



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MATHEUS FONTENELLE SIQUEIRA

**MODELAGEM COMPORTAMENTAL DA ESCOLHA POR INTEGRAÇÃO
BICICLETA-ÔNIBUS EM FORTALEZA**

FORTALEZA

2018

MATHEUS FONTENELLE SIQUEIRA

MODELAGEM DA ESCOLHA POR INTEGRAÇÃO BICICLETA-ÔNIBUS EM
FORTALEZA

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Carlos Felipe Grangeiro Loureiro, Ph.D

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)

S631m Siqueira, Matheus Fontenelle.
Modelagem Comportamental da Escolha por Integração Bicicleta-Ônibus em Fortaleza / Matheus Fontenelle Siqueira. – 2018.
140 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Carlos Felipe Grangeiro Loureiro.

1. Bicicleta. 2. Ônibus. 3. Preferência Declarada. 4. Modelos de Escolha Discreta. 5. Integração. I. Título.
CDD 620

MATHEUS FONTENELLE SIQUEIRA

MODELAGEM COMPORTAMENTAL DA ESCOLHA POR INTEGRAÇÃO
BICICLETA-ÔNIBUS EM FORTALEZA

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Carlos Felipe Grangeiro Loureiro, Ph.D

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Carlos Felipe Grangeiro Loureiro, PhD. (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Francisco Moraes de Oliveira Neto, PhD
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Arquiteta e Urbanista Taís Barreto Costa
Secretaria de Conservação e Serviços Públicos (SCSP/PMF)

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelas conquistas e bênçãos ao longo desse percurso.

Aos meus pais e minha irmã, meus maiores tesouros, por serem referência de bondade, dedicação e carinho, pelo apoio e críticas nas horas necessárias, e por terem feito o impossível para me proporcionar a melhor formação ao longo do meu percurso estudantil.

Ao professor Felipe Loureiro, parceiro ao longo dos últimos 6 anos, por ter transmitido a paixão pelo Planejamento de Transportes, pela paciência nas incontáveis reuniões juntos, por me inspirar na minha formação como engenheiro e por ter me ensinado algumas das mais valiosas lições, que vão muito além dos livros-texto.

Aos amigos que a Engenharia Civil me deu de presente, pela caminhada juntos ao longo dos semestres da graduação, pelo apoio nos momentos de sufoco e pelos bons momentos vividos juntos. Aos amigos certarianos, por encherem meu dia-a-dia de alegria e sorrisos, e por tornarem tão prazerosa a atividade de trabalhar. Aos amigos que a França me deu, por terem me motivado a continuar lutando mesmo diante das adversidades. À turma do “Grande Encontro”, pelas saídas, risadas e momentos partilhados. E aos amigos do colégio, por serem porto-seguro e estarem à disposição em todas as horas.

Aos professores com quem cruzei no DET, Manoel, Moraes, Flávio, Bruno e Verônica, pelos conhecimentos partilhados, pela paixão e motivação em ensinar. Em especial ao professor Moraes, pelas discussões que tanto agregaram nesse trabalho.

Às amigas do “Grupo Bicicleta”, Raquel e Taís, por apostarem, juntamente comigo, no estudo dessa temática fascinante, pelas discussões e sugestões, e pela disposição em ajudar.

Aos amigos do MITUS e do GTTEMA, em especial ao Franco, pela paciência e pelas sugestões valiosas na construção desse trabalho.

Aos amigos que ajudaram nas pesquisas de campo com tão boa vontade, sem os quais esse trabalho jamais teria alcançado os objetivos propostos.

RESUMO

A problemática da periferização por segregação involuntária em Fortaleza vem sendo abordada em diversos estudos, os quais apontam que há um agravamento dos índices de acessibilidade nas regiões periféricas da cidade, onde está concentrada a maior parcela da população de baixa renda. O uso integrado da bicicleta com o transporte público tendo sido visto como positivo nesse contexto, podendo sanar os problemas de acessibilidade de estações e paradas e reduzir a necessidade de um serviço alimentador de transporte público. O presente trabalho tem como objetivo modelar o comportamento de escolha da população de baixa renda na integração bicicleta-ônibus na cidade de Fortaleza. A fim de elaborar o método, é feita uma revisão da literatura abordando, em um primeiro momento, as bases fenomenológicas da integração bicicleta-ônibus e, em seguida, o ferramental de modelagem comumente utilizado, os modelos de Escolha Discreta. Propõe-se um método de modelagem desse fenômeno em Fortaleza baseado nas pesquisas de Preferência Declarada. Aplica-se, assim, o método proposto em um estudo de caso para Fortaleza, visando compreender os fatores que influenciam na escolha pela integração bicicleta-ônibus.

Palavras-chave: Bicicleta, Ônibus, Integração, Preferência Declarada, Modelos de Escolha Discreta.

ABSTRACT

The problem of “periferization” due to involuntary segregation in Fortaleza has been addressed in several studies, which point out that there is a worsening of the accessibility indexes in the peripheral regions of the city, where the largest portion of the low-income population is concentrated. The integrated use of the bicycle with transit has been studied in this context, which can solve the problems of accessibility of stations and stops and reduce the need for a public transport feeder service. The present work aims to model the choice behavior of the low-income population in the bicycle-bus integration in the city of Fortaleza. In order to elaborate the method, a review of the literature is made, approaching, in a first moment, the phenomenological bases of the bicycle-bus integration and, then, the modeling tool commonly used, the Discrete Choice models. A method of modeling this phenomenon is proposed for Fortaleza, based on Stated Preference surveys. Thus, the method proposed is applied in a case study for Fortaleza, in order to understand the factors that influence the choice for bicycle-bus integration.

Keywords: Bicycle. Transit. Integration. Stated Choice. Discrete Choice modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bicycle lockers nos EUA e bicicletário em estação de metrô no Rio de Janeiro	19
Figura 2 – Bicicletar, sistema de compartilhamento de bicicletas em Fortaleza – CE.....	20
Figura 3 – Exemplos de transporte das bicicletas juntamente ao transporte público	20
Figura 4 – Caracterização do bicycle-transit em termos de acessibilidade e velocidade	21
Figura 5 – Comparativo de velocidades das viagens por meio de transporte em áreas urbanas	22
Figura 6 – O problema dos desvios em viagens multimodais de transporte público	23
Figura 7 – Subsistemas do modo bicicleta-transporte público em Fortaleza	25
Figura 8 – Disposição espacial dos terminais de integração e das linhas alimentadoras e troncais do SITFOR.	26
Figura 9 – Áreas de influência de alimentação dos Terminais em Fortaleza	27
Figura 10 – Linhas complementares do SITFOR.....	28
Figura 11 – Linhas convencionais do SITFOR	28
Figura 12 – Demanda no pico da manhã por tipo de linha.....	29
Figura 13 – Distribuição de frequências cumulativa dos <i>headways</i> em horário de pico.....	30
Figura 14 – Cobertura espacial do SITFOR	31
Figura 15 – Função G dos pontos de parada em Fortaleza.....	32
Figura 16 – Linhas operantes na área central da cidade	33
Figura 17 – Exemplo de ciclorota e ciclofaixa em Fortaleza	34
Figura 18 – Infraestrutura cicloviária em Fortaleza.	34
Figura 19 – Proporção de indivíduos ocupados que se deslocam a pé ou bicicleta para o trabalho.	35
Figura 20 – Mapa de calor das infraestruturas de estacionamento cicloviárias.	36
Figura 21 – Bicicletário instalado no Terminal do Siqueira	37
Figura 22 – Localização dos sistemas de compartilhamento de bicicletas em Fortaleza.....	39
Figura 23 – Função G das estações do Bicicletar em Fortaleza	40
Figura 24 – Estrutura aninhada de escolha proposta por Taylor e Mahmassani (1996).....	52
Figura 25 – A relação entre etapa de formulação e a de projeto de experimento em um estudo de PD.	55
Figura 26 – Exemplo de cenário utilizado na pesquisa de PD em Taylor e Mahmassani (1996)	57
Figura 27 – Distribuição espacial dos domicílios de baixa renda em Fortaleza.....	60
Figura 28 – Distribuição espacial dos estabelecimentos por setor censitário em Fortaleza.....	61
Figura 29 – Acessibilidade aos postos de trabalho por modo	61
Figura 30 – Metodologia proposta pelo autor	64

Figura 31 – Possibilidades de trajeto periferia-centro em Fortaleza.	65
Figura 32 – Estrutura integrada de viagem proposta para os deslocamentos casa-trabalho ou casa-estudo em Fortaleza.....	66
Figura 33 – Escolhas modais na viagem por bicicleta-ônibus.....	69
Figura 34 – Estrutura do modelo para a escolha na ponta do domicílio.	70
Figura 35 – Estrutura de escolha para a ponta da atividade.	70
Figura 36 – Sub-etapas do processo de <i>design</i> de experimento.	73
Figura 37 – Possibilidades de experimentos fatoriais com até 12 fatores.....	76
Figura 38 – Sub-etapas de preparação das pesquisas de campo.....	77
Figura 40 – Estratégias de calibração utilizadas.....	80
Figura 41 – Demanda horária média do SITFOR em maio de 2018.....	89
Figura 42 – Aplicação da pesquisa-piloto no Terminal da Parangaba.....	90
Figura 43 – Histograma das idades dos entrevistados – experimento-piloto 1	91
Figura 44 – Distribuição dos usuários por faixas de renda – experimento-piloto 1	92
Figura 45 – Tempos até o embarque nas linhas alimentadoras e dentro dos ônibus – experimento-piloto 1.	93
Figura 46 – Histograma das idades dos entrevistados – experimento-piloto 2	96
Figura 47 – Renda familiar dos entrevistados – Experimento-piloto 2.....	96
Figura 48 – Histograma das distâncias de acesso no experimento-piloto 2.....	97
Figura 49 – Distâncias no acesso em metros – Terminal do Coração de Jesus.....	101
Figura 50 – Avaliação preliminar dos formulários tabulados na coleta de dados principal ...	104
Figura 51 – Distribuição de idades dos entrevistados na coleta de dados principal.....	104
Figura 52 – Rendimento familiar dos entrevistados na coleta de dados principal	105
Figura 53 – Distribuição dos motivos de viagem na coleta de dados principal	106
Figura 54 – Tempos de viagem no segmento de acesso dos entrevistados na coleta de dados principal.....	106
Figura 55 – Tempos no acesso e totais de viagem dos entrevistados na coleta de dados principal	107
Figura 56 – Endereços geocodificados dos domicílios	108
Figura 57 – Histograma das distâncias de acesso amostrais ao Terminal da Parangaba.....	108
Figura 58 – Quantidade de respostas por cenário na coleta de dados principal.	109
Figura 59 – Repartição das escolhas por cenários na coleta principal	110
Figura 60 – Formulação do modelo global.....	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Movimentação média diária dos bicicletários instalados nos terminais.	38
Tabela 2 - Hipóteses de estudo definidas.....	46
Tabela 3 – Definição dos contextos de escolha dos usuários.	67
Tabela 4 – Conjuntos de escolha considerados	68
Tabela 5 – Variáveis explicativas escolhidas para o modelo na ponta do domicílio.	71
Tabela 6 – Variáveis explicativas para o modelo na ponta da atividade.....	73
Tabela 7 – Número de graus de liberdade para projeto com M alternativas e A atributos	75
Tabela 8 – Métodos de calibração na investigação das hipóteses estabelecidas.	80
Tabela 9 – Valores de níveis adotados nos projetos de experimento.....	84
Tabela 10 – Comparação das possibilidades de experimentos para a ponta do domicílio	85
Tabela 11 - Características dos experimentos possíveis para a ponta da atividade	87
Tabela 12 – Matriz O/D simplificada das viagens dos entrevistados	92
Tabela 13 – Resultados da calibração do modelo com os dados da pesquisa-piloto (exp. 1) ..	94
Tabela 14 – Testes de hipótese para o experimento-piloto 1	94
Tabela 15 – Coeficientes estimados para o experimento-piloto 1 (ponta do domicílio).....	94
Tabela 16 – Matriz O/D simplificada dos deslocamentos amostrados – experimento-piloto	297
Tabela 17 – Resultados da calibração do modelo com os dados da pesquisa-piloto (exp. 2) ..	98
Tabela 18 – Testes de hipótese para o experimento-piloto 2 (ponta da atividade).....	98
Tabela 19 – Coeficientes estimados para o experimento-piloto 2 (ponta da atividade).....	99
Tabela 20 – Linhas selecionadas para abordagem de passageiros no Terminal da Parangaba, com os respectivos <i>headways</i> no pico da Manhã	103
Tabela 21 - Resultados de calibração do modelo global	112
Tabela 22 - Testes de hipótese para o modelo global	112
Tabela 23 - Coeficientes estimados para o modelo global	113
Tabela 24 – Testes de hipóteses para os coeficientes das variáveis temporais.....	114
Tabela 25 – Calibração de modelos com base em segmentos de motivos de viagem.....	117
Tabela 26 – Calibração de modelos com base em segmentos de gêneros.....	118
Tabela 27 – Calibração de modelos com base em segmentos de renda	119

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Contextualização	13
1.2	Problema de pesquisa	14
1.3	Questões Motivadoras	15
1.4	Objetivos	16
1.5	Estrutura da Monografia	16
2	BASES FENOMENOLÓGICAS SOBRE A INTEGRAÇÃO BICICLETA-ÔNIBUS EM FORTALEZA	18
2.1	O uso integrado de bicicletas com o transporte público	18
2.2	Contextualização do fenômeno da integração bicicleta-ônibus em Fortaleza	24
2.3	Estudos anteriores sobre os fatores determinantes na escolha pela integração bicicleta-transporte público	40
2.4	Hipóteses de Estudo	46
3	A MODELAGEM COMPORTAMENTAL DA ESCOLHA DOS INDÍVIDUOS POR INTEGRAÇÃO BICICLETA-ÔNIBUS	47
3.1	A abordagem comportamental	47
3.2	Tipos de dados a serem utilizados	49
3.3	A construção de modelos de escolha discreta	50
4	PROPOSTA METODOLÓGICA DE MODELAGEM DA ESCOLHA POR INTEGRAÇÃO BICICLETA-ÔNIBUS	60
4.1	Considerações Iniciais	60
4.2	Contextualização do fenômeno da integração bicicleta-ônibus em Fortaleza	64
4.3	Formulação ou Especificação <i>a priori</i>	65
4.4	Projeto de Experimento	73
4.5	Preparação das Pesquisas de Campo	77
4.6	Realização de Pesquisa-Piloto e Correções na Pesquisa	79
4.7	Coleta de dados principal e Calibração	79
4.8	Validação	82
4.9	Análise do comportamento de escolha dos usuários por meio dos modelos calibrados	83
5	ELABORAÇÃO DO EXPERIMENTO E COLETA DOS DADOS DE PREFERÊNCIA DECLARADA	84
5.1	Projeto de Experimento	84

5.2	Preparação das pesquisas de campo.....	87
5.3	Realização de Pesquisa-Piloto.....	89
5.4	Avaliação dos resultados da pesquisa piloto	91
5.5	Correções realizadas na Pesquisa de Preferência Declarada.....	102
5.6	Coleta de dados principal	103
6	ANÁLISE DOS FATORES QUE INFLUENCIAM NA ESCOLHA PELA VIAGEM INTEGRADA BICICLETA-ÔNIBUS	111
6.1	Calibração do modelo “global”	111
6.2	Investigação das hipóteses de estudo	115
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	121
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124
	APÊNDICE A –PROJETOS DE EXPERIMENTO – PESQUISA PILOTO.....	128
	APÊNDICE B –PROJETO DE EXPERIMENTO – COLETA PRINCIPAL	129
	APÊNDICE C – FORMULÁRIOS DA PESQUISA PILOTO (EXPERIMENTO 1 – PONTA DO DOMICÍLIO)	130
	APÊNDICE D – FORMULÁRIOS DA PESQUISA PILOTO (EXPERIMENTO 2 – PONTA DA ATIVIDADE).....	133
	APÊNDICE E – FORMULÁRIO DA PESQUISA AUXILIAR – PONTA DA ATIVIDADE	136
	APÊNDICE F – FORMULÁRIO DA PESQUISA PRINCIPAL – PONTA DO DOMICÍLIO	137

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Os grandes centros urbanos brasileiros são marcados pela existência de um mecanismo de criação de assentamentos precários no país, nos quais, em sua maioria, a população não tem acesso aos serviços essenciais. As cidades tornam-se palco das contradições econômicas, sociais e políticas e o seu sistema viário, um espaço em permanente disputa entre os diversos modos que o demandam. Instala-se, assim, uma crise de mobilidade devido ao atual modelo de circulação centrado nos automóveis e à crise nos sistemas de transporte coletivo, que se traduzem em longos congestionamentos e elevado tempo gasto pelo cidadão no sistema de transporte coletivo (BOARETO, 2003).

Além disso, o paradigma atual considera que a cidade pode continuamente se expandir, resultando em uma pressão sobre áreas de preservação para dar suporte ao atual modelo de mobilidade, cujos efeitos negativos e custos de circulação são socializados: poluição, perda do espaço urbano, iniquidade de acesso e uso inadequado dos recursos energéticos (BOARETO, 2003; SOUSA, 2012).

Reconhecendo a função pública da mobilidade em garantir a acessibilidade para todos e agregando preocupações de sustentabilidade ecológica, Boareto (2003) apresenta o conceito de mobilidade urbana sustentável, definida como a combinação de políticas de transporte e circulação com o objetivo de proporcionar o acesso amplo e democrático ao espaço urbano, por meio da priorização dos modos não motorizados e coletivos de transportes, de maneira efetiva, inclusiva e ecologicamente sustentável, centrando-se nas pessoas e não nos veículos.

A inclusão da bicicleta nos deslocamentos urbanos vai ao encontro desses anseios. Trata-se de uma alternativa não poluente, silenciosa e econômica que se configura como um meio de transporte rápido e eficiente nos trajetos urbanos curtos e que garante uma melhor acessibilidade à população (SILVEIRA, 2010). Do ponto de vista da equidade social, o uso da bicicleta é desejável dado o seu baixo custo de aquisição (PUCHER; BUEHLER, 2008) ou de locação, notadamente em cidades que possuem sistemas de compartilhamento de bicicleta.

Zhao e Li (2017) distinguem duas possibilidades de utilização da bicicleta em trajetos urbanos: (i) como modo único da viagem e (ii) de forma integrada a outros modos, como ônibus, metrô e trem. Segundo Martens (2004), o interesse no fenômeno da integração

bicicleta-transporte público reside na possibilidade de sanar um dos problemas-chave do transporte público: a acessibilidade das estações e paradas, visto que a bicicleta é consideravelmente mais rápida que a caminhada, aumentando os raios de abrangência dos pontos de parada. Krizek e Stonebraker (2010) sugerem, ainda, que esse uso de bicicleta pode aumentar a eficiência do transporte público por reduzir a necessidade de um serviço “alimentador” ao transporte público de alta capacidade. Para o Ministério das Cidades (2007), aproximar a bicicleta dos terminais e locais de grande demanda de passageiros de transporte coletivo é permitir a valorização desses modos e a ampliação do raio de ação dos ciclistas nas cidades e espaços regionais.

Apesar da existência de políticas públicas nesse sentido, como a Política Nacional de Mobilidade Urbana, a utilização da bicicleta de forma integrada a sistemas de transporte público ainda ocorre de forma reduzida nos centros urbanos brasileiros. Além de empecilhos de ordem política e cultural, a implantação de ações que favoreçam tal tipo de integração esbarra, ainda, em limitações de ordem técnica, pois pouco se conhece sobre o fenômeno, as características da demanda e os seus potenciais usuários.

A cidade de Fortaleza tem recebido destaque na implantação de medidas de incentivo ao uso da bicicleta e, em especial, da integração bicicleta-ônibus. Segundo dados da Prefeitura Municipal de Fortaleza (2017), o comprimento total de ciclovias e ciclofaixas passou de 68 km em 2013 para mais de 200 km em 2017. Além disso, desde 2014 opera o Bicycler, um sistema tradicional de compartilhamento de bicicletas que conta com estações próximas aos pontos e terminais de ônibus. Há, ainda, um sistema paralelo, o Bicicleta Integrada, que é focado na integração ônibus-bicicleta, e dá ao usuário a possibilidade de permanecer com a bicicleta alugada durante uma maior duração.

1.2 Problema de pesquisa

As cidades onde se evidencia grande desigualdade social e diferenciação de renda tendem a apresentar uma estrutura onde os empregos ou novos postos de trabalho gerados geralmente vão tender a se localizar mais próximos e acessíveis à população de alta renda, distanciando-se dos mais pobres, situação essa que é impulsionada pela concentração de investimentos em áreas mais rentáveis, ou nobres (RIBEIRO; SILVEIRA; VIANA, 2007). Essa estrutura impacta na acessibilidade do segmento social mais pobre, principalmente em relação ao emprego e à renda.

A problemática da acessibilidade em Fortaleza vem sendo abordada em diversos estudos, como os de Lima (2017), Andrade (2016) e Henrique (2004). Ao estudar a problemática da periferação por segregação involuntária, Andrade (2016) caracterizou a distribuição espacial da acessibilidade aos postos de trabalho, mostrando que há um agravamento dos índices de acessibilidade nas regiões periféricas da cidade, principalmente quando se refere ao uso do transporte público. Como essas regiões agregam a maior parcela da população de baixa renda, evidencia-se uma problemática que se coloca como central em Fortaleza, por afetar um estrato da população já desfavorecido economicamente, e que depende, em grande parte, da utilização dos transportes coletivos.

Diante do exposto, a população de baixa renda se configura como foco central dos esforços de compreensão do fenômeno da integração da bicicleta com o transporte público, cujo problema motivador é, portanto, os baixos níveis de acessibilidade da população de baixa renda às atividades em Fortaleza.

