PATRÍCIA FAIAS LARANJEIRO DE ANDRADE

A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE GPS DE RASTREAMENTO DE VEÍCULOS PARA
EXTRAIR INDICADORES OPERACIONAIS DO TRANSPORTE URBANO DE
CARGAS: ESTUDO DE CASO NO BRASIL

SÃO PAULO

2019

PATRÍCIA FAIAS LARANJEIRO DE ANDRADE

A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE GPS DE RASTREAMENTO DE VEÍCULOS PARA
EXTRAIR INDICADORES OPERACIONAIS DO TRANSPORTE URBANO DE
CARGAS: ESTUDO DE CASO NO BRASIL

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração:
Engenharia de Sistemas Logísticos

Orientador:
Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha

SÃO PAULO

2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Faias Laranjeiro de Andrade, Patrícia

A utilização de dados GPS de rastreamento de veículos para extrair indicadores operacionais do transporte urbano de cargas: estudo de caso no Brasil / P. Faias Laranjeiro de Andrade -- versão corr. -- São Paulo, 2019. 120 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

1.Dados GPS 2.Rastreamento de veículos 3.Transportes urbano de cargas 4.City logistics I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes II.t.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 - pela concessão de bolsa de mestrado e pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

“A mente que se abre a uma nova ideia, jamais volta ao tamanho original.”

Albert Einstein

RESUMO

Esta pesquisa propõe uma abordagem genérica de processamento de dados de rastreamento de veículos de carga com a finalidade de extrair indicadores de desempenho logístico no contexto urbano. Tais indicadores são importantes para caracterizar como as operações logísticas se desenvolvem nas cidades e subsidiar o processo de tomada de decisão dentro do âmbito do planejamento urbano de cargas, por parte do poder público. Esta abordagem é aplicada a três bases de dados - para a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) - obtidas junto a empresas privadas distintas, sendo duas grandes redes varejistas e a terceira uma provedora de serviços de mapas. Apesar de algumas limitações nos dados disponíveis, foi possível identificar paradas dos caminhões e analisar suas características, como: distribuição espacial e temporal, frequência de paradas por veículo, a localização de *clusters* de paradas etc. Além disso, foi possível classificar do os veículos que circulam na cidade distinguindo a parcela que corresponde ao “fluxo de passagem”, veículos que estão apenas cruzando a cidade (São Paulo) e, por fim, apresentou-se também um estudo do perfil de velocidades – por hora e dia da semana - em uma importante via arterial de São Paulo. Os resultados e análises desta pesquisa reforçam que há grande potencial na utilização de dados de rastreamento de veículos de carga no contexto do planejamento de transporte urbano de cargas, embora este dependa em parte de algumas especificidades dos dados, como a frequência dos registros, a precisão da posição geográfica coletada, além da necessidade de um processamento otimizado devido ao grande volume de dados.

Palavras-chave: dados GPS, rastreamento de veículos, transporte urbano de cargas, *city logistics*.

ABSTRACT

The purpose of this research is a general approach for processing tracking data of cargo vehicles in order to extract logistic performance indicators in the urban scenario, essential to characterize how logistic operations are developed and support the decision-making process within the scope of urban freight planning by the public sector. This approach is applied to three data bases - for the São Paulo Metropolitan Region (SPMR) - acquired from different private companies, being two large retailers and the third a great mapping services provider. In spite of available data limitations, it was possible to identify truck stops and analyze its particulars, such as: spatial and temporal distribution, stop frequency per vehicle, the location of stop clusters, etc. Apart from that, it was possible to classify among the flow of vehicles in the city, the ones that are just passing, crossing the city, and ultimately, it was presented a speed profile analysis – per day and week day – of an important arterial way of São Paulo. The results and analysis of this research reinforce that there is great potential in the use of cargo vehicle tracking data for urban freight planning, even though it partially depends on some data specifics, such as frequency of records, location accuracy, besides the need of an optimized data processing due to their great volume.

Keywords: GPS data, vehicle tracking, urban freight, city logistics.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Contexto.....	1
1.2	Relevância do problema	2
1.3	Objetivo.....	3
1.4	Organização do trabalho.....	4
2	PLANEJAMENTO DE TRANSPORTE URBANO DE CARGAS.....	6
2.1	Formulação do problema	11
2.2	Formas de coleta de dados.....	13
2.3	Soluções	17
2.3.1	<i>Considerações sobre o cenário brasileiro.....</i>	<i>22</i>
2.4	Avaliação das soluções.....	24
3	USO DE DADOS GPS DE RASTREAMENTO DE VEÍCULOS EM ESTUDOS DE TRANSPORTE URBANO DE CARGAS.....	27
4	DADOS, ABORDAGEM PROPOSTA E ÁREA DE ESTUDO.....	40
4.1	Descrição geral dos dados utilizados.....	40
4.2	Abordagem	42
4.2.1	<i>Definição dos indicadores operacionais a serem calculados.....</i>	<i>45</i>
4.2.2	<i>Pré-processamento dos dados.....</i>	<i>48</i>
4.2.3	<i>Processamento dos dados</i>	<i>53</i>
4.3	Estudo de caso: São Paulo.....	61
5	RESULTADOS E ANÁLISES.....	66
5.1	Identificação e caracterização das paradas	67
5.1.1	<i>Validação da abordagem de identificação de paradas</i>	<i>67</i>
5.1.2	<i>Frequência de paradas - Base de dados B.....</i>	<i>68</i>

5.1.3	<i>Duração das paradas - Base de dados B</i>	<i>71</i>
5.2	Identificação do início e/ou fim da rota – Base de Dados B	75
5.3	Classificação do fluxo de veículos: fluxo de passagem x veículos entregando – Base de dados B	92
5.4	Caso de estudo: perfil de velocidades da Av. Jacu Pêssego	96
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	104
	REFERÊNCIAS	108
	ANEXO A – SOLUÇÕES EM TRANSPORTE URBANO DE CARGAS	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Tipos de informações levantadas a partir de cada forma de coleta de dados	16
Tabela 2.2 – Resumo das iniciativas relacionadas à logística urbana	21
Tabela 3.1 – Estudos separados por país onde foi realizado e ano de publicação...	28
Tabela 3.2 – Quadro-resumo dos trabalhos com aplicações de dados GPS à estudos de transporte de cargas	37
Tabela 4.1 – Caracterização das bases de dados GPS	42
Tabela 4.2 – Indicadores de desempenho logístico	47
Tabela 4.3 - Categorias de paradas em função da duração	60
Tabela 4.4 – Processamento dos dados GPS abordados nesta pesquisa.....	60
Tabela 5.1 – Classes em função da duração da parada	81
Tabela 5.2 – Quantidade de <i>clusters</i> por classe e localização (dentro e fora de São Paulo).....	82
Tabela 5.3 – <i>Clusters</i> validados	83
Tabela 5.4 – Ranking das 20 zonas OD com maior quantidade de <i>clusters</i>	90
Tabela 5.5 - Quantidade de <i>clusters</i> por município	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Agentes do transporte urbano de cargas	8
Figura 2.2 – Estrutura de tomada de decisão no processo de planejamento de transportes	10
Figura 2.3 – Tipos de impactos e problemas gerados pelo transporte urbano de cargas	12
Figura 2.4 – Relação entre características e impactos negativos do transporte urbano de cargas	12
Figura 4.1 - Abordagem proposta para uso de dados GPS em estudos de transporte urbano de cargas	43
Figura 4.2 – Fase 1 do <i>Data Cleaning</i>	49
Figura 4.3 - Fase 2 do <i>Data Cleaning</i>	50
Figura 4.4 – Histograma de velocidades calculadas [km/h] – Base B.....	52
Figura 4.5 – Cálculo de T_{acum} para determinação das paradas.....	56
Figura 4.6 Avaliação do status da ignição das paradas identificadas pelo algoritmo (a) e avaliação dos registros com ignição desligada que foram identificados como paradas (b).....	58
Figura 4.7 – Municípios da RMSP com destaque para a cidade de São Paulo	61
Figura 4.8 - Zona Máxima de Restrição de Circulação (ZMRC) e VER - SP	63
Figura 5.1 – Status da ignição referente às paradas identificadas (a) e percentual dos registros de ignição desligada classificados como paradas pelo algoritmo (b)...	68
Figura 5.2 – Frequência de paradas por caminhão [Total no período – 5 dias] - RMSP	69
Figura 5.3 – Distribuição de paradas por dia da semana e hora do dia – Base de dados B – RMSP.....	70
Figura 5.4 – Distribuição de veículos por dia da semana e hora do dia – Base de dados B - RMSP.....	70
Figura 5.5 – Histograma de paradas por tempo de parada [hora] - RMSP	72
Figura 5.6 – Quantidade de paradas por tempo total parado [hora] - RMSP	72

Figura 5.7 – Duração média das paradas vs. Número de paradas por veículo.....	73
Figura 5.8 – Tempo médio de parada vs. N de paradas – dentro e fora de São Paulo	74
Figura 5.9 – Localização dos <i>clusters</i> por número mínimo de paradas	76
Figura 5.10 – Localização dos <i>clusters</i> por número mínimo de paradas (zoom)	77
Figura 5.11 – Localização dos <i>clusters</i> [15 ou mais paradas por <i>cluster</i>]	79
Figura 5.12 – Localização das paradas agrupadas em <i>clusters</i> [15 ou mais paradas por <i>cluster</i>].....	80
Figura 5.13 – Base dos Correios.....	83
Figura 5.14 – Localização dos <i>clusters</i> validados dentro (a) e fora (b) de São Paulo	84
Figura 5.15 – Densidade de <i>cluster</i> por zona OD	87
Figura 5.16 – Mapa temático em função da quantidade de <i>clusters</i> por zona OD	88
Figura 5.17 – Mapa temático em função da quantidade de <i>clusters</i> por zona OD (zoom)	89
Figura 5.18 – Localização das paradas não-clusterizadas.....	91
Figura 5.19 – Número de caminhões com e sem paradas em São Paulo	92
Figura 5.20 - Registros GPS dos caminhões sem paradas em São Paulo (Base de dados B).....	94
Figura 5.21 - Registros GPS dos caminhões com paradas dentro da RMSP (Base de dados B)	95
Figura 5.22 - Trecho da Av. Jacu Pêssego selecionado – localização micro	97
Figura 5.23 - Trecho da Av. Jacu Pêssego selecionado – localização macro.....	98
Figura 5.24 – Perfil de velocidade – 06/10/2014 (Segunda)	99
Figura 5.25 – Perfil de velocidade – 07/10/2014 (Terça).....	100
Figura 5.26 – Perfil de velocidade – 08/10/2014 (Quarta).....	100
Figura 5.27 – Perfil de velocidade – 09/10/2014 (Quinta)	100
Figura 5.28 – Perfil de velocidade – 10/10/2014 (Sexta).....	101
Figura 5.29 – Quantidade de caminhões registrados por hora – Base B	102

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

Desde 1990, as populações têm ocupado cada vez mais áreas urbanas em todo o mundo - 54% em 2015 - e a tendência é que este percentual continue crescendo (ONU, 2016). Além do seu tamanho populacional, tais aglomerações também se tornam mais importantes devido à sua influência econômica, sociocultural, ambiental e política.

Neste contexto, torna-se cada vez mais necessário o planejamento urbano dessas áreas, sendo a Mobilidade Urbana um dos seus pilares. Em 2012, a Lei 12.587 instituiu a Política Nacional de Mobilidade Urbana no Brasil, que estabelece os objetivos e diretrizes para a elaboração de normas municipais, com o intuito de melhorar a qualidade dos deslocamentos de pessoas e cargas nas cidades (Secretaria Nacional de Mobilidade Urbana, 2017).

O fato de esta Lei citar o transporte de cargas mostra uma evolução no sentido de não restringir a mobilidade urbana apenas ao deslocamento de pessoas, dado que a carga tem um papel crítico na qualidade e eficiência dos sistemas de transporte urbano, conforme pontuado por Figliozi (2007).

Podem-se citar como características do transporte de cargas nos grandes centros urbanos: as atuais práticas de produção e distribuição, baseadas em baixos níveis de estoque e na pontualidade das entregas, o aumento do comércio eletrônico (*e-commerce*) e o crescimento de comunidades carentes (também conhecidas como “favelas”), onde o abastecimento de mercadorias e entregas a domicílio é ainda mais complexo.

Neste âmbito, precisam ser desenvolvidas soluções de logística urbana, sendo que estas podem ser aplicadas pelo Poder Público e/ou pelo setor privado. Entretanto, para que quaisquer iniciativas sejam eficazes e abrangentes, é imprescindível que se entenda o comportamento da logística urbana, no sentido de

otimizar os benefícios de tais políticas a todos os agentes envolvidos (poder público, setor privado e sociedade).

Para tanto, são necessários modelos de transporte, que envolvem a integração de dados espaço-temporais de múltiplas fontes, a partir dos quais são determinados indicadores de desempenho do sistema (tempos de deslocamento e tempos de parada, por exemplo), além de prover informações essenciais na construção de modelos de comportamento do sistema representativos (Smith e Ehmke, 2016).

A obtenção dessas informações pode se dar de diversas formas, porém a maioria delas consiste em algum tipo de pesquisa realizada através de observação em campo ou entrevistas (Allen et al., 2012), sendo que estas requerem um investimento considerável e são demasiadamente demoradas (McCabe et al., 2004).

Entretanto, com o avanço da tecnologia abriu-se um novo leque de possibilidades de estudos que não era possível na década passada. Especificamente na área de logística urbana, podemos citar a popularização do uso de dispositivos GPS (*Global Position System*) para rastreamento de veículos de carga.

Embora o seu uso inicial ocorresse no sentido de gerenciamento de segurança, foi identificado um potencial para extrair informações que possibilitem uma otimização das operações logísticas de uma empresa e, ainda, informações que subsidiem o planejamento de políticas de mobilidade urbana de carga.

Além disso, os dados de GPS podem facilmente serem coletados para um período extenso, que aliado à popularização dos dispositivos e seu menor custo, têm contribuído para tornar cada vez mais comum o uso deste tipo de dados para fins de planejamento de transportes (Sharman e Roorda, 2010).

1.2 Relevância do problema

Decisões baseadas em análises estatísticas (ou modelos derivados destas) são determinantes na melhoria do desempenho dos sistemas futuros de transporte urbano de cargas (Smith e Ehmke, 2016). Portanto, é essencial que se aprimorem

tais modelos de transporte que subsidiam tais decisões (do setor público principalmente), o que engloba garantir que as informações que alimentam esses modelos sejam cada vez mais precisas e facilmente adquiridas.

A mobilidade urbana de carga, que tem por objetivo garantir a otimização dos fluxos de carga nas cidades, é um desafio cada vez maior devido às complexidades encontradas nas cidades modernas (Benjelloun e Crainic, 2009). Adicionalmente, pode-se dizer que é um campo de pesquisa ainda não consolidado (Regan e Garrido, 2001), aspecto que pode ser comprovado pelo fato de os planos de mobilidade urbana terem recentemente começado a incluir diretrizes relacionadas a logística e transporte urbano de cargas e, ainda, de forma superficial e incipiente, conforme constatado por diversos autores, como Allen et al. (2000a) e Lindholm e Behrends (2012).

Nesta pesquisa considera-se que o “transporte urbano de cargas” abrange todas as movimentações de cargas que tem origem e/ou destino dentro de uma área urbana em estudo, ou ainda aquelas cujo transporte utilize vias desta área urbana, sendo estas viagens são consideradas como fluxo de passagem, ou seja, veículos de carga cuja trajetória inclui parte da rede viária de uma região urbana, embora estes não realizem nenhuma atividade de carga ou descarga nesta área.

Neste âmbito, este trabalho busca contribuir para o planejamento de transporte urbano de cargas, explorando o uso de dados de rastreamento de veículos de carga para extrair informações sobre as operações de logística urbana, de modo que estas possam ser utilizadas em modelos que subsidiem melhores decisões associadas à mobilidade da carga nas cidades, principalmente no âmbito público.

1.3 Objetivo

Esta pesquisa visa contribuir para o campo de estudos de transporte urbano de cargas que utilizam dados de rastreamento, buscando identificar quais informações, que permitam entender melhor o comportamento da logística urbana, podem ser extraídas a partir de tais dados, assim como os processamentos necessários para tal, suas dificuldades e limitações. Em particular, a pesquisa

propõe e aplica uma abordagem para identificação de paradas associadas a atividades de carga e/ou descarga e busca caracterizar como tais atividades se desenvolvem na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Os objetivos específicos são:

- a) Identificar os problemas típicos e mais relevantes advindos do transporte urbano de cargas;
- b) Identificar e avaliar as formas de coletas de dados para aplicação em estudos de transporte urbano de cargas;
- c) Identificar os indicadores de desempenho logístico - que podem ser usados para avaliar o comportamento do transporte urbano de cargas – que são passíveis de serem obtidos (ou não) a partir de uma base de dados de rastreamento e suas limitações em função das características dos dados (período, precisão, intervalo entre registros, etc.);
- d) Propor uma abordagem para identificação e classificação de paradas associadas a atividades de carga e/ou descarga, incluindo tratamento e processamento de dados de rastreamento de veículos de carga, buscando generalizá-la de forma que a mesma possa ser replicada a estudos similares em quaisquer outras cidades, brasileiras ou não;
- e) Aplicar a abordagem proposta às três bases de dados GPS obtidas de empresas distintas (duas grandes redes varejistas e uma provedora de mapas online) e analisar os resultados desta aplicação com foco na RMSP, identificando suas vantagens, limitações e possibilidades de melhoria.

1.4 Organização do trabalho

Esta seção apresenta uma descrição da organização e estrutura do presente trabalho. O capítulo 1 apresentou o contexto geral que motivou este trabalho, bem como a sua relevância e seus objetivos.

O capítulo 2 tem o intuito de contextualizar a questão do planejamento de transporte urbano de cargas, desde a formulação do problema, passando pelas

formas de coleta de dados para a construção e calibração de um modelo, até as possíveis soluções (iniciativas) encontradas na literatura e quais indicadores de desempenho logístico podem ser usados para avaliá-las.

No capítulo 3 apresentam-se as abordagens encontradas na literatura ligadas ao uso de dados coletados através de dispositivos GPS em estudos de transporte urbano de cargas, com o intuito de fornecer elementos para a definição da abordagem deste trabalho.

Os dados utilizados nesta pesquisa, assim como toda a abordagem metodológica proposta, incluindo os indicadores logísticos que podem ser obtidos através de dados de GPS, bem como o tratamento e processamento dos mesmos e a área de estudo explorada são detalhados no capítulo 4.

As análises e resultados obtidos a partir da aplicação da abordagem proposta nos dados disponíveis são apresentados no capítulo 5. Por fim, o capítulo 6 descreve as conclusões obtidas a partir desta pesquisa.

2 PLANEJAMENTO DE TRANSPORTE URBANO DE CARGAS

Este capítulo tem por finalidade apresentar o conceito de transporte urbano de cargas, seus elementos, agentes e termos correlatos relevantes para o entendimento desta pesquisa, além do processo de planejamento de transportes e o detalhamento de suas etapas, no sentido de contextualizar como o uso de dados de rastreamento de veículos pode contribuir neste.

Ainda não há um consenso sobre a definição exata do que seja ‘carga urbana’ (Ambrosini e Routhier, 2004) ou transporte urbano de cargas, sendo que os pesquisadores e especialistas da área têm entendimentos diferentes sobre este. Segundo o Departamento de Transportes dos EUA o transporte urbano de cargas é “a movimentação de coisas para dentro, para fora, através e dentro das áreas urbanas por todos os modos”. (Ogden, 1992)

Conforme Dablanc (1997) pode-se entender o transporte urbano de cargas como um sistema urbano composto pelas atividades que são necessárias para os deslocamentos de bens, produtos ou mercadorias no território urbano.

Segundo Alvarenga e Novaes (2000) é possível distinguir as atividades do sistema de cargas nas cidades basicamente em dois tipos de transporte: (i) a transferência, que consiste no deslocamento entre dois pontos exteriores à cidade, no qual geralmente a capacidade do veículo é completamente utilizada, ao contrário da (ii) distribuição ou entrega, caracterizada pelo atendimento a vários destinos em uma mesma viagem de um único veículo, ou a coleta de produtos em diversos estabelecimentos para um depósito central.

Cabe ainda citar outro termo, relevante para os estudos sobre a distribuição de mercadorias em meios urbanos: a “logística urbana”, do inglês “*urban logistics*”. Dablanc (2007) conceitua a “logística urbana” como qualquer prestação de serviço que contribua para uma gestão otimizada da circulação de mercadorias nas cidades.

A “logística” têm como escopo análises, planejamento e gerenciamento integrado dos fluxos de mercadorias e informações dentro de uma rede

potencialmente com múltiplos agentes. Neste âmbito, é importante tratar também do conceito de “*city logistics*”, apresentado por Taniguchi (2001), que consiste em:

“O processo de otimização total das atividades de transporte e logística por empresas privadas com o suporte de sistemas de informação avançados, levando em consideração o ambiente de tráfego, incluindo congestionamento e segurança, além da eficiência energética dentro do quadro de economia de mercado”.
(Tradução livre de Taniguchi et al., 2001)

Portanto, pode-se dizer que o “*city logistics*” engloba, além da logística urbana, outros fatores inerentes à complexidade do planejamento e da manutenção das cidades, que abrangem a infraestrutura logística (localização de terminais, vias de acesso, regulamentação apropriada das operações de carga por caminhões, vagas de carga e descarga, entre outras), além de outros aspectos, incluindo a segurança viária (Gwilliam, 2013); questões ambientais (ruído, emissões de gases, etc.) advindas da movimentação de cargas; otimização dos serviços e custos de transporte; entre outros (Ogden, 1992).

