



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES**

FRANCISCO EDSON MACEDO FILHO

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE PEDESTRES EM TRAVESSIAS
SEMAFORIZADAS DE FORTALEZA**

FORTALEZA

2018

FRANCISCO EDSON MACEDO FILHO

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE PEDESTRES EM TRAVESSIAS
SEMAFORIZADAS DE FORTALEZA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes. Área de concentração: Mobilidade e Acessibilidade de Pessoas.

Orientador: Prof. Dr. Mário Angelo Nunes de Azevedo Filho.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M121a Macedo Filho, Francisco Edson.
Análise do comportamento de pedestres em travessias semaforizadas de Fortaleza / Francisco Edson
Macedo Filho. – 2018.
80 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Transportes, Fortaleza, 2018.

Orientação: Prof. Dr. . Mário Angelo Nunes de Azevedo Filho.

1. Travessias. 2. Conformidade. 3. Escolha Discreta. I. Título.

CDD 388

FRANCISCO EDSON MACEDO FILHO

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE PEDESTRES EM TRAVESSIAS
SEMAFORIZADAS DE FORTALEZA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes. Área de concentração: Mobilidade e Acessibilidade de Pessoas.

Aprovada em: 08/05/2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Mário Angelo Nunes de Azevedo Filho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Flávio Jose Craveiro Cunto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Ana Margarita Larranãga
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

A Deus.

À minha mãe, Maria José, pelo sólido, incondicional e infalível apoio ao longo de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador, professor Mário Angelo;

Aos colegas e professores do PETRAN/ UFC;

Aos membros da banca examinadora;

À Capes;

A todos os que de alguma maneira contribuíram para a conclusão deste trabalho.

“Above all, do not lose your desire to walk. Every day I walk myself into a state of well-being and walk away from every illness. I have walked myself into my best thoughts, and I know of no thought so burdensome that one cannot walk away from it.”

Søren Aabye Kierkegaard
Danish philosopher
1813-1855

RESUMO

Ao longo de suas rotas dentro da malha urbana, os pedestres não se restringem apenas às infraestruturas destinadas para acomodá-los, mas preferem os caminhos que lhes custem o menor tempo e esforço, mesmo que estes aumentem a probabilidade de ocorrer conflitos e acidentes. Além disso, são mais imprevisíveis que motoristas, além de constantemente desobedecerem as regras de trânsito. Nesse sentido, muitos autores afirmam que a conduta irregular, neste trabalho caracterizada por travessias em não conformidade com as regras de trânsito, está entre as principais causas dos atropelamentos. No entanto, acredita-se que parte da não conformidade citada anteriormente possui origem mais profunda, advinda do planejamento e projeto deficientes das próprias infraestruturas. A existência de infraestruturas que possibilitem as travessias é de grande importância para a garantia da acessibilidade, mas não servem de forma completa a este propósito, já que parte dos pedestres opta por não utilizá-las ou seguir a sinalização vigente. Diante disso, esta dissertação de mestrado avaliou em que medida os fatores do ambiente urbano e dos pedestres influenciam as escolhas dos mesmos durante as travessias. Foram coletados dados sobre travessias de 540 pedestres no que tange à sua movimentação e conduta em 11 locais de Fortaleza para a modelagem do comportamento por meio da utilização de modelos de escolha discreta do tipo Logit Binomiais e Multinomiais. No que tange às condutas observadas, aproximadamente 70% realizaram as travessias em conformidade com a faixa, 15% e 17% em não conformidade. Dos que utilizaram a faixa nas travessias, mais de 60% o fizeram em conformidade com sua respectiva fase semafórica. Aspectos geométricos, situacionais e socioeconômicos mostraram significativa influência no comportamento de pedestres em travessias. Os resultados obtidos fornecem subsídios para investigar condutas de risco e aprimorar simulações de pedestres no sentido de avaliar de forma dinâmica o desempenho operacional e de segurança de vias urbanas.

Palavras-chave: Travessias. Conformidade. Escolha Discreta.

ABSTRACT

During their trips on the street network, pedestrians do not limit themselves to the infrastructures destined to them. They prefer routes that are less costly in terms of time and effort, even if these increase the chance of occurring road conflicts and accidents. In addition, pedestrians are more unpredictable than drivers and tend to ignore traffic control rules. In this sense, many authors state that pedestrians' "irregular behaviour or conduct", characterized in this thesis by the compliance rates to traffic rules, are among the main causes of pedestrian accidents. Despite of these statements, it is believed that a significant share of that behaviour have other causes - the deficient planning and design of infrastructures. The existence of crossing facilities is of great importance to guarantee pedestrian accessibility. Nevertheless, they do not completely serve their purpose since some of the pedestrians choose to not use them or follow the current traffic control systems. Therefore, this thesis assessed the attributes of the urban environment that influence pedestrian choices during crossings. Data were collected on pedestrian crossings regarding to 540 subjects' movements and conduct in 11 signalized intersections in Fortaleza. The analysis was conducted through the application of a discrete-choice framework based on Multinomial and Binomial Logit models. Considering the observed behaviours, approximately 70% percent used the zebra crossing, 15% used it partially and 17% did not use it. Within the people that used the zebra crossing, more than 60% did it in compliance to the traffic signal. Geometric, situational and socioeconomic aspects indicated significant influence on pedestrian crossing behaviour. These results may support the investigation of risky behaviours and improve pedestrian simulations in order to dynamically evaluate urban safety performance.

Keywords: Pedestrian crossings. Compliance. Discrete-Choice Framework.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Fluxograma das decisões de pedestres	22
Figura 2	– Fluxograma das decisões de pedestres	28
Figura 3	– Onde e quando realizar a travessia	29
Figura 4	– Escolhas realizadas em travessias	30
Figura 5	– Procedimentos metodológicos	37
Figura 6	– Exemplo de local de coleta (Av. Barão do Rio Branco x Av. Duque de Caxias) ...	40
Figura 7	– Mapa de pontos de coleta de dados	41
Figura 8	– Image processing toolbox - Matlab 2017	44
Figura 9	– Imagem transformada e validação visual com <i>Google Earth</i>	44
Figura 10	– Rastreamento do movimento de pedestres	45
Figura 11	– Vetor de dados gerado pelo MTrackJ	45
Figura 12	– Conformidade Espacial total, parcial e Não Conformidade	47
Figura 13	– Conformidade Temporal e Não Conformidade	48
Figura 14	– Conformidades e Não Conformidades observadas	54
Figura 15	– Velocidade observada em relação à Conformidade Espacial	55
Figura 16	– Velocidade observada em relação à Conformidade Temporal	55
Figura 17	– Histogramas de tempos de espera relativos às Conformidades	56
Figura 18	– Histogramas da Idade em relação às Conformidades Espacial e Temporal	58
Figura 19	– Histogramas do Gênero em relação às Conformidades Espacial e Temporal .	58
Figura 20	– Histogramas do Tipo de entidade em relação às Conformidades	59
Figura 21	– Histogramas do Número de Faixas em relação às Conformidades	59
Figura 22	– Histogramas da Presença de Semáforo em relação às Conformidades	60
Figura 23	– Histogramas da Presença de Canteiro em relação às Conformidades	60

Figura 24 – Histogramas da Fase de Pedestres em relação à Conformidade Temporal	61
Figura 25 – Grupos atravessando na faixa e fora dela em relação às Conformidades	61
Figura 26 – Grupos atravessando no vermelho e esperando em relação às Conformidades	62
Figura 27 – Distância Adicional em relação à Conformidade Espacial	62
Figura 28 – Sensibilidade do comportamento com relação à Distância Adicional	67
Figura 29 – Sensibilidade do comportamento com relação à Distância Adicional	70
Figura 30 – Sensibilidade do comportamento com relação à Fase de Pedestres	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Revisão bibliográfica sobre o comportamento de pedestres em travessias ...	23
Tabela 2	– Pontos de coleta considerados e suas características físicas e operacionais ..	41
Tabela 3	– Estudos anteriores considerando problemas similares	42
Tabela 4	– Fatores e variáveis considerados na análise do comportamento de pedestres ..	53
Tabela 5	– Distribuição das velocidades observadas	54
Tabela 6	– ANOVA entre as velocidades correspondentes a cada Conformidade Espacial	56
Tabela 7	– Teste-t entre as velocidades correspondentes a cada Conformidade Temporal	56
Tabela 8	– Distribuição dos tempos de espera tolerados	56
Tabela 9	– Teste-t dos tempos de espera correspondentes à Conformidade Espacial	57
Tabela 10	– Teste-t dos tempos de espera correspondentes à Conformidade Temporal	57
Tabela 11	– VIFs das variáveis consideradas na análise da Conformidade Espacial	63
Tabela 12	– VIFs das variáveis consideradas na análise da Conformidade Temporal	64
Tabela 13	– Análise univariada para Conformidade Espacial	65
Tabela 14	– Parâmetros calibrados para a Conformidade Espacial	66
Tabela 15	– Parâmetros calibrados para a Conformidade Temporal	69
Tabela 16	– Parâmetros calibrados para a Conformidade Temporal	69

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Problemas e questões de pesquisa	15
1.2	Tema, justificativas e contribuições	16
1.3	Objetivos.....	18
1.4	Estrutura do trabalho	18
2	O AMBIENTE CONSTRUÍDO E O COMPORTAMENTO DE PEDESTRES	20
2.1	O processo decisório	21
2.2	Fatores de influência no comportamento em travessias	22
2.2.1	<i>Características dos Indivíduos</i>	25
2.2.2	<i>Características dos Ambiente de Tráfego</i>	25
2.2.3	<i>Aspectos situacionais</i>	26
2.3	As decisões em travessias	27
3	ESCOLHA DISCRETA E O COMPORTAMENTO DE PEDESTRES	31
3.1	Teoria da Utilidade Aleatória	32
3.2	Modelos Logit Binomiais e Multinomiais.....	31
4	MÉTODO	37
4.1	Definição das variáveis.....	38
4.2	Coleta e processamento de dados	38
4.2.1	<i>Coleta de filmagens</i>	39
4.2.2	<i>Transformação das imagens</i>	43
4.2.3	<i>Rastreamento de pedestres</i>	45
4.2.4	<i>Obtenção dos dados</i>	46
4.3	Análise do comportamento	47
4.4	Modelagem das decisões	49
5	RESULTADOS	53
5.1	Definição das variáveis	53
5.2	Análise descritiva de conformidades	54
5.3	Análise descritiva da movimentação	54
5.4	Relação da conformidade com as variáveis explicativas	57
5.5	Análise de Multicolinearidade	63
5.6	Modelagem do comportamento	64
5.6.1	<i>Modelo Logit Multinomial (Conformidade Espacial)</i>	64

5.6.2	<i>Modelo Logit Binomial (Conformidade Temporal)</i>	68
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
	REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

Após a introdução do automóvel nas cidades, a partir das primeiras décadas do século XX, os deslocamentos a pé têm assumido uma espécie de caráter secundário no processo de concepção e manutenção do espaço urbano. O desenvolvimento das cidades, associado à crescente demanda por habitações, às promessas de deslocamentos mais longos e rápidos, e à cultura do consumismo estimularam o uso excessivo de veículos individuais. Seguido disso, tornou-se prática constante, principalmente durante a segunda metade do século XX, a implantação e manutenção de infraestruturas viárias que pudessem sustentar a demanda crescente dos veículos motorizados. Por outro lado, as infraestruturas destinadas aos modos ativos se viram negligenciadas ou em segundo plano.

O Brasil, desde a década de 60, optou por um modelo de mobilidade centrada no uso do automóvel, o qual atualmente ocupa em torno de 90% do espaço destinado à circulação. Iniciou-se então um processo de transformação da via em um bem essencial ao funcionamento das cidades, e dos veículos automotores como indispensáveis nos deslocamentos. Segundo Farr (2013), como consequência houve uma urbanização dispersa, baseada em regras e legislações de zoneamento que segregam os usos do solo residenciais, comerciais e de serviços; e reforçam a inércia do contexto urbano atual.

Do ponto de vista da percepção do usuário, segundo Gehl (2010), as cidades perderam a escala humana e tomaram para si a escala motorizada, deixando de proporcionar uma vida urbana agradável, cujos espaços de circulação priorizem as pessoas e não os veículos individuais. Nesse sentido, as vias se tornam deficientes, pois além de prejudicarem a circulação dos modos ativos pela supressão ou omissão na manutenção de infraestruturas e equipamentos destinados aos pedestres e ciclistas, podem diminuir sua atratividade e aumentar sua exposição a acidentes.

De acordo com Brosseau *et al.* (2013), os acidentes envolvendo pedestres têm atraído preocupação significativa de planejadores e pesquisadores nas últimas décadas, já que estão entre as ocorrências de maior prejuízo, pois grande parcela resulta em feridos e, por vezes, mortos.

Em países subdesenvolvidos como o Brasil, os atropelamentos podem estar associados à rápida urbanização, vias deficientes e, principalmente, à desobediência por parte de motoristas e pedestres às leis de trânsito (ZHUANG *et al.*, 2011; ZHOU *et al.*, 2013; WU *et al.*, 2014). Em Fortaleza, no ano de 2015, segundo Fortaleza (2016), os pedestres corresponderam a aproximadamente 38% do total de vítimas fatais envolvidas em acidentes de

trânsito. Parcela bastante expressiva se comparada aos 18% de Londres (STORDY *et al.*, 2017) e os 15% de Nov Iorque (RICHARD RETTING - SAM SCHWARTZ TRANSPORTATION CONSULTANTS, 2006).

Ao longo de suas rotas dentro da malha, os pedestres não se restringem apenas às infraestruturas destinadas para acomodá-los, mas preferem os caminhos que lhes custem o menor tempo e esforço, mesmo que estes aumentem a probabilidade de ocorrer conflitos e acidentes (SUH *et al.*, 2011). Além disso, são mais imprevisíveis que motoristas, além de constantemente desobedecerem as regras de trânsito. Nesse sentido, muitos autores afirmam que a conduta irregular, neste trabalho caracterizada por travessias em não conformidade com as regras de trânsito, estão entre as principais causas dos atropelamentos (HOLLAND e HILL, 2007; TIWARI *et al.*, 2007; BROSSEAU, 2013; ZHANG *et al.*, 2014; CANTILLO *et al.*, 2015).

No entanto, acredita-se que parte da não conformidade, citada anteriormente, possui origem mais profunda, advinda do planejamento e projeto deficientes das próprias infraestruturas, das quais não se aproveita o potencial relativo aos investimentos de sua implantação e manutenção. Nesse contexto, é merecida a atenção de planejadores e projetistas ao conceberem o sistema físico e operacional das vias, no sentido de otimizar a fluidez do tráfego e a segurança viária, além de reduzirem os custos econômicos e sociais associados aos acidentes e à construção das infraestruturas.

Apesar de o exposto fazer parte do atual contexto da mobilidade urbana brasileira, alguns paradigmas de promoção da saúde através das caminhadas, de humanização do tráfego e descongestionamento das cidades começaram a reverter este quadro, com mais atenção sendo dada à experiência dos pedestres em suas caminhadas urbanas. Uma viagem à pé pode ser constituída de muitas alternativas, cada alternativa com múltiplos atributos (custos) que, ponderados pelos desejos e características dos pedestres e somados à aleatoriedade de suas escolhas caracterizam seu complexo comportamento.

1.1 Problemas e questões de pesquisa

Os projetos urbanos planejados, projetados e construídos a custos elevados (infraestruturas, equipamentos e sinalizações), ao buscarem mitigar a problemática da segurança viária, podem ter objetivos conflitantes com a fluidez da circulação de modos ativos e motorizados (SUH *et al.*, 2003; AASHTO, 2010). Por exemplo, tratamentos sob a ótica da segurança e acessibilidade, como a instalação de semáforos para pedestres, podem reduzir a capacidade de uma via, aumentar o tempo de viagem e os atrasos ou acarretar outros custos

operacionais. Por outro lado, uma intervenção que separe o tráfego de veículos e pedestres, pode aumentar a capacidade da via em relação aos carros, mas penalizar os pedestres pelo aumento do custo associado à rota segura, estimulando o surgimento de comportamentos de risco.

Os pedestres podem atravessar em interseções, meio de quadra e locais intermediários, não sinalizados, travessias elevadas, entre outras alternativas. Escolhido o local de travessia, podem optar por obedecer ou não a sinalização vigente. Em vias em que existem brechas longas, entre os veículos e não existem barreiras físicas, frequentemente atravessam nos locais que minimizem a distância até o destino do seu deslocamento, independentemente da sinalização, ampliando o número de rotas possíveis, tornando, dessa forma, complexa a análise de seu comportamento (TIMMERMANS, 2009).

Entende-se que a existência de infraestruturas que possibilitem as travessias é de grande importância para a garantia da segurança e acessibilidade dos pedestres. No entanto, em muitas situações, estas não servem de maneira completa ao propósito em que são projetadas, já que uma parcela dos pedestres opta por não utilizar as infraestruturas construídas, atravessando as vias de maneira arriscada, criando pontos de conflito com outros modos, e aumentando a probabilidade da ocorrência de acidentes de trânsito. Pressupõe-se, dessa maneira, um desequilíbrio entre as reais necessidades dos pedestres ao longo de suas travessias e a real competência do sistema viário em atender essas necessidades de forma eficaz. Nesse contexto, o centro de interesse desta dissertação é o comportamento dos indivíduos durante as travessias, mais especificamente, sua conduta; e como esta pode ser influenciada por características do ambiente construído e dos próprios indivíduos. Como principais questionamentos de pesquisa, têm-se:

- a. Quais são os fatores que afetam as decisões dos pedestres durante as travessias?
- b. Com que magnitude esses fatores afetam as preferências dos pedestres em travessias semaforizadas de Fortaleza?
- c. Como a mudança desses fatores afetam as probabilidades dos indivíduos realizarem travessias em conformidade com a regras de trânsito de Fortaleza?

1.2 Tema, justificativas e contribuições

Esta dissertação aborda os percursos a pé, especificamente uma parcela crucial destes - as travessias; e a análise de como a forma urbana, as características e percepções dos pedestres

afetam suas decisões em relação durante as travessias. Neste trabalho, assume-se que é possível interferir nos padrões de deslocamento dos indivíduos por meio de alterações na forma urbana, e, por consequência, na qualidade dos percursos a pé, estimulando, dessa maneira, este modo de transporte.

O caminhar é fundamental para a mobilidade urbana já que, de acordo com Barros (2012), integra a maioria dos deslocamentos, mesmo aqueles que se iniciam dentro de automóveis. Nesse contexto, Guo *et al.* (2014) afirma que o projeto e operação de qualidade das infraestruturas devem estar de acordo com as características dos pedestres (segurança e conforto) de forma a estimular seu comportamento e minimizar as violações de trânsito. Segundo Cantillo *et al.* (2015), planejadores devem considerar as percepções dos pedestres no projeto de travessias para responder às suas reais necessidades e serem realmente úteis. É importante observar que, apesar dos anseios dos pedestres serem relevantes, estes devem ser considerados em concordância com os objetivos da segurança viária (SISIOPIKU e AKIN, 2003).

Para tal, é necessário, primeiramente, compreender de maneira detalhada a relação entre os elementos constituintes da estrutura urbana e a complexidade do comportamento dos pedestres, no que tange ao processo decisório ao longo de uma rota, em especial, nas travessias. Essas decisões podem ser afetadas pelas características do percurso (origem e destino, complexidade, comprimento da rota, etc), características da infraestrutura (geometria viária, condições de tráfego local, etc), assim como características do indivíduo (idade, gênero, etc). As escolhas devem refletir a combinação desses fatores associada a certo grau de aleatoriedade (PAPADIMITRIOU *et al.*, 2009).

A compreensão do impacto real na mudança desses fatores no comportamento de viagens pode ser de grande importância para a obtenção de ganhos econômicos e sociais em projetos que visem facilitar a acessibilidade dos pedestres a diferentes áreas e equipamentos nos níveis de planejamento: estratégico, tático e operacional (PAPADIMITRIOU *et al.*, 2009). De acordo com Larrañaga *et al.* (2014), o estudo da influência da estrutura urbana no padrão de viagens em cidades pode servir de grande auxílio para guiar projetos urbanísticos e de transportes que visem facilitar a acessibilidade das pessoas e estimular o desenvolvimento urbano sustentável.

Analisar o comportamento dos pedestres na escala dos percursos pode ser útil para o planejamento e projeto de áreas de atendimento de terminais e estações de transporte público, adjacências a equipamentos atratores como mercados, teatros, arenas, entre outros; desta forma provendo rotas seguras e acessos diretos, rápidos e desimpedidos aos destinos. Nesse contexto,

entende-se a importância de compreender a relação entre o ambiente construído e as escolhas dos pedestres, de forma a prever cenários e melhor alocar recursos.

Os resultados obtidos nestes estudos podem ser utilizados para explorar as causas de comportamentos de risco, para otimizar alterações (planejamento e projeto) no espaço urbano, estimular o uso das travessias, melhorar a segurança ao evitar gastos com acidentes, otimizar a utilidade da infraestrutura e melhorar a fidelidade das microssimulações de pedestres no que tange ao processo de escolha de rotas (KOH et al, 2014). Esse conhecimento também pode ser importante para assegurar a acessibilidade dos indivíduos com mobilidade reduzida e que utilizam modos ativos. O estudos deste cunho se justificam ainda na medida que aprofundam a discussão sobre a modelagem das travessias de pedestres. Apesar de gradativo, o número de trabalhos deste tipo, no Brasil, ainda é tímido se comparado a outros países.

1.3 Objetivos

Este trabalho objetiva avaliar em que medida os fatores constituintes do ambiente construído urbano e referentes aos pedestres influenciam suas preferências durante as travessias. Como objetivos específicos, têm-se:

- a.** Explorar, com base na literatura, os fatores que influenciam o comportamento dos pedestres em relação as suas escolhas em travessias;
- b.** Analisar a conduta observada de pedestres em travessias com relação aos fatores explorados;
- c.** Desenvolver modelos de escolha discreta que auxiliem na compreensão do impacto dos fatores que afetam o comportamento durante as travessias;
- d.** Avaliar como mudanças nos parâmetros do ambiente construído afetam as escolhas realizadas.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho contextualiza a problemática, expõe o problema, propõe questões de pesquisa, justifica a necessidade de estudar o comportamento de pedestres em travessias, lança suas possíveis contribuições e traça objetivos a serem atingidos. Em seguida, apresenta e detalha o método para obtenção dos dados, realiza um experimentos e discute os resultados de acordo com as as questões e objetivos lançados.