1.3 Questões Motivadoras

O fenômeno da integração bicicleta-transporte público é relativamente novo, e vem recebendo a atenção crescente da comunidade científica, porém ainda são poucos os estudos voltados à sua compreensão (KAGER et al., 2016; KRIZEK; STONEBRAKER, 2010; ZHAO; LI, 2017). Krizek e Stonebraker (2010) reconhecem, ainda, que o fenômeno varia entre realidades distintas, indicando a necessidade de estudos de caráter mais local para melhor compreendê-lo e propor soluções adequadas aos desafios de mobilidade urbana locais. Nesse sentido, a escassez de estudos voltados à realidade brasileira e, em especial, à realidade de Fortaleza, limita a compreensão do fenômeno e dificulta a implantação de medidas eficazes no intuito de favorecer o modo cicloviário integrado ao sistema de transporte público.

A partir do problema definido, e tendo em vista os aspectos acima apresentados, surgem as seguintes questões motivadoras:

- a) qual é o estado de compreensão atual sobre o fenômeno da integração bicicleta-ônibus em Fortaleza?
- b) como construir um modelo adequado para representar o fenômeno da integração bicicleta-ônibus em Fortaleza?
- c) quais os fatores que influenciam na escolha por acesso/difusão ao sistema de ônibus com uso de bicicletas em Fortaleza?

- d) quais as diferenças de percepção dos fatores entre grupos de diversos perfis socioeconômicos?
- e) quais as diferenças de comportamento dos usuários entre viagens na ponta do domicílio ou na ponta da atividade?

1.4 Objetivos

Face ao problema definido e a partir das questões motivadoras apresentadas na seção anterior, essa Monografia tem como objetivo geral modelar o comportamento dos usuários do sistema de transporte público urbano na escolha por integração bicicleta-ônibus na cidade de Fortaleza. Os objetivos específicos são:

- a) contextualizar a integração bicicleta-ônibus em Fortaleza, partindo do estado de compreensão atual da comunidade acadêmica sobre o fenômeno a ser estudado;
- b) discutir as abordagens de modelagem utilizadas pela comunidade científica no estudo de fenômenos semelhantes ao de interesse no presente estudo;
- c) formular modelos que permitam representar o comportamento de escolha na integração bicicleta-ônibus em Fortaleza;
- d) planejar e realizar uma coleta de dados que seja compatível com o modelo formulado;
- e) calibrar modelos que expliquem adequadamente o comportamento de escolha dos usuários na integração bicicleta-ônibus;
- f) analisar os fatores que influem na escolha pelo uso integrado da bicicleta com o ônibus em Fortaleza;
- g) comparar o comportamento de escolha na integração entre usuários de diferentes perfis;
- h) avaliar as possíveis diferenças no comportamento de escolha em situações de integração distintas;

1.5 Estrutura da Monografia

O capítulo 1 tem caráter introdutório, contextualizando a problemática de interesse para o presente trabalho, as questões motivadoras e os objetivos geral e específicos a serem alcançados.

O capítulo 2 tem como objetivo situar o leitor quanto à compreensão preliminar sobre o fenômeno da integração bicicleta-transporte público em Fortaleza. Inicia-se a discussão

trazendo-se uma revisão da literatura, onde são definidas as modalidades de integração e algumas questões operacionais dessa integração. Partindo da perspectiva apresentada, é feita uma contextualização acerca do fenômeno na cidade de Fortaleza. Por fim, realiza-se um levantamento dos fatores identificados pela comunidade científica como determinantes para a integração, o que culmina na definição de hipóteses de estudo a serem investigadas.

O capítulo 3 volta-se ao ferramental a ser utilizado, introduzindo os modelos de escolha discreta, e apresentando uma discussão sobre a construção dos mesmos, voltando-se para as diversas etapas envolvidas no processo de modelagem. A partir do ferramental escolhido e do fenômeno estudado, é feita uma discussão acerca das estratégias de modelagem já utilizadas em aplicações semelhantes, subsidiando o método de modelagem a ser proposto.

O capítulo 4 reúne, de um lado, as discussões acerca do fenômeno (capítulo 2) e, de outro, as reflexões em torno do ferramental de modelagem (capítulo 3), a fim de apresentar uma proposta de método de modelagem comportamental da escolha por integração bicicleta-ônibus adequada ao contexto da cidade de Fortaleza.

No capítulo 5, apresenta-se os resultados de aplicação do método proposto para as etapas que compreendem desde o projeto de experimento até a realização da coleta de dados principal. As discussões desse capítulo culminam, assim, na descrição da amostra coletada, caracterizando-se o perfil dos usuários entrevistados e das viagens realizadas por eles.

No capítulo 6, é feita a análise dos fatores que influenciam na escolha da bicicleta como modo integrado ao ônibus, partindo-se das hipóteses levantadas no capítulo 2. Reconhecendo a importância da calibração no processo de aprendizado sobre o fenômeno, são estimados e discutidos modelos de Escolha Discreta que permitem avaliar o comportamento de escolha de usuários de diferentes perfis e em diferentes situações de escolha.

Por fim, o capítulo 7 apresenta uma síntese das conclusões obtidas com a realização do presente trabalho, discutindo, por fim, recomendações para trabalhos futuros.

2 BASES FENOMENOLÓGICAS SOBRE A INTEGRAÇÃO BICICLETA-ÔNIBUS EM FORTALEZA

Esse capítulo visa contextualizar a integração bicicleta-ônibus em Fortaleza, buscando fornecer uma compreensão fenomenológica preliminar que servirá de base para a proposta metodológica a ser desenvolvida posteriormente.

Para tal, será apresentado, inicialmente, o estado de compreensão atual sobre a integração bicicleta-transporte público com base em uma revisão bibliográfica. Partindo dessa perspectiva, busca-se contextualizar o fenômeno a ser estudado na cidade de Fortaleza, considerando os subsistemas que o compõem. Em seguida, apresenta-se um levantamento dos principais fatores identificados em pesquisas anteriores como determinantes na escolha pelo uso integrado da bicicleta com o transporte público, permitindo a estruturação, por fim, das hipóteses de estudo a serem investigadas.

2.1 O uso integrado de bicicletas com o transporte público

Segundo Meyer e Miller (2013), um sistema pode ser definido como um grupo de componentes interdependentes e inter-relacionados que formam um todo unificado, visando servir a um propósito por meio de suas partes constituintes que interagem. Partindo desse conceito, Kager et al. (2016) se propõem a analisar o uso combinado de bicicletas e transporte público como um modo de transporte distinto que compõe o sistema de transportes, denominado *bicycle-transit* pelos autores. Para o novo modo de transporte proposto, distinguem-se três segmentos de uma viagem encadeada:

- a) **viagem de acesso:** entre a origem e a estação de acesso ao transporte público, realizada por bicicleta, por uma linha de transporte público alimentadora ou a pé;
- b) **viagem principal:** entre a estação de acesso e a estação de difusão, realizada por meio de um serviço de transporte público de alta velocidade e alta capacidade;
- c) **viagem de difusão:** entre a estação de difusão e o destino final, realizada com uso de bicicleta, transporte público alimentador ou a pé;

Combinando elementos de oferta de ambos os modos, o *bicycle-transit* reúne duas modalidades distintas de transporte público: o transporte público de alta capacidade e o transporte público alimentador. De um lado, os sistemas de alta capacidade apresentam

características que a bicicleta não consegue oferecer, como rapidez, conforto e raio de alcance, motivo pelo qual eles serão utilizados no segmento principal da viagem. De outro lado, o sistema alimentador carece de características vantajosas e complementares em relação ao modo cicloviário do ponto de vista do ciclista, de forma que sua utilização em viagens de acesso/difusão pode vir a ser substituída pelo uso da bicicleta.

Para ser considerada uma viagem integrada bicicleta-transporte público, deve haver utilização de bicicleta em acesso ou difusão, mas não necessariamente nos dois trechos. Krizek e Stonebraker (2010) distinguem diversas modalidades de integração entre a bicicleta e o transporte público:

- a) estacionando a própria bicicleta próximo à estação de acesso por meio do uso de bicicletários, paraciclos, “bicycle lockers” (espécie de gaiola que isola a bicicleta), ou mesmo em locais improvisados, como grades, árvores ou placas de trânsito (Figura 1);

Figura 1 – Bicycle lockers nos EUA e bicicletário em estação de metrô no Rio de Janeiro



Fonte: www.trimet.org e SILVEIRA (2010).

- b) utilizando um sistema de bicicletas compartilhadas (Figura 2) localizado próximo à estação de transporte público, tanto para acesso quanto para difusão. Essa modalidade tende a ocorrer em regiões mais adensadas, com grande concentração de serviços e comércio (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS, 2007);

Figura 2 – Bicicletar, sistema de compartilhamento de bicicletas em Fortaleza – CE



Fonte: SERTTEL, 2018.

- c) levando a bicicleta junto ao veículo de transporte público, o que pode ser realizado por meio de um rack na dianteira dos ônibus, ou ingressando com a bicicleta dentro dos ônibus ou dentro dos vagões dos trens (Figura 3). Segundo Pezzuto e Sanches (2003), essa forma de integração tem a vantagem de permitir o uso da bicicleta tanto na ponta do domicílio quanto na ponta da atividade. Existem, no entanto, restrições de capacidade em termos de espaço e de disponibilidade, visto que os racks e veículos têm limites de acomodação de bicicletas e que, em muitos sistemas de transporte público, o ingresso com bicicletas só é possível fora do horário de pico;

Figura 3 – Exemplos de transporte das bicicletas juntamente ao transporte público



Fonte: Toole Design Group in TCRP Synthesis of Transit Practice e www.citycycle.com.

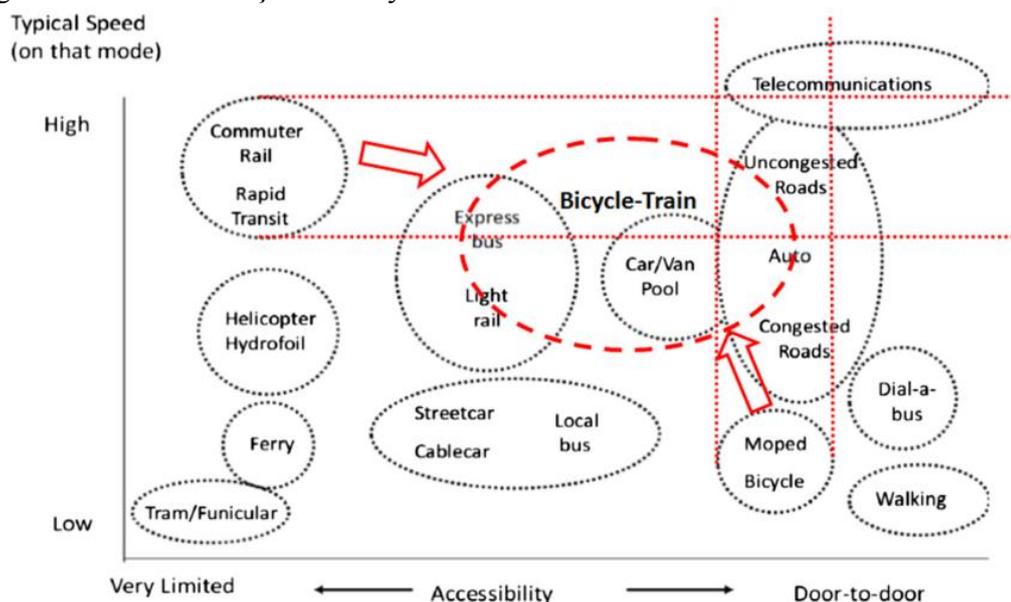
- d) utilizando duas bicicletas próprias distintas, uma no segmento de acesso e outra no segmento de difusão.

Kager et al (2016) discutem que há uma sinergia nessa integração modal, que agrega aspectos contrastantes, mas complementares, de ambos os modos, quando analisados individualmente. Primeiramente, a bicicleta é um modo de transporte altamente individualizado, que permite liberdade de horário de partida, escolha de rota e paradas intermediárias, enquanto o transporte público é submetido aos desenhos da rede e à forma de operação pré-definida. Além disso, enquanto as bicicletas são adequadas para a realização de viagens mais curtas, o transporte coletivo possibilita viagens de média e longa distâncias (PEZZUTO; SANCHES, 2003).

Do ponto de vista da oferta, a infraestrutura cicloviária é barata para construir e manter, além de melhorar a qualidade do espaço público, ao passo que a infraestrutura do transporte público de alta capacidade envolve investimentos mais elevados, que só se justificam para fluxos de viagens maiores.

Outro aspecto fundamental da sinergia na integração modal bicicleta-transporte público é descrita em termos de mobilidade e acessibilidade. Ao passo em que a bicicleta aumenta substancialmente a acessibilidade porta-a-porta do sistema de transporte público, o transporte público (de alta capacidade) promove um aumento considerável na velocidade e no alcance desse modo combinado. A combinação dessas características complementares dá a esse modo um caráter único, tornando-se um modo potencialmente competitivo com as características do transporte motorizado individual, como ilustra a figura a seguir.

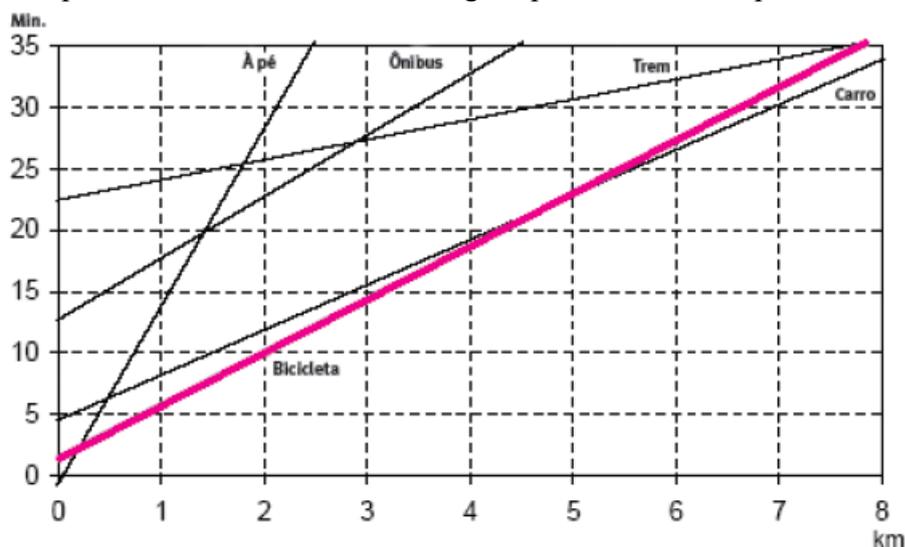
Figura 4 – Caracterização do bicycle-transit em termos de acessibilidade e velocidade



Fonte: Kager et al. (2016).

Um fator importante que favorece o uso da bicicleta no acesso e na difusão é a velocidade da bicicleta em relação aos demais modos concorrentes, em áreas urbanas (Figura 5). A bicicleta é um transporte mais veloz para distâncias inferiores a 5 km em áreas urbanas (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS, 2007), só perdendo para a caminhada em distâncias muito curtas.

Figura 5 – Comparativo de velocidades das viagens por meio de transporte em áreas urbanas



Fonte: ANTP (2007).

Além de competitivo, o *bicycle-transit* é importante da perspectiva da justiça social, já que promove um serviço com boa qualidade para pessoas que não tem acesso ao automóvel. O *bicycle-transit* aumenta, ainda, a acessibilidade dos usuários ao sistema, por aumentar a área de abrangência das estações de transporte público (Krizek e Stonebraker, 2010). Nesse sentido, a integração pode fortalecer a rentabilidade do sistema de transporte público, já que o aumento no raio de alcance das estações pode atrair um novo contingente de usuários que antes não tinha acesso ao sistema. Por fim, a competitividade adicional do *bicycle-transit* poderia vir a atrair um grupo adicional de usuários, que deixaria de utilizar o automóvel, por exemplo.

A relação bicicleta - transporte público deve ser vista, portanto, como de complementaridade e não de substituição, sobretudo a longo prazo. Nesse sentido, Singleton e Clifton (2014) defendem a ideia de que a sinergia entre tais modos ocorre de maneira mais ampla que simplesmente no fenômeno da integração, sendo possível que um fortalecimento na utilização do transporte público se traduza, a longo prazo, em uma maior tendência de utilização das bicicletas, e vice-versa.

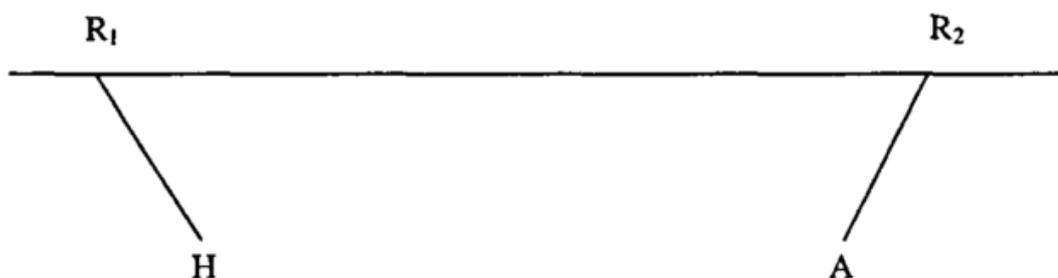
Um estudo do Transportation Research Board (2005) aponta, ainda, que além das questões acima, diversas agências de transporte público têm incentivado o uso integrado de

bicicletas a fim de promover um estilo de vida mais saudável, a redução da poluição, melhora da visibilidade do uso da bicicleta, melhora da imagem pública dos sistemas de transporte coletivo e, por fim, prover uma alternativa aos ciclistas que necessitam atravessar barreiras como pontes, aclives acentuados e condições de tempo adversas.

2.1.1 Os desafios operacionais da integração bicicleta-transporte público

Apesar de vantajoso, o uso integrado da bicicleta-transporte público possui aspectos operacionais desafiadores que merecem destaque, conforme descrito por Keijer e Rietveld (2000). O primeiro aspecto são os inconvenientes inerentes ao transporte integrado. Uma desvantagem se refere à realização de desvios ao caminho direto entre um par origem-destino. A figura abaixo ilustra essa questão, onde a viagem entre um domicílio H e um destino A, passando por pontos de parada R_1 e R_2 implica em uma distância percorrida substancialmente maior que a distância direta entre H e A. Três fatores estão diretamente ligados a esse problema: a densidade da rede de transporte público, a densidade de estações e o traçado das linhas. Fica evidente, nesse sentido, que o problema tende a se agravar em sistemas de trem suburbano ou regional, onde a densidade de estações é bastante inferior do que em sistemas de ônibus urbano ou metrô.

Figura 6 – O problema dos desvios em viagens multimodais de transporte público



Fonte: Keijer e Rietveld (2000).

Outra desvantagem refere-se à espera nos pontos de parada ou estações. Por um lado, em sistemas de transporte público com alta frequência, os tempos de espera são quase negligenciáveis e o usuário pouco precisa se adaptar à forma como o transporte público opera. Por outro lado, em sistemas com baixa frequência há uma tendência de maiores tempos de espera e a necessidade de *reprogramações*, que ocorrem quando a duração das atividades tem que se adequar às limitações impostas pela operação do sistema de transporte público. É o caso, por exemplo, de usuários que podem acabar sendo levados a chegar à atividade com maior antecedência do que o desejado (pois precisam escolher, por exemplo, entre chegar 45 minutos mais cedo ou 15 minutos em atraso). Haveria, assim, um tempo “perdido” entre o final da

viagem e o início da atividade.

Quanto às desvantagens apontadas, Keijer e Rietveld (2000) concluem que as cadeias integradas são especialmente atrativas quando sistemas de alta frequência estão disponíveis e quando os tempos de viagem são maiores, o que permitiria superar o problema dos desvios e dos tempos “perdidos” em espera. Isso vai ao encontro da proposta de Kager et al (2016) de considerar que o *bicycle-transit*, como modo distinto, só pode ocorrer quando a viagem principal ocorre por meio de um sistema de transporte público de alta capacidade, o que daria características a esse modo integrado únicas de competitividade, por exemplo.

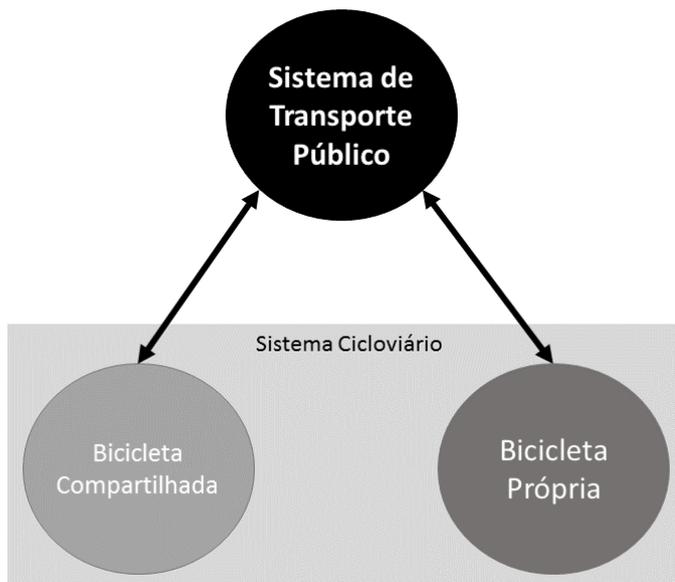
Outro aspecto operacional que merece destaque é o problema que surge quando se utilizam meios privados de acesso ao transporte público, como o carro ou a bicicleta. Nesses casos, há uma assimetria: geralmente esses modos só estão disponíveis no extremo domiciliar da cadeia de viagens, enquanto que, no extremo da atividade, suas disponibilidades são limitadas. No extremo da atividade, o uso da bicicleta própria só é possível caso ela seja embarcada no veículo de transporte público, ou caso haja uma segunda bicicleta, exclusiva para esse segmento da viagem. Essas alternativas possuem limitações de disponibilidade ou de custos, o que evidencia que, nesse tipo de viagem multimodal encadeada, o extremo da atividade é geralmente o maior desafio. Nele, o usuário pode ser levado a abrir mão da bicicleta para utilizar meios como a caminhada ou mesmo uma linha de transporte público alimentadora.