Nesse sentido, o conceito de “*city logistics*” enfatiza a importância do envolvimento e da colaboração de todos os agentes envolvidos, garantindo que as soluções propostas considerem os respectivos comportamentos e objetivos, que muitas vezes podem ser conflitantes. Como pode ser visto na Figura 2.1, esses agentes são: o embarcador, o transportador/operador logístico, a sociedade (cidadão) e o Poder Público (autoridades). Seus respectivos objetivos são assim resumidos por Taniguchi et al. (2007):

- a) Embarcador: redução do custo da cadeia de abastecimento;
- b) Transportador/Operador Logístico: conciliação da coleta e entrega de carga atendendo as restrições de janela de tempo;
- c) Sociedade (cidadão): redução do ruído e poluição, agilidade no trânsito, menor tráfego de veículos pesados nas vias etc.;
- d) Poder Público: emprego de sistema de transporte sustentável.

Nota-se, portanto, que o termo “*city logistics*” reforça a necessidade de uma visão sistêmica dos problemas associados a movimentação de cargas, especificamente no meio urbano. Cabe ressaltar que a maior parte da literatura sobre “*city logistics*” indica que ganhos significativos só podem ser alcançados através da otimização das atividades de distribuição que resultem em uma diminuição de veículos de carga circulando na cidade (Benjelloun e Crainic, 2009).

Figura 2.1 – Agentes do transporte urbano de cargas

Além disso, é válido citar outro termo que vem ganhando cada vez mais popularidade nos tempos recentes e entender qual a sua relação com o transporte urbano de cargas em si, a chamada “Mobilidade Urbana”.

Até o final da década de 1970, o conceito de mobilidade era predominantemente visto como uma questão de oferta de serviços de transporte, sendo o principal desafio, enfrentado pelos planejadores, definir uma oferta de infraestrutura compatível com a demanda de transporte, tanto para bens quanto para passageiros (Silva et al., 2008).

No entanto, o modo como as cidades e seus sistemas de circulação estão sendo planejados começou a mudar nas últimas décadas do século passado, que resultou no desenvolvimento de um novo conceito de mobilidade urbana. Este novo conceito baseia-se no pressuposto de que os problemas de mobilidade não são apenas uma consequência de um acesso físico limitado aos modos de transporte;

ao contrário, eles envolvem questões ambientais, econômicas, sociais e comportamentais (Silva et al., 2008).

O termo mobilidade indica tanto a disponibilidade e capacidade de movimento quanto o próprio movimento, sendo uma das suas dimensões a espacial. Assim sendo, pode-se dizer que a mobilidade urbana trata dos movimentos de pessoas e bens no meio urbano, além da própria capacidade e disponibilidade de movimentação em si (Wegener, 2013).

No contexto de planejamento no Brasil, a mobilidade urbana tem sido tratada como “um atributo das cidades, relativo ao deslocamento de pessoas e bens no espaço urbano, utilizando para isto veículos, vias e toda a infraestrutura urbana. Este é um conceito bem mais abrangente do que a forma antiga de tratar os elementos que atuam na circulação, de forma fragmentada ou estanque de administrar a circulação de veículos e não de pessoas” (Ministério das Cidades, 2005).

Segundo a Cartilha de Mobilidade Urbana elaborada pelo Ministério das Cidades (2017), através da Secretaria Nacional de Mobilidade Urbana, “o transporte é um importante instrumento de direcionamento do desenvolvimento urbano das cidades”. A Política Nacional de Mobilidade Urbana, instituída pela Lei 12.587 de 2012, estabelece entre seus princípios:

- a) Desenvolvimento sustentável das cidades, nas dimensões socioeconômicas e ambientais;
- b) Equidade no uso do espaço público de circulação, vias e logradouros;
- c) Eficiência, eficácia e efetividade na circulação urbana.

Ainda, entre as diretrizes apresentadas na Política Nacional de Mobilidade Urbana, com relação ao planejamento de transportes, cabe citar a “mitigação dos custos ambientais, sociais e econômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas na cidade”.

Dessa forma, nota-se que o transporte de cargas no meio urbano recentemente passou ser reconhecido como um dos aspectos envolvidos no

conceito da Mobilidade Urbana no Brasil, que até pouco tempo focava quase que integralmente no deslocamento de pessoas.

Fonte: Tradução livre de Ortúzar e Willumsen (2011)

Figura 2.2 – Estrutura de tomada de decisão no processo de planejamento de transportes

No que tange o processo de planejamento de transportes, Ortúzar e Willumsen (2011) apresentam uma estrutura de tomada de decisão racional (Figura 2.2) que se inicia pela formulação do problema, seguida pela coleta de dados que permite construir e calibrar um modelo, a partir do qual serão testadas soluções para que, finalmente, os resultados destes testes permitam uma avaliação das soluções propostas. E, por fim, a última etapa deste processo consiste na escolha de uma (ou mais) proposta(s) e sua implementação.

2.1 Formulação do problema

Segundo Benjelloun e Crainic (2009), o transporte de cargas causa transtornos à vida na cidade, visto que este também disputa a ocupação de vias e os locais de estacionamento, muitas vezes já saturados com os demais veículos (transporte de passageiros) que circulam na cidade, comprometendo a mobilidade urbana. Entretanto, os autores alertam que a distribuição urbana de mercadorias não deve ser resumida apenas aos impactos negativos que suas operações proporcionam à sociedade, pois é uma atividade que contribui para o seu desenvolvimento econômico e social, ao garantir que um produto produzido chegue ao local onde será consumido.

Allen et al. (2000) afirmam que é necessário ir além da compreensão das operações de transporte, a fim de buscar um melhor entendimento do sistema de transporte urbano de cargas. Os autores ressaltam que é preciso também entender os diversos fatores que influenciam a movimentação dos produtos e as necessidades dos estabelecimentos nas áreas urbanas, com o intuito de buscar alternativas que aumentem a eficiência destas operações.

Segundo Taniguchi et al. (2001), os problemas gerados pela distribuição urbana de carga podem ser classificados segundo o tipo de impacto, que pode ser econômico, ambiental e social, conforme representado na Figura 2.3.

Grande parte dos problemas advindos da distribuição urbana de mercadorias estão associados a uma ou mais características da operação, por exemplo: o congestionamento e a quantidade de emissões de poluentes estão diretamente relacionados com a quantidade de quilômetros percorridos pelos veículos de carga, ou seja, para minimizar tais efeitos é necessário minimizar o total de quilômetros percorridos.

Fonte: Traduzido e adaptado de Taniguchi et al. (2001)

Figura 2.3 – Tipos de impactos e problemas gerados pelo transporte urbano de cargas

Fonte: Tradução livre de Browne et al. (2012)

Figura 2.4 – Relação entre características e impactos negativos do transporte urbano de cargas

Browne et al. (2012) apresentam as características das operações do transporte urbano de cargas que estão associadas a alguns dos problemas mais importantes do mesmo: nível de ruído, emissões, congestionamento, acidentes e suas causas. Conforme pode ser observado na Figura 2.4, nota-se que o total de quilômetros (km) percorridos é a característica que influencia todos os efeitos negativos apontados pelo autor, portanto é importante que se busquem soluções de *city logistics* que visem à redução dessa quilometragem total percorrida pelos veículos de carga na cidade.

2.2 Formas de coleta de dados

Conforme a estrutura de planejamento de transportes apresentada no início deste capítulo (Figura 2.2) fica claro que, para entender o comportamento do transporte urbano de cargas, assim como para estimar e analisar os impactos de iniciativas associadas a este, é necessária a obtenção de dados que permitam estabelecer e calcular indicadores que permitam entender o cenário atual, bem como simular os efeitos de possíveis soluções.

Allen et al., 2012 realizaram uma vasta revisão bibliográfica das diversas formas de coletas de dados, que culminou na compilação de doze tipos de pesquisas para coleta de dados, cujo objetivo primário fossem estudos voltados ao transporte urbano de cargas. Cabe pontuar que tal levantamento englobou uma extensa revisão bibliográfica que abrangeu 162 estudos publicados até 2008, relativos a 18 países distribuídos em todos os continentes; dentre os quais se destacam com mais estudos: Reino Unido (57), EUA (18), Itália (15), Holanda (15) e Alemanha (13), respectivamente.

As formas de coletas de dados identificadas por Allen et al. (2012) podem ser resumidas em:

- a) Pesquisa no estabelecimento onde a carga está sendo entregue;
- b) Observação do veículo no local onde está realizando entrega ou coleta;
- c) Observação de veículo estacionado;

- d) Entrevista com o motorista (seja em um ponto de parada ou no meio de uma viagem);
- e) Diário de bordo do veículo;
- f) Coleta de dados GPS;
- g) Pesquisa com o transportador ou operador logístico;
- h) Pesquisa com o embarcador;
- i) Contagem de tráfego.

Allen et al. (2012) ressaltam ainda que, dentre os tipos de coleta de dados encontrados em estudos de transporte urbano de cargas, os mais comuns são as pesquisas em estabelecimentos (recebedores), seguido pelas pesquisas com operadores logísticos, observação de veículos e entrevistas com motoristas.

Os estudos revisados por Allen et al. (2012) também foram categorizados segundo o seu propósito em 3 classes, sendo o objetivo mais comum aumentar o entendimento do transporte urbano de cargas para fins de pesquisa (93 dos 170 propósitos dos estudos), seguido pela coleta de dados para tomada de decisão sobre novas políticas e obtenção de dados de entrada para modelos de transporte, tendo sido encontrados 41 e 36 estudos com estes propósitos respectivamente.

Pode-se acrescentar às formas de coleta de dados apresentadas por Allen et al. (2012), a utilização de dados obtidos de através de equipamentos de fiscalização eletrônica de trânsito, utilizados pelo setor público para autuar os motoristas que estejam infringindo alguma norma de trânsito e, algumas vezes, para monitorar o fluxo de veículos na cidade.

Em geral, são radares que através de câmeras identificam os veículos que estão passando na via em questão e registram a velocidade instantânea do mesmo, por isso podem servir como uma fonte de coleta de dados sobre o fluxo de veículos em determinados pontos, como uma contagem de tráfego classificada. Ainda, como o seu funcionamento é contínuo, permite (teoricamente) obter dados para um período longo (dias, meses, anos) sem nenhum custo adicional; além da própria

velocidade dos veículos nas vias monitoradas, da mesma forma para qualquer período do dia e para diversos dias ou meses.

Adicionalmente, cabe citar como outro método para coletar dados que permitam a realização de estudos sobre a distribuição de mercadorias nas cidades, a Pesquisa Origem-Destino de Carga, que inclusive foi realizada recentemente na cidade de São Paulo e cujos resultados não foram divulgados em detalhe até o presente momento (ANTP, 2015a).

Neste âmbito, cabe ressaltar que os métodos aplicados a uma Pesquisa Origem-Destino de Carga foram herdados dos estudos de transporte de passageiros, que apresentam características bastante distintas do transporte de carga. Mais especificamente, no caso do transporte urbano de passageiros as viagens, em sua maioria, têm as mesmas origens e destinos todos os dias úteis, consistindo basicamente em viagens “circulares”: casa – trabalho – casa; sendo que durante o período noturno o usuário estará em casa, e no período comercial estará no local de trabalho.

Ao contrário, no transporte de carga, é comum que haja viagens com múltiplos destinos e a origem nem sempre é a mesma, podendo ser centros de distribuição diferentes, inclusive, de diferentes empresas. Dessa forma, é possível notar que apesar das adaptações feitas no método original de Pesquisa Origem-Destino de Passageiros para sua aplicação à carga, existem desafios nesta aplicação.

A partir dos diversos estudos revisados, Allen et al. (2012) apresentam uma tabela resumo que identifica quais informações podem ser obtidos a partir das diferentes formas de coleta de dados. Esse resumo foi traduzido, adaptado e ampliado de forma a incluir as outras duas formas de coleta de dados citadas acima: equipamentos de fiscalização eletrônica e Pesquisa Origem-Destino (de carga), cujo resultado final é apresentado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Tipos de informações levantadas a partir de cada forma de coleta de dados

Tipo de informação Forma de coleta	Pesquisa no Estabelecimento	Pesquisa com transportador ou operador logístico	Entrevista com o motorista	Observação de veículo entregando ou coletando	Diário de bordo do veículo	Coleta de dados GPS	Pesquisa com o embarcador	Contagem de tráfego	Equipamentos de fiscalização eletrônica	Pesquisa Origem-Destino
Geração de viagens nos estabelecimentos										
Fluxo de mercadorias nos estabelecimentos										
Pedidos/estoque nos estabelecimentos										
Motivo da viagem										
Mercadorias transportadas por cada veículo										
Padrões de viagem detalhados										
Rotas										
Dados de combustível, velocidade e frota										
Origem das viagens de veículos										
Atividades de carga/descarga										
Tempo da carga/descarga										
Sistema de abastecimento das empresas										
Fluxo de tráfego e outros										

Legenda

	Dados não podem ser coletados
	Dados pouco coletados
	Dados coletados algumas vezes
	Dados comumente coletados

Adaptado de Allen et al. (2012)

As células em branco caracterizam os dados que não podem ser levantados (linha) pelo método de coleta (coluna) respectivo; enquanto as células preenchidas (barra laranja) se referem aos dados que podem ser levantados pelo tipo de coleta em questão. Adicionalmente, o tamanho da barra (laranja) representa o quanto aquele tipo de coleta é utilizado na captura daquele dado, em ordem crescente de uso, da menos utilizada (barra menor) para a mais utilizada (barra maior).

Neste trabalho, o foco é utilizar dados coletados através de dispositivos GPS em veículos de carga, como o intuito de extrair informações úteis para o aprofundamento do entendimento do comportamento do transporte urbano de cargas nas grandes cidades brasileiras. Nota-se (Tabela 2.1) que é possível extrair informações sobre a origem, rotas e outros padrões das viagens, assim como atributos de velocidade, frota e possivelmente tempos de carga e descarga.

2.3 Soluções

É de senso comum que desenvolver soluções sustentáveis que otimizem o transporte de cargas nas cidades é uma tarefa desafiadora, principalmente devido à grande quantidade de agentes envolvidos, com interesses muitas vezes conflitantes, agravados pela complexidade gerada pelas características dos centros urbanos, como o crescimento do e-commerce, congestionamento e aumento de restrições.

Neste contexto, o setor público exerce o papel de gerenciar o transporte, no sentido principalmente de regulamentar o uso da infraestrutura pelos diversos agentes, de maneira a minimizar os impactos negativos à sociedade e ao meio ambiente, sem prejudicar suas atividades econômicas.

Anand et al. (2012) ressaltam que a maior parte da literatura recente sobre modelagem de transporte urbano de cargas está associada a como o setor público pode melhorar a eficiência do mesmo através da perspectiva do planejamento e, por vezes, não considera os atributos ou comportamentos das outras partes envolvidas.

Esse cenário tem gradativamente se modificado na última década. De acordo com Holguín-Veras et al. (2008) e Cherrett et al. (2012), as autoridades locais de países como França, Alemanha e Bélgica têm demonstrado uma maior preocupação

em relação à eficiência e sustentabilidade das operações de distribuição urbana de mercadorias na definição das estratégias e planos para implementação de políticas públicas de forma coordenada, como: pontos de coleta, entregas noturnas, entre outras.

Uma das políticas mais comuns, encontrada em cidades de todo o mundo, se refere à restrição de circulação de veículos de carga em determinadas áreas/vias, em função do tamanho do veículo e/ou sua capacidade, implantada por vezes com a justificativa de limitar os danos que os grandes veículos de carga causam ou podem causar à infraestrutura existente (Suksri e Raicu, 2012) ou ainda, na maioria das vezes, com o intuito de incentivar operações logísticas fora dos horários de pico, diminuindo o uso da infraestrutura viária pelos veículos de carga durante o dia, quando esta já está sobrecarregada pelos demais veículos.

Entretanto esse objetivo não tem sido verificado na prática; ao contrário, os transportadores dividem a carga em múltiplos (dois a cinco) veículos menores, o que tem por consequência um aumento nos quilômetros percorridos totais e, conseqüentemente, também nas emissões de poluentes e uma piora no congestionamento como um todo (Qureshi et al., 2009; Holguín-Veras et al., 2011).

Um dos motivos da ineficácia deste tipo de medida é o fato de os transportadores não terem poder de decisão sobre os horários de abastecimento dos estabelecimentos, poder este que, em geral, está concentrado nos recebedores da carga, representados pelos estabelecimentos que estão recebendo as mercadorias (Holguín-Veras, 2011).

Em várias cidades do Reino Unido, incluindo Londres, houve discussões regulares sobre a organização prática das entregas urbanas entre a organização governamental “*Transport for London*” e organizações privadas de profissionais de logística e transporte de cargas (DaBlanc, 2007).

Como resultado dessas discussões – durante dois anos - foi definida e implantada uma “taxa de congestionamento” (do inglês “*congestion charge*”) aplicada a caminhões na região central da cidade, de valor igual a já aplicada a carros particulares (DaBlanc, 2007).

De início, as transportadoras alegavam que não deveria haver cobrança, pois o transporte rodoviário era a única opção disponível neste caso; concomitantemente, as prefeituras defendiam que a taxa fosse de duas a três vezes maiores que a aplicada aos carros, devido ao fato do impacto nas vias causado pelos caminhões ser muito superior (DaBlanc, 2007).

Em Barcelona (Espanha), uma política de transporte de cargas definiu que na maior área comercial da cidade ("Ensanche"), um esquadrão de 40 agentes circulando em motocicletas organizaria as cinco mil zonas de carga/descarga, fiscalizando e evitando estacionamento de veículos de carga em locais proibidos. Além disso, em algumas das suas principais avenidas, duas faixas da via foram destinadas a entregas nos horários fora de pico e ao estacionamento residencial no período noturno (DaBlanc, 2007).

Ainda, em Barcelona, estabeleceu-se que os novos bares e restaurantes deveriam reservar uma área mínima de cinco m² destinada a estoque, para que não precisassem receber entregas de fornecedores de bebidas diariamente (DaBlanc, 2007).

DaBlanc (2007) também argumenta que tais medidas, embora inovadoras, não devem ser tomadas como um padrão, pois as cidades citadas continuam enfrentando problemas na distribuição de mercadorias e tendo uma parcela significativa de entregas urbanas ineficientes e inadequadas ambientalmente.

Dentro do contexto, principalmente europeu, a autora constata que havia pouco desenvolvimento no âmbito do transporte de cargas e que, aparentemente, o comportamento dos agentes envolvidos, consistia em aguardar que o outro lado tivesse iniciativa. Assim, DaBlanc (2007) sugeriu duas ações imediatas aos interessados em aprimorar a forma como as operações de logística urbana são tratadas pelas políticas públicas: encontrar uma forma de interação entre setor privado e público no processo de planejamento; e buscar um processo através do qual seja possível estabelecer, de forma simples, direta e estável, regulações referentes às entregas urbanas que sejam factíveis de serem adotadas e controladas.

Na Alemanha, a empresa Deutsche Post DHL implementou uma rede de “*pack stations*”, que usa o conceito de “pontos de retirada ou coleta” (do inglês, “*pick up points*”), que consiste em uma estrutura, normalmente no formato de um armário, onde são deixadas as mercadorias em compartimentos separados, e o cliente/consumidor final retira sua encomenda diretamente no compartimento indicado pela empresa utilizando algum tipo de código de acesso exclusivo ao compartimento que contém a mercadoria encomendada, solução bastante adequada ao mercado de comércio eletrônico (DaBlanc, 2007).

Outra empresa (Kiala) também utiliza o mesmo modelo na França, consolidando e entregando cerca de 50 mil encomendas por dia através de quatro mil *pick-up points*. Além disso, outra atividade logística que tem se consolidado em cidades europeias é a locação de espaços de armazenagem temporários, como a empresa Shugard que iniciou oferecendo este tipo de serviço para o uso individual e depois adaptou o serviço para ser oferecido ao setor do varejo e outros localizados nos grandes centros urbanos (DaBlanc, 2007).

A Tabela 2.2 sintetiza as soluções associadas à distribuição urbana levantadas (uma explicação detalhada sobre cada tipo de solução encontra-se no ANEXO A, sendo que por soluções entende-se quaisquer políticas, ações, medidas e intervenções que interferiram diretamente e propositalmente no comportamento do transporte urbano de cargas, com o intuito de melhorar seus impactos em um ou mais aspectos (econômico, ambiental e social).

As soluções foram classificadas segundo a atividade/operação a qual estão associadas (coluna “categoria”), sendo: armazenagem, entrega, estacionamento, modos de transporte, transporte, planejamento urbano e rede viária. Além disso, também se identificou quais atores podem tomar ações para implementar tais iniciativas, podendo ser:

- a) Setor público;
- b) Setor privado;
- c) Ambos: quando os dois atores podem tomar ações em paralelo para que a solução seja implementada.

Tabela 2.2 – Resumo das iniciativas relacionadas à logística urbana

Categoria	Descrição	Ações			Exemplos Internacionais	Exemplos no Brasil
		Setor Público	Setor Privado	Ambos		
Armazenagem	Área mínima de estoque para novos estabelecimentos	X			Barcelona-Espanha	-
	Centros de consolidação de carga urbanos	X	X		Paris-França	-
	Hotel Logístico	X	X	X	Paris-França (em construção)	-
	Locação de espaços temporários		X		Europa e Estados Unidos (Shugard Self Storage)	GoodStorage Guarde Aqui
Entrega	Entregas fora do pico ou Entregas noturnas		X		Nova Iorque-EUA; Londres-Inglaterra	Projeto piloto em São Paulo-SP (2015) São Paulo (Drogaria São Paulo, Grupo Pão de Açúcar, Raízen - postos de gasolina Shell)
	Entregas não-assistidas (sem recebedor)		X		Nova Iorque-EUA	Grupo Pão de Açúcar
	Pontos de retirada - "Pick-up points"		X		Alemanha (DHL); França (Kiala)	Rio de Janeiro (In Post)
Estacionamento	Faixas dedicadas a carga/descarga nos horários fora do pico	X			Barcelona-Espanha	-
	Redefinição de áreas de carga/descarga	X			-	-
	Área mínima para carga/descarga em novos empreendimentos	X			Barcelona-Espanha	-
Modos de Transporte	Utilização de modos de transporte não-motorizados		X		Friburgo-França (Velokurier); Kyoto-Japão; Bruxelas-Bélgica; Londres-Inglaterra (Gnewt Cargo)	São Paulo (Netshoes – bicicletas; Eu entrego)
Transporte	Sistema de entrega conjunta (logística colaborativa)		X			Folha e Estado de São Paulo (jornal)
Planejamento Urbano	Fóruns de discussão entre setor público e privado			X	Reino Unido	Projeto piloto de Entregas Noturnas em São Paulo-SP (2015)
Rede Viária	Restrições de circulação a veículos de carga	X			Diversos Países	Diversas cidades no Brasil, principalmente capitais e grandes cidades.
	Taxa de congestionamento	X			Londres-Inglaterra	-
	Zonas de Baixa Emissão de Poluentes	X			Amsterdã-Holanda	-
Total		8	8	2		

Nota-se que, das 16 soluções apresentadas, oito (metade) podem ser implantadas pelo setor público e oito (metade) pelo setor privado, sendo que duas delas podem ser acionadas em parceria. Além disso, as duas últimas colunas da tabela fazem referência a alguns exemplos identificados: internacionais e nacionais, respectivamente.

