



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LETÍCIA RAMOS ALMEIDA

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE PEDESTRES EM DESLOCAMENTOS
INDIVIDUAIS E COLETIVOS POR MEIO DOS PARÂMETROS DE MARCHA**

Caruaru

2023

LETÍCIA RAMOS ALMEIDA

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE PEDESTRES EM DESLOCAMENTOS INDIVIDUAIS E COLETIVOS POR MEIO DOS PARÂMETROS DE MARCHA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo científico, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil

Área de concentração: Mobilidade Urbana

Orientador(a): Profa. Dra. Jocilene Otilia da Costa

Caruaru

2023

AGRADECIMENTOS

A Deus, que foi minha força e calmaria durante a graduação, me mantendo de pé e me fazendo superar todas as adversidades. À Virgem Maria por me ouvir e interceder desde o primeiro dia de minha vida acadêmica.

Ao meu pai, Luciano Alves de Almeida, que sempre me apoiou, incentivou e nunca mediu esforços para que meus sonhos fossem realizados, para orgulhá-lo lutei, incansavelmente. À minha mãe, Edvaneide Ramos da Gama Almeida, pelo amor e cuidado desde o meu primeiro dia de aula, pelas inúmeras vezes que enxugou minhas lágrimas e não me deixou desistir.

Ao meu irmão, Pedro Henrique Ramos de Almeida, que sempre foi abraço casa e sorriso sincero. Às minhas avós, Maria Alves de Almeida e Josefa Ramos da Gama, pelas orações e palavras de incentivo, me ensinando sobre fé e coragem.

Aos meus tios, tias, primas e afilhados que foram força, suporte e incentivo quando imaginei que nada daria certo.

Aos meus amigos da vida, por toda confiança e palavras de carinho quando nos encontrávamos. Aos meus amigos e companheiros de curso, por compartilhar sonhos e dores, sem vocês eu não chegaria até aqui, obrigada por tudo.

Aos meus professores da EREM Corsina Braga, por me incentivarem a lutar pelos meus sonhos e nunca desistir do que acredito.

A minha amiga e conselheira, Walquiria Couto, por me ouvir e partilhar palavras de motivação, mostrando que Deus é capaz do impossível. Ao meu amigo, Gustavo José de Araújo Aguiar, por me apresentar ao mundo da pesquisa.

A Matheus Fraga de Oliveira, meu exemplo de líder, pelo conhecimento compartilhado na área da infraestrutura e mobilidade urbana, jamais terei como agradecê-lo. A equipe da Construtora Vertical, pela compressão e apoio na minha vida acadêmica.

À professora Jocilene Otilia da Costa, que aceitou me orientar, aconselhou e esteve presente sempre que precisei, gratidão ao Senhor por tê-la em minha vida.

À Universidade do Minho, em especial a professora Elisabete e a Leidy, pela disponibilidade dos dados deste trabalho e todo suporte prestado.

A minha banca, pela disponibilidade e atenção neste momento tão importante.

Aos meus professores da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, que somaram e me fizerem crescer como pessoa e profissional.

Análise do comportamento de pedestres em deslocamentos individuais e coletivos por meio dos parâmetros de marcha.

Analysis of pedestrian behavior in individual and collective displacements through gait parameters.

Letícia Ramos Almeida¹

RESUMO

Diversos grupos de estudos têm tomado como foco a dinâmica de multidões humanas. Nos últimos tempos, buscou-se entender a importância do comportamento de pedestres em diferentes projetos. Grande parte das ações dos andantes podem ser influenciadas pelo contexto social, principalmente, o contato com ações de outras pessoas. Nota-se que a população tende a caminhar em grupos de amigos, parceiros ou familiares. Contudo, este é um tema complexo e com uma disponibilidade de estudos limitada, porque os parâmetros que auxiliam na caracterização dos pedestres estão fortemente relacionados com fatores humanos abstrusos. A implementação da modelagem do fluxo de pedestres tem sido uma ferramenta essencial para testar teorias científicas e analisar as estratégias de distintos projetos antes da sua execução. O objetivo principal do trabalho é analisar a influência da relação entre o indivíduo e o coletivo, resultante da interação social entre as pessoas. Já que a proporção de pedestres que se desloca em conjunto é mais elevada que a fração de caminhantes sozinhos, bem como o sexo envolvido na caminhada. A interpretação dos dados empíricos sobre o movimento - parâmetros de marcha, e as ações dos pedestres - distância e formação espacial, foi feita com dados coletados na cidade de Guimarães – Portugal, em experimentos de campo. O presente estudo investiga por meio do modelo linear misto o comportamento, frequência e comprimento de passo, em três zonas: antes, durante e depois das travessias das vias, em áreas urbanas, usando gravações de vídeos. Por meio do estudo foi observado que os homens tendem a aumentar o comprimento do passo enquanto as mulheres possuem uma frequência de passo maior. Somado a isso, em uma travessia sozinho, o pedestre consegue obter um comprimento e uma frequência de passo mais elevada do que quando está acompanhado.

¹ Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: leticia.ralmeida@ufpe.br

Palavras-chave: interações sociais; travessia; comprimento do passo, frequência do passo; modelo linear misto.

ABSTRACT

Several groups of studies have focused on the dynamics of human crowds. In recent times, efforts have been made to understand the importance of pedestrian behavior in different projects. Most of the walkers' actions can be influenced by the social context, mainly the contact with other people's actions. It is noted that the population tends to walk in groups of friends, partners or family members. However, this is a complex subject with a limited availability of studies, because the parameters that help in the characterization of pedestrians are strongly related to abstruse human factors. The implementation of pedestrian flow modeling has been an essential tool to test scientific theories and analyze the strategies of different projects before their execution. The main objective of the work is to analyze the influence of the relationship between the individual and the collective, resulting from the social interaction between people. Since the proportion of pedestrians walking together is higher than the fraction of walkers alone, as well as the sex involved in the walk. The interpretation of empirical data on movement - gait parameters, and pedestrian actions - distance and spatial formation, was done with data collected in the city of Guimarães - Portugal, in field experiments. The present study investigates, through the mixed linear model, the behavior, frequency and step length, in three zones: before, during and after crossing the roads, in urban areas, using video recordings. Through the study, it was observed that men tend to increase their step length while women have a higher step frequency. Added to this, when crossing alone, the pedestrian manages to obtain a higher step length and frequency than when accompanied.

Keywords: social interactions; crossing; step length, step frequency; mixed linear model.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o estudo da dinâmica de multidões humanas tornou-se interesse de muitos grupos de pesquisa que entende a importância do comportamento de pedestres em distintos projetos. Campanhas de transporte não motorizados estão sendo promovidos por muitas agências rodoviárias como prática positiva de contribuição para criação de um ambiente

saudável e habitável, como abordam Hussein e Sayed (2015). Tudo isso pode ser somado a procura de projetos de infraestrutura urbana confiáveis, atrelado a um gerenciamento de tráfego ou segurança de multidões eficiente, como descrevem Carvalho *et al.* (2019).

A ausência de estudos dos modos não motorizados, como as caminhadas, em comparação com o tráfego de veículos é preocupante, já que a área não foi desenvolvida em um nível compatível com veículos de viagem. Isso pode resultar em um baixo volume de pesquisas que auxiliem no entendimento do comportamento dos pedestres dentro da sociedade e no desenvolvimento de projetos que viabilizem a mobilidade urbana, por exemplo. Logo, um estudo profundo do comportamento de caminhar é essencial para avaliar e implementar medidas de caminhada com mais conforto e segurança (GUO; SAYED; ZAKI, 2016).

Um dos maiores desafios deste campo de atuação, como citam Hediyyeh, Sayed e Hussein (2014) é a falta de dados confiáveis e ferramentas que auxiliem no processo de modelagem do comportamento detalhado dos pedestres. Uma vez que, os modelos de simulação de movimentos existentes não oferecem uma boa plataforma para análise e apresentam um número alto de falhas. O processo de coletar dados é uma tarefa trabalhosa e com tempo de execução elevado, por serem levantados por meio de contagens e medições manuais.