Além desta introdução, na qual é exposta a problemática e é apresentando o tema, as principais questões de pesquisa, a importância de estudá-lo no campo da mobilidade urbana e os objetivos a serem alcançados com o fim do trabalho; existem mais quatro capítulos:

Os Capítulos 2 e 3 apresentam o referencial teórico empregado na dissertação. Foi realizada uma revisão da literatura acerca dos fatores de influência no comportamento de pedestres, partindo de um nível estratégico (estrutura urbana) até o operacional. Além disso, foi abordado o processo decisório dos indivíduos, em específico no que tange aos tipos de escolhas realizadas e metodologias para a modelagem dessas escolhas.

No Capítulo 4 são abordados os aspectos metodológicos da pesquisa. É proposto um método de coleta de dados de travessias baseado em observações manuais e rastreamentos semiautomáticos de pedestres.

No Capítulo 5 estão os tratamentos dos dados gerados pela aplicação da metodologia proposta, a qual possibilitou a análise e modelagem da conformidade dos pedestres por meio da utilização de modelos de escolha discreta do tipo Logit Binomiais e Multinomiais.

O Capítulo 6 contém as considerações finais acerca dos resultados, das limitações e potencialidades deste trabalho para futuros aperfeiçoamentos.

2 O AMBIENTE CONSTRUÍDO E O COMPORTAMENTO DE PEDESTRES

A literatura internacional vem acumulando evidências de que o comportamento de viagens é influenciado pelas características do ambiente construído, de forma que alterações no mesmo podem modificar os padrões de demanda por transportes, em específico, os padrões de deslocamento dos pedestres. Nesse contexto, tópicos como “Smart Growth” (Crescimento Inteligente), “New Urbanism” (Novo Urbanismo), “Transit Oriented Development” (Desenvolvimento Orientado para o Transporte) obtiveram crescente interesse por parte de pesquisadores e planejadores interessados em explorar a maneira na qual a forma e o desenho urbano, além de outras características físicas da cidade balizam os deslocamentos nas cidades (Baran *et al.*, 2008; Cao *et al.*, 2006; Ewing e Cervero, 2001, 2009).

Observa-se que a compreensão das relações entre a estrutura urbana e o comportamento de viagens é predominantemente realizada através de modelos quantitativos que relacionam variáveis de uma e outra dimensão. Esses modelos baseiam-se na hipótese de que decisões das mais estratégicas às operacionais podem ser influenciadas pela estrutura urbana: escolha modal, escolha de rotas, interações entre outros indivíduos, etc. De maneira genérica, pode-se ter a relação entre as variáveis que compõem o espaço urbano e o padrão comportamental dos indivíduos que circulam dentro da mesma pela Equação 1.

$$TB = f(BE, X) + e \quad (1)$$

Onde:

TB: Padrão de viagens (travel behaviour);

BE: Características do ambiente construído (built environment);

X: Características dos indivíduos;

e: Parcela do fenômeno não observada pelo modelador.

Cervero e Duncan (2003) definiram o ambiente construído (built environment) em três dimensões principais, ou os “3 Ds”: densidade (“density”), diversidade (“diversity”) e desenho (“design”). Mais tarde, outras medidas foram incluídas à definição inicial por apresentarem influência significativa no comportamento: acessibilidade aos destinos (“destination accessibility”), distância ao transporte público (“distance to transit”), gerenciamento da demanda (“demand management”) e demografia (“demographics”) (CERVERO e EWING, 2009).

A primeira das medidas expressa a quantidade total de pessoas por uma área urbana específica. Regiões de alta densidade tendem a estar associadas à maior concentração de pessoas e atividades, funcionando como potencial geradora de origens e destinos de movimentos. Esse potencial pode também ser descrito, de maneira conjunta à densidade, pela diversidade urbana. Esta representa o grau de mistura dos usos do solo de determinada área.

O desenho refere-se às propriedades morfológicas e físicas da malha viária. Essa medida pode descrever o quão permeável é o espaço urbano aos deslocamentos não motorizados, podendo ser representada por medidas objetivas como: largura do passeio, comprimento e declividade das vias, densidade de interseções, tamanho médio das quadras, conectividade das vias, entre outras medidas.

Associada à primeira medida descrita, a diversidade representa o grau de mistura de usos do solo de uma área. Quanto mais diverso for o uso do espaço urbano, mais próximas estarão as origens e os destinos e mais prováveis serão os deslocamentos por modos não motorizados. Nesse sentido, pessoas que vivem em bairros orientados para pedestres, caracterizados por uso de solo misto, alta conectividade viária e alta densidade populacional são estimulados a dirigir menos e utilizar outros modos

As medidas descritas anteriormente podem funcionar como variáveis explicativas dos padrões de deslocamentos dos pedestres no que tange às escolhas nos mais diversos níveis de planejamento. A literatura vem mostrando a relevância da compreensão das variáveis da estrutura urbana, e de como os diferentes grupos de indivíduos respondem à elas para auxiliar o planejamento urbano no que tange ao favorecimento dos modos não-motorizados e do transporte público.

2.1 O processo decisório

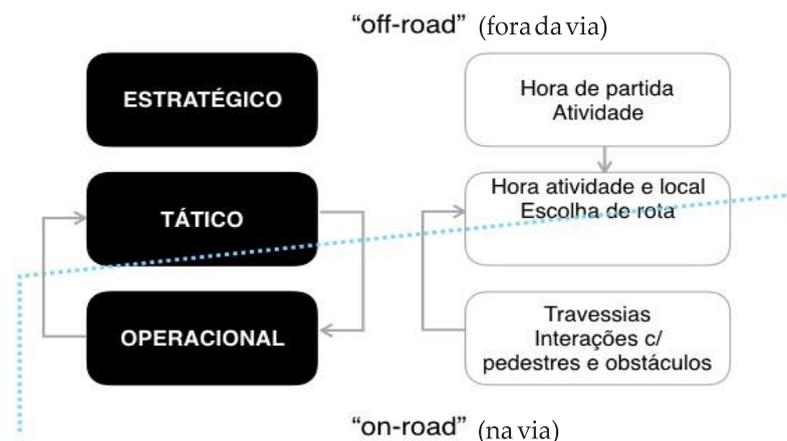
Dentre os vários modos de transporte, caminhar é provavelmente a forma mais natural, mas a mais complexa de apreender, do ponto de vista do analista do fenômeno, pela sua aparência incerta e de difícil previsão. No entanto, segundo Helbing e Molnar (1995), para a maioria das situações, modelos probabilísticos podem ser aplicados para uma extensa população de indivíduos.

Para modelar o comportamento dos pedestres, é necessário considerar o planejamento das atividades a serem realizadas, assim como incorporar as interações entre os pedestres e o ambiente em que estão inseridos (PAPADIMITRIOU *et al.*, 2009). Um complexo processo decisório se desenvolve ao longo do qual os pedestres percebem e processam as

informações resultantes do contexto urbano, tomam decisões acerca de possíveis estratégias de ação e se adaptam continuamente às consequências de suas escolhas.

Papadimitriou *et al.* (2009) adaptaram a estrutura proposta por Hoogendoorn e Bovy (2004) e sugerem um modelo que classifica as escolhas dos pedestres em 3 níveis hierárquicos (Figura 1). Nessa estrutura, o nível mais alto corresponde a decisões estratégicas, no que tange à seleção de atividades a serem realizadas e horas de partida aos destinos. Nesse nível, as decisões são tomadas antes das viagens. No nível tático, encontram-se as escolhas de rotas a serem percorridas. O conhecimento prévio da rede pode afetar a escolha das rotas antes das viagens. No entanto, condições encontradas ao longo do percurso podem modificar o itinerário dos indivíduos. O último nível diz respeito às decisões operacionais, nas quais estão contidos os processos de travessia, desvio de obstáculos e a interação com outros pedestres.

Figura 1 - Fluxograma das decisões de pedestres



Fonte: Papadimitriou *et al* (2009).

No nível operacional, adjacente ao tático, o comportamento dos indivíduos e suas mudanças podem ser descritos pelo processo sugerido por Helbing e Molnar (1995) estímulo, processamento mental da informação e reação. Estímulos, ou “forças externas”, causam reações que são reflexos das vontades pessoais dos tomadores de decisão. Estes, por sua vez, são seres racionais que fazem suas escolhas segundo regras de decisão maximizando a utilidade de suas escolhas, ou seja, a combinação do maior benefício ao menor esforço de realização da ação. É formada, dessa maneira, uma motivação para agir, seguida da ação propriamente dita.

2.2 Fatores de influência no comportamento em travessias

Ao longo das última duas décadas, a literatura internacional tem contribuído de

forma significativa para a compreensão do comportamento de pedestres em travessias, vista a necessidade de entender as violações e comportamentos de risco para potencializar a utilidade das intervenções no espaço urbano. Assim como este trabalho, as pesquisas têm focado na magnitude do impacto de diversos fatores sobre comportamento e sua sensibilidade.

Como representado na Tabela 1, a literatura mostra que o comportamento em travessias pode ser afetado por fatores pertencentes aos próprios indivíduos; aspectos situacionais, pertencentes ao momento em que o pedestre se insere na travessia como origem e destino, complexidade e comprimento da rota, presença de outros indivíduos; características do ambiente de tráfego, constituídos por características diretamente observáveis e mensuráveis como a geometria, operação, e etc. Na tabela abaixo estão organizados os estudos realizados sobre travessias de pedestres, categorizados por: (i) problemática abordada, (ii) nível de atuação, (iii) metodologias de modelagem comportamental e (iv) atributos abordados.

Tabela 1 - Revisão bibliográfica sobre o comportamento de pedestres em travessias.

Autor	Ano	(i) Problemática analisado				(ii) Nível de atuação		(iii) Modelos			(iv) Atributos		
		Antes e depois	Atravessar ou não	Como atravessar	Escolha de rota	Tático	Operação	Regressão Linear Múltipla	Escolha Discreta	Outro	Indivíduo	Ambiente	Situação
Mohammed <i>et al.</i>	2001												
Keegan & O' Mahony	2003												
Sisiopiku & Akin	2003												
Chu <i>et al.</i>	2004												
Holland & Hill	2007												
Rasanen <i>et al.</i>	2007												
Tiwari <i>et al.</i>	2007												
Papadimitriou <i>et al.</i>	2007												
Benrhnft & Carstensen	2008												
Rosenbloom <i>et al.</i>	2009												
Zhuang <i>et al.</i>	2011												
Havard & Willis	2012												
Taubman-Ben-Ari	2012												
Papadimitriou	2012												
Khatoon <i>et al.</i>	2013												
Zhou <i>et al.</i>	2013												
Rasanen <i>et al.</i>	2013												
Brousseau <i>et al.</i>	2013												
Kadali & Vedarigi	2013												
Wu <i>et al.</i>	2014												
Guo <i>et al.</i>	2014												
Cantillo <i>et al.</i>	2015												
Papadimitriou <i>et al.</i>	2016												
Ancaies & Jones	2016												

Fonte: elaborado pelo autor.

As problemáticas presentes nesta revisão são constituídas por: Estudos Antes e Depois, nos quais mudanças no comportamento foram analisadas após modificações no ambiente

construído; Escolha de Rotas, onde as decisões acerca de diferentes locais de travessia são analisados; Quando e Como atravessar, onde o comportamento é analisado pela conformidade temporal dos indivíduos com a sinalização local, assim como seu tempo de espera, velocidade de travessia, brechas críticas aceitas, número de tentativas de travessia, entre outros; e Atravessar ou Não, onde as decisões são condicionadas pelas condições locais de tráfego como brechas, velocidade da corrente de tráfego, tipo de veículo, entre outros.

De forma geral, os trabalhos tratam do comportamento no âmbito operacional, já que a maioria das decisões em travessias estão contidas em curtos intervalos de tempo e áreas na escala da interseção ou quadra. No entanto, problemáticas acerca da Escolha de Rotas, por vezes, estão inseridas no nível Tático quando tratam de áreas de influência maiores, como conjuntos de travessias, interseções ou quarteirões. Como ferramentas de análise do comportamento e da influência de fatores, são aplicadas análises descritivas e modelos de regressão multivariada. Através destas metodologias, os autores constataram e mensuraram, de forma isolada ou combinada, o impacto de diversas variáveis no comportamento em travessias. Os modelos de Escolha Discreta estão entre os mais utilizados na modelagem do comportamento, já que consideram o mesmo ao nível do indivíduo tomador de decisão, possuem parâmetros baseados em poucas alternativas, aplicação e interpretação de relativa facilidade.

Os modelos citados acima se utilizaram de dados de preferência revelados ou declarados. Os primeiros são constituídos pelas preferências individuais observadas de forma direta. Apesar das limitações práticas associadas aos custos de coleta de dados, essa abordagem, de acordo com Ortúzar e Willumsen (2011), permite a avaliação de projetos e processos de planejamento através de análise de como a mudança de atributos afeta o comportamento real dos sujeitos. Os modelos baseados em dados de preferência declarada buscam avaliar o comportamento através da construção de cenários virtuais ou hipotéticos, com a apresentação destes aos indivíduos de interesse por meio de entrevistas.

Segundo Ben-Akiva e Bierlaire (1999), esses métodos permitem que o analista extraia mais informações de cada respondente, já que é possível incluir múltiplas respostas para cada situação apresentada, incorporar novas alternativas aos cenários e considerar fatores de percepção, como variáveis latentes. Apesar das vantagens apresentadas, esse método apresenta erros no que tange à confiabilidade das respostas, já que parcela considerável dos entrevistados não age como afirmou que iria agir em situações hipotéticas, levando a modelos de demanda errôneos e super otimistas. Alguns autores aqui considerados afirmam que há fortes correlações entre o que o pedestre declara fazer e o que ele revela. Isto pode encorajar a realização de

estudos de preferência declarada e revelada em conjunto. (SISIOPIKU e AKIN, 2003; HAVARD e WILLIS, 2012; PAPADIMITROU *et al.*, 2016).

2.2.1 Características dos Indivíduos

Na maioria dos estudos desta revisão, estão incluídas características socioeconômicas dos indivíduos como variáveis de influência no comportamento (HAMED *et al.*, 2001; RASANEN *et al.*, 2007; ROSENBLOOM *et al.*, 2004; HAVARD e WILIS, 2012; BROSSEAU *et al.*, 2013; KHATOON *et al.*, 2013; ZHOU *et al.*, 2013; WU *et al.*, 2014; GUO *et al.*, 2014; CANTILLO *et al.*, 2015). Durante as travessias, indivíduos do sexo masculino tendem a violar as regras de trânsito e adotar comportamentos agressivos com mais frequência que as mulheres (HOLLAND e HILL, 2007).

De forma geral, jovens adultos e adolescentes estão entre os mais prováveis de cometerem violações de trânsito que idosos, já que focam nas alternativas de menor custo em tempo. Os idosos por outro lado, ao realizarem as travessias, o fazem de forma mais precavida, buscando as infraestruturas projetadas para tal (faixas de pedestres em nível e elevadas, interseções semaforizadas, passarelas, entre outros), além de precisarem de brechas maiores que os mais jovens. A percepção de segurança lhes é mais importante que as penalidades em tempo e esforço (HAVARD e WILLIS, 2012). Alguns estudos concluíram que outros fatores socioeconômicos como estado civil, nível de educação, número de filhos (HAMED *et al.*, 2001), posse de carteira de habilitação (TAUBMAN-BEN-ARI, 2012) mostraram significativa influência no comportamento dos pedestres.

2.2.2 Características do Ambiente de Tráfego

Em todos os trabalhos analisados, os aspectos mensuráveis do ambiente de tráfego, considerando as características possíveis de serem observadas de forma direta (geometria, operação, características físicas, entre outros), obtiveram influência estatisticamente significativa sobre o comportamento dos pedestres, principalmente no que tange à conduta de violar ou não a legislação de trânsito. No entanto, a magnitude da influência de cada variável se deu de maneira diferente. Partindo-se da premissa de que os padrões comportamentais são influenciados por diferenças na estrutura urbana (CERVERO *et al.*, 2009), pode-se afirmar que o projeto tem grande contribuição na formação das decisões, já que pode, por um lado, inibir comportamentos de risco ou, por outro, estimulá-los.

De acordo com Chu *et al.* (2004), as características geométricas das vias e dos dispositivos de controle de tráfego possuem influência sobre o comportamento dos indivíduos. Sisiopiku e Akin (2003) concluíram que vias e dispositivos de controle bem projetados podem encorajar travessias em locais seguros e projetados para tal. No que tange ao controle semafórico, o projeto das fases, a simples presença de semáforos para pedestres e temporizadores estão associadas com aumentos na proporção de travessias em conformidade com suas respectivas fases (ROSENBLOOM, 2009; PAPADIMITRIOU, 2012). Outros aspectos da infraestrutura viária como presença de canteiro central, largura da via, número de faixas, alterações na largura de calçadas, gradis, vegetação obstáculos podem encorajar ou não travessias em locais e momentos específicos (SISIOPIKU e AKIN, 2003; KHATOON *et al.*, 2013; PAPADIMITRIOU, 2012).

Em zonas residenciais e de uso misto, pedestres tendem a escolher os caminhos mais curtos (travessias diagonais), devido à presença menos frequente de equipamentos de controle de tráfego e pontos de conflito. Nas vias arteriais e expressas, por outro lado, buscam travessias que ofereçam proteção devido ao alto fluxo e velocidade da corrente de tráfego (PAPADIMITRIOU *et al.*, 2016).

2.2.3 Aspectos situacionais

Os aspectos situacionais dizem respeito às condições do ambiente de tráfego no momento em que o pedestre pretende realizar a travessia. Diferentemente do Ambiente de Tráfego, os Aspectos Situacionais, mesmo que ocorram em um mesmo local, podem variar continuamente ao longo de curtos intervalos de tempo. Em locais de baixo fluxo veicular, a probabilidade de travessias de risco, são maiores que em locais de intenso tráfego. Já em travessias onde há um alto fluxo conflitante, os pedestres tendem a buscar equipamentos e infraestruturas que lhes ofereçam segurança. Em áreas congestionadas, as travessias irregulares são, também, muito frequentes, já que os indivíduos cruzam as vias por entre os veículos que estão parados. (PAPADIMITROU, 2012).

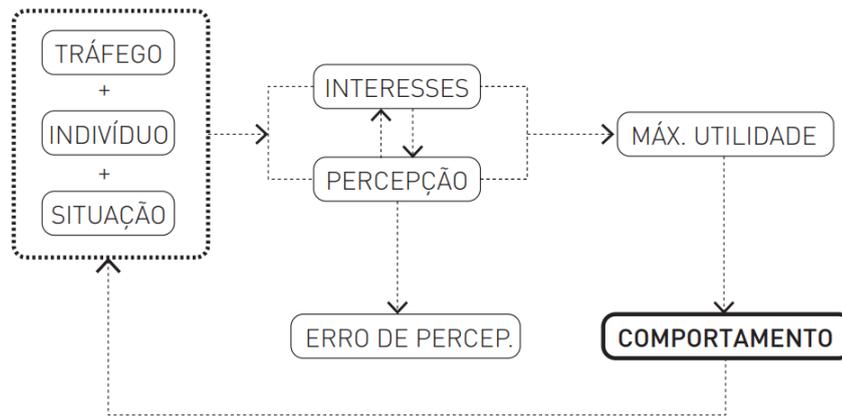
Segundo Zhou *et al.* (2014), as pessoas tendem a estar em conformidade com o comportamento das outras, mesmo nas travessias. Rosenbloom (2004) concluiu que a presença de outros indivíduos esperando nas travessias podem inibir comportamentos de risco ou irregulares. Quanto maior o tamanho do grupo em uma travessia, menor a probabilidade de um pedestre cometer infrações de trânsito, como cruzar no vermelho ou em locais irregulares (BROSSEAU *et al.*, 2015).

Pode-se afirmar que a frequência de utilização de uma infraestrutura de travessia é positivamente influenciada pela sua eficiência operacional, no que tange a economias de tempo e esforço (RASANEN *et al.*, 2007). A probabilidade de sofrer atrasos ao longo do caminho tem um importante efeito nas decisões dos pedestres, os quais estão mais inclinados a escolherem alternativas de menor penalidade.

Quanto maior à distância ou tempo adicionais associados às infraestruturas de travessia, menor a probabilidade dos indivíduos as utilizarem (CANTILLO *et al.*, 2015). Segundo Guo *et al.* (2014), com o aumento da distância adicional necessária para alcançar as infraestruturas de travessia, menor a probabilidade de uso das mesmas, e por conseguinte, maior a frequência de travessias irregulares. Quanto maior o tempo de espera relacionado a um semáforo, maior a probabilidade de violá-lo (TIWARI *et al.*, 2007). Outros fatores como a posição de origem e destino dos indivíduos, a variação do tráfego veicular, podem afetar significativamente a seleção do local de travessia (SISIOPIKU e AKIN, 2003; WU *et al.*, 2014).

2.3 As decisões em travessias

Considerando as problemáticas abordadas pelos diferentes autores, compreende-se o processo decisório como sequencial, condicional e retroalimentado, tanto quanto ao tipo de decisão a ser tomada quanto ao intervalo de tempo atrelado à mesma. Partindo de uma origem a um destino, uma viagem de pedestre pode abranger diferentes rotas, cada uma contendo diferentes opções de travessias, as quais correspondem a diferentes microambientes para tomada de novas decisões. Estas, por sua vez, são interações entre a percepção e as vontades frente ao ambiente no qual os indivíduos estão expostos (Figura 2).