2.3.1 Considerações sobre o cenário brasileiro

Dentre as políticas adotadas pelas autoridades públicas com objetivo de otimizar o transporte urbano de cargas nas cidades muitas estão associadas a restrições de circulação, usualmente aplicadas para veículos de cargas grandes e para dias e períodos específicos, cenário também constatado em outros países.

Entretanto, nota-se que tais medidas, por vezes, possuem pouco ou nenhum embasamento técnico com relação a mensurar sua efetividade e eficácia, tanto antes quanto depois de sua implementação. Ao contrário, percebe-se que tais políticas são replicadas por imitação a outras cidades, muitas vezes de outros países, e com características distintas do caso em questão, sem uma análise da sua viabilidade e replicabilidade.

Adicionalmente, é notório que medidas do tipo “restritivas” no caso da circulação da carga nas cidades contêm em si, na maioria das vezes, uma noção intrínseca de que o fluxo de veículos de carga, representado pelos caminhões, tem uma conotação ruim e desagradável à população, sendo tomados como os “vilões do trânsito”.

Um dos impactos negativos do tráfego de veículos de carga que é bastante pontuado é o aumento do congestionamento, embora o percentual desses veículos em relação a toda a frota circulante nas cidades seja pequeno. Nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, por exemplo, os caminhões correspondem a 3,2% e 2,8%, respectivamente, da frota total registrada no município – considerando automóveis, ônibus, motos e caminhões (DENATRAN, 2017).

Segundo levantamento feito anualmente pela Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET-SP), onde são realizadas contagens de veículo classificadas nos períodos de pico (manhã – das 07h às 10h; tarde – das 17h às 20h)

em mais de 50 pontos da cidade localizados nos principais eixos viários; em 2017, o volume de caminhões representou na média aproximadamente 1,5% da frota circulante no período da pesquisa (considerando automóveis, motos, ônibus urbanos e fretados e bicicletas) (CET-SP, 2017).

Apesar de o volume de caminhões representar um percentual pequeno nas cidades, sabe-se que o seu impacto é proporcionalmente maior do que de um automóvel, devido às suas dimensões e peso, que tornam mais difícil o seu deslocamento e manobras, especialmente nas vias locais. Além disso, observam-se muitas vezes estes veículos de carga cometendo infrações, principalmente em relação ao estacionamento em locais não permitidos, que também reflete diretamente no trânsito local, porém é difícil quantificar tal impacto na percepção dos cidadãos, por ser bastante subjetivo.

Entretanto, apesar de todas essas interferências ocasionadas pelo tráfego de mercadorias nas cidades, sua baixa representatividade em relação à frota circulante total, torna ainda mais questionável as estratégias políticas focadas em banir ao máximo os caminhões dos centros urbanos. Possivelmente uma estratégia mais abrangente seria buscar um melhor equilíbrio do uso da infraestrutura urbana, garantindo o mínimo necessário para permitir que as operações de distribuição urbana de carga possam ser otimizadas, como por exemplo, uma readequação da quantidade de vagas de carga e descarga, de forma tornar esta oferta compatível com a demanda atual.

Adicionalmente, também se observa que há uma falta de conhecimento e consciência por parte da sociedade quanto à relevância do transporte de cargas na vida econômica das cidades, bem como o seu papel essencial no abastecimento das mercadorias que são consumidas diariamente nos diversos comércios pela população. Dessa forma, a sociedade não vê benefícios em compartilhar a mesma infraestrutura viária com os veículos de carga; ao contrário, só percebe os impactos negativos deste tipo de atividade, como trânsito, poluição, ruído etc.

Ainda, as autoridades e a própria sociedade, em sua maioria, não percebem, que tais restrições à circulação dos veículos de carga tendem a gerar maiores custos de transporte, os quais, em última instância, são repassados à própria

sociedade representada pelos consumidores finais das mercadorias distribuídas na cidade.

Neste sentido, cabe incluir dentro das políticas públicas, campanhas de conscientização da população com relação à importância das operações de distribuição urbana de carga para o bom funcionamento das cidades, de forma a promover uma mudança cultural no entendimento do cidadão e no seu comportamento ao consumir produtos, principalmente através do *e-commerce*, levando em consideração o impacto social e ambiental desta atividade.

2.4 Avaliação das soluções

Taniguchi et al. (2001) ressaltam que a avaliação de soluções consiste em uma etapa fundamental no processo de desenvolvimento de uma medida, sendo essencial estabelecer os critérios de avaliação de acordo com os objetivos do sistema que, usualmente, visam minimizar os impactos negativos nos âmbitos social, ambiental e econômico, conforme apresentado anteriormente (Figura 2.3).

Cabe também ressaltar que esta avaliação pode ser realizada em dois momentos distintos (Cohen e Franco, 1993):

- a) Antes da implementação da medida: com a finalidade de dar suporte a decisão de implementar a medida, deve possibilitar prever seus efeitos, assim como avaliar se os objetivos propostos seriam atingidos e em qual nível; ou seja, permitindo prever a eficácia e efetividade da medida em uma ou mais configurações, além da respectiva viabilidade em cada cenário avaliado;
- b) Após a implementação da medida: o propósito desta avaliação é identificar se os resultados reais alcançados refletem a expectativa, indicando se a medida foi de fato efetiva e eficaz e deve ser mantida, alterada ou ainda suspensa.

Neste âmbito, cabe citar a importância da Lei Federal nº 12.587/2012 (Brasil, 2012) que instituiu no Brasil a obrigatoriedade de elaboração de Planos de Mobilidade Urbana para municípios com mais de vinte mil habitantes, corroborando para um avanço neste aspecto de planejamento do transporte urbano. Os Planos devem considerar as características dos modos de transporte e a infraestrutura que

permite o deslocamento não apenas das pessoas, mas também de cargas, assim como os meios de gestão desses deslocamentos.

Além disso, esta Lei destaca a importância do uso de indicadores para orientar o planejamento da mobilidade urbana, embora não haja ainda uma padronização desses indicadores, e a maioria dos indicadores utilizados não está relacionada especificamente ao transporte de carga.

Com o intuito de diagnosticar o cenário atual e avaliar possíveis iniciativas em logística urbana, utilizam-se modelos que preveem os impactos sociais, ambientais e econômicos, que objetivamente são representados por indicadores. Nesta pesquisa, o foco serão os indicadores de desempenho logístico, sendo que a revisão priorizou aqueles utilizados em estudos de transporte urbano de cargas, com o intuito de identificar os que são passíveis de serem obtidos a partir dos dados de rastreamento de veículos.

Pretende-se com os cálculos destes indicadores, caracterizar o cenário atual da logística urbana, no sentido de permitir uma melhor tomada de decisão, principalmente pelo poder público, ou ainda mensurar e controlar os resultados pós-implantação de algum tipo de medida como as citadas na seção 2.3.

Allen et al. (2000) sugerem indicadores de desempenho relevantes na avaliação dos efeitos das políticas de carga urbana adotadas nas cidades de Birmingham, Basingstoke e Norwick (Reino Unido), classificados em três categorias: operacionais, financeiros e ambientais, sendo estes:

a) Indicadores operacionais:

- número de coletas/entregas por viagens,
- tempo total gasto na viagem por veículo,
- tempo de deslocamento por coleta e/ou entrega,
- ocupação do veículo na saída do depósito,
- relação entre o tempo que o veículo ficou parado para realizar as atividades de coletas e/ou entregas e o tempo total de viagem,
- velocidade média por viagem com e sem paradas,
- distância total percorrida,

- quantidade de entregas realizadas com veículo estacionado em via pública e em local apropriado para carga e descarga no cliente.
- b) **Indicador financeiro:** custo operacional total por viagem para o operador logístico.
- c) **Indicadores ambientais:** quantidade total de poluentes emitidos estratificados em CO, CO₂ e NO₂ por viagem.

Cherret et al. (2012) acrescentam outros indicadores operacionais, no âmbito do planejamento do transporte urbano de cargas, que permitem conhecer os padrões de entregas nos centros urbanos, quais sejam:

- a) quantidade de entregas em uma área estabelecida
 - por período do dia,
 - por dia da semana,
 - por período do ano,
- b) locais de carga/descarga utilizados e suas características (via pública ou local privado).

Pode-se ainda acrescentar mais dois indicadores operacionais bastante relevantes no quesito de avaliar soluções relacionadas à regulamentação do transporte de cargas no meio urbano: as velocidades médias praticadas em cada via (ou numa área específica) por período do dia e dia da semana (Laranjeiro et al., 2019); e a quantidade de vagas públicas e locais privados utilizados para estacionamento de veículos durante operações de carga/descarga também avaliado por via/área e por período do dia e dia da semana.

A abordagem proposta (capítulo 4) considerou os indicadores de desempenho logístico levantados que podem ser derivados (direta ou indiretamente) a partir dos dados de GPS coletados e a quais impactos estão associados para determinar os que serão utilizados nesta pesquisa.

3 USO DE DADOS GPS DE RASTREAMENTO DE VEÍCULOS EM ESTUDOS DE TRANSPORTE URBANO DE CARGAS

Este capítulo tem o objetivo de abordar, no âmbito da aplicação de dados de rastreamento de veículos a estudos de transporte, os trabalhos encontrados na literatura, com maior foco nas aplicações relacionadas ao transporte de carga.

Em meados da década de 1990, começaram a surgir iniciativas de aplicar o rastreamento de viagens de passageiros utilizando dispositivos GPS, e comparar as informações e dados obtidos em relação aos métodos mais tradicionais: pesquisas e entrevistas, usualmente conduzidas através de questionários on-line ou presenciais, ou ainda entrevistas via telefone.

Tal forma de coleta de dados, utilizada para entender o comportamento dos deslocamentos individuais, permite uma maior acurácia na aferição do horário de início e fim de cada viagem informado e, portanto, da sua duração total, assim como da localização do início e fim de cada viagem, ou seja, da sua origem e destino.

Como exemplo, pode-se citar um projeto, desenvolvido nos Estados Unidos em 1999, que testou o uso de um computador portátil com dispositivo GPS acoplado para capturar informações georreferenciadas relativas às viagens dos indivíduos residentes em 100 domicílios durante seis dias. Nesse estudo, o dispositivo GPS utilizado registrava as posições geográficas a cada três segundos; entretanto, dependia de o motorista ligar o aparelho sempre que uma viagem se iniciasse, e o desligasse ao final de cada viagem (Murakami e Wagner, 1999).

Com o avanço da tecnologia e a difusão do uso de dispositivos de rastreamento de veículos, principalmente para gerenciamento de risco e avaliação do comportamento do motorista (Greaves e Figliozzi, 2008), surgiu a possibilidade de utilizar este tipo de dado, obtido através de sistemas de navegação por satélite, sendo o mais comum o GPS, com o intuito de extrair informações sobre o comportamento dos veículos que realizam transporte de cargas.

Foram levantados 40 trabalhos internacionais usando palavras-chave como “*freight GPS data*”, “*truck GPS data*”, além de outras combinações da sigla “GPS”

com as expressões “*urban logistics*”, “*city logistics*”, “*urban freight*”, “*urban logistics*”, entre outras. Utilizou-se como fonte de pesquisa alguns dos mecanismos de busca mais relevantes, entre os quais se destacam: *ScienceDirect*, *Web of Knowledge* e *Google Acadêmico*.

Dentre estes 40 trabalhos, 25 representam realmente aplicações de dados GPS especificamente com o foco no transporte de cargas, conforme Tabela 3.1. Tais trabalhos envolvem estudos em 10 países, sendo que três destes estudos abrangiam mais de um país, por isso o número de vezes que os países aparecem nos estudos (28) é superior ao total de trabalhos revisados (25). Mais de metade dos estudos analisados refere-se a pesquisas realizadas nos Estados Unidos (13), sendo o Canadá o segundo país (5) com mais estudos identificados.

Tabela 3.1 – Estudos separados por país onde foi realizado e ano de publicação

País / Ano	2006	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total
África do Sul								1		1
Austrália		1								1
Canadá				1		1	1	1	1	5
China						1	1			2
Espanha					2					2
Estados Unidos	1			2	1	1	4	3	1	13
França					1					1
Holanda			1							1
Inglaterra								1		1
Japão					1					1
Total	1	1	1	3	5	3	6	6	2	28

Os estudos mais relevantes no contexto desta pesquisa serão detalhados a seguir. Primeiramente, cabe pontuar que uma das tarefas chave no uso de dados GPS em estudos de transporte urbano de cargas consiste na identificação de paradas (Yang et al. 2014). No caso de roteiros com paradas de curta duração, este processo se torna ainda mais complexo, devido à dificuldade em se distinguir paradas relacionadas a atividades de entrega/coleta daquelas devido a semáforos ou congestionamento.

Com o objetivo de resolver esta questão, pesquisadores vêm explorando técnicas que envolvem a análise da evolução das variáveis espaço-temporais (Kamarianakis, 2003). Vários são os artigos que tratam das dificuldades em se utilizar dados de rastreamento de veículos de carga para caracterizar e analisar as operações logísticas, assim como para desenvolver modelos, tanto no nível urbano, quanto regional.

Greaves e Figliozi (2008) desenvolveram, na Austrália, um estudo piloto para avaliar a possibilidade de transformar dados GPS em informações relevantes sobre a operação de transporte. Os dados utilizados se referem a 30 caminhões durante uma semana, sendo que estes foram coletados através de dispositivos GPS de alta precisão, cujo intervalo entre registros é de 1 segundo. Os autores propõem um algoritmo para identificar as paradas dos caminhões utilizando como critério o tempo mínimo que a ignição ficou desligada e a distância entre registros consecutivos, que deveria ser inferior ao erro do dispositivo (15 metros), de forma a minimizar os falsos-positivos. Foram avaliados diferentes intervalos entre 120 e 300 segundos e, para estas condições, os autores concluíram que 240 segundos é o tempo mínimo que maximiza os acertos na identificação de paradas genuínas.

Joubert e Axhausen (2011) utilizaram dados GPS para analisar as características espaço-temporais das atividades de veículos comerciais. Os dados coletados na África do Sul correspondem a um período de seis meses e são referentes a mais de 30 mil veículos comerciais, tendo sido fornecidos por uma empresa de gerenciamento de frota. Como o intervalo entre os registros é de 5 minutos, não é possível aplicar um método de clusterização dos registros para identificar paradas, como realizado em Schuessler e Axhausen (2009), ou uma técnica de *map-matching* para determinar as rotas.

Assim, os autores optaram por utilizar um critério relacionado ao atributo que informa se o veículo está ou não ligado, de maneira similar a Greaves e Figliozi (2008). Quando a ignição é desligada, considera-se que o veículo parou para realizar alguma atividade que termina quando o veículo volta a ligar a ignição do veículo. Para eliminar possíveis erros relacionados a falsas “partida no veículo” e, portanto, “falsas paradas”, os autores utilizaram um critério complementar: tempo mínimo para ser considerada uma parada. Além disso, os autores analisaram a

distribuição estatística dos tempos de parada para inferir algumas características (hora de início das operações, por exemplo) das atividades desenvolvidas naquela parada, assim como o número de paradas/atividades desenvolvidas por cadeia logística.

Comendador et al. (2012) coletaram dados de GPS para 20 vans durante dois meses (fevereiro e março de 2010), em duas cidades espanholas com tamanhos distintos (Madri e Soria). Estes dados foram utilizados, em conjunto com informações obtidas através de diários de viagem e contagens de veículos em campo, com o objetivo de entender o comportamento logístico deste tipo de veículo. Para tanto, foi necessário identificar quando o veículo estava parado. O artigo não deixa claro, mas induz a entender que foi considerado que o veículo estava parado quando a ignição do veículo estava registrada como desligada nos dados de GPS. Assim, com as paradas identificadas foram calculados os seguintes indicadores:

- a) Número médio de paradas por dia;
- b) Tempo médio de parada por dia [min];
- c) Distância média entre paradas por dia [m];
- d) Uso da van por dia [%] (tempo em deslocamento/tempo parado).

Os autores concluem que a utilização de dados GPS é bastante benéfica para estudos de transporte urbano de cargas e, ao comparar as características (número de paradas por dia, produtividade do veículo, frequência de repetição da viagem, distância média entre paradas, duração média da parada) das duas cidades espanholas, os resultados suportam a hipótese de que, independente das características da cidade (regulações, geografia, etc.), as entregas são realizadas de uma forma similar, conforme pontuado por (DaBlanc, 2007).

Sharman e Roorda (2013a) utilizaram uma base de dados de GPS de mais de 1.618 veículos de carga, fornecidos por uma empresa de rastreamento, referente a três meses (abril a junho de 2007), para avaliar o intervalo de tempo entre visitas do mesmo operador logístico ao mesmo estabelecimento. Os autores ressaltam que, a partir da expansão do modelo proposto a toda população de veículos comerciais, seria possível utilizar tal informação para suportar estimativas de geração de viagens

desses veículos, considerando inclusive alguns dos impactos de mudança no uso do solo, na distância entre os depósitos/armazéns e dos consumidores etc.

Este estudo foi conduzido em uma região de Ontário (Canadá). Foram identificadas como paradas, nos dados armazenados pelos dispositivos GPS, os registros que atendiam um dos seguintes critérios: ignição desligada ou veículo parado por mais de 5 minutos. Após análise dos dados brutos, foram encontrados dois tipos de erro: falso-positivo e falso-negativo e, para minimizar tais erros, os autores identificaram e removeram os registros (*Data Cleaning*) conforme os seguintes critérios (Sharman e Roorda, 2010):

- a) Falso-positivo (períodos sem deslocamento devido à externalidades, como trânsito)
 - Paradas localizadas até 40m de uma via expressa;
 - Paradas com duração inferior a 15 minutos e localizadas até 20m de uma via arterial central, na região não central de Toronto. Considerou-se que o estacionamento nas vias é predominante no centro e regiões mais urbanas.
- b) Falso-negativo (paradas não registradas):
 - Intervalo entre registros consecutivos superior a 30 minutos;
 - Velocidade média inferior a 5km/h e a maioria dos registros localizados em uma via expressa.
- c) Viagens curtas (deslocamentos dentro do mesmo local/estabelecimento)
 - Distância em linha reta entre origem e destino inferior a 500 m ou nenhum registro de GPS entre 2 paradas consecutivas.

A partir desta limpeza nas paradas identificadas, os autores aplicaram o método de clusterização para agrupar as paradas, representadas pelo último registro da viagem em questão, agrupando os registros que representam paradas no mesmo local, ou seja, mesmo destino (*destination trips*). A partir dessa clusterização, calculou-se a frequência de visitas de um veículo ao mesmo estabelecimento, informação essa crucial para um modelo de previsão de demanda para vários dias.

Os mesmos autores já haviam testado diferentes algoritmos de clusterização em trabalho anterior (Sharman e Roorda, 2011), onde concluíram que o método de clusterização Ward, que consiste num método de clusterização aglomerativo hierárquico (do inglês, *hierarchical agglomerative method* – HAC) produz melhores resultados para o propósito em questão. Ao aplicar este método, que inicia considerando que cada parada é um *cluster* e depois vai aglomerando os mais próximos, o desafio é estabelecer a distância limite entre os pontos mais distantes do mesmo *cluster*. Por isso, os autores aplicaram o método em duas etapas:

- a) Etapla 1: agrupamento em *clusters* com distância máxima de 700 metros;
- b) Etapla 2: a partir da base geográfica com os limites das propriedades da região de estudo, atribuiu-se cada *cluster* a uma propriedade, em função da localização do seu centroide e, em seguida, agrupou-se os *clusters* que estavam correlacionados à mesma propriedade.

Cabe pontuar que os autores inovaram ao desenvolver um modelo baseado exclusivamente em dados de rastreamento coletados passivamente por dispositivos GPS, que estima um indicador logístico bastante relevante no estudo do comportamento da distribuição urbana de carga: o intervalo entre entregas realizadas pelo mesmo operador logístico ou transportador ao mesmo estabelecimento; ou seja, o inverso da frequência de abastecimento, ou frequência de entregas de um fornecedor a um estabelecimento.

Este é um ponto importante, pois não há necessidade de obter informações através de dados em pesquisas e observações em campo, cujo custo e tempo de obtenção são superiores, além de uma confiabilidade inferior dos dados, devido a diversos fatores tais como o tamanho e a representatividade da amostra, a imprecisão no registro dos dados coletados em campo, a dependência de intervenção humana, entre outros.

Mais recentemente, Yang et al. (2014) propuseram o uso do método de aprendizado supervisionado linear, denominado *Support Vector Machine* (SVM) com *nested K-fold cross-validation* dividido em três estágios, para identificação de paradas relacionadas a operações de entrega a partir de dados GPS. O primeiro é identificar todas as paradas utilizando como critério os registros que tenham

velocidade inferior a 14 km/h. Porém, como o limite usado de velocidade é alto, é possível que sejam identificadas múltiplas paradas quando o veículo se desloca dentro de um mesmo destino (por exemplo, dentro do estacionamento de um estabelecimento grande como um hipermercado, ou dentro de um centro de distribuição); por isso, as paradas consecutivas de um veículo, cujo intervalo de tempo fosse inferior a 10 segundos, foram agrupadas em uma única parada.