Se o estudo para o pedestre enquanto indivíduo é desconhecido, Carvalho *et al.* (2019) abordam em seus trabalhos a escassez de dados na bibliografia para os membros dos grupos em movimentos e suas interações uns com os outros, com outros pedestres e com outros grupos. É válido salientar que essas interações são comumente simuladas com base em metodologias irreais. Hussein e Sayed (2015) mostraram em suas pesquisas como são ineficazes as modelagens baseadas na física, em que os pedestres são assumidos como pequenas partículas e as forças físicas atuantes sobre elas representam suas interações com outros indivíduos.

Claramente, muitas das suposições não levam em conta o fato de que os pedestres podem avaliar logicamente o ambiente de caminhada, tomando decisões racionais com base em suas experiências e características (HUNSSSEIN; SAYED, 2015).

Cada pedestre possui ritmo individual durante a caminhada, sendo periódico e oscilatório. O ritmo único pode ser usado para o reconhecimento humano automático e a discriminação quanto a idade humana e o gênero. A nível microscópico, Guo, Sayed e Zaki (2016) definem a análise de marcha como uma aproximação de parâmetros do mecanismo de caminhada, podendo ser caracterizada como frequência e comprimento do passo para distintos grupos.

De acordo com Hediyyeh, Sayed e Hussein (2014) os parâmetros da marcha como a frequência e o comprimento dos passos podem ser influenciados pelo sexo, idade, tamanho do grupo e a presença de semáforos. Além disso, pesquisas feitas por Kotkar, Rastogi e Chandra

(2010) reafirmaram a ideia e mostraram que o comportamento da travessia é a soma de elementos como o de tráfego de veículos, idade, sexo e presença de bagagem dos passageiros.

Todavia, o pedestre estar ciente do acompanhamento da caminhada pode influenciar o seu comportamento. Estudos publicado por Margon (2016) mostraram que, segundo a Teoria do Comportamento Planejado – TCP, o comportamento de cada indivíduo é resultado de uma junção de interações e percepções de controle. Desta forma, várias condições devem ser notadas quando se busca analisar o comportamento de forma mais precisa.

Uma pesquisa realizada na Califórnia apontou a tendência de mulheres aumentarem a velocidade durante o atravessamento por meio do aumento da frequência do passo, divergindo da tendência geral apresentada no estudo, em que os pedestres crescem o comprimento do passo mais que a frequência (HEDIYED; SAYED; HUSSEIN, 2014).

Estudos desenvolvidos por Lam e Cheung (2000) apontam que pedestres costumam se mover de forma mais lenta até o meio da faixa de pedestre, logo em seguida ocorre um aumento da velocidade. Contudo, alguns indivíduos encontram dificuldade no atravessamento pela falta de conscientização dos motoristas, Bennet, Manal e Van Houten (2014) apontam essa problematização até mesmo em zonas com faixa de pedestre e sinais de trânsito que informam ao condutor dos veículos a presença desta área.

Rastogi, Chandra e Vamsheedhar (2011), mostraram o aumento da velocidade nas faixas de pedestres quando há fluxo bidirecional, enquanto em movimento unidirecional o valor sofre queda. Ademais, Chandra, Bharti e Speed (2013) apresentaram por meio de experimentos em locais diferentes, valores significativos nas velocidades de atravessamento, resultando em dados distintos para comprimento e frequência do passo.

Como o caminhar está relacionado com distintos fatores, o modelo linear misto é uma excelente forma de tratar e compreender as relações de todas as variáveis significativas envolvidas neste ato. O objetivo principal do modelo é retirar as premissas de independência dos dados, com isso é permitido a utilização de todos os dados existentes, assumindo as correlações entre eles. Rocha (2017) define como modelo estatístico um evento que somado aos efeitos fixos possui mais de um termo ou efeito aleatório.

Dentro do modelo linear misto, os efeitos aninhados são aqueles que possuem categorias únicas, muitas vezes com elementos de escala ou estratificação, que caracterizam uma hierarquia. Assim, é possível analisar como valores de comprimento e frequência de passo são influenciados por premissas diferentes que se relacionam, sendo influenciado por dados como tamanho do grupo.

O presente estudo auxilia no desenvolvimento de técnicas que passam ser implementadas de

forma prática no cotidiano das cidades, como tempo de abertura de semáforas, implantação de políticas públicas para diminuição de acidentes e uma melhor qualidade de mobilização dos pedestres.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos geral

Analisar dados relacionados ao comportamento humano por meio dos parâmetros de marchas, comprimento e frequência do passo, enquanto indivíduo isolado e suas interações dentro de um grupo, em uma travessia de pedestre na cidade de Guimarães, Portugal.

1.2.2 Objetivo específico

- Analisar as trajetórias dos pedestres, por meio da contagem dos passos do indivíduo padrão em cada fase do atravessamento;
- Determinar os parâmetros de marcha, como comprimento e frequência do passo, por meio dos números de passos encontrados;
- Verificar a relação dos dados obtidos de comprimento e frequência, com as variáveis: sexo, fases do atravessamento, veículos em aproximação, tamanho do grupo e interação com demais pedestres.

2 METODOLOGIA

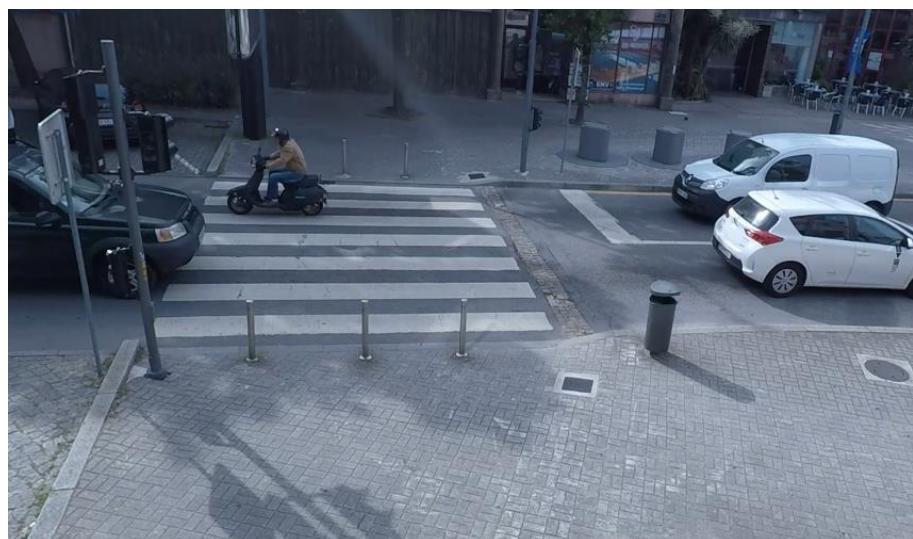
O presente estudo trata-se de uma pesquisa de abordagem quantitativa, de natureza básica, com procedimentos de pesquisa de campo e com objetivo descritivo. As informações sobre o comportamento do pedestre em caminhadas isoladas e em grupos foram coletadas através da realização de experimentos de campo: antes, durante e depois da travessia de uma via urbana. Para cada amostragem realizou-se gravações de vídeos das trajetórias e o processamento do comportamento de cada indivíduo.

2.1 Local de estudo

Os dados para o estudo foram coletados em uma travessia sinalizada em Guimarães, Portugal, situada na Rua Teixeira de Pascoais, mostrada na Figura 1. O pavimento rodoviário é feito concreto asfáltico, localizada próximo ao encontro com a Avenida Alameda Dr. Alfredo Pimenta, com estacionamento incluso.

A via conta com a presença de um semáforo para pedestres e veículos, mas no momento do levantamento não estava em funcionamento, logo não entrará no presente estudo. A travessia possui comprimento de 7,130 metros e largura de 5,120 metros, com duas vias, cada uma de aproximadamente 2,950 metros. As calçadas da via analisada possuem uma largura efetiva de 8,137 metros antes do atravessamento e 9,536 metros depois do atravessamento.

Figura 1 – Travessia em Guimarães, local de estudo



Fonte: A autora (2023)

2.2 Determinação dos grupos

Como a análise do trabalho está relacionada à comparação do comportamento de pedestres em travessias sozinhos e em grupo, foi determinado um procedimento experimental para a aquisição de dados. Adotou-se como critério de inclusão uma faixa de idade entre 18 e 44 anos, e uma dimensão de grupos entre duas e três pessoas. Dois grupos foram tomados como principais, de acordo com a disposição de homens e mulheres.