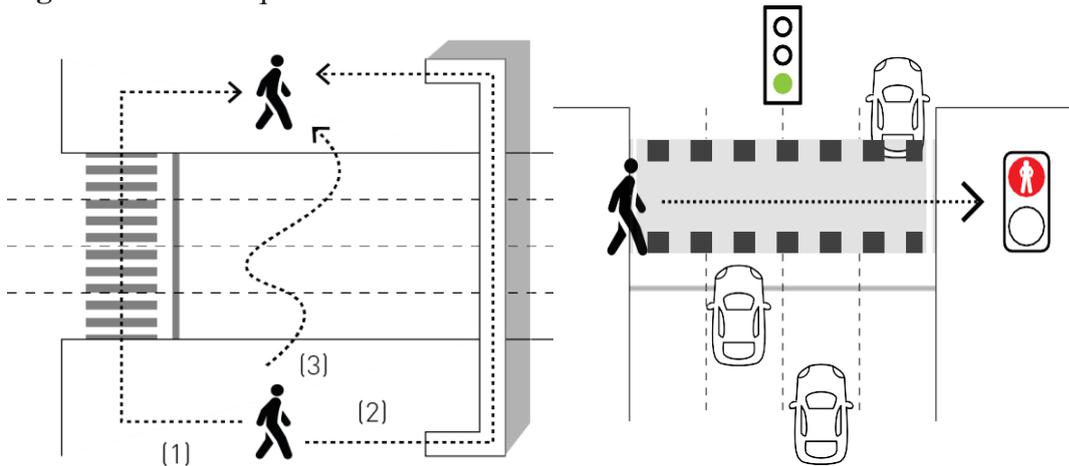
Figura 2 - Fluxograma das decisões de pedestres

Fonte: Adaptado de Helbing e Molnar (1995).

Como já citado por Timmermans (2009), apesar de essas decisões estarem altamente inter-relacionadas, sendo difícil estabelecer relações perfeitamente sequenciais entre as mesmas, pode ser mais conveniente analisá-las de forma separada, fragmentando o comportamento. Em uma escala mais operacional, dentro da qual as travessias estão contidas, um pedestre pode iniciar seu processo decisório realizando as seguintes perguntas: (i) em que local atravesso (Onde)? (ii) obedeço à sinalização (Quando)? (iii) atravesso ou não (Como)?

A primeira pergunta (i) encontra-se imediatamente anterior ao momento da travessia e é definida pela rota que o indivíduo toma ou pelo local onde o mesmo decide realizar a travessia. Parte-se de pelo menos duas opções - travessia em faixa de pedestres (Conformidade Espacial) versus, fora dela (Não Conformidade), até múltiplas opções, como pode ser o caso de vias dotadas de várias alternativas como túneis, passarelas, faixas elevadas, entre outras (Figura 3). Dado que o pedestre atravessou em locais dotados de semáforo, sua próxima decisão seria a de obedecer (Conformidade Temporal) ou não (Não Conformidade) à sinalização (ii), ou seja, aceitar ou não a fase semaforica que lhe é devida (Figura 3). As travessias de risco são resultantes da Não Conformidade com a sinalização de trânsito vigente e podem estar associadas tanto à rota escolhida quanto à violação do semáforo.

Figura 3 - Onde e quando realizar a travessia



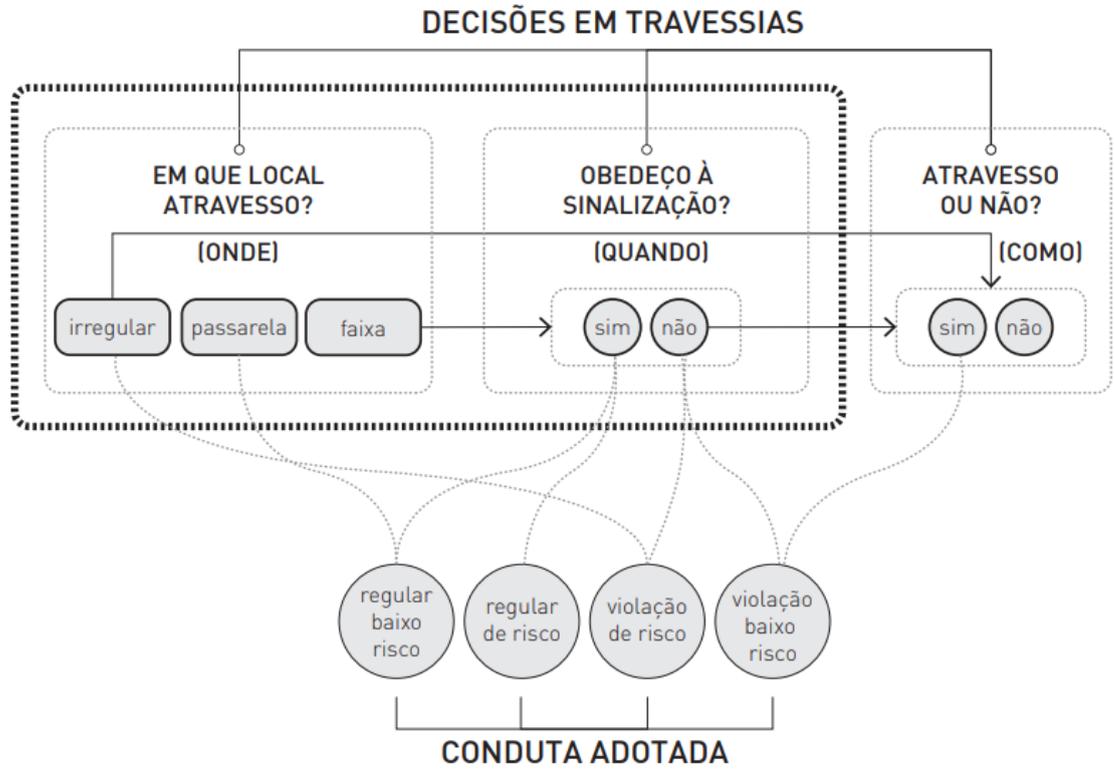
Fonte: elaborado pelo autor.

Pode-se, ainda, classificar as escolhas dos pedestres segundo sua conduta e nível de risco associado à mesma. Nesse contexto, travessias regulares seriam as realizadas em infraestruturas próprias para tal e de acordo com a sinalização semafórica vigente. Já as violações seriam a não conformidade com o exposto. As decisões em travessias, segundo Brosseau *et al.* (2013), podem ser categorizadas em:

- a) Violações de alto risco: Ocorrem quando as travessias se sucedem em fases inapropriadas (vermelho) ou em locais não designados para tal.
- b) Violações de baixo risco: Algumas violações não expõem os pedestres a fluxos conflitantes. Podem ocorrer quando os indivíduos realizam as travessias no final do vermelho piscante ou amarelo e ainda são capazes de alcançar o passeio antes da abertura do semáforo para os veículos.
- c) Regulares de risco: Travessias na faixa, em locais onde não há fases dedicadas aos pedestres podem ser consideradas de risco, mesmo que regulares. Encaixam-se nessa categoria, ainda, as que ocorrem durante a fase designada, mas que não são finalizadas nesta.

Apesar das limitações expostas por Timmermans (2009), procurou-se diagramar (Figura 4) as decisões em travessias segundo um processo fragmentado, sequencial e classificado segundo o risco de sofrer acidentes

Figura 4 - Escolhas realizadas em travessias



Fonte: elaborado pelo autor.

3 ESCOLHA DISCRETA E O COMPORTAMENTO DE PEDESTRES

Modelos comportamentais baseados em cenários reais ou hipotéticos podem avaliar as preferências dos usuários em relação às alternativas a eles apresentadas, constituindo ferramentas importantes para auxiliar planejadores e projetistas. Modelos de escolha discreta (MCFADDEN, 1986; BEN-AKIVA e LERMAN, 1985) têm sido amplamente aplicados no contexto das decisões de pedestres (BEN-AKIVA e BIERLAIRE, 1999). Desagregados em sua natureza, esses modelos buscam explicar os padrões comportamentais dos indivíduos, no que tange às suas escolhas. Assim como as escolhas relacionadas às travessias estão associadas aos níveis operacional e tático (PAPADIMITRIOU *et al.*, 2009), essas decisões estão contidas em etapas mais imediatas do processo decisório.

Cantillo *et al.* (2015) afirmam que os modelos econométricos (escolha discreta) mostram-se apropriados para descrever o comportamento de pedestres no que tange ao seu comportamento em travessias e escolha de rotas, já que possibilitam análises desagregadas ao nível do indivíduo, ao longo de seu percurso. Segundo Zhou *et al.* (2013), esses tipos de modelos são técnicas já consolidadas, dos quais os resultados empíricos são de acessível apreensão e interpretação, abrindo espaço para contribuições de cunho principalmente fenomenológica e de possíveis aplicações no Estado da Prática.

Segundo Ben-Akiva e Bierlaire (1999), a abordagem comportamental desagregada é estruturada pelo tomador de decisão. No caso deste trabalho, isto é representado pelo indivíduo (i) (pedestre); pelas alternativas disponíveis (ii); pelos atributos de cada alternativa (iii), definidos pelos benefícios e custos; e pela regra de decisão (iv), a qual descreve como o indivíduo faz suas escolhas.

Tomador de decisão: A entidade chamada de “indivíduo” pode ser tanto um grupo de pessoas de características homogêneas, como um indivíduo apenas. Logo deve-se considerar as diferentes situações em os tomadores de decisão estão inseridos. Para que seja possível explicar a heterogeneidade de preferências entre os diferentes tomadores de decisão, os modelos desagregados devem incluir suas características sócio-econômicas: idade, gênero, educação, renda, entre outras (BEN-AKIVA e LERMAN, 1985). Segundo Guo *et al.* (2014), uma premissa básica é que o pedestre é o tomador de decisão acerca das decisões em travessias; além disso, possui a capacidade mental de escolha a opção de maior utilidade, ou mais satisfatória.

Alternativas: Analisar as escolhas individuais requer não apenas o conhecimento acerca do que foi escolhido, mas também sobre o que não foi. Um modelo de escolha discreta

considera um número finito de alternativas que possam ser explicitamente listadas. A identificação da lista de alternativas é um processo complexo, sendo referido como geração do “choice set” (conjunto de escolha). O choice set contém todas as alternativas potenciais no contexto de aplicação e suas características devem ser de total conhecimento dos indivíduos (BEN-AKIVA e LERMAN, 1985).

Atributos das alternativas: Cada alternativa no choice set é caracterizada por uma série de atributos. É importante notar que alguns atributos podem ser genéricos a todas as alternativas, e outros podem ser exclusivos de algumas. Um atributo não é necessariamente mensurável, mas é função dos dados disponíveis. Normalmente, a definição de como os atributos serão inseridos no modelo deve, geralmente, ser testada para identificar a forma mais apropriada (BEN-AKIVA e LERMAN, 1985).

Regra de decisão: Este é o processo utilizado pelo tomador de decisão para avaliar os atributos de cada alternativa e definir sua escolha. A maioria dos modelos utilizados são baseados na teoria da utilidade aleatória, na qual é assumido que a preferência por uma alternativa está associada a um valor, chamado de utilidade. Sendo assim, o indivíduo tende a escolher a alternativa de maior utilidade. O conceito de utilidade abordado na microeconomia apresenta fortes limitações práticas. A complexidade do comportamento humano sugere que a regra de decisão deveria incluir a dimensão estocástica. Nesse contexto se inserem os modelos de utilidade aleatória (BEN-AKIVA e LERMAN, 1985).

3.1 Teoria da Utilidade Aleatória

Segundo Ben-Akiva e Bierlaire (1999), é assumido que nos modelo de utilidade aleatória, o tomador de decisão é racional e consegue identificar os atributos das alternativas em que se depara. Apesar das premissas assumidas, não se possui todas as informações acerca das variáveis que definem a escolha. Existem 4 fontes de incerteza: atributos não observáveis, características individuais relevantes não observadas, possíveis erros de medição e variáveis proxy. A utilidade pode ser modelada como uma variável aleatória de maneira a refletir essa incerteza (e_{in}). De forma mais específica, a utilidade que o indivíduo n associa à alternativa i em um *choice set* C pode ser representada pela Equação 2.

$$U_{in} = V_{in} + e_{in} \quad (2)$$

Onde:

U_{in} : Parcela sistemática, ou determinística, da utilidade;

e_{in} : Termo aleatório que captura a incerteza do modelador.

A alternativa de maior utilidade é escolhida. Logo, a probabilidade da alternativa i ser escolhida pelo tomador de decisão n em um *choice set* C é dada pela Equação 3.

$$P(i|C) = P[U_{in} > U_{jn} \forall j \in C; i \neq j] = P[U_{in} = \max U_{jn}] \quad (3)$$

Se a probabilidade de escolha da alternativa i pelo indivíduo q é igual à probabilidade de que a utilidade de i seja maior do que qualquer outra alternativa j diferente pertencente ao choice set C disponível ao indivíduo, a diferença entre a utilidade da alternativa i e de todas as outras será maior do que 0, como mostra a Equação 4.

$$P[U_{in} - U_{jn} \geq 0 \forall j \in C] \quad (4)$$

A parcela determinística V , ou representável, de cada alternativa está em função dos seus atributos (benefícios e custos) e das características do tomador de decisão (Equação 5).

$$V_{in} = V(Z_{in}, S_n) \quad (5)$$

Onde:

Z_{in} : é o vetor de atributos percebidos pelo indivíduo n para a alternativa i ;

S_n : é o vetor de características do indivíduo n .

Dessa maneira, pode-se representar a utilidade ou atratividade de cada alternativa por meio de uma função linear como a Equação 6.

$$V_{in} = \sum \beta_k \cdot X_{ink} = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_{in1} + \beta_2 \cdot X_{in2} + \beta_3 \cdot X_{in3} + \beta_k \cdot X_{ink} \quad (6)$$

Onde:

β_k : São parâmetros a serem calibrados;

X_{in} : São os valores de cada variável explicativa.

3.2 Modelos Logit Binomiais e Multinomiais

De acordo com Ben-Akiva e Bierlaire (1999), os modelos da família Logit - Binomiais e Multinomias são muito utilizados nas pesquisas de demanda por transportes, já que a fórmula das probabilidades é de fácil interpretação. O modelo Logit deriva-se da premissa de que os erros da função de utilidade são independentes e identicamente distribuídos (IID), seguindo a distribuição de Gumbel, com variância definida por $\pi^2/6$.

A escolha é modelada dentro de um número discreto de alternativas (Choice set). Quando as escolhas se dão entre apenas duas alternativas, a variável explicada é binária - assume os valores 0 ou 1. Quando existem múltiplas opções mutuamente exclusivas, a variável dependente é nominal. Quando a resposta é ordinal, a escolha reflete a intensidade de preferência, sendo possível estabelecer ordem entre as alternativas. A formulação geral da probabilidade de escolha de um indivíduo escolher a alternativa i se dá conforme a Equação 7.

$$P_{ij} = \frac{e^{V_{in}}}{\sum e^{V_{jn}}} \quad (7)$$

Onde:

e : Base do logaritmo neperiano;

V_{in} : Utilidade da alternativa i para o indivíduo n ;

V_{jn} : Utilidades das alternativas j .

No caso da probabilidade de escolha binária, tem-se a formulação conforme a Equação 8.

$$P(y = 1) = \frac{e^{V_{1n}}}{e^{V_{1n}} + e^{V_{0n}}} = \frac{1}{1 + e^{(V_0 - V_1)}} \quad (8)$$

Onde:

e : Base do logaritmo neperiano;

V_{1n} : Utilidade da alternativa 1 para o tomador de decisão;

V_{0n} : Utilidade da alternativa 0 para o tomador de decisão.

A estimação dos modelos é feita através da máxima verossimilhança, usando de uma

das alternativas como referência, e os demais coeficientes estimados em relação a essa alternativa de referência (ORTÚZAR e WILLUMSEN, 2011). No caso dos modelos logit multinomiais seguem ainda o princípio de independência de alternativas irrelevantes (IIA - Independence from irrelevant Alternatives), sob o qual a razão entre quaisquer duas probabilidades de alternativas que sejam diferentes de zero não é afetada por alternativas adicionais existentes dentro de um “*choice set*”. (Ben-Akiva; Bierlaire, 1999). Dessa forma, para quaisquer *choice sets* C_1 e C_2 , de maneira que esses dois estão contidos em um *choice set* “ n ”, e para quaisquer alternativas i e j em ambos C_1 e C_2 , tem-se a Equação 9.

$$\frac{P(i|C_1)}{P(j|C_1)} = \frac{P(i|C_2)}{P(j|C_2)} \quad (9)$$

Segundo Ben-Akiva e Bierlaire (1999), dentre os principais modelos que podem ser derivados para as partes aleatórias da função de utilidade, além dos Logit, estão os Probit. Estes são baseados na distribuição Normal dos erros da utilidade, apoiando-se no Teorema do Limite Central. Sua principal vantagem é a habilidade de capturar todas as correlações entre as alternativas. Entretanto, devido a alta complexidade de sua formulação, poucas foram suas aplicações com relação aos Logit.

No que tange aos modelos utilizados para analisar o comportamento de pedestres, os modelos Logit Binários e Multinomiais são amplamente utilizados no cenário internacional, principalmente com relação ao estudo das conformidades em travessias urbanas e de brechas críticas. Rasanen *et al.* (2007), Wu *et al.* (2013), Guo *et al.* (2013), Cantillo *et al.* (2015) e Anciaes e Jones (2016) desenvolveram modelos Logit Multinomiais para analisar o local de travessia dos pedestres e o uso de infraestruturas destinadas para tal. Rosenbloom *et al.* (2009), Brousseau *et al.* (2013) e Zhou *et al.* (2013) aplicaram modelos binários para analisar a conformidade de pedestres com relação às fases semaforicas. Estudos de aceitação de brechas e determinação de brechas críticas também foram conduzidos por Kadali e Vedarigi (2015), Khatoon *et al.* (2013) e Pawar e Patil (2016) através da aplicação de modelos binários.

As principais fontes de dados variam entre observações da movimentação dos indivíduos ao longo de seus percursos (Preferência Revelada) e a aplicação de questionários acerca da opinião dos mesmos no que se refere às travessias existentes ou à situações fictícias (Preferência Declarada).

Segundo Ben-Akiva e Bierlaire (1999), os modelos de demanda por transportes historicamente utilizaram dados de preferência revelada, os quais são constituídos pelas

decisões e preferências individuais que podem ser observadas. Essa abordagem, de acordo com Ortúzar e Willumsen (2011), permite a avaliação de projetos e processos de planejamento através de análise de como a mudança de atributos afeta o comportamento real dos sujeitos. Já as técnicas de preferência declarada, aplicadas em alguns trabalhos estudados nesta dissertação, buscam avaliar o comportamento através da construção de cenários virtuais ou hipotéticos e apresentação destes aos indivíduos de interesse por meio de entrevistas. Esses métodos permitem que o analista extraia mais informações de cada respondente, já que é possível incluir múltiplas respostas para cada situação apresentada, incorporar novas alternativas aos cenários e considerar fatores de percepção.

Alguns autores afirmam haver fortes correlações entre o que o pedestre declara fazer e o que ele revela. Isto pode encorajar a realização de estudos de preferência declarada e revelada em conjunto, já que resultariam em maior certeza na modelação do comportamento de pedestres em travessias. (SISIOPIKU e AKIN, 2003; HAVARD e WILLIS, 2012; PAPADIMITROU, 2012; CANTILLO *et al.*, 2015).

4 MÉTODO

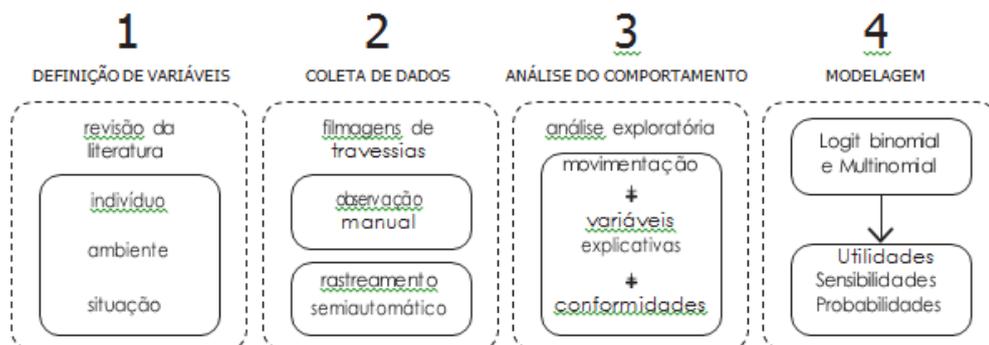
Para analisar os fatores que afetam o comportamento de pedestres relativo às decisões em travessias, este trabalho propõe estudos de caso baseados em experimentos de acompanhamento de percursos realizados por indivíduos em interseções e meios de quadra semaforizados da cidade de Fortaleza. Optou-se por uma abordagem baseada em dados de Preferência Revelada. Como já citada anteriormente, esta é condicionada pela observação direta do comportamento real, neste caso, as escolhas efetivamente realizadas pelos indivíduos durante as travessias.

Parte-se do pressuposto de que a decisão por certo tipo de conduta em travessias pode ser modelada, já que o processo de escolha é racional e sujeito a regras de maximização da utilidade das opções. No entanto, é plausível questionar esse processo e admitir limitações, já que neste trabalho não estão admitidas escolhas que sofrem modificações ao longo das travessias.

A metodologia adotada (Figura 5) para a análise e modelagem do comportamento dos pedestres em travessias seguiu seguintes etapas: definição das variáveis, coleta e processamento de dados, análise exploratória dos dados de comportamento e variáveis de possível influência; modelagem do comportamento, utilizando modelos de escolha discreta e análises de sensibilidade. Nesse sentido, buscou-se modelar o comportamento e a conduta dos pedestres defronte às seguintes situações:

- (i) Escolher o local de travessia (onde), ou seja, estar ou não em Conformidade Espacial com a operação de trânsito vigente;
- (ii) Respeitar ou não à sinalização vigente (quando), ou seja, estar ou não em Conformidade Temporal com a operação de trânsito vigente;

Figura 5 – Procedimentos metodológicos



Fonte: elaborado pelo autor.

4.1 Definição das variáveis

A escolha das variáveis a serem aplicadas na modelagem do comportamento foram condicionadas pelos objetivos deste estudo, por informações sobre as entidades e principalmente pelo que já foi publicado na literatura internacional. Assim, como apresentado no Capítulo 2, foram selecionados trabalhos produzidos nas últimas duas décadas que abordam os fatores de influência sobre o comportamento de pedestres em travessias. Em sua maioria, foram estudos de origem internacional, visto sua escassez no Brasil até o momento. Nesse sentido, foram levantados os fatores e variáveis apontados com mais frequência ou que, ao fim de cada estudo, possuísem influência estatisticamente significativa sobre o comportamento.

Foram listados os fatores considerados neste estudo, assim como os respectivos conjuntos de variáveis de possível influência na conformidade de pedestres em travessias:

- (i) **Indivíduo:** Dizem respeito às características socioeconômicas dos indivíduos observados ou do grupo socioeconômico ao qual fazem parte, como Idade e Gênero;
- (ii) **Ambiente de Tráfego:** Aspectos operacionais e geométricos das infraestruturas de circulação, podendo variar apenas entre os estudos de caso;
- (iii) **Variáveis situacionais:** Características do ambiente correspondentes ao momento em que o pedestre chega para realizar a travessia. Dependem, não apenas dos atributos geométricos e operacionais das vias, mas dos outros indivíduos que as utilizam. Podem variar de observação para observação.

4.2 Coleta e processamento de dados

O método adotado para a coleta de dados do comportamento de pedestres em travessias seguiu seguintes etapas: coleta de filmagens, transformação das imagens, observação dos vídeos e rastreamento de pedestres e extração das variáveis. Essas etapas envolveram processamentos de vídeos. O que difere das abordagens apresentadas na literatura é a forma como as variáveis são extraídas: manual, onde é feita uma exaustiva observação do vídeo e tabulação manual das informações coletadas, observação a observação; semiautomática, onde são marcadas as coordenadas dos objetos em movimento manualmente ao longo de uma sequência de frames; e automática, onde são desenvolvidos programas computacionais para rastrear e classificar os objetos em movimento.

Neste trabalho, optou-se pela combinação dos métodos manual e semiautomático. Estes não demandam grande esforço de construção e calibração de algoritmos de rastreamento e podem ser precisos o bastante para a coleta de informações acerca do comportamento em travessias baixo e alto fluxo de pedestres, onde a presença de grupos de indivíduos pode ser mais frequente. Vale ressaltar que estes métodos podem ser considerados tarefas demoradas e monótonas, já que exigem que o analista assista e processe todo o período dos vídeos.

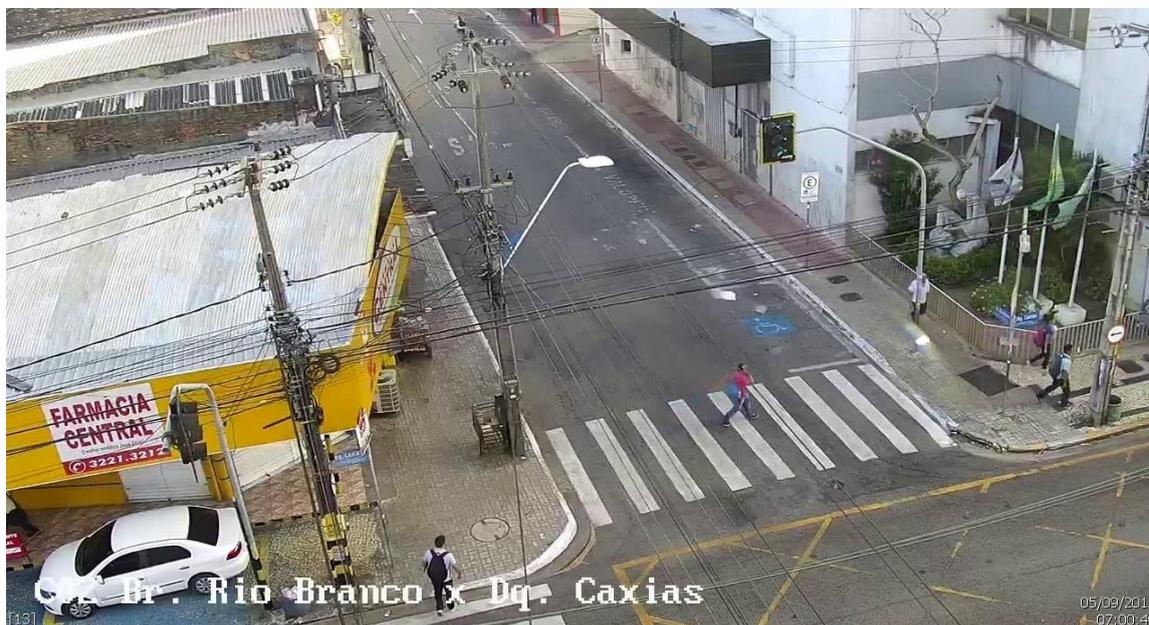
Apesar de o presente estudo limitar-se à disponibilidade de filmagens, buscou-se obter informações de um grupo suficientemente numeroso de travessias para proporcionar suficiente variabilidade de fatores concernentes às características físicas e operacionais de cada uma.

4.2.1 Coleta de filmagens

Os vídeos foram obtidos através da gravação de imagens em câmeras de monitoramento cedidas pela Autarquia de Trânsito e Cidadania de Fortaleza (AMC). Esses equipamentos, além estarem localizados em interseções de grande demanda de pedestres, possuem, em parte, alta resolução, controle de zoom e ângulo de visão de grande abrangência - aspectos importantes, que foram considerados na escolha dos locais de coleta de dados de pedestres e que favoreceram a pesquisa, já que proporcionaram ao pesquisador certa liberdade na visualização dos vídeos.

Além disso, os dados foram coletados em horários de grande ocupação de pedestres entre 7:00 e 8:00 da manhã (início de expediente) e entre 12:00-13:00 da tarde (horário do almoço), de forma que foi possível captar significativa variabilidade dos atributos que poderiam afetar as decisões em travessias. A Figura 6 ilustra uma imagem típica de uma câmera da AMC posicionada em uma interseção de relevante demanda na cidade de Fortaleza.

Figura 6 - Exemplo de local para coleta (Av. Barão do Rio Branco x Av. Duque de Caxias)



Fonte: AMC.

A AMC possui mais de 40 pontos de monitoramento, com câmeras filmando em alta definição. Destes, verificou-se ser possível utilizar imagens de pelo menos 11, tanto pela simples disponibilidade de filmagens nos horários de maior fluxo, quanto pelo posicionamento, ângulo de visões favoráveis e estabilidade física das câmeras de monitoramento. Na Figura 7 estão ilustrados os locais monitorados pela AMC dos quais foi possível coletar imagens. Em verde estão os pontos onde foi possível observar os pedestres e suas decisões, e em branco estão os pontos dos quais não foi possível, por motivos como ângulo de visão desfavorável, instabilidade, entre outros.

Na Tabela 2 estão apresentados os pontos de travessia analisados, assim como algumas de suas características físicas e operacionais.

Figura 7 - Mapa de pontos de coleta de dados



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 2 - Pontos de coleta considerados e suas características físicas e operacionais.

Nome	Tipo	Faixas (n)	Sentidos	Largura (m)	Canteiro Central	Semáforo Pedestres	Uso do solo	Fase Pedestres	Espera Pedestres
Dom Manuel x Heraclito Graça	Cruzamento	4	2	14,5	sim	não	comercial	-	-
R. Barão do Rio Branco x Duque de Caxias	Cruzamento	4	2	14	não	não	comercial	-	-
Av. Pe. ibiapina x Bezerra de Menezes	Entroncamento	4	2	14,5	não	sim	comercial	50	115
Imperador x Domingos Olímpio	Cruzamento	4	1	16	sim	sim	serviços	60	70
Dom Manuel x Mons. Tabosa	Cruzamento	4	2	13,5	sim	sim	lazer	20	135
Br. Studart x Pontes Vieira	Entroncamento	4	2	14,5	sim	sim	comercial	20	130
Av. Desembargador Moreira x Abolição	Cruzamento	2	1	18	não	não	serviços	-	-
Pe. Anchieta x Fco. Sá	Cruzamento	4	2	9,5	não	não	serviços	-	-
Godofredo Maciel x Costa e Silva	Cruzamento	6	2	25,5	sim	não	comercial	-	-
Jose Bastos x Gomes Brasil	Cruzamento	6	2	21,5	sim	não	comercial	-	-
Av. Bezerra de Menezes	Meio de Quadra	3	1	10,5	não	sim	comercial	45	100

Fonte: elaborado pelo autor.

Observou-se que os artigos, analisados na etapa de revisão não apresentaram métodos bem definidos quanto ao dimensionamento da quantidade mínima de observações (locais e indivíduos) para a modelagem de decisões de pedestres em travessias. Nesse sentido, avaliou-se para as amostras utilizadas em publicações anteriores acerca do assunto. Na Tabela 3 estão dispostos alguns trabalhos com problemas similares aos analisados no presente estudo, assim como a quantidade de pedestres observados e locais analisados.

Tabela 3 - Estudos anteriores considerando problemas similares.

Autor	Ano	Variável resposta	Locais	Observações
Koh <i>et al</i>	2014	Violar (1) ou não (0)		7 3448
Rosenbloom <i>et al</i>	2009	Violar (1) ou não (0)		1 1392
Brosseau <i>et al</i>	2013	Violar (1,2,3) ou não (0)		13 2475
Khattoon <i>et al</i>	2013	Atravessar (1) ou não (0)		1 280
Zhou <i>et al</i>	2013	Opções de conduta		32 1878
Wu <i>et al</i>	2014	Utilizar infraestrutura (1) ou não (0)		8 1131
Guo <i>et al</i>	2014	Opções de rota		1 402
Cantillo <i>et al</i>	2015	Opções de rota		6 720

Fonte: elaborado pelo autor.

O número de observações, assim como de locais possuem significativa variação entre si. Isso pode se dar por vários motivos, dentre eles: o tipo de problema abordado, as variáveis utilizadas, a maneira como as informações foram coletadas, o tempo de coleta, os recursos disponíveis, entre outros. É importante notar que a maioria dos trabalhos não se concentrou em apenas um local, o que mostra a necessidade de se extrair variáveis não apenas concernentes aos indivíduos e à situação em que se deparam, mas do ambiente de tráfego.

No caso deste trabalho, o dimensionamento amostral considerou o Teorema do Limite Central, onde a distribuição das médias amostrais de uma variável aleatória (X) com variância finita e maior que 0 segue uma curva normal conforme o número de observações dessa amostra cresce (ORTÚZAR e WILLUMSEN, 2011). Segundo Levine *et al.* (2008), no caso de proporções populacionais (p), para determinar o tamanho amostral necessário para realizar inferências sobre a população, utiliza-se a Equação 10.

$$n = \frac{Z^2 \cdot p(1-p)}{e^2} \quad (10)$$

Onde:

n : Tamanho mínimo de uma amostra;

Z : Valor normalizado para a média populacional, assumindo significância de 0,05;

e : Erro padrão amostral assumido com relação às proporções populacionais.

Sobre a Equação 10, apesar de objetiva e relativamente trivial, Ortuzar e Willumsen (2011) afirmam a necessidade de considerar os seguintes condicionantes:

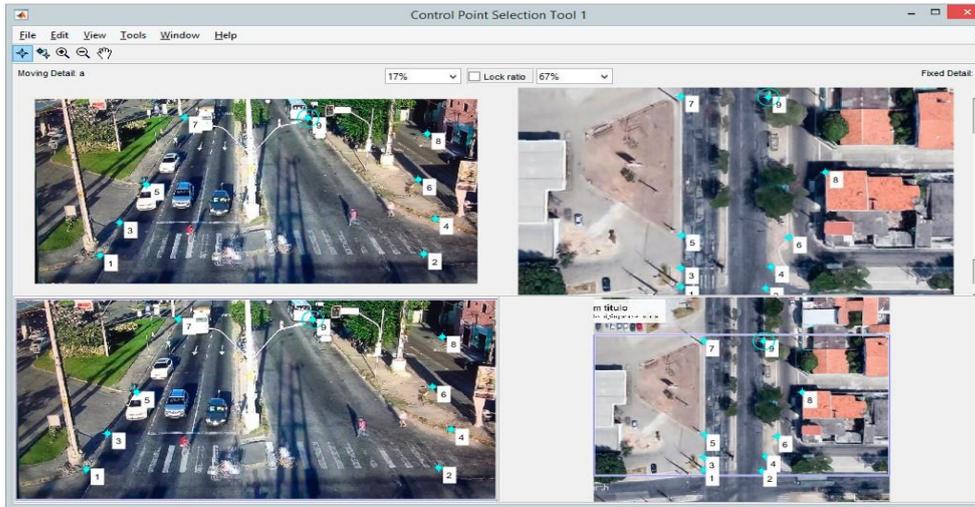
- a) Um intervalo de confiança deve ser definido. Através deste, afirma-se que se pudermos repetir várias vezes o experimento e coletarmos os dados, aproximadamente em “x %” das vezes a média ou a proporção populacional estará no intervalo encontrado (O intervalo típico de 95% implica erros em apenas 5% das vezes).
- b) É necessário ainda especificar um erro padrão máximo (e), ou seja, os limites do intervalo de confiança com relação à média, tanto de forma absoluta ou relativa. No último caso, o intervalo pode ser expresso como uma proporção da média.

Não se conhecendo informações sobre as proporções (p) populacionais, Levine *et al.* (2008) afirmam ser possível adotá-las como 0,50 para obtenção de um máximo valor possível para a amostra. Assumindo um nível de confiança de 95% ($Z=1,96$) e um erro padrão máximo de 5% com relação a população, têm-se uma amostra mínima de 385 observações para o estudo das conformidades.

4.2.2 Transformação das imagens

As imagens capturadas são projeções perspectivas da área de estudo e foram transformadas geometricamente para que pudessem ser observados ângulos e distâncias reais. A transformação, foi realizada por meio do pacote Image Processing Toolbox do software MatLab (Mathworks, 2016), relacionando pontos de controle da filmagem aos de uma imagem de referência, como uma imagem aérea do Google Earth (Google, 2017). Os pontos de controle selecionados incluíram árvores, sinalização horizontal, postes, canteiros e esquinas. Ressalta-se a importância da escolha do local de filmagem das travessias, resultado da distância e altura da câmera da AMC em relação às travessias de interesse. Na Figura 8 está ilustrada uma tela da ferramenta de transformação de imagens do Matlab.

Figura 8 - Image processing toolbox - Matlab 2017



Fonte: elaborado pelo autor.

Durante o processo de transformação das imagens, observou-se que ocorreram deformações dos objetos devido à forte presença dos pontos de fuga. Estas deformações se tornam mais evidentes pela combinação da marcação de poucos pontos de controle e com o aumento da distância dos objetos observados em relação às câmeras. Desta forma, é importante observar que as imagens que apresentaram grande deformação a ponto de dificultar a identificação de suas características e rastreamentos dos indivíduos, foram excluídas do estudo. Ao final das transformações foram realizadas, de maneira visual, sobreposições da imagem transformada com a fotografia do *Google Earth* para validar as transformações geométricas realizadas pelo MatLab. A Figura 9 apresenta a imagem transformada e validação visual da transformação.

Figura 9 - Imagem transformada e validação visual com Google Earth



Fonte: elaborado pelo autor.

4.2.3 Rastreamento de pedestres

Nesta etapa, os pedestres são marcados ao longo da sequência de frames de maneira que haja uma rota demarcada para cada indivíduo que realiza a travessia. Jacobsen (2011) afirma que apesar da simplicidade em realizar o rastreamento, o tempo necessário para marcar a rota de cada pedestre reforça a importância de uma ferramenta eficiente.

Foi utilizado o aplicativo livre MtrackJ (Meijering, 2017) para marcar as posições dos objetos no espaço, ao longo da sequência de frames. Este software gera planilhas eletrônicas que indicam as coordenadas dos objetos rastreados ao longo do tempo, o comprimento dos percursos, velocidades, variações angulares, entre outras medidas. Cada indivíduo e ponto demarcado é separado por código de identificação. As Figuras 10 e 11 ilustram o processo de rastreamento e obtenção do vetor de dados gerados pelo MtrackJ.

Figura 10 - Rastreamento do movimento de pedestres



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 11 - Vetor de dados gerado pelo MTrackJ

MTrackJ: Points											
Nr	TID	PID	x [pixel]	y [pixel]	t [sec]	l [val]	Len [pixel]	D2S [pixel]	D2R [pixel]	D2P [pixel]	v [pixel/s]
51	10	1	206	1864	498	82	0	0	NA	NA	NA
52	10	2	336	1832	501	142	133.881	133.881	NA	133.881	44.627
53	10	3	416	1802	503	90	219.321	218.961	NA	85.44	42.72
54	10	4	482	1792	505.5	56	286.074	285.237	NA	66.753	26.701
55	10	5	628	1846	509.5	96	441.74	422.384	NA	155.666	38.917
56	11	1	626	1852	530	97	0	0	NA	NA	NA
57	11	2	504	1838	532.5	56	122.801	122.801	NA	122.801	49.12
58	11	3	412	1858	534.5	41	216.949	214.084	NA	94.149	47.074
59	11	4	316	1890	536.5	196	318.142	312.32	NA	101.193	50.596
60	11	5	206	1932	539	60	435.888	427.551	NA	117.745	47.098
61	12	1	626	1928	537	102	0	0	NA	NA	NA
62	12	2	484	1922	540	77	142.127	142.127	NA	142.127	47.376
63	12	3	394	1914	542	142	232.482	232.422	NA	90.355	45.177
64	12	4	200	1940	546	132	428.216	426.169	NA	195.735	48.934
65	13	1	200	1936	555	116	0	0	NA	NA	NA
66	13	2	336	1894	557	99	142.338	142.338	NA	142.338	71.169
67	13	3	476	1878	559	62	283.249	282.028	NA	140.911	70.456
68	13	4	628	1876	562.5	95	435.262	432.185	NA	152.013	43.432

Fonte: elaborado pelo autor.

Jacobsen (2011) sugere diretrizes para o rastreamento semi-automático da movimentação de pedestres em travessias. Essas diretrizes foram seguidas durante o processo de rastreamento neste trabalho.

- (i). As rotas de pedestres devem ter origem e destino em uma área de pedestres como calçada ou canteiro central;
- (ii). Uma rota de pedestre deve ser iniciada quando o pedestre chega à travessia e aguarda oportunidade para atravessar;
- (iii). No caso de um indivíduo aguardando oportunidade de atravessar, sua posição é marcada no instante em que o mesmo pára, ou antes de completar o primeiro passo, de maneira a obter mais precisamente o instante de início do movimento e tempos de espera;
- (iv). A rota termina quando o indivíduo chega à próxima área de pedestre;
- (v). A posição dos pedestres deve ser marcada no local de seus pés ou na projeção de seu tronco no solo;
- (vi). Posições intermediárias devem ser marcadas para aumentar a precisão das rotas rastreadas.

4.2.4 Obtenção dos dados

Cada pedestre observado ao longo das filmagens teve extraídas informações relacionadas às suas preferências em travessias e às variáveis que condicionam seu comportamento de forma revelada. Foram utilizadas ferramentas para obtenção da posição (coordenadas x e y) e do tempo dos indivíduos ao longo de uma sequência de imagens (frames). Esta ferramenta permite ao observador identificar a movimentação de um indivíduo e marcar sua posição no tempo, além de captar informações como o comprimento da rota, distâncias adicionais percorridas em relação ao menor esforço, velocidade e aceleração de pedestres e veículos, tempos de espera e brechas temporais. As variáveis não captadas pelo método semiautomático foram obtidas pela observação dos indivíduos nas imagens, tabuladas em planilhas eletrônicas e incorporadas às informações do rastreamento individual.

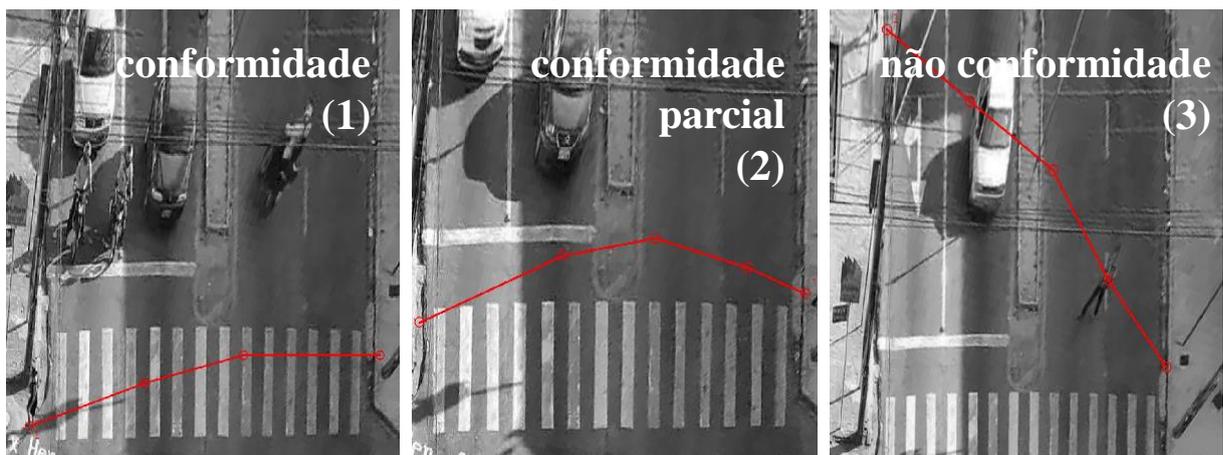
4.3 Análise do comportamento

Em concordância com o objetivo principal deste trabalho, que é avaliar em que medida os fatores internos e externos aos pedestres influenciam seu comportamento em

travessias, a variável de interesse é a conduta dos indivíduos, mas especificamente sua conformidade com a operação de trânsito vigente. Nesse sentido, Sisiopiku e Akin (2003) sugerem duas medidas para avaliar o desempenho de uma entidade (travessia) no que tange à conformidade dos pedestres:

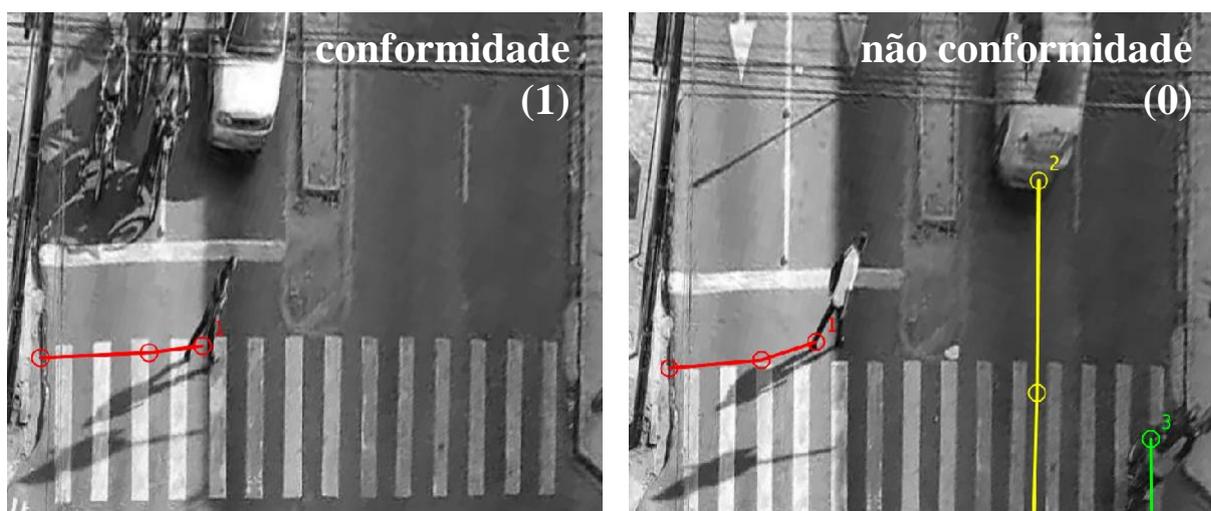
a) Conformidade no Espaço (Figura 12): Refere-se à maneira como os pedestres utilizam as travessias no que tange ao local em que se sucede. Se o pedestre se utiliza totalmente da infraestrutura para cruzar a via, está em conformidade espacial com a sinalização local (1). Toma-se como exemplo o indivíduo que realiza a travessia totalmente dentro da faixa de pedestres. O mesmo pode estar em conformidade parcial, se utilizá-la apenas parcialmente (2) ou simplesmente não estar em conformidade, se não utilizá-la durante a travessia (3). As Figuras 12 ilustra como essa variável foi observada e interpretada neste trabalho:

Figura 12 - Conformidade Espacial total, parcial e Não Conformidade



Fonte: elaborado pelo autor.

b) Conformidade no tempo: Refere-se ao momento no qual os pedestres realizam travessia, dado que se utilizam da faixa ou de outra infraestrutura dotada de semáforo para pedestres (Figura 13). Se a travessia for realizada em sua respectiva fase (1), há conformidade temporal, e não (0), se o contrário ocorre.

Figura 13 - Conformidade Temporal e Não Conformidade

Fonte: Autor.

Além das medidas de conformidade, foi realizada uma análise descritiva das variáveis concernentes à movimentação em travessias, como tempos de espera e velocidades de travessia; assim como dos fatores de possível influência no comportamento - Fatores do Indivíduo, do Ambiente de Tráfego e da Situação. A análise exploratória permitiu analisar de forma preliminar a relação destes fatores com a conduta observada nos vídeos. Ao longo dessa análise, foram aplicadas taxas de conformidade espacial e temporal, além de sua representação gráfica com relação a cada variável explicativa considerada.

A partir dos resultados, foram realizadas análises de correlação para identificar multicolinearidades entre as variáveis de possível influência no comportamento. Segundo Hair *et al.* (2009), fortes colinearidades entre variáveis predictoras, assumidas inicialmente como independentes, podem trazer problemas ao processo de modelagem, já que pode aumentar o erro padrão dos coeficientes de regressão, tornando-os instáveis, afetando sua estimativa e mascarando a real contribuição das variáveis para o fenômeno estudado.

Nesse sentido, com o objetivo de prever problemas a serem trazidos à modelagem do comportamento de pedestres pelo uso simultâneo de pares altamente correlacionados, foram aplicados fatores de inflação da variância (VIF - Variance Inflation Factor). Estes medem o quanto a variância de um coeficiente estimado aumenta se seus preditores estão correlacionados, ou seja, mede o grau em que cada variável independente é explicada pelas demais independentes. Quanto maior for o fator de inflação da variância, mais severa será a multicolinearidade. Valores de VIFs iguais a 1 indicam que não há multicolinearidade, valores entre 5 e 10 sugerem presença de multicolinearidade, sendo que superiores a 10 indicam severa multicolinearidade (HAIR *et al.*, 2009).

Desta forma, após atribuídos os valores de cada variável para o conjunto de observações e aplicados os VIFs, foram realizadas eliminações de variáveis com VIFs maiores que 10 de maneira a remover colinearidades. O processo foi repetido até que nenhuma variável possuísse um VIF superior a 10.

4.4 Modelagem das decisões

Conforme proposto pelo método do presente estudo, modelos de escolha discreta foram desenvolvidos para analisar a influência de fatores (i) Características dos Indivíduos, (ii) características do Ambiente de Tráfego e (iii) Aspectos Situacionais.

Como citado por Timmermans (2009), apesar das decisões individuais estarem inter-relacionadas, sendo difícil estabelecer relações perfeitamente sequenciais entre as mesmas, pode ser mais conveniente analisá-las de forma separada, fragmentando o comportamento. Nesse sentido, dois tipos de modelos são propostos para essa análise: o primeiro visa responder a pergunta: Por onde atravessar? Modelando a escolha do local de travessia entre as alternativas de um choice set. A variável resposta é, portanto, múltipla, mas não obrigatoriamente ordenada. O segundo tipo de modelo objetiva responder à pergunta: Obedeço ao semáforo? Modelando a escolha entre duas alternativas. A variável explicada nesse caso é binária. No primeiro caso, os modelos Logit Multinomiais são aplicados, e no segundo, os Modelos Logit Binomiais.

Os coeficientes calibrados permitiram determinar o impacto das variáveis sobre a conduta dos pedestres nos dois tipos de modelo propostos. Têm-se, ao final da calibração dos parâmetros dos modelos Logit combinado uma formulação linear que corresponde à função de utilidade. Essa utilidade diz respeito à cada alternativa em relação à uma alternativa referência. Parâmetros positivos podem ser interpretados como contribuintes para as chances (Odds) de certa alternativa ser escolhida sobre outra alternativa de referência. No caso deste trabalho, trata-se da probabilidade de estar em Conformidade sobre a Não Conformidade.

A calibração dos parâmetros se deu utilizando o pacote mlogit associado à linguagem R. Esse processo visa a maximização do logaritmo de verossimilhança (Loglikelihood), pela inclusão e estimação dos parâmetros que maximizam a probabilidade de se obter determinado conjunto de dados. A adição de variáveis seguiu um método Stepwise do tipo Forward segundo os critérios de prioridade de inclusão definidos - (i) McFadden R² e (ii) significância estatística do parâmetro calibrado.

O primeiro critério é uma medida de ajuste que revela o poder de predição de um modelo em no mínimo uma variável em relação ao modelo com apenas o intercepto, dito nulo, comparando-se suas verossimilhanças. Este indicador, calculado conforme a Equação 11, está entre 0 e 1, no qual valores próximos de 1 indicam maior capacidade de predição, dessa forma, sugerindo variáveis prováveis de serem incluídas. Segundo Ortúzar e Willumsen (2011), valores já próximos de 0,40 são considerados satisfatórios. O segundo revela se a variável utilizada é significativamente diferente de zero, partindo de um nível de significância definido (valor- $p=0,05$) e interpretando o valor do parâmetro calibrado e seu próprio erro padrão. Em alguns poucos casos, foram aceitos valores- p acima desse valor, quando se entendia que a variável era importante para as discussões de severidade.

$$McFadden - R^2 = 1 - \frac{L(\beta)}{L(0)} \quad (11)$$

Onde:

$L(B)$ = Verossimilhança do modelo proposto;

$L(0)$ = Verossimilhança do modelo nulo (apenas intercepto).

Foram calibrados modelos Logit Binomiais e Multinomias para cada variável de forma isolada e em seguida, ordenado de maneira decrescente segundo o indicador McFadden R^2 . A combinação de variáveis incluídas ou retiradas durante a modelagem foi avaliada pela aplicação do Likelihood Ratio Test, o qual é baseado na diferença entre o ajuste (verossimilhança) do modelo proposto e do modelo nulo segundo a Equação 12. Se a diferença das verossimilhanças, a qual tem distribuição qui-quadrada ($\sim X^2$) com graus de liberdade igual a diferença entre o número de parâmetros dos modelos considerados, for estatisticamente significativa, são providas evidências de que o modelo menos restritivo (com mais parâmetros) se ajusta significativamente melhor aos dados do que um modelo mais restritivo ou nulo (com menos parâmetros ou apenas o intercepto).

$$\chi^2 = -2[L(0) - L(\beta)] \quad (12)$$

Onde:

$L(B)$ = Verossimilhança do modelo proposto;

$L(0)$ = Verossimilhança do modelo nulo (apenas intercepto).

O processo Stepwise é finalizado a partir do momento em que se esgotam as possibilidades de inclusão de novas variáveis e os parâmetros do modelo proposto se encontram calibrados. A avaliação da contribuição percentual das variáveis para as chances de ocorrência das alternativas consideradas, ou a sensibilidade do comportamento com relação às variáveis, foi realizada através da Razão de Probabilidade (Odds Ratios) e, graficamente, através de curvas de sensibilidade. A análise de sensibilidade permite avaliar o modelo conforme a variação dos atributos de interesse do modelador, fixando os outros em sua média ou, se categóricos, em uma categoria específica. Os Odds Ratios, segundo Wu *et al.* (2013), indicam o efeito do acréscimo de uma unidade na variável independente considerada sobre a probabilidade de ocorrer um evento em relação à não ocorrência do mesmo, e são representados pelas Equações 13 a 15.

$$\text{Odds Ratio} = \frac{\text{Odds (Se a variável sofre incremento de uma unidade)}}{\text{Odds (Se a variável não sofre incremento de uma unidade)}} \quad (13)$$

$$\text{Odds Ratio} = \frac{P(\text{evento} | x+1) / 1 - P(\text{evento} | x+1)}{P(\text{evento} | x) / 1 - P(\text{evento} | x)} \quad (14)$$

$$\text{Odds Ratio} = e^{\beta n} \quad (15)$$

De forma que se:

$B > 0$, então $OR > 1$, o acréscimo da variável aumenta as chances de ocorrência do evento;

$B < 0$, então $OR < 1$, o acréscimo da variável diminui as chances de ocorrência do evento;

$B = 0$, então $OR = 1$ o acréscimo da variável não afeta as chances de ocorrência do evento.

De acordo com Guo *et al.* (2014), pode-se simular a conduta dos indivíduos sob condições específicas, escolhidas pelo modelador, e representá-la através de curvas de probabilidade. Para os diferentes níveis das variáveis consideradas significativas após a calibração dos modelos, foram calculadas as probabilidades através da aplicação da Equação 16 (ORTÚZAR e WILLUSEN, 2011).

$$P_n = \frac{e^{\beta x_n}}{e^{\beta x_n} + e^{\beta x_{n+1}} + e^{\beta x_{n+2}}} \quad (16)$$

Onde:

P_n : Probabilidade de ocorrer uma alternativa n;

e : Base do logarítmo neperiano;

Bx_n : Utilidade de cada alternativa n.

5 RESULTADOS

Ao final do levantamento de dados, foram rastreados, observados e processados 540 indivíduos realizando travessias em 11 locais. Os atributos relativos ao Indivíduo, ao Ambiente de Tráfego e à Situação foram coletados e tabulados. As ferramentas de rastreamento e as observações das filmagens permitiram obter informações acerca da conduta, movimentação e das variáveis de possível influência. A primeira é representada pelo ato de estar em conformidade temporal ou espacial com a sinalização vigente, a segunda pelas variáveis: velocidade e tempo de travessia, tempos de espera, e a terceira pela relação das variáveis do Indivíduo, da Situação e do Ambiente de Tráfego com a conformidade.

5.1 Definição das variáveis

Na Tabela 4 estão apresentadas as variáveis definidas neste estudo para a análise do comportamento de pedestres em travessias.

Tabela 4 - Fatores e variáveis considerados na análise do comportamento de pedestres.

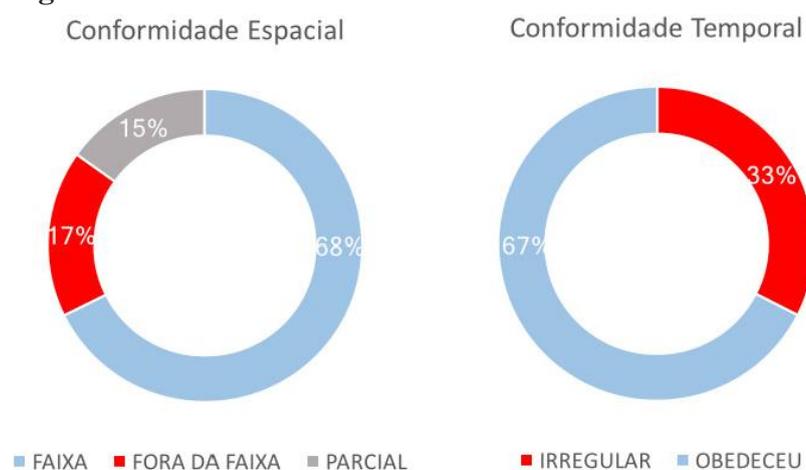
CATEGORIA	VARIÁVEL	DESCRIÇÃO	PROBLEMA
CONFORMIDADE	ONDE?	ATRAVESSOU NA FAIXA (1); PARCIALMENTE NA FAIXA (2); FORA DA FAIXA (3)	-
	QUANDO?	OBEDECEU SEMÁFORO (1); VIOLOU SEMÁFORO (0)	-
INDIVÍDUO	IDADE	JOVEM ENTRE 0-20 ANOS (1); ADULTO ENTRE 20-40 (2); ADULTO > 40 (3)	ONDE QUANDO
	GÊNERO	HOMEM (1); MULHER (0)	ONDE QUANDO
AMBIENTE DE TRÁFEGO	CRUZAMENTO (4 RAMOS)	SE A TRAVESSIA ESTÁ UM CRUZAMENTO (1); NÃO (0)	ONDE
	ENTRONCAMENTO (3 RAMOS)	SE A TRAVESSIA ESTÁ UM ENTRONCAMENTO (1); NÃO (0)	ONDE
	MEIO DE QUADRA	SE A TRAVESSIA ESTÁ MEIO DE QUADRA (1); NÃO (0)	ONDE
	FAIXAS	NÚMERO DE FAIXAS DE TRÁFEGO (1,2,3...)	ONDE QUANDO
	SENTIDOS	VIA DE DOIS SENTIDOS (1); VIA DE UM SENTIDO (0)	ONDE QUANDO
	CANTEIRO CENTRAL	PRESENÇA DE CANTEIRO (1); CANTEIRO AUSENTE (0)	ONDE QUANDO
	SEMÁFORO_PEDESTRES	PRESENÇA DE SEMÁFORO DESTINADO À TRAVESSIAS (1); AUSÊNCIA (0)	ONDE QUANDO
	FASE_PEDESTRES	FASE DESTINADA À TRAVESSIA SE HOUVER SEMÁFORO (segundos)	QUANDO
SITUAÇÃO	GRUPO FORA	PESSOAS FORA DA FAIXA NO MOMENTO DA TRAVESSIA (1,2,3...)	ONDE
	GRUPO PARCIAL	PESSOAS PARCIALMENTE NA FAIXA NO MOMENTO DA TRAVESSIA (1,2,3...)	ONDE
	GRUPO FAIXA	PESSOAS NA FAIXA NO MOMENTO DA TRAVESSIA (1,2,3...)	ONDE
	GRUPO VERMELHO	PESSOAS ATRAVESSANDO NO VERMELHO NO MOMENTO DA TRAVESSIA (1,2,3...)	QUANDO
	GRUPO VERDE	PESSOAS ATRAVESSANDO NO VERDE NO MOMENTO DA TRAVESSIA (1,2,3...)	QUANDO
	BRECHAS	BRECHA DISPONÍVEL EM SEGUNDOS	ONDE QUANDO
	DISTÂNCIA ADICIONAL	ESFORÇO ADICIONAL EM METROS RELACIONADO À FAIXA DE PEDESTRES	ONDE
	ESPERA MÁXIMA	TEMPO DE ESPERA MÁXIMO ANTES DA RESPECTIVA FASE	QUANDO

Fonte: elaborado pelo autor.

5.2 Análise descritiva de conformidades

No que tange às condutas apresentadas pelos pedestres analisados, observou-se que aproximadamente 70% realizaram as travessias em conformidade com a faixa, 15% parcialmente em conformidade com a mesma e 17% em não conformidade. Dos que utilizaram a faixa nas travessias, mais de 60% o fizeram em conformidade com sua respectiva fase, havendo semáforo de pedestres ou não, e em travessias protegidas ou não (Figura 14).

Figura 14 - Conformidades e Não Conformidades observadas.



Fonte: elaborado pelo autor.

5.3 Análise descritiva da movimentação

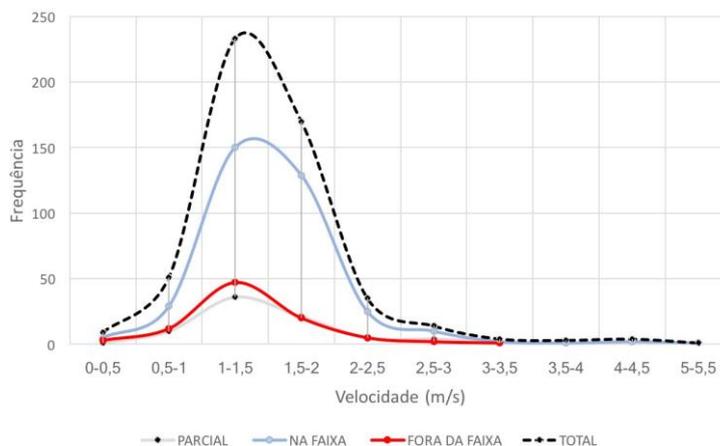
Durante a coleta de dados, foram obtidas as velocidades e os tempos de espera efetivos dos pedestres. Essas duas variáveis são, geralmente, diferentes do desejado pelos mesmos. No caso das velocidades, as efetivas são inferiores às desejadas, já no caso dos tempos de espera, estes são superiores aos desejados. Na Tabela 5 e Figuras 15 e 16, estão os resultados referentes às distribuições das velocidades de pedestres coletadas com relação às diferentes condutas.

Tabela 5 - Distribuição das velocidades observadas

Distribuição das velocidades de pedestres (m/s)					
		Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Conformidade Espacial	Total	1,51	0,57	0,30	5,27
	Na Faixa	1,53	0,55	0,31	5,27
	Parcial	1,51	0,66	0,32	4,08
	Fora da Faixa	1,43	0,61	0,30	4,16
Conformidade Temporal	Obedeceu	1,52	0,51	0,32	4,17
	Não Obedeceu	1,48	0,70	0,30	5,27

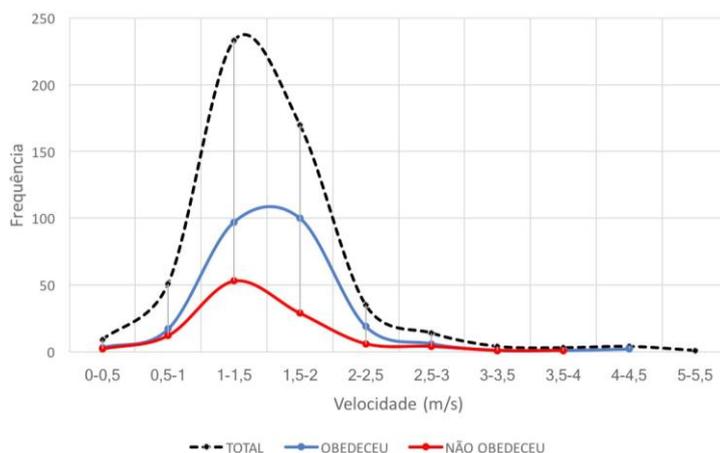
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 15 - Velocidade observada em relação à Conformidade Espacial.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 16 - Velocidade observada em relação à Conformidade Temporal.



Fonte: elaborado pelo autor.

A velocidade média verificada nas travessias foi de 1,51 m/s para todos os pedestres analisados. Diferentemente do esperado, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre as médias nas velocidades das diferentes condutas observadas tanto em relação à Conformidade Espacial, quanto na Conformidade Temporal, após a aplicação de uma ANOVA, para a primeira, e o Teste-t assumindo variâncias diferentes para a segunda. Nos dois testes, a hipótese nula foi de que a diferença entre as médias das velocidades para as diferentes condutas seria 0.

Os valores-p das Tabelas 6 e 7 revelam que não é possível rejeitar a hipótese nula, considerando um nível de significância de 5%. Tais resultados mostram que, para a amostra coletada de 540 indivíduos em diversas interseções de Fortaleza, a Não Conformidade não está

associada à velocidades menores e a indivíduos mais velozes.

Tabela 6 - ANOVA entre as velocidades correspondentes a cada Conformidade Espacial.

ANOVA (CONFORMIDADE ESPACIAL)		
<i>F</i>	<i>Valor-p</i>	<i>F crit</i>
1,01	0,36	3,02

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 7 - Teste-t entre as velocidades correspondentes a cada Conformidade Temporal.

TESTE-T (CONFORMIDADE TEMPORAL)		
<i>Valor-t</i>	<i>Valor-p</i>	<i>Valor-p crit</i>
-0,67	0,25	0,50

Fonte: elaborado pelo autor.

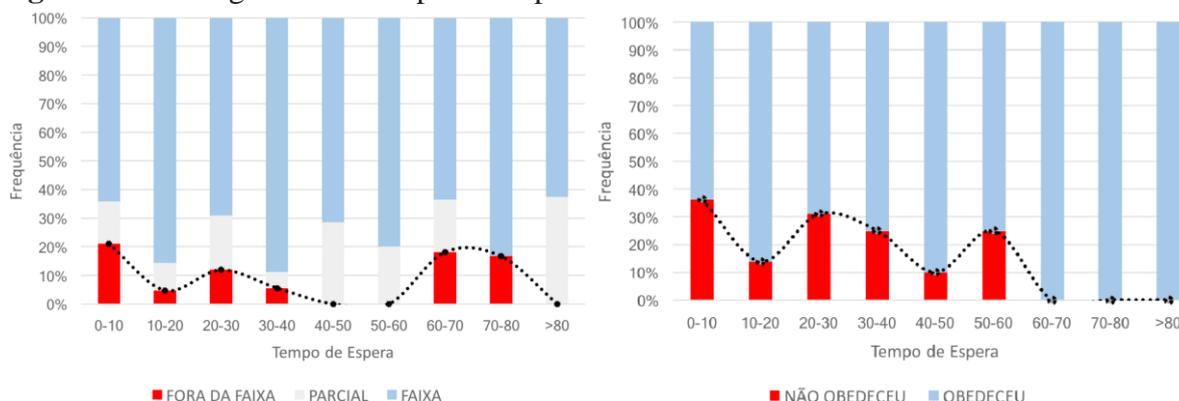
Na Tabela 8 e Figura 17 estão os resultados referentes às distribuições dos tempos de espera dos pedestres coletados com relação às diferentes condutas.

Tabela 8 - Distribuição dos tempos de espera tolerados.

Distribuição dos tempos de espera tolerados (s)					
		Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Conformidade Espacial	Total	11,32	19,70	0,00	123,50
	Na Faixa	12,31	19,85	0,00	123,50
	Parcial	14,17	23,52	0,00	107,00
	Fora da Faixa	4,91	13,21	0,00	77,50
Conformidade Temporal	Obedeceu	34,84	28,50	0,00	123,50
	Não Obedeceu	20,97	18,38	0,00	68,5

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 17 - Histogramas de tempos de espera relativos às Conformidade.



Fonte: elaborado pelo autor.

O tempo de espera tolerado médio, coletado nas travessias, foi de 11,32 s para todos os pedestres analisados. Foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre as

médias dos tempos de espera nas diferentes condutas observadas tanto em relação à Conformidade Espacial, quanto na Conformidade Temporal após a aplicação de Testes-t, assumindo variâncias diferentes entre as amostras. Nos dois testes, a hipótese nula foi de que a diferença entre as médias dos tempos para as condutas seria 0. Os valores-p das Tabelas 9 e 10 revelam que é possível rejeitar a hipótese nula, considerando um nível de significância de 5%. Tais resultados mostram que, para a amostra coletada, a Não Conformidade está associada a tempos de espera menores e a indivíduos menos tolerantes aos atrasos da entidade em que estão trafegando.

Tabela 9 - Teste-t dos tempos de espera correspondentes à Conformidade Espacial com relação à Não Conformidade.

TESTE-T (CONFORMIDADE ESPACIAL)		
<i>Valor-t</i>	<i>Valor-p</i>	<i>Valor-P crit</i>
2,09	0,02	0,05

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 10 - Teste-t dos tempos de espera correspondentes à Conformidade Temporal.

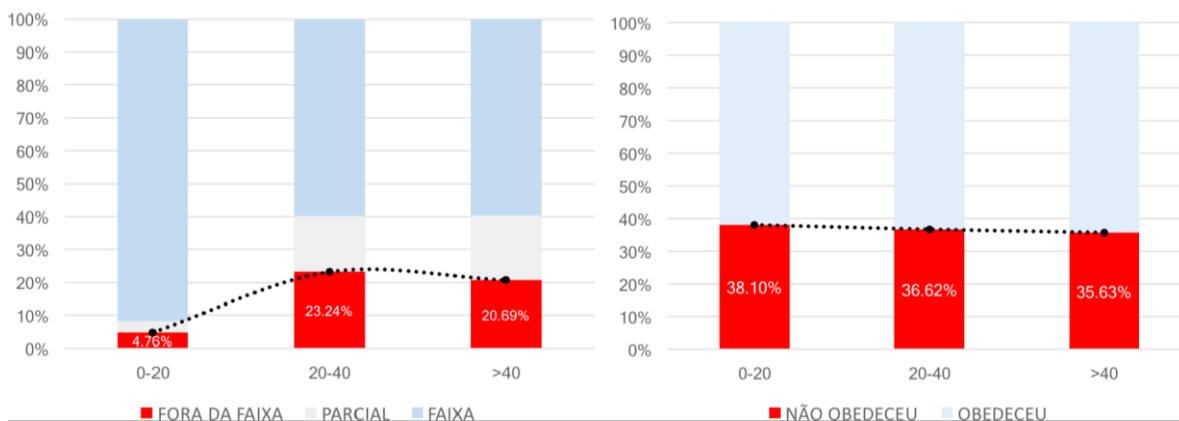
TESTE-T (CONFORMIDADE TEMPORAL)		
<i>Valor-t</i>	<i>Valor-p</i>	<i>Valor-P crit</i>
3,34	0,0005	0,05

Fonte: elaborado pelo autor.

5.4 Relação da conformidade com as variáveis explicativas

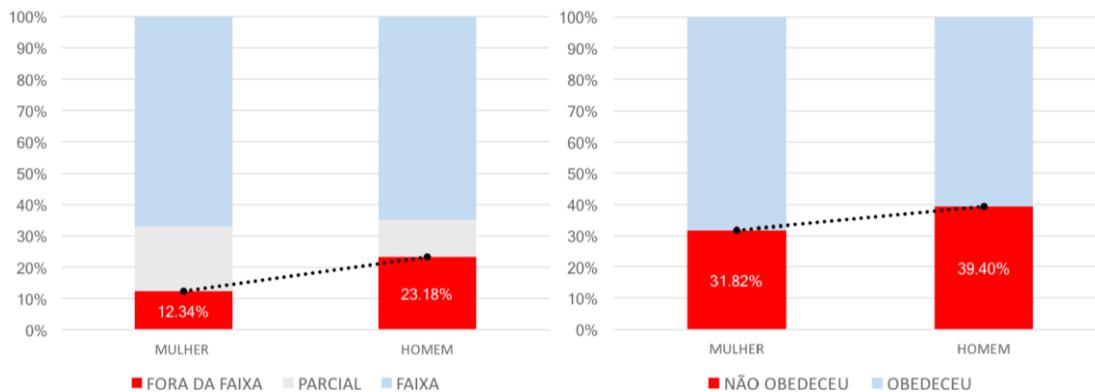
a) Fatores do Indivíduo

No que diz respeito à associação entre a Conformidade e a Idade, em contraponto do afirmado pela literatura, observou-se que a proporção de pedestres em Não Conformidade espacial é, respectivamente, 14% e 10% maior em adultos e idosos (>20 anos) do que em jovens (0-20 anos). Com relação à Conformidade Temporal, não foram notadas diferenças significativas entre a conduta de indivíduos de diferentes idades (Figura 18).

Figura 18 - Histogramas da Idade em relação às Conformidades Espacial e Temporal

Fonte: elaborado pelo autor.

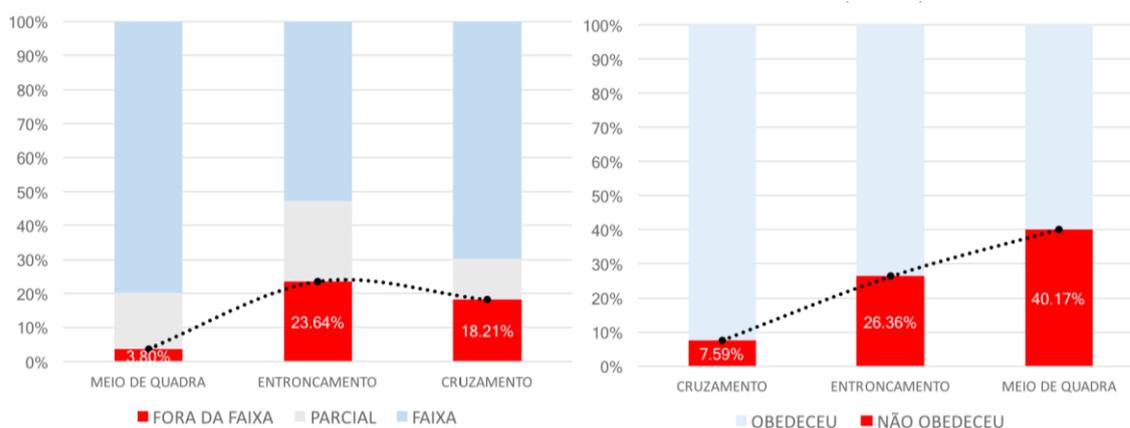
No que tange à associação entre a Conformidade e o Gênero, observou-se a proporção de pedestres em Não Conformidade tanto espacial, quanto temporal é, respectivamente, 11% e 8% maior em indivíduos do sexo masculino. Dessa forma, pedestres do sexo masculino, conforme apresentado na Figura 19, tendem a assumir comportamentos mais arriscados que as mulheres.

Figura 19 - Histogramas do Gênero em relação às Conformidades

Fonte: elaborado pelo autor.

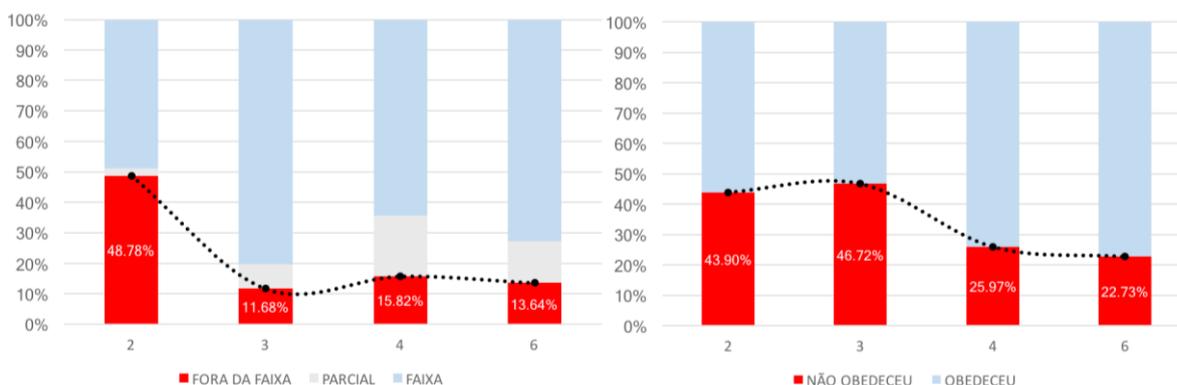
a) Fatores do Ambiente de Tráfego

No que diz respeito à associação entre as Conformidades e o Tipo de Entidade, observou-se que a proporção de pedestres atravessando fora da faixa é, respectivamente, 20% e 15% maior em travessias localizadas em Entroncamentos e Cruzamentos do que em Meios de Quadra. Quase 80% das travessias em Meio de Quadra ocorrem inteiramente na faixa, possivelmente devido às menores distâncias necessárias a serem percorridas para acessar os lotes (Figura 20).

Figura 20 - Histogramas do Tipo de entidade em relação às Conformidades

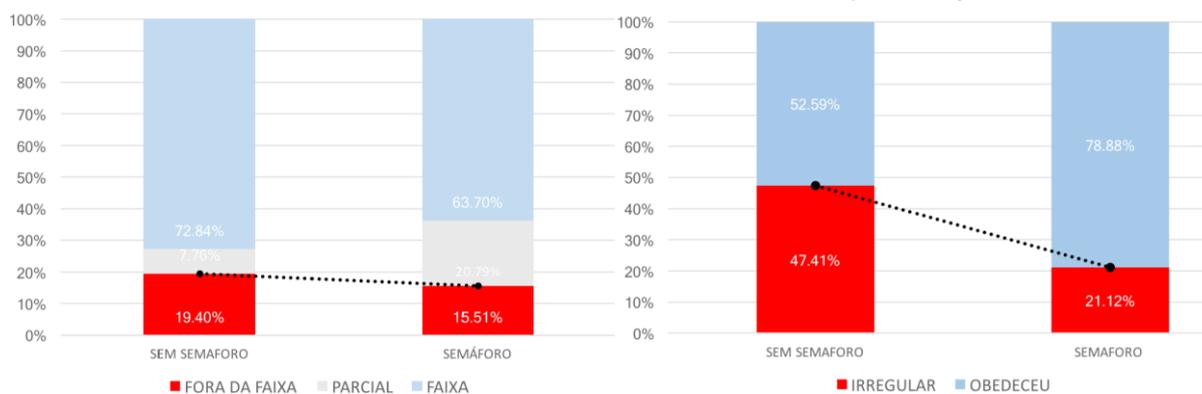
Fonte: elaborado pelo autor.

Com relação à associação entre o Número de Faixas e as Conformidades, observou-se que travessias mais curtas, com número de faixas igual ou inferior a 2 tendem a concentrar maiores proporções de infratores (49%). Acima disso, grande parte dos pedestres tende a utilizar a faixa total ou parcialmente em suas travessias. Assim como no caso anterior, travessias mais curtas, com número de faixas inferior a 2 e 3 tendem a concentrar maiores proporções de infratores (entre 44% e 47%). Acima disso, grande parte dos pedestres (entre 75% a 78%), tende a utilizar total ou parcialmente a faixa em suas travessias (Figura 21).

Figura 21 - Histogramas do Número de Faixas em relação às Conformidades

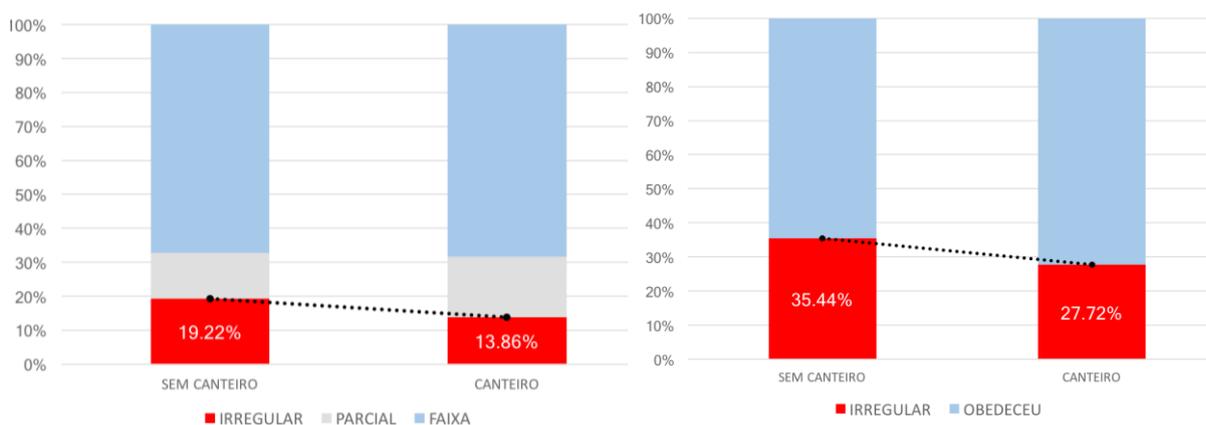
Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 22 mostra como a presença de semáforo parece não alterar de maneira considerável a Conformidade Espacial de pedestres. No que tange à Conformidade Temporal, é possível observar que entidades desprovidas de semáforo para pedestres tendem a concentrar maior proporção de travessias em Não Conformidade (47%). Tais resultados são indícios de que a presença de dispositivos de controle estão associados a comportamentos de menor risco.

Figura 22 - Histogramas da Presença de Semáforo em relação às Conformidades

Fonte: elaborado pelo autor.

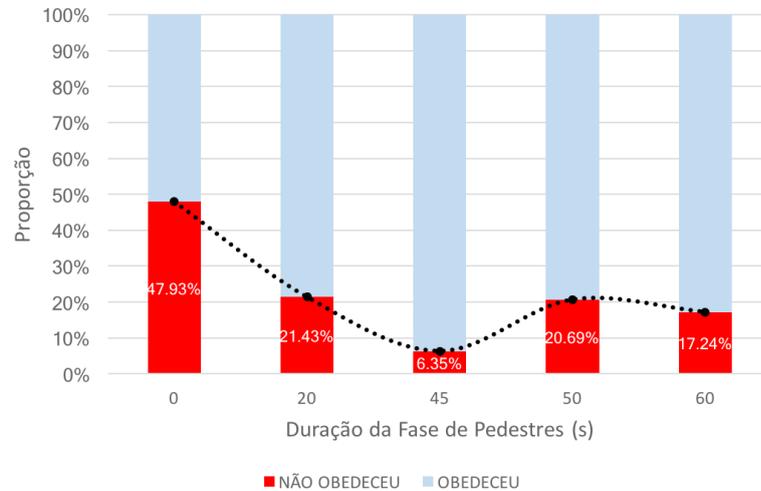
A Figuras 23 ilustra a influência da presença de canteiro central nas condutas dos pedestres. Travessias com e sem canteiro possuem proporções similares de indivíduos em Conformidade Total, Parcial ou em Não Conformidade. Com relação à Conformidade Temporal, observou-se que travessia desprovidas de canteiro central concentram maior proporção de travessias em Não Conformidade. Tais resultados indicam que a presença do elemento canteiro possui influência inibidora em comportamentos de risco.

Figura 23 - Histogramas da Presença de Canteiro em relação às Conformidades

Fonte: elaborado pelo autor.

Na Figura 24 estão os resultados da associação entre a Duração da Fase de Pedestres e a Conformidade Temporal. Observa-se que, quanto maior o tempo, em segundos, destinado à fase de travessia, maiores as parcelas de indivíduos que estão em conformidade temporal. Entidades dotadas de fases de pedestres acima de 20 segundos concentram, no máximo, 20% de travessias em Não Conformidade no tempo.

Figura 24 - Histogramas da Fase de Pedestres em relação à Conformidade Temporal

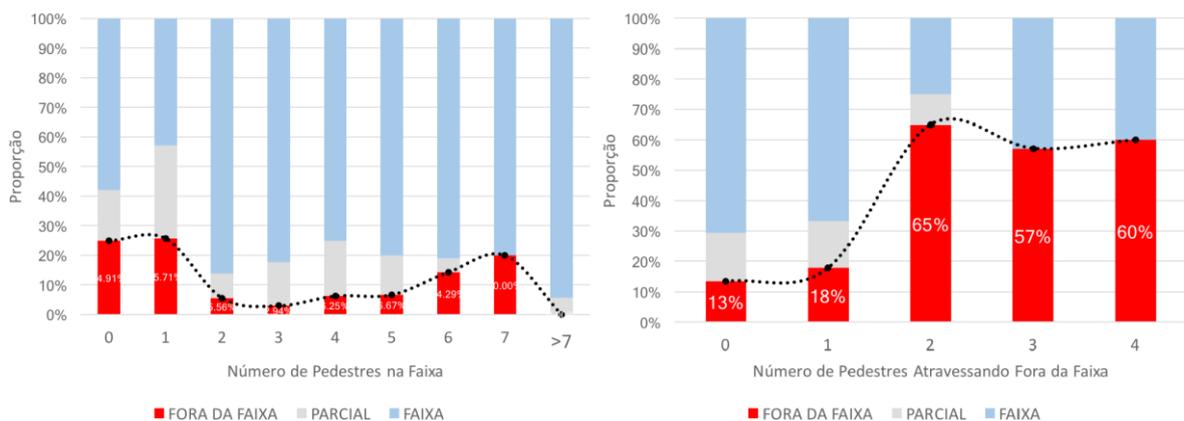


Fonte: elaborado pelo autor.

b) Fatores do Situacionais

A Figura 25 ilustra os resultados da relação entre o comportamento de grupos adjacentes com a Conformidade Espacial dos pedestres. Na primeira figura, observa-se que quando existem grupos maiores de 2 pessoas realizando as travessias em Não Conformidade Total ou Parcial, os indivíduos tendem também a seguir condutas de risco. De forma análoga ao caso anterior, quanto maior o grupo de indivíduos adjacentes realizando a travessia em Não Conformidade na faixa, menor a proporção de pedestres assumindo condutas de risco. Com relação a este último, observa-se que grupos maiores que 2 o estimulam de forma expressiva.

Figura 25 - Grupos atravessando na faixa e fora dela em relação às Conformidades

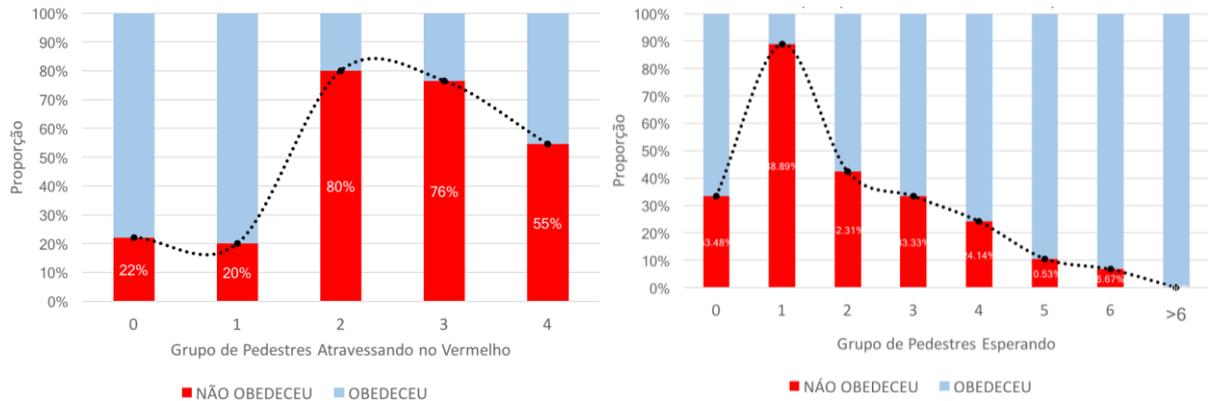


Fonte: elaborado pelo autor.

No que tange à relação entre a Conformidade Temporal e o comportamento de grupos adjacentes, observa-se, através da análise da Figura 26 que, quanto maior o grupo de

indivíduos realizando travessias fora de sua respectiva fase, maior a influência de seu comportamento em outros pedestres. De forma análoga ao exposto anteriormente, grandes grupos esperando por sua respectiva fase podem inibir comportamentos de risco de outros pedestres tentando realizar as travessias.

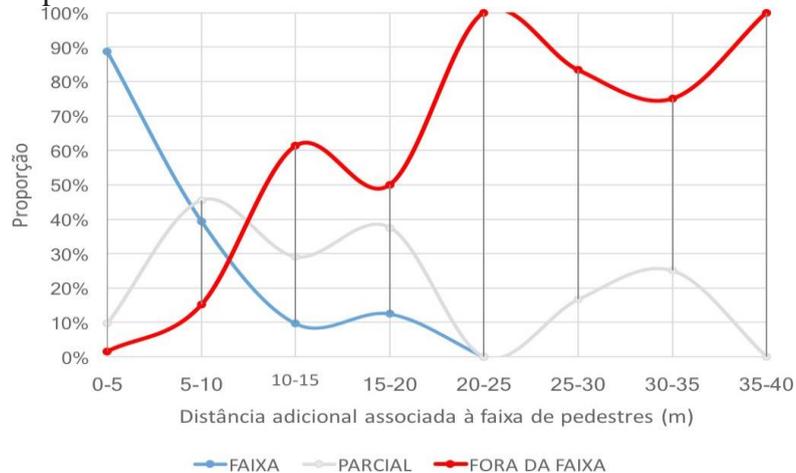
Figura 26 - Grupos atravessando no vermelho e esperando em relação às Conformidades



Fonte: elaborado pelo autor.

Na Figura 27 estão os resultados da associação entre a Conformidade Espacial e o Esforço Adicional necessário para a realização da travessia em faixa. Observa-se que, quanto maior o esforço adicional, menor a proporção de indivíduos em Conformidade Espacial. Considerando os 540 indivíduos rastreados neste trabalho, se a faixa se localiza, por exemplo, a 40 metros do local desejado de travessia, a proporção de pedestres em Conformidade Total ou Parcial é nula.

Figura 27 - Distância Adicional em relação à Conformidade Espacial



Fonte: elaborado pelo autor.

5.5 Análise de multicolinearidade

As Tabelas 11 e 12 apresentam os resultados da análise de correlação entre as variáveis relacionadas às Conformidades Espacial e Temporal, por meio da aplicação do indicador VIF para a identificação de multicolinearidade. Para os dois tipos de Conformidade, foram realizadas eliminações de variáveis com VIFs maiores que 10. O processo foi repetido até que o conjunto de VIFs fosse menor que 10.

Com relação às variáveis utilizadas na modelagem da Conformidade Espacial, foram encontradas multicolinearidades para as variáveis Entroncamento (se a travessia encontra-se em entroncamento ou não), Meio de Quadra (se a travessia encontra-se em meio de quadra ou não) e Semáforo_Pedestres (se a travessia é provida de semáforo de pedestres ou não), com VIFs de 9,87, 6,13 e 5,82, respectivamente. Apesar de a primeira estar próxima ao limite de 10 estabelecido, optou-se por mantê-la na etapa de calibração.

Tabela 11 - VIFs das variáveis consideradas na análise da Conformidade Espacial

Variável	VIF
Brechas	1,43
Canteiro Central	5,82
Distância Adicional	1,35
Faixas	1,51
Gênero	1,33
Grupo Fora	1,53
Grupo Faixa	1,22
Idade	2,86
Semáforo_Pedestres	4,52
Sentidos	4,13
Meio de Quadra	6,13
Entroncamento	9,87

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 12 - VIFs das variáveis consideradas na análise da Conformidade Temporal

Variável	VIF (Antes)	VIF (Depois)
Brechas	1,98	1,97
Canteiro Central	21,30	2,53
Espera Máxima	4,49	4,23
Faixas	3,00	2,94
Fase_Pedestres	17,29	3,05
Gênero	1,23	1,22
Grupo Verde	2,20	2,19
Grupo Vermelho	2,04	2,04
Idade	2,09	2,06
Sentidos	19,22	3,93
Meio de Quadra	5,51	2,64
Entroncamento	27,91	-

Fonte: elaborado pelo autor.

Na modelagem da Conformidade Temporal, foram encontradas fortes multicolinearidades para as variáveis Entroncamento (se a travessia encontra-se em entroncamento ou não), Canteiro Central (se a travessia possui canteiro central ou não), Sentidos (se a via possui um ou dois sentidos), Fase_Pedestres (duração, em segundos, da fase dedicada à travessia de pedestres), com VIFs de 27,91, 21,0, 19,22 e 17,29, respectivamente. Nesse sentido, a remoção de Entroncamento resultou em VIFs abaixo do limite estabelecido (10) para as outras variáveis consideradas.

5.6 Modelagem do comportamento

5.6.1 Modelo Logit Multinomial (Conformidade Espacial)

A modelagem comportamental com relação ao local de travessia foi realizado, primeiramente, através de uma análise univariada, na qual a Conformidade Espacial foi modelada utilizando cada variável por vez, de forma independente. Nesse sentido, para cada variável considerada após a avaliação das multicolinearidades, foi construído um modelo. Os modelos foram analisados sob a ótica de sua influência sobre o fenômeno estudado

(Coeficiente), sua significância (Valor-P) e de sua capacidade preditiva por meio do Logaritmo da Verossimilhança (LogLikelihood) e do McFadden R^2 . A Tabela 13 apresenta a lista de variáveis a serem incluídas na análise multivariada, ordenada de forma crescente pelo critério McFadden R^2 , o qual relaciona a verossimilhança do modelo com variáveis adicionadas e o modelo com apenas o intercepto, dito nulo.

Tabela 13 - Análise univariada para Conformidade Espacial

Análise Univariada (Logit Multinomial)				
Variável	McFadden R2	LogLik	Coeficiente	Valor-p
Intercepto (1)	1,11E-16	-456,28	1,36	2,00E-16
Intercepto (2)	1,11E-16	-456,28	-0,12	0,4
Canteiro Central (1)	0,004	-454,44	0,34	0,172
Canteiro Central (2)	0,004	-454,44	0,6	0,057
Sentidos (1)	0,012	-450,53	-0,41	0,077
Sentidos (2)	0,012	-450,53	0,37	0,223
Entroncamento (1)	0,015	-449,37	-0,72	0,007
Entroncamento (2)	0,015	-449,37	0,18	0,582
Meio de Quadra (1)	0,016	-448,54	1,83	0,002
Meio de Quadra (2)	0,016	-448,54	1,73	0,008
Brechas (1)	0,019	-447,48	0,12	8,41E-05
Brechas (2)	0,019	-447,48	0,14	0,0007
Semáforo_Pedestres (1)	0,02	-446,95	0,089	0,702
Semáforo_Pedestres (2)	0,02	-446,95	1,209	0,0003
Gênero (1)	0,022	-445,84	-0,99	0,0001
Gênero (2)	0,022	-445,84	-1,38	3,07E-05
Idade (1)	0,027	-443,96	-0,66	1,20E-05
Idade (2)	0,027	-443,96	-0,32	0,08
Faixas (1)	0,03	-442,49	1,55	5,14E-06
Faixas (2)	0,03	-442,49	3,1	0,002
Grupo Faixa (1)	0,038	-438,59	-0,71	7,65E-08
Grupo Faixa (2)	0,038	-438,59	-0,88	0,0005
Grupo Fora (1)	0,044	-435,97	0,35	4,16E-06
Grupo Fora (2)	0,044	-435,97	0,15	0,084
Distância Adicional (1)	0,387	-279,57	-0,4	2,20E-16
Distância Adicional (2)	0,387	-279,57	-0,11	4,30E-08

Fonte: elaborado pelo autor.

Tomando-se a alternativa Fora da Faixa (3) como referência, observou-se que as variáveis pertencentes aos fatores Situacionais e do Ambiente de Tráfego apresentaram os maiores valores para o indicador citado. Considerando as alternativas 1 (Faixa) e 2 (Parcial) em relação à alternativa 3, destaca-se a Distância Adicional a ser percorrida pelos pedestres, já que apresentou o maior McFadden R^2 , sendo seguida pela quantidade de pedestres atravessando fora da faixa (Grupo Fora) e na faixa (Grupo Faixa). Os fatores socioeconômicos Idade e Gênero, se considerados isoladamente, também se mostraram de significativa influência na Conformidade Espacial com relação à pelo menos uma das alternativas (1 - Faixa ou 2 - Parcial). Já as variáveis Canteiro Central e Sentidos não se mostraram estatisticamente significativas e consideradas isoladas.

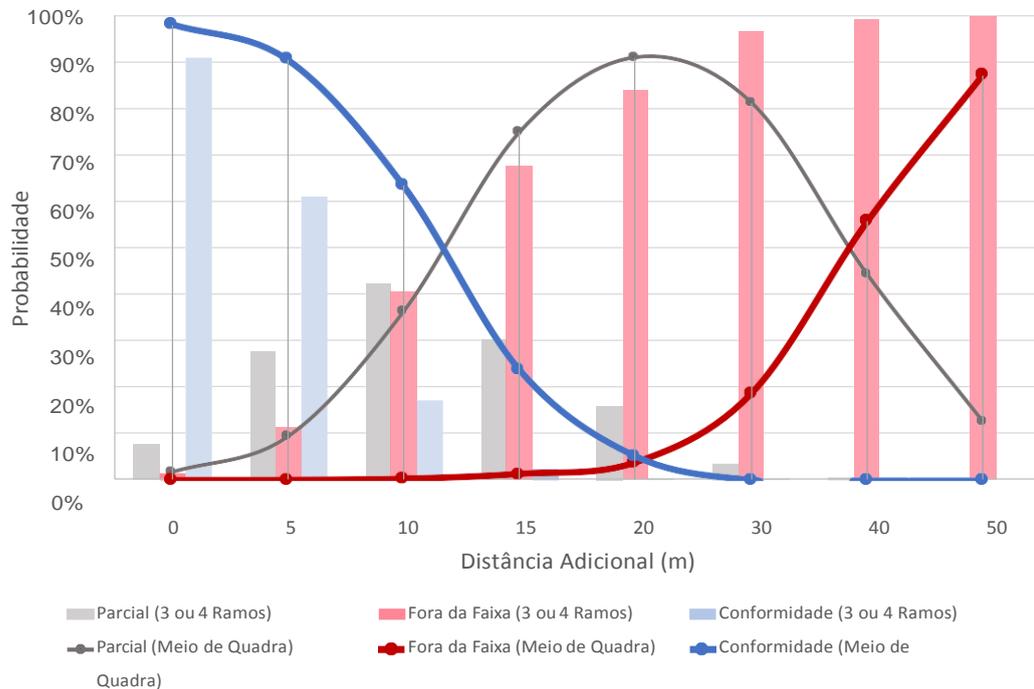
A inclusão das variáveis independentes na modelagem multivariada seguiu a ordem sugerida pelo indicador McFadden R2 e foi avaliada pela Razão da Verossimilhança (Likelihood Ratio Test), relacionando as verossimilhanças do modelo menos restritivo e mais restritivo. Esse teste segue distribuição Qui-Quadrada, com Grau de Liberdade correspondente a diferença entre o número de variáveis dos modelos relacionados. Após a aplicação do método *Stepwise* para a inclusão de variáveis, a estimação do modelo *Logit Multinomial* para a Conformidade Espacial resultou em 6 variáveis significativas. A Tabela 14 apresenta a lista completa das variáveis, assim como seu *Erro Padrão*, *Valor-p* e *Odds Ratio*. Com relação às alternativas, as variáveis consideradas significativas no modelo proposto foram - Distância Adicional, Meio de Quadra e Grupo Faixa.

Tabela 14 - Parâmetros calibrados para a Conformidade Espacial

Logit Binomial (1: Conformidade; 2: Conformidade Parcial; 3: Não Conformidade)				
Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Valor-p (0,05)	Odds Ratio
Intercepto (2)	-2,25	0,19	<2,2e-16	0,10
Intercepto (3)	-4,07	0,34	<2,2e-16	0,01
Distância Adicional (2)	0,34	0,04	8,88e-16	1,40
Distância Adicional (3)	0,51	0,05	<2,2e-16	1,66
Meio de Quadra (2)	-1,46	0,47	0,002	0,23
Meio de Quadra (3)	-6,29	1,44	1,28E-05	0,001
Grupo Faixa (2)	-0,90	0,33	0,007	0,40
Grupo Faixa (3)	-0,62	0,33	0,05	0,53
logLik	-253,77			
logLik (Intercepto)	-456,28			
McFadden R2	0,44			
LR Test (chisq)	405,02			
LR Test (0,05)	<2,22e-16			

Fonte: elaborado pelo autor.

Como apresentado pelo coeficiente e *Odds Ratio* da tabela anterior, quanto maior o esforço adicional associado à faixa, menor a probabilidade de um pedestre utilizá-la de maneira total ou parcial. A cada metro adicionado em esforço, 40% maior é a chance de um pedestre escolher atravessar fora da faixa em relação à realização da travessia em conformidade. A sensibilidade do comportamento também é apresentada na Figura 28. De acordo com o gráfico, as chances de um pedestre escolher a faixa como alternativa de travessia são praticamente nulas se o esforço adicional for maior que 30 metros em travessias de meio de quadra, e acima de 15 metros nas demais. Situação que pode ser frequente e acentuada em malhas viárias constituídas por quadras extensas e com travessias regulamentadas concentradas apenas em suas esquinas.

Figura 28 - Sensibilidade do comportamento com relação à Distância Adicional

Fonte: elaborado pelo autor.

No modelo proposto, o comportamento de grupos possui influência significativa em pedestres tentando realizar as travessias. Quanto maior o número de indivíduos atravessando na faixa (Grupo Faixa), maior a probabilidade de outros pedestres agirem de forma similar. Estes, ao visualizarem outros em Conformidade com a faixa, sentem-se inibidos em adotar comportamentos em Não Conformidade. A cada indivíduo atravessando em Conformidade Espacial, as chances de outros fazerem o mesmo em relação à Não Conformidade diminui em 60%. Nota-se um tipo de “pressão psicológica” exercida pelos grupos sobre outros indivíduos. Estes, mesmo que de forma irracional, reagem de maneira semelhante. Nesse sentido, a influência primária, seja positiva ou negativa, exercida pelo projeto das vias urbanas, pode ser intensificada pelos grupos.

Como apresentado pelo coeficiente e Odds Ratio da Tabela 14, a presença de faixas de pedestres em meios de quadra exerce influência positiva na Conformidade Espacial, podendo inibir comportamentos em Não Conformidade em quase 80% com relação à Conformidade total com a faixa. Os fatores socioeconômicos Idade e Gênero não mostraram conter significativa influência no comportamento.

O intercepto estatisticamente significativo e positivo revela uma clara preferência dos pedestres pela Conformidade Espacial total ou parcial em relação à Não Conformidade. Os indicadores McFadden R2 (0,44) e Likelihood Ratio Test ($2,22e-16$) sugerem que o modelo proposto para a Conformidade Espacial se mostra satisfatório.

Ortuzar (2011) afirma que valores de McFadden R2 de no mínimo 0,3 podem ser considerados bons. Além disso, o Valor-p resultante da Razão de Verossimilhança mostra a qualidade do ajuste do modelo proposto em relação ao modelo nulo.

5.6.2 Modelo Logit Binomial (Conformidade Temporal)

De maneira similar ao ítem anterior, a modelagem comportamento com relação ao momento de travessia foi realizado, primeiramente, através de uma análise univariada, na qual a Conformidade Temporal foi modelada utilizando cada variável por vez. Para cada variável considerada após a avaliação das multicolinearidades, foi construído um modelo. Os modelos foram analisados sob a ótica de sua influência sobre o fenômeno estudado (Coeficiente), sua significância (Valor-P) e de sua capacidade preditiva meio do Logaritmo da Verossimilhança (LogLikelihood) e do McFadden R2. A Tabela 15 apresenta a lista de variáveis a serem incluídas na análise univariada, ordenada de forma crescente pelo critério McFadden R2, o qual relaciona a verossimilhança do modelo com variáveis adicionadas e o modelo com apenas o intercepto, dito nulo.

Observa-se que variáveis pertencentes aos fatores Situacionais e do Ambiente de Tráfego apresentaram os maiores valores para o indicador LogLikelihood. Toma-se como destaques a Quantidade de Indivíduos Atravessando no Vermelho (Grupo Vermelho), já que apresentou o maior McFadden R2, sendo seguido pela duração da fase em que a travessia é permitida (Fase_Pedestres), se a travessia se encontra em um cruzamento ou não (Cruzamento) e o tempo máximo de espera observado (Espera Máxima).

Os fatores socioeconômicos Idade e Gênero, se considerados isoladamente, também se mostraram de significativa influência na Conformidade Temporal, com significância crítica de 0,05. Já o número de sentidos da via (Sentidos) e se a travessia se passa em um entroncamento ou não (Entroncamento) não se mostraram significativas se consideradas isoladamente.

Tabela 15 - Parâmetros calibrados para a Conformidade Temporal

Análise Univariada (Logit Binomial)				
Variável	McFadden R2	LogLik	Coefficiente	Valor-p
Intercepto	0,00	-222,30	0,82	4,05E-13
Sentidos	0,01	-221,04	0,37	0,11
Brecha	0,01	-219,83	0,06	0,025
Idade	0,02	-217,95	-0,37	0,003
Canteiro Central	0,02	-217,52	0,75	0,0025
Gênero	0,02	-217,47	-0,72	0,002
Grupo Verde	0,04	-212,44	0,23	0,0000956
Faixas	0,06	-210,04	0,80	0,00000379
Meio de Quadra	0,06	-209,30	2,09	0,0000606
Espera Máxima	0,06	-208,90	0,01	0,00000063
Fase	0,10	-200,60	0,03	6,94E-10
Grupo Vermelho	0,10	-199,64	-0,74	8,82E-10

Fonte: elaborado pelo autor.

A inclusão das variáveis independentes no modelo multivariado seguiu a ordem sugerida pelo indicador McFadden R^2 e foi avaliada pela Razão da Verossimilhança (*Likelihood Ratio Test*), relacionando as verossimilhanças de modelo menos restritivo e mais restritivo. Os fatores considerados significativos no modelo proposto para a modelagem da Conformidade Temporal, quando considerados em conjunto, foram - Grupo Vermelho, Fase, Meio de Quadra, Grupo Verde, Canteiro Central e Idade (Tabela 16).

Tabela 16 - Parâmetros calibrados para a Conformidade Temporal

Logit Binomial (1: Conformidade; 0: Não Conformidade)					
Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Valor-p (0,05)	Odds Ratio	
Intercepto	-1,34	0,60	0,026	0,26	
Grupo Verm	-1,25	0,20	6,97E-10	0,29	
Fase_Pedestres	0,01	0,01	0,009	1,01	
Travessia_m	2,84	0,80	0,0003	17,12	
Grupo Verde	0,65	0,15	1,41E-05	1,92	
Canteiro	1,66	0,33	7,76E-07	5,26	
Idade	0,50	0,26	5E-02	1,65	
logLik			-145,66		
logLik (Intercepto)			-222,30		
McFadden R2			0,34		
LR Test (chisq)			156,77		
LR Test (0,05)			0,00		

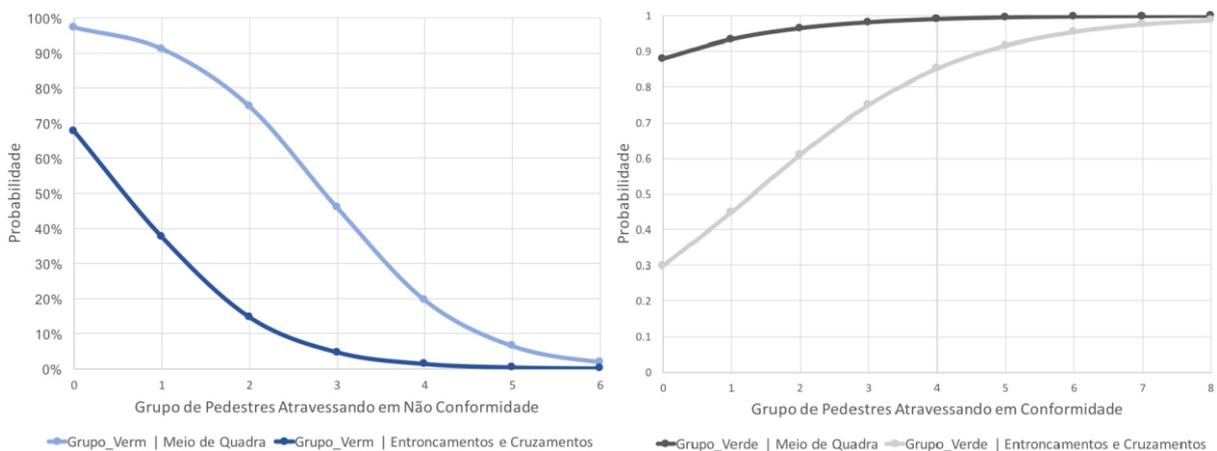
Fonte: elaborado pelo autor.

Como mostram os coeficientes e *Odds Ratios* da Tabela 16, quanto maior a quantidade de indivíduos atravessando em Conformidade ou não com sua respectiva fase,

maior sua influência na probabilidade de outros pedestres seguirem o mesmo comportamento. De maneira similar à seção anterior, observa-se um tipo de “pressão psicológica” exercida pelos grupos sobre os outros indivíduos. A Figura 29 apresenta a probabilidade de estar em Conformidade com relação a diferentes grupos de pedestres seguindo ou não a sinanização vigente.

Com relação aos gráficos, fica clara a diferença de sensibilidade para pedestres realizando a travessia em meio de quadra e em entroncamentos ou cruzamentos. As probabilidades, tanto de Conformidade como Não Conformidade se alteram de forma menos abrupta em meios de quadra do que em outras tipologias de travessia, resultado que pode gerar especial atenção a investimentos em elementos de sinalização vertical ou horizontal que tenham a capacidade de inibir comportamentos de risco.

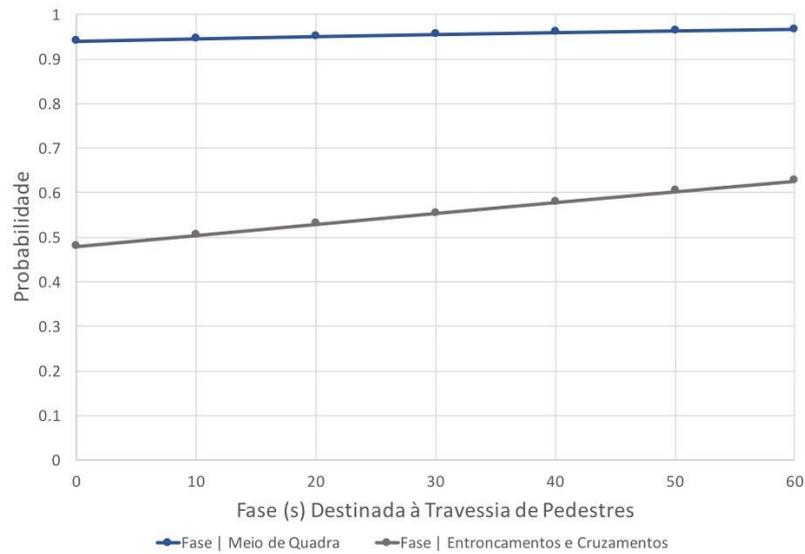
Figura 29 - Sensibilidade do comportamento com relação à Distância Adicional



Fonte: elaborado pelo autor.

Quanto mais longa a fase do semáforo dedicada a travessia de pedestres, maior a probabilidade das travessias serem realizadas em Conformidade Temporal. Como mostra o *Odds Ratio* da Tabela 16, a cada 10 segundos adicionados à fase dedicada à travessia, as chances de um pedestre estar em Conformidade aumentam 10% com relação à Não Conformidade (Figura 30). Esse resultado pode auxiliar na diminuição redução de conflitos desnecessários entre pedestres e outros veículos, já que é de relativamente fácil alteração, por não afetar fisicamente a infraestrutura viária e ter impacto na fluidez previsível ou modelável.

Figura 30 - Sensibilidade do comportamento com relação à Fase de Pedestres



Fonte: elaborado pelo autor.

A presença de canteiro central também está positivamente associada à Conformidade temporal. Os resultados indicam que comportamentos de risco tendem a ser inibidos em travessias dotadas de canteiro, característica que pode estar relacionada também à largura e sentidos da via analisada. Por outro lado, tais resultados podem ser enxergados duvidosos, visto que na prática os canteiros são “ilhas de refúgio” para realização de travessias em etapas. Elementos canalizadores de rotas podem melhor inibir comportamento arriscados, como a aplicação de gradis de canteiro, floreiras, ou até faixas de estacionamento paralelos ao passeio.

Diferentemente do que a literatura apresenta em outros contextos urbanos, no caso de Fortaleza, a Conformidade Temporal está associada de forma negativa a Idade dos pedestres. O intercepto estatisticamente significativo e negativo revela uma clara preferência dos pedestres pela Não Conformidade Temporal. Os indicadores McFadden R^2 (0,34) e *Likelihood Ratio Test* (0,00) sugerem que o modelo proposto para a Conformidade Temporal se mostra satisfatório.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o objetivo de avaliar em que medida os fatores constituintes do ambiente construído urbano e pertencentes aos pedestres influenciam suas preferências durante as travessias, este trabalho examinou o comportamento de indivíduos em 11 travessias semaforizadas de Fortaleza, nas quais 540 pedestres tiveram suas rotas e escolhas observadas e processadas para o desenvolvimento de modelos discretos do tipo Logit Multinomial e Binomial.

No que tange às condutas observadas, aproximadamente 70% realizaram as travessias em conformidade com a faixa, 15% parcialmente em conformidade com a mesma e 17% em não conformidade. Dos que utilizaram a faixa nas travessias, mais de 60% o fizeram em conformidade com sua respectiva fase quando havia semáforo de pedestres ou não, e em travessias protegidas ou não.

Com relação às velocidades de travessia observadas, os resultados mostram que, para a amostra coletada em diversas interseções de Fortaleza, a Não Conformidade não está associada à velocidades menores e a indivíduos mais acelerados. Quanto aos tempos de espera tolerados, a Não Conformidade está associada a tempos de espera menores e a indivíduos menos tolerantes aos atrasos da entidade em que estão trafegando.

A análise do comportamento sugere que os fatores de influência podem levar a diferentes escolhas, mesmo em circunstâncias semelhantes: alguns indivíduos preferem realizar as travessias em Conformidade com a sinalização, outros não. Tais comportamentos surgem da contínua e retroalimentada consideração das características do ambiente construído, da situação em que estão inseridos e das características inerentes aos próprios indivíduos. A análise de resultados dos modelos discretos aponta que variáveis pertencentes aos três fatores citados anteriormente (Indivíduo, Ambiente de Tráfego e Situacionais) possuem significativa influência no comportamento. Com exceção do primeiro fator, o segundo e terceiro podem ser resultantes do planejamento e projeto do ambiente de circulação destinado aos diversos modais.

Apesar dos modelos de escolha discreta serem capazes de explicar, pelo menos em parte, o processo decisório, tem-se que é difícil estabelecer relações perfeitamente sequenciais entre as escolhas dos pedestres. Para facilitar a compreensão das variáveis, além de possibilitar o uso de modelos do tipo Logit Multinomias e Binomiais, decidiu-se analisar as escolhas de forma separada, fragmentando o comportamento.

No primeiro tipo, as variáveis resposta foram - 1: Atravessou na faixa, 2: Atravessou parcialmente na faixa e 3: Atravessou fora da faixa. No segundo, a resposta foi do tipo binária - 1: Atravessou na fase; 0: Atravessou fora da fase. É importante notar como uma das limitações desse estudo que, com relação aos modelos Logit Multinomiais, não foram consideradas categorias ordenadas para os valores da variável resposta, mesmo com o ordenamento natural criado pelas categorias das classes criadas.

Caminhos mais curtos para uma travessia tendem a ser escolhidos com mais frequência por estarem associados ao menor esforço e consumo de tempo. Esse aspecto pode estar relacionado tanto à devida localização das travessias com relação aos principais pontos de desejo na escala da quadra, quanto ao comprimento médio das quadras, na escala da rede de vias urbanas. O tipo de travessia também reforça tal afirmação - faixas de pedestres em meio de quadra, por exemplo, estão positivamente associadas a maiores taxas de Conformidade.

Outro aspecto relevante é o local onde a faixa de pedestres se encontra. Travessias em meios de quadra tendem a apresentar maiores taxas de Conformidade, já que oferecem condições para que os pedestres realizem decisões de forma mais efetiva. O adequado dimensionamento do tempo de verde dedicado às travessias pode, também, afetar o comportamento. Fases mais longas dedicadas às travessias estão positivamente associadas à Conformidade. Aspectos geométricos, situacionais e socioeconômicos também se mostraram significativos na consideração do comportamento de pedestres.

Estudos observacionais, como este, possuem a capacidade de exercer um importante papel no entendimento de como pedestres realizam travessias, além de explicar em que medida o comportamento pode ser influenciado por características dos indivíduos e do ambiente de tráfego. Entretanto, pouco diz respeito à experiência subjetiva dos pedestres, particularmente no que tange às suas percepções e preferências. No entanto, esses estudos pouco fazem referência à experiência subjetiva dos pedestres, particularmente à percepção dos mesmos em relação ao contexto em que estão inseridos. A percepção possui fundamental influência sobre onde e como os pedestres devem circular (HAVARD e WILLIS, 2012).

Na última década, alguns poucos autores têm adicionado aos modelos comportamentais já tradicionalmente desenvolvidos, aspectos subjetivos relacionados à percepção dos pedestres sobre o contexto urbano. Segundo Cantillo *et al.* (2015), a inclusão de elementos intangíveis associados à percepção dos pedestres, expressos por meio de variáveis latentes, poderiam melhorar os modelos comportamentais, e facilitar a compreensão de como as pessoas realmente realizam suas decisões.

Trabalhos como o de Zhou *et al.* (2013), Cantillo *et al.* (2015) e Papadimitriou *et al.* (2016) trazem fatores como conveniência, segurança, seguridade (violência), conforto e rapidez para a modelagem da preferência dos indivíduos em travessias.

Por meio desta dissertação, espera-se contribuir para uma melhor compreensão do impacto dos fatores que afetam a conduta de pedestres em travessias. Essa compreensão pode também auxiliar o “Estado da Prática” no planejamento e projeto de áreas de atendimento de terminais de transporte público e adjacências a equipamentos atratores de viagens como mercados, teatros, arenas, escolas, entre outros. Consegue-se, dessa forma, prever e até induzir padrões comportamentais pelo conhecimento das causas que mais os afetam; provendo rotas seguras e diretas aos destinos.

Pode-se questionar a possibilidade de generalização dos resultados obtidos para uma metrópole da escala Fortaleza, já que os dados utilizados se limitam apenas às interseções monitoradas pelo órgão de trânsito local e estão localizadas, em sua maioria, próximas ao centro. Estas, possivelmente, possuem características físicas e operacionais semelhantes, por estarem associadas a uma determinada localização, o que pode significar, em um grau de influência até então desconhecido, a dependência espacial dos dados.

Na consideração das limitações e potencialidades discutidas acima, para futuros trabalhos, vê-se a possibilidade de desenvolver, na análise comportamental, modelos Logit Ordenados, por considerarem uma ordem natural das alternativas da variável resposta. Uma avaliação de sua capacidade preditiva com relação aos modelos Logit Multinomiais seria válida. No que tange a escolha de variáveis, poderiam ser incluídas as percepções dos pedestres por meio de variáveis latentes. Com relação aos pontos de coleta e amostra, poderia-se considerar melhor distribuídos espacialmente e até obter melhores resultados com relação às multicolinearidades devido à maior variabilidade dos atributos considerados.

Ainda sobre questões para futuros estudos, pode-se levantar a discussão para as possibilidades de avaliação do desempenho da segurança viária, no que tange aos atropelamentos, com a mudança de comportamento. Nesse sentido, são feitas as seguintes perguntas - (i) O desempenho da segurança viária (DSV), representado pela frequência de acidentes, severidades, conflitos e etc, pode ser afetado pelas mudanças de comportamento dos pedestres? (ii) Se positivo, com que magnitude esse comportamento influenciaria o DSV?

As vias são parte vital das cidades. Além de possibilitarem os deslocamentos entre as origens e destinos, proporcionam oportunidades de convivência entre todos os que nelas trafegam. As ruas, incluindo travessias, devem ser completas. Projetar ruas completas demanda buscar o equilíbrio entre as necessidades dos usuários e a segurança dos mesmos.

Algumas das estratégias a serem utilizadas no projeto de ruas completas para a diminuição de comportamentos irregulares são: calçadas que confirmam conforto e segurança para pedestres, faixas de travessias que proporcionem oportunidades frequentes e seguras de travessia, facilidades para pessoas com deficiência, idosos e crianças nas duas faces dos passeios, extensões de esquinas que aumentem áreas de acomodação, elementos canalizadores em quadras de grande demanda, sinalização vertical e horizontal clara para todos os usuários, iluminação adequada, entre outros elementos.

REFERÊNCIAS

- Autarquia Municipal de Trânsito e Cidadania. **Relatório anual de acidentes de trânsito Fortaleza**. Autarquia de Trânsito e Cidadania de Fortaleza, Prefeitura de Fortaleza, Fortaleza, CE, 2016.
- AAASHTO. **Highway Safety Manual**. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC, 2010.
- BARAN, P.; RODRÍGUEZ, D.; KHATTAK, A. Space Syntax and Walking in a New Urbanist and Suburban Neighborhoods. **Journal of Urban Design**, v. 13, n. 1, p. 5–28, 2008. Disponível em: < <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13574800701803498>>
- BARROS, A. P. B. G.; MARTINEZ, L. M. G.; VIEGAS, J. M. C. B.; SILVA, P. C. M. **Impacto do desenho da malha viária na mobilidade urbana sustentável**. Anais do: V Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável. Brasília, 2012. Disponível em: < <http://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/viewFile/12290/8576>>
- BEN-AKIVA, M. E.; LERMAN, S. R. **Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand**. Cambridge: MIT Press, 1985.
- BEN-AKIVA, M.; BIERLAIRE, M.; WALKER, J. **Discrete Choice Analysis**. Nova Iorque: Springer, 1999.
- BROSSEAU, M; ZANGENEHPOUR, S.; SAUNIER, N.; MIRANDA-MORENO, L. The impact of waiting time and other factors on dangerous pedestrian crossings and violations at signalized intersections: A case study in Montreal. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 21, p. 159–172, nov. 2013. Disponível em:< http://www.researchgate.net/publication/256644360_The_Impact_of_Waiting_Time_and_Other_Factors_on_Dangerous_Pedestrian_Crossings_and_Violations_at_Signalized_Intersections_a_Case_Study_in_Montreal>
- CANTILLO, V.; ARELLANA, J.; ROLONG, M. Modelling pedestrian crossing behaviour in urban roads: A latent variable approach. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 32, p. 56–67, 2015. Disponível em:< <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369847815000716>>
- CAO, X.; HANDY, S.; MOKHTARIAN, P. The Influences of the Built Environment and Residential Self-Selection on Pedestrian Behavior. **Tx. Transportation**, v. 33, n. 1, p.1-20, 2006. Disponível em:< <https://link.springer.com/article/10.1007/s11116-005-7027-2>>
- CERVERO, R.; K. KOCKELMAN. Travel demand and the 3Ds - Density, diversity, and design. **Transportation Research D**, v. 2, n. 3, p. 199–219, 1997. Disponível em:< <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920997000096>>

CERVERO, R.; DUNCAN, M. Walking, bicycling, and urban landscapes - evidence from San Francisco Bay Area. **American Journal of Public Health**, v. 93, n. 9, p. 1478-1483, 2003. Disponível em:< <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1447996/>>

CERVERO, R.; SARMIENTO, O.; JACOBY, E.; GOMEZ, L.F.; NEIMAN, A. Influences of Built Environments on Walking and Cycling-Lessons from Bogotá. **International Journal of Sustainable Transportation**, v. 3, n. 4, p. 203- 226. Chatman, D. G, 2009. Disponível em:< <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15568310802178314>>

EWING, R.; HANDY, S. Identifying and Measuring Urban Design Qualities Related to Walkability. **Journal of Physical Activity and Health** 3, Suppl 1, 2006. Disponível em:< <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28834514>>

FARR, DOUGLAS. **Urbanismo sustentável: desenho urbano com a natureza**. Tradução Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2013.

GEHL, JAN. **Cidades para pessoas**. Tradução Anita Di Marco. 1 ed. São Paulo: Perspectiva, 2010.

GUO, H.; ZHAO, F.; WANG, W.; ZHOU, Y.; ZHANG, Y.; WETS, G. Modeling the Perceptions and Preferences of Pedestrians on Crossing Facilities. **Discrete Dynamics in Nature and Society**, v. 2014, p. 1–8, 2014. Disponível em:< <https://www.hindawi.com/journals/ddns/2014/949475/>>

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HAVARD, C.; WILLIS, A. Effects of installing a marked crosswalk on road crossing behaviour and perceptions of the environment. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 15, n. 3, p. 249–260, maio 2012. Disponível em:< <http://oro.open.ac.uk/32556/>>

HELBING, D.; MOLNAR, P. Social force model for pedestrian dynamics, **Phys. Rev. E** 51: 4282–4286, 1995. Disponível em:< <https://journals.aps.org/pre/abstract/10.1103/PhysRevE.51.4282>>

HOOGENDOORN, S. P. **Pedestrian flow modeling by adaptive control**. In Proceedings of the TRB 2004 annual meeting, Washington DC, 2004.

HOLLAND, C.; HILL, R. The effect of age, gender and driver status on pedestrians' intentions to cross the road in risky situations. **Accident Analysis & Prevention**, v. 39, n. 2, p. 224–237, mar. 2007.

JACOBSEN, A. C. **Microssimulação da travessia de pedestres**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2011.

KADALI, B. R.; VEDAGIRI, P.; RATHI, N. Models for pedestrian gap acceptance behaviour analysis at unprotected mid-block crosswalks under mixed traffic conditions. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 32, p. 114–126, jul. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369847815000893>>

KHATOON, M.; TIWARI, G.; CHATTERJEE, N. Impact of grade separator on pedestrian risk taking behavior. **Accident Analysis & Prevention**, v. 50, p. 861–870, jan. 2013. Disponível em: <<http://web.iitd.ac.in/~niladri/journals/5.pdf>>

KOH, P. P.; WONG, Y. D.; CHANDRASEKAR, P. Safety evaluation of pedestrian behaviour and violations at signalised pedestrian crossings. **Safety Science**, v. 70, p. 143–152, dez. 2014. Disponível em: <<https://dokumen.tips/documents/safety-evaluation-of-pedestrian-behaviour-and-violations-at-signalised-pedestrian.html>>

LARRANAGA, A. M. Ten Caten, C. Cybis, H. **Relação entre Estrutura Urbana e Padrão de Viagens a Pé**. In: XXIII ANPET Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Vitória, ES, Brasil, 2009.

LARRANAGA, A.M.; RIZZI; L.I.; ARELLANA, J.; STRAMBI, O.; CYBIS, H.B. The influence of built environment and travel attitudes on walking: a case study of Porto Alegre, Brazil. **International Journal of Sustainable Transportation National Crime Prevention**, 2014.

LEVINE, M., STEPHAN, F., KREHBIEL, C., BERENSON, L. **Statistics for Managers Using Microsoft Excel**. Prentice Hall: Pearson, 2008.

MCFADDEN, D. **The choice theory approach to market research**. Marketing Science 5, 1986.

MEIJERING, E. **MTrackJ: A Java Program for Manual Object Tracking**. 2017. Disponível em: <<http://www.imagescience.org/meijering/software/mtrackj/>>

HAMED, M. M. Analysis of pedestrians' behavior at pedestrian crossings. **Safety Science**, v. 38, n. 1, p. 63–82, 2001. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753500000588>>

HOOGENDOORN, S. P., & BOVY, P. H. L. Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models. **Transportation Research Part B**, 38, 169–190, 2004. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/790c/96b7446519147d9974e91351160bb1aaf228.pdf>>

ORTÚZAR S., J. DE D.; WILLUMSEN, L. G. **Modelling Transport**. Fourth edition ed. Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons, 2011.

PAPADIMITRIOU, E.; YANNIS, G.; GOLIAS, J. A critical assessment of pedestrian behaviour models. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 12, n. 3, p. 242–255, maio 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369847808001046>>

PAPADIMITRIOU, E.; LASSARRE, S.; YANNIS, G. Introducing human factors in pedestrian crossing behaviour models. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 36, p. 69–82, 2016. Disponível em:< <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369847815001849>>

PAWAR, D. S.; PATIL, G. R. Critical gap estimation for pedestrians at uncontrolled mid-block crossings on high-speed arterials. **Safety Science**, v. 86, p. 295–303, jul. 2016. Disponível em:< <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753516300170>>

TIWARI, G.; BANGDIWALA, S.; SARASWAT, A.; GAURAV, S. Survival analysis: Pedestrian risk exposure at signalized intersections. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 10, n. 2, p. 77–89, mar. 2007. Disponível em:< <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369847806000477>>

RÄSÄNEN, M. *et al.* Pedestrian self-reports of factors influencing the use of pedestrian bridges. **Accident Analysis & Prevention**, v. 39, n. 5, p. 969–973, set. 2007. Disponível em:< <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001457507000127>>

RICHARD RETTING - SAM SCHWARTZ TRANSPORTATION CONSULTANTS. **Pedestrian Traffic Fatalities by State**. Spotlight on Highway Safety. Governors Highway Association, 2016.

ROSENBLOOM, T. Crossing at a red light: Behaviour of individuals and groups. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 12, n. 5, p. 389–394, set. 2009. Disponível em:< <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369847809000278>>

SISIOPIKU, V.; AKIN, D. Pedestrian behaviors at and perceptions towards various pedestrian facilities: an examination based on observation and survey data. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 6, n. 4, p. 249–274, dez. 2003. Disponível em:< <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136984780300041X>>

STORDY, J; MATSON, L; WILLIAMS, A. **Casualties in Greater London during 2016**. Transport for London, 2017. Disponível em: < <https://tfl.gov.uk/travel-information/safety/road-safety-advice?cid=roadsafety>>. Acesso em: 01 Fevereiro 2018.

SUH, W.; HENCLEWOOD, D.; GREENWOOD, A. Modeling pedestrian crossing activities in an urban environment using microscopic traffic simulation. **SIMULATION**, v. 89, n. 2, p. 213–224, fev. 2013. Disponível em:< <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0037549712469843>>

TAUBMAN - BEN-ARI, O.; SHAY, E. The association between risky driver and pedestrian behaviors: The case of Ultra-Orthodox Jewish road users. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 15, n. 2, p. 188–195, mar. 2012. Disponível em:< <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369847811001148>>

TIMMERMANS, H. (ED.). **Pedestrian behavior: models, data collection and applications**. 1. ed ed. Bingley: Emerald, 2009.

WU, Y; LU, J; CHEN, H; WU, L. Identification of contributing factors to pedestrian overpass selection. **Journal of traffic and transportation engineering** (English edition), v. 1, n. 6, p. 415–423, 2014. Disponível em:<
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756415302919>>

ZHOU, Z.-P.; LIU, Y-S.; WANG, W., ZHANG, Y. Multinomial Logit Model of Pedestrian Crossing Behaviors at Signalized Intersections. **Discrete Dynamics in Nature and Society**, v. 2013, p. 1–8, 2013. Disponível em:<
<https://www.hindawi.com/journals/ddns/2013/172726/>>

ZHUANG, X.; WU, C. Pedestrians' crossing behaviors and safety at unmarked roadway in China. **Accident Analysis & Prevention**, v. 43, n. 6, p. 1927–1936, 2011. Disponível em:<
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21819820>>