O segundo estágio consiste na obtenção de três outros atributos dessas paradas, com o intuito de distinguir as paradas associadas a entregas das não-associadas, sendo estes:

- a) Duração da parada;
- b) Distância do local da parada ao centro da cidade;
- c) Distância do local da parada até o gargalo (exemplos: pedágio, entrada de um túnel, ponte) mais próximo; ou seja, locais conhecidos por representarem um gargalo para fluxo de veículos e que, portanto, podem gerar uma parada não associada a uma entrega numa região próxima ao centro da cidade.

Tais atributos são indicados pelos autores, conforme os resultados obtidos no caso de estudo em questão (Nova Iorque). Neste estudo são conhecidas quais são as paradas associadas a entregas ou não; assim, os autores testam e acrescentam atributos que se mostrem significativos para fazer tal distinção.

A duração da parada isoladamente não permite distinguir uma parada devido a uma entrega ou não; assim os autores acrescentam um segundo atributo com base na análise espacial das paradas: a distância do local da parada até o centro da cidade. Entretanto, estes dois fatores ainda não explicam completamente os dois tipos de parada; assim, os autores acrescentam um terceiro atributo: a distância do local de parada até o gargalo mais próximo. E o terceiro estágio consiste na implementação de um modelo linear para classificar quais paradas são entregas ou não.

Uma das limitações do modelo consiste no fato de ser necessário utilizar dados complementares com informações das entregas realizadas para treinar e validar o modelo. Além disso, o parâmetro relacionado aos gargalos de tráfego

depende da identificação manual através do aplicativo de mapas *Google Earth*. Outro contraponto é que os dados de GPS utilizados possuem uma alta granularidade, ou seja, o intervalo de tempo entre registros consecutivos é pequeno, apenas 1 segundo. Tal característica não é comumente encontrada nos dados obtidos de transportadoras e gerenciadoras de risco no Brasil, pois estas costumam utilizar o rastreamento dos veículos apenas para um aspecto de segurança e, para tanto, não precisam de dados com intervalo tão pequeno entre registros.

Hess et al. (2015) também utilizaram o intervalo de tempo que o veículo permanece parado para diferenciar as paradas primárias (onde ocorre alguma operação de carga/descarga) das paradas secundárias (paradas por outros motivos não associados a carga/descarga, como uma parada para descanso, por exemplo), a partir de dados GPS. Os autores assumem que a partir do intervalo de tempo que o caminhão permanece parado é possível deduzir a natureza da parada. Intervalos de tempo parado inferiores a 2 minutos são descartados, pois considera-se muito curto para uma parada válida; intervalos de tempo entre 2 e 15 minutos são atribuídos a paradas primárias, e acima de 15 minutos são atribuídos a paradas secundárias, sendo que os acima de 45 minutos são considerados o final de uma rota, ou operação diária, visto que é superior ao tempo de descanso máximo previsto para viagens diárias na União Europeia.

Embora estas premissas possam ser válidas para o transporte de longa distância (regional), as mesmas não são diretamente aplicáveis a casos de transporte urbano de cargas em grandes cidades, como São Paulo, por exemplo, onde os tempos de entrega podem variar significativamente, não apenas entre as distintas cadeias logísticas, mas também dentro da mesma cadeia em estabelecimentos diferentes, dada a imprevisibilidade, principalmente, no tempo de espera para recebimento da mercadoria. Além disso, sabe-se que não se pode considerar que a jornada de trabalho prevista em lei é sempre cumprida, tornando ainda mais difícil identificar este tipo de atividade.

Gingerich et al. (2016) identificaram paradas em uma base de dados GPS relativos a mais de 40 mil caminhões pertencentes a 750 transportadoras canadenses, referentes ao mês de março de 2013, cuja área de abrangência

englobou todo o Canadá e parte dos Estados Unidos. Os critérios utilizados para determinar uma parada foram os seguintes:

- a) O veículo deve estar parado (no mesmo local) por um intervalo de tempo superior a 15 minutos;
- b) Considerou-se que o veículo está no mesmo local, desde que os registros de GPS estejam dentro do limite de um raio de 250 metros.

Em uma segunda etapa, foi aplicada uma nova abordagem usando o conceito de entropia, com o intuito de distinguir os tipos de paradas desses veículos, segundos as seguintes categorias:

- a) Paradas primárias: relacionadas ao processo de carga ou descarga;
- b) Paradas secundárias: relacionadas ao abastecimento dos veículos, descanso ou refeição dos motoristas etc.

O índice de entropia calculado está relacionado à heterogeneidade de caminhões que estão parados no mesmo local, isto é: este índice é tanto maior quanto maior a quantidade de transportadoras diferentes às quais os caminhões em questão pertencem. A hipótese dos autores de que quanto maior o índice de entropia, maior a heterogeneidade de transportadoras e, portanto, maior a probabilidade de ser uma parada secundária, foi confirmada pelos resultados apresentados. Uma amostra com as 150 paradas com maior índice de entropia (das 3.370 paradas) foi validada utilizando checagem manual através de imagens do *Google Maps* e do *Google Street View*, sendo que destas, 148 foram confirmadas como paradas secundárias.

Além disso, aplicou-se um método de SQL *clustering* para identificar os centros de distribuição que correspondiam ao principal ponto de embarque das transportadoras, a partir do conjunto de paradas. Foram identificados 475 depósitos, aplicando as seguintes premissas: o depósito é um local frequentemente visitado por caminhões da mesma transportadora; e o primeiro registro de GPS de cada caminhão tem maior probabilidade de ser no local do depósito, do que os últimos registros. Tal abordagem também foi validada pelos resultados, através da

conferência de uma amostra dos depósitos identificados, utilizando o *Google Maps* e o *Google Street View*.

Todos os estudos abordados, assim como as suas características principais: título, autores, local onde foi realizado o estudo, tipo de veículo rastreado, número de veículos rastreados, critério utilizados para a identificação das paradas e outras características relevantes são apresentadas na Tabela 3.2.

Cabe ressaltar que as abordagens apresentadas para a identificação de paradas e distinção das mesmas em função do motivo, com o intuito de diferenciar aquelas que estão associadas a atividades de carga e/ou descarga, não necessariamente serão tão eficazes se aplicadas a qualquer base de dados GPS, dadas algumas das suas especificidades. Cabe enfatizar, em particular, o fato de a maioria das bases de dados GPS dos estudos levantados consistirem de viagens intermunicipais e/ou interestaduais com duração superior a um dia, em grande parte; além do fato de muitas apresentarem um atributo que identifique os caminhões pertencem a mesma transportadora, informação esta que muitas vezes não é disponibilizada devido a questões de confidencialidade.

Em síntese, foram encontrados, no âmbito da aplicação de dados de GPS em estudos de transporte, trabalhos publicados nas últimas três décadas, sendo que o processamento destes serviu a diversos propósitos, desde identificar paradas comumente usadas por diversos veículos para alimentação, descanso e/ou abastecimento de combustível que realizam transporte regional de carga, até estudar a quantidade de entregas realizadas por rota e a sua frequência de visitas a determinados estabelecimento.

O uso de dados GPS com foco em planejamento de transporte urbano de cargas apresenta algumas vantagens em relação aos métodos tradicionais citados na seção 2.2, como o baixo custo de aquisição e a facilidade de obtê-los para um longo período de tempo, além da maior acurácia em relação aos dados obtidos de pesquisas, devido à menor ou nenhuma dependência de interação com o motorista (Joubert e Meintjes, 2015).

Tabela 3.2 – Quadro-resumo dos trabalhos com aplicações de dados GPS à estudos de transporte de cargas

Título	Referência	Local do estudo	Veículo	N. de veículos	Critério paradas	Outras características
Commercial Vehicle Tour Data Collection Using Passive GPS Technology : Issues And Potential Applications	Greaves e Figliozzi (2008)	(Não se aplica)	Caminhões	30	#. ignição desligada #. Tempo parada ≥ 240 s #. Raio ≤ 15 m	#. GPS de alta precisão (intervalo entre registros de 1 s)
Inferring commercial vehicle activities in Gauteng, South Africa	Joubert e Axhausen (2011)	África do Sul	Caminhões	30.000	#. ignição desligada	#. Classificação das atividades/paradas #. Paradas por cadeia logística
A GPS analysis for urban freight distribution	Comendador et al. (2012b)	Madri e Soria (Espanha)	Vans	20	#. ignição desligada	#. Número médio de paradas #. Distância média entre paradas
Multilevel modelling of commercial vehicle inter-arrival duration using GPS data	Sharman e Roorde (2013a)	Sul do Canadá	Veículos Comerciais	1.618	#. Ignição desligada ou #. 5 min parado	#. Dados fornecidos por Gerenciadora de Risco #. 308.575 paradas #. Clusterização de paradas #. Intervalo entre visitas (frequência)
Urban Freight Delivery Stop Identification Using GPS Data	Yang et al. (2014)	Nova Iorque (EUA)	Caminhões	N/C	#. Velocidade ≤ 14 km/h #. Agrupamento de paradas com intervalo ≤ 10 s	#. Classificação de paradas = entregas (distância do centro da cidade, gargalos, duração) #. Entregas de produtos alimentícios #. 2.249 paradas #. Intervalo entre registros: 1 s
Developing advanced route choice models for heavy goods vehicles using GPS data	Hess et al. (2015)	Inglaterra	Caminhões	709	#. Ignição desligada #. Tempo parada ≥ 2 min	#. Classificação de paradas (paradas primárias = tempo parada ≤ 15 min) #. Clusterização de paradas para identificação dos depósitos (CD's) #. 1 mês (abril, 2010) #. 8,6 milhões de registros #. 20 mil viagens #. 750 transportadoras #. 2 milhões de paradas
Classifying the purpose of stopped truck events: An application of entropy to GPS data	Gingerich et al. (2016)	Canada	Caminhões	40.650	#. Tempo parada ≥ 15 min #. Raio ≤ 250 m	#. Classificação de paradas (índice de entropia) #. Clusterização de paradas para identificação dos depósitos (CD's)
Identifying and Characterizing Truck Stops from GPS Data	Aziz et al. (2016)	Índia	Caminhões	N/C	#. Velocidade ≤ 5 km/h #. Tempo parada ≥ 10 min #. Deslocamento ≤ 800 m	#. Intervalo entre registros = 10 min # Acurácia do posicionamento $\leq 2,5$ m # 30 milhões de registros de GPS # 60.324 viagens

Adicionalmente, o uso de dados GPS permite extrair as rotas percorridas e as velocidades praticadas, informações estas que não são obtidas na maioria das outras formas de coleta de dados (Allen et al., 2012).

Por outro lado, como desvantagens deste tipo de coleta de dados, podemos citar a acurácia ao fornecer o posicionamento (latitude, longitude), que depende do número de satélites disponíveis, sendo necessário um mínimo de quatro satélites para determinar a localização. Tal número pode ser afetado por obstáculos no meio urbano, como os edifícios, muito presentes neste meio (Joubert e Meintjes, 2015).

Além disso, o uso de dados GPS requer um esforço maior de processamento para que todas as informações necessárias sejam extraídas de seus dados brutos, especialmente se estes forem analisados de forma isolada, isto é, sem outros dados complementares referentes ao rastreamento em questão.

É necessário também um pré-processamento para utilizar dados GPS, no sentido de corrigir erros nos dados brutos, além de realizar uma padronização entre as diferentes bases de dados com origens diferentes para construir uma base consolidada que possibilite um processamento automatizado, permitindo as análises espaço-temporais, como a reconstrução das trajetórias dos objetos em questão: os veículos. Tais análises só são possíveis se há o correto registro das trajetórias de um objeto, isto é, uma sequência espaço-temporal ordenada em um dado intervalo de tempo finito (Spaccapietra et al., 2013).

A partir desse processo é possível extrair informações relevantes dos dados GPS, como tempos de deslocamento e tempos de parada, identificação dos pontos e tempos de entrega, velocidades calculadas a partir do deslocamento e do intervalo de tempo etc.

A análise da literatura mostrou que esta área de pesquisa referente à exploração do uso de dados GPS para estudos em transporte urbano de cargas é relativamente recente e ainda não consolidada, embora já existam diversas aplicações, e o número de trabalhos publicados neste âmbito tem crescido bastante, especialmente na última década, mostrando a relevância do tema atualmente.

Neste contexto, pretende-se contribuir mapeando e sistematizando as informações (representadas por indicadores) passíveis de serem calculadas a partir de dados GPS para aplicação em estudos de transporte urbano de cargas, assim como os processamentos necessário e os respectivos requisitos e critérios para a sua aplicação.

4 DADOS, ABORDAGEM PROPOSTA E ÁREA DE ESTUDO

Este capítulo tem o objetivo de apresentar os dados de rastreamento de veículos de carga (GPS) utilizados no âmbito desta pesquisa, assim como a abordagem proposta para a utilização dos mesmos no contexto do planejamento de transporte urbano de cargas. Por fim, apresenta-se a área de estudo explorada, cujos resultados e análise serão detalhados em seguida no capítulo 5.

4.1 Descrição geral dos dados utilizados

Com o objetivo de buscar avaliar aspectos da logística urbana, como por exemplo: identificar as vias utilizadas pelos veículos de carga ao longo do tempo (análise espaço-temporal), o perfil de velocidades desses veículos em determinadas vias, a localização de paradas para operações de carga na cidade de São Paulo, entre outros, utilizaram-se dados de rastreamento de veículos, captados através de dispositivos GPS instalados nos veículos pelas empresas que operam ou monitoram esses veículos. As três bases de dados foram disponibilizadas exclusivamente para desenvolvimento de pesquisas acadêmicas.

As duas primeiras bases de dados consistem nos dados de rastreamento de todos os caminhões de duas empresas distintas, ambas grandes redes varejistas, para todo o Brasil, para um período de aproximadamente dois meses no ano de 2014. A primeira é de uma rede de supermercados e a segunda refere-se a uma rede de farmácias, tendo sido denominadas nesta pesquisa como A.1 e A.2, respectivamente.

Cabe citar que as bases A.1 e A.2 foram obtidas no âmbito do projeto piloto de entregas noturnas realizado na cidade de São Paulo, cuja coordenação e execução foram realizadas pelo CISLOG (Centro de Inovação em Sistemas Logísticos, laboratório de pesquisa da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo) que, representando o meio acadêmico, constituiu um agente imparcial no contexto, por não ter interesses envolvidos no projeto (ANTP, 2015b).

A terceira base de dados (denominada Base B) contém o rastreamento de diversos tipos de veículos (caminhões, táxis, ônibus, automóveis) também para todo o país, referente ao período de 06 a 10 de outubro de 2014 (segunda à sexta feira). Esta foi disponibilizada ao Laboratório de Geoprocessamento da Universidade de São Paulo (LABGEO) por uma empresa que fornece mapas e serviços correlatos, sendo que os dados relativos a caminhões, que correspondem a 13% do total de registros desta base são, em sua maioria, advindos de empresas de gerenciamento de risco, que realizam monitoramento de frota.

Nesse último caso, por uma questão de confidencialidade, os dados disponibilizados não possuem a identificação de quais são as empresas às quais pertencem tais dados, nem seus ramos de atividade ou quais veículos pertencem a cada empresa. Além disso, não é possível saber quais tipos de dispositivos GPS são utilizados para a captura dos dados de localização, o que implica em não saber qual o nível de precisão em relação a posição geográfica capturada pelo dispositivo.

Apesar de compreenderem dados de fontes diferentes pelos aspectos citados acima, as três bases de dados (A.1, A.2 e B) apresentam as informações consideradas essenciais para o desenvolvimento de uma análise espaço-temporal, sendo essas:

- a) Posição geográfica: latitude e longitude do registro;
- b) Data e hora do registro;
- c) Código único (“chave”) de identificação de cada veículo (Denominado “ID veículo”).

A Tabela 4.1 apresenta um sumário das principais informações que caracterizam as três bases de dados de rastreamento de GPS utilizadas nesta pesquisa. Deve-se ressaltar que o fato de as bases utilizadas neste trabalho serem estáticas, ou seja, se referirem a um período de tempo fixo e não possuírem fluxo contínuo de entrada de registros, e nem haver grande variedade em seus tipos de dados e origens não torna menos massivo e desafiador todo o processo a ser executado, tendo em vista o elevado número de registros a serem processados.

Tabela 4.1 – Caracterização das bases de dados GPS

Fonte	Base A.1	Base A.2	Base B
	Rede varejista	Rede varejista	Fornecedor de mapas
Área	Brasil	Brasil	Brasil
Número de arquivos	11	1	500+
Tamanho total	930 Mb	120 Mb	390+ Gb
Número de registros	4.3 milhões	600.000	342 milhões
Número de veículos	1.289	85	607.713
Número médio de registros/veículo	3.400	7.300	563
Número médio de registros/veículo.dia	84	97	113
Período de coleta	18/set a 28/out/2014	14/ago a 31/out/2014	06 a 10/out/2014
Intervalo médio entre registros	5 min	15 min	5 min

Nota-se, por exemplo, que a Base B, embora seja referente a um período bem menor (uma semana) engloba o rastreamento de muitos mais veículos, como esperado, pois não se refere a uma empresa única e inclui outros veículos que não de carga; sendo constituída por um enorme número de arquivos, que correspondem a cerca de 342 milhões de registros e somam mais de 390 Gigabytes em armazenamento, o que torna seu processamento ainda mais dispendioso que as demais.

Como esta pesquisa tem como foco olhar o transporte urbano de cargas sob a perspectiva da cidade, ressalta-se que uma vantagem nas bases de dados obtidas, é o fato de haver um período (06 a 10 de outubro de 2014) que é coincidente entre estas.

4.2 Abordagem

Esta seção apresenta a abordagem proposta para o uso de dados GPS de rastreamento de veículos (também denominados simplesmente de ‘dados GPS’ de aqui em diante no texto) com o intuito de entender melhor o comportamento do transporte urbano de cargas.

Figura 4.1 - Abordagem proposta para uso de dados GPS em estudos de transporte urbano de cargas

Buscou-se, no fluxograma apresentado na Figura 4.1, conectar a abordagem proposta nesta pesquisa ao processo completo de planejamento de transportes, com o intuito de ter uma visão global do processo e de como esta pesquisa contribui em parte deste processo.

A revisão bibliográfica apresentada nos capítulos 2 e 3 – indicada em azul na Figura 4.1 - teve o objetivo de embasar as etapas da estrutura de tomada de decisão no processo de planejamento de transportes (Figura 2.2) - em laranja na Figura 4.1. Tal revisão abrangeu os seguintes temas:

- a) Problemas associadas ao transporte urbano de cargas;
- b) Formas de coleta de dados para estudos de transporte urbano de cargas;
- c) Possíveis soluções associadas ao transporte urbano de cargas;
- d) Indicadores de desempenho do transporte urbano de cargas;
- e) Técnicas de processamento de dados GPS;

A abordagem proposta nesta pesquisa e sua aplicação contempla as seguintes atividades (indicadas em verde na Figura 4.1) nessa ordem:

- a) Coleta de dados de rastreamento (GPS) de veículos;
- b) Pré-Processamento (Padronização e *Data Cleaning*) e processamento dos dados;
- c) Análise dos resultados e conclusões.

Dessa forma, pretendeu-se contribuir para o desenvolvimento científico, através da exploração do uso de um tipo específico de dados (GPS), no âmbito de aplicações em estudos de transporte urbano de cargas, identificando os processamentos necessários, além de suas vantagens e limitações.

Cabe citar que parte da abordagem proposta, resultados e análises apresentadas nesta pesquisa foram desenvolvidas conjuntamente no âmbito do projeto intitulado "*High-Resolution GPS Data Analysis of Urban Logistics Activities to Improve the Operational Performance and Sustainability of Last-Mile Distribution in São Paulo*", cuja equipe foi formada por oito pesquisadores, sendo seis dos Brasil

(Escola Politécnica da Universidade de São Paulo) e dois do *Center for Transportation and Logistics* (CTL) do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). Os resultados obtidos neste projeto foram compilados no artigo intitulado *Using GPS data to explore speed patterns and temporal fluctuations in urban logistics: The case of São Paulo, Brazil*, publicado em abril de 2019 no *Journal of Transport Geography*.

4.2.1 Definição dos indicadores operacionais a serem calculados

Conforme apontado na seção 2.4, a fim de diagnosticar as operações urbanas de cargas atuais e avaliar possíveis iniciativas em logística urbana, utilizam-se modelos que preveem os impactos sociais, ambientais e econômicos que, objetivamente, são representados por indicadores.

Com o intuito de se verificar a aplicabilidade de dados de rastreamento de veículos a estudos de transporte urbano de cargas, primeiramente foram identificados quais indicadores de desempenho logístico (dentre aqueles relacionados na seção 2.4) são passíveis de serem obtidos a partir de uma base de dados GPS. Tal análise é apresentada na Tabela 4.2, onde os indicadores foram classificados em 3 grupos, conforme segue:

- a) Sim: indicadores que podem ser calculados a partir de dados de rastreamento de GPS de veículos;
- b) Depende: indicadores que podem ser calculados dependendo das características dos dados GPS em questão, como o período a que se referem os dados (1 dia, 1 semana, 1 mês, 1 ano, etc.) e a granularidade destes, ou seja, a frequência de registros da posição geográfica por período de tempo;
- c) Não: indicadores que não podem ser calculados a partir de dados GPS.

Nota-se que apenas a informação sobre a ocupação de cada veículo não pode ser inferida a partir dos dados GPS, uma vez que o peso/ocupação do veículo não é monitorado a bordo. Em relação aos indicadores que podem ser extraídos, mas dependem de uma característica dos dados de rastreamento, tem-se:

- a) **Distância total percorrida na viagem**: depende de conhecer exatamente a rota percorrida e, portanto, é necessária uma densidade de registros

suficiente para que seja possível determinar a sequência de links na rede que representam não só o trajeto dos veículos, como também o local de origem e de destino da viagem. Estima-se que a granularidade necessária para isso seja da ordem de 1 registro a cada 10 segundos, considerando que um caminhão se desloca em trechos urbanos com uma velocidade média de no máximo 30 km/h (equivalente a 10 m/s), demorando cerca de 10 segundos para percorrer um link da rede, supondo que este tem o tamanho de um quarteirão médio, ou seja, aproximadamente 100 metros.

- b) **Quantidade de entregas por período (por exemplo, dia da semana ou período do ano):** depende do período contemplado pelos dados, ou seja, se houver dados apenas para um dia, não é possível verificar a variação por dia da semana, por exemplo.
- c) **Custo operacional total por rota para o operador logístico:** depende do conhecimento do tipo, modelo, marca e ano de fabricação do veículo; e do conhecimento da distância total percorrida.
- d) **Quantidade total de poluentes emitidos estratificados em CO, CO₂ e NO₂ por rota:** depende do conhecimento do tipo, modelo, marca e ano de fabricação do veículo; e do conhecimento da distância total percorrida.

Além disso, em relação aos indicadores que podem ser extraídos de dados GPS – classificados como “Sim” e “Depende” – todos dependem de processamentos que obtêm informações necessárias para o cálculo destes. A quantificação de paradas (entrega e/ou coleta) por rota/veículo ou por área/via, por exemplo, depende de primeiro de se identificar as paradas em si.

Assim, buscou-se definir quais os principais processamentos que devem ser realizados antes da obtenção de cada um dos indicadores, também apresentados na Tabela 4.2 como “pré-requisitos”, sendo estes:

- a) **Identificação de paradas de carga/descarga:** necessário para diferenciar os trechos em movimentos das paradas com atividades de carga e/ou descarga;

Tabela 4.2 – Indicadores de desempenho logístico

Indicadores de desempenho logístico	Referência	Cálculo a partir de dados GPS	Pré-requisitos			
			Identificar paradas de carga/descarga	Identificar início/fim da rota	Classificar local das paradas (público ou privado)	Associar os registros GPS às vias
<div><div><div>✖</div><div>Não</div></div><div><div>!</div><div>Depende</div></div><div><div>✔</div><div>Sim</div></div></div>						
Indicadores operacionais						
Número de coletas/entregas por rota	ALLEN et al. (2000)	✔	●	●		
Tempo total gasto por rota por veículo		✔		●		
Tempo de deslocamento por coleta/entrega		✔	●			
Ocupação do veículo na saída do depósito		✖				
Relação entre o tempo que o veículo ficou parado para realizar as atividades de coletas/entregas e o tempo total da rota		✔	●	●		
Velocidade média por rota com e sem paradas		✔	●	●		
Distância total percorrida por rota		!		●		●
Quantidade de entregas realizadas com veículo estacionado em via pública e em local apropriado para carga e descarga no cliente		✔	●		●	
Classificação do fluxo de veículos por área/período: fluxo de passagem x veículos entregando	Laranjeiro et. al (2019)	✔	●			
Velocidade média nas vias por período do dia/dia da semana		✔	●			●
Quantidade de entregas em uma área estabelecida	CHERRETT et al. (2012)					
por período do dia		✔	●			
por dia da semana		!	●			
por período do ano		!	●			
Quantidade de locais de carga/descarga utilizados (via pública, local privado) por área e período	✔			●		
Indicador financeiro						
Custo operacional total por rota para o operador logístico	ALLEN et al. (2000)	!	●			●
Indicadores ambientais						
Quantidade total de poluentes emitidos estratificados em CO, CO ₂ e NO ₂ por rota	ALLEN et al. (2000)	!		●		

- b) **Identificação da parada que corresponde ao início e fim de cada rota:** necessário para que os registros GPS possam ser divididos em rotas;
- c) **Classificação do local da parada:** necessário para identificar se o local onde o veículo está estacionado corresponde a vaga em via pública ou em local privado;
- d) **Associação dos registros GPS às vias:** necessário para associar atributos dos registros GPS às vias da malha viária, como a velocidade, por exemplo.

Com o intuito de obter tais indicadores, que permitam uma caracterização mais aprofundada do transporte urbano de cargas, devem ser realizados diversos processamentos com as bases de dados de rastreamento de veículos de carga disponíveis. Neste contexto, é possível dividir a aplicação de técnicas de processamento dos dados GPS de rastreamento de veículos em duas etapas principais: o pré-processamento, que consiste basicamente em processos de padronização dos dados e limpeza dos mesmos (*data cleaning*), ou seja, retirada de possíveis erros; e o processamento propriamente dito que engloba as interações e cálculos com os dados já “limpos” para extrair as informações de interesse. Ambas as etapas são detalhadas nas seções 4.2.2 e 4.2.3.

4.2.2 *Pré-processamento dos dados*

A etapa de pré-processamento engloba, como primeiro passo, a padronização dos dados brutos de GPS que, muitas vezes, possuem diferentes estruturas em termos de atributos, respectivas nomenclaturas e formatos dos mesmos, além da sequência em que se encontram na base de dados. Todos esses detalhes devem ser cuidadosamente interpretados e padronizados no sentido de otimizar os processamentos seguintes.

Figura 4.2 – Fase 1 do *Data Cleaning*

Figura 4.3 - Fase 2 do *Data Cleaning*

A partir da construção de uma base de dados uniforme, deve-se então realizar a etapa de *Data Cleaning*, cujo objetivo é garantir que as análises decorrentes não estejam distorcidas por erros contidos nos dados brutos. Para a definição dos erros, baseou-se na literatura (limitada) e também na expertise dos pesquisadores envolvidos. O *Data Cleaning* foi realizado em duas fases, sendo que a primeira fase (Figura 4.2) consiste na adequação dos sistemas de coordenadas e tempo, além da retirada de erros encontrados nos dados brutos, sendo estes critérios:

- a) Dados sem valor em um ou mais atributos (latitude/longitude, data/hora, ID veículo): impossibilitam os cálculos de um ou mais parâmetros necessários para as análises espaço-temporais;
- b) Dados duplicados: registros com todos os campos com valores idênticos (latitude/longitude, data/hora, ID veículo): são registros advindos de algum erro do aparelho de rastreamento.

A Fase 2 (Figura 4.3) se refere à limpeza de erros de consistência relacionados a atributos (calculados) a partir dos dados originais. Tais erros foram identificados e, posteriormente descartados, segundo os seguintes critérios:

- a) Registros com velocidade calculada superior a 110 km/h: embora a velocidade máxima permitida nas vias expressas das cidades não costuma ultrapassar os 90 km/h (a exemplo de São Paulo), as observações de campo mostram que nem sempre os veículos respeitam tais regulamentações, especialmente em locais deficientes de fiscalização. Assim, para determinar o limite superior de velocidade cujos registros seriam descartados por serem considerados erros, provavelmente advindos de um erro de leitura e/ou registro do dispositivo GPS, analisou-se o histograma de velocidades referente a base B, que é a mais diversa (Figura 4.4). Nota-se que praticamente não há registros com velocidade superior a 110 km/h, por isso adotou-se este valor, tendo sido descartados apenas 0,08% dos registros por este critério.

- b) Registros cuja aceleração/desaceleração é superior a 10 m/s^2 : foram descartados, pois esta aceleração não é fisicamente possível à veículos automotores.
- c) Veículos com menos de 5 registros para o período de análise (5 dias): neste caso, todos os registros do veículo são descartados, pois estes não permitem uma análise espaço-temporal devido à reduzida amostra de registros.

Figura 4.4 – Histograma de velocidades calculadas [km/h] – Base B

Os parâmetros e siglas utilizados nas figuras Figura 4.2 e Figura 4.3 são discriminados a seguir:

- a) **ID veículo**: código único que identifica um veículo;
- b) **Lat/Lon**: latitude e longitude de cada registro;
- c) **Data/Hora**: campo com a data (DD:MM:AAAA) e a hora (HH:MM:SS) de cada registro;
- d) **UTC**: Tempo Universal Coordenado, do inglês *Universal Time Coordinated*;

- e) ΔT : intervalo de tempo entre o registro i e o registro $i-1$ de cada veículo [s];
- f) ΔS : deslocamento entre o registro i e o registro $i-1$ de cada veículo [m];
- g) V_m : velocidade média vetorial entre o registro i e o registro $i-1$ de cada veículo; calculada através da divisão do ΔS pelo Δt [m/s];
- h) A : aceleração do veículo no trajeto entre o registro i e o registro $i-1$, calculada através da divisão da V_m pelo ΔT [m/s²].

O procedimento de pré-processamento dos dados de rastreamento resultou em uma eliminação de aproximada 5% do total de registros para as três bases de dados.

4.2.3 Processamento dos dados

Após o *Data Cleaning* realizado, conforme descrito na seção anterior, foram feitas algumas análises espaciais exploratórias com a finalidade de se aumentar a familiarização com os dados e suas características, além de identificar sobre possíveis oportunidades de análises que poderiam ser realizadas no âmbito do transporte urbano de cargas nas grandes cidades.

Primeiramente, são necessárias algumas definições de termos que serão usados nos critérios utilizados para definir as viagens dos veículos, ou seja, separar os registros consecutivos do GPS em viagens, que foram baseados em Spaccapietra et al. (2012), a saber:

- a) Objeto em movimento: qualquer objeto capaz de se deslocar no espaço e no tempo e, adicionalmente, pode produzir uma lista de registros de posições geográficas e a respectiva data e horário do registro;
- b) Movimento rastreado: sequência de registros espaço-temporais, de um objeto específico, ordenada temporariamente. Cada registro corresponde a uma posição geográfica (latitude, longitude) e a data e hora respectiva, e possivelmente algum outro atributo, como a indicação da ignição do veículo (ligada ou desligada)

- c) Trajetoria: segmento do movimento rastreado de um objeto, delimitada por um intervalo de tempo $[T_{\text{início}}, T_{\text{fim}}]$. Assim, o primeiro ponto da trajetória é denominado $T_{\text{início}}$ e similarmente, o último ponto é denominado T_{fim} .
- d) Parada: consiste em um objeto se manter em um espaço restrito durante um tempo.
- e) Viagem: trajetória entre duas paradas intermediárias consecutivas de um objeto, excluindo os primeiros e últimos registros do veículo.

Cada objeto em movimento corresponde a um veículo identificado por um código único (ID); o movimento rastreado corresponde a uma série de registros para cada de veículo que estão ordenados temporalmente, enquanto a trajetória corresponde a um segmento específico do movimento rastreado.

4.2.3.1 Identificação das paradas

A definição das viagens requer, portanto, a identificação das paradas, visto que uma viagem equivale a um trecho de uma trajetória entre duas paradas consecutivas. Em teoria, as paradas poderiam ser identificadas ao selecionar os registros cujas velocidades calculadas correspondem a zero. Entretanto, como a precisão da posição geográfica fornecida pelo dispositivo GPS não é exata, mesmo que o veículo esteja parado, as diferentes posições geográficas registradas resultarão em velocidades diferentes zero.

Esta tarefa é complexa, pois deve permitir distinguir os registros que correspondem a velocidades muito baixas devido às condições de trânsito ruins, ou seja, congestionamento; dos registros que correspondem de fato a paradas para realização de operações de carga/descarga ou outras atividades realizadas pelo motorista, como abastecimento do veículo ou parada para alimentação e/ou descanso.

Outro critério simples que poderia indicar diretamente se o veículo está parado ou não seria o atributo associado a ignição do veículo, que indica se este está ligado (se deslocando) ou desligado (parado por motivo não associado ao trânsito) (Comendador, 2012; Greaves e Figliozzi, 2008; Joubert e Axhausen, 2011b; Sharman e Roorda, 2013b). No entanto, este atributo relacionado a ignição do

veículo não é padrão em todas as bases de dados de rastreamento de veículos, e não consta na base B utilizada nesta pesquisa, assim tal critério não pode ser usado de forma generalizada.

Outro método bastante comum é utilizar um valor limite de velocidade para filtrar registros que potencialmente representam paradas, sendo o mais comum 5 km/h (Aziz et al., 2016), que corresponde a velocidade máxima desenvolvida por uma pessoa caminhando. Dessa forma, todos os registros cuja velocidade é inferior a 5 km/h representariam possíveis paradas, porém é necessário utilizar algum outro critério complementar que auxilie na definição das paradas reais.

Inicialmente, realizou-se este filtro (velocidade menor ou igual a 5 km/h) nos registros da Base B, por ser a base de dados maior em tamanho e mais heterogênea, uma vez que abrange dados de veículos rastreados que pertencem a diversas empresas desconhecidas, ou seja, consiste no caso mais complexo. Analisaram-se estes registros filtrados espacialmente na RMSP, porém notou-se muitos registros estavam localizados em vias expressas que, claramente, não poderiam ser paradas relacionadas a atividades de carga/descarga, além de registros que tinham indícios de representarem paradas em depósitos; portanto, este critério isoladamente não é suficiente para identificar paradas e sua respectiva finalidade.

Um terceiro critério, também bastante aplicado na literatura para identificar paradas, está relacionado ao tempo mínimo que um veículo se mantém parado/estacionado para uma operação de entrega/coleta. Neste caso, adota-se simultaneamente uma distância limite entre pontos consecutivos que serão considerados como uma parada (não relacionada ao congestionamento) no mesmo local.

Tal distância é necessária, pois existe um erro inerente à posição geográfica registrada por dispositivos GPS, sendo que este pode variar em função das características do aparelho, assim como a sua configuração e outros aspectos externos relacionados à região onde transita o veículo (como áreas de sombra de satélites). Em outras palavras, a imprecisão na localização da posição exata do veículo pode afetar as análises.

A abordagem proposta nesta pesquisa adota tal critério, baseado em Gingerich et al. (2016), sendo que esta exige que se avalie individualmente a trajetória de cada veículo e identifique as paradas com base no critério tempo e raio combinados.

Fonte: Adaptado de (Gingerich et al., 2016)

Figura 4.5 – Cálculo de T_{acum} para determinação das paradas

Considerando tais parâmetros, o algoritmo calcula para cada dois registros consecutivos o ΔT (Figura 4.5) e ΔS , e ao identificar um registro que corresponde ao critério definido, este é marcado como início de viagem e, portanto, o registro anterior é marcado como fim da viagem.

Neste trabalho os parâmetros utilizados foram:

- a) tempo mínimo parado igual ou superior a 15 minutos;
- b) raio máximo de 100 metros.

No caso do raio, a distância foi definida com base em dois aspectos: (i) na literatura, onde os estudos encontrados utilizam como raio máximo valores entre 15 metros (Greaves e Figliozzi, 2008) e 800 metros (Aziz et al., 2016); e (ii) na identificação do tamanho de alguns pontos de parada encontrados na base B, utilizando o *Google Maps* e *Google Street View*. Esta checagem foi realizada com os dez maiores pontos de concentração de registros com velocidade inferior a 5 km/h, sendo comprovado pelas imagens que tais locais de concentração de pontos de fato

correspondiam a centros de distribuição ou pátios de estacionamento de transportadoras; e os maiores locais identificados tinham sua largura e/ou comprimento de no máximo 200 metros.

Este aspecto foi considerado, pois muitas vezes o veículo se desloca dentro da propriedade onde está realizando a carga/descarga e a preocupação foi evitar que uma parada desta fosse computada como duas ou mais devido a esta movimentação interna do veículo de carga.

Em relação ao tempo mínimo (15 min) utilizado como parâmetro para determinação de paradas, o mesmo foi adotado com base em três fatores, sendo o primeiro relativo aos estudos encontrados na literatura, onde tal parâmetro varia entre 240 segundos (Greaves e Figliozzi, 2008) a 15 minutos (Gingerich et al., 2016). Além disso, considerou-se outros dois aspectos: a expertise dos pesquisadores envolvidos e o conhecimento das características de distribuição urbana das duas cadeias logísticas (Bases A.1 e A.2), sendo que uma delas (A.2) apresenta um intervalo médio entre registros de 15 minutos, portanto o tempo mínimo de uma parada não poderia ser inferior a este valor.

Ao identificar registros consecutivos de um mesmo veículo referentes à mesma parada, segundo a lógica explicada (Figura 4.5), estes registros são consolidados em um único registro, cuja posição geográfica corresponde à localização média (média das latitudes e longitudes) de todos os registros associados à mesma parada, sendo que a data/hora corresponde ao atributo do primeiro registro identificado como parada, ou seja do início da parada. No caso do exemplo acima, a parada identifica se torna P' , cuja posição geográfica corresponde ao ponto médio dos registros P_1 , P_2 e P_3 .

Por motivos de minimizar o esforço computacional de processamento devido ao tamanho das bases de dados utilizadas, as operações e análises realizadas foram no recorte referente à área de estudo (RMSP) nas bases de dados brutos. Assim, o início do movimento rastreado de um veículo consiste no primeiro registro (temporalmente) do objeto que está contido dentro da área definida para a análise em questão, e o final refere-se ao último registro. Por consequência, o início e fim do

movimento rastreado são determinados pela “fronteira” dos dados, ou seja, depende dos limites espaciais da área em questão.

Adicionalmente, cabe ressaltar que, para fins comparativos entre os resultados obtidos a partir das três bases de dados, e com objetivo de generalizar a abordagem, definiu-se que seriam usados os mesmos critérios no processamento de todas as bases de dados. Sabe-se, porém, que no caso do *e-commerce* tais tempos seriam bem menores (Laranjeiro et al., 2019), porém nas análises exploratórias da base de dados B, cujas empresas são desconhecidas, não houve indícios de que estes dados contemplem alguma empresa deste ramo.

Como forma de validar os resultados obtidos através da aplicação do algoritmo na identificação das paradas, utilizaram-se os dados das bases A.1 e A.2 (as duas empresas varejistas), que possuem um campo que fornece a informação sobre o status da ignição do veículo, podendo ser: ligada ou desligada. Este procedimento, aplicado às bases A.1 e A.2, consistiu em duas etapas:

- a) Computar o status da ignição das paradas identificadas pelo algoritmo (Figura 4.6a);
- b) Computar dos registros cujo status da ignição é desligado, quantos foram identificados como paradas e quantos não (Figura 4.6b).

Paradas	Ignição		Paradas	Ignição	
	Desligada	Ligada		Desligada	Ligada
Outros registros	Desligada	Ligada	Outros registros	Desligada	Ligada

Figura 4.6 Avaliação do status da ignição das paradas identificadas pelo algoritmo (a) e avaliação dos registros com ignição desligada que foram identificados como paradas (b).

4.2.3.2 Identificação de paradas que correspondem ao início e/ou fim da rota

Um dos grandes desafios depois da identificação das paradas é conseguir classificá-las segundo o motivo e o local da parada. Especificamente para extrair os indicadores de desempenho logísticos apresentados, como, por exemplo, a

quantidade de paradas por rota, é necessário antes identificar qual a parada que representa o início e fim da rota correspondente.

Considera-se como rota, o conjunto de deslocamentos (trechos entre paradas) e paradas que constituem uma trajetória que, usualmente, começa em um centro de distribuição (CD), onde o veículo é carregado e termina no último ponto de entrega ou novamente no CD, com o veículo vazio, supondo que todas as entregas foram realizadas com sucesso, onde se inicia uma nova rota no mesmo dia ou não.

Assim, com o intuito de identificar as paradas correspondentes a CDs ou outras instalações logísticas que correspondem ao ponto inicial e final de uma rota, utilizou-se um método de clusterização nas paradas para identificar locais onde se concentram várias paradas ao longo do período de estudo. Partiu-se da hipótese de que nestes locais (CDs e outras instalações logísticas) há uma concentração maior de paradas, dado que comumente o mesmo veículo visita mais de uma vez a mesma instalação logística para carregar as mercadorias e vários veículos distintos realizam paradas neste local, o que nem sempre ocorre no caso de um ponto de entrega na cidade.

O método utilizado para a clusterização foi o *Density Based Spatial Clustering of Applications with Noise* (DBScan), de maneira análoga ao realizado por Aziz et al. (2016). Tal método cria grupos (ou *clusters*) formados por pontos, neste caso, paradas, numa circunferência de raio pré-determinado, com base em uma densidade também pré-definida, representada pelo número mínimo de pontos dentro da área da circunferência. Os parâmetros adotados foram:

- a) Raio: 100 metros – mesmo parâmetro adotado para a identificação das paradas;
- b) Número de pontos mínimo por *cluster*: utilizaram-se três valores diferentes – 5, 10 e 15 pontos.

Entretanto, apenas o critério de concentração de paradas não é suficiente para inferir os locais que correspondem a instalações logísticas e diferenciá-los de locais onde ocorrem entregas.

Portanto, antes de aplicar o método DBScan para gerar os grupos, as paradas foram divididas em quatro categorias em função da duração da parada, conforme Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Categorias de paradas em função da duração

Duração da parada	Hipótese
Até 2 horas	Provavelmente entregas
2 a 3 horas	Indefinido
3 a 5 horas	Indefinido
Acima de 5 horas	Provavelmente carga e/ou descarga no CD

Tal critério foi adotado, considerando a hipótese de que paradas associadas a entregas, em geral, apresentam menor duração, enquanto as paradas relacionadas com processos de carga em centros de distribuição usualmente possuem maior duração.