2.2 Contextualização do fenômeno da integração bicicleta-ônibus em Fortaleza

Para contextualizar o uso integrado da bicicleta com o ônibus em Fortaleza, partir-se-á da visão apresentada na seção anterior, que assimila o fenômeno a um modo distinto de viagem. Essa visão é adotada nesse momento visando favorecer a contextualização a ser feita para Fortaleza e as discussões com base nos conceitos levantados anteriormente, porém não deve ser encarada como premissa de modelagem, o que será discutido com mais detalhes posteriormente.

Assim sendo, o modo bicicleta-transporte público em Fortaleza é constituído dos seguintes elementos (Figura 7): o sistema de transporte público e o sistema ciclovitário, que se subdivide em um sistema de bicicletas compartilhadas e o sistema de bicicleta própria. Esse modelo conceitual reconhece a existência, assim, de elementos comuns entre as duas modalidades de uso da bicicleta, em termos de elementos como velocidades de percurso, conforto, segurança, etc.

Figura 7 – Subsistemas do modo bicicleta-transporte público em Fortaleza



Fonte: Autor.

Quanto ao sistema de transporte público em Fortaleza, no contexto da problemática definida, ele se desdobra em dois subsistemas: ônibus urbanos e metrô/trem. Essa interpretação exclui, portanto, as linhas de transporte intermunicipal e metropolitano, pois a área de estudo envolve apenas o município de Fortaleza. Vale destacar, ainda, que o presente trabalho tem seus objetivos delineados apenas em torno do sistema de ônibus urbanos, que é utilizado na grande maioria dos deslocamentos por transporte coletivo na cidade.

A seguir, é feita uma contextualização de cada um dos subsistemas considerados no presente trabalho.

2.2.1 Sistema Integrado de Transporte Coletivo (SITFOR)

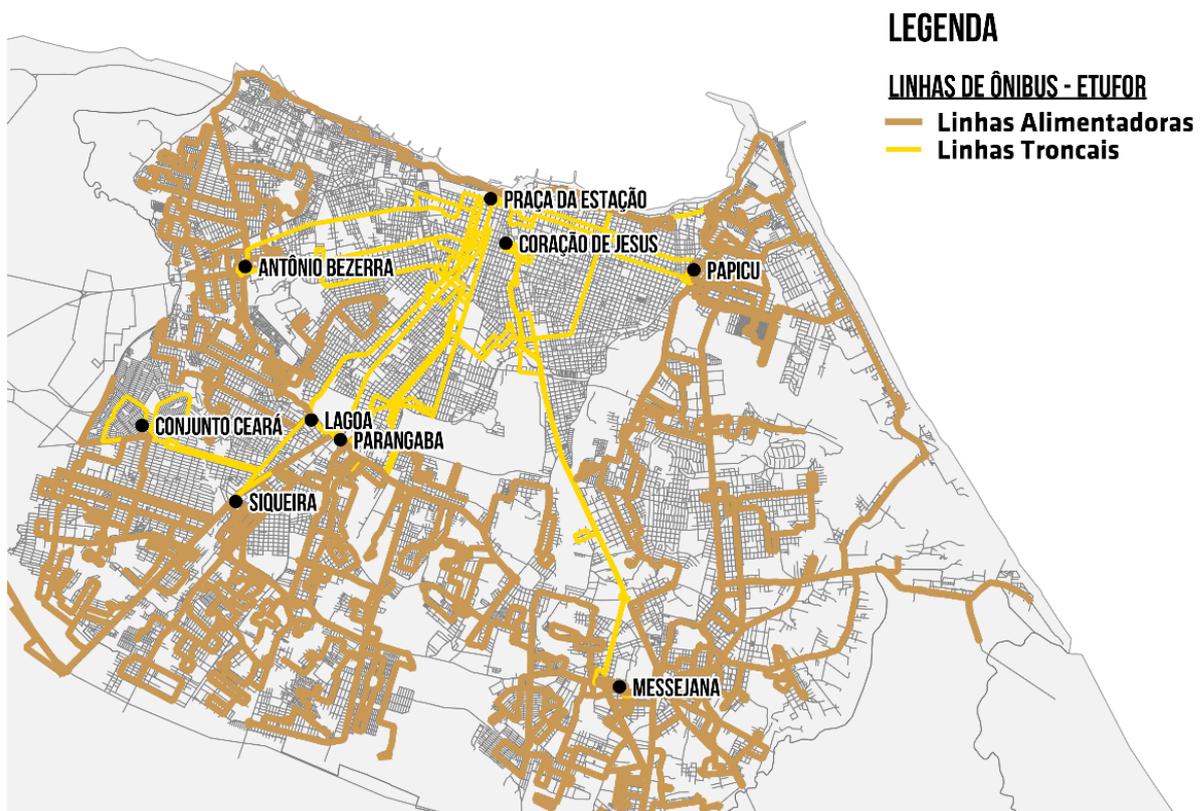
Segundo a Prefeitura Municipal de Fortaleza (2010), o SITFOR é o Sistema Integrado de Transportes de Fortaleza, que compreende o transporte por ônibus com integração física, temporal e tarifária. O sistema entrou em operação em 1992 com fins de proporcionar o deslocamento através da integração tarifária e física em terminais de integração, sendo gerido pela Empresa de Transporte Urbano de Fortaleza (ETUFOR).

Atualmente, o SITFOR conta com a existência do Bilhete Único, um cartão de crédito pré-pago para o transporte coletivo. Por meio deste, a integração temporal foi universalizada, sendo possível embarcar sem limitações nos ônibus do sistema em um período de duas horas, pagando apenas uma passagem. Dessa forma, os usuários não se encontram mais obrigados a passar por um terminal para realizar o transbordo de forma gratuita.

A rede de linhas do SITFOR baseia-se numa configuração de sistema tronco-

alimentada contando com dois tipos principais de linha: as que fazem a integração bairro-terminal (linhas alimentadoras) e as que coletam essa demanda levando-a até a região central da cidade (linhas troncais). Atualmente, Fortaleza possui sete terminais fechados integrados e dois terminais abertos (Praça da Estação e Coração de Jesus). Enquanto os terminais fechados coletam a demanda das regiões periféricas, os terminais abertos se localizam na área central, operando principalmente com as linhas troncais (Figura 8).

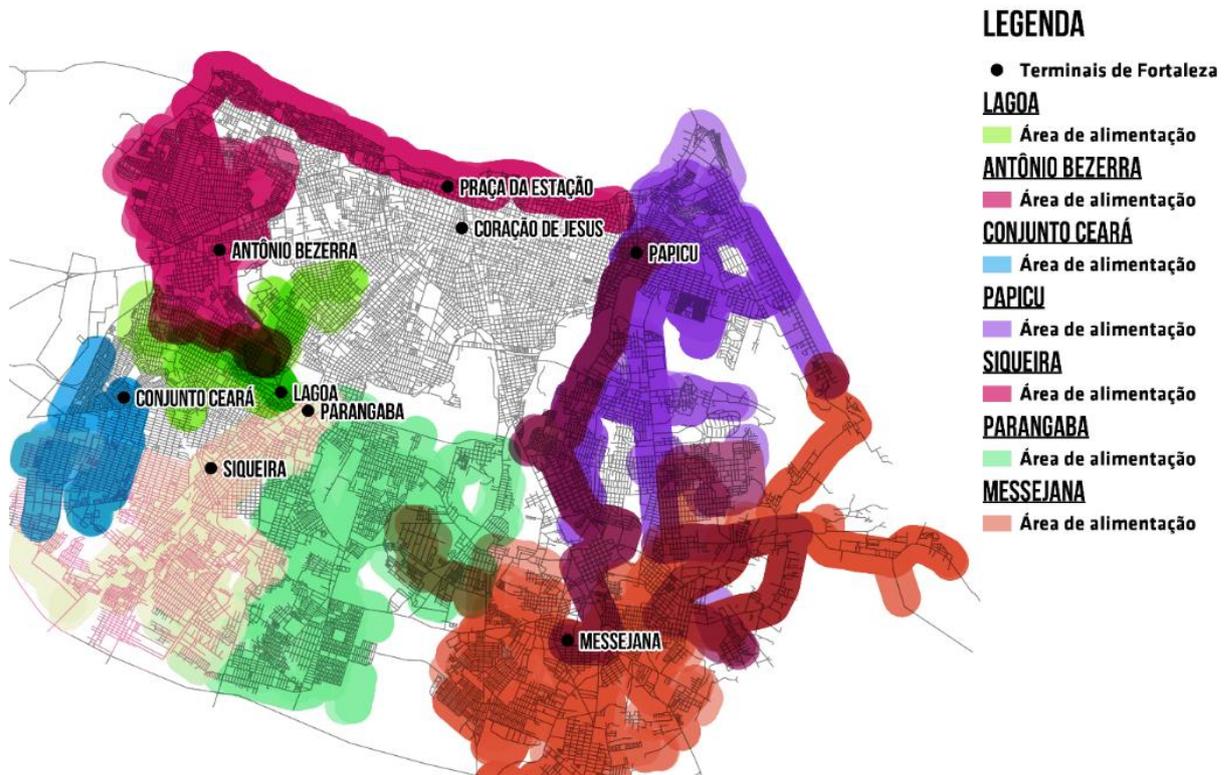
Figura 8 – Disposição espacial dos terminais de integração e das linhas alimentadoras e troncais do SITFOR.



Fonte: Autor.

As linhas alimentadoras possuem grande capilaridade, ou seja, uma disposição espacial dos itinerários que tornam reduzidas as distâncias dos domicílios até os pontos de parada. Essas linhas coletam a demanda localizada majoritariamente nas periferias da cidade e a encaminha em direção aos terminais. Nesse sentido, é possível avaliar a área de influência para cada terminal, que é apresentada na Figura 9 para um *buffer* de 500 metros. Percebe-se que os terminais com maiores áreas de influência são: o terminal da Messejana, que atende à região sudeste da cidade e o terminal da Parangaba, que atende às periferias localizadas ao sul da cidade. É possível identificar, ainda, zonas na cidade que são atendidas por múltiplos terminais, o que torna mais flexível a escolha de rota para os usuários nesses locais.

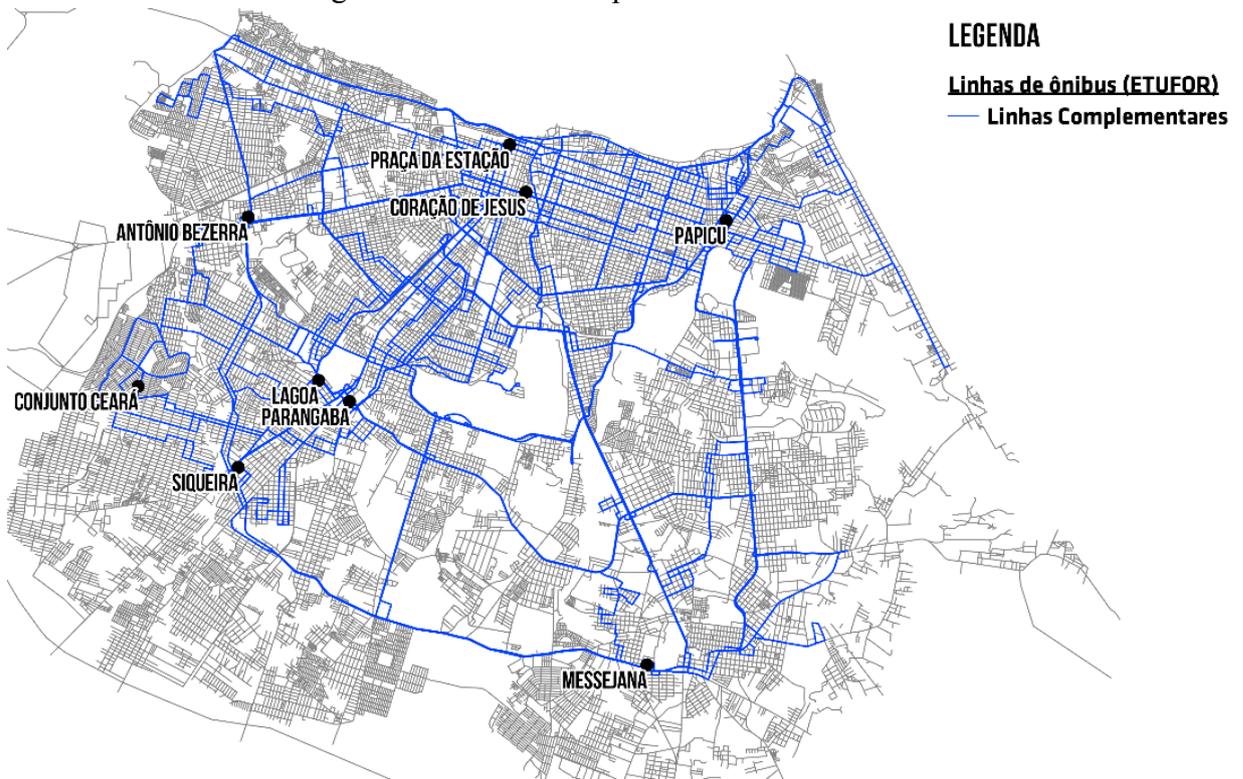
Figura 9 – Áreas de influência de alimentação dos Terminais em Fortaleza



Fonte: Autor.

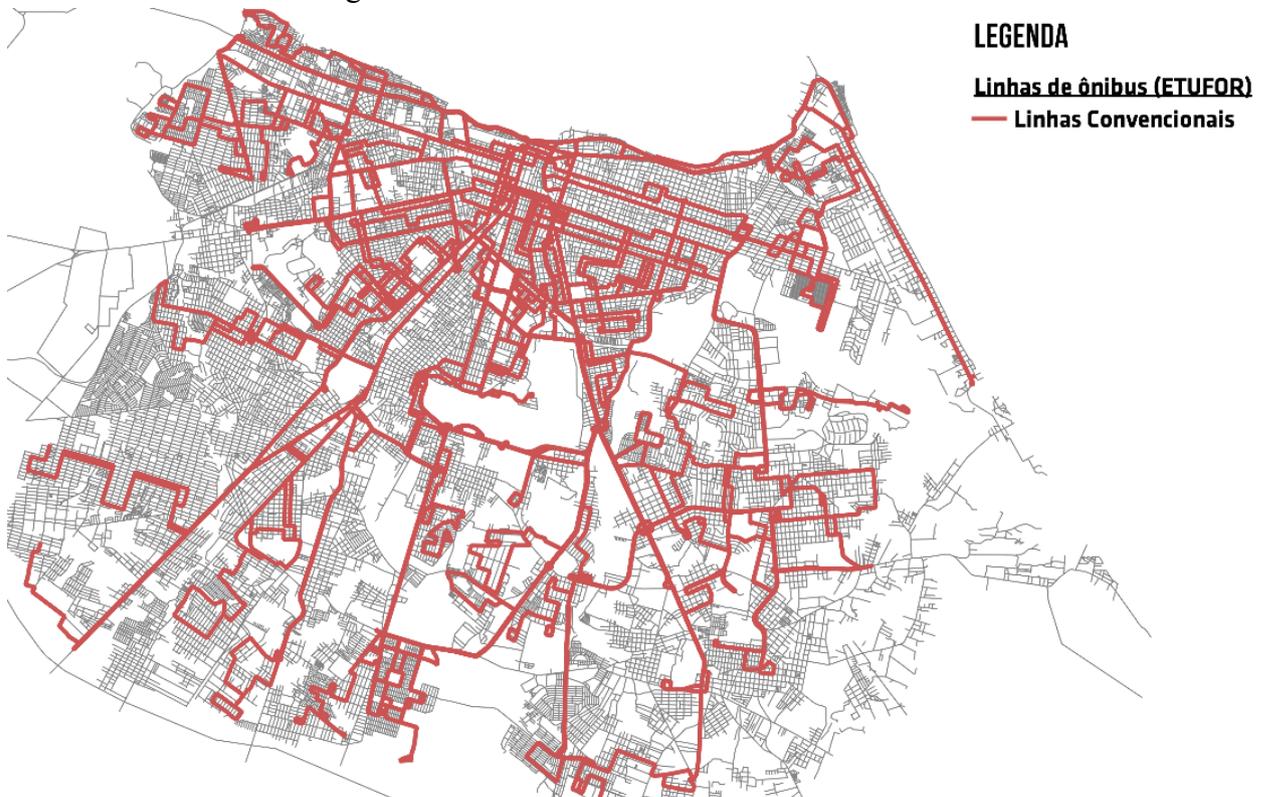
Além das linhas alimentadoras e troncais, o sistema conta com outros tipos de linha: as **linhas complementares** (Figura 10), que fazem a ligação direta de bairros mais distantes aos terminais; as **linhas convencionais** (Figura 11), responsáveis por ligar diretamente os bairros ao centro, sem passar pelos terminais; as **linhas circulares**, que ligam diversos terminais passando pelos bairros, evitando o tráfego das regiões centrais; e as **linhas corujões**, cuja operação ocorre na madrugada.

Figura 10 – Linhas complementares do SITFOR



Fonte: Autor.

Figura 11 – Linhas convencionais do SITFOR



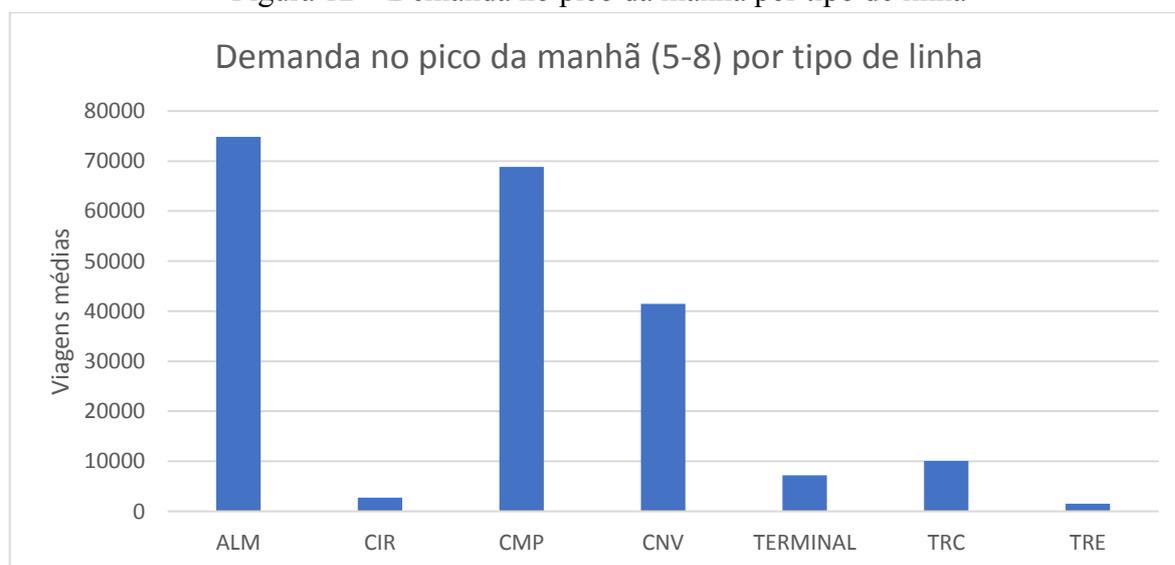
Fonte: Autor.

Para os usuários das regiões periféricas, deve-se considerar, assim, uma possibilidade adicional de deslocamento à região central. Ela se dá por meio das linhas convencionais, que evitam o transbordo nos terminais, e cuja estrutura radial é consideravelmente menos densa nas periferias que a das linhas alimentadoras, tendo uma menor cobertura nessas regiões. Uma certa parcela de usuários, no entanto, seria servida tanto por linhas alimentadoras quanto por linhas convencionais, podendo haver certa competição entre esses tipos de linha.

Por outro lado, as linhas complementares têm funções semelhantes às das linhas troncais, ao conduzirem a demanda dos terminais de integração à área central, porém sua estrutura apresenta uma maior área de abrangência, servindo bairros como Meireles e Aldeota. Além disso, por passarem por eixos importantes da cidade, como a BR-116, a av. Washington Soares e a av. Bezerra de Menezes, pode haver coleta de demanda ao longo desses eixos, inclusive havendo integrações entre essas linhas e linhas alimentadoras.

Os dados de bilhetagem eletrônica referentes ao mês de maio de 2018 para o pico da manhã, mostrados no gráfico a seguir, revelam que 36% das validações se dá em linhas alimentadoras (ALM), 33% em linhas complementares (CMP) e apenas 20% ocorre em linhas convencionais (CNV). Há indícios, assim, de que, para os usuários das regiões periféricas, o embarque em linhas alimentadoras é mais frequente do que em linhas convencionais, apontando para a importância dos terminais de integração, mesmo com a existência do Bilhete Único que garantiria a integração temporal fora dessas instalações.

Figura 12 – Demanda no pico da manhã por tipo de linha

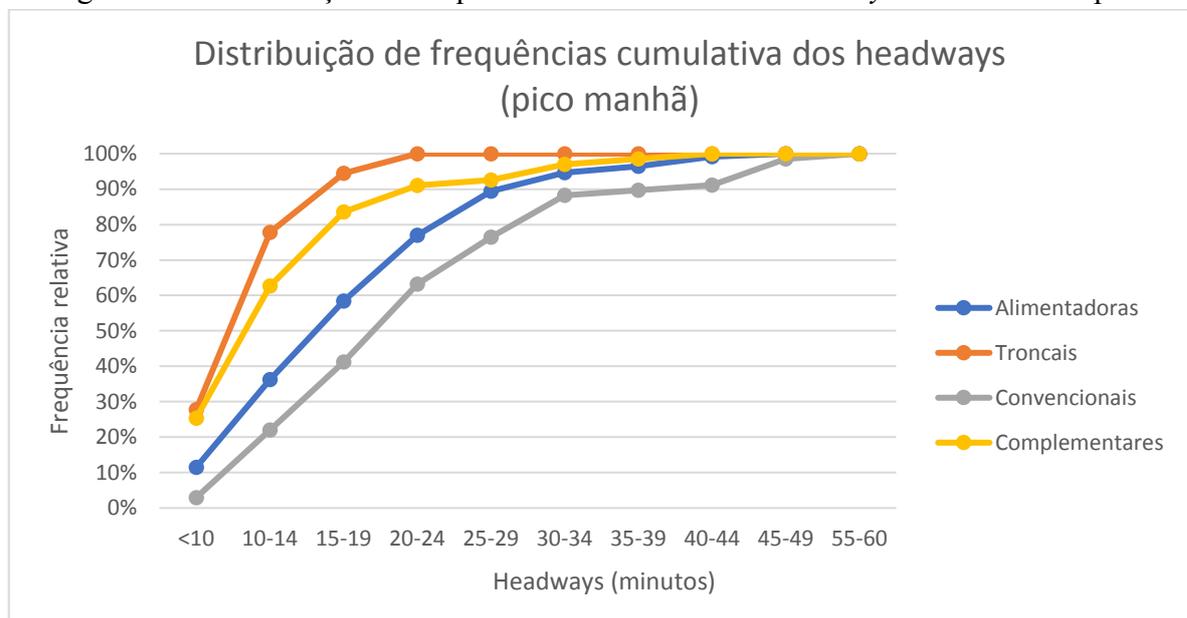


Fonte: Autor.