Para as interações entre os pedestres e o grupo que está inserido, cada experimento considerou uma amostragem inicial de cinco pessoas (Figura 2). O primeiro grupo, Tipo Grupo

1, é formado por duas mulheres e três homens e o segundo, Tipo Grupo 2, por dois homens e três mulheres.

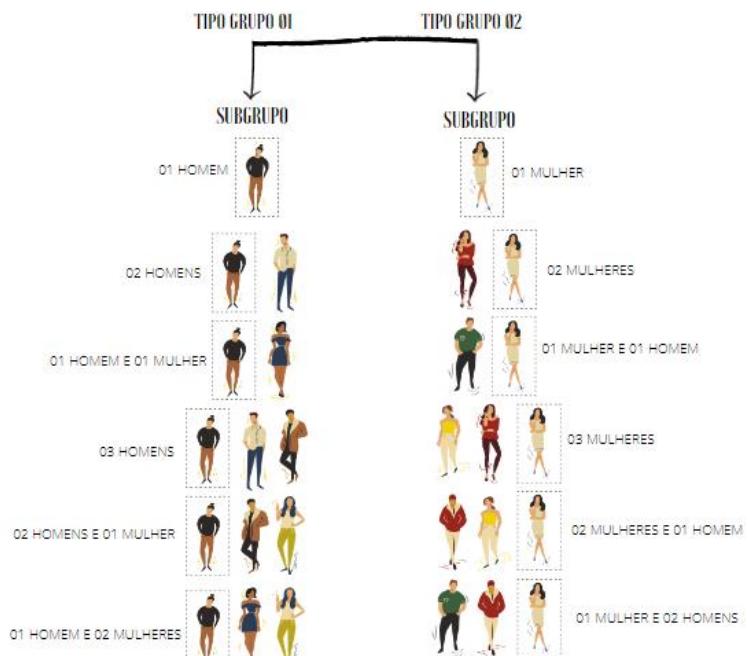
Figura 2 – Grupos formados para coleta dos dados



Fonte: A autora (2023)

A partir disso, algumas combinações foram usadas para criar grupos menores de 2 a 3 pessoas. Desta forma, o estudo contou com cinco equipes e uma análise do comportamento individual, totalizando seis subgrupos, para isso foi selecionado uma pessoa que faria parte de todas as trajetórias, como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Divisão dos Tipos de grupo para análise das interações



Fonte: A autora (2023)

Para o trabalho foram selecionados seis grupos com pessoas distintas. Os grupos do estudo G1, G3 e G5 são formados pelas combinações do Tipo Grupo 1. Enquanto G2, G4 e G6

possuem a configuração do Tipo Grupo 2. Como uma pessoa é dada como o indivíduo padrão de todas as trajetórias para os subgrupos, o Tipo Grupo 1 é representado por um homem e o Tipo Grupo 2 por uma mulher. A Tabela 1 apresenta os dados do pedestre padrão analisado em cada subgrupo.

É válido ressaltar que, para o estudo, buscou-se analisar o comportamento de travessia apenas de jovens, já que está é uma região que apresenta, em sua maioria, a circulação de um grupo com idade mais nova.

Tabela 1 – Dados dos pedestres presentes no estudo

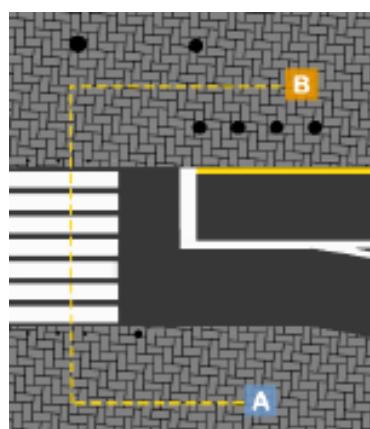
Grupo	Subgrupo	Sexo	Idade (Ano)	Comprimento da perna (m)
Tipo Grupo 1	G1	Homem	19	0,94
Tipo Grupo 2	G2	Mulher	20	0,82
Tipo Grupo 1	G3	Homem	24	1,01
Tipo Grupo 2	G4	Mulher	25	0,87
Tipo Grupo 1	G5	Homem	27	0,97
Tipo Grupo 2	G6	Mulher	22	0,96

Fonte: A autora (2023)

2.3 Determinação das trajetórias

Os pedestres foram orientados a percorrer uma trajetória pré-definida que incluía uma parte inicial de caminhada na calçada, para então realizar a travessia na faixa de pedestre e seguir pela calçada do outro lado da via. O percurso é mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Determinação do trecho percorrido para obtenção dos dados



Fonte: Acela (2022)

Na Figura 4, nota-se o percurso feito por cada pedestre. No início do experimento, o indivíduo foi orientado sobre os pontos de começo e término do levantamento, tendo conhecimento do trajeto que deveria ser feito.

O pedestre deveria sair do ponto A, iniciando a trajetória levantando de forma rápida sua perna, caminhando até o ponto B. Ao retornar, deveria levantar uma das pernas novamente, para que um movimento abrupto fosse verificado e em seguida caminhar ao ponto inicial. Ao final, foram contabilizadas duas trajetórias, ou seja, repetia-se o processo duas vezes para cada subgrupo. No total, cada tipo de grupo contou com vinte e quatro trajetórias: doze AB e doze BA.

2.4 Obtenção dos dados

Uma câmera de vídeo GoPro 6 foi programada e instalada estratégicamente na localização de estudo para segmentarem as trajetórias dos pedestres, entre os dias 17/05/2019 e 27/05/2019. Seguindo o rastreamento por vídeo, foi realizado um mapeamento das coordenadas do plano de imagem para as coordenadas do mundo real. Fez-se necessário calibrar a câmera por meio de uma grade, com auxílio do software *T-Corporation analyst trajectories*, como mostra a Figura 5. Em seguida, foi obtido as trilhas dos pedestres em coordenadas no mundo real e assim determinada a velocidade de cada indivíduo.

Figura 5 – Utilização do software *T-Corporation analyst trajectories* para obtenção das coordenadas.

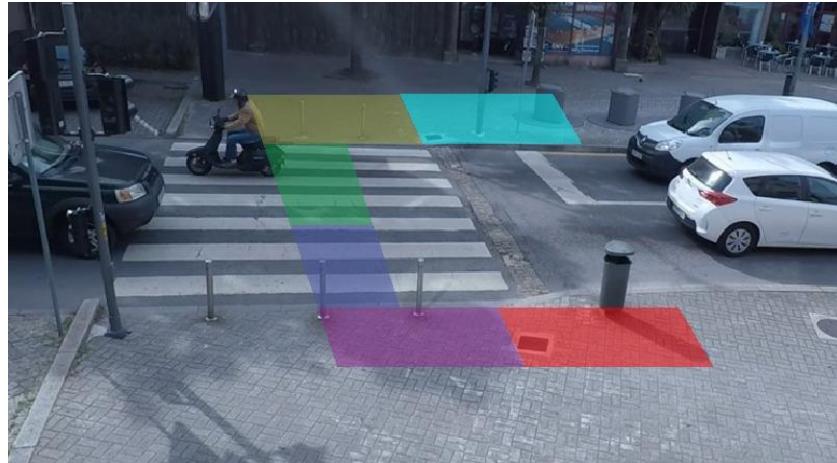


Fonte: Acela (2022)

Com base nos dados de velocidade e na literatura encontrada, pode-se notar um

comportamento insatisfatório em cada fase: antes, durante e depois do atravessamento. Desta forma, para cada momento da trajetória foram realizadas as análises do início até o meio e do meio até o final, das etapas individuais, conforme apresenta a Figura 6.

Figura 6 – Divisão das fases do atravessamento.



Fonte: A autora (2023)

A zona vermelha e roxa compõem a fase antes do atravessamento, a representação em azul e verde as zonas durante o momento do atravessamento e as divisões em amarelo e ciano das fases após o atravessamento, para trajetória AB. Para o percurso BA, as posições das fases estão invertidas. Com o auxílio dos vídeos foi contabilizado o número de passos dado pelo pedestre em estudo em cada zona, durante as vinte e quatro trajetórias do grupo.

2.5 Obtenção dos parâmetros e processamento dos dados

Com a obtenção dos números de passos dado pelos indivíduos por meio da análise dos vídeos, tornou-se possível obter a frequência dos passos (F), número de vezes que um pé toca o solo em uma unidade de tempo, encontrado por meio da Equação 1, razão entre o número de passos (N_{passos}) e a duração do teste (t).

$$F(s^{-1}) = \frac{N_{passos}}{t(s)} \quad (1)$$

A variável (t), duração do teste, foi obtida por meio dos frames utilizados para encontrar a velocidade de cada pedestre. Uma vez que a frequência do passo e a velocidade de caminhada de um pedestre são determinadas, o comprimento do passo (L_{passo}) pode ser encontrado a

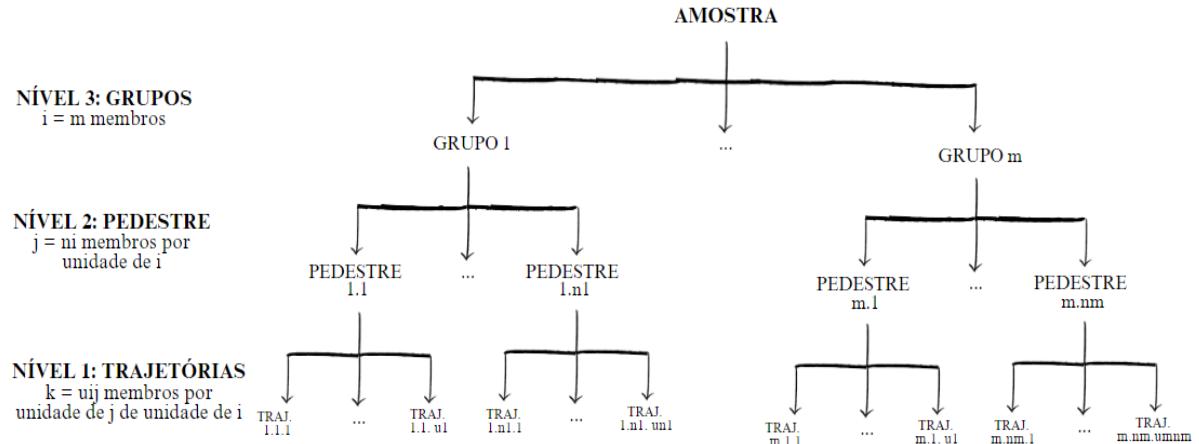
partir da relação linear fundamental, com base na razão entre a velocidade (v) e a frequência (F), definida na Equação 2.

$$L_{passo} (m) = \frac{v (m.s^{-1})}{F(s^{-1})} \quad (2)$$

Com os valores obtidos, a base de dados do projeto é formada pelas variáveis: sexo, fases do atravessamento, veículos em aproximação, tamanho do grupo e interação com demais pedestres. Por meio das variáveis independentes foi possível obter um valor médio para comprimento e frequência do passo, para fase de cada pedestre.

A relação entre as variáveis independentes e as variáveis respostas foi estudada por meio dos modelos lineares mistos. Com os efeitos aleatórios tornou-se possível agrupar os dados considerando efeitos sobre a variável resposta que não seriam levados em consideração quando trabalhados em uma regressão linear. É importante usar os modelos mistos por causa das medidas repetidas utilizadas no trabalho. Assim é possível observar os elementos das variáveis independentes em escala com uma estratificação na amostragem, denominado de efeito aninhado conforme mostra a Figura 7.

Figura 7 – Efeito aninhado para o modelo linear misto



Fonte: A autora (2023)

A Figura 7 mostra um modelo linear misto genérico para n grupos com efeito aninhado, em que várias pessoas dos Tipos de grupos são analisadas dentro da trajetória. A aplicação do modelo mostra que o resultado é dado pela junção dos níveis hierárquicos, em que cada valor de comprimento e frequência do passo estão aninhados em fatores. Isso acontece porque o efeito fixo, como o comprimento do passo está relacionado com o grupo que está participando,

dependendo do pedestre estudado que possui aninhamento com a trajetória que é feita a observação.

Para o comprimento do passo, a equação implementada no modelo linear mistos foi definida como:

$$COMP \sim Sex * Phase + Veh * Phase + SubSize + Ped + (1|Id_{Ped}) \quad (3)$$

Na equação *Sex* representa o sexo do indivíduo analisado, *Phase* trata da fase do atravessamento, *Veh* adiciona ao modelo os valores de velocidade, *SubSize* soma o tamanho do subgrupo em que o pedestre está envolvido, *Ped* é a própria incorporação do sujeito a equação e *Id_{Ped}* transforma o indivíduo em um parâmetro único.

Já para a frequência, a análise foi realizada por meio da Equação 4:

$$FREQ \sim SubSize + Phase + (1|Id_{Ped}) \quad (4)$$

Os parâmetros assumem o mesmo significado para o modelo linear misto que analisou o comprimento de passo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores obtidos possibilitaram uma análise detalhada sobre o comportamento dos indivíduos quanto o caminhar no dia a dia. O trabalho buscou entender o caminhar dos indivíduos em travessias movimentadas, de modo a implementar soluções de mobilidade urbana seguras e de qualidade.

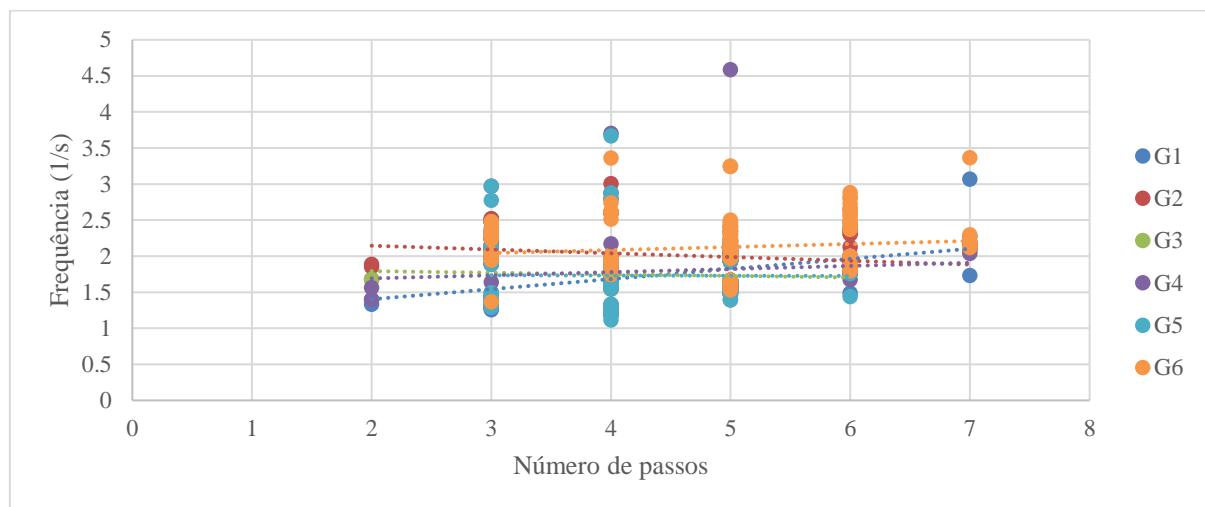
3.1 Análise das trajetórias

Os valores de frequência e comprimento de passo foram extraídos dos vídeos e relacionados ao número de passos dos indivíduos em cada fase do experimento. Para isso foram observados os vídeos de cada travessia, no total 144 atravessamentos. Se forma manual e com o auxílio de planilhas foram contabilizados os passos dos indivíduos padrões de cada subgrupo, nos dois trechos de cada fase do atravessamento.

3.2 Parâmetros de marcha

Com os valores de passo dos indivíduos são encontrados os valores de comprimento e frequência do passo. Para isso, os resultados encontrados para cada subgrupo são dispostos em gráficos de dispersão e observado o comportamento linear e suas similaridades. A Figura 8 representa a relação entre a frequência e o número de passos dos indivíduos nas 24 trajetórias.

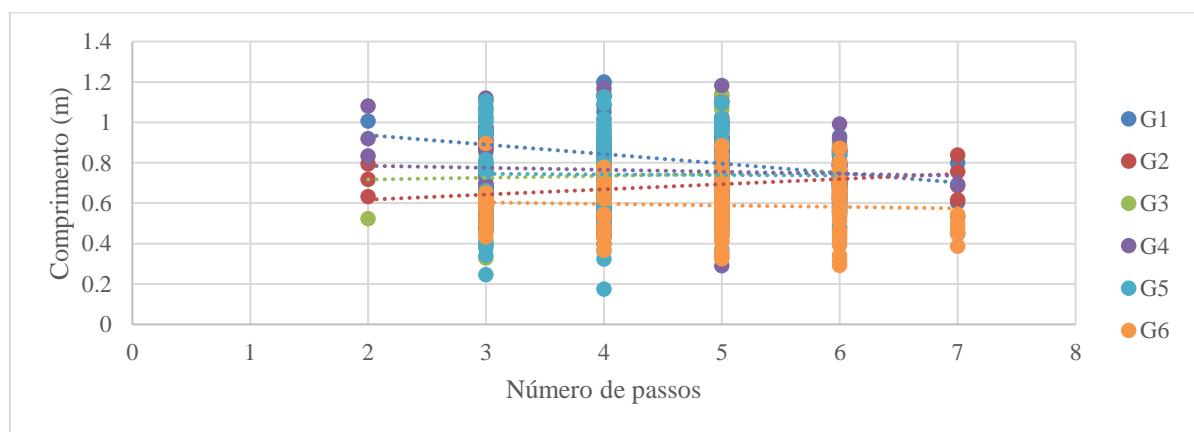
Figura 8 – Gráfico da frequência do passo



Fonte: A autora (2023)

Já a Figura 9 descreve o comprimento do passo obtido por meio do número de passos em cada fase do atravessamento, por todos os subgrupos.

Figura 9 – Gráfico do comprimento do passo



Fonte: A autora (2023)

É possível observar que os parâmetros da regressão variam de pedestre para pedestre, o que

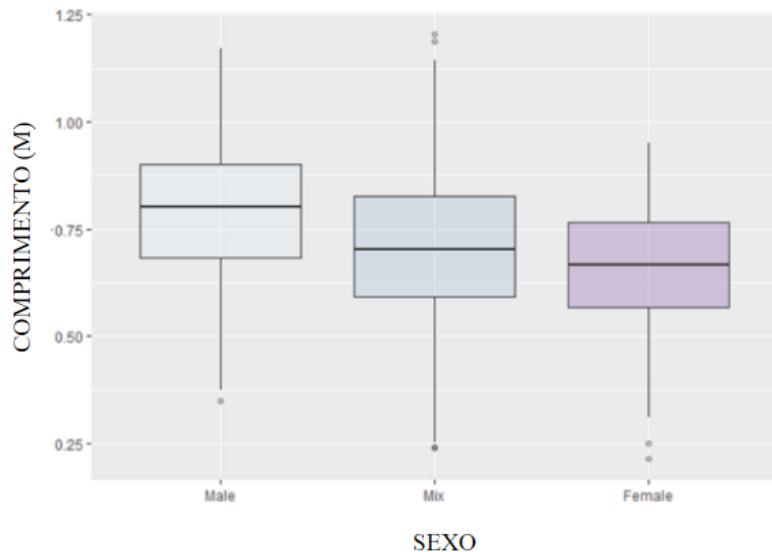
pode ser explicado pela heterogeneidade da população que está envolvida. Os gráficos apresentados na Figura 8 e na Figura 9 mostram que cada indivíduo tem a sua própria trajetória média, representada pela linha de tendência do subgrupo, em que um conjunto de parâmetros de regressão são aleatórios.

3.3 Parâmetros de marcha

Desta forma, o modelo linear misto foi aplicado, tendo como variáveis significativas o sexo dos pedestres em que “Male” representou os homens, “Female” para mulheres e “Mix” para grupos mistos, as fases do atravessamento definidos como B1 e B2 as zonas antes da travessia, D1 e D2 o momento da travessia dos pedestres e A1 e A2 as fases depois do atravessamento, os veículos em aproximação, o tamanho do grupo variando entre 1, 2 ou 3 componentes dos subgrupos e a interação com outros indivíduos durante a travessia.

Para o modelo a equação imposta foi descrita tomando as variáveis significativas para os pedestres analisados. Inicialmente é feito uma observação entre os sexos dos pedestres e o comprimento do passo em sua caminhada, o resultado é apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Relação entre o comprimento do passo e o sexo dos indivíduos.



Fonte: A autora (2023)

As pessoas que caminham em grupos compostos por homens apresentam um comprimento de passo maior, quando comparado ao sexo feminino ou a grupos mistos, tendo um valor médio próximo a 0,81 metros. O segundo maior comprimento de passo médio é dado pelos grupos

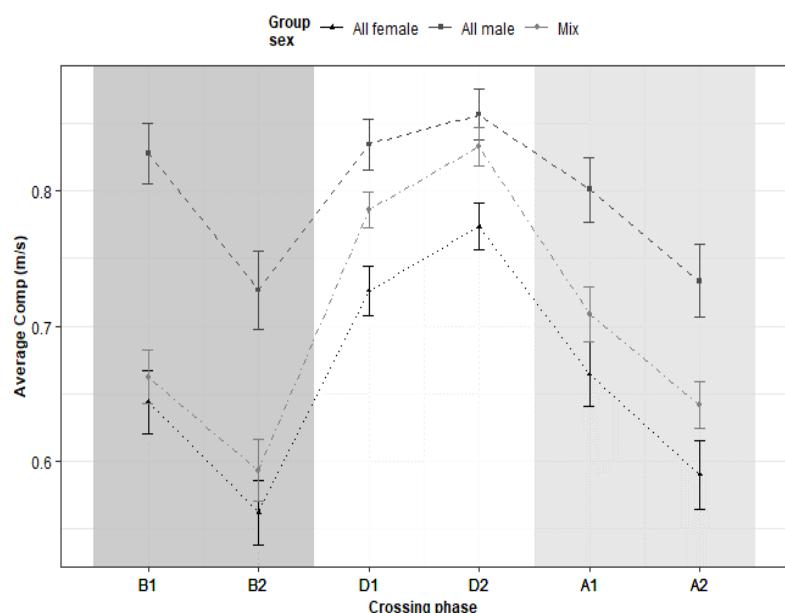
mistas entre homens e mulheres, com valor de aproximadamente 0,69 metros. Já as mulheres tendem a apresentar o menor comprimento de passo médio, um valor de 0,65 metros. O fato dos grupos mistos se encontrarem em segundo lugar mostra como os indivíduos buscam se adaptar aos companheiros de grupo, já que o homem tende a diminuir o comprimento e a mulher aumentar.

Durante o estudo, observou-se como maior comprimento de passo o valor de 0,92 metros, valor para o grupo masculino. Enquanto a mulher que apresentou maior comprimento de passo teve como valor 0,67 metros, número próximo ao valor médio dos grupos mistos. Esses resultados demostram veracidade nas ideias de Hunssein e Sayed (2015) de que os pedestres podem avaliar o ambiente de caminhadas e suas interações, tomando decisões racionais com base em suas experiências e suas próprias características

Na Figura 10 nota-se também a elevação da variância de valor entre o maior e menor comprimento de passo para os subgrupos mistos. As mulheres são a que menos variam o comprimento de passo, tendo um comprimento de passo médio, mediano entre os valores.

Quando o atravessamento é analisado por cada fase: antes, durante e depois da travessia, nota-se um a tendência de comportamento de acordo com o sexo do pedestre. O resultado é mostrado na Figura 11.

Figura 11 – Relação entre o comprimento do passo, as fases do atravessamento e o sexo dos indivíduos.



Fonte: A autora (2023)

Um padrão similar é visto para os três grupos, inicialmente é visualizado uma diminuição antes do atravessamento, até B2. Em seguida, chegando próximo a faixa do pedestre, o

comprimento sofre um aumento até o fim do atravessamento. Quando a fase pós travessia começa, o pedestre tende a diminuir novamente o valor.

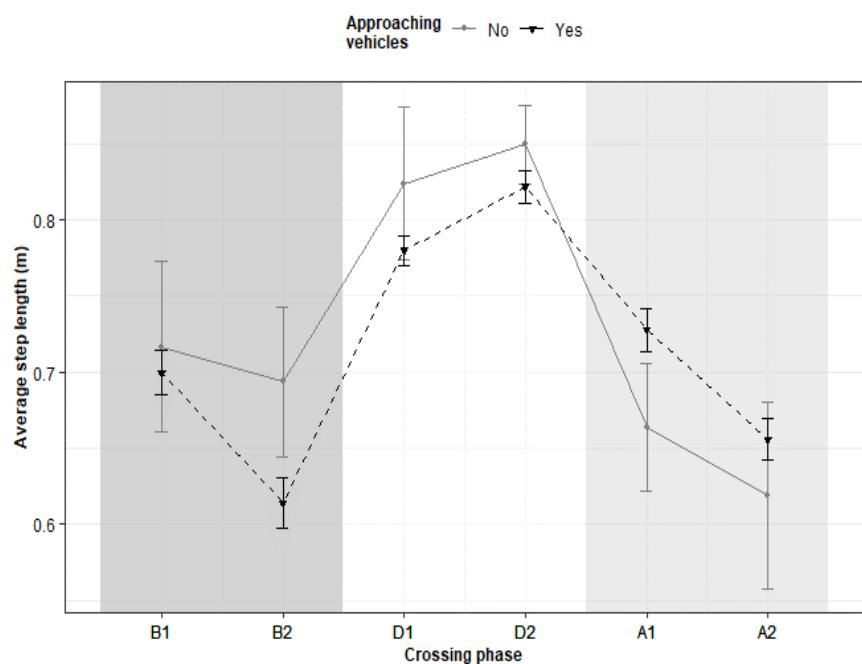
É possível observar, na Figura 11 o comprimento médio do passo por fase em toda a trajetória. Na fase inicial da travessia os valores apresentados para o grupo misto possui comportamento similar ao das mulheres do estudo. Entretanto, durante o atravessamento existe um padrão de aumento do grupo parecido com os valores encontrados no grupo masculino. Após a passagem da travessia, o comprimento volta a diminuir seguindo o comportamento bem próximo ao feminino.

Esta análise permite identificar parâmetros intuitivos de segurança implementados durante a travessia. A forma de atravessar uma faixa de pedestre, quando observados dados de comprimento e frequência do passo estão intrinsecamente relacionados a fatores psicológicos de cada indivíduo. Existe a necessidade de se manter seguro e evitar possíveis acidentes, logo esse aumento do comprimento do passo durante a travessia é uma forma intuitiva do pedestre desejar chegar ao fim do deslocamento da fase sem nenhuma eventualidade.

Isso ressalta o Teoria do Comportamento Planejado – TCP, em que a forma de caminhar é resultado de uma junção de interações e percepções de controle.

Quando analisado a aproximação de veículos e a interação da fase com essa variável, nota-se que antes e durante a travessia, o comprimento é maior se não houver veículos em aproximação, como mostra a Figura 12.

Figura 12 – Relação entre o comprimento do passo, as fases do atravessamento e veículos

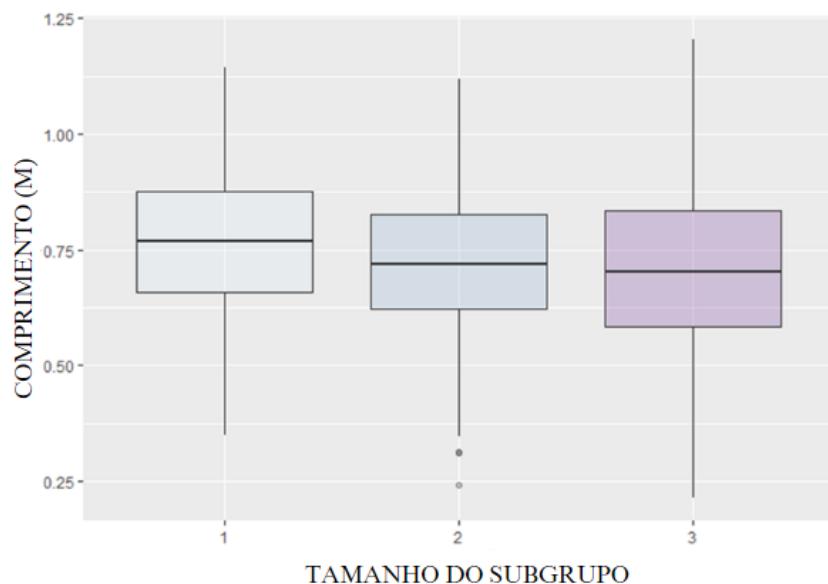


Fonte: A autora (2023)

À medida que um veículo se aproxima, os pedestres tendem a diminuir o comprimento do passo, principalmente quando se aproximam da faixa de pedestre, chegando a um valor médio de 0,62 metros. Um dado interessante apresentado na imagem, é que próximo ao fim da travessia e depois dela, quando um veículo é avistado, isso faz o indivíduo aumentar seu comprimento, uma reação que não acontece antes do atravessamento.

Ademais, quando analisado o comprimento médio do passo em comparação com o tamanho do grupo, obteve-se o resultado da Figura 13. De forma geral, observa-se que o comprimento do passo diminui quando o tamanho do grupo aumenta. A mesma coisa acontece quando há interação com outros indivíduos que não fazem parte do subgrupo, demostrado na Figura 14.

Figura 13 – Relação entre o comprimento do passo e tamanho do grupo.

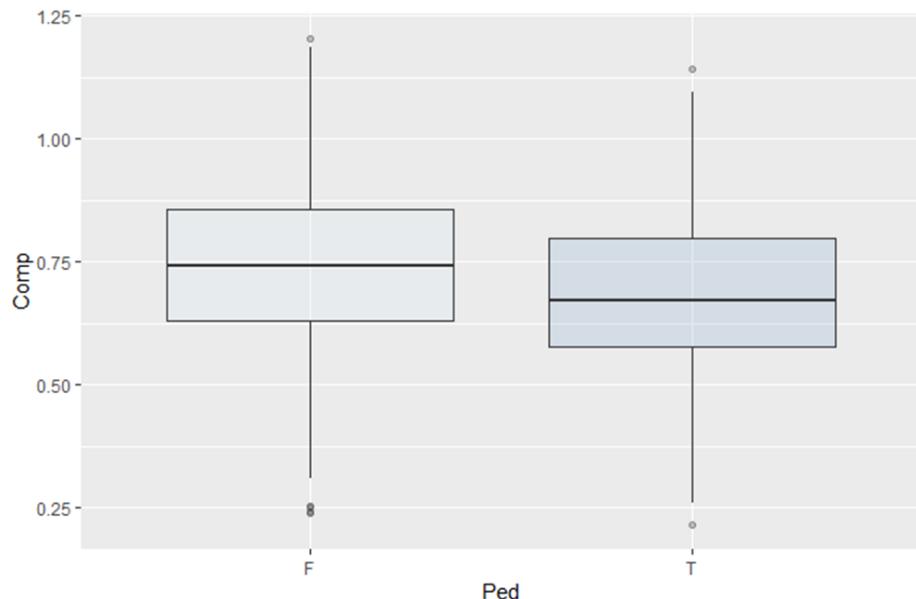


Fonte: A autora (2023)

O comprimento médio do passo quando o individuo está sozinho é de 0,80 metros. Já quando analisado as trajetórias em que o subgrupo é formado por duas pessoas, independente do sexo, o comprimento do passo toma o valor de aproximadamente 0,71 metros. O subgrupo formado por três pessoas apresenta uma queda quando comparado com o de duas pessoas de 0,02 metros, já que o comprimento médio do passo para a categoria é de 0,69 metros.

Quando observado a relação entre o comprimento do passo e a interação com outros pedestres, nota-se uma redução dos valores obtidos quando o indivíduo estudado possui interação com outros pedestres no momento da travessia.

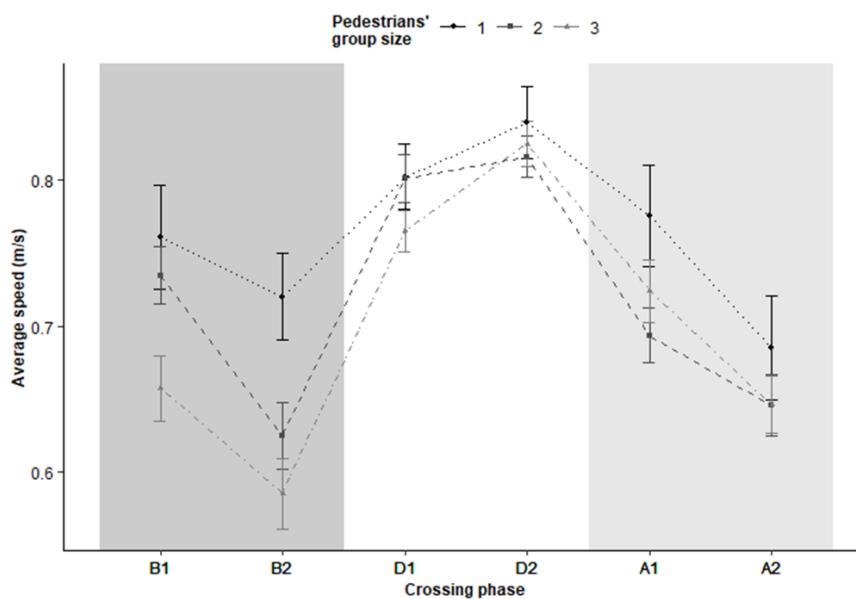
Figura 14 – Relação entre o comprimento do passo e interação com outros pedestres



Fonte: A autora (2023)

Sem interação, o comprimento do passo era de aproximadamente 0,75 metros, já depois da travessia o valor passou a ser de 0,67 metros. A interação do tamanho do grupo e a fase de atravessamento pode ser observada na Figura 15.

Figura 15 – Relação entre o comprimento do passo, tamanho do grupo e a fase de atravessamento



Fonte: A autora (2023)

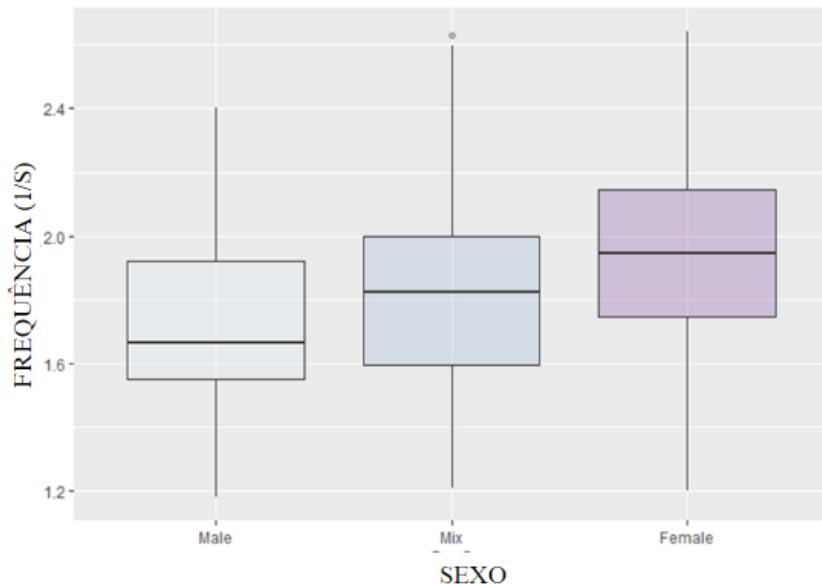
Como é possível notar, não houve uma análise significativa dos dados encontrados. Todavia, uma semelhança quando comparado com os resultados encontrados para interação do sexo com

a fase de atravessamento pode ser observada na Figura 11 e Figura 14. Assim como para a análise do sexo, em todos os subgrupos ocorreu diminuição do comprimento antes da travessia, seguido pelo aumento e sucedido pela diminuição.

Um dado importante é o subgrupo que apresentou o maior comprimento de passo em todas as fases do atravessamento, composto por apenas um indivíduo. Esse fato reforça os resultados obtidos na Figura 13, em que o grupo de apenas 1 pessoa obteve o maior comprimento. Entretanto, no fim da travessia é feito uma inversão de valores, o grupo composto por 3 pedestres obtém um comprimento de passo maior que o grupo formado por 2 indivíduos, isso justifica o comprimento de passos próximos entre os subgrupos, observado na Figura 13.

Quanto à frequência do passo, foi necessário realizar a eliminação de alguns *outliers*. Em posse dos resultados um dado interessante, mas que não foi tão significativo no modelo, é o sexo dos pedestres. As mulheres apresentaram um maior valor para frequência, conforme Figura 16.

Figura 16 – Gráfico entre a frequência e sexo dos subgrupos



Fonte: A autora (2023)

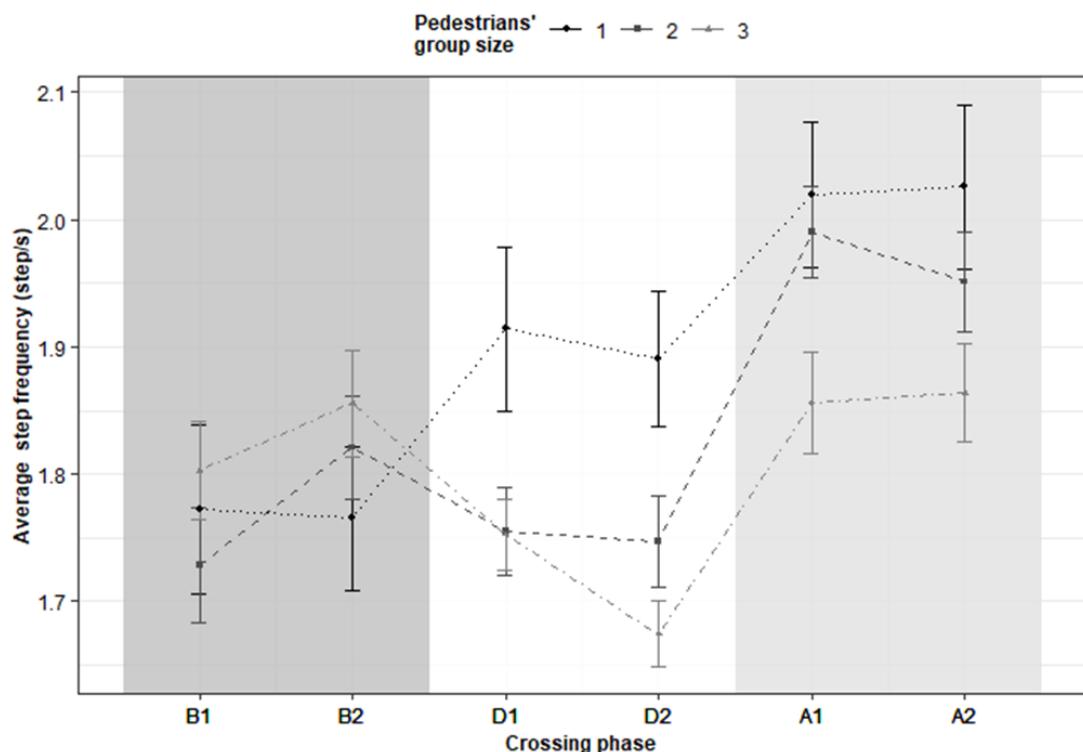
Os homens apresentaram uma frequência média de 1,69 passos por segundo, as mulheres tiveram um valor de 1,95 passos por segundo, em média. Ou seja, enquanto os homens tendem a aumentar o comprimento de passo na travessia, as mulheres buscam aumentar a frequência, por isso o modelo apresentou resultados inversos. Já os grupos mistos, em ambos os casos, obtiveram resultados intermediários. Uma variável que poderia ser somada ao modelo é o

comprimento das pernas dos indivíduos analisado, uma vez que, no processo de caminhada isso influencia. Entretanto, para o estudo foram considerados pedestres com comprimento de pernas próximos.

Outro fator importante ao analisar o gráfico disponível na Figura 15 é que as mulheres e os homens tendem a estabelecer uma frequência média do passo no processo de caminhar. Enquanto o homem aumenta sua frequência, as mulheres apresentam uma diminuição, ficando com um valor intermediário. Todavia, é nesse subgrupo que se pode observar uma maior variação entre o maior e o menor valor de frequência.

O tamanho do grupo seguiu um comportamento parecido com o do comprimento do passo, e o resultado do modelo pode ser observado na Figura 17.

Figura 17 – Gráfico entre a frequência e tamanho dos subgrupos



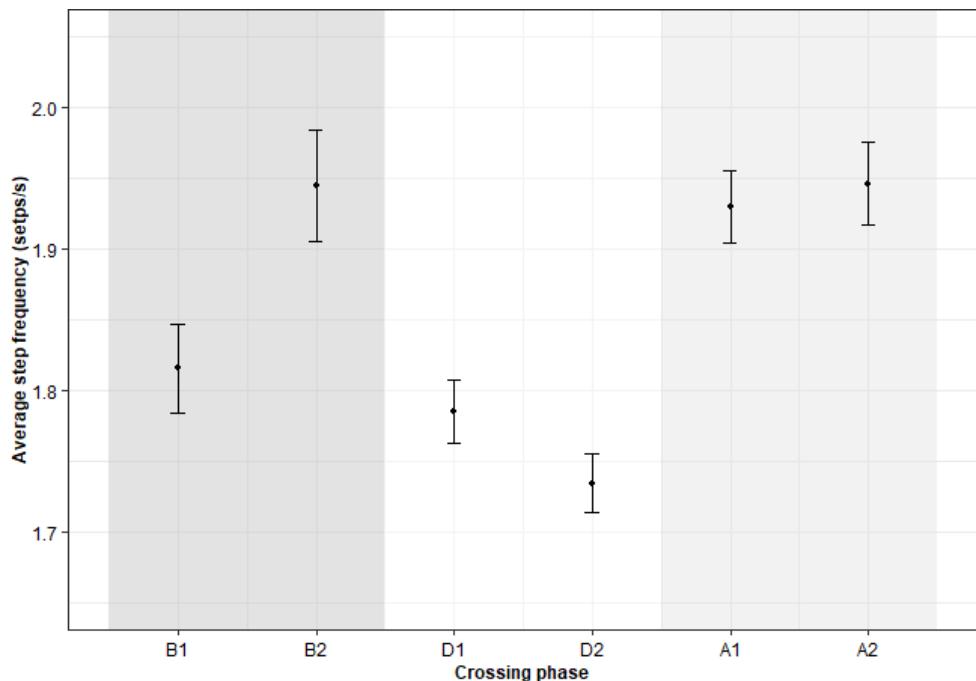
Fonte: A autora (2023)

Inicialmente, o subgrupo com três indivíduos apresentaram um valor de frequência maior, porém durante a travessia o comportamento se inverteu e os indivíduos reduziram sua frequência. Os pedestres que tiveram maior frequência durante e depois da travessia estavam caminhando sozinhos, similar aos que tiveram maior comprimento do passo.

Outra variável significativa é a fase de atravessamento. A frequência do passo parece apresentar um padrão oposto ao do comprimento do passo, Figura 18. Enquanto o comprimento

diminuía antes do atravessamento, aumentava na faixa de pedestre e voltava a diminuir depois da travessia, a frequência seguiu o caminho contrário.

Figura 18 – Gráfico entre a frequência e fases do atravessamento



Fonte: A autora (2023)

Até o fim da fase anterior da travessia, a frequência aumentou, encontrando um valor de 1,94 passos por segundo. Durante o atravessamento, os pedestres reduziram o número para 1,73 passos por segundo. Após o atravessamento esse valor volta a subir, chegando novamente a 1,94 passos por segundo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da necessidade de compreender o comportamento dos pedestres para melhores condições de mobilidade urbana. O presente trabalho buscou analisar os comportamentos de marcha – comprimento e frequência do passo, em uma faixa de pedestre na cidade de Guimarães, Portugal.

Com base nos dados de 144 travessias foram comparados os parâmetros entre as pessoas do mesmo sexo, os valores entre as fases da travessia, a tendência do indivíduo quando um veículo se aproximava, a presença de companheiros no momento do atravessamento e a interação com outros pedestres.

Conclui-se que, os homens tendem a aumentar o comprimento do passo, enquanto as mulheres possuem uma frequência maior, evidenciando os resultados encontrados nos estudos de Hiedyed, Sayed e Hussein (2014).

Em uma travessia sozinho, o pedestre consegue obter um comprimento e uma frequência de passo maior do que quando está acompanhando. O estudo identificou que quanto maior o grupo, menor serão os valores dos parâmetros de marcha, isso mostra que, o trabalho de Chandra, Bharti e Speed (2013) sobre distintos comprimento e frequência do passo é visto nos dias atuais. Além disso, quando há um misto de sexos, os valores tendem a encontrar um número intermediário, mostrando que os homens e as mulheres buscam uma frequência e um comprimento de passo confortável para seguir a travessia.

Os pedestres possuem um comprimento de passo maior quando não há interação com outros indivíduos durante a travessia, ou seja, quando a faixa se apresenta mais livre para caminhada. Ademais, até o fim da travessia, o comprimento de passo é maior quando não se tem veículos em aproximação. Quando é feito o atravessamento o comprimento se torna maior quando há veículos próximos.

Os pontos citados no trabalho e os resultados obtidos, mostram a importância da aplicação e análise dos parâmetros mencionados para melhoria da mobilidade e segurança dos pedestres. Por meio dos resultados alcançados será possível promover o emprego de ideias que gerem qualidade e fluidez no modo de viver. Como por exemplo, implantação de tempo de abertura dos semáforos de acordo com a região que está empregado, já que zonas de esportes majoritariamente masculina poderá se comportar de forma distintas das áreas de convivência mais feminina.

Além dos pontos analisados, um aspecto importante para continuidade do estudo, seria o emprego de mais trajetórias no modelo de análise, até mesmos ruas diferentes, adicionando variáveis significativas, como largura da via. Desta forma, muitos vieses podem ser somados ao trabalho, em uma área que vem sendo interesse de estudos de muitos grupos.

REFERÊNCIAS

ACELA, L. M. B. Integração de interação social na modelação da deslocação de peões em ambiente urbano. Comunicação Oral - Universidade de Minho, Porto, 2022.

BENNET, M.K.; MANAL, H. VAN HOUTEN, R. A comparison of gateway in-street sign configuration to other driver prompts to increase yielding to pedestrians at crosswalks. **Journal of Applied Behavior Analysis**, v. 47, p. 3-15, 2013.

- BEM, A. C.; CUTLER, R.; DAVIS, L. Stride and Cadence as a Biometric in Automatic Person Identification and Verification. **IEEE**: Washington DC, p. 372–377, 2002.
- CARVALHO, S. P. F. M. D.; ACELA, L. M. B.; SOARES, F. E. C.; FREITAS, E. F. Analysis of pedestrian behavior in individual and group displacements. **3rd Doctoral Congress in Engineering**. Porto, p. 27 – 28, Junho, 2019.
- CHANDRA, S.; BHARTI, A.K. Speed distribution curves for pedestrians during walking and crossing. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, v. 104, p. 660 -667, 2013.
- HEDIYEH, H.; SAYED, T.; ZAKI, M. H. The use of gait parameters to evaluate pedestrian behavior at seramble phase signalized intersections. **Journal of Advanced Transportation**, v. 49, p. 523 – 534, agosto 2014.
- HUNSSIEIN, M.; SAYED, T.; Microscopic Pedestrian Interaction Behavior Analysis using Gait Parameters. **Transportation Research Record**, v. 2519, p. 28-38, 2015.
- LAM, W. H. K.; CHEUNG, C. Pedestrian speed/flow relationships for walking facilities in Hong Kong. **J Transp Eng**, v. 126(4), p. 343-349, 2000.
- KOTKAR, K. L.; RASTOGI, R.; CHANDRA, S. Pedestrian flow characteristics in mixed traffic conditions. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 136, p. 23 – 33, 2010.
- MARGON, P. V. **O comportamento dos pedestres durante a travessia de vias em faixas não semaforizadas**. Tese (Doutorado em Transportes) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- RASTOGI, R.; CHANDRA, S.; VAMSHEEDHAR, J. V. R. Parametric study of pedestrian speeds at midblock crossings. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 134, p. 381 – 389, 2011.
- ROCHA, A. L. M. M. **Modelos Lineares Mistos: Uma abordagem Bayesiana**. Dissertação (Mestrado em Estatística) – Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

LETÍCIA RAMOS ALMEIDA

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE PEDESTRES EM DESLOCAMENTOS INDIVIDUAIS E COLETIVOS POR MEIO DOS PARÂMETROS DE MARCHA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo científico, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil

Área de concentração: Mobilidade Urbana

Aprovado em: 12 de Maio de 2023

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Dra. Jocilene Otilia Costa (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a Dra. Dannubia Ribeiro Pires (Avaliadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Leydi Marcela Báron Acela (Avaliadora)
Universidade do Minho

Prof^a Dra. Maria Victória de Almeida Nascimento (Avaliadora)
Universidade Federal de Pernambuco