Em resumo, a abordagem proposta trata do primeiro e parcialmente do segundo processamento identificados como pré-requisitos para extrair informações necessárias para o cálculo dos indicadores de desempenho logísticos apresentados na seção 4.2.1, conforme Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Processamento dos dados GPS abordados nesta pesquisa

Processamento	Status	Justificativa
Identificar paradas de carga/descarga	Realizado	-
Identificar início/fim da rota	Parcialmente realizado	Necessário aprimorar a abordagem e realizar o processamento de dividir os conjuntos de registros de cada veículo em rotas, segundos as paradas identificadas como início e/ou fim da rota.
Classificar local das paradas (público ou privado)	Não realizado	Depende da precisão do dispositivo GPS, além do intervalo entre registros consecutivos.
Associar os registros GPS às vias	Não realizado	

4.3 Estudo de caso: São Paulo

Esta pesquisa focou prioritariamente na cidade de São Paulo; porém, como as atividades de transporte de carga em grandes centros urbanos, incluindo São Paulo, usualmente ultrapassam os limites da cidade, considerou-se como área de estudo toda a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

A cidade de São Paulo (Figura 4.7), que representa o centro dos 39 municípios da RMSP, apresenta um alto índice de complexidade no que se trata de mobilidade urbana como um todo, dada a sua dimensão, a diversidade de uso do solo, a densidade de ocupação, entre outras características que são comuns a um centro urbano de um país em desenvolvimento.

Figura 4.7 – Municípios da RMSP com destaque para a cidade de São Paulo

No que tange as medidas e políticas de transporte urbano de cargas já existentes, cabe citar as diversas zonas de restrição de circulação de caminhões de carga que surgiram na década de 1980 e desde lá foram sendo revisadas e atualizadas, resultando nas seguintes zonas vigentes, segundo o DECRETO Nº 49.487 (2008):

- a) zona máxima de restrição de circulação (ZMRC): área do município de São Paulo (Figura 4.8) com restrição de circulação de caminhões, sendo esta proibida nos seguintes períodos:
- segundas-feiras à sexta-feira: das 5 às 21 horas;
 - sábados: das 10 às 14 horas.
- b) zona especial com restrição de circulação (ZERC) – é uma área ou via em zonas exclusivamente residenciais – ZER's, conforme o Plano Diretor Estratégico (PDE) e a Lei nº 13.885 (2004). Essa restrição visa dar condições de segurança e/ou qualidade ambiental aos moradores e frequentadores das áreas residenciais. Essas áreas possuem sinalização específica com restrição por período integral;
- c) vias estruturais restritas (VER): vias e seus acessos, com restrição ao trânsito de caminhões, em determinado horário por meio de regulamentação local, com características de trânsito rápido ou arterial, bem como túneis, viadutos e pontes que dão continuidade a tais vias e constituem a estrutura do sistema viário (Figura 4.8).

Cabe citar também o projeto-piloto de entregas noturnas, ou seja, realizar entregas no período das 22h às 05h. Esta foi uma iniciativa da Secretaria Municipal de Mobilidade e Transportes (SMMT) de São Paulo, coordenada pelo seu Departamento de Sistema Viário (DSV) e com apoio técnico da Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET-SP). A idealização do projeto contou com a participação do setor privado, representado pelo Instituto de Desenvolvimento do Varejo (IDV), bem como pelo Sindicato de Transportadores de São Paulo (SETCESP) e diretores da área de logística em grandes empresas, como o Grupo Pão de Açúcar (GPA) (ANTP, 2015b).

O projeto foi inspirado no piloto desenvolvido em Nova Iorque – Estados Unidos em 2011 e, conforme já citado, foi planejado, coordenado e avaliado pelo CISLOG. O piloto foi executado entre outubro de 2014 e março de 2015, onde 11 empresas do setor privado (incluindo redes de supermercados, drogarias, home centers, entre outras) participaram voluntariamente, transferindo parte de suas entregas para o período noturno durante um período do projeto. As entregas

envolveram abastecimento de lojas de rua (com e sem área de descarga privada) e lojas em shoppings, inclusive houve casos de entregas não-assistidas, onde não havia um recebedor na loja para realizar a conferência e esta é feita posteriormente (ANTP, 2015b).

Fonte: <http://www.cetsp.com.br/consultas/caminhoes/mapa.aspx>

Figura 4.8 - Zona Máxima de Restrição de Circulação (ZMRC) e VER - SP

O projeto obteve a adesão voluntária de 13 empresas, embora não tenha havido nenhum tipo de incentivo financeiro ou de outra natureza. Como resultados positivos, cabe mencionar primeiramente a disseminação desta prática, que inclusive já ocorria pontualmente em São Paulo; a fomentação de um fórum que une os diversos *stakeholders* (setor público; setor privado – embarcadores, transportadores e recebedores; universidade), como ocorreu durante a idealização e execução do projeto; e a experimentação e avaliação, por parte das empresas que

participaram do projeto, da possibilidade de implantação definitiva de entregas noturnas na sua cadeia logística e como viabilizarem tal operação (ANTP, 2015b).

Além disso, após o término do projeto e avaliação dos resultados, a prefeitura, reconhecendo a necessidade e importância de se estudar políticas públicas especificamente voltadas ao transporte urbano de cargas, criou uma “Divisão de Transporte de Cargas” da cidade de São Paulo dentro do DSV. Adicionalmente, foi criado o “Programa de Entregas Noturnas” visando dar continuidade ao estudo e estímulo desta política de transporte de cargas.

Ainda no âmbito das políticas de transporte urbano de cargas, cabe citar o Plano de Mobilidade Urbana da cidade, apresentado em 2015, onde é relatado que o volume diário de caminhões em circulação estimado na cidade é da ordem de 190 mil e, segundo pesquisas internas da CET-SP, cerca de 20 mil (10%) deste total correspondem a caminhões que estão apenas de passagem, ou seja, não tem nenhuma parada para carga e/ou descarga dentro da capital (Secretaria Municipal De Transportes, 2015).

O Plano de Mobilidade Urbana de São Paulo contém também um subcapítulo intitulado “Logística e Transporte de Carga”, segundo o qual devem ser considerados “aspectos relativos às características de uso do solo como balizadores de medidas e intervenções, além das questões de armazenamento das cargas, do transbordo, pátios de estacionamento, ou seja, sua infraestrutura de apoio, além das transferências intermodais e dos tipos de veículos.” (Secretaria Municipal De Transportes, 2015).

Este subcapítulo do Plano de Mobilidade Urbana aborda o tema estruturado em quatro subitens, sendo o primeiro chamado “Mobilidade de Carga e Serviços”, onde são abordados aspectos gerais do transporte de cargas como um todo na cidade. O Plano ainda estabelece diretrizes, como a “articulação com as políticas públicas do Município, do Estado e da União”, e objetivos em relação ao transporte de carga, como “reduzir os conflitos de circulação entre pessoas, cargas e serviços”.

Adicionalmente, são apresentadas metas específicas com relação a logística e transporte de cargas, com diferentes prazos de execução (2016, 2017, 2018 e 2024), entre as quais pode-se citar: concluir a Pesquisa Origem e Destino de Cargas

(contratada em 2015) e definir a periodicidades das próximas, desenvolver estudo para implantação de uma rede de Mini Terminais de Carga, avaliar e propor melhorias na regulamentação do Veículo Urbano de Carga (VUC), implantar equipamentos logísticos, etc.

Todavia, nota-se que estas diretrizes, objetivos e metas apresentados se encontram em um nível estratégico ainda, ou seja, não apresentam detalhes de quais medidas serão tomadas ou como estas serão implementadas, e muitos destes, especificamente as metas, constituem propostas de estudos.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

A partir dos dados apresentados na seção 4.1 (bases A.1, A.2 e B), foi aplicada a abordagem descrita na seção 4.2, com o objetivo de explorar o potencial uso de dados de rastreamento para extração de indicadores de logística no âmbito da cidade.

Assim, neste capítulo, são apresentadas as análises e resultados obtidos a partir do processamento dos dados de rastreamento, para a área de estudo detalhada anteriormente na seção 4.3.

Inicialmente, são abordadas as análises obtidas durante o processo de identificação das paradas e de buscar distinguir quais destas correspondem ao início e/ou fim de uma rota, cujos resultados podem auxiliar a obter um melhor entendimento do comportamento das operações logísticas na cidade de São Paulo. Tais análises foram agrupadas e serão apresentadas nesta ordem:

a) Identificação e caracterização das paradas associadas à carga/descarga:

- Validação da abordagem de identificação de paradas;
- Frequência das paradas;
- Duração das paradas;

b) Identificação do início e/ou fim da rota.

Em seguida, são apresentados os resultados associados a dois indicadores de desempenho logísticos apresentados na seção 4.2.1, quais sejam:

- a) Classificação do fluxo de veículos por área/período: fluxo de passagem x veículos entregando (seção 5.4);
- b) Velocidade média nas vias por período do dia/dia da semana (seção 5.5).

5.1 Identificação e caracterização das paradas

Conforme pontuado anteriormente, inferir de forma automatizada quais os registros GPS correspondem a paradas, especificamente as associadas a operações de carga e descarga é um pré-requisito para o cálculo de quase todos os indicadores de desempenho logístico (seção 4.2.1). Assim, foi aplicada a abordagem, apresentada em 4.2.3, às três bases de dados disponíveis A.1, A.2 e B, conforme detalhado a seguir.

5.1.1 Validação da abordagem de identificação de paradas

Em relação às bases de dados A.1 e A.2, que correspondem a dados de duas empresas de grandes redes varejistas, o foco é validar os resultados obtidos com a abordagem aplicada para a identificação das paradas, ou seja, a capacidade da mesma separar corretamente as paradas para realização de entregas daquelas que correspondem a veículos circulando com velocidade bastante reduzida devido a congestionamentos ou semáforos, por exemplo.

Na Figura 5.1 (a) apresenta-se a proporção dos registros identificados como paradas segundo o status da ignição do veículo, sendo que os registros com ignição desligada representam aproximadamente 96% e 94% das paradas identificadas nas bases A.1 e A.2, respectivamente.

Adicionalmente, avaliou-se também qual o percentual dos registros com ignição desligada que, a princípio, devem estar em sua maioria associados a paradas verdadeiras, foram apontados como paradas pelo algoritmo utilizado. Observa-se, na Figura 5.1, que 94% dos registros com ignição desligada da base de dados A.1 foram marcados como paradas, enquanto na base A.2 este valor foi da ordem de 89%.

Estas duas análises referentes às bases A.1 e A.2, de duas empresas distintas, indicam coerência nos resultados obtidos a partir da abordagem proposta para identificação de paradas e os respectivos parâmetros adotados, que permitem admitir que os resultados da mesma abordagem aplicado à outra base de dados, como a B, podem ser considerados válidos.

Figura 5.1 – Status da ignição referente às paradas identificadas (a) e percentual dos registros de ignição desligada classificados como paradas pelo algoritmo (b)

5.1.2 Frequência de paradas - Base de dados B

Como visto no capítulo anterior, a base de dados B relativa à área de estudo (RMSP) consiste em 342 milhões registros de posição geográfica correspondentes a 22.131 veículos de carga. Deste total de caminhões, aproximadamente 64% (14.262) possuem uma ou mais paradas na RMSP, somando ao todo 52.720 paradas identificadas segundo a abordagem descrita em 4.2.3, o que equivale a uma média de 3,7 paradas por veículo para o período de uma semana (segunda à sexta).

Cabe ressaltar que nesta análise ainda não é feita nenhuma classificação ou distinção por tipo de parada; portanto são computadas nesses valores inclusive as paradas que não envolvem movimentação de carga (isto é, carga ou descarga), ou seja, para descanso, abastecimento ou alimentação, por exemplo.

A Figura 5.2 apresenta a frequência de paradas por caminhão dentro da RMSP, onde é possível notar que 98% dos veículos têm até 15 paradas neste período de cinco dias, o que, na média, equivale a 3 parada por dia, se distribuídas

uniformemente. Entretanto, desses 98% dos veículos, mais de 80% possui 5 paradas, dos quais quase metade (37%) faz apenas uma parada dentro da RMSP. Tal constatação incentivou um aprofundamento no perfil destes veículos de carga, no sentido de entender por que um número tão baixo de entregas para uma região urbana, onde se estima que um veículo de carga que abastece estabelecimentos na região urbana realize no mínimo 2 a 4 entregas por dia, dependendo da cadeia em questão.

Figura 5.2 – Frequência de paradas por caminhão [Total no período – 5 dias] - RMSP

Em relação à distribuição destas paradas ao longo do dia, a Figura 5.3 apresenta a quantidade de paradas computadas por hora (tendo por base o horário de início da parada) para cada dia da semana, sendo que o valor 0 hora (eixo x) corresponde ao período de 00h00min até 00h59min; o valor 1 hora corresponde ao período de 01h00min até 01h59min, e assim consecutivamente. Cabe ressaltar que esta distribuição inclui todas os tipos de parada identificadas, desde paradas nos depósitos, paradas para entregas e paradas onde o caminhão fica estacionado entre um turno de operação e o seguinte. Observa-se que as paradas estão mais concentradas entre as 07h00 e 23h59, totalizando 86% do total de paradas

identificadas. Esta distribuição é compatível e proporcional à quantidade de veículos rastreados por dia da semana e hora, conforme Figura 5.4.

Figura 5.3 – Distribuição de paradas por dia da semana e hora do dia – Base de dados B – RMSP

Figura 5.4 – Distribuição de veículos por dia da semana e hora do dia – Base de dados B - RMSP

5.1.3 Duração das paradas - Base de dados B

Em relação à duração das paradas que foram identificadas (Figura 5.5) é possível notar que quase metade destas demoram entre 15min (tempo mínimo para ser considerada uma parada) e 1,5h (39% até uma hora); 23% das paradas duram entre 1,5h e 5h, 14% duram entre 5h e 12h e o restante (14%) apresenta duração superior a 12h.

Sabe-se que no caso das paradas associadas a entregas, a sua duração varia bastante em função do tipo de cadeia de suprimentos. Com base em diversas visitas em campo realizadas durante o projeto piloto de entregas noturnas em São Paulo, foi possível notar claramente algumas dessas diferenças.

Em um dos casos: uma rede de farmácias própria que recebe diariamente as mercadorias de todos os fornecedores já consolidadas a partir de um centro de distribuição na RMSP, uma entrega em São Paulo dura entre 15 e 45 min, em média, sendo um abastecimento cujas características são: baixo volume de carga, carga leve, facilidade de estacionar (vagas próprias na loja).

Já em outro caso: uma rede de lojas varejo, por exemplo, onde alguns fornecedores abastecem diretamente suas lojas com uma frequência de 2 a 3 vezes por semana, observou-se que as entregas demoram em média 2 horas, podendo ultrapassar 4 horas. Em contraposição ao caso anterior (rede de farmácias), os volumes são maiores (paletes na maioria dos casos), com peso maior (cerca de 1 tonelada por palete) e, por vezes, há necessidade de estacionar em vaga pública, devido à falta de docas, especialmente no caso de lojas menores, do tipo de vizinhança que muitas vezes nem estacionamento possuem.

Tendo em vista as considerações acima sobre as características das entregas relacionadas, podemos supor que na análise em questão (base de dados B), cujas empresas são desconhecidas, é provável que as entregas associadas à carga ou descarga correspondam a grande parte dos 72,6% do total de paradas identificadas, cuja duração é de até 5 horas; enquanto as paradas para descanso ou intervalo entre viagens consecutivas correspondem a períodos sem operação devem representar a maioria dos 14% das paradas que duram entre 5 e 12 horas. Já os

14% que duram mais de 12 horas podem estar associados períodos sem operação maiores, por motivo de manutenção por exemplo.

Figura 5.5 – Histograma de paradas por tempo de parada [hora] - RMSP

Figura 5.6 – Quantidade de paradas por tempo total parado [hora] - RMSP

Além disso, apresenta-se na Figura 5.6 um histograma com a relação de quantidade de paradas por tempo total parado, em horas; ou seja, para cada veículo é computada a quantidade de paradas realizadas para todo o período (cinco dias) e dividida pela soma do tempo total de todas as suas paradas [horas]. Aproximadamente 86% dos veículos fazem 1 parada no período entre 1 hora (o que corresponde a uma parada por hora) até 4 horas (0,25 paradas por hora).

Ainda, buscou-se correlacionar a duração média das paradas com o número de paradas realizadas por cada veículo. Intuitivamente, quanto mais paradas um veículo faz, menor tende a ser a duração média de cada parada, tendo em vista a limitação da jornada de trabalho do motorista, que limita a duração total da rota ou viagem. Tal correlação pode ser observada na Figura 5.7, que apresenta um histograma de duração média da parada [em horas], em função do número total de paradas por veículo, onde se constata a tendência esperada.

Figura 5.7 – Duração média das paradas vs. Número de paradas por veículo.

Adicionalmente, separou-se o conjunto de paradas em dois subconjuntos, a saber:

- a) SP: relativo às paradas que ocorrem dentro da cidade de São Paulo;
- b) Fora de SP: paradas dentro da RMSP, porém fora da cidade de São Paulo.

Figura 5.8 – Tempo médio de parada vs. N de paradas – dentro e fora de São Paulo

Tal separação foi feita com o intuito de observar se a mesma correlação entre o número de paradas por veículo e a sua duração média apresenta padrões distintos para tais subconjuntos, ou seja, se tal correlação é diferente para as paradas que ocorrem dentro e fora da cidade de São Paulo.

Entretanto, como se observa no histograma da Figura 5.8, a distribuição é similar, isto é, não há indícios de que haja um padrão diferente na correlação entre duração e quantidade de paradas por veículo dentro e fora da cidade. Tal aspecto

reforça a importância de pensar no planejamento do transporte urbano de cargas como algo integrado e comum a toda a Região Metropolitana e não no âmbito das cidades individualmente.

5.2 Identificação do início e/ou fim da rota – Base de Dados B

Conforme detalhado na seção 4.2.3, aplicou-se o método de clusterização *Density Based Spatial Clustering of Applications with Noise* (DBScan) aos dados da base B, de maneira análoga ao realizado por Aziz et al. (2016), com o objetivo de distinguir entre as paradas identificadas no item anterior, quais destas correspondem a CDs ou outras instalações logísticas e, portanto, tendem a representar o ponto inicial e final de uma rota.

Este método agrupa em *clusters* (ou grupos) os pontos que estão dentro de um raio delimitado, isto é, cria grupos de pontos em áreas que correspondem a circunferências com um raio definido. Nesta aplicação, os *clusters* podem abranger uma área equivalente a uma circunferência com raio de até 100m, e devem conter um número mínimo de paradas definido previamente.

Como não se encontrou referência de quantas paradas seriam necessárias para caracterizar uma instalação logística, definiu-se três valores para os testes iniciais: 5, 10, 15 paradas acumuladas em 5 dias (período de dados), isto é, equivale a uma média de 1, 2 e 3 paradas por dia no mesmo local, respectivamente.

Foram analisados os resultados destas três clusterizações, segundo a sua distribuição espacial, como mostrado na Figura 5.9 e Figura 5.10. Os *clusters* com 5 pontos são mostrados em verde; os com 10 pontos em roxo; e os com 15 pontos em rosa. Naturalmente eles se sobrepõem, pois onde são identificados *clusters* com pelo menos 15 pontos, também são identificados um ou mais *clusters* de no mínimo 5 ou 10 pontos, e o inverso não é recíproco pela mesma lógica.

Figura 5.9 – Localização dos *clusters* por número mínimo de paradas

Figura 5.10 – Localização dos *clusters* por número mínimo de paradas (zoom)

Nota-se que a maioria dos *clusters* está localizada próxima dos principais eixos rodoviários de acesso à cidade São Paulo, onde se concentra a maior parte dos centros de distribuição, de onde partem as viagens de veículos de carga que abastecem a cidade. Além disso, foram identificados alguns *clusters* próximos às marginais do rio Tietê e do rio Pinheiros, e também ao longo da Avenida dos Estados, importante eixo que conecta a cidade às cidades de São Caetano do Sul, Santo André e Mauá.

Ao se analisar os *clusters* com no mínimo 5 ou 10 paradas, nota-se muita sobreposição, o que pode significar que um local de permanência mais prolongada dos veículos tais, como início ou fim de viagem para vários veículos (fábrica ou centro de distribuição) teve suas paradas segregadas em dois ou mais *clusters*. Além disso, há alguns *clusters* localizados dentro da ZMRC da cidade ou sobre vias importantes, que mais provavelmente representam falsos positivos.

Dessa forma, optou-se por estender a análise dos agrupamentos a fim de identificar paradas associadas a locais de início e término de viagem com os resultados da clusterização, considerando que cada grupo precisa ter no mínimo 15 paradas acumuladas nos 5 dias de dados. Os resultados são mostrados na Figura 5.11, enquanto a Figura 5.12 mostra a localização das paradas associadas a estes *clusters*, sendo que cada agrupamento de paradas é identificado por uma cor diferente de forma a representar paradas que pertencem ao mesmo *cluster*.

Ao todo, 52.720 paradas foram identificadas (seção 5.2), das quais 22.470 paradas, 42,6% do total, foram agrupadas em 442 *clusters*. Nota-se, porém, que ainda há *clusters* em regiões mais centrais da cidade (inclusive dentro da ZMRC) que, devido à sua localização levantam a hipótese de representarem falsos positivos, ou seja, não estarem associados a locais de início e término de viagem para vários veículos, tais como unidades industriais ou centros de distribuição.

Figura 5.11 – Localização dos *clusters* [15 ou mais paradas por *cluster*]

Figura 5.12 – Localização das paradas agrupadas em *clusters* [15 ou mais paradas por *cluster*]

No sentido conseguir fazer tal distinção, separou-se o conjunto inicial de paradas em quatro classes em função da duração das paradas, que são apresentadas na Tabela 5.1. Tais intervalos de duração foram escolhidos a partir do conhecimento de diversas operações logísticas de cadeias distintas em São Paulo, de onde sabe-se que a maioria das entregas costumam durar até 2 horas, e que paradas acima de 5 horas usualmente só ocorrem em CDs ou instalações logísticas desse tipo. Entretanto para o intervalo intermediário (entre 2 e 5 horas) é menos trivial determinar se a parada corresponde a uma entrega ou uma operação em CD, por isso se subdividiu este intervalo em outras duas classes para posterior avaliação do padrão espacial.

Tabela 5.1 – Classes em função da duração da parada

Duração da parada	Hipótese
Até 2 horas	Provavelmente entregas
2 a 3 horas	Indefinido
3 a 5 horas	Indefinido
Acima de 5 horas	Provavelmente carga e/ou descarga no CD

A partir dessas quatro classes de paradas, divididas em função da sua duração, repetiu-se o processo de clusterização com os mesmos critérios anteriores (raio até 100 metros e no mínimo 15 paradas por *cluster*), resultando na quantidade de *clusters* apresentadas na Tabela 5.2, segundo a sua localização, podendo estar dentro ou fora da cidade de São Paulo.

Observa-se que do total de 442 *clusters*, cerca de 21% (94 *clusters*) estão localizados dentro da cidade de São Paulo, enquanto os outros 79% (348 *clusters*) estão distribuídos nas outras cidades da RMSP. Além disso, espacialmente se verificou que dos *clusters* que se encontram dentro da cidade, apenas três *clusters* se encontram dentro da ZMRC, que é bem coerente com a expectativa, dado que se sabe que tais instalações logísticas se concentram na região periférica da cidade e em cidades adjacentes, em sua maioria.

Tabela 5.2 – Quantidade de *clusters* por classe e localização (dentro e fora de São Paulo)

Duração Parada	Fora SP	Dentro SP	Total
Até 2h	178	40	218
2 a 3h	21	4	25
3 a 5h	19	3	22
Acima de 5h	130	47	177
Total	348	94	442

Os três *clusters* dentro da ZMRC, cujas paradas agrupadas estão na classe de duração até 2 horas, foram verificados através das imagens do *Google Earth* e do *Google Street View*, por representarem possíveis falsos positivos. Destes, dois estão na região central (Bela Vista e Jardins) e aparentemente não correspondem a instalações logísticas, porém não foi possível confirmar se corresponderiam a entregas ou paradas por outro motivo, ou ainda falsas paradas, geradas por algum congestionamento ou semáforo etc.

Já o terceiro que se encontra dentro da ZMRC, está localizado na região da Vila Leopoldina e corresponde a um local de consolidação e expedição de encomendas dos Correios na cidade (Figura 5.13), portanto foi identificado corretamente pela abordagem e não representa um falso-positivo.

Ainda com o intuito de confirmar a aderência dessa metodologia de clusterização para inferir a localização dos centros de distribuição e outras instalações logísticas similares com base nas paradas identificadas a partir dos dados de rastreamento de veículos de carga, avaliaram-se os *clusters* com paradas de até duas horas com menor número de paradas por grupo (de 15 a 17 paradas por *cluster*), independentemente da sua localização.

Figura 5.13 – Base dos Correios

Os 32 *clusters* (Tabela 5.3 e Figura 5.14) que atendem tal critério – da mesma forma que os 3 *clusters* localizados dentro da ZMRC - foram individualmente verificados através das imagens do *Google Earth* e do *Google Street View*. Destes 32 apenas dois (6,3%) não foram confirmados como instalações logísticas, sendo que ambos estão localizados dentro da cidade de São Paulo.

Tabela 5.3 – *Clusters* validados

Localização/ N. Paradas	15	16	17	Total
Fora de SP	16	6	5	27
Dentro de SP	3		2	5
Total	19	6	7	32

Figura 5.14 – Localização dos *clusters* validados dentro (a) e fora (b) de São Paulo

Em relação aos outros 30 *clusters*, apenas três estão localizados em São Paulo (*clusters* 157, 214 e 215 - Figura 5.14(a)), porém em regiões fora da ZMRC e onde há concentração de instalações logísticas, e os outros 27 *clusters* estão fora da cidade e próximos a eixos rodoviários de acesso a cidade, conforme Figura 5.14(b).

Conclui-se, portanto, que a abordagem de clusterização de paradas aplicada com a finalidade de identificar instalações logísticas que representam início e fim das rotas dos veículos de carga apresenta resultados satisfatórios. Entretanto, cabe pontuar o desafio de se calibrar os parâmetros da mesma, em especial, a quantidade de paradas mínima por *cluster*, que depende inclusive da quantidade de veículos rastreados e do período de rastreamento, visto que esta abordagem tende a apresentar resultados melhores quanto maior for a quantidade de registros GPS disponíveis.

Distribuição de *clusters* por zona OD

Por fim, com o objetivo de exemplificar como a identificação da localização das potenciais origens da carga que se destina ao abastecimento da cidade pode auxiliar no contexto do planejamento do transporte urbano de cargas, cruzou-se a localização dos *clusters* de paradas apresentados acima com o zoneamento da pesquisa OD (Origem-Destino) de passageiros realizada pela Companhia do Metropolitano de São Paulo – METRÔ em 2007.

Tal zoneamento foi escolhido para esta análise devido ao fato de ser o único agrupamento espacial que apresenta homogeneidade das condições urbanas (METRÔ, 2008), representadas pela densidade populacional, tipo de uso do solo e intensidade de ocupação, etc. Adicionalmente, as zonas são compatíveis com os limites de municípios e de distritos no município de São Paulo, com os limites de setores censitários de 2000 do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e com o zoneamento adotado na pesquisa origem-destino de carga realizada recentemente pela CET.

A partir da intersecção destes dados, apresentam-se duas análises distintas e complementares:

- a) Mapa temático das zonas OD em função da densidade de *clusters* em cada zona (Figura 5.15), ou seja, a razão entre o total de *clusters* e área da respectiva zona;
- b) Mapa temático das zonas OD em função da quantidade de *clusters* por zona (quanto maior a quantidade, mais escura a cor da zona) (Figura 5.16 e Figura 5.17, com os nomes das zonas).

Ao se analisar a densidade de *clusters* por zona OD, se destacam muitas zonas que abrangem áreas adjacentes a praticamente todos os eixos rodoviários (Rodovias Presidente Dutra, Fernão Dias, Anhanguera, Bandeirantes, Castelo Branco, Anchieta, Imigrantes) de acesso à cidade, onde é sabido que se localizam muitas instalações logísticas.

Enquanto que na Figura 5.16 e Figura 5.17 aparecem em maior destaque as zonas que possuem maior número de *clusters* em valor absoluto, independentemente da área da zona. A zona com maior número de *clusters*, portanto mais escura, é Pimentas, localizada em uma área periférica da cidade de Guarulhos, no entorno da Rodovia Presidente Dutra, próxima do aeroporto internacional de São Paulo - Guarulhos, onde se localizam diversas instalações logísticas, incluindo centros de distribuição, fábricas, transportadoras etc.

Já a segunda colocada (Demarchi) é uma zona da cidade de São Bernardo do Campo, que também concentra muitas instalações industriais e logísticas, com destaque para o setor automobilístico, tendo fábricas e pátios de estoque de diversas montadoras.

Figura 5.15 – Densidade de *cluster* por zona OD

Figura 5.16 – Mapa temático em função da quantidade de *clusters* por zona OD

Figura 5.17 – Mapa temático em função da quantidade de *clusters* por zona OD (zoom)

A Tabela 5.4 apresenta o ranking das 20 zonas OD que concentram 274 (62%) *clusters*, onde observa-se que a maioria corresponde a municípios vizinhos à São Paulo, sendo aqueles com maior quantidade de *clusters* em ordem decrescente: Guarulhos, São Bernardo do Campo e Osasco (Tabela 5.5).

Tabela 5.4 – Ranking das 20 zonas OD com maior quantidade de *clusters*

Ranking	N. Zona OD	Nome Zona OD	Município	N. de clusters
1	344	Pimentas	Guarulhos	52
2	404	Demarchi	São Bernardo do Campo	28
3	447	Três Montanhas	Osasco	20
4	407	Reservatório Billings	São Bernardo do Campo	19
5	337	Cumbica	Guarulhos	18
6	158	Parque Novo Mundo	São Paulo	16
7	426	Tamboré	Barueri	15
8	405	Riacho Grande	São Bernardo do Campo	13
9	414	Embu	Embu	11
10	339	Ponte Grande	Guarulhos	11
11	431	Pedreira	Barueri	9
12	342	Jardim América	Guarulhos	9
13	324	Cajamar	Cajamar	8
14	382	São Caetano do Sul	São Caetano do Sul	8
15	423	Juquitiba	Juquitiba	7
16	402	Rudge Ramos	São Bernardo do Campo	7
17	156	Jardim Brasil	São Paulo	6
18	406	Caminho do Mar	São Bernardo do Campo	6
19	97	Vila Anastácio	São Paulo	6
20	409	Piraporinha	Diadema	5

Por fim, são apresentadas na Figura 5.18 as paradas restantes, ou seja, aquelas que não foram alocadas em nenhum *cluster* e potencialmente são paradas para entregas ou outros motivos. Observa-se que ainda há uma concentração alta de paradas nos principais eixos viários, inclusive vias expressas como as marginais e as rodovias que acessam a cidade, o que indica a presença de falsas paradas, advindas de registros de veículos em trânsito, por exemplo.

Entretanto, esta possibilidade nem sempre é viável; assim, outro caminho para fazer tal distinção entre as paradas seria incluir um ou mais critérios complementares, como a distância até o centro da cidade ou em relação a via arterial ou expressa mais próxima, a diversidade de veículos diferentes realizando paradas no mesmo local etc.

5.3 Classificação do fluxo de veículos: fluxo de passagem x veículos entregando – Base de dados B

Com o objetivo de ilustrar como é possível entender o comportamento dos veículos de carga que utilizam a malha viária da RMSP, a partir das paradas supostamente por motivo de carga e/ou descarga identificadas na seção 5.2, separou-se os caminhões rastreados em dois grupos (Base de dados B), a saber:

- a) Caminhões que não possuem nenhuma parada dentro da cidade de São Paulo, considerados fluxo de passagem, pois estão apenas atravessando a cidade em seu caminho para o porto ou outras partes do país;
- b) Caminhões que possuem uma ou mais paradas na cidade de São Paulo;

Figura 5.19 – Número de caminhões com e sem paradas em São Paulo

A Figura 5.19 apresenta o número de caminhões em cada grupo, sendo que 38% do total (22.087 caminhões) corresponde a veículos que supostamente estão apenas cruzando, ou seja, passando pela cidade de São Paulo sem parar. Este percentual é bastante representativo, e quase quatro vezes maior que o apresentado em pesquisas da CET-SP (Secretaria Municipal de Transportes, 2015). Esta diferença pode indicar que há um viés na base de dados (B) estudada, no sentido de que a amostra de empresas cujo rastreamento dos veículos foi disponibilizado pode ter proporcionalmente um percentual maior de veículos que realizam o transporte interestadual, ao invés de urbano. Isto só corrobora o fato de ser imprescindível obter mais dados para estudos de transporte.

A partir dos dois grupos de caminhões apresentados, todos os registros GPS de ambos foram plotados no mapa, no sentido de comparar a sua distribuição espacial. A Figura 5.26 apresenta todos os registros de rastreamento dos veículos que não apresentam paradas dentro da cidade de São Paulo, enquanto a Figura 5.21 apresenta os registros GPS dos veículos que apresentam uma ou mais paradas dentro da cidade.

Comparando-se os dois conjuntos (caminhões com e sem paradas em São Paulo) percebe-se que os veículos que só cruzam a cidade circulam principalmente nas estradas primárias e nas rodovias que acessam a cidade, o que é coerente em se tratando de transporte interestadual. Já os veículos que realizam alguma parada dentro da cidade circulam praticamente por todas vias.

Estas informações são bastante relevantes no âmbito do planejamento de transportes, pois o fluxo de passagem (veículos apenas cruzando a cidade) disputa o uso da infraestrutura com os demais veículos que de fato realizam operações na cidade. Tal aspecto é particularmente importante em cidades grandes, como é o caso de São Paulo, onde se verifica frequentemente congestionamentos devido a saturação da oferta viária.

Figura 5.20 - Registros GPS dos caminhões sem paradas em São Paulo (Base de dados B)

Figura 5.21 - Registros GPS dos caminhões com paradas dentro da RMSP (Base de dados B)

5.4 Caso de estudo: perfil de velocidades da Av. Jacu Pêssego

Uma das análises passíveis de ser realizada a partir de dados GPS, no sentido de entender como os veículos de carga estão utilizando a infraestrutura viária e qual o seu desempenho em relação as velocidades desenvolvidas ao longo do dia.

Tal processo de associação dos registros GPS às vias não pôde ser automatizado nesta pesquisa, devido à baixa precisão da posição geográfica nos dados disponíveis. Entretanto, com o objetivo de exemplificar este tipo de análise, selecionou-se uma via de grande fluxo de veículos de carga na cidade de São Paulo, onde houvesse registros suficiente referente às três bases de dados (A.1, A.2 e B).

A via selecionada é um trecho da Avenida Jacu Pêssego (Figura 5.22), uma via arterial importante que conecta a Rodovia Presidente Dutra (que liga São Paulo ao Rio de Janeiro) na divisa da cidade de São Paulo com a cidade de Guarulhos (limite ao norte), onde está localizado o aeroporto internacional de São Paulo, até a região extrema leste-sul, próximo à divisa com a cidade Mauá e ao acesso ao trecho leste do Rodoanel (anel rodoviário que contorna a Grande São Paulo, cujo trecho norte ainda está em construção).

A partir dos registros de caminhões em movimento, ou seja, excluindo-se os registros identificados como paradas associadas à carga e/ou descarga apresentados na seção 5.1, selecionou-se manualmente aqueles que correspondiam a veículos transitando na via em questão, através de análise espacial/visual no SIG.

Neste caso, novamente devido a precisão da posição geográfica, não foi possível distinguir quais registros correspondiam a veículos se deslocavam em qual sentido na Avenida Jacu Pêssego. Assim, o perfil de velocidades foi computado considerando uma média das velocidades de todos os registros GPS dos caminhões circulando na via, independente do sentido, por dia da semana e hora do dia.

Figura 5.23 - Trecho da Av. Jacu Pêssigo selecionado – localização macro

Os resultados obtidos nas três bases de dados, dia a dia, foram comparados com o objetivo de avaliar a consistência entre os processamentos das bases individualmente. Foram identificados 53 veículos circulando no trecho analisado referentes à base de dados A.1, 8 caminhões referentes à base A.2 e 2.268 caminhões referente a base de dados B, números estes compatíveis com os respectivos tamanhos das bases de dados.

A fim de incrementar esta análise, adicionou-se um quarto perfil de velocidades obtido através da função de rota do *Google Maps*, usando-se como origem/destino as duas extremidades do trecho da Avenida Jacu Pêssego escolhido. Entretanto, como o *Google Maps* só permite o cálculo de rotas para o momento presente ou futuro da solicitação, calculou-se a rota hora a hora para os dias 9 a 13 de outubro (segunda a sexta) de 2017, com o intuito de minimizar as distorções na comparação, já que não foi possível obter dados relativos a semana exata dos dados de rastreamento (2014).

Este perfil de velocidades foi extraído a partir da distância da rota e as estimativas de tempo previstas pelo *Google Maps* para cada hora dos dias em questão.

Os quatro perfis de velocidades: base de dados A.1, A.2, B e *Google Maps* são apresentados para cada dia da semana, hora a hora, - Figura 5.24 até a Figura 5.28 - de segunda a sexta feira, respectivamente.

Figura 5.24 – Perfil de velocidade – 06/10/2014 (Segunda)

Figura 5.28 – Perfil de velocidade – 10/10/2014 (Sexta)

As barras azuis claras e escuras correspondem aos dados das duas redes de varejistas, A.1 e A.2, respectivamente, sendo que ambas não apresentam registros para cada período de uma hora para todos os cinco dias analisados, pois apresentam um volume de dados menor, comparativamente à base B. As três linhas em verde estão representando o perfil de velocidade da base B, sendo que a linha central demonstra a média de todos os registros das três bases, e as outras duas foram obtidas pela adição (verde claro) ou subtração (verde escuro) do respectivo desvio padrão (σ). O perfil de velocidade traçado a partir dos dados do *Google Maps* é apresentado nos gráficos em laranja escuro.

Observando estes perfis de velocidade, pode-se notar que as velocidades associadas às bases de dados A.1 e A.2, na maioria dos casos, encontram-se na faixa dentro do perfil de velocidade média da base B $\pm$ o desvio padrão correspondente, o que indica a consistência dos valores encontrados.

Nota-se também que alguns dos valores encontrados a partir dos registros da base A.2 ultrapassam a curva que representa a velocidade média acrescida do desvio padrão referente aos dados da base B. Isto pode ser explicado pelo fato de a base A.2 ser referente a uma rede de farmácias, cuja distribuição é caracterizada por cargas leves, e a empresa opera com caminhões menores para abastecer suas lojas, o que pode sugerir que os veículos consigam atingir velocidades maiores que os outros caminhões no geral.

Adicionalmente, percebe-se que o perfil de velocidades derivado dos dados extraídos do *Google Maps*, em geral, corresponde a valores superiores aos calculados a partir dos dados da Base B, o que parece ser consistente no sentido de que o *Google Maps* utiliza como fonte para suas estimativas de tempos e velocidade dados, em sua maioria, relativos a veículos de passageiros, que usualmente se deslocam a velocidades maiores que os de carga.

Ainda, cabe pontuar que, mesmo para a Base B que possui um volume de caminhões grande comparada as outras duas (associadas a uma única empresa), identificou-se que não há registros de GPS para alguns períodos em alguns dias (detalhado na Figura 5.29). Além disso, no período noturno, pode-se observar um volume muito menor de veículos circulando comparativamente ao período diurno, como é esperado, o que influencia na acurácia das médias calculadas, porém, ao mesmo tempo, as velocidades desenvolvidas neste horário são menos importantes do ponto de vista de planejamento da cidade, visto que não há problemas de oferta viária.

Figura 5.29 – Quantidade de caminhões registrados por hora – Base B

Por fim, nota-se ainda que há pouca variação em relação ao dia da semana no caso dos perfis de velocidades relativos aos dados da base B e do *Google Maps*.

Já em relação as bases A.1 e A.2, nota-se uma variação maior entre os dias da semana, porém tal variação provavelmente decorre do tamanho da amostra de dados de veículos circulando na Av. Jacu Pêssego por hora do dia, o que torna a média de velocidade mais suscetível a variações.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Esta pesquisa teve o objetivo de explorar o potencial de aplicação de dados de rastreamento a modelos de planejamento de transporte urbano de cargas. Dentro deste contexto, observou-se que há alguns desafios no uso de tais obtidos através de equipamentos convencionais, principalmente isoladamente, ou seja, sem obtenção de dados complementares, dentre os quais, pode-se citar como principais:

- a) Necessidade de um esforço maior de processamento dos dados brutos, incluindo um pré-processamento para utilizar dados GPS, no sentido de corrigir erros nos dados brutos, de forma a permitir as análises espaço-temporais, que só são possíveis se há o correto registro das trajetórias de um objeto, isto é, uma sequência espaço-temporal ordenada em um dado intervalo de tempo finito (Spaccapietra et al., 2013);
- b) Necessidade de inferir certas informações que usualmente podem ser diretamente fornecidas em entrevistas ou auferidas em visitas de campo como, por exemplo, o horário de início e término de uma parada, assim como o seu motivo (entrega, operação dentro do CD, pausa para descanso ou almoço, etc.), além de informações sobre o tipo de carga, tipo de veículo, local do estacionamento, etc.;
- c) A inferência de algumas informações a partir de dados GPS (paradas associadas a carga e/ou descarga, início e/ou fim de cada rota, local do estacionamento: público ou privado, roteiro na malha viária entre dois registros consecutivos, etc.) depende diretamente de características da base de dados de rastreamento, quais sejam: precisão da posição geográfica informada pelo dispositivo, intervalo de tempo entre registros consecutivos e existência de atributo que permita identificar se o veículo está se deslocando ou parado, usualmente o status da ignição do veículo.

Entretanto, existem também diversas vantagens neste tipo de aplicação - dados GPS em estudos de transporte urbano de cargas - em relação aos métodos tradicionais (pesquisas, levantamentos de campo e entrevistas na sua maioria), que

mostram que, dependendo do caso, tal tipo de coleta de dados se torna uma opção bastante atrativa. Entre as principais vantagens levantadas na literatura e observadas nesta pesquisa, cabe enfatizar:

- a) Baixo custo de aquisição (Joubert e Meintjes, 2015), principalmente quando os dispositivos já estão instalados por outros motivos (usualmente para gerenciamento e segurança);
- b) Facilidade de obtê-los para um longo período de tempo (Joubert e Meintjes, 2015);
- c) Maior acurácia em relação aos dados obtidos de pesquisas de campo (que são mão-de-obra intensivas), devido à menor ou nenhuma dependência de interação com o motorista (Joubert e Meintjes, 2015);
- d) Possibilidade de extrair as rotas percorridas e as velocidades praticadas, informações estas que não são obtidas na maioria das outras formas de coleta de dados (Allen et al., 2012), além de diversos outros indicadores de desempenho logístico como a concentração de entregas por área (hora e dia) assim como suas características (duração, frequência, etc.), classificação do fluxo de veículos de carga, diferenciando os caminhões que estão apenas utilizando a malha viária para atravessar a cidade, daqueles que de fato estão realizando entregas na mesma, etc.;
- e) Possibilidade de expandir a metodologia para toda população de veículos, tornando viável utilizar tal informação para suportar estimativas de geração de viagens desses veículos, considerando inclusive alguns dos impactos de mudança no uso do solo, na distância entre os depósitos/armazéns e dos consumidores, etc. (Sharman e Roorda, 2013a).

Mais especificamente esta pesquisa buscou contribuir ao mapear os possíveis indicadores de desempenho logístico que podem ser extraídos a partir de dados GPS, assim como os processamentos necessários para isto. Tais indicadores são importantes, pois permitem a caracterização das operações de transporte urbano de cargas e, portanto, também podem ser utilizados como métricas para avaliar o efeito de possíveis soluções que visem otimizar este transporte nas cidades.

A avaliação destas soluções pode e deve ser feita no âmbito do poder público que, comumente, regulamenta e implementa novas políticas associadas as operações logísticas no meio urbano e, por vezes, não tem informações disponíveis que permitam uma análise mais profunda que embase o processo de tomada de decisão do planejamento de transporte urbano de cargas.

Em particular, a pesquisa também propõe e aplica uma abordagem para identificação de paradas associadas a atividades de carga e/ou descarga e busca caracterizar como tais atividades se desenvolvem na RMSP, com foco maior na cidade de São Paulo. Esta abordagem foi construída da forma mais genérica possível, no sentido de permitir que a mesma possa ser replicada a estudos em outras cidades, brasileiras ou não.

A abordagem proposta foi aplicada a três bases de dados: A.1 e A.2 (registros GPS dos caminhões de duas grandes redes varejistas), e B (dados referentes a caminhões de diversas empresas desconhecidas) fornecida por um provedor de mapas, todas disponibilizadas exclusivamente para pesquisa. A partir dos dados processados, diversas análises foram realizadas, com o intuito de entender melhor como transporte de cargas se comporta na região, sendo essas:

- a) Identificação e caracterização das paradas associadas à carga/descarga (seção 5.2):
 - Validação da abordagem de identificação de paradas;
 - Frequência das paradas;
 - Duração das paradas.
- b) Identificação do início e/ou fim da rota (seção 5.3):
 - Clusterização de paradas para identificação de instalações logísticas (CDs, transportadoras etc.);
 - Densidade de *clusters* de paradas por zona OD.
- c) Classificação do fluxo de veículos por área/período: fluxo de passagem x veículos entregando (seção 5.4);

- d) Perfil de velocidade por hora e dia da semana: caso de estudo da Av. Jacu Pêssego (seção 5.5).

Portanto, observa-se que, apesar das limitações de processamento devido a características das bases de dados obtidas no âmbito desta pesquisa, diversos indicadores de desempenho logístico puderam ser extraídos, bem como outras análises exploratórias puderam ser realizadas. Tais resultados, aliados ao crescente número de estudos na área, corroboram o fato de que há potencial no uso de dados de rastreamento com foco no planejamento de transporte urbano de cargas, inclusive com o intuito de subsidiar a tomada de decisão do poder público, no sentido de definir regulamentações e políticas públicas mais abrangentes, sustentáveis e eficientes para todos os *stakeholders* envolvidos.

Por fim, sugere-se como estudos futuros, o aprimoramento deste tipo de abordagem que permita o uso de dados de rastreamento, de forma que sejam replicáveis a estudos em outras cidades e permitam extrair as potenciais informações levantadas nesta pesquisa, assim como outras que possam surgir, que não puderam ser exploradas neste trabalho devido a limitações dos dados obtidos ou por demandarem mais esforços do que o possível dentro do prazo disponível.

REFERÊNCIAS

(CET-SP), C. DE E. DE T. DE S. P. **Pesquisa de Monitoração da Mobilidade**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.cetsp.com.br/media/574933/2016volumevelocidade.pdf>>.

ALLEN, J. et al. A framework for considering policies to encourage sustainable urban freight traffic and goods/service flows: summary report. **Time**, n. March, p. 1–35, 2000.

ALLEN, J.; BROWNE, M.; CHERRETT, T. Survey Techniques in Urban Freight Transport Studies. **Transport Reviews**, v. 32, n. 3, p. 287–311, 2012.

AMBROSINI, C.; ROUTHIER, J. Objectives, Methods and Results of Surveys Carried out in the Field of Urban Freight Transport: An International Comparison. **Transport Reviews**, v. 24, n. 1, p. 57–77, 2004.

ANAND, N. et al. City Logistics Modeling Efforts: Trends and Gaps - A Review. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 39, p. 101–115, 2012.

ANTP. **Planejamento da pesquisa de origem / destino de cargas no município de São Paulo**. São Paulo, SP: [s.n.].

ANTP. Avaliação do Projeto-Piloto de Entregas Noturnas no Município de São Paulo. **Serie Cadernos Tecnicos**, v. 18, p. 76, 2015b.

AZIZ, R. et al. **Identifying and characterizing truck stops from GPS data**. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). **Anais...2016**

BENJELLOUN, A.; CRAINIC, T. G. Trends , challenges and perspectives in city logistics. n. March, 2009.

BRASIL. **Lei Federal 12587/2012** Brasil, 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm>

BROWNE, M. et al. Reducing Social and Environmental Impacts of Urban Freight Transport: A Review of Some Major Cities. **Procedia - Social and**

Behavioral Sciences, v. 39, p. 19–33, jan. 2012.

CHERRETT, T. et al. Understanding urban freight activity - key issues for freight planning. **Journal of Transport Geography**, v. 24, n. September, p. 22–32, 2012.

COHEN, E.; FRANCO, R. **Avaliação de Projetos Sociais**. Petrópolis: [s.n.].

COMENDADOR, J.; LÓPEZ-LAMBAS, M. E.; MONZÓN, A. A GPS Analysis for Urban Freight Distribution. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 39, p. 521–533, 2012.

DA SILVA, A. N. R.; DA SILVA COSTA, M.; MACEDO, M. H. Multiple views of sustainable urban mobility: The case of Brazil. **Transport Policy**, v. 15, n. 6, p. 350–360, 2008.

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, 2007.

DABLANC, L.; RAKOTONARIVO, D. The impacts of logistics sprawl: How does the location of parcel transport terminals affect the energy efficiency of goods' movements in Paris and what can we do about it? **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 2, n. 3, p. 6087–6096, 2010.

DENATRAN - DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Relatório Estatístico: Frota de Veículos**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/estatistica/253-frota-2014>>.

FIGLIOZZI, M. A. Analysis of the efficiency of urban commercial vehicle tours: Data collection, methodology, and policy implications. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 41, n. 9, p. 1014–1032, 2007.

GINGERICH, K.; MAOH, H.; ANDERSON, W. Classifying the purpose of stopped truck events: An application of entropy to GPS data. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 64, p. 17–27, 2016.

GREAVES, S.; FIGLIOZZI, M. Commercial Vehicle Tour Data Collection Using Passive Gps Technology: Issues and Potential Applications. **Transportation**

Research, p. 1–18, 2008.

GWILLIAM, K. Cities on the move - Ten years after. **Research in Transportation Economics**, v. 40, n. 1, p. 3–18, 2013.

HESS, S. et al. Developing advanced route choice models for heavy goods vehicles using GPS data. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 77, p. 29–44, 2015.

HOLGUÍN-VERAS, J. et al. **Emergency Logistics Issues Affecting the Response to Katrina: A Synthesis and Preliminary Suggestions for Improvement** **Transportation Research Record**, 2008.

HOLGUÍN-VERAS, J. Urban delivery industry response to cordon pricing, time-distance pricing, and carrier-receiver policies in competitive markets. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 45, p. 802–824, 2011.

HOLGUÍN-VERAS, J.; TORRES CRUZ, C. A.; BAN, X. (JEFF). On the comparative performance of urban delivery vehicle classes. **Transportmetrica**, v. 9, n. 2013, p. 1–24, 2013.

JOUBERT, J. W.; AXHAUSEN, K. W. Inferring commercial vehicle activities in Gauteng , South Africa. n. February 2016, 2011a.

JOUBERT, J. W.; AXHAUSEN, K. W. Inferring commercial vehicle activities in Gauteng, South Africa. **Journal of Transport Geography**, v. 19, n. 1, p. 115–124, 2011b.

JOUBERT, J. W.; MEINTJES, S. Repeatability & reproducibility: Implications of using GPS data for freight activity chains. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 76, p. 81–92, 2015.

KAMARIANAKIS, Y. Spatial-Time Series Modeling: A Review of the Proposed Methodologies. **The Regional Economics Applications Laboratory**, n. 217217, p. 61801–3671, 2003.

LARANJEIRO, P. F.; MERCHÁN, D.; GODOY, L. A.; GIANNOTTI, M.; YOSHIZAKI, H. T.; WINKENBACK, M. e CUNHA, C. B. Using GPS data to explore speed patterns and temporal fluctuations in urban logistics: The case of São Paulo,

Brazil. **Journal of Transport Geography**, v. 76, p. 114-129, 2019.

LINDHOLM, M.; BEHREND, S. Challenges in urban freight transport planning - a review in the Baltic Sea Region. **Journal of Transport Geography**, v. 22, p. 129–136, 2012.

MCCABE, S.; KWAN, H.; ROORDA, M. J. Freight transportation: who is the decision maker? p. 1–19, 2004.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Mobilidade urbana é desenvolvimento urbano**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.polis.org.br/uploads/922/922.pdf>>. Acesso em: 6 jun. 2017.

MURAKAMI, E.; WAGNER, D. P. Can using Global Positioning System (GPS) improve trip reporting? **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 7, n. 2–3, p. 149–165, 1999.

OGDEN, K. W. Urban Goods Movement. **A Guide to Policy and Planning**, 1992.

ONU. **World Cities Report 2016**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://wcr.unhabitat.org/wp-content/uploads/2017/02/WCR-2016_-Abridged-version-1.pdf>.

PAULO, C. DO M. DE S. **Pesquisa Origem e Destino 2007**. [s.l: s.n.].

QURESHI, A. G.; TANIGUCHI, E.; YAMADA, T. An exact solution approach for vehicle routing and scheduling problems with soft time windows. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 45, n. 6, p. 960–977, 2009.

REGAN, A. C.; GARRIDO, R. A. **Modelling Freight Demand and Shipper Behaviour**. [s.l: s.n.].

SCHUESSLER, N.; AXHAUSEN, K. W. Processing Raw Data from Global Positioning Systems Without Additional Information. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2105, n. 1, p. 28–36, 2009.

SECRETARIA MUNICIPAL DE TRANSPORTES. Plano de Mobilidade Urbana de São Paulo. **Prefeitura de São Paulo**, p. 1–201, 2015.

SECRETARIA NACIONAL DE MOBILIDADE URBANA. **Cartilha mobilidade urbana**, 2017. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/publicacoes/item/17-cartilha-mobilidade-urbana>>

SHARMAN, B.; ROORDA, M. Analysis Tool to Process Passively-Collected GPS Data for Commercial Vehicle Demand Modeling Applications. **Innovations in Freight Demand Modeling and Data**, 2010.

SHARMAN, B. W.; ROORDA, M. J. Analysis of Freight Global Positioning System Data. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2246, n. 1, p. 83–91, 2011.

SHARMAN, B. W.; ROORDA, M. J. Multilevel modelling of commercial vehicle inter-arrival duration using GPS data. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 56, p. 94–107, 2013a.

SHARMAN, B. W.; ROORDA, M. J. Multilevel modelling of commercial vehicle inter-arrival duration using GPS data. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 56, p. 94–107, set. 2013b.

SMITH, L. D.; EHMKE, J. F. A mathematical programming technique for matching time-stamped records in logistics and transportation systems. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 69, p. 375–385, 2016.

SPACCAPIETRA, S., PARENT, C. AND SPINSANTI, L. **Mobility Data: Modeling, Management, and Understanding**. 1. ed. [s.l.] Cambridge University Press, 2013.

SUKSRI, J.; RAICU, R. Developing a Conceptual Framework for the Evaluation of Urban Freight Distribution Initiatives. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 39, p. 321–332, 2012.

TANIGUCHI E, THOMPSON RG, YAMADA T, V. D. R. **City logistics – Network modelling and intelligent transport systems**. [s.l.] Pergamon, Oxford,

2001.

TANIGUCHI, E.; OKAMOTO, M.; YAMADA, T. Multi-agent modelling for evaluating dynamic vehicle routing and scheduling systems. **Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies**, v. 7, n. 2001, p. 933–948, 2007.

WEGENER, M. The future of mobility in cities: Challenges for urban modelling. **Transport Policy**, v. 29, p. 275–282, 2013.

YANG, X., SUN, Z., BAN, X., & HOLGUÍN-VERAS, J. Urban Freight Delivery Stop Identification Using GPS Data. **Transportation Research Board 93rd Annual Meeting**, n. January 2016, p. 1–16, 2014.

ZAMBUZI, N. DE C. Metodologia para a avaliação de medidas voltadas à distribuição de cargas através do uso da microssimulação de tráfego. 2015.

ANEXO A – SOLUÇÕES EM TRANSPORTE URBANO DE CARGAS

A seguir são listadas e, em seguida, descritas resumidamente as soluções relacionadas ao transporte urbano de cargas, encontradas na literatura. Estas foram agrupadas em sete categorias de acordo com o aspecto ao qual se referem, conforme segue:

a) Armazenagem

- Área mínima de estoque para novos estabelecimentos
- Centros de consolidação de carga urbana
- Hotel logístico
- Locação de espaços temporários

b) Entrega

- Entregas fora do pico ou entregas noturnas
- Entregas não-assistidas (sem recebedor)
- Pontos de retirada (*pick-up points*)

c) Estacionamento

d) Faixas dedicadas a carga/descarga nos horários fora do pico

- Redefinição de áreas de carga/descarga
- Área mínima para carga/descarga em novo empreendimentos

e) Modos de Transporte

- Utilização de modos de transporte não-motorizados

f) Transporte

- Sistema de entrega conjunta (logística colaborativa)

g) Planejamento Urbano

- Fóruns de discussão entre setor público e privado
 - Implantação de instalações logísticas no meio urbano

h) Rede viária

- Restrições de circulação de veículos de carga
- Taxa de congestionamento
- Zonas de baixa emissão de poluentes

Área mínima de estoque para novos estabelecimentos

Esta medida se refere a estabelecer uma área mínima destinada à estoque em novos estabelecimentos como bares e restaurantes, de forma que a frequência de abastecimento diminua e, portanto, reduza o número de viagens de veículos de carga a este tipo de estabelecimento.

Centros de consolidação de carga

Esta intervenção consiste em implantar instalações que permitam o armazenamento por um curto período de tempo ou apenas para o transbordo da carga, em locais estratégicos mais próximos aos centros de consumo desta carga, de forma que este possa ser abastecido com veículos maiores de preferência em horários fora do pico, e depois a carga possa ser distribuída a partir deste em veículos menores ou, se possível, não-motorizados. A ideia é que possa haver também a consolidação de cargas de diferentes empresas aumentando o ganho de eficiência nas operações.

Hotel Logístico

Um hotel logístico é uma instalação logística que reúne uma área destinada a operações de logística urbana integrada a uma área com escritório, armazenamento de dados (do inglês, *Data Center*), etc. Idealmente seria interessante que estivesse integrado a um outro tipo de modo de transporte (ferroviário ou aquaviário) que permitisse as cargas chegarem ao meio urbano emitindo menos poluentes.

Em termos de estrutura, é constituído por um edifício (Figura 1) de vários andares, cujo térreo e o primeiro nível são alocados para as atividades de logística urbana (varejo, correio, frete expresso, estoques), enquanto os demais níveis são destinados a outras atividades relacionadas ao transporte. Este formato de

instalação logística pretende proporcionar, de forma sustentável, a reintrodução da logística em zonas urbanas densas (Frelon, 2011; Boudoin et al., 2014).

Fonte: <http://www.sogaris.fr>

Figura 1 – Hotel Logístico em construção em Paris (França)

Implantação de instalações logísticas no meio urbano

Esta medida se refere a implantação de instalações logísticas mais próximas aos centros de consumo, ou seja, dentro das cidades; ao contrário da tendência atual de mover este tipo de instalação cada vez mais longe dos centros urbanos, fenômeno chamado de “dispersão logística” (do inglês, *logistics sprawl*), colocado por Dablanc e Rakotonarivo (2010). Esta medida, em princípio, poderia ser tomada de forma independente pelo setor privado, entretanto na maioria das vezes não é viável dado o alto custo do metro quadrado em regiões localizadas nos centros urbanos; assim, cabe da parte do poder público um incentivo através da definição do zoneamento urbano, por exemplo.

Locação espaços temporários

Esta intervenção se baseia no oferecimento de pequenos espaços (da ordem de 1 a 100 m²) para locação (Figura 2) que possam ser utilizados para armazenagem, localizados estrategicamente na cidade. Este tipo de serviço começou direcionado ao uso individual, mas se tornou uma opção para pequenas e médias empresas e pode ser utilizado como um mini armazém urbano, cuja metragem contratada pode ser alterada para atender a demanda, muitas vezes sazonal dependendo do tipo de negócio, sem cobranças de multas, diminuindo o custo fixo.

Fonte: <http://www.guardeaquui.com>

Figura 2 – Exemplo de uma empresa de armazenagem temporária

Entregas fora do pico ou entregas noturnas

Esta medida refere-se a mudar o horário de operação da distribuição, alterando-o para os horários fora do pico (depende da cidade em questão), ou mesmo para o horário noturno (não há uma definição exata, mas em geral, considera-se a partir das 20h-22h até 05h-06h da manhã). O conceito desta medida é aproveitar a infraestrutura viária nos momentos em que está ociosa, ou seja, fora dos períodos de congestionamento, reduzindo assim, os tempos de trajeto (devido ao aumento da velocidade de fluxo) e possivelmente os tempos de estacionamento e a probabilidade de efetivação da entrega (no caso de encomendas de *e-commerce* entregues em residências).

Entregas não-assistidas (sem recebedor)

Consiste em realizar entregas sem que haja a necessidade da presença do recebedor no momento da entrega, reduzindo o tempo de entrega; e a conferência da mercadoria ocorre a posteriori. É bastante aplicável no caso de o embarcador e recebedor da carga pertencer a mesma empresa, ou no caso do *e-commerce* através dos *pick-up points*.

Pontos de Retirada (“Pick-up points”)

Consiste no uso de instalações fixas, em locais estratégicos da cidade, onde o comprador pode retirar o produto em um lugar escolhido durante o processo de compra (*e-commerce*), de acordo com sua conveniência. Em alguns modelos de negócio o produto pode ser retirado em uma loja da rede (*omni-channel*), em outros o produto pode ser retirado em um armário automatizado (*locker* – Figura 3), também

chamado de “caixa postal automática”, que pode estar localizado, por exemplo, em um mercado, estação de metrô ou posto de gasolina, cujo compartimento para retirada do produto, é desbloqueado a partir do fornecimento de informações de identificação do pedido e senhas recebidas pelo cliente durante a compra. A vantagem deste modelo é que, além de minimizar as não-entregas e/ou re-entregas devido à ausência do recebedor da mercadoria, gera uma consolidação de entregas em um mesmo ponto, diminuindo a quilometragem total percorrida.

Fonte: <http://www.inpost.com.br/>

Figura 3 – Locker da InPost em posto de gasolina no Rio de Janeiro-RJ

Faixas dedicadas a descarga nos horários fora do pico

Esta intervenção se trata de definir uma ou mais faixas de vias determinadas cujo uso em horários pré-estabelecidos (fora dos horários de pico) possa ser destinado exclusivamente aos veículos que estão realizando operações de carga e/ou descarga. É uma intervenção que está relacionada à política de definir os locais de carga e/ou descarga.

Redefinição de áreas de carga/descarga

Esta política implica em rever as vagas de carga/descarga disponíveis de forma a garantir uma quantidade adequada a demanda local minimizando, assim, o tempo gasto com o estacionamento do veículo de carga (e possíveis infrações de trânsito ao utilizar áreas indevidas) e, portanto, o tempo total de operação do mesmo. Em São Paulo, comumente observa-se veículos de carga infringindo as regras de estacionamento devido à falta de vagas destinadas à carga e descarga,

seja estacionando sobre a calçada, em faixa dupla, ou outros locais não autorizados, conforme relatado em Zambuzi (2015).

Área mínima para carga/descarga em novos empreendimentos

Esta política consiste na regulamentação por parte do poder público estabelecendo uma quantidade mínima de vagas ou área destinada a carga e/ou descarga em novos empreendimentos.

Utilização de modos de transporte não-motorizados

Esta intervenção é bastante viável na chamada “última milha” da distribuição urbana de carga (do inglês, “*last mile*”), utilizando bicicletas, triciclos de carga (Figura 4) e outras adaptações do veículo, ou mesmo a pé para curtas distâncias. Tal intervenção é mais aplicável a entregas de pequenos volumes (*e-commerce* no geral) e pode complementar a implantação de centros de consolidação de carga, sendo utilizada para fazer a distribuição urbana de última milha a partir destas instalações.

Fonte: <http://www.outspokendelivery.co.uk/>
Figura 4 – Triciclo de carga no Reino Unido

Sistema de entrega conjunta (logística colaborativa)

Esta medida consiste em duas ou mais empresas distintas unirem o transporte de suas mercadorias, quando há sinergia entre os recebedores de ambas as cargas; por exemplo, no caso de um distribuidor de refrigerantes e outro de salgadinhos, onde a maioria dos pontos de entrega é igual (mercados, bares, lojas

de conveniência etc.). Esta é uma forma de logística colaborativa que permite aumentar a economia de escala e diminuir a quantidade de quilômetros percorridos totais.

Fóruns de discussão entre setor público e privado

Esta política versa sobre promover fóruns onde possam ser discutidas políticas públicas relacionadas a logística urbana, com a participação dos interessados, tanto do setor público quanto privado (transportadores, operadores logísticos, varejistas, distribuidores etc.). O intuito desta medida é garantir uma linha de comunicação para que as políticas a serem implantadas sejam o mais abrangente o possível, e não tenham um viés de atender de forma desequilibrada os interesses de algum agente específico.

Restrições de circulação a veículos de carga

Esta intervenção consiste em estabelecer normas que restrinjam a circulação de veículos de carga em determinadas vias/locais para horários/dias específicos, e que podem variar também em função do tipo do veículo.

Taxa de congestionamento

Esta medida consiste em cobrar uma taxa para os veículos circularem em uma área pré-definida, com o intuito de inibir o deslocamento de veículos em uma área com alto índice de congestionamento, por isso foi chamada de “taxa de congestionamento”.

Zonas de Baixa Emissão de Poluentes

Esta medida consiste em definir uma área para reduzir a emissão de poluentes que seja considerada crítica neste aspecto, através da proibição ou restrição em determinados dias e horários de determinados tipos de veículos de carga, principalmente aqueles que emitem mais poluentes; como por exemplo, em Amsterdã (Holanda) onde os caminhões com idade superior a 17 anos foram proibidos de circular na zona em questão.