Vale ressaltar, ainda, que apenas 3,5% das validações no pico da manhã ocorrem pelas catracas dos terminais (acesso a pé). Sabendo-se da importância dos terminais no SITFOR, isso é um forte indício de que o acesso a essas instalações se dá prioritariamente através do ônibus.

Quanto à operação do SITFOR propriamente dita, os *headways* das linhas foram estimados com base nos horários de partida dos pontos de controle, obtidos juntamente à ETUFOR para um dia útil. Os resultados são apresentados na forma de uma distribuição de frequências cumulativa, mostrada a seguir.

Figura 13 – Distribuição de frequências cumulativa dos *headways* em horário de pico



Fonte: Autor.

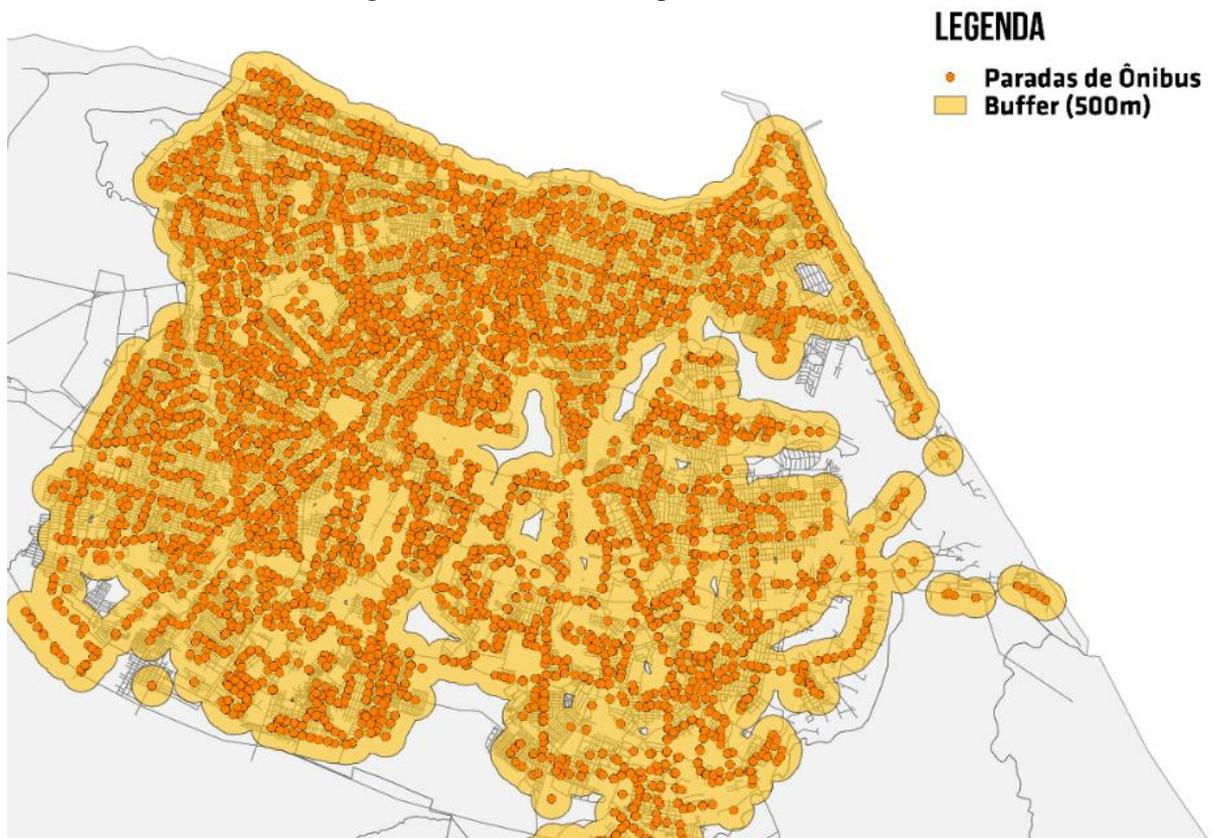
O gráfico acima revela que cerca de 36% das linhas alimentadoras operam com *headway* médio inferior a 15 minutos, no pico da manhã. Nas linhas convencionais, por sua vez, o percentual de linhas que operam com *headway* inferior a 15 minutos é de 22%, indicando que as linhas convencionais têm menor frequência de passagem, em média. Em ambos os casos, os elevados *headways* levam os usuários a enfrentar significativos tempos de espera nas paradas de ônibus. Além disso, para usuários da periferia servidos tanto por linhas convencionais quanto por linhas alimentadoras, é possível que a penalidade imposta pelo transbordo no terminal seja compensada pelo menor *headway* das linhas alimentadoras, o que poderia explicar a escolha pela utilização desse tipo de linha em detrimento das linhas convencionais.

Analisando as linhas troncais, os *headways* estimados são inferiores aos praticados nas linhas alimentadoras. De fato, 80% das linhas troncais tem *headways* de até 15 minutos, o que implica em uma redução dos tempos de espera. No contexto local, essas linhas poderiam

ser assimiladas ao segmento principal de viagem (definido no Capítulo 2), no qual operam linhas com maior capacidade e nível de serviço. As linhas complementares possuem menor frequência de passagem que as troncais, porém não necessariamente há concorrência entre esses dois tipos de linha, já que as troncais abrangem prioritariamente o bairro Centro, próximo aos terminais do Coração de Jesus e Praça da Estação.

A fim de avaliar a cobertura espacial do sistema, considerou-se uma distância de 500 metros em torno das paradas de ônibus, sugerida por Ferraz e Torres (2004). Segundo os autores, essa distância de caminhada atende a um padrão de qualidade regular, ou aceitável, do ponto de vista dos usuários. Na Figura 14, a seguir, é apresentado o mapa com uma banda de 500 metros em torno de cada ponto de parada.

Figura 14 – Cobertura espacial do SITFOR



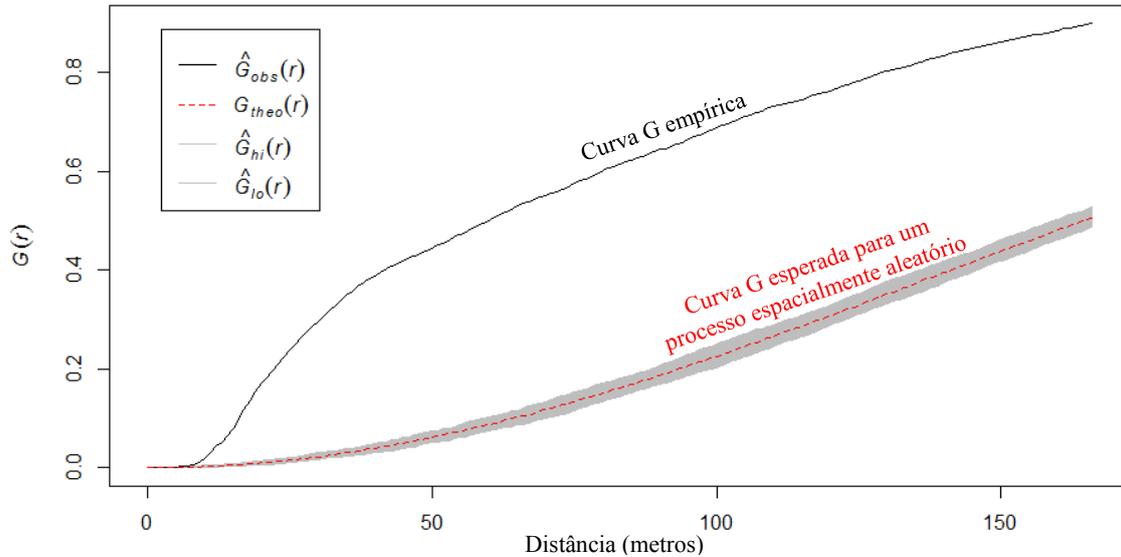
Fonte: Autor.

O mapa permite perceber que o SITFOR se caracteriza por uma elevada cobertura no território do município, mesmo nas regiões periféricas. É importante observar que grande parte dos vazios na cobertura correspondem a territórios não habitáveis, como o Parque do Cocó, a leste da cidade, e o Aeroporto, no centro geográfico. Assim, é possível afirmar que o SITFOR abrange a quase totalidade da população da cidade. Além disso, observa-se a alta mesoacessibilidade do sistema, que se traduz em reduzidas distâncias de caminhada para

acessá-lo.

Para analisar a distância entre paradas, utilizou-se a função G (Figura 15), também denominada de *vizinho mais próximo refinado*, e que consiste em uma distribuição de frequências acumulada das distâncias ao vizinho mais próximo (O’SULLIVAN; UNWIN, 2010).

Figura 15 – Função G dos pontos de parada em Fortaleza.



A função G mostrada na figura anterior revela que cerca de 80% dos pontos de parada estão a até 150 metros de distância do seu vizinho mais próximo, refletindo a elevada densidade de paradas do SITFOR. Esse valor reduzido da distância entre pontos de parada é um indicativo, no entanto, de que as linhas operam com distância curta entre paradas, o que pode ser um entrave à eficiência na medida em que as velocidades de percurso diminuem.

Por fim, algumas considerações devem ser feitas quanto à oferta por transporte público na área central da cidade, em particular. Como mostrado na figura a seguir, nessa região se observa uma elevada densidade de linhas de ônibus, que oferecem uma ampla cobertura aos usuários, sobretudo no bairro Centro, próximo aos terminais do Coração de Jesus e da Praça da Estação. Devido à elevada capilaridade de linhas, tendem a ser reduzidas as distâncias de caminhada no acesso/difusão até as atividades, e aumentam as possibilidades de escolha de linha a ser empregada.

Figura 16 – Linhas operantes na área central da cidade



Fonte: Autor.

2.2.2 Sistema ciclovitário

Em Fortaleza considera-se que o sistema ciclovitário se subdivide em um subsistema de bicicleta própria e um subsistema de bicicletas compartilhadas. Anteriormente à contextualização individual de cada um desses subsistemas, considerou-se necessário apresentar a infraestrutura ciclovitária existente na cidade, que impacta diretamente na utilização da bicicleta de maneira geral.

Em Fortaleza, o Plano Diretor Ciclovitário Integrado (PDCI), elaborado em 2015, reconhece as seguintes tipologias de infraestruturas ciclovitárias: ciclovias, ciclofaixas, ciclorotas e passeios compartilhados. As ciclovias são estruturas totalmente segregadas do tráfego motorizado, sendo a alternativa que apresenta maior nível de segurança e conforto para os ciclistas. As ciclofaixas, por sua vez, se constituem de faixas de rolamento para a bicicleta, indicadas por aplicação de pintura e colocação de dispositivos delimitadores. Já as ciclorotas são caminhos, com ou sem sinalização, que representam uma rota recomendada para o ciclista, sem haver segregação dos veículos automotores. Por fim, nos passeios compartilhados, o espaço é repartido entre ciclistas e pedestres (que têm a prioridade). (PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA, 2015).

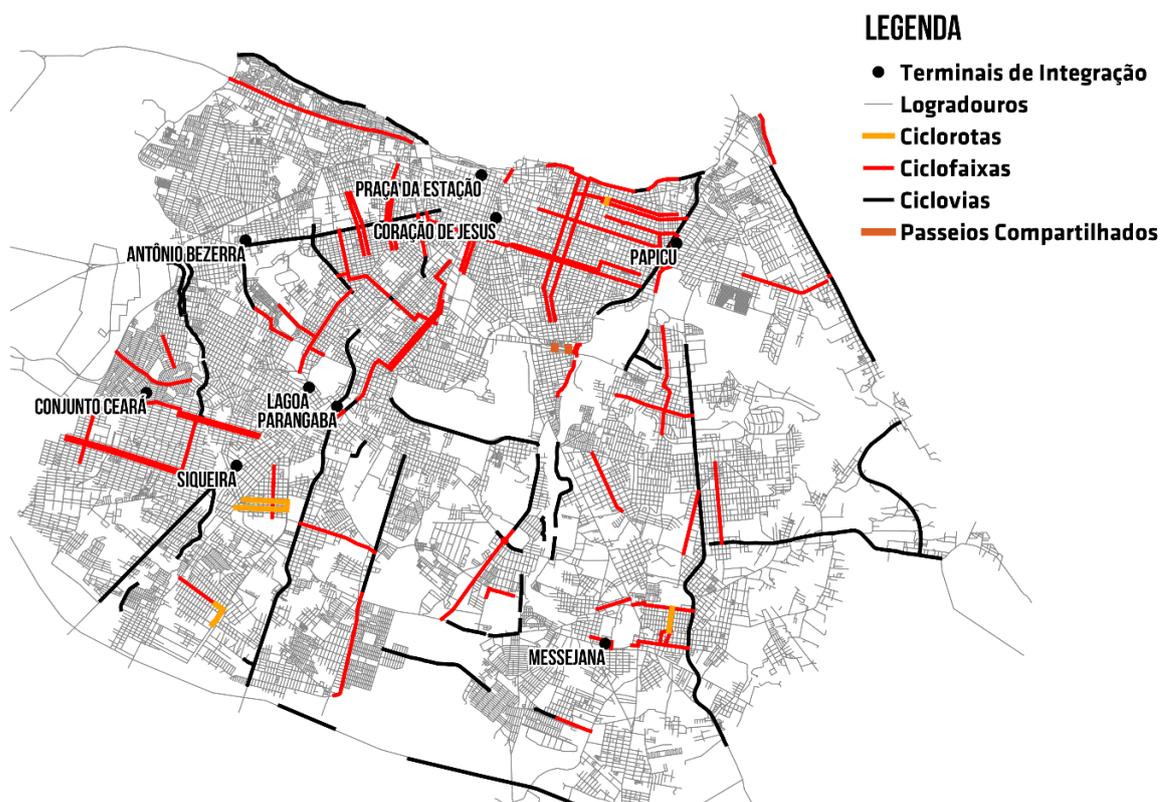
Figura 17 – Exemplo de ciclorota e ciclofaixa em Fortaleza



Fonte: Prefeitura Municipal de Fortaleza (2018).

A disposição espacial dessa infraestrutura na cidade de Fortaleza em 2018 é mostrada no mapa a seguir. Apesar de mais densamente concentrada nas áreas mais centrais, há a presença dos elementos apresentados em regiões periféricas à oeste e sul da cidade, porém a falta de conectividade de diversos trechos pode tornar inevitável o uso da pista de rolamento por parte dos ciclistas, o que os expõe ao risco de acidentes e compromete o conforto do usuário. Além disso, observa-se uma baixa conectividade da rede cicloviária aos terminais, em especial nos terminais abertos do Centro e nos terminais Lagoa e Siqueira.

Figura 18 – Infraestrutura cicloviária em Fortaleza.



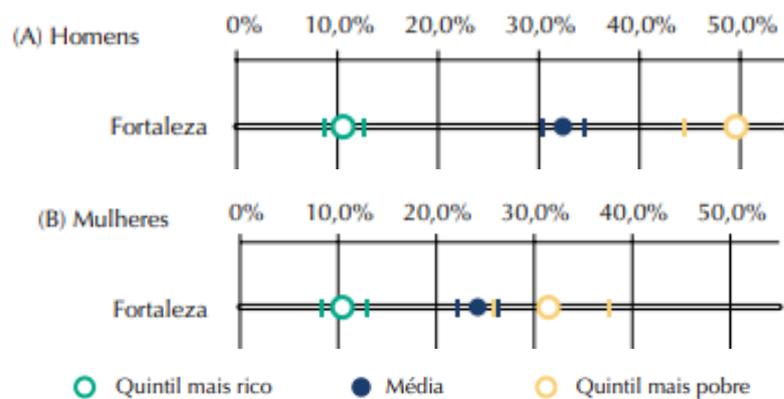
Fonte: Autor.

a) Bicicleta própria

Dentre as modalidades de ocorrência do modo ciclovitário em viagens integradas, a bicicleta própria pode ser considerada, em Fortaleza, a mais desafiadora a contextualizar, devido à escassez de dados que permitam compreender as características desse subsistema. Isso porque a posse de bicicleta e a utilização da mesma em deslocamentos não é levantada no Censo Demográfico do IBGE, e não se dispõe de dados recentes que permitam descrever o padrão de viagens desse subsistema.

Apesar disso, em 2008 o Suplemento sobre Saúde da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) levantou informações sobre o deslocamento a pé ou de bicicleta no trajeto casa-trabalho. Segundo Sá et al. (2016), que fizeram uma análise descritiva desses dados, cerca de 30% dos homens realiza deslocamentos desse tipo em Fortaleza, enquanto que entre as mulheres essa proporção cai para cerca de 25%. Os dados apontam para uma diferença na utilização da caminhada ou bicicleta entre os estratos de renda, sendo que para o quintil de renda mais baixa as proporções se elevam para 50% (homens) e 32% (mulheres).

Figura 19 – Proporção de indivíduos ocupados que se deslocam a pé ou bicicleta para o trabalho.



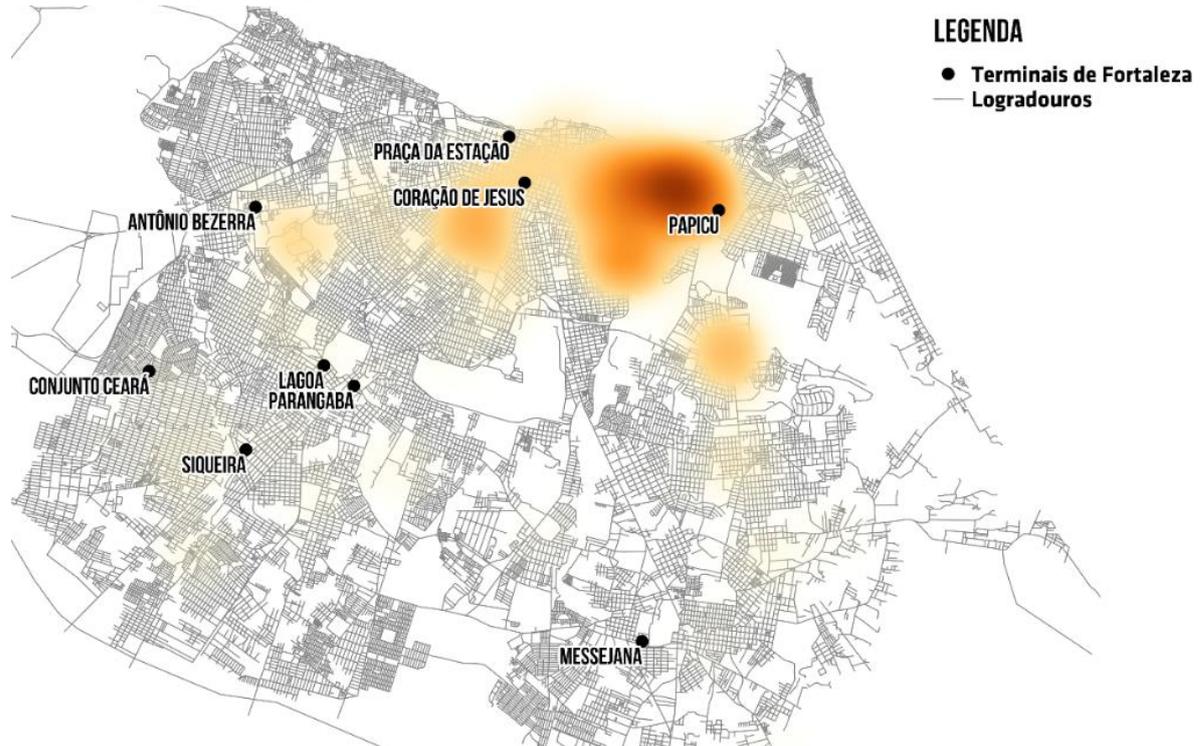
Fonte: Sá et al (2016).

Um elemento que ganha importância nesse subsistema é a presença de infraestruturas de estacionamento, sobretudo próximo às atividades, e que favorecem a segurança a furtos e possíveis avarias na bicicleta. O PDCI classifica essas estruturas em dois tipos básicos: **paraciclos**, definidos como estacionamentos de curta e média duração e com capacidade reduzida, e os **bicicletários**, caracterizados pela maior duração de estacionamento, maior número de vagas e controle de acesso.

Quanto ao levantamento dessa infraestrutura ao longo da cidade, merece destaque

o mapeamento feito pelo grupo Massa Crítica de Fortaleza, na forma de mapa colaborativo, que indica os pontos de estacionamento de bicicleta públicos e privados existentes, trazendo inclusive informações sobre o tipo de paraciclo ou bicicletário. O mapa de calor a seguir revela que há uma concentração das facilidades de estacionamento na área central da cidade, com destaque para os bairros do Meireles, Aldeota, Benfica e Centro.

Figura 20 – Mapa de calor das infraestruturas de estacionamento ciclovíarias.



Fonte: Autor.

Havendo uma concentração das atividades na região central da cidade, a disposição espacial da oferta de estacionamentos prioritariamente nessa área favorece a utilização desse modo em deslocamentos pendulares. Entretanto, deve-se reconhecer que, para boa parte da população das regiões periféricas da cidade, o uso da bicicleta como modo único de viagem implicaria em distâncias de viagem muito longas, tornando-a uma opção inviável ou pouco atrativa.

Por outro lado, nas viagens integradas bicicleta-ônibus em Fortaleza, a disponibilidade da bicicleta própria se restringe à ponta do domicílio, já que o embarque com bicicleta nos SITFOR não é autorizado e nem há disponibilidade de *racks* acoplados à dianteira dos ônibus. Desse modo, para a população de baixa renda no deslocamento periferia-centro, a oferta de estacionamento na área central da cidade não seria de grande relevância, da perspectiva do uso da bicicleta própria.

Vale ressaltar que, desde 2016, tem havido um esforço por parte do poder público na implantação de bicicletários juntamente aos terminais de integração fechados do SITFOR, localizados nas regiões periféricas da cidade. De acordo com a Prefeitura Municipal de Fortaleza (2018), Fortaleza contava, até agosto de 2018, com bicicletários instalados nos terminais Siqueira (Figura 21), Parangaba, Antônio Bezerra e Conjunto Ceará. Neles, a utilização é gratuita mediante cadastro prévio e o espaço é monitorado, garantindo maior segurança quanto à furtos.

Figura 21 – Bicicletário instalado no Terminal do Siqueira



Fonte: www.verdinha.com.br.

Os dados de movimentação média diária nos bicicletários do Conjunto Ceará, Siqueira e Parangaba entre maio de 2016 e maio de 2017 são apresentados na tabela a seguir. Observa-se que o terminal do Siqueira é o mais utilizado, com uma média de cerca de 14 estacionamentos por dia, sendo ainda o terminal com maior regularidade de demanda. Os demais bicicletários, por outro lado, tem utilização bem reduzida, não superando 6 estacionamentos por dia em média, e mais irregular, principalmente no terminal do Conjunto Ceará.

Tabela 1 – Movimentação média diária dos bicicletários instalados nos terminais.

Meses	Movimentação Média Por Dia		
	Conj.Ceará	Siqueira	Parangaba
mai/16	5,9	-	-
jun/16	3,0	-	-
jul/16	2,3	-	5,1
ago/16	1,7	9,3	5,8
set/16	2,2	11,3	6,4
out/16	2,4	15,6	6,6
nov/16	0,8	16,5	7,0
dez/16	3,5	15,6	5,2
jan/17	2,3	16,7	4,6
fev/17	2,8	15,1	4,6
mar/17	3,0	16,4	6,9
abr/17	1,9	12,5	7,3
mai/17	-	-	3,0
Média	2,7	14,3	5,7
CV	46%	18%	23%

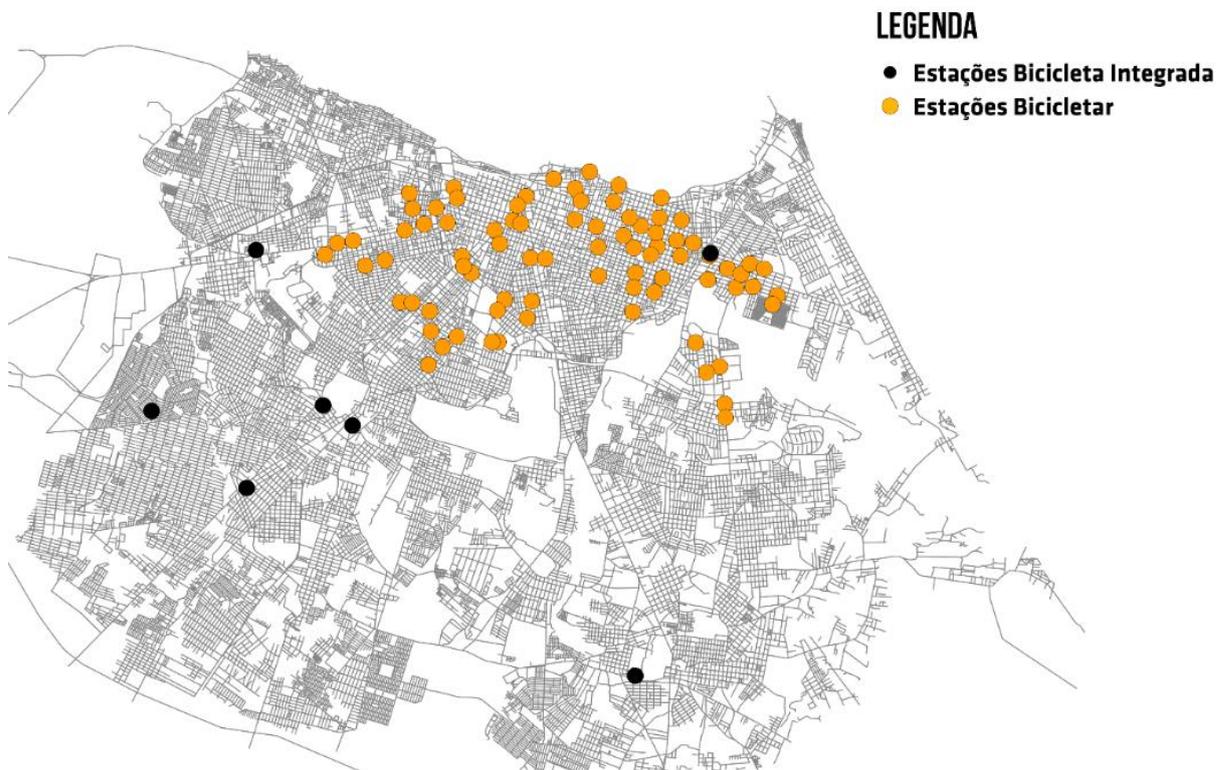
b) Sistemas de bicicleta compartilhada

Em Fortaleza, encontram-se em operação dois sistemas públicos de compartilhamento de bicicletas, com objetivos e características operacionais distintas: o Bicletar e o Bicicleta Integrada.

O Bicletar é composto por 80 estações, onde os usuários cadastrados podem retirar uma bicicleta, utilizando-a em seus trajetos e devolvendo a mesma em qualquer estação do sistema. De acordo com a Prefeitura Municipal de Fortaleza (2018), o acesso ao sistema se dá por meio da aquisição prévia de passes (Anual, Mensal ou Diário), ou ainda por meio do uso do Bilhete Único. Uma vez retirada por meio do celular ou Bilhete Único, o usuário pode utilizar a bicicleta por até 60 minutos sem que a viagem seja tarifada.

O Bicicleta Integrada, por sua vez, possui um regime de operação bastante distinto. As sete estações em operação até agosto de 2018 encontram-se localizadas juntamente aos terminais de integração do SITFOR. Além disso, para acessar o sistema, o usuário deve ser previamente cadastrado e dispor do Bilhete Único. Uma vez retirada a bicicleta, pode-se usufruir da mesma por um período de até 14 horas, sendo que nas sextas-feiras e vésperas de feriados a devolução até as 9 horas do dia útil subsequente. Além disso, o sistema diferencia-se do Bicletar pela ausência de cobrança pelo uso, mesmo quando excedido o período normal, além de não haver necessidade de cadastrar um cartão de crédito, o que é obrigatório no Bicletar.

Figura 22 – Localização dos sistemas de compartilhamento de bicicletas em Fortaleza

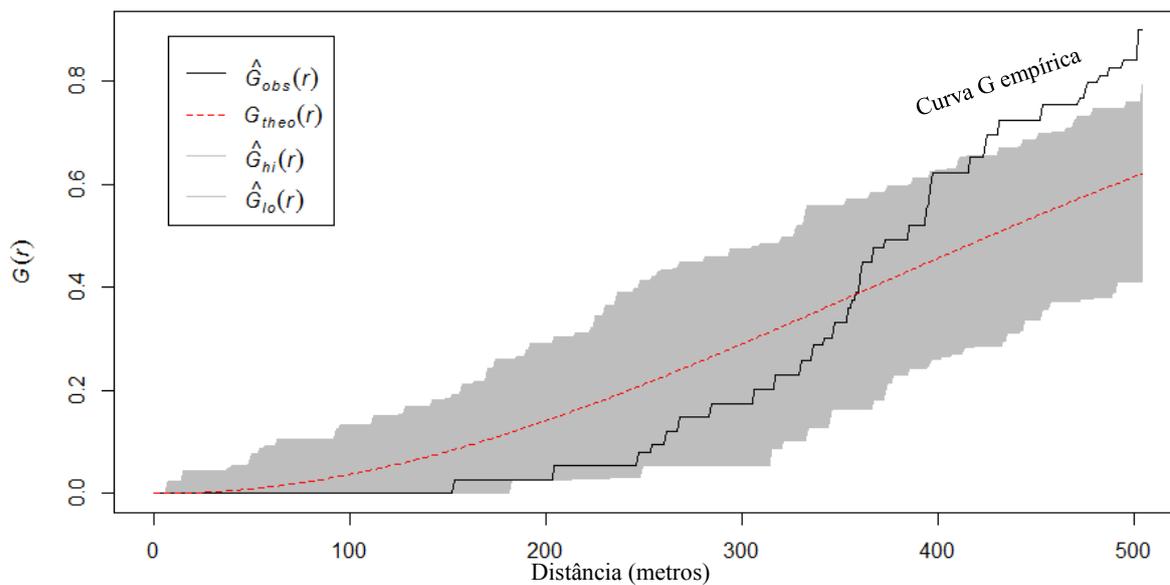


Fonte: Autor.

O posicionamento das estações é mostrado na Figura 22. Percebe-se que as estações do Bicicletar se localizam, em sua maioria, nas regiões mais centrais da cidade. No contexto dos deslocamentos integrados bicicleta-ônibus da população de baixa renda, fica evidente que o Bicicletar tem papel significativo apenas no segmento da viagem próximo às atividades, tanto em acesso quanto em difusão.

Para avaliar o espaçamento entre as estações do Bicicletar, foi gerada a função G das estações (figura a seguir), que permite avaliar a distribuição de frequência dos vizinhos mais próximos. Percebe-se que, em cerca de 90% das estações, o vizinho mais próximo localiza-se a uma distância euclidiana de até 500 metros. Além de refletir a densidade de estações do sistema, tal curva permite observar que, na maioria das estações, é inviável realizar viagens muito curtas, devido às restrições quanto à devolução da bicicleta em uma estação próxima.

Figura 23 – Função G das estações do Bicicletar em Fortaleza



Fonte: Autor.

Já o Bicicleta Integrada tem suas estações mais próximas às regiões periféricas da cidade. Tal configuração, aliada à forma de operação do sistema, permite a utilização integrada do sistema no segmento da viagem próximo ao domicílio: retirando a bicicleta no terminal, após a jornada de trabalho, o usuário pode se dirigir ao domicílio e devolver a bicicleta no terminal apenas no dia seguinte, o que tornar viável a utilização do sistema em acesso e difusão nesse contexto.

2.3 Estudos anteriores sobre os fatores determinantes na escolha pela integração bicicleta-transporte público

Apesar de pouco numerosos, alguns estudos foram realizados no intuito de compreender os fatores que influenciam a escolha pela realização de viagens com integração entre a bicicleta e o transporte público. A maioria desses estudos, no entanto, aborda realidades de outros países, muitas vezes bem distintas da encontrada no Brasil. Considerando que as realidades em estudo possuem especificidades locais, optou-se por realizar um levantamento bibliográfico separado por regiões geográficas, visando, inclusive, confrontar os fatores levantados por autores em diversas regiões de estudo.

2.3.1. Holanda

Demanda

Ao reunir dados de diversos estudos e pesquisas no país, Martens (2004) mostrou que há diferenças consideráveis na proporção de *bicycle-transit* de acordo com o tipo de

transporte público em questão. Modalidades mais rápidas, como trens regionais e ônibus expressos tiveram a maior porcentagem de uso de bicicleta em viagens de acesso, em detrimento de modos mais lentos como o ônibus urbano.

Com relação aos motivos de viagem, os dados mostraram que, apesar de trabalho e educação serem motivos dominantes, sua repartição no total de viagens depende do tipo de transporte público ao qual se integra. Em viagens integradas ao trem, os motivos trabalho e educação correspondem a uma parcela de 40% e 30%, respectivamente, enquanto que, na integração ao ônibus, esses percentuais mudam para 21% e 51%.

A distância da viagem como um todo mostrou-se um fator chave para explicar o fenômeno do *bicycle-transit*, pelos seguintes aspectos: (i) usuários de sistemas de transporte público de alta capacidade tendem a viajar maiores distâncias; (ii) sistemas de alta capacidade tendem a ter uma maior distância entre paradas, o que resulta em maiores distâncias percorridas no acesso e na difusão; (iii) sistemas de alta capacidade tendem a ter um maior raio de alcance devido ao potencial de economia de tempo para os usuários. Esses aspectos tornam a bicicleta um modo de acesso atrativo em relação à caminhada, que tem maior competitividade em distâncias curtas.

Keijer e Rietveld (2000) compararam as taxas de utilização da bicicleta em viagens de acesso e difusão às estações de trem. De acordo com os dados da Pesquisa Nacional de Viagens da Holanda de 1994, no extremo domiciliar da cadeia de viagens cerca de 35% dos acessos se davam por meio da bicicleta, enquanto que no extremo das atividades esses percentuais caíam para 10% e a caminhada correspondia a 46%. Tal fenômeno foi atribuído à diferença de disponibilidade de bicicletas nos dois extremos da viagem.

Quanto à distância no acesso a estações de trem, a pesquisa de viagens holandesa apontou que para distâncias curtas, as pessoas tendem a preferir a caminhada ou o uso da bicicleta, enquanto que para maiores distâncias o uso do transporte público ou do carro é preferido. Distinguem-se duas situações: o acesso no extremo domiciliar da cadeia de viagens e o acesso no extremo da atividade. No primeiro caso, a caminhada é mais utilizada em distâncias de até 1,5 km e em distâncias entre 1,5 km e 3,5 km, prevalece a bicicleta. Em distâncias superiores, prevalece o transporte público. No caso do extremo das atividades, a caminhada prevalece em distâncias de até 2 km, sendo superada em seguida pelo transporte público. A bicicleta tem, nesse caso, uma participação bastante inferior.

Oferta

Martens (2007) abordou os efeitos de uma iniciativa holandesa de bicicletas compartilhadas voltadas para a integração com o transporte público. O “OV-fiets” foi pensado para ser uma forma conveniente de aluguel de bicicletas a fim de atender ao segmento de difusão das viagens de trem, permitindo aos usuários permanecer com a bicicleta por até 24 horas. Uma pesquisa realizada em 2003 mostrou que o “OV-fiets” levou a um aumento do uso da bicicleta em viagens de difusão entre os usuários desse sistema, que passaram a utilizar a bicicleta em substituição sobretudo ao ônibus/metrô, mas também à caminhada, ao taxi e ao automóvel.

Os resultados sugerem que o “OV-fiets” se mostrou uma solução de difusão para as viagens menos recorrentes, como as viagens motivo lazer. A introdução desse sistema levou a uma ligeira ascensão na utilização dos trens e a uma redução do uso de automóveis em rotas específicas, já que cerca de 15% dos usuários do sistema indicaram que a integração bicicleta-trem substituiu viagens anteriormente feitas com automóvel.

Um estudo piloto feito em paradas de ônibus rurais comparou a utilização do *bicycle-transit* antes e depois da implantação de facilidades de estacionamento de bicicletas. As pesquisas mostraram que tais medidas resultaram, na maioria das estações do experimento, em um aumento substancial na quantidade de usuários de *bicycle-transit* e em um aumento na quantidade total de passageiros.

Quanto ao uso de bicycle lockers, os projetos experimentais revelaram uma baixa procura por esse tipo de facilidade, o que desperta a atenção dada a dominância das viagens pendulares e a baixa tarifa de aluguel desses equipamentos. A esse resultado, atribuiu-se o fato de que os usuários regulares do *bicycle-transit* utilizam bicicletas baratas no acesso ao transporte coletivo, e que o furto/vandalismo teriam baixa incidência na região de estudo. De modo geral, os usuários apontaram que a importância das facilidades de estacionamento recai mais sobre a proteção contra as intempéries do que propriamente sobre a criminalidade.

2.3.2. Alemanha

Demanda

Os estudos relatados por Martens (2004) revelam que a disponibilidade de automóvel é fator que influencia na escolha do modo de acesso, mas que não necessariamente implica em uma preferência pelo carro. Nesse sentido, estudos realizados em Munich mostraram que cerca

de metade dos usuários que integravam bicicleta e metrô possuía automóvel disponível no dia da pesquisa, mostrando que o *bicycle-transit* pode ser mais competitivo que o uso do automóvel.

O clima tem um impacto substancial na escolha pela integração bicicleta-transporte público, conforme apontam os estudos realizados. Dentre os usuários pesquisados de *bicycle-transit* em Munich, cerca de 78%-91% realizavam esse tipo de viagem pelo menos 4 vezes por semana no verão, enquanto que no inverno esses percentuais caíam para 42 a 57%.

Oferta

Por fim, a localização da parada de transporte público mostrou-se um fator importante na escolha por *bicycle-transit*. Em localidades mais periféricas, a utilização do *bicycle-transit* é bem maior do que nas regiões mais adensadas. Uma explicação para esse fato é que, em regiões mais adensadas, as paradas do transporte público são mais próximas entre si, o que resulta em menores distâncias de acesso e difusão, onde a caminhada pode se tornar mais competitiva. Da mesma forma, a integração bicicleta-trem é maior em pequenas cidades do que em grandes centros. Quanto a isso, vale destacar que em maiores cidades o sistema de transporte público é mais desenvolvido e torna-se uma alternativa atrativa ao uso da bicicleta para acesso e difusão.

2.3.3. Estados Unidos

Demanda

Ao analisarem dados da National Household Travel Survey (NHTS), Wang e Liu (2013) mostraram que o *bicycle-transit* ocorre com maior frequência em viagens motivo trabalho, seguida das viagens de base não-residencial. A integração da bicicleta ocorre com maior frequência com o ônibus do que com o metrô ou com o trem suburbano, o que tende a ir de encontro com os padrões observados na Europa (MARTENS, 2007). Além disso, a maior parte das viagens integradas ocorre com usuários do sexo masculino, e a faixa de idade que mais realiza viagens é a de 35 a 65 anos. Não foram encontradas evidências para afirmar que o uso integrado da bicicleta é dependente do nível de renda do usuário.

Oferta

Taylor e Mahmassani (1996) investigaram a influência de alguns dos fatores para a escolha por integração bicicleta-TP entre um grupo de ciclistas no Texas. Do ponto de vista da infraestrutura de estacionamento, o estudo mostrou que há uma maior preferência por “bicycle lockers” do que por bicicletários tradicionais, e que as estruturas cobertas são preferíveis às

descobertas. Quanto às ciclovias, foi observado que elas são 4 vezes mais eficazes para ciclistas inexperientes do que para ciclistas frequentes.

2.3.4. China

Demanda

O estudo conduzido por Zhao e Li (2017) em estações de metrô de Beijing sugeriu que a bicicleta pode ser um modo de acesso/difusão preferível em distâncias moderadas das estações de metrô. Em distâncias curtas, a escolha tenderia a ser pela caminhada, ao passo que em longas distâncias prevaleceria o uso do carro ou ônibus. Além disso, os resultados sugerem que o uso de bicicletas é maior entre usuários de áreas mais centrais da cidade, em relação aos usuários das regiões mais periféricas. Mostrou-se, ainda, que a bicicleta é vista como um meio de transporte barato e, ao contrário do que poderia se esperar, não há um vínculo do uso da bicicleta integrada com atitudes sustentáveis.

Quanto às características socioeconômicas, o estudo citado apontou que indivíduos com até 30 anos teriam maior tendência a escolher o ônibus como modo de acesso do que a bicicleta. Para os autores, isso decorre de uma maior dependência de modos motorizados pela população mais jovem, e por um maior valor do tempo, que favoreceria o ônibus em distâncias de percurso maiores.

2.3.5. Brasil

Demanda

A integração bicicleta-transporte público no segmento de acesso no Rio de Janeiro foi estudada por De Souza et al. (2017). Os autores apontaram que mulheres tem menor tendência a utilizar a bicicleta no acesso, e que, o aumento de idade dos entrevistados se traduz em uma menor disposição a usar a bicicleta. Obteve-se resultados consistentes com os estudos holandeses, mostrando-se que a tendência a usar a bicicleta é menor em áreas mais adensadas, e que o aumento na distância de acesso reduz a disposição a pedalar.

Em um estudo de caso sobre a integração Bicicleta-Metrô na região do Recife, Silveira (2010) aplicou um questionário com 174 pessoas em estações selecionadas. Concluiu-se que o gênero, a faixa etária e a ocupação dos potenciais usuários não influenciariam na realização de integração. Por outro lado, pessoas com menor renda e grau de instrução seriam mais propensas a realizarem viagens integradas. Dentre os motivos de resistência à realização de viagens integradas, destacou-se as carências em questões de segurança pública e de

infraestrutura cicloviária (bicicletários e ciclovias).

Oferta

Almeida et al. (2016) analisaram o fenômeno da integração bicicleta-ônibus no Terminal de Vilarinho, localizado no norte de Belo Horizonte. A pesquisa foi realizada visando compreender o impacto da infraestrutura viária na integração, apontando que a existência de ciclovias/ciclofaixas é o fator mais importante para a integração, seguido da presença de bicicletários e, em menor grau, da possibilidade de levar a bicicleta no veículo de transporte público.

Em estudo semelhante, Pinto et al. (2016) confrontaram a percepção da infraestrutura cicloviária entre usuários habituais de bicicleta e usuários ocasionais. Mostrou-se que, para usuários habituais, o fator mais importante seria a existência de bicicletários, ao passo que para usuários ocasionais a presença de ciclovias teria maior influência.

Pezzuto e Sanches (2003) analisaram os fatores que influenciam no uso da bicicleta em deslocamento por motivo de trabalho ou escola na cidade de Araçatuba, SP. Apesar de ter uma amostra constituída prioritariamente de indivíduos entre 14 e 17 anos, o estudo mostrou que a existência de ciclofaixas/ciclovias é o fator mais relevante no uso desse modo de transportes. Além disso, fatores como segurança viária, existência de chuveiros no local de trabalho/estudo, vantagens para a saúde e economia financeira também foram destacados. Apontou-se, ainda, para uma diferença de comportamento entre homens e mulheres, sendo aspectos como segurança pública e viária mais importantes para mulheres.

Analisando os fatores que influenciam na integração bicicleta-ônibus em Florianópolis, Fujiwara (2017) apontou para uma maior importância da existência de ciclovias/ciclofaixas no comportamento dos usuários, seguida da existência de bicicletários com vigilância e da existência de bicicletários com chuveiro.

Em Fortaleza, merecem destaque os estudos de diagnóstico realizados ao longo do Plano Diretor Cicloviário Integrado, que incluíram pesquisas com pedestre ao longo de 50 pontos espalhados pela cidade. Os dados levantados apontaram que a existência de ciclovias/ciclofaixas seria o principal motivo que levaria os pedestres a utilizarem a bicicleta nos seus trajetos, sendo relevantes também a questão da segurança pública e da segurança viária. Ao se entrevistarem os ciclistas, por outro lado, a principal razão que os levou a escolher esse modo foi a rapidez no trajeto e a indisponibilidade de automóvel, enquanto que aspectos como economia e preocupação ecológica corresponderam a menos de 4% das respostas.

2.4 Hipóteses de Estudo

Com base na revisão dos fatores que influenciam no comportamento de escolha na integração bicicleta-transporte público, foram levantadas hipóteses de interesse a serem investigadas. As hipóteses de estudo foram reunidas em três grupos: hipóteses relativas às características das viagens, à infraestrutura ciclovária e ao perfil socioeconômico do usuário. Elas são apresentadas na tabela a seguir:

Tabela 2 - Hipóteses de estudo definidas.

Grupo	Hipóteses
Características das Viagens	H1: a escolha modal depende da distância de acesso H2: o comportamento de escolha dos usuários varia entre os motivos de viagem H3: o comportamento de escolha dos usuários difere na ponta do domicílio e na ponta da atividade
Infraestrutura Ciclovária	H4: facilidades de estacionamento de bicicleta tendem a aumentar a atratividade do uso de bicicleta H5: a presença de ciclovias ao longo do percurso aumenta a atratividade da bicicleta
Características Socioeconômicas do Usuário	H6: há diferença no comportamento de escolha entre os gêneros masculino e feminino H7: usuários do TP com rendas mais baixas teriam maior tendência à utilização de bicicletas

3 A MODELAGEM COMPORTAMENTAL DA ESCOLHA DOS INDÍVIDUOS POR INTEGRAÇÃO BICICLETA-ÔNIBUS

Um modelo é uma representação simplificada de uma parte do mundo real. Em particular, os modelos matemáticos permitem, durante as suas etapas de construção e utilização, um aprendizado sobre o fenômeno e sobre os processos internos do sistema em estudo (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011).

A constatação anterior é o ponto-chave que fundamenta a decisão pelo estudo da escolha por integração bicicleta-ônibus através da construção de modelos matemáticos. No entanto, a adequação de um modelo é dependente do contexto onde ele será utilizado e da capacidade do modelador em escolher e adaptar o ferramental adequado para o contexto particular de estudo.

Nesse sentido, o presente capítulo levanta discussões a respeito do processo de construção de um modelo adequado para representar o comportamento de escolha dos indivíduos na integração bicicleta-ônibus em Fortaleza. Busca-se discutir as estratégias de modelagem utilizadas em estudos anteriores, o que subsidiará as proposições metodológicas a serem feitas no capítulo 4.

3.1 A abordagem comportamental

Segundo Cascetta (2009), uma viagem é o resultado de uma série de escolhas feitas pelos usuários do sistema de transporte, que vão desde decisões de longo prazo, como o local de residência ou de trabalho, a decisões feitas em cada viagem, como o destino, o modo e a rota. Partindo dessa perspectiva, os modelos desagregados de demanda procuram reproduzir o comportamento de escolha dos usuários, motivo pelo qual são denominados *modelos comportamentais*. Esses modelos buscam reproduzir os resultados do comportamento de escolha partindo da premissa de que os tomadores de decisão agiram conforme certas hipóteses, ou seja, não se assume que os modelos representem necessariamente os reais mecanismos psicológicos que levam às decisões.

Dentre os modelos comportamentais, destacam-se aqueles derivados da teoria da utilidade aleatória, denominados *modelos de escolha discreta* (ED), que são os mais ricos e mais populares paradigmas de modelagem de escolhas ligadas aos transportes. Os modelos de escolha discreta representam escolhas realizadas entre alternativas qualitativas, em oposição aos modelos microeconômicos clássicos de demanda, que representam a escolha de uma

quantidade contínua de commodities a serem consumidos.

A teoria da utilidade aleatória, que fundamenta os modelos de escolha discreta, é baseada na hipótese de que cada indivíduo “i” é um tomador de decisão racional que considera um conjunto de alternativas as quais constituem o seu conjunto de escolha I^i . Para cada alternativa “j” do seu conjunto de escolha, o decisor atribui uma atratividade ou utilidade percebida U_j^i e seleciona a alternativa que maximiza essa utilidade. No entanto, as utilidades não são conhecidas perfeitamente pelo analista, que as trata como variáveis aleatórias, de modo que a escolha da alternativa é avaliada de um ponto de vista probabilístico. A probabilidade da escolha de uma alternativa j dentro de um conjunto de escolha I^i é expressa matematicamente pela seguinte probabilidade condicional:

$$\mathbb{P}(j/I^i) = \Pr[U_j^i > U_k^i \forall k \neq j, k \in I^i] \quad (1)$$

A utilidade atribuída a cada alternativa de escolha U_j^i depende de uma série de características mensuráveis, ou atributos, tanto da alternativa em si quanto do tomador de decisão. Essa utilidade pode ser expressa como a soma de dois termos, uma utilidade sistemática V_j^i determinística e um erro ϵ_j^i aleatório:

$$U_j^i = V_j^i + \epsilon_j^i \quad (2)$$

Levando-se em conta a composição da utilidade percebida U_j^i , pode-se reescrever a equação 1 da seguinte forma:

$$\mathbb{P}(j/I^i) = \Pr[V_j^i - V_k^i > \epsilon_k^i - \epsilon_j^i \forall k \neq j, k \in I^i] \quad (3)$$

Fica evidente, assim, que a probabilidade de escolha não depende dos valores absolutos das utilidades sistemáticas, mas apenas das suas diferenças, motivo pelo qual a unidade e a ordem de grandeza da utilidade sistemática são arbitrárias. A utilidade sistemática pode ser vista como a média da utilidade percebida entre todos os indivíduos com os mesmos atributos (pois o erro tem esperança nula). Ela é função de um vetor β de parâmetros calibrados e um segundo vetor X_j^i de atributos.

Um ponto chave dos modelos de escolha discreta é que os coeficientes β_k do vetor β podem ser estimados explicitamente e podem ser interpretados do ponto de vista da utilidade marginal, ou seja, eles refletem a importância relativa de cada atributo (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011), de modo que essa modelagem permite, além da previsão de demanda, aprofundar a compreensão das preferências dos segmentos de tomadores de decisão.

O componente aleatório, ou erro, representa um desvio ao valor médio V_j^i da utilidade percebida, e captura os efeitos combinados dos diversos fatores que introduzem incerteza na modelagem da escolha. A aleatoriedade pode ser atribuída aos seguintes aspectos (BEN-AKIVA; LERMAN, 1985):

- a) Atributos não-observados: o vetor de atributos afetando as decisões é incompleto, não incorporando todos os fatores levados em conta pelos tomadores de decisão;
- b) Variabilidade dos tomadores de decisão: podem haver variações de gostos e preferências entre indivíduos;
- c) Erros de Mensuração dos atributos;
- d) Variáveis Instrumentais: algumas variáveis podem ser de difícil mensuração, sendo substituídas por variáveis instrumentais, que avaliam indiretamente o efeito das primeiras;

O erro aleatório possui uma esperança $\mathbb{E}(\epsilon_j^i)$, variância $\sigma_{i,j}^2$ e uma certa distribuição de probabilidades a ser especificada. Quanto à tendência central, geralmente assume-se que os erros têm esperança nula. Isso não implica em perda de generalidade, pois quaisquer valores não-nulos de $\mathbb{E}(\epsilon_j^i)$ podem ser “absorvidos” por uma constante na parcela sistemática da utilidade percebida. Em relação à forma da distribuição, os diversos modelos de ED existentes envolvem premissas diferentes sobre a distribuição de probabilidade conjunta dos erros.

3.2 Tipos de dados a serem utilizados

De forma geral, os modelos de escolha discreta podem ser calibrados com base em dados de Preferência Revelada (PR) e/ou Preferência Declarada (PD). Os dados de PR se referem a escolhas reais, observadas em campo, enquanto os dados de PD referem-se à uma forma de coleta em que os respondentes são submetidos a situações de escolha hipotéticas. Segundo Ortúzar e Willumsen (2011), a principal limitação dos dados de PR é o fato de que os dados podem não fornecer a variabilidade necessária para estimar modelos de escolha discreta adequados. Por outro lado, os dados de PD são ricos em informações de trade-off dos atributos e permitem estimar modelos para alternativas não existentes no mercado atualmente (LOUVIERE et al., 2000).

Ambos os tipos de dados foram utilizados em estudos visando caracterizar a integração bicicleta-transporte público. Dados de PR foram utilizados por Zhao e Li (2017),

que realizaram pesquisas levantando dados sobre o modo de transporte utilizado no acesso ou difusão de estações de metrô em Beijing, La Paix Puello e Geurs (2016), que utilizaram dados de pesquisas da Netherlands Railways (NS) e por De Souza et al. (2017). A maioria dos estudos levantados utiliza, no entanto, dados de PD, cuja obtenção se dá através da realização de experimentos com os usuários entrevistados, como visto em Taylor e Mahmassani (1996), Fujiwara (2017), Jingxu et al. (2013), Pinto et al. (2016) e Almeida et al. (2016).

3.3 A construção de modelos de escolha discreta

Segundo Souza et al. (2017), o desenvolvimento de modelos comportamentais de escolha discreta pode ser descrita como um processo constituído de cinco etapas: (1) formulação; (2) projeto de experimento; (3) coleta de dados; (4) calibração; e (5) validação. Cada uma dessas etapas será discutida ao longo dessa seção, à luz das aplicações realizadas em estudos anteriores.

3.1.1. Formulação

A formulação é a primeira etapa no processo de construção de modelos de escolha discreta. Ela consiste na completa identificação da estrutura matemática dos modelos, isto é, (i) a identificação do conjunto de escolha dos indivíduos; (ii) a definição da estrutura do modelo; (iii) das variáveis explicativas a considerar; e (iv) da forma na qual elas entram nas funções de utilidade.

Ben-Akiva e Lerman (1985) afirmam que a formulação de modelos de escolha discreta não é um processo simples, baseado em algoritmos. A “arte da construção de modelos” envolve uma mistura de aplicações de teorias comportais formais e métodos estatísticos com julgamentos ou hipóteses *a priori* sobre o fenômeno por parte do analista. Por meio da especificação, busca-se obter um modelo realístico, econômico em termos computacionais, consistente com a teoria e apropriado ao contexto de decisão (CASCETTA, 2009; ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011).

Identificação do conjunto de escolha

A identificação do conjunto de escolha é o primeiro passo na etapa de formulação. Train (2003) afirma que o conjunto de escolha definido deve apresentar as seguintes características: (i) as alternativas devem ser mutuamente exclusivas do ponto de vista do tomador de decisão, ou seja, a escolha de uma alternativa implica em não escolher as demais; e (ii) o conjunto de escolha deve ser exaustivo (todas as possíveis alternativas devem ser

incluídas) e finito;

Para estudar a integração bicicleta-ônibus nos Estados Unidos, Taylor e Mahmassani (1996) modelaram a escolha de modo para o trajeto motivo trabalho. Três alternativas foram consideradas: (i) dirigir, (ii) usar o transporte público utilizando a bicicleta no acesso e (iii) usar o transporte público usando o carro como modo de acesso. La Paix Puello e Geurs (2016) adotaram um modelo binário, entretanto, considerando como alternativas a adoção ou não da bicicleta como modo de acesso. De Souza et al. (2017) também optaram pela estrutura binomial, porém a escolha seria ter considerado ou não o uso da bicicleta no lugar do modo de acesso efetivamente utilizado.

Ao contrário das abordagens anteriormente citadas, que consideram um conjunto de escolha idêntico para todos os respondentes, Jingxu et al. (2013) consideraram duas alternativas, onde a primeira era o modo efetivamente utilizado pelo usuário (ônibus no acesso ao metrô, caminhada no acesso ao metrô ou bicicleta no trajeto completo), e a segunda era a bicicleta como modo de acesso ao metrô. De forma similar, Ortúzar et al. (2000) consideraram um conjunto de escolha formado pelas seguintes alternativas: carro, metrô, ônibus, metrô integrado ao automóvel, bicicleta e metrô alimentado pela bicicleta. Apenas duas eram apresentadas ao respondente, onde uma necessariamente envolvia a bicicleta.

Merece destaque, também, a abordagem de modelagem adotada por Geurs et al. (2016), que optaram por considerar as escolhas modais no acesso e na difusão conjuntamente, ou seja, para a viagem como um todo. Assim, as alternativas consideradas foram: caminhada-transporte público-caminhada, caminhada-transporte público-bicicleta, bicicleta-transporte público-caminhada, bicicleta-transporte público-bicicleta e carro-transporte público-caminhada.

Por fim, em alguns estudos, como os de Fujiwara (2017) e Pinto et al. (2016) optou-se por realizar um experimento não-rotulado, portanto sem alternativas nomeadas.

Definição da estrutura do modelo

Diferentes modelos podem ser construídos ao se assumirem diferentes distribuições de probabilidade conjuntas para as perturbações ϵ_j^i . O modelo logit multinomial (MNL) é o modelo de escolha discreta mais simples e mais utilizado. No MNL, os erros aleatórios são distribuídos Gumbel IID (independentes e identicamente distribuídos), com esperança nula e variância $\frac{\pi^2}{6} \mu^2$, onde μ é o parâmetro de escala. As probabilidades de escolha são calculadas

pela seguinte formulação:

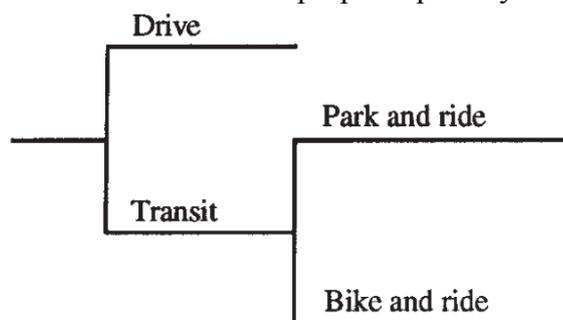
$$\mathbb{P}(i) = \frac{\exp(V_i/\mu)}{\sum \exp(V_j/\mu)} \quad (4)$$

Uma propriedade importante desse tipo de modelo é denominada *independência das alternativas irrelevantes* (IIA), segundo a qual a razão da probabilidade de escolha de duas alternativas não é afetada pela presença de uma alternativa adicional no conjunto de escolha. A principal vantagem dessa propriedade é a possibilidade de introduzir ou eliminar alternativas nos conjuntos de escolha sem a necessidade de reestimação dos modelos. Entretanto, dessa propriedade deriva o fato de que no MNL as alternativas de escolha devem ser *suficientemente distintas* para evitar a ocorrência de resultados viesados.

A premissa de IID do modelo MNL pode ser relaxada através do uso de modelos Nested Logit (NL), permitindo lidar com alternativas que compartilhem atributos em comum, tanto observáveis (utilidade sistemática) quanto não observáveis (erros). Para tal, o NL utiliza uma estrutura de escolha hierárquica, ou aninhada, decompondo a escolha em níveis. Dessa forma, essa estrutura de modelo permite que a variância do componente aleatório seja diferente entre os *ninhos* (LOUVIERE et al., 2000).

Muitos dos estudos envolvendo modelagem de escolha discreta carecem de discussões que justifiquem a estrutura do modelo utilizada. Nos modelos com apenas duas alternativas, a estrutura binomial é a escolha imediata e o erro é assumido com distribuição Gumbel (Logit Binomial), como é o caso dos estudos de La Paix Puello e Guers (2016). Nos contextos de escolha multinomiais na integração bicicleta-transporte público, o modelo MNL é o mais adotado, como observado em Ortúzar et al. (2000), Pinto et al. (2016) e Almeida et al. (2016). Merece destaque, ainda, a abordagem de Taylor e Mahmassani (1996), que adotou uma estrutura aninhada (NL) de escolha, mostrada na figura abaixo.

Figura 24 – Estrutura aninhada de escolha proposta por Taylor e Mahmassani (1996).



Fonte: Taylor e Mahmassani (1996).

Escolha da forma da função de utilidade sistemática

Quanto à forma funcional da utilidade sistemática V_j^i , Ben-Akiva e Lerman (1985) apontam dois aspectos fundamentais devem ser levados em consideração. Primeiramente, é desejável que a função reflita teorias ou hipóteses de como os diversos atributos em $X_{j,k}^i$ influenciam a utilidade. Além disso, espera-se que as funções adotadas tenham propriedades computacionais convenientes que facilitem a estimação dos parâmetros.

Geralmente, é assumido que a função de utilidade sistemática V_j^i possui uma forma linear nos parâmetros, como constatado nos trabalhos de Fujiwara (2017), Ortúzar et al. (2000), Pinto et al. (2016), Almeida et al. (2016), Geurs et al (2016) e Taylor e Mahmassani (1996). Essa forma da função de utilidade pode ser expressa, genericamente, da seguinte maneira:

$$V_j^i(X_j^i) = \sum \beta_k \cdot f(X_{j,k}^i) \quad (5)$$

Não foram encontradas, para o fenômeno da integração bicicleta-transporte público, indicações explícitas de outras formas funcionais adotadas. A função $f(X_{j,k}^i)$ é denominada forma funcional dos atributos. Geralmente, utiliza-se o valor bruto das variáveis ($f(X_{j,k}^i) = X_{j,k}^i$), o que poderia ter algum efeito quando a resposta do modelo é sensível à forma funcional. Ortúzar e Willumsen (2011) discutem que, se não há razões teóricas para defender um tipo específico de forma funcional, pode ser apropriado usar os dados empíricos para decidir a forma mais adequada. Uma forma funcional utilizada para os atributos é a transformação Box-Cox:

$$x^\tau = \begin{cases} \frac{x^\tau - 1}{\tau} & \text{se } \tau \neq 0 \\ \log x & \text{se } \tau = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Vale destacar que, se $\tau_1 = \dots = \tau_N = 1$, reduz-se à forma linear típica, ao passo que, adotando valor nulo para todo τ_i , obtém-se a forma log-linear, que é também bastante utilizada. A adoção de formas não-lineares nos parâmetros também é possível e considerada mais adequada em certos contextos, porém tem diversas desvantagens: em geral, não pode ser garantido que a estimação dos parâmetros convergirá para valores únicos e, além disso, há maior restrição quanto à disponibilidade de *softwares* (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011).

Escolha dos atributos

A escolha dos atributos depende do tipo específico de modelo a ser calibrado. Em geral, variáveis colineares (linearmente dependentes entre si) devem ser evitadas. A ocorrência de colinearidade entre duas variáveis torna possível a existência de inúmeras combinações de

coeficientes calibrados que darão os mesmos valores de utilidade sistemática, o que torna impossível estimar esses coeficientes separadamente.

Os atributos presentes no vetor X_j^i podem ser classificados de diferentes formas. Quanto ao conteúdo do atributo, pode-se adotar a seguinte diferenciação (CASCETTA, 2009):

- a) Atributos de performance: tempos, custo, frequência do serviço, conforto, etc.;
- b) Atributos do sistema de atividades: relacionados ao uso do solo;
- c) Atributos socioeconômicos: relacionados ao tomador de decisão, como renda, posse de automóveis, etc.

Nos estudos de Taylor e Mahmassani (1996) e Ortúzar et al. (2000), atributos socioeconômicos foram incluídos como variáveis *dummy*, coletados por meio de pesquisa de PR. Em outros estudos, não se incluiu atributos socioeconômicos no modelo, como é observado nos trabalhos de PINTO et al. (2016) e Fujiwara (2017), que realizaram experimentos não rotulados. O uso do solo foi incorporado nos modelos de De Souza et al. (2017), com uma variável de densidade populacional, e em La Paix Puello e Geurs (2016), que incorporaram a quantidade de empregos em um raio de 5 quilômetros e a diversidade de tipos de empregos. Já os atributos de performance mais frequentemente adotados são o tempo de viagem, distância e custo. Quando se modela os tempos de viagem do ônibus, é frequente a separação do tempo total de acesso em tempo de espera e tempo dentro do ônibus (GEURS et al., 2016; JINGXU et al., 2013; ORTÚZAR et al., 2000).

Por fim, os parâmetros podem ser classificados ainda quanto à sua especificação nas funções de utilidade (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011):

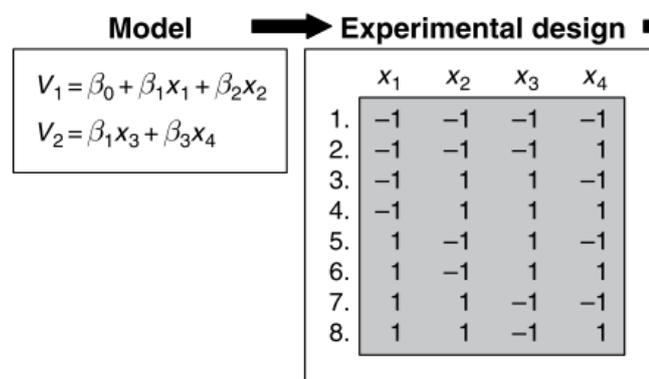
- a) Genéricos: atributos que estão incluídos na utilidade sistemática de mais de uma alternativa, com o mesmo coeficiente β_k .
- b) Específicos: atributos que estão incluídos com diferentes formas funcionais e/ou coeficientes nas utilidades sistemáticas de diferentes alternativas. Um caso particular é a Constante Específica da Alternativa (ASC), que é o termo constante da utilidade sistemática.

3.1.2. Projeto de Experimento

O conceito de projeto, ou *design*, de experimento é bem estabelecido em diversas áreas do conhecimento, como nas ciências biológicas, em estudos de marketing e em transportes. Basicamente, um experimento projetado é uma forma de manipular atributos

(variáveis explicativas) e seus níveis (valores dos atributos) de modo a permitir o teste rigoroso de certas hipóteses de interesse. Em transportes, um projeto de experimento parte de um modelo previamente especificado e traduz-se, na prática, em uma matriz de números, onde cada linha representa uma situação de escolha, e os valores da matriz representam os níveis dos atributos (Figura 25). Cada combinação única dos níveis dos atributos considerados define, portanto, um perfil, ou cenário de escolha. Isso permite ao analista determinar quais níveis de atributos mostrar aos respondentes no momento da aplicação dos questionários da pesquisa de PD.

Figura 25 – A relação entre etapa de formulação e a de projeto de experimento em um estudo de PD.



Fonte: Hensher e Button (2008)

Distinguem-se dois tipos básicos de experimentos: rotulados ou não-rotulados. Um experimento rotulado é aquele em que o nome da alternativa traz algum significado ao respondente, além da ordem das alternativas (como carro, ônibus, trem, etc.), ao passo que em um experimento não-rotulado, os nomes das alternativas apenas remetem à ordem da alternativa (como rota A, rota B, etc.). Essa decisão é importante porque os entrevistados podem usar os rótulos para inferir informação omitida, o que se relaciona com o componente aleatório da utilidade.

Nos estudos da integração bicicleta-transporte público voltados para a realidade brasileira, há uma tendência pela adoção de experimentos não rotulados, como visto em Fujiwara (2017), Almeida et al. (2016) e Pinto et al. (2016), onde a escolha modelada é essencialmente de rota. Os estudos que modelam a escolha de modo, como Taylor e Mahmassani (1996), Geurs et al (2016) e Jingxu et al. (2013), optam, naturalmente, por experimentos rotulados.

Em seguida, é necessário determinar o tipo de design a ser gerado. No caso da estimação de modelos não-lineares, como os de escolha discreta, a classe de projeto de experimento mais popularizada é o *design* fatorial, tanto completo como fracionário. Os *designs*

fatoriais completos (ou *full factorial*, em inglês) são aqueles em que cada nível de um atributo é combinado com os níveis de todos os demais atributos. Trata-se, portanto, da enumeração fatorial de todas as combinações possíveis dos níveis dos atributos.

Alguns estudos da integração bicicleta-transporte público optaram pela adoção de fatoriais completos (ALMEIDA et al., 2016; PINTO et al., 2016), o que foi viável devido à pequena quantidade de atributos e níveis. Fujiwara (2017) partiu de um fatorial completo e eliminou os cenários dominantes e dominados, o que traz implicações em uma importante propriedade do experimento, a ortogonalidade, que será abordada posteriormente nessa seção.

Apesar de possuírem propriedades estatísticas interessantes, permitindo a estimação independente dos efeitos de primeira ordem e de todos os efeitos de ordem superior, os *designs* Fatoriais Completos crescem exponencialmente em tamanho e complexidade ao se aumentarem o número de atributos ou de níveis, o que introduz dificuldades práticas de coleta de dados e de recursos necessários (LOUVIERE et al., 2000). Nesse sentido, é mais comum na prática a adoção de *designs* Fatoriais Fracionários, que consistem em formas sistemáticas de selecionar subconjuntos de perfis do Fatorial Completo de tal forma que os efeitos de interesse possam ser estimados.

O tipo de *design* Fatorial Fracionário mais difundido é o *design* ortogonal, que é produzido de modo que haja zero correlações entre os atributos no experimento, o que garante que cada atributo é estatisticamente independente de todos os outros, durante a estimação. Adotando-se uma codificação ortogonal, a propriedade da ortogonalidade se traduz, matematicamente, em uma estrutura em que, para cada atributo, a soma dos níveis nos perfis adotados seja 0, e o produto interno entre colunas de níveis de atributos também seja nulo.

Além de permitir a estimação independente da influência dos atributos na escolha, duas outras razões justificam a adoção costumeira desse tipo de *design*: (i) facilidade de construção e obtenção com uso de softwares; (ii) historicamente, a literatura estava voltada à adoção de modelos lineares (como de regressão linear), onde a ortogonalidade é importante, por assegurar que os modelos não sofram de multicolinearidade, e por reduzir a variância das estimativas dos parâmetros, o que reduz o erro padrão e portanto maximiza as estatísticas-t produzidas pelo modelo. (ROSE; BLIEMER, 2009).

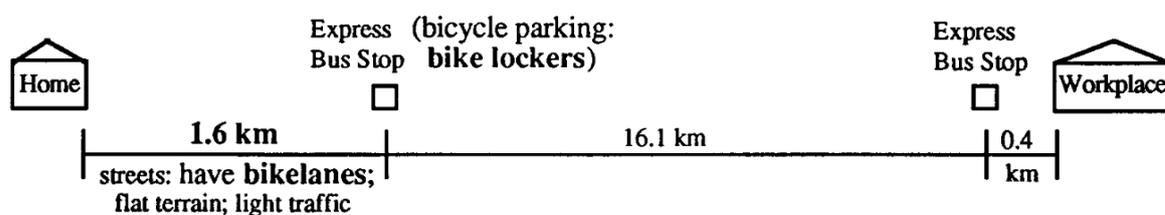
Apesar de mais comumente utilizados, os *designs* ortogonais apresentam algumas limitações, discutidas por Rose e Bliemer (2009). O estado-da-arte da construção de *designs* para experimentos de PD envolve a utilização dos *designs* OOC (Optimal Orthogonal Choice)

ou EC (Efficient Choice). O primeiro método visa maximizar as diferenças entre os níveis dos atributos entre alternativas, maximizando assim a informação obtida dos respondentes nas escolhas feitas por eles, o que só pode ser aplicado em estudos com parâmetros genéricos (experimentos não-rotulados). Os *designs* EC, por sua vez, visam produzir um experimento que, para um dado modelo *a priori*, forneça a menor matriz de variância-covariância assintótica (matriz AVC), pois ao se reduzirem os valores da matriz AVC, minimiza-se os erros-padrão das estimativas. Esse método requer, entretanto, a existência de estimativas *a priori* do valor dos coeficientes, o que requer a existência de estudos anteriores ou pesquisas-piloto (HENSHER; BUTTON, 2008).

3.1.3. Coleta de dados

Dado que o *design de experimento* é apenas uma matriz de valores, torna-se necessário converter essa matriz em questionários com a descrição das alternativas de escolha, que os entrevistados possam interpretar e responder. Nesse sentido, o uso de material ilustrativo favorece ao respondente uma compreensão do contexto de escolha, porém deve-se dar preferência à utilização de ilustrações gráficas no lugar de fotografias, pois as últimas podem introduzir um viés implícito (ORTÚZAR e WILLUMSEN, 2011). Esse tipo de abordagem foi utilizada por Taylor e Mahmassani (1996), como mostrado na figura abaixo.

Figura 26 – Exemplo de cenário utilizado na pesquisa de PD em Taylor e Mahmassani (1996)



Fonte: Taylor e Mahmassani (1996).

Quanto ao método de aquisição de dados, Taylor e Mahmassani (1996) optaram pelo envio da pesquisa de PD pelo correio para membros de um grupo de ciclistas, o que levou a uma taxa de respostas de 48%. Os autores reconhecem, no entanto, a existência de viés em torno de ciclistas mais experientes, na obtenção da amostra. De Souza et al. (2017) abordaram indivíduos em estações de metrô, trem e ônibus, fazendo uma triagem preliminar e convidando os indivíduos a participarem de uma entrevista por telefone, realizada posteriormente. Pinto et al. (2016) optaram por conduzir as entrevistas diretamente nos terminais de integração, aplicando um questionário em formato digital na plataforma *Google Forms*. Ortúzar et al. (2000), por outro lado, optaram por aplicar pesquisas domiciliares, estratificando a amostra com

base nos dados da pesquisa O-D de 1991 e aplicando a pesquisa PD em laptops.

3.1.4. Calibração

Segundo Souza et al. (2017), a etapa de calibração consiste na estimação dos parâmetros do modelo especificado, na análise de consistência das estimativas e da forma funcional do modelo, buscando encontrar estimativas pontuais para os parâmetros e realizar inferências sobre a significância do modelo proposto.

Existem diversas abordagens estatísticas para a estimação dos parâmetros dos modelos de escolha discreta. O método mais comumente utilizado é o de Estimação de Máxima Verossimilhança (MLE), que se baseia na ideia de que uma dada amostra pode ser gerada por diferentes populações, que têm diferentes probabilidades de ocorrerem. Assim, uma amostra em particular tem uma maior probabilidade de ter sido retirada de uma certa população do que de outras. Portanto, os estimadores de máxima verossimilhança são o conjunto de parâmetros populacionais que geram a amostra observada mais frequentemente (LOUVIERE et al., 2000; ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011).

No caso dos modelos de escolha discreta, os parâmetros a serem estimados são os coeficientes β_k da função de utilidade. A verossimilhança é o produto das probabilidades P_{jq} de que cada indivíduo “q” escolha as opções que eles realmente selecionaram. Matematicamente:

$$L(\beta) = \prod_{q=1}^Q \prod_{j \in I^i} (P_{jq})^{g_{jq}} \quad (7)$$

Onde g_{jq} é uma variável dummy que recebe o valor 1 caso a alternativa “j” tenha sido escolhida pelo indivíduo “q”.

Para estimar os coeficientes β_k da função de utilidade maximiza-se a função de verossimilhança $L(\beta)$, ou, mais frequentemente, o logaritmo natural de $L(\beta)$, que é mais facilmente derivável. Ao se maximizá-la em relação a β , o vetor β^* resultante é chamado estimador de máxima verossimilhança, porque corresponde ao valor do parâmetro que tem a maior probabilidade de ter gerado a amostra observada. Esse vetor de parâmetros estimados é assintoticamente distribuído $N(\beta, S^2)$, onde S^2 é a matriz de variância-covariância, que é calculada por:

$$S^2 = - \left(E \left(\frac{\partial^2 \ln(\beta)}{\partial^2 \beta} \right) \right)^{-1} \quad (8)$$

Ben-Akiva e Lerman (1985) descrevem diversos testes de especificação nas

funções de utilidade. O teste mais básico é o exame *informal* dos valores das estimativas dos coeficientes, com relação às expectativas a priori em termos de sinais e pesos relativos. Além disso, a razão entre dois coeficientes de uma mesma função de utilidade fornece informação sobre o *trade-off*, ou seja, a taxa marginal de substituição entre duas variáveis. Um *trade-off* importante é aquele entre o tempo de viagem, e o custo, que representa uma estimativa do valor do tempo, que pode ser comparada com outros estudos.

Dos testes estatísticos formais, os mais utilizados nas análises de calibração são os testes-t assintóticos, que avaliam se um parâmetro em particular do modelo difere de alguma constante, geralmente zero. Relacionado a esse teste de hipóteses é o uso da estatística t para construir intervalos de confiança para um parâmetro. Outro teste bastante utilizado é o *Likelihood Ratio Test*, que é desenvolvido em torno da hipótese de que todos os coeficientes são zero. Esse teste, entretanto, não é muito útil, visto que quase sempre a hipótese nula pode ser rejeitada para níveis de significância muito baixos (BEN-AKIVA; LERMAN, 1985). Ao se compararem especificações distintas, uma medida de aderência bastante utilizada é o *rho-quadrado*, análogo à estatística R^2 da regressão linear clássica.

Taylor e Mahmassani (1996) utilizaram, além dos testes convencionais mencionados acima, um teste que permite verificar a validade da estrutura aninhada do NL. Segundo os autores, o parâmetro de escala μ do ninho (escolha de nível inferior) deve ser não-negativo e inferior a 1 para confirmar a validade da estrutura aninhada.

3.1.5. Validação

A etapa de validação visa verificar a capacidade do modelo em reproduzir as escolhas feitas por uma amostra de indivíduos, ou seja, em analisar o quão adequado é o modelo na representação do fenômeno em estudo. Segundo Ortúzar e Willumsen (2011), a performance do modelo pode ser julgada utilizando dados que não foram usados no processo de estimação dos parâmetros, sendo idealmente coletados em outro contexto temporal.

É comum a obtenção de uma *amostra de validação* através da subtração de dados da amostra total coletada para o estudo, aplicando os modelos calibrados nessa segunda amostra e comparando as escolhas modeladas com as observadas. Outra possibilidade é a comparação das estimativas de parâmetros (ou derivações, como o valor do tempo) obtidas em pesquisas de PD e de PR (SOUZA et al., 2017). Apesar da importância dessa etapa, não se observou, entre os estudos de modelagem da integração bicicleta-transporte público levantados, nenhum relato de esforço de validação dos modelos encontrados.

4 PROPOSTA METODOLÓGICA DE MODELAGEM DA ESCOLHA POR INTEGRAÇÃO BICICLETA-ÔNIBUS

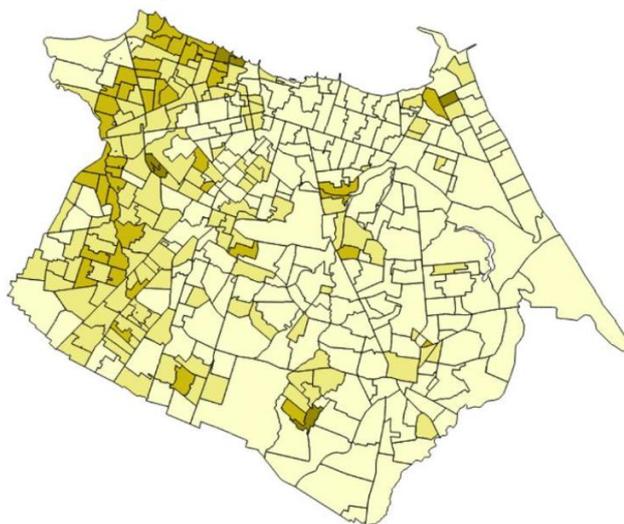
Considerando-se as discussões realizadas no capítulo 2, sobre o fenômeno da integração bicicleta-ônibus, e no capítulo 3, em torno do ferramental de modelagem, propõe-se no presente capítulo um método de modelagem que permita representar o comportamento de escolha por integração bicicleta-ônibus em Fortaleza. Busca-se, nesse capítulo, formular modelos a fim de representar o comportamento de escolha na integração bicicleta-ônibus em Fortaleza, e desenvolver as bases metodológicas que permitirão atingir, nos capítulos posteriores, os objetivos específicos propostos para esse trabalho.

4.1 Considerações Iniciais

4.1.1 Contexto do estudo

Conforme apontado por Andrade (2016), em Fortaleza observou-se um processo de periferização por segregação involuntária, que se materializa, atualmente, em uma maior concentração de domicílios de baixa renda nas regiões Oeste e Sudoeste da cidade (Figura 27).

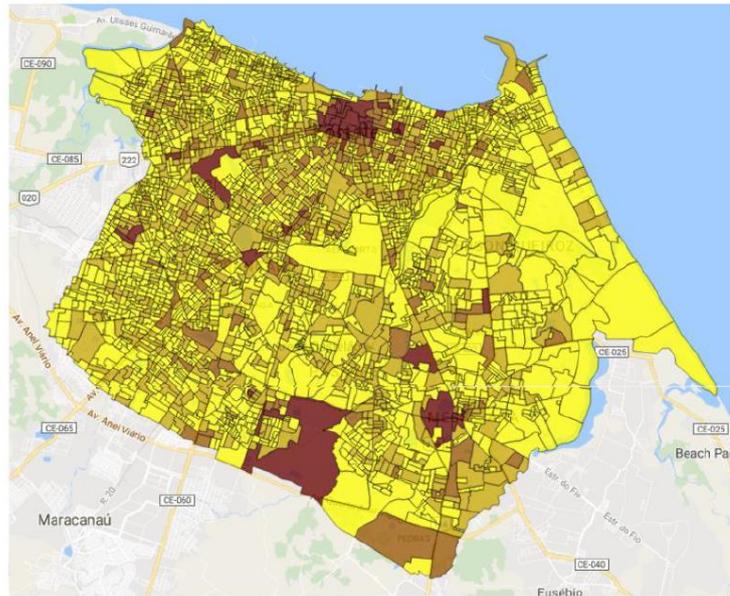
Figura 27 – Distribuição espacial dos domicílios de baixa renda em Fortaleza



Fonte: Andrade (2016).

Por outro lado, as atividades encontram-se concentradas, em grande parte, na região central da cidade. De fato, a análise da distribuição espacial dos estabelecimentos em Fortaleza (Figura 28) revela que o centro da cidade agrega inúmeros estabelecimentos institucionais, de comércio e de serviços.

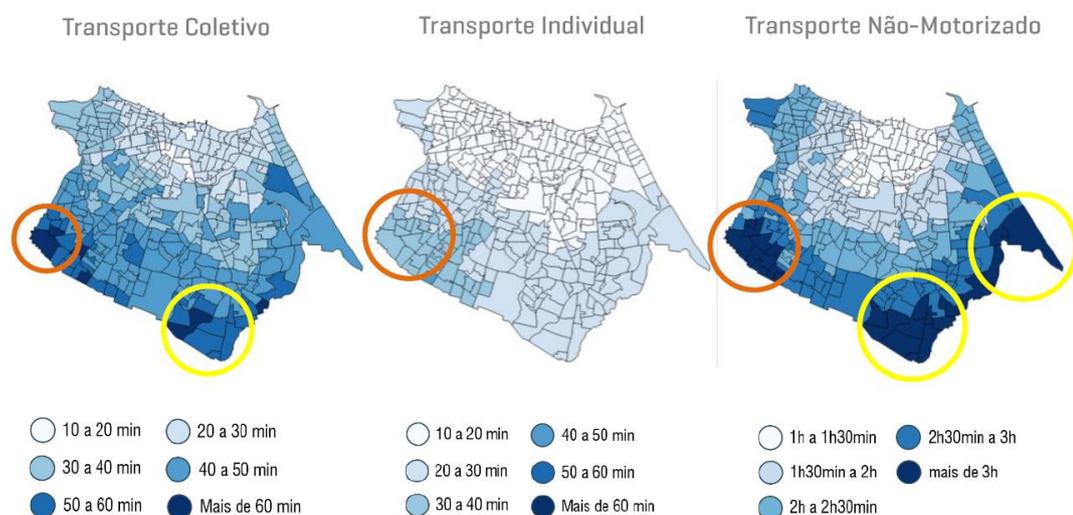
Figura 28 – Distribuição espacial dos estabelecimentos por setor censitário em Fortaleza



Fonte: Andrade (2016).

O distanciamento espacial entre os domicílios de baixa renda e as atividades leva ao surgimento de uma necessidade por deslocamentos da periferia em direção à área central. Abaixo, apresenta-se a configuração espacial da acessibilidade aos postos de trabalho, medida pelo tempo médio entre zonas ponderado pela atratividade da zona de destino, para os modos coletivo, individual e não motorizado. Andrade (2016) observou que há tendência de diminuição da acessibilidade com o afastamento da área central, e que o transporte coletivo e não motorizado são os mais penalizados em termos de acessibilidade. Esses fatores, juntos, apontam para uma problemática que desfavorece especialmente a população de baixa renda.

Figura 29 – Acessibilidade aos postos de trabalho por modo



Fonte: Andrade (2016).

4.1.2 População de Interesse

No contexto da problemática introduzida, a população de interesse para o estudo é definida como a população de baixa renda que utiliza o sistema de ônibus de Fortaleza no seu deslocamento periferia-centro. Em particular, interessa-se aos usuários assíduos do sistema, que o utilizam costumeiramente no acesso às atividades rotineiras (trabalho e educação).

Por outro lado, em consonância com os objetivos previamente definidos para o estudo, torna-se necessário considerar apenas os usuários que considerariam efetivamente a bicicleta como uma alternativa para o deslocamento de acesso ou difusão ao transporte público. Desse modo, foram determinados os seguintes critérios de eliminação de possíveis entrevistados, que garantem a consistência com as considerações anteriores:

- a) Indivíduos que não realizem o trajeto domicílio-local de trabalho/estudo (e vice-versa);
- b) Usuários que não saibam andar de bicicleta;
- c) Usuários com idade superior a 60 anos e/ou com problemas de mobilidade.

4.1.3 Abordagem escolhida para a modelagem

A modelagem de escolha discreta é a abordagem mais adequada para representar o fenômeno de integração bicicleta-ônibus e sua utilização vai ao encontro dos anseios do presente trabalho. Como discutido na seção 3.1, esses modelos permitem quantificar a importância relativa dos atributos, o que fornece subsídios para se compreender as preferências dos segmentos de tomadores de decisão. Além disso, esses modelos são baseados em teorias sobre o comportamento individual e não constituem analogias físicas. Por fim, essa abordagem tem uma fundamentação teórica sólida e bem consolidada na comunidade científica e técnica ao longo das últimas décadas.

A proposta metodológica a ser apresentada é construída em torno das técnicas de Preferência Declarada. A justificativa para essa abordagem decorre, principalmente, da baixa proporção de viagens integradas bicicleta-ônibus. Segundo Costa Lima (2018), a quantidade diária de viagens integradas com o Bicicletar é de cerca de 2600, o que representa menos de 1% das viagens diárias do SITFOR. Além disso, o baixo nível de utilização dos bicicletários nos terminais aponta para uma baixa integração dos ônibus com a bicicleta própria. Não havendo variabilidade suficiente nas escolhas para se utilizarem os dados de Preferência Revelada, essa opção não se mostrou adequada.

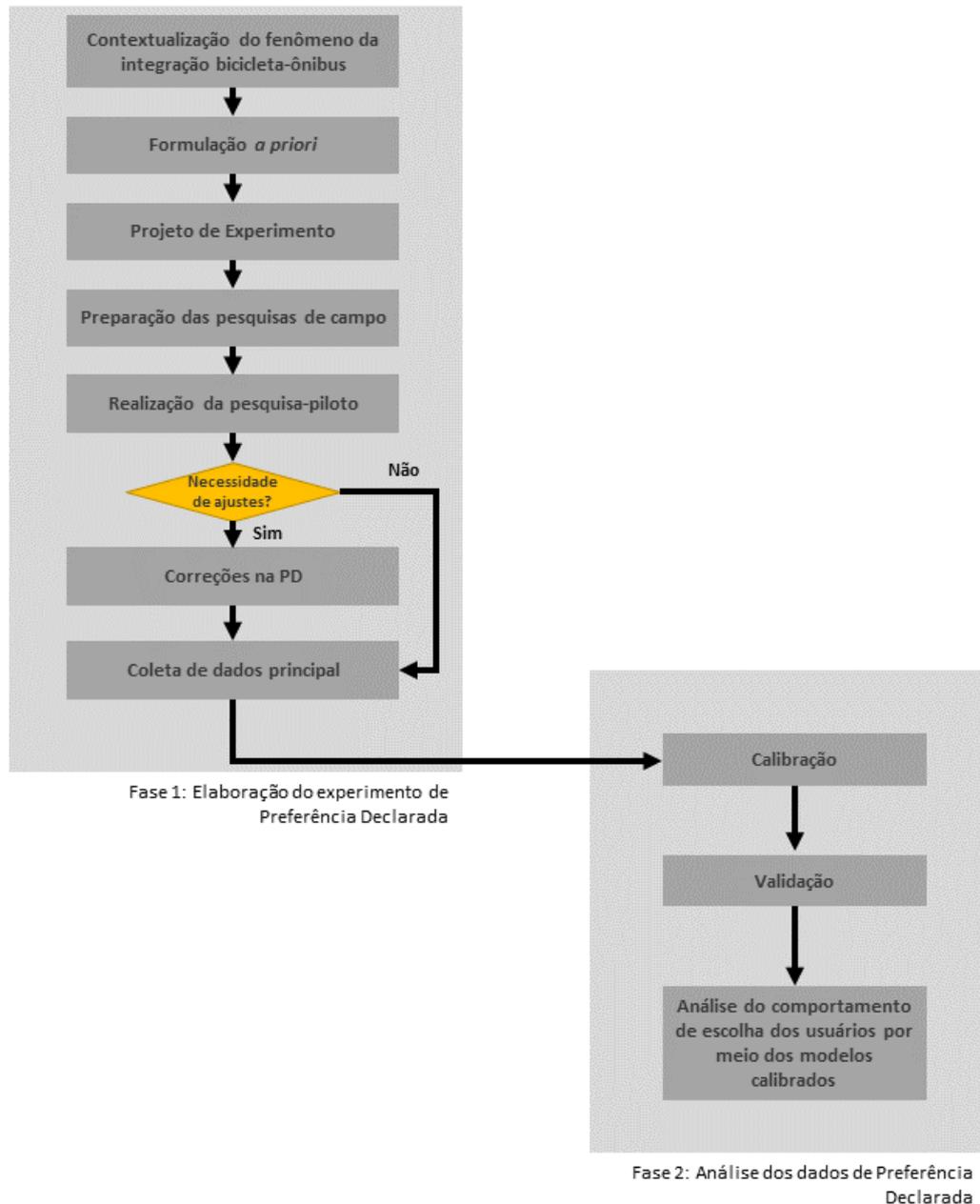
4.1.4 Premissas iniciais

O desenvolvimento da metodologia a ser descrita parte das seguintes premissas iniciais:

- a) A teoria da utilidade aleatória permite representar bem o comportamento de escolha dos usuários, supostos racionais;
- b) A análise das funções estimadas de utilidade permite inferências sobre o peso relativo dos fatores levados em conta na escolha dos usuários;
- c) As respostas hipotéticas dadas pelos respondentes nas pesquisas de Preferência Declaradas são consistentes com o comportamento efetivamente observado em campo em escolhas reais.

Apresenta-se, em seguida, o fluxograma com a sequência das etapas metodológicas a serem seguidas.

Figura 30 – Metodologia proposta pelo autor



Fonte: Autor.

A seguir, as etapas metodológicas acima apresentadas são detalhadas e discutidas.

4.2 Contextualização do fenômeno da integração bicicleta-ônibus em Fortaleza

Conforme Ortúzar e Willumsen (2011), uma compreensão aprofundada do contexto do estudo é de fundamental importância para o sucesso dos estudos de Preferência Declarada, de modo que uma etapa de contextualização do fenômeno torna-se necessária para compreender os elementos constituintes desse sistema de transporte e suas interações. Esse passo metodológico foi realizado ao longo da seção 2.2, onde foram contextualizados SITFOR e o

sistema ciclovitário, dividido em subsistema de bicicleta própria e bicicleta compartilhada.

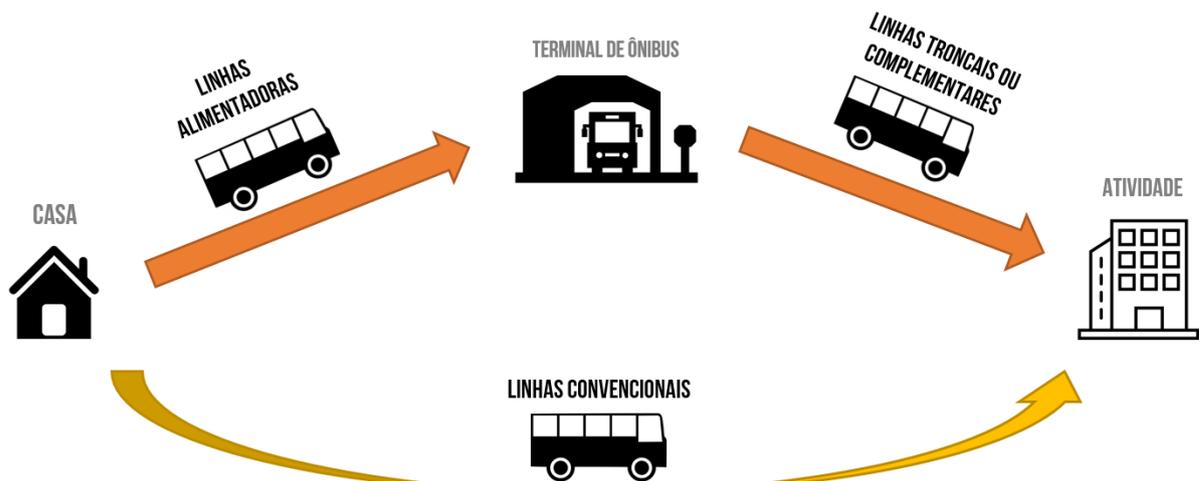
4.3 Formulação ou Especificação *a priori*

A formulação *a priori* é composta das seguintes sub-etapas: (i) determinação do contexto de escolha dos indivíduos, que decorre da compreensão do fenômeno em Fortaleza, desenvolvido na seção 2.2; (ii) determinação das alternativas de escolha da população de interesse; (iii) definição da estrutura do modelo; (iv) definição das variáveis explicativas a considerar; e (v) definição da forma da função de utilidade. Tais etapas são detalhadas ao longo dessa seção.

4.3.1 Determinação do contexto de escolha dos indivíduos

Como discutido anteriormente, para a população residente nas regiões periféricas, existem duas possibilidades de acesso às atividades localizadas na região central (Figura 31). A primeira delas corresponde à estrutura tronco-alimentadora, em que a demanda é coletada pelas linhas alimentadoras e direcionada aos terminais, onde ocorre transbordo para linhas troncais ou para linhas complementares, que atendem a região central da cidade. A segunda possibilidade é através do uso de linhas convencionais, que levam a demanda das periferias diretamente para a região central, evitando o transbordo nos terminais.

Figura 31 – Possibilidades de trajeto periferia-centro em Fortaleza.



Fonte: Autor.

Na perspectiva de integração bicicleta-transporte público apresentada ao longo da seção 2.1, a utilização da bicicleta é apresentada como concorrente ao uso de linhas de transporte público com menor eficiência, velocidade operacional e capacidade. Para as possibilidades de trajeto periferia-centro apresentadas anteriormente, há uma grande distinção

em termos da possibilidade de integração bicicleta-ônibus.

Por um lado, na estrutura tronco-alimentada com transbordo nos terminais, as linhas alimentadoras (com grande capilaridade, maiores *headways* e menor capacidade) representam esse transporte de baixa eficiência que poderia vir a ser substituído pela bicicleta. Portanto, o fenômeno da integração bicicleta-ônibus poderia existir para essa possibilidade de trajeto.

Por outro lado, as linhas convencionais possuem, na região periférica, uma capilaridade ainda considerável, de modo que o seu uso implica em distâncias de acesso/difusão moderadas, nas quais a caminhada seria de grande atratividade. Além disso, não se identifica, com essas linhas, a possibilidade de alimentação por transporte público, já que isso só ocorreria com linhas alimentadoras, que são estruturadas em torno dos terminais e não para alimentar as linhas convencionais. Portanto, para essa segunda possibilidade de trajeto, considera-se inviável a existência de viagens integradas bicicleta-ônibus.

A integração bicicleta-ônibus se desenvolve, portanto, em torno da estrutura tronco-alimentadora do SITFOR. Diante dessa particularidade do sistema, que difere consideravelmente da composição do fenômeno nos estudos abordados no Capítulo 2, propõe-se uma adaptação à estrutura integrada de viagem proposta por Kager et al. (2016), levando em conta as especificidades do contexto local em Fortaleza. Essa estrutura proposta é apresentada na figura abaixo, onde o segmento principal seria operado por linhas troncais ou complementares.

Figura 32 – Estrutura integrada de viagem proposta para os deslocamentos casa-trabalho ou casa-estudo em Fortaleza



Fonte: Autor.

A adaptação proposta é coerente com a visão do fenômeno da integração bicicleta-ônibus apresentada pelos autores, pois considera uma viagem integrada constituída por três segmentos distintos, onde o segmento principal é necessariamente realizado com uso de ônibus. Convém ressaltar, no entanto, que, na visão original, o segmento principal seria operado por linhas com alta capacidade e nível de serviço, assimiladas ao Bus Rapid Transit (BRT), por

exemplo. Em Fortaleza, no entanto, as restrições em termos de faixas exclusivas de ônibus e a elevada densidade de paradas impõem obstáculos a esse tipo de operação, que se restringe a poucos trechos. Apesar disso, considerou-se que, no contexto local, as linhas troncais e complementares podem ser assimiladas ao segmento principal, já que operam com *headways* inferiores ao das linhas alimentadoras, e as distâncias desse segmento de viagem tendem a ser as maiores da viagem como um todo.

A partir dessa perspectiva de compreensão do fenômeno, pode-se definir os contextos de escolha da população em estudo como sendo a opção pelo modo utilizado na ponta do domicílio e na ponta da atividade. Cabe reconhecer, ainda, que essa escolha pode se dar tanto em acesso quanto em difusão, em função do sentido de viagem, o que dá origem a quatro contextos de escolha, apresentados na tabela abaixo.

Tabela 3 – Definição dos contextos de escolha dos usuários.

	Ponta do Domicílio	Ponta da Atividade
Acesso	1	3
Difusão	2	4

Uma vez definidos os contextos de escolha dos usuários para o fenômeno em Fortaleza, deve-se associar as possíveis alternativas de escolha a cada um deles. Nesse estudo, será assumido que o conjunto de alternativas de escolha não varia em acesso e difusão para a mesma extremidade da viagem. Portanto, haveria um mesmo conjunto de escolha para as situações 1 e 2, e outro conjunto para as situações 3 e 4.

4.3.2 Determinação das alternativas de escolha da população de interesse

Para determinar os conjuntos de escolha dos usuários, volta-se, mais uma vez, para as discussões realizadas na seção 2.2, onde os subsistemas que compõem a integração bicicleta-ônibus foram contextualizados.

Em primeiro lugar, o uso da bicicleta própria é limitado pela questão da assimetria, que só torna possível essa alternativa na ponta do domicílio. A rigor, seria necessário que houvesse um bicicletário ou paraciclo no terminal de ônibus para garantir seu estacionamento, porém considera-se que, na ausência desses, os usuários podem deixar a bicicleta presa a postes, placas de trânsito ou grades.

Em seguida, mostrou-se que a disposição espacial dos sistemas de compartilhamento de bicicletas influi diretamente na forma como esses poderiam ser utilizados em viagens integradas bicicleta-ônibus. Por um lado, as estações do Bicicletar englobam, em grande parte, a área central da cidade, onde se concentram grande parte das atividades. Assim, esse sistema só poderia ser utilizado no segmento próximo à atividade. As estações do Bicicleta Integrada, por sua vez, estão localizadas juntamente aos terminais de integração do SITFOR, o que favorece a população localizada nas regiões mais periféricas, além de que o seu modo de operação permite a utilização integrada dessas bicicletas com o transporte público, tanto em acesso quanto em difusão.

Para concluir a delimitação do conjunto de escolha, deve-se considerar que, tanto na ponta do domicílio quanto da atividade, o ônibus deve ser uma alternativa disponível e concorrente à bicicleta. Em distâncias muito curtas de acesso/difusão, no entanto, não se justificaria a espera por um ônibus nem o uso de bicicleta, que demandaria um certo tempo para ser retirada na estação (sistemas de bicicleta compartilhada) ou para ser estacionada em segurança (bicicleta própria). Nesses casos, assume-se que a caminhada seria a alternativa dominante.

Desse modo, torna-se necessário que as distâncias de acesso/difusão sejam superiores a uma certa distância D_{\min} , distância abaixo da qual a alternativa dominante seria a caminhada. Para Fortaleza, assume-se que essa distância é de 500 metros, que foi definida anteriormente como um limite de caminhada aceitável para o pedestre.

Após as discussões anteriores, pode-se, finalmente, formalizar os conjuntos de escolha considerados. Para distâncias de acesso/difusão superiores a 500 m, tem-se, portanto:

Tabela 4 – Conjuntos de escolha considerados

	Ponta do domicílio (periferias)	Ponta da atividade
Conjunto de escolha	<ul style="list-style-type: none"> ○ Bicicleta própria ○ Bicicleta Integrada ○ Ônibus 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Bicicletar ○ Ônibus

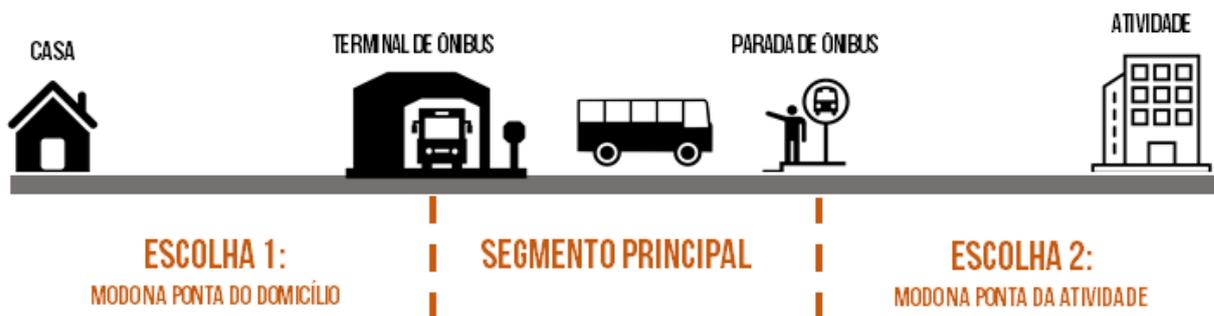
A decisão por não incluir a caminhada nos conjuntos de escolha é decorrente de uma particularidade na operação do sistema: como o sistema é integrado fisicamente nos terminais e temporalmente pelo uso do Bilhete Único, e a densidade de paradas de ônibus é

bastante elevada em Fortaleza, assume-se que os usuários, em distâncias superiores a 500 metros, não considerariam efetivamente a alternativa de caminhada no acesso/difusão.

4.3.3 Definição da estrutura do modelo

Partindo da estrutura de viagem proposta na Figura 32, pode-se considerar que uma viagem integrada bicicleta-ônibus é a materialização de um conjunto de escolhas modais, esquematizadas na figura abaixo:

Figura 33 – Escolhas modais na viagem por bicicleta-ônibus



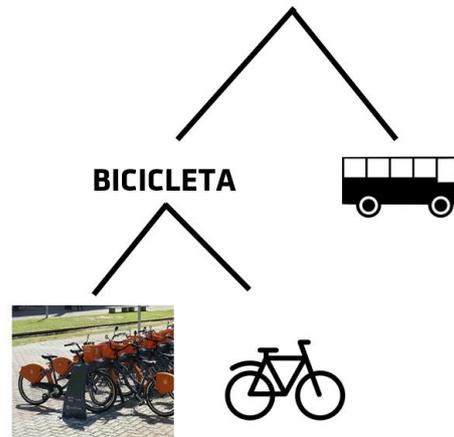
Fonte: Autor.

Quanto à essa sequência de escolhas de modo ao longo da viagem, assume-se que elas são independentes, ou seja, a escolha na ponta do domicílio não influencia na escolha na ponta da atividade, e vice-versa. Com base dessa premissa, torna-se possível modelar cada um dos processos decisórios separadamente, abordagem esta que será adotada ao longo do presente trabalho. Partindo do contexto decisório estabelecido ao longo da etapa anterior, torna-se necessário considerar duas estruturas de modelagem distintas, uma para a ponta do domicílio, e outra para a ponta da atividade.

- Escolha 1: Ponta do domicílio

Na ponta do domicílio, a população de interesse possui três alternativas de modo: (i) bicicleta própria, (ii) Bicicleta Integrada e (iii) ônibus alimentador. Partindo do entendimento de que as alternativas (i) e (ii) possuem algumas características semelhantes, inerentes ao modo cicloviário, considerou-se adequado propor uma estrutura aninhada de escolha, mostrada na figura a seguir.

Figura 34 – Estrutura do modelo para a escolha na ponta do domicílio.



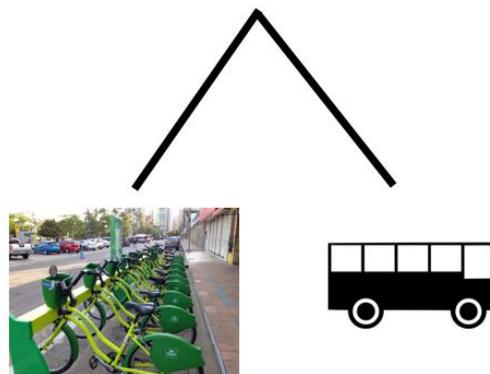
Fonte: Autor.

Adota-se, para esse contexto de escolha, um modelo do tipo Nested Logit, compatível com o aninhamento proposto. Implicitamente, a premissa feita é a de que os erros são distribuídos Gumbel, o que não é justificado pelo fenômeno, mas por ser a premissa mais comumente adotada pela comunidade científica em estudos anteriores.

- Escolha 2: Ponta da atividade

Para a ponta da atividade, havendo apenas duas alternativas, biciletar e ônibus, a estrutura binomial é a estrutura adotada, mostrada na figura abaixo.

Figura 35 – Estrutura de escolha para a ponta da atividade.



Fonte: Autor.

Da mesma forma, adota-se a premissa de que o componente aleatório segue uma distribuição Gumbel, de modo que o modelo adotado é o Logit Binomial.

4.3.4 Definição das variáveis explicativas a considerar

Diversos autores reconhecem a importância da realização de discussões de grupo preliminares (como grupos focais) com a população de interesse a fim de compreender melhor a forma como os atributos são descritos e percebidos, bem como a clareza do contexto de

escolha. Entretanto, para o presente trabalho, a definição dos atributos a serem considerados é decorrente das hipóteses a serem investigadas, que foram estabelecidas com base nos fatores identificados em estudos anteriores (Capítulo 2). Ortúzar e Willumsem (2011) consideram que, sem pesquisas de grupo focal, torna-se ainda mais essencial a realização de uma pesquisa piloto monitorada, aonde questões como as descrições dos atributos ou a apresentação das alternativas pode ser avaliada.

Para explicar o processo decisório realizado por cada usuário e investigar as hipóteses de interesse, foram selecionados atributos socioeconômicos, inerentes ao perfil do usuário, e atributos de performance, relativos à cada uma das alternativas de escolha. Os atributos socioeconômicos escolhidos são descritos a seguir:

- **S1:** gênero do indivíduo. Variável *dummy*, que assume valor 1 quando o indivíduo é do sexo masculino;
- **S2:** renda familiar do indivíduo. Foram definidas três faixas de renda: (i) até R\$ 1500; (ii) entre R\$ 1500 e R\$ 3000; e (iii) superior a R\$ 3000, o que leva a 3 variáveis *dummy*.
- **S3:** motivo de viagem. Havendo duas possibilidades (motivo trabalho ou educação), é criada uma variável *dummy*, que assume valor 1 quando a viagem é motivo trabalho.

Para as alternativas existentes na escolha na ponta do domicílio, os atributos de performance escolhidos encontram-se apresentadas na tabela abaixo.

Tabela 5 – Variáveis explicativas escolhidas para o modelo na ponta do domicílio.

Bicicleta		Ônibus Alimentador
B0) Distância no acesso		
B1) Tempo até o terminal		
B2) existência de ciclofaixas / ciclovias ao longo do trajeto		O1) Tempo de caminhada e espera
Bicicleta Própria	Bicicleta Integrada	O2) Tempo dentro do ônibus até o terminal
B3) Presença de bicicletários no terminal	Sem variáveis específicas	

Abaixo, é feita uma descrição de cada variável apresentada:

- **B0:** distância no acesso. Apresenta três faixas: (i) até 1,5km; (ii) entre 1,5 km e 3,5 km; (iii) mais que 3,5 km, o que dá origem a três variáveis *dummy*.
- **B1:** Tempo desde a atividade ou o domicílio até o terminal de integração, em minutos.
- **B2:** existência de ciclofaixas / ciclovias ao longo do trajeto, ou em sua maioria. O agrupamento dessas infraestruturas distintas é decorrente do fato de que muitos dos respondentes poderiam não saber a diferença entre elas. Trata-se de uma variável *dummy*, que assume o valor 1 quando há a presença de tais infraestruturas cicloviárias.
- **B3:** presença de bicