ 2 para Supply Chain 2
- (27) Markup UDC=1
 Units: Dmnl
- (28) Minimum tarif=(((Fixed Cost*(1-Availability Payment))/200+ Variable Cost)*(1-Shadow Tariff))*(1+Markup UDC/2))
 Units: R\$/delivery
tarifa minima inclui 50% de markup. 200 entregas por dia por CDU.
- (29) Monopoly tariff=(((Fixed Cost*(1-Availability Payment))/200)+ Variable Cost)*(1+Markup UDC)
 Units: R\$/delivery
Tarifa máxima incluir 100% de markup. 200 Entregas por dia por CDU.
- (30) New Deliveries=Number of Deliveries per day*Demand Growth rate
 Units: deliveries/year

- (31) Number of Deliveries per day= INTEG (New Deliveries,2000)
Units: deliveries/day
- (32) Number of Deliveries per Truck OUTBOUND= (min(Capacity Light Trucks*0.8,((Average Speed *Operating Hours-5)/Average Distance Outbound)))
Units: deliveries/day
5 km caminhão vazio. 80% de fator de ocupação.
- (33) Number of Deliveries per truck without UDC=min(Capacity Light Trucks * 0.7, ((Average Speed*Operating Hours-10)/Average Distance without UDC))
Units: deliveries
10 km caminhão vazio. 70% de fator de ocupação.
- (34) Number of UDCs=max(1, UDC Volume in Deliveries/200)
Units: Dml
- (35) Operating Hours= 10
Units: h
- (36) SAVEPER = TIME STEP
Units: Month [0,?]
The frequency with which output is stored.
- (37) Shadow Tariff= 0
Units: R\$/delivery
- (38) subsidies=Total Subsidies*25
Units: R\$/Month
- (39) TIME STEP = 1
Units: Month [0,?]
The time step for the simulation.
- (40) Time to adjust tariff=3
Units: months

- (41) Total Subsidies=(Monopoly tariff*Shadow Tariff*UDC Volume in Deliveries) + Fixed Cost * INTEGER (Number of UDCs)*Availability Payment
Units: R\$/day
- (42) UDC Expenses=(Fixed Cost*Number of UDCs+UDC Volume in Deliveries * Variable Cost)*25
Units: R\$/Month
- (43) UDC Net Cash Flow=UDC Revenue-UDC Expenses
Units: R\$/Month
- (44) UDC New tariff= Monopoly tariff* (1- Shadow Tariff)
Units: R\$/delivery
- (45) UDC Revenue= (UDC Volume in Deliveries*(UDC Tariff per delivery + Monopoly tariff * Shadow Tariff) + (Fixed Cost*Number of UDCs*Availability Payment))*25
Units: R\$/Month
- (46) UDC Tariff per delivery= INTEG (Change tariff, UDC New tariff)
Units: R\$/delivery
- (47) UDC Utilization= IF THEN ELSE (Cost per Delivery with UDC<Cost per Delivery without UDC, 1 , 0)
Units: Dmnl
- (48) UDC Volume in Deliveries= INTEG (Change in UDC utilization,0)
Units: deliveries/day
- (49) Variable Cost=5
Units: R\$/delivery
- (50) Variable cost per delivery INBOUND= Average Distance INBOUND * Fuel Consumption per km night * 4
Units: R\$/delivery
Combustivel= R\$ 4/litro

- (51) Variable cost per delivery OUTBOUND= Average Distance Outbound*Fuel Consumption per km*4
Units: R\$/delivery
- (52) "Variable cost per delivery w/o UDC"= Average Distance without UDC*Fuel Consumption per km*4
Units: R\$/delivery

ANEXO V. O CASO DE CURITIBA

A modelagem apresentada nas próximas sessões utilizou dados da cidade de Curitiba como referência para a definição de alguns parâmetros e dos cenários. Nesse contexto, e com o objetivo de ilustrar com um caso concreto os problemas encontrados nas cidades brasileiras, se apresenta nesta seção um breve antecedente e uma descrição da problemática da logística urbana na cidade.

Curitiba foi fundada em 1693 a partir de um pequeno povoado, que se tornou uma importante parada comercial na estrada de tropeiros entre Sorocaba (SP) e Viamão (RS). No século XVII, já elevada à categoria de “vila”, tinha como principais atividades econômicas a mineração e a agricultura de subsistência. Ao longo dos séculos XVIII e XIX, a pecuária e a atividade tropeira passaram a ser as atividades que contribuíram para impulsionar a economia da cidade. No final do século XIX a cidade ganhou uma nova dinâmica com a construção da estrada de ferro Paranaguá-Curitiba, que liga o planalto paranaense ao litoral, e com o forte movimento migratório, principalmente de europeus, que promoveram uma mudança nos costumes e no cotidiano da cidade. Nesse período, destacaram-se as atividades econômicas ligadas à exploração da madeira e ao cultivo da erva-mate.

Curitiba é a cidade polo de um total de 26 municípios que constituem a Região Metropolitana (Grande Curitiba). Segundo dados do IBGE, a região metropolitana de Curitiba é a segunda mais populosa do sul do Brasil e a oitava do Brasil, com uma população estimada em mais 3 milhões de habitantes. A cidade, por sua vez, tem uma população estimada de 1,9 milhão de habitantes, segundo estimativas do IBGE em 2018. Estudos do IBGE no último censo disponível em 2010 e do IPPUC (2014) já apontavam que o município está próximo do esgotamento dos seus limites geográficos, o que resulta em uma crescente densidade demográfica.

Beneficiada por um ciclo contínuo de administrações municipais preocupadas com a gestão do espaço urbano, transportes e meio ambiente, a cidade de Curitiba desenvolveu-se de forma planejada ao longo do século XX. Nesse período a economia da região, fortemente baseada em serviços, também desenvolveu um

setor industrial pujante. Na década de 1970 a cidade sofreu uma forte urbanização devido à migração das populações rurais motivadas pelo processo de mecanização das atividades agropecuárias.

Economia

A partir da década de 1970 houve uma mudança no perfil das atividades econômicas do Estado do Paraná e da cidade de Curitiba. Graças à diversificação e à modernização da base técnica de produção agropecuária e ao avanço do setor industrial metal-mecânico, o setor primário foi progressivamente superado pelo setor industrial em participação na economia paranaense e curitibana.

Nas décadas de 1980 e 1990 o setor industrial se expandiu com a chegada de grandes grupos empresariais e a incorporação de novos segmentos. Os elementos catalisadores para isso foram as políticas estaduais de atração industrial, sua localização privilegiada e a boa infraestrutura disponível. Destacam-se, nesse período, a instalação de grandes montadoras do setor automobilístico, como a Volkswagen e a Renault, acompanhadas de um grande número de fornecedores de autopeças. Outros segmentos de destaque, além dos tradicionais setores de couro e madeira, foram as indústrias de gêneros alimentícios, bebidas, eletroeletrônicos, produtos químicos e farmacêuticos.

Nos últimos 20 anos, os setores de comércio e serviços também se desenvolveram e ganharam importância na dinâmica econômica da cidade, sobretudo os segmentos de supermercados, hotelaria, agências de publicidade e telecomunicações. A cidade de Curitiba concentra maior parte das atividades desses setores na região metropolitana.

Mobilidade Urbana

Curitiba possui uma frota de aproximadamente 1,4 milhão de veículos, segundo dados de 2018 do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN). Desse total, 68% são automóveis, 10,5% são caminhões, camionetas e utilitários e 9% são motocicletas. A frota de Curitiba cresceu 30% de 2008 a 2018. Embora os caminhões cresceram menos que a taxa total (17%), no mesmo período, as categorias de caminhonetes e utilitários cresceram 100% e 370% respectivamente.

No início da década de 1970, Curitiba apresentava problemas de mobilidade crescentes. A cidade expandia-se de forma espontânea em um formato radial concêntrico. Dessa forma, áreas sem infraestrutura adequada foram ocupadas pela população. Nesse período, como consequência, formavam-se congestionamentos na região central, uma vez que oferta de serviços estava localizada majoritariamente nessa área e não existiam vias alternativas de ligação entre os bairros.

A política adotada pelos planejadores da cidade foi a de respeitar a malha viária existente e criar ligações independentes da área central. O centro tradicional foi circundado por um anel de tráfego lento. Dentro do anel central, vias foram fechadas ao tráfego de veículos, tornando-se pontos de encontro da população.

Nas grandes avenidas e ruas onde já havia ocupação foram criados pequenos trechos de ligação viária, que ofereciam novas opções de circulação. Foi uma solução menos onerosa do que as tradicionais políticas de grandes desapropriações. Dessa maneira, o sistema viário foi hierarquizado. Vias estruturais indutoras do desenvolvimento linear da cidade foram implantadas, garantido espaço e fluidez ao transporte público de passageiros. Vias prioritárias, que permitiam a ligação entre os bairros sem a necessidade de cruzar o centro, foram criadas e ligadas à malha viária existente.

Por sua vez, vias antigas foram preservadas como vias de penetração. Elas foram denominadas como vias coletoras, sendo responsáveis pela ligação interbairros, distribuição do tráfego local e de passagem, além de concentrarem o

comércio e os serviços. As vias locais, livres do tráfego pesado, foram projetadas para serem equipadas com calçadas mais largas, arborização, áreas de lazer e jardins.

O crescimento da cidade na década de 1990 demandou o desenvolvimento de novas ligações viárias. Uma rede de ciclovias com cerca de 120 km de extensão foi implantada ao longo de ramais ferroviários e vias, integrando-se ao sistema viário da cidade.

Na Figura 58 são apresentadas as principais vias da região metropolitana de Curitiba.

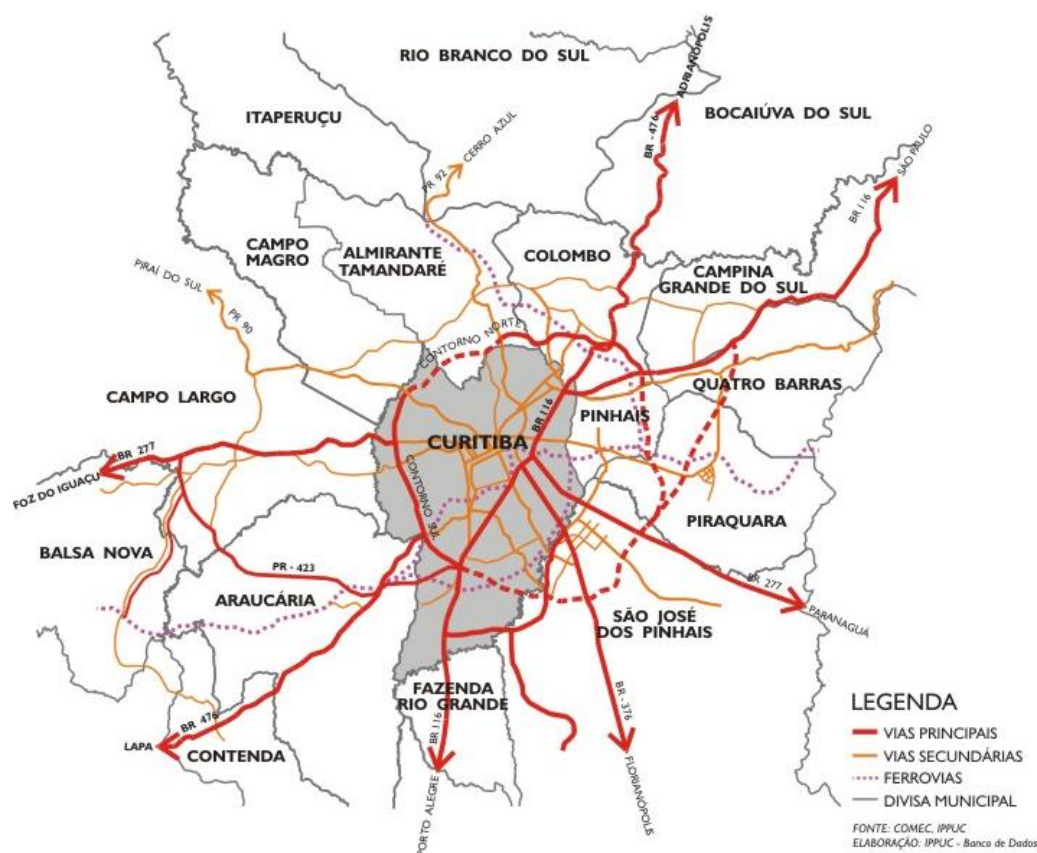


Figura 58. Mapas das Principais Vias de Curitiba (Fonte: IPPUC)

Apesar de Curitiba estar na vanguarda brasileira em soluções urbanísticas, a cidade enfrenta hoje uma série de problemas comuns às grandes regiões metropolitanas, como congestionamentos, conurbação e crescimento desordenado. O planejamento integrado de transporte ao longo das décadas faz com que Curitiba

não se encontra ainda em nível comparativamente com outras cidades, por exemplo, a velocidade média nas vias urbanas de aproximadamente 32km/h enquanto em cidades como São Paulo e Fortaleza alcançam 18km/h e 15km/h respectivamente (figura 59). No entanto, com o objetivo de responder aos desafios presentes e antecipar ações para evitar atingir esses níveis críticos, a administração iniciou em 2013 estudos para traçar um diagnóstico do seu processo de transporte de cargas (IDB, 2013; IPPUC, 2014).

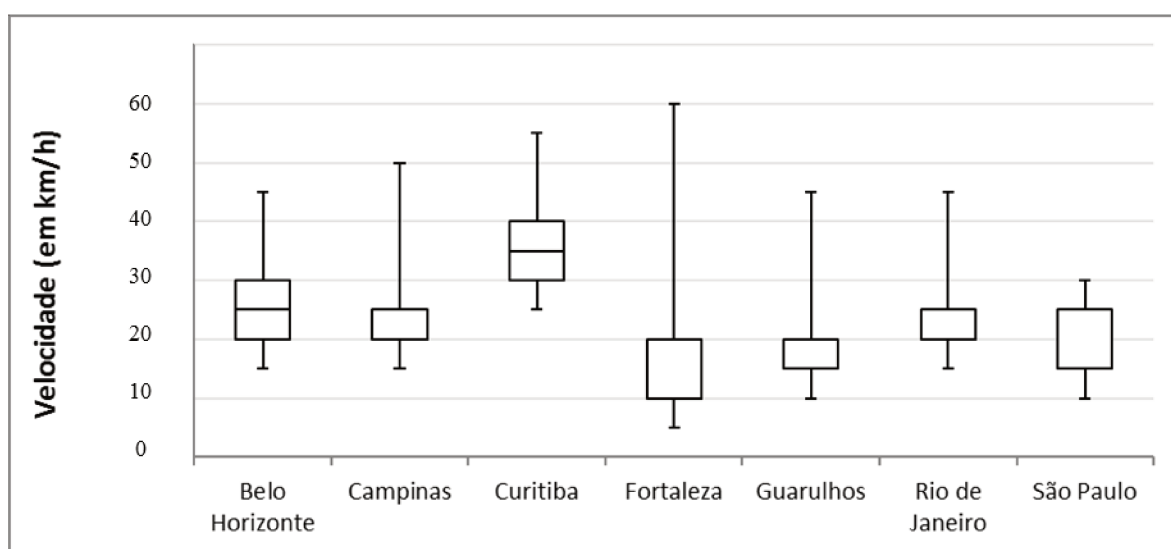


Figura 59. Velocidade Média em Diferentes Cidades Brasileiras (Fonte: CLUB, 2013)

A Logística Urbana em Curitiba

Como resultado desse estudo e de outros conduzidos na cidade (CLUB, 2013) alguns dos principais problemas encontrados foram:

- Restrições de circulação tanto nas vias periféricas como no centro gera problemas para as empresas que não encontram muitas opções para entregas;
- Conflito entre caminhões e automóveis nos locais de carga e descarga;
- Aproximadamente 33% das vias se encontram congestionadas;

- Falta de base legal para regulamentação da distribuição urbana de cargas;
- Falta de incentivo à entrega noturna;
- Necessidade de melhoria da infraestrutura viária.

Outros indicadores coletados durante os estudos em Curitiba, por meio de entrevistas com alguns dos geradores de carga e transportadores incluem:

- Peso Bruto Médio dos Veículos: média de 13 toneladas (Capacidade 7 toneladas);
- Tamanho médio das entregas: de 0,15 até 6 toneladas;
- Distância ociosa de 20% do percurso médio;
- Ocupação média dos veículos de 75%;
- Restrição à circulação de veículos de carga;

Desde 1997 está em vigor na cidade de Curitiba um decreto de lei que passou a restringir a circulação de veículos de carga na zona central da cidade. Essa região foi denominada “Zona Central de Tráfego” e suas regras para serviços de carga e descarga delimitam espaços e horários para estas operações. Em 2010 foram determinadas regras de circulação de veículos de carga também no entorno da via denominada Linha Verde. Assim, a área que compreende a Zona de Tráfego de Cargas na Linha Verde recebeu as restrições apresentadas na tabela da Figura 60.

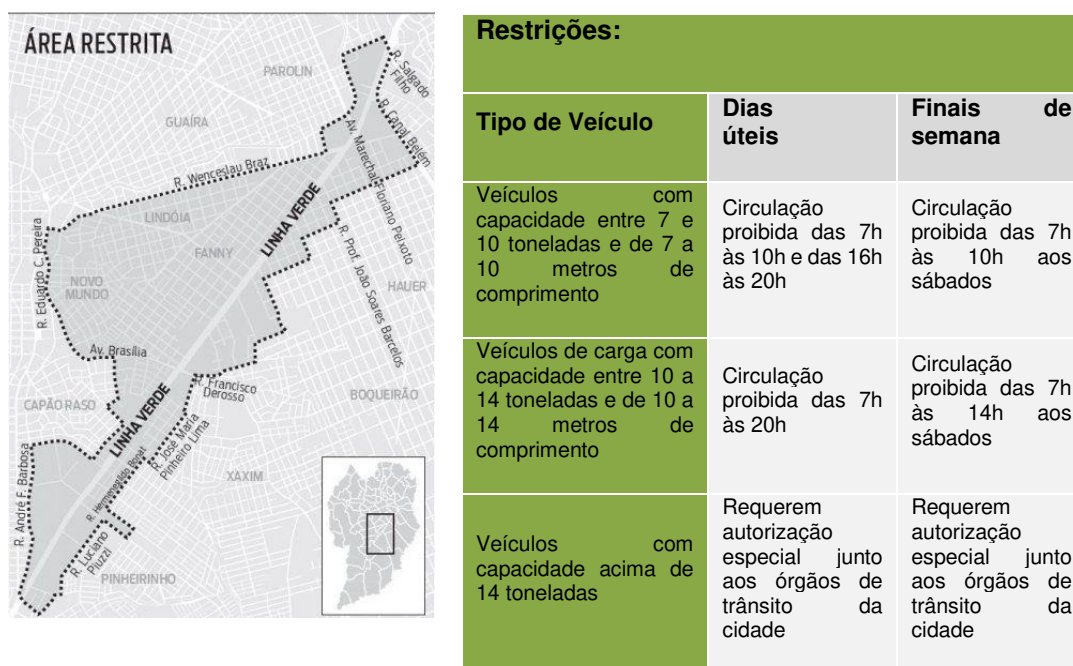


Figura 60. Locais e Tipos de Restrições na Cidade de Curitiba

Centros de Distribuição Urbanos

Como alternativa para flexibilizar as restrições e ao mesmo tempo evitar que a cidade atinja os níveis críticos de congestionamento verificados em outras regiões urbanas, os estudos incluíram a avaliação da implantação de CDUs.

Através de extensas pesquisas de origem-destino e uma modelagem detalhada dos fluxos de cargas e alternativas para desenvolvimentos de CDUs, detalha-se a seguir algumas conclusões e recomendações do estudo:

Os dois tipos de configurações sugeridas para os CDUs em Curitiba seriam:

Centros de consolidação: Focado em empresas de transporte ou operadores logísticos; evita a entrada de grandes caminhões na cidade. Consiste de infraestrutura logística voltada essencialmente ao *cross-docking*, sem estoque; permite realizar uma distribuição capilar com veículos adequados ao tecido urbano; A distribuição urbana de mercadorias ocorre em formato centralizado, reduzindo o número de veículos, suas rotas, o congestionamento e o nível de emissão de GEE.

Micro Plataformas Urbanas: Focada na operação de distribuição física no tecido urbano nos últimos quilômetros; Em geral, são instalações de cross-docking com estoque reduzido ao necessário para múltiplos reabastecimentos na jornada; A área ocupada depende de oportunidades dentro do tecido urbano, podendo variar de 30 m² a 2000 m².

A instalação de centros logísticos em uma única localidade teria possivelmente um efeito limitado, por isso os cenários mais favoráveis envolveram a implantação de 3 a 5 CDUs. A implantação dos CDUs, contribuiria, no curto prazo para reduzir de 2 a 3% o volume de veículos*km de carga. Um valor marginal se comparado com outras medidas que poderiam ser implementadas.

Embora os benefícios líquidos dos CDUs foram considerados positivos quando se considera a redução de externalidades como congestionamento, emissões e acidentes; na maioria dos cenários, em razão do custo adicional para operar o CDU, os custos logísticos para as empresas de transporte não apresentariam maiores reduções o que implicaria uma falta de incentivo para a utilização dos CDUs, portanto; a sustentabilidade financeira do mesmo seria prejudicada, e requereria apoio e subsídio do setor público. Nesse contexto, a Prefeitura decidiu não seguir com a implantação dos CDUs.

O caso de Curitiba ilustra o caráter dicotômico da implantação dos CDUs ao mesmo tempo que consiste em uma opção real para organizar a logística urbana depende de vários fatores conjunturais e estruturais da cidade e da participação do poder público e do poder privado.

ANEXO VI. ARTIGO ACEITO URBE: REVISTA BRASILEIRA DE GESTÃO U

**MODELO PARA ANÁLISE EX-ANTE DE POLÍTICAS DE
LOGÍSTICA URBANA BASEADAS EM CENTROS DE
DISTRIBUIÇÃO URBANOS. UMA ABORDAGEM UTILIZANDO
DINÂMICA DE SISTEMAS**

*Model for Ex-Ante Analysis of City Logistics Policies Based on Urban
Distribution Centers. An Approach using System Dynamics.*

Reinaldo D. Fioravanti^{(a) (b)}
Orlando Fontes Lima Jr.^(a)

(a) Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP, Brasil

(b) Banco Interamericano de Desenvolvimento, Departamento de Infraestrutura e Energia, Washington, DC, EUA.

RESUMO

O aumento do número de veículos de carga nos centros urbanos causa diversas externalidades negativas tanto sob os aspectos financeiro, ambiental e econômico, e a formulação de políticas públicas que buscam otimizar a logística urbana tem ganhado importância nas agendas dos gestores públicos. Neste contexto, este artigo tem o objetivo de propor um modelo para apoiar a formulação de políticas públicas de logística urbana com ênfase nos Centros de Distribuição Urbanos (CDUs). O método usado é a simulação matemática contínua baseado em *dinâmica de sistemas* e que incorpora elementos de gestão de estoque e operações. Este artigo apresenta o modelo e o procedimento proposto para sua aplicação em duas cidades hipotéticas, comparando a implantação de CDUs com outras políticas públicas. Os resultados, medidos pelos custos logísticos totais e pelas emissões de gases de efeito estufa (GEE), indicam que as restrições à circulação de veículos de carga tendem a impactar negativamente ambos indicadores; por outro lado, os CDUs são soluções robustas que podem reduzir tanto os custos como as emissões e superam outras políticas, mas se aplicam a cidades que atingiram níveis de congestionamento críticos. A replicação do modelo e do procedimento são discutidas.

Palavras-chave: logística urbana, centros de distribuição urbanos, dinâmica de sistemas, políticas públicas.

ABSTRACT

The increase in the number of freight vehicles in urban areas generates several negative externalities from the financial, environmental and economic perspectives, and the formulation of public policies that optimize urban logistics has gained importance in the agenda of public managers. In this context, the purpose of this paper is to propose a model to support the formulation of public policies focused on urban logistics, with emphasis on Urban Distribution Centers (UDCs). The method used is mathematical simulation based on System Dynamics and incorporates elements of inventory management and operations management. This paper presents the model and the proposed procedure for its application in two hypothetical cities, and compares the adoption of UDCs with other policies. The results, measured by total logistics costs and greenhouse gases (GHG) emissions indicate that the restrictions tend to negatively impact both indicators. On the other hand, UDCs are robust solutions that can reduce both costs

and emissions and outperform other policies in the case of cities that have reached critical congestion levels. The replicability of the model is discussed.

Keywords: city logistics, urban logistics, urban distribution centers, system dynamics, public policies.

INTRODUÇÃO E MOTIVAÇÃO

O aumento de veículos de carga nos centros urbanos causa diversas externalidades negativas, como o aumento do congestionamento e das emissões de Gases Efeito Estufa (GEE) (Thompson, 2015), a deterioração mais rápida da infraestrutura de transporte (Crainic et al., 2009) e o aumento da demanda por espaços para carga e descarga (Holguín-Veras et al., 2008; Rodrigue et al., 2013). Estima-se que os níveis de emissões de GEE geradas pelo transporte de cargas nas grandes cidades podem variar entre 15% a 30% de todas as emissões urbanas provenientes do setor de transportes (Dablanc, 2007). Por outro lado, os custos da chamada última milha, representam ao redor de 28% dos custos totais da cadeia de distribuição das empresas (Goodman, 2005).

Historicamente, as políticas públicas de mobilidade urbana não incluíam o transporte de carga, o qual era uma preocupação delegada ao setor privado (Wolpert, 2012), no entanto, dado o crescente nível de urbanização, o crescimento do comércio eletrônico e a tendência das empresas de buscarem um maior nível de serviço a seus clientes, implicando entregas mais frequentes, tem se tornado essencial a implementação de políticas públicas que busquem otimizar o transporte de cargas no ambiente urbano, também denominada “Logística Urbana”.

Várias políticas públicas têm sido propostas para melhorar a eficiência e reduzir as externalidades da logística urbana, como as restrições à circulação de caminhões (Holguín-Veras et al., 2014), o aumento do fator de ocupação de carga, a introdução de limites para o tamanho e peso de veículos; a implantação de Centros de Distribuição Urbanos (CDUs) (Allen et al., 2012; Quak & Tavasszy, 2011; Marcucci & Danielis, 2008), entre outros. O foco principal deste artigo são os CDUS, que são infraestruturas logísticas localizadas em áreas urbanas, ou nas proximidades delas, nas quais as empresas realizam o transbordo e consolidação dos produtos que serão posteriormente distribuídos nos centros urbanos (Allen et al., 2014).

Dada a variedade de opções de políticas públicas e a presença de múltiplos agentes (varejistas, distribuidores, fabricantes e população), a tomada de decisão por parte dos gestores públicos se torna complexa, e os custos por uma decisão errada se tornam altos (Anand et al., 2012). Nesse

contexto, o objetivo do presente trabalho é contribuir para a tomada de decisão em logística urbana, de duas maneiras: i) oferecer *insights* sobre os benefícios e a robustez dos CDUs comparativamente com outras políticas, ii) propor um modelo e um procedimento para sua implementação para apoiar os gestores públicos na avaliação prévia (*ex-ante*), dos resultados esperados da implantação de CDUs.

As hipóteses testadas são que os benefícios gerados pelos CDUs podem levar longo tempo de maturação e que além disso, dependem de características de cada cidade, como o nível de congestionamento e a intensidade do transporte urbano de mercadorias, o que pode explicar a dificuldade em mantê-los sustentáveis (Browne et al., 2005; Van Duin et al., 2012; Holguín-Veras et al., 2014). Além disso, como contribuição à literatura, o modelo proposto incorpora políticas de gestão de estoque para representar o processo de decisão individual das empresas que ao deparar-se com o aumento dos custos de transportes; podem realizar reorganizações na sua distribuição (FHA, 2008) tanto no curto prazo, com a mudança dos lotes de entrega e da frota, como no longo prazo, com o aumento ou redução dos centros de distribuição.

As próximas sessões do artigo incluem uma revisão da literatura relacionada às políticas públicas de logística urbana, aos CDUs, e aos modelos de apoio à decisão em logística urbana; seguida pela apresentação do modelo proposto e dos resultados da simulação, além do procedimento para sua aplicação; a última seção apresenta reflexões sobre as implicações na adoção de políticas públicas.

POLÍTICAS DE LOGÍSTICA URBANA

As políticas públicas em logística urbana têm sido documentadas na literatura desde os anos 80, principalmente na Europa e Japão. Button & Pearman (1981) destacam como fatores motivadores, o crescimento no tráfego de caminhões, resultado do crescimento econômico das cidades, as limitações para expansão da infraestrutura, e o aumento das preocupações ambientais. Ogden (1992) propõe uma classificação das políticas de logística urbana em seis categorias de acordo com objetivos buscados: i) de eficiência, ii) econômicos, iii) de segurança viária; iv) ambientais; v) relacionados a infraestruturas (e.g. reduzindo custos de manutenção das vias) e; vi) relacionados a infraestruturas urbanas (e.g. preservando centros históricos). Visser et al. (1999) discutem a evolução das políticas aplicadas na Europa de 1980 a 1999 e destacam duas abordagens: a micro, quando é liderado pelo setor privado, e macro, quando é guiada pelo setor público; e conclui que o melhor resultado se obtém com uma combinação das duas. Lindholm (2013) destaca que, embora inicialmente uma preocupação das grandes

idades, a inclusão da carga no planejamento de transportes de cidades médias e pequenas começa a ganhar importância.

As políticas e intervenções mais comuns apresentadas na literatura incluem as restrições à circulação de caminhões (Holguín-Veras et al., 2014), a melhora da roteirização dos veículos (Holguín-Veras et al., 2015), o aumento do fator de ocupação de carga, a introdução de limites para o tamanho e peso de veículos (Qureshi et al., 2013), a implantação de *pick-up points* (Visser et al., 2014; Weltevreden, 2008), a implantação de zonas de baixa emissões (Browne et al., 2005; Giuliano & Dablanc, 2013); e a implementação de Centros de Distribuição Urbanos (CDUs) (Allen et al., 2012; Quak & Tavasszy, 2011; Marcucci & Danielis, 2008).

Centros de Distribuição Urbanos (CDUs)

A implantação de CDUs apresenta grande potencial para atingir os objetivos da logística urbana (Van Duin et al., 2012), como a redução do número de veículos-km percorridos (Panero & Shin, 2011); o aumento da ocupação de carga e a melhor adaptação às janelas de tempo (Taniguchi, 2012); e a colaboração entre empresas (Janssen & Oldenburger 1991; Van Duin et al., 1997; Taniguchi et al., 1999).

O conceito dos CDUs tem suas origens nos anos 70 com estudos de viabilidade no Reino Unido, Japão, EUA e Canadá, sendo que os primeiros projetos foram implantados na França e Holanda (Allen et al., 2012). Nos anos 90 houve novamente um crescente interesse pelos CDUs, especialmente no Japão, sob a denominação de Terminais Logísticos Urbanos Públicos (TLUs); na Holanda (Janssen & Oldenburger, 1991) e na Alemanha (Ruske, 1994).

O potencial dos CDUs é quase consenso na literatura, com estudos de viabilidade *ex-ante* positivos (Marcucci & Danielis, 2008), e sólidas evidências sobre os benefícios em termos de redução de veículos-quilômetros, congestionamento e emissões, podendo variar de 18% a 60% (Kohler, 2004; Panero & Shin, 2011; Van Duin et al., 2012); especialmente se implementados de maneira complementar à outras políticas como pedágios urbanos e janelas de tempo (Dablanc, 2007), no entanto, os resultados de sua implantação no longo prazo não são consistentes e a viabilidade econômica e financeira tem sido difícil de atingir.

Van Duin et al. (2010) avaliaram experiências na Holanda, Alemanha, UK, Espanha e França no período de 1994 a 2010 e concluíram que os CDUs que atingiram os benefícios de redução de viagens e emissões, na maioria dos casos não atingiram os resultados financeiros esperados. Entre os desafios para atingir a viabilidade financeira, inclui a alocação dos custos e dos benefícios entre diferentes agentes (Van Duin et al., 2010; Holguín-Veras et al., 2014); e a dificuldade de operar sem subsídios públicos (Browne et al., 2005; Van Duin et al., 2012);

reforçando a necessidade de pesquisas que indiquem os benefícios dos CDUs com uma visão de longo prazo e que envolva o poder público e o setor privado.

TOMADA DE DECISÃO EM LOGÍSTICA URBANA

A falta de análises prévias (Comi et al., 2012) leva a que muitas políticas e intervenções em logística urbana sigam um processo de “aprender fazendo” (Visser et al., 1999), o que pode gerar resultados contrários aos buscados, como por exemplo no caso das restrições aos caminhões (Quak et al., 2006; Meyer Sanches et al., 2013). Além disso, a experiência mostra que os modelos tradicionais utilizados no planejamento de transportes, como o modelo quatro etapas, não são adequados para representar as particularidades da logística urbana (Taniguchi & Thompson, 2002), a qual requer uma perspectiva sistêmica que inclua a dimensão financeira, econômica, da satisfação dos clientes e da sustentabilidade ambiental (Lima, 2004). Nesse contexto, os modelos de logística urbana abordam o problema principalmente sob a perspectiva da otimização de veículos e rotas (Taniguchi & Thompson, 2012; Figliozzi, 2007), dos fluxos de *commodities* (Holguín-Veras & Patil, 2008), ou através de modelos mistos (Comi et al., 2012).

Modelos baseados em *commodities* estimam a demanda e a oferta de produtos e as convertem em viagens de carga (Wisetjindawat et al., 2007; Holguín-Veras & Patil, 2008). Modelos baseados em veículos e rotas estimam diretamente o número de viagens através de fatores de atração, classificação de utilização do solo; e dados socioeconômicos (Oppenheim, 1993; Hunt & Stefan, 2007; Muñuzuri et al., 2010). Outros tipos de modelos analisam o comportamento individual das empresas, como em Holguín-Veras & Friesz (2005) e Holguín-Veras et al. (2006) que utilizam modelos econômicos para analisar as condições necessárias para o sucesso de políticas como entregas noturnas.

Comi et al. (2012) destacam limitações nos métodos baseados em viagens e *commodities* e sugere o desenvolvimento de modelos mistos que descrevam melhor os vínculos entre as políticas adotadas e o comportamento dos agentes.

Vários autores propõem modelos para determinar a localização e tamanho dos CDUs, como Taniguchi et al. (1999) e Villanizar et al. (2014), os últimos, por meio de um modelo de otimização, concluem que ao abordar a localização dos CDUs em conjunto com a definição das rotas, se pode alcançar 30% de redução nos custos logísticos. Crainic et al. (2004) e Muñuzuri et al. (2012) propõem a introdução de dois níveis de distribuição sendo os CDUs principais combinados com plataformas satélites. Van Duin et al. (2012) utilizam simulação de agentes para avaliar a aderência do setor privado aos CDUs e aponta a necessidade de subsídios públicos

para sua viabilidade. Janjevic et al (2015) utilizam análise de cenários para avaliar a implementação de CDUs na Bélgica e concluem que a metodologia é robusta para abordar várias incertezas presente nas análises; o modelo apresentado, no entanto, é estático e não considera a evolução do sistema ao longo do tempo.

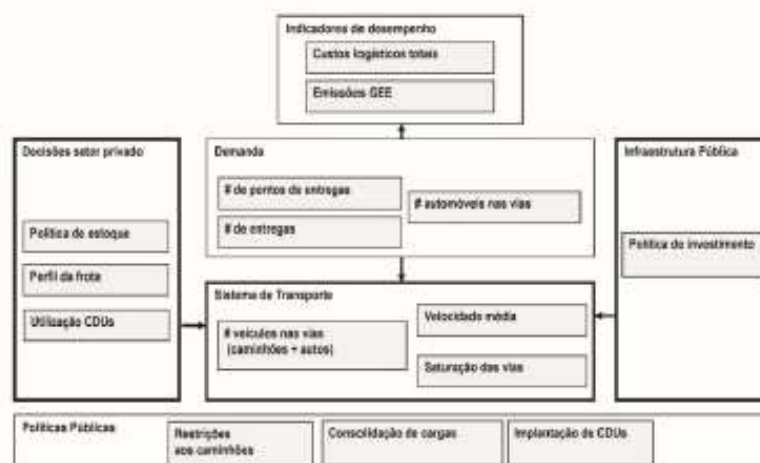
Utilização de Dinâmica de Sistemas (SD)

O modelo proposto é baseado em dinâmica de sistemas (SD, pela sua sigla em inglês de *System Dynamics*). A literatura apresenta a utilização de SD na modelagem de problemas de transporte e logística como ferramenta potente para avaliar políticas e estratégias setoriais (Abbas & Bell, 1994), como políticas de introdução de veículos elétricos e de manutenção de rodovias (Shepherd, 2014), SD também é amplamente utilizado em problemas de gestão da cadeia de suprimentos (Angerhofer & Angelides, 2000). Taniguchi et al (2014) apresentam a dinâmica de sistemas como ferramenta promissora para modelar a logística urbana, no entanto, ainda são poucas as referências na literatura (Thaller et al, 2016), destacando-se Oliveira et al (2010) que estudam a aderência do setor privado à pontos de entregas inteligentes e Meyer Sanches et al (2013) que modelam a resposta das transportadoras às restrições de veículos em São Paulo. Thaller et al (2016) apresentam um modelo conceitual em SD para modelar a logística urbana com foco na demanda e nos serviços de transporte mas não apresenta aplicação.

DESCRIÇÃO DO MODELO

O modelo de simulação proposto (figura 1) é composto por seis componentes: i) a demanda de transporte de carga, que é exógena ao sistema e acompanha o crescimento econômico da cidade e da economia; ii) o sistema de transporte, que relaciona a densidade de tráfego nas vias com a velocidade média dos veículos; iii) as decisões do setor privado, que incluem as decisões de lote econômico e tamanho dos caminhões e a utilização ou não dos CDUs; iv) as políticas públicas; v) os investimentos em infraestrutura pública; e vi) os indicadores de desempenho.

Figura 1 - Componentes do Modelo



Fonte: Autores

Premissas e considerações sobre o modelo

Como contribuição à literatura, o modelo internaliza algumas das variáveis que tipicamente são consideradas como exógenas: a decisão sobre o tipo de frota, apresentada como função do lote econômico; a decisão de abrir CDUs, como função dos custos de transporte e dos custos de estoque; e a velocidade média, como função da densidade de tráfego. As simulações incluem o fluxo de produtos (representado pelas entregas) e o fluxo de veículos, mas inclui apenas o fluxo logístico resultante do comércio entre empresas e não inclui as entregas do comércio eletrônico, ou de outras atividades comerciais e industriais. Durante a aplicação do modelo, se utilizam cidades hipotéticas, sendo que a calibragem e a configuração do cenário base apresentado na tabela 1 foi baseado em dados coletados na Cidade de Curitiba, Brasil (IDB, 2013; IPPUC, 2014). O desenvolvimento do modelo de simulação utilizou o software Vensim versão PLE x32.

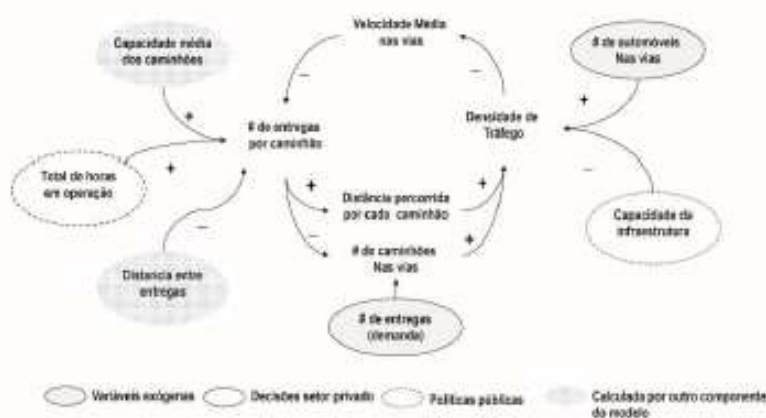
Estrutura dinâmica do sistema

A representação do modelo usando dinâmica de sistemas contém três principais ciclos causais: um ciclo que representa o sistema de transporte e dois ciclos que descrevem as decisões do setor privado. A seguir detalha-se cada um desses ciclos (o modelo completo se apresenta no anexo D).

Primeiro ciclo: Sistema de Transporte

O primeiro ciclo (figura 2.1) relaciona o congestionamento (medido pela densidade de tráfego), com a velocidade média e com o número de caminhões nas vias: quando os níveis de congestionamento aumentam, a velocidade média nas vias diminui, logo, para cumprir com as entregas exigidas pelos clientes, mais caminhões são enviados às ruas, aumentando ainda mais o nível de congestionamento.

Figura 2.1 - Ciclo do Sistema de Transporte e Distribuição



Fonte: Autores

As equações 1, 2 e 3 descrevem a relação entre as principais variáveis do primeiro ciclo:

A velocidade média S , medida em km/h , é função da densidade de tráfego (f) e da velocidade máxima nas vias ($60 km/h$) por meio de uma função exponencial negativa (Karato & Sato, 2009).

A densidade de tráfego (f) é determinada pelo número de caminhões nas vias (V_c), da distância percorrida por cada caminhão (l_c), do número de automóveis (V_a), da distância percorrida pelos automóveis (l_a) e da capacidade das vias (C_v), o fator 0.5 é aplicado ao número de autos assumindo que ocupam metade do espaço de um caminhão.

Finalmente, o número de entregas por caminhão por dia (D/V_c) é dado pela velocidade média das vias (S), o total de horas de operação (H), o tempo médio por entrega (T_d), a distância em vazio (L_v) e a distância entre entregas (L_d), limitado pela capacidade média dos caminhões (C_c).

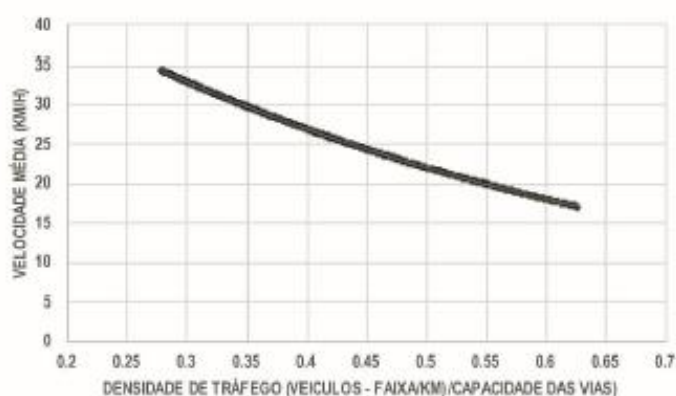
$$S = 60 \cdot e^{-2f} \quad (1)$$

$$f = \min\{(V_t \cdot L_1 + V_g \cdot L_0 \cdot 0.5) / C_t, 1\} \quad (2)$$

$$D / V_t = \min\{S \cdot H \cdot (1 - T_d) - L_0\} / L_0 \cdot \hat{C}_t \quad (3)$$

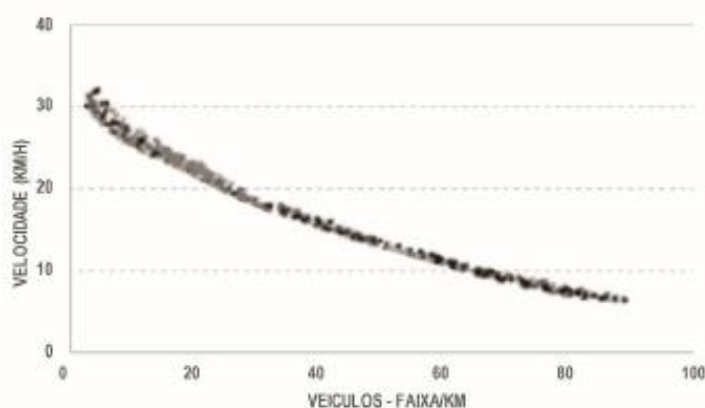
Os gráficos da figura 2.2 representam o comportamento da velocidade média em função da densidade de tráfego, sendo o 2.2 (a) os valores calculados pelo modelo e 2.2(b) o apresentado na literatura por Geroliminis & Daganzo (2007).

Figura 2.2 (a) - Velocidade Média – Modelo



Fonte: Resultados da Simulação

Figura 2.2 (b) - Velocidade Média – Literatura

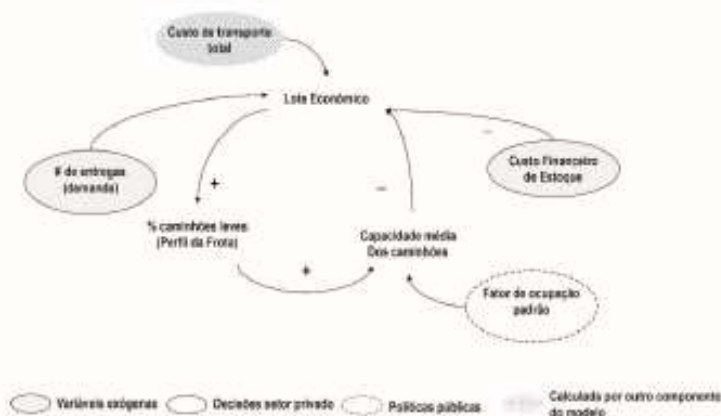


Fonte: Geroliminis & Daganzo, 2007

Segundo ciclo: Gestão de Estoque e Distribuição

O segundo ciclo (Figura 3.1) descreve a resposta do setor privado aos congestionamento: como a velocidade média diminui, o custo de transporte total aumenta, em razão de mais consumo de combustível e mais tempo necessário para entregas, logo, de acordo com o modelo do lote econômico (EOQ, pela sigla em inglês de *Economic Order Quantity*), a reação racional das empresas seria aumentar o tamanho do lote mínimo de cada entrega (Combes, 2014), o que por sua vez aumentaria a utilização de veículos pesados (ou equivalentemente diminuiria o % de veículos leves) e aumentaria a correspondente capacidade média dos caminhões.

Figura 3.1 - Ciclo de Gestão de Estoque e Distribuição



Fonte: Autores

A equação (4) descreve o cálculo do *EOQ* para cada caminhão, dado pelo custo de transporte por entrega (T/D), a capacidade dos caminhões (C_v), o número de entregas por ponto de venda (D/P) durante o ano (250 dias); e o custo anual de estoque (h).

Considerando que o *EOQ* não é o único fator que define o tamanho da frota, para estimar o percentual de caminhões leves (λ_l), foi assumido uma curva normal, com média igual ao *EOQ* e desvio padrão de 50%, onde λ_l é a probabilidade de utilizar um caminhão de 3 toneladas. A tabela 1 descreve os valores do *EOQ* em número de entregas, em toneladas equivalentes e o valor de λ_l correspondente.

Finalmente, a equação (5) descreve a capacidade média dos caminhões como função do percentual de caminhões leves (λ_t) e o fator de ocupação (φ). Para os caminhões pesados utilizou-se o valor de 6 toneladas, e o peso de cada entrega se assume como 0.15 toneladas.

$$EOQ = \sqrt{(2 \cdot (T/D) \cdot C_t) \cdot ((D/P) \cdot 250) / h} \quad (4)$$

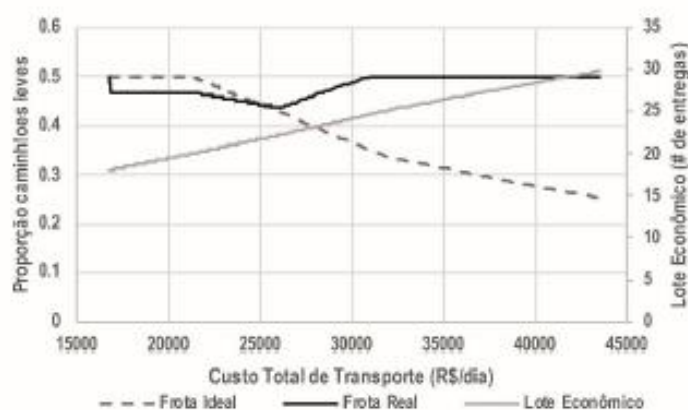
Tabela 1 - Probabilidade de utilizar caminhões leves (λ_t) como função do EOQ.

EOQ (tons)	λ_t	EOQ (tons)	λ_t	EOQ (tons)	λ_t
3.00	0.50	5.25	0.20	7.50	0.12
3.75	0.34	6.00	0.16	8.25	0.10
4.50	0.25	6.75	0.13	9.00	0.09

Fonte: Autores

$$C_t = [3\lambda_t + 6(1 - \lambda_t)] \times \varphi / 0.15 \quad (5)$$

Figura 3.2 - Lote Econômico e Perfil da Frota / Custo de Transporte



Fonte: Resultados da Simulação

Premissas e considerações sobre o Lote Econômico

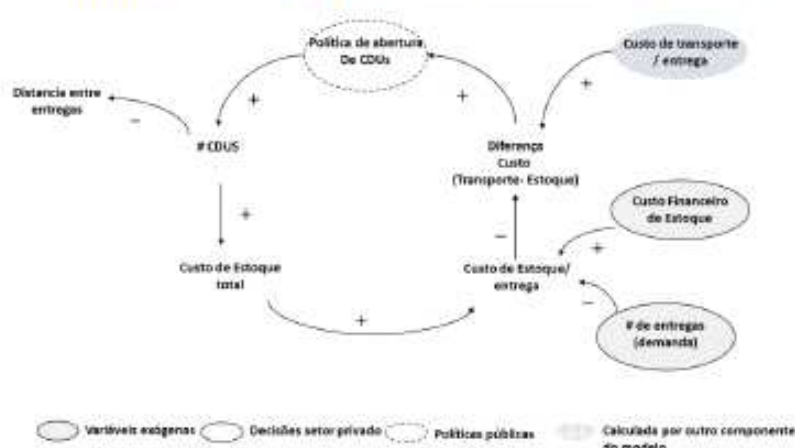
Embora se reconheça como limitada a política de lote econômico no ambiente urbano, onde prevalece a estratégia *just in time* ditada pelos varejistas, em muitos casos, os fabricantes e distribuidores continuam adotando o EOQ para seus processos produtivos e de aquisição (Fazel, 1997). Nota-se na figura 3.2 que embora com o aumento dos custos, o lote econômico ideal aumente e, portanto, a proporção ideal de caminhões leves diminua (frota ideal); não há mudança relevante no tamanho da frota real. Isso acontece porque ao utilizar caminhões maiores (até 6 toneladas), não haveria possibilidade de fazer as entregas a tempo e as empresas optam então pelos veículos menores.

Terceiro ciclo: Os CDUs

O terceiro ciclo (Figura 4.1) descreve a implantação dos CDUs, por meio de uma equação de equilíbrio entre custos de transporte e custos de estoque, com a premissa de que esse equilíbrio converge para o ponto de custo logístico total ótimo (Chopra & Meindl, 2004).

Com o aumento dos custos de transporte por entrega, aumenta a diferença com o custo de estoque por entrega, logo em função da política de abertura de CDUs, novas empresas utilizam os centros, gerando dois efeitos principais: por um lado a distância média percorrida por cada entrega diminui (Allen et al., 2014) e os custos de transporte também diminuem, e por outro lado o custo de estoque aumenta em razão dos custos operacionais dos CDUs e dos custos de estoque. O sistema converge para o equilíbrio quando a diferença entre os custos atinge o nível mínimo definido na política (nesse caso definido arbitrariamente como 10%).

Figura 4.1 - Ciclo de implantação e de utilização dos CDUs



Fonte: Autores

A variação incremental do número de CDUs utilizados (dU/dt) é determinada pela diferença entre o custo de transporte total (T) e custo de estoque total (I), obedecendo a relação descrita na equação (6) com valor constante de 5% ao mês.

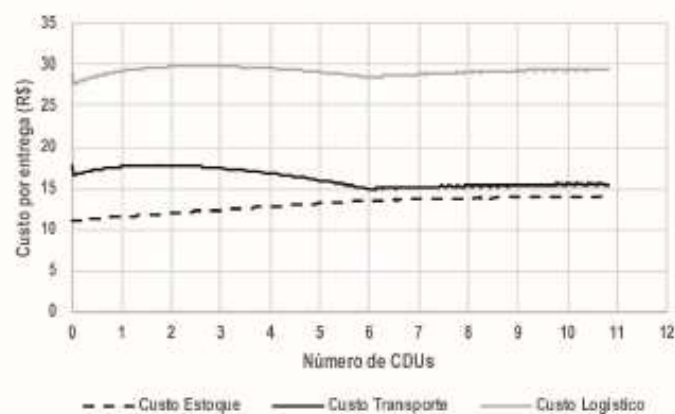
A equação (7), por sua vez, descreve a relação entre a distância média por entrega (L_d) e o número de CDUs (U) e foi determinada por regressão baseado em Janjevic et al. (2015) e calibrado com dados de Curitiba, Brasil, onde a distância máxima na ausência de CDUs e de 8 kms para o caso base.

$$dU/dt = \begin{cases} 0.05 & T/I \geq 1.10 \\ 0 & T/I < 1.10 \end{cases} \quad (6)$$

$$L_d = 8 - 0.3.U \quad (7)$$

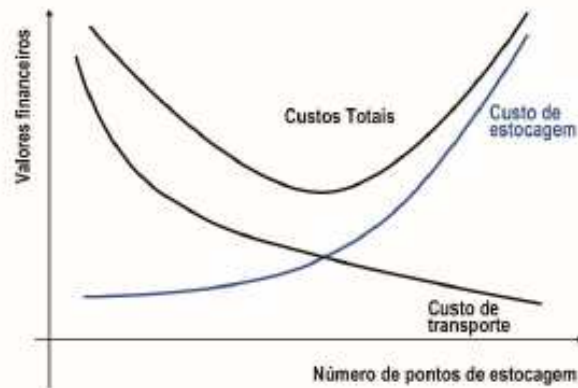
A figura 4.2 (a) mostra o comportamento dos custos de transportes, custo de estoque e o custo logístico calculado pelo modelo, que apresentam padrões consistentes aos valores teóricos estimados na literatura (Chopra e Meindl, 2004) na figura 4.2 (b).

Figura 4.2 (a) - Custos/ Número de CDUs - Modelo



Fonte: Resultados da Simulação

Figura 4.2 (b) - Custos/ Número de CDUs – Literatura



Fonte: Chopra & Meindl, 2004

Premissas e considerações sobre os CDUs

As premissas adotadas nesse ciclo incluem: i) o abastecimento dos CDUs é feito durante a noite (Panero & Shin, 2011); o que implica que a viagem para abastecer os CDUs não tem impacto relevante no nível de congestionamento e, portanto, não são computadas para tal (embora os custos das mesmas foram incluídos com um valor constante); ii) os CDUs estão distribuídos em pontos estratégicos da cidade, otimizando as distâncias aos pontos de entrega; iii) a utilização do CDU adiciona em média 1 dia de estoque ao sistema.

Variáveis de Desempenho e Políticas Avaliadas

As variáveis de desempenho utilizadas no modelo são: i) as emissões de GEE (medidas em kg equivalentes de CO₂/dia) e ii) os custos logísticos totais (R\$/dia) que incluem custo de transporte, armazenagem e estoque. Em seguida, o modelo foi simulado usando quatro configurações de políticas (ver tabela 2).

Tabela 2 - Políticas Testadas

Parâmetro	Unidade	Política 1: Caso Base	Política 2: Restrições de caminhões	Política 3: Fator de Ocupação	Política 4: CDUs
Horas de Operação (1)	horas	10	7	10	10
Fator de Ocupação (2)	%	70%	70%	90%	80%
Tx. Ampliação CDUs (3)	%/mes	0	0	0	5%
Distancia por entrega (4)	km	8	8	8	8 - 0,3 U
Ponto crítico congestionamento (5)	%	95%	95%	95%	95%

(1) 10 horas disponíveis para entregas, sendo reduzidas para 7 horas com a política de restrições

(2) Ocupação padrão de 70%, sobre para 80% no caso da política de CDUs e para 90% na política 3 com ações específicas do setor privado

(3) O modelo considera um aumento gradual de 5% ao mês na utilização dos CDUs, sendo que ao atingir a capacidade máxima um novo centro é aberto.

(4) Para a política de CDUs, as distâncias percorridas por entrega variam segundo a equação 1. As distâncias são fixas para as outras políticas.

(5) medido pela densidade de tráfego, definido pela relação entre o número de veículos - f_{veh} e a capacidade das vias. após atingir o ponto crítico de 90%, são feitos investimentos para ampliar a capacidade.

Fonte: Autores

Cenários Avaliados

Como próximo passo, as quatro políticas e intervenções foram testadas sob 2 cenários que representam cidades hipotéticas (tabela 3). A Cidade tipo 1 representa uma cidade com operação logística de pouca intensidade, níveis de congestionamento baixo e custos de operação do CDU relativamente baixo. A Cidade tipo 2 representa operação logística intensa, alto nível de congestionamento, custos de operacionais altos. Os dados da Cidade 1 foram baseados na cidade de Curitiba, Brasil. Para a Cidade 2 foram extrapolados com base a Curitiba e complementado com dados da literatura (Browne et al., 2005; Van Duin et al., 2012; CLUB, 2013).

Tabela 3 - Cenários Avaliados em Cidades Hipotéticas

Parâmetro	Unidade	Cidade tipo 1 (3)	Cidade tipo 2
# de pontos de entrega	unidades	2.000	4000 (4)
# entregas/dia	entregas	1.000	2000 (4)
distancia média por entrega (1)	kms	8	12 (5)
custo fixo CDU	R\$/mês	15.000	30000 (6)
nível de congestionamento (2)	%	30%	55% (5)
velocidade média inicial	km/h	30	15 (5)
% caminhões	%	15%	30% (6)

(1) valor estabelecido para o cenário base. Esse parâmetro se torna variável nos cenários com CDUs.

(2) medido pela densidade de tráfego, definido pela relação entre o n. veículos/fluxo-km e a capacidade da via

(3) dados coletados em Curitiba, Brasil

(4) # pontos de entrega: Browne et al, 2005; entregas por dia estimado de acordo a relação: 1 entrega / cada 2 dias.

(5) velocidade média e distância entre entregas: Fortaleza, Brasil de CLUB- Centro de Logística do Brasil, 2013.

nível de congestionamento estimado de acordo a função $S = 60v^{-2}$ (equação 1).

(6) custo fixo CDU e % caminhões foram extrapolados com base a referência de Curitiba

Fonte: Autores

RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Os gráficos das figuras 5, 6, 7 e 8 apresentam os resultados das simulações para os dois indicadores de desempenho.

Política 2: Impacto negativo das restrições

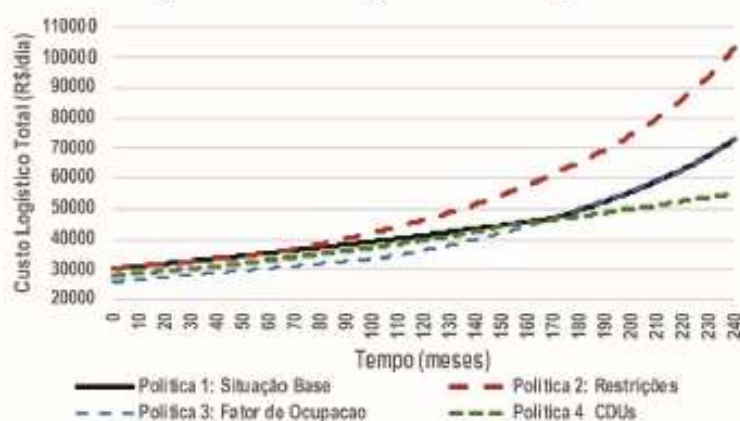
A restrição à circulação de veículos de cargas por meio de janelas de tempo (política 2), medida onde os caminhões são proibidos de circular em horários de grande movimento, é adotada em muitas cidades (Allen et al., 2012), e embora possa reduzir o congestionamento nas horas-pico, aumenta os custos logísticos nos cenários analisados (figuras 5 e 6). Esse aumento ocorre porque, com a diminuição do tempo disponível para os caminhões realizarem entregas, mais veículos são enviados para as ruas para realizar o mesmo número de entregas. Esse resultado é consistente com outras pesquisas (Yamada & Taniguchi, 2005; Meyer Sanches et al, 2013). O modelo assume que a circulação de caminhões é permitida entre as 10h e 17hs, horário similar

ao adotado na Cidade de São Paulo (São Paulo, 2008). O fator de ocupação de carga com essa política é reduzido em até 40% comparativamente ao cenário base. A simulação indica, portanto, um grande impacto das restrições para as empresas privadas, o que explica em parte a resistência que tal política enfrenta (Globo.com, 2016).

Com relação às emissões de GEE, a simulação indica que para a Cidade 1, as restrições geram um leve aumento nos níveis de emissões (figura 7), o qual, se somado ao benefício da redução dos veículos de carga nos horários críticos (não considerado no modelo), podem, em alguns casos, ter um efeito líquido positivo do ponto de vista ambiental, consistente com alguns estudos (Yamada & Taniguchi, 2005). Por outro lado, quando essa política é aplicada na Cidade tipo 2, as emissões apresentam um aumento de até 20% considerado com o cenário base (figura 8); e a política de restrições nesse caso não traz benefícios nem econômicos nem ambientais. Esse padrão se dá porque nas cidades onde o sistema de transporte não está saturado, os veículos já estão trabalhando mais próximos de sua capacidade, e a diminuição da janela de entregas impacta menos o número de entregas que cada caminhão pode fazer; no caso de cidades com trânsito intenso, o caminhão está operando em um nível sub ótimo; nesse caso a introdução das restrições de horários agrava essa situação.

Nota-se que nos gráficos da Cidade 2, tanto para o cenário base como para o cenário das restrições há um crescimento exponencial (tanto nos custos logísticos como nas emissões) seguido por um crescimento linear. Esse padrão se dá porque o modelo inclui a premissa que ao atingir o nível de 95% de densidade de tráfego, o poder público tende a aumentar a capacidade das vias, principalmente devido às pressões da população (Steman, 2000).

Figura 5 - Custos Logísticos Cidade tipo 1



Fonte: Resultados da Simulação

Figura 6 - Custos Logísticos Cidade tipo 2

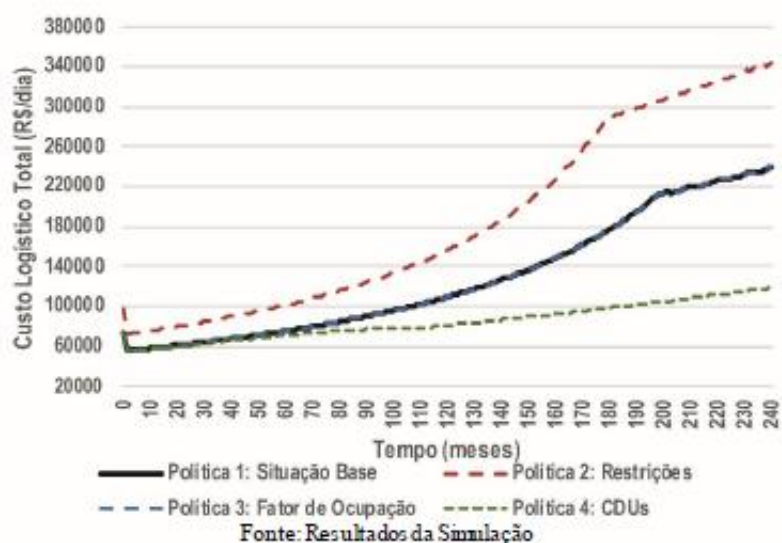


Figura 7 - Emissões GEE Cidade tipo 1

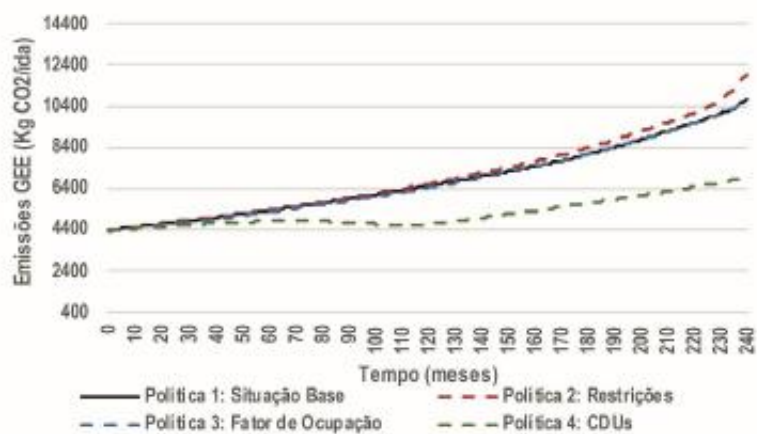
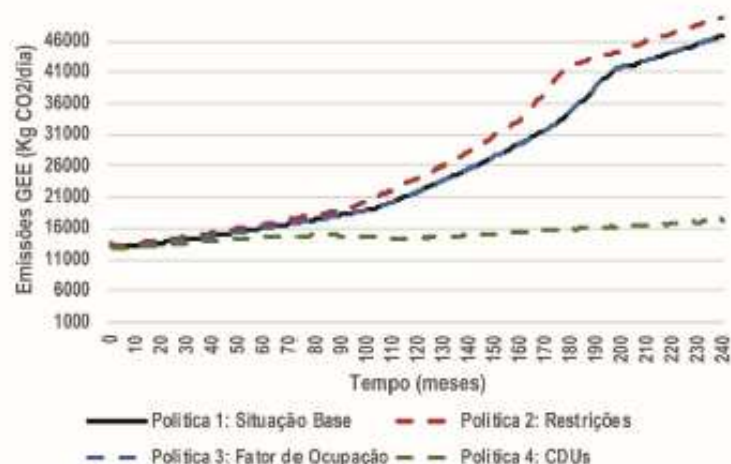


Figura 8 - Emissões GEE Cidade tipo 2



Fonte: Resultados da Simulação

Política 3: Aumento do fator de ocupação de carga

A premissa dessa política é que cada empresa busca a otimização das rotas e o aumento do fator de ocupação de carga através de um melhor planejamento e do uso de ferramentas de roteirização (Jaller et al., 2015). O modelo utiliza uma linha base de 70% de ocupação, que chega a 80% com a utilização dos CDUs e a 90% com melhoras no planejamento. Os números adotados são conservadores já que a literatura destaca casos com linha base de 45% de ocupação subindo até 70% com a utilização dos CDUs (Browne et al., 2005).

De acordo com os resultados da simulação, essa solução permite a redução dos custos logísticos no curto prazo e na Cidade tipo 1 (figura 5), no entanto, não é robusta, pois quando o nível de congestionamento atinge níveis críticos, os custos logísticos atingem valores maiores que no caso base. Isso acontece porque, com níveis críticos de congestionamento, não é possível aumentar o número de entregas com um mesmo caminhão pois não haveria tempo hábil para realizar tais entregas. Um possível cenário onde a consolidação de carga poderia ser sustentável no longo prazo, é quando há colaboração entre empresas (Yang & Odani, 2006) e um mesmo caminhão realiza entregas de várias empresas no mesmo percurso.

Política 4: Implantação dos CDUs.

A adoção dos CDUs é a única política que supera o caso base no longo prazo (240 meses). A principal razão é que a introdução dos CDUs muda a estrutura da rede de distribuição, reduzindo as distâncias que os caminhões percorrem para realizar as entregas.

A simulação para a Cidade tipo 2 (figura 6) mostra redução de 8 a 10% nos custos com relação ao caso base nos primeiros 4 anos, chegando a 35% no ano 10 e 60% de redução no ano 20. A velocidade média nas vias no ano 20 passa de 8 km/h no caso base para 16 km/h com os CDUs. Os resultados para a Cidade tipo 1, no entanto, não são tão consistentes (figura 5): nos primeiros 4 anos, são semelhantes a Cidade 2, mas os benefícios continuam abaixo de 10% até o ano 15, sendo que o máximo de redução é de 25%. Soma-se a isso o fato que a política 3 - a melhora do fator de ocupação - tem desempenho melhor nesse caso, até o ano 15.

Com relação às emissões, a utilização de CDUs supera todas as outras políticas mesmo em cidades com níveis de congestionamento baixo (Cidade 1) e inclusive no curto prazo (figura 7); isso se dá porque a redução do custo de transporte é compensada pelo custo adicional de operar os CDUs, no entanto, para as emissões não há essa contrapartida e toda a redução contribui para diminuir as emissões. Isso indica que a adoção dos CDUs, se analisada com uma visão integrada que considere também os aspectos ambientais, terá maiores chances de ser implementada. Finalmente, na Cidade 2, nota-se que a política de CDUs reduz a necessidade de investimentos em infraestrutura (figura 8), o que representa um benefício adicional não computado explicitamente no modelo.

Procedimento Proposto para a replicação do modelo

A seguir se propõe um procedimento (figura 9) para a aplicação do modelo, que contém três passos 1) coleta de dados de cidade específica; 2) atualização dos parâmetros e corrida do modelo de simulação e; 3) análise dos resultados para a cidade específica. Denomina-se essa primeira etapa do procedimento de Simulação Estratégica, pois tem o objetivo de modelar o sistema de logística urbana, analisando o comportamento dos vários subsistemas descritos anteriormente.

Adicionalmente, propõe-se uma segunda etapa no procedimento, que não foi tratada em detalhe neste artigo, mas que se identifica como oportunidade para futuras pesquisas, a qual denomina-se Simulação Operacional, que tem o objetivo de avaliar a modelo de negócio e viabilidade financeira de um CDU específico e inclui três passos adicionais: 4) coleta de dados de um CDU específico; 5) construção e corrida do modelo de simulação; e 6) análise dos resultados e conclusão sobre a viabilidade financeira do CDU.

Figura 9 - Procedimento proposto para aplicação do modelo.



Fonte: Autores

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desafios no curto prazo.

O modelo contribuiu para gerar novos *insights* com relação aos CDUs. Em qualquer dos cenários simulados, os benefícios no curto prazo, de 1 a 2 anos são difíceis de atingir, pois outras políticas como o aumento do fator de ocupação de carga - embora precisem ser lideradas pelo setor privado - podem gerar resultados mais imediatos, isso ajuda a explicar alguns dos problemas que os gestores públicos têm para justificar os projetos de CDUs.

Visão de Longo Prazo.

Outra conclusão importante – essa favorável aos CDUs – é que no longo prazo os CDUs oferecem uma solução robusta, retardando a saturação da infraestrutura e evitando a necessidade de novos investimentos, e esse comportamento se dá especialmente em cidades que já possuem uma atividade logística mais intensa. A justificativa é que a introdução dos CDUs é a única solução que muda a rede logística, reduzindo as distâncias que os caminhões circulam para realizar as entregas. Outras políticas ou intervenções buscam limitar viagens (política 2) ou otimizar rotas (política 3) e embora possam atingir certo grau de eficiência no

curto prazo, em situações extremas são difíceis de manter e podem gerar efeitos colaterais, como o caso das restrições de caminhões, que fazem com que mais veículos sejam necessários. Essa é provavelmente a principal contribuição do presente trabalho.

Características das Cidades.

As simulações mostram também que há uma correlação direta entre as características de cada cidade e os benefícios das políticas de logística urbana. Essa conclusão se alinha a casos reais, por exemplo, na cidade de São Paulo, onde os níveis de congestionamento são críticos e onde restrições já foram implementadas, o município lançou um programa piloto de entregas noturnas (CET, 2017), que pode ser o primeiro passo para viabilizar os CDUs. A Cidade de Curitiba por outro lado, que representa um nível médio de congestionamento e logística menos intensa, implementou medidas de restrições de carga (Globo.com, 2016), mas tem enfrentado barreiras para a implementação de CDUs (IDB, 2013), pela dificuldade de provar seus benefícios.

Localização dos CDUs.

O modelo permite concluir também que a localização dos CDUs é um fator chave e a configuração da rede de CDUs deve buscar reduzir as distâncias percorridas pelos veículos, pois essa é a variável mais sensível nos cenários simulados, corroborando a conclusão de outros autores (Crainic et al., 2004; Muñuzuri et al., 2012; Villamizar et al., 2014).

Parcerias público-privadas.

A literatura e as simulações mostram que o sucesso das políticas de logística urbana não dependem apenas do setor público (como o caso da consolidação de carga), mas que em contraparte, dificilmente são aplicadas apenas pelo setor privado (como no caso dos CDUs), por isso as parcerias público-privadas têm surgido em vários países como solução para a logística urbana (Panero & Shin, 2011). Neste contexto, uma vez definido que no longo prazo os CDUs podem contribuir aos objetivos buscados, a discussão não deveria centrar-se na sustentabilidade financeira sem dependência do poder público; mas sim em qual o melhor modelo de parceria público-privada para gerenciá-los. Por isso, na segunda etapa do procedimento se propõe incluir uma avaliação dos fundamentos operacionais, financeiros e do nível de participação pública e privada que cada CDU deve ter, antes de decidir sobre sua implantação.

Modelo e procedimento.

A utilização de dinâmica de sistemas permitiu internalizar variáveis-chaves na compreensão mais ampla do sistema e testar vários cenários por um período longo, contrapondo outros modelos que avaliam os resultados ou de maneira estática ou no curto prazo. A incorporação da política de gestão de estoque, por sua vez, contribuiu para entender os modelos de decisão em relação às frotas, bem como definir o ritmo de implantação e o número de CDUs para atingir o equilíbrio.

O modelo proposto e o procedimento para sua implantação são de fácil aplicação e não exigem grande quantidade de dados, que podem ser obtidos através de pesquisas em base de dados existentes (e.g. número de empresas), entrevistas à empresas (e.g. número de entregas semanais, tamanho dos lotes, distância entre entregas, etc.) ou através de coleta de dados em campo (e.g. velocidade média e densidade de tráfego). Na ausência de dados podem-se utilizar parâmetros de outras cidades, devidamente ajustados e calibrados através de análises de sensibilidade.

Limitações e simplificações do modelo e futuras pesquisas.

O objetivo do modelo é oferecer uma ferramenta estratégica para que os gestores públicos analisem alternativas de políticas em logística urbana, com pouco esforço de coleta de dados; não tendo a pretensão de ser uma ferramenta de previsão, mas sim de apoio para a compreensão do sistema que possa guiar decisões de políticas públicas. Reconhece-se, no entanto, que conforme os projetos de CDUs avançam, análises mais detalhadas são necessárias, e futuras pesquisas podem incluir o desenvolvimento de um modelo de micro simulação para analisar os resultados financeiros do CDU, tomando em conta diferentes esquemas de gestão, seja público, privado ou público-privado.

Durante o processo de modelagem, algumas simplificações foram feitas: no caso específico das restrições de circulação, o modelo não reflete as diferentes variações a essa política, que podem incluir, por exemplo, flexibilidade de circulação para caminhões menores de 3 toneladas (Meyer Sanches et al, 2013); algumas dessas flexibilizações podem reduzir os impactos ao setor privado e torna-las mais atrativas. Por outro lado, alguns potenciais benefícios dos CDUs não foram incluídos, como por exemplo a utilização de veículos elétricos (Verlinde et al, 2014), a redução de tempos de carga e descarga, e a provisão de serviços de valor agregado (Browne et al, 2005; Allen et al, 2012). Embora possam contribuir para aumentar os benefícios e mudar as decisões de políticas públicas, entende-se que esses benefícios dependem de particularidades de cada caso e por isso optou-se por modelar cenários mais gerais, cujas conclusões possam ser

aproveitadas com uma perspectiva mais ampla, isso, no entanto não limita que futuras versões do modelo possam incluir essas variações o que se poderia fazer com relativamente pouco esforço de modelagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbas, K. A., & Bell, M. G. (1994). System dynamics applicability to transportation modeling. *Transport Research Part A: Policy and Practice*, 28(5), 373-390.
- Allen, J., Browne, M., Woodburn, A., & Leonardi, J. (2012). The role of urban consolidation centres in sustainable freight transport. *Transport Reviews*, 32(4), 473-490.
- Allen, J., Browne, M., Woodburn, A., & Leonardi, J. (2014). A review of urban consolidation centres in the supply chain based on a case study approach. *Supply Chain Forum*, 15(4), 100-112.
- Anand, N., Quak, H., Van Duin, R., & Tavasszy, L. (2012). City logistics modeling efforts: trends and gaps-a review. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 39, 101-115.
- Angerhofer, B.J., & Angelides, M.C. (2000). System dynamics modelling in supply chain management: research review. *Winter Simulation Conference Proceedings*. IEEE Conferences, 1(1), 342-351.
- Browne, M., Allen, S., Andersen, S., Woodburn, A., Taniguchi E., & Thompson, R. G. (2005). Urban freight consolidation centres. *Recent Advances in City Logistics* (253-265), Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- Button, K. J., & Pearman, A. D. (1981). *The economics of urban freight transport*. New York: Holmes & Meier.
- CET- Companhia de Engenharia de Tráfego (2015). *Programa de Entrega Noturna. Projeto Piloto*, Recuperado em 30 de julho de 2017, de <http://www.cetsp.com.br/consultas/caminhoes/programa-de-entrega-noturna/projeto-piloto.aspx>.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2004). *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation* (6,1). Prentice Hall.
- CLUB - Centro de Logística Urbana do Brasil (2013). *Debates sobre Logística Urbana Brasileira*, Banco Mundial.
- Combes, F. (2014). An empirical evaluation of the EOQ model of choice of shipment size in freight transport. *Transportation Research Record*.
- Comi, A., Delle Site, P., Filippi, F., & Nuzzolo, A. (2012). Urban freight transport demand modelling: a state of the art. *European Transport*, 51.

- Craic, T.G., Nicoletta, R., & Storchi, G. (2004). Advanced freight transportation system for congested urban areas. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 12(2), 119-137.
- Craic, T.G., Ricciardi, N., & Storchi, G. (2009). Models for evaluating planning city logistics systems. *Transport Science*, v. 43, n. 4, p. 432-454.
- Dablanc, L. (2007). Goods transport in large European cities: difficult to organize, difficult to modernize. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(3), 280-285.
- Fazel, F. (1997). A comparative analysis of inventory costs of JIT and EOQ purchasing. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 27(8), 496-504.
- FHA-Federal Highway Administration (2008). *Freight benefit/cost study: phase iii - analysis of regional benefits of highway-freight improvements*; Office of Freight Management and Operations. Recuperado em 30 de outubro de 2017, de https://ops.fhwa.dot.gov/freight/freight_analysis/econ_methods/freight_cba_study/freight_cba_phase3.pdf.
- Figliozzi, M. A. (2007). Analysis of the efficiency of urban commercial vehicle tours: data collection, methodology and policy implications. *Transportation Research Part B*, 41, 1014-1032.
- Geroliminis, N., & Daganzo, C. F. (2007). *Existence of urban-scale macroscopic fundamental diagrams: some experimental findings*. University of California Berkeley Center for Future Urban Transport, Berkeley, USA.
- Guhano, G. & Dablanc, L. (2013). Approaches to managing freight in metropolitan areas. *City Logistics Research: A Transatlantic Perspective. EU-US Transportation Research Symposium No. 1*.
- Globo.com (2016). *Limite de peso para tráfego na Linha Verde sobe para dez toneladas*. Recuperado em 20 de novembro de 2017, de <http://g1.globo.com/pr/parana/transito/noticia/2016/07/limite-de-peso-para-trafego-na-linha-verde-sobe-para-dez-toneladas.html>.
- Goodman, R.W. (2005). Whatever you call it, just don't think of last-mile logistics. *Global Logistics and supply chain strategies*, 1-5.
- Holguín-Veras, J. & Friesz, T. L. (2005). Dynamic game-theoretic models of urban freight: formulation and solution approach. *Methods and Models in Transport and Telecommunications: Cross Atlantic Perspectives*, 143-161.

- Holguín-Veras, J., Pérez, N., Cruz, B. & Polimeni, J. (2006). On the effectiveness of financial incentives to off-peak deliveries to Manhattan restaurants. *Transportation Research Record*.
- Holguín-Veras, J., Silas, M., Polimeni, J. & Cruz, B. (2008). An investigation on the effectiveness of joint receiver-carrier policies to increase truck traffic in the off-peak hours. *Networks and Spatial Economics*, 8(4), 327-354.
- Holguín-Veras, J. & Patil, G. R. (2008). A multicommodity integrated freight origin-destination synthesis model. *Networks and Spatial Economics*, 8(2), 309-326.
- Holguín-Veras, J.; Wang, C., Browne, M., Hodge, S.D. & Wojtowicz, J. (2014). The New York city off-hour delivery project: lessons for city logistics. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 125, 36-48.
- Holguín-Veras, J.; Amaya-Leal, J., Wojtowicz, J., Jaller, M., González-Calderón, C., Sánchez-Díaz, I., Wang, X., Haake, D. G., Rhodes, S. S. & Hodge, S. D. (2015). Improving freight system performance in metropolitan areas: a planning guide. *NCFRP Report n. 38 Prepared for the Transportation Research Board*.
- Hunt, J. D. & Stefan, K. J. (2007). Tour-based microsimulation of urban commercial movements. *Transportation Research Part B*, 41(9), 981-1031.
- IDB-Inter-American Development Bank (2013). BR-T1165-*Support to Improve City Logistics Performance in Curitiba*. Recuperado em 3 de dezembro de 2016, de <https://www.iadb.org/en/project/BR-T1165>.
- IPPUC-Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (2014). *Estudo de Logística Urbana de Curitiba*. Recuperado em 2 de março de 2017, de <http://www.ippuc.org.br/mostrarpagina.php?pagina=327&idioma=1&liar=n%E3o>.
- Jaller, M., Sanchez, S., Green, J., & Fandiño, M. (2015). Quantifying the impacts of sustainable city logistics measures in the Mexico City Metropolitan Area, *The 9th International Conference on City Logistics*, Tenerife, Canary Islands (Spain), 17-19.
- Janssen, B. J. P. & Oldenburger, A. H. (1991). Product channel logistics and city distribution centers: The case of The Netherlands. *OECD Seminar on Future Road Transport Systems and Infrastructures in Urban Areas*, Chiba, Japan, 289-302.
- Janjevic, M.; Lebeau, P.; Ndiaye, A.B.; Machari, C. Van Mierlo, J. & Nsamzinshuti, N. (2015). Strategic scenarios for sustainable urban distribution in the Brussels capital. *The 9th International Conference on City Logistics*, Tenerife, Canary Islands (Spain), 17-19 June.
- Karato, K. & Sato, N. (2009). *The speed-density relationship: road traffic flow analysis with spatial panel data*, Faculty of Economics, University of Toyama. Graduate School of Public Policy, University of Tokyo.

- Kohler, U. (2004). New ideas for the city logistics project in Kassel. In *Logistics systems for sustainable cities: proceedings of the 3rd international conference on city logistics*, 321-332, Amsterdam: Elsevier.
- Lima Jr, O. F. (2004). *Desempenho em Serviços De Transportes: Conceitos, Métodos e Práticas*. Livre Docência, Faculdade De Engenharia Civil, Universidade de Campinas, Campinas, Brasil
- Lindhölm, M. (2013). Urban freight transport from a local authority perspective: a literature review. *Transporti Europei*, 54(3).
- Marcucci, E., & Daniele, R. (2008). The potential demand for an urban freight consolidation centre. *Transportation*, 35(2), 269-284.
- Meyer Sanches, L., Pinto, J.A., & Fontes, L.J. (2013). Freight vehicle circulation restriction policy in an emerging country metropolitan area: undesired impacts, *31st International Conference of the System Dynamics Society*. Cambridge, Massachusetts.
- Muñuzuri, J., Cortés, P., Onieva, L., & Guadix, J. (2010). Modeling peak-hour urban freight movements with limited data availability. *Computers & Industrial Engineering*, 59(1), 34-44.
- Muñuzuri, J., Cortés, P., Grosso, R., & Guadix, J. (2012) Selecting the location of minihubs for freight delivery in congested downtown areas. *Journal of Computational Science*, 3(4), 228-237.
- Ogden, K.W. (1992). *Urban Goods Movement: A guide to Policy and Planning*. Ashgate: Aldershot.
- Oliveira, L. K.; Nunes, N. T. R., & Novaes, A. G. N. (2010). Assessing model for adoption of new logistical services: an application for small orders of goods distribution in Brazil. *Procedia: Social and Behavioral Sciences*, 2(3), 6286-6296.
- Oppenheim, N. (1993). A combined, equilibrium model of urban personal travel and goods movements. *Transportation Science*, 27(2), 161-171.
- Panero, M., & Shin, H-S. (2011) *Urban distribution centers, a means to reducing freight vehicle miles traveled*. Nyu Rudin Center for Transportation Policy and Management.
- Quak, H., & De Koster, R. (2006). The impacts of time access restrictions and vehicle weight restrictions on food retailers and the environment. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 6(2): 131-150.
- Quak, H. & Tavasszy L. (2011). Customized solutions for sustainable city logistics: the viability of urban freight consolidation centres. In: *Anonymous Transitions Towards Sustainable Mobility* (p. 213-233). Springer.

- Van Duin, J.H.R., Quak, H., & Muñuzuri, J. (2010). New challenges for urban consolidation centres: a case study in Hague. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2(3), 6177-6188.
- Van Duin, J.H.R., Van Kokk, A., Anand, N., Tavasszy, L. A. & Taniguchi, E. (2012). Towards agent-based modelling approach for the evaluation of dynamic usage of urban distribution centres. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 39, 333 – 348.
- Verlinde, S., Macharis, C., Milan, L., & Km, B. (2014). Does a mobile depot make urban deliveries faster, more sustainable and more economically viable? results of a pilot test in Brussels. *Transportation Research Procedia*, 4, 361–373.
- Visser, J.; van Binsbergen, A., & Toshimori, N. (1999). Urban freight transport policy and planning. *1st International Symposium on City Logistics*. Cairns, Australia.
- Visser, J., Nemoto, T. & Browne, M. (2014). Home delivery and the impacts on urban freight transport: a review. *Procedia-social and behavioral sciences*, 125, 15-27.
- Villamizar, A. F. M., Torres, J. R. M., & Padilla, N. H. (2014). Mathematical programming modeling and resolution of the location-routing problem in urban logistics. *Ingenieria y Universidad*, 18(2), 271-289.
- Welevreden, J.W. (2008). B2C e-commerce logistics: the rise of collection-and-delivery points in the Netherlands. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 36(8), 638-660.
- Wisetjindawat, W., Sano, K., Matsumoto, S., & Raothanachonkun, P. (2007). Microsimulation model for modelling freight agents interactions in urban freight movement. *Proceedings of TRB 2007 Annual Meeting*, Washington DC.
- Wolpert, S. & Reuter, C. (2012). Status quo of city logistics in scientific literature: a systematic literature review. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2269, 110-116.
- Yamada, T. & Taniguchi, E. (2005). Modelling the effects of city logistics schemes. In E. Taniguchi & R. G. Thompson (Eds.), *Recent Advances in City Logistics – Proceedings of the 4th International Conference on City Logistics* (p. 75-89). Kidlington, Oxford, UK: Elsevier Ltd.
- Yang, D. & Odani, M. (2006). Analysis on movement of profit for the partner companies in joint delivery system. *Proceedings of Infrastructure Planning*, 33, 327.

Submissão: 6 Sep. 2017

Received: Sep. 6th 2017

Aceite: 6 Aug. 2018

Accepted: Aug. 6th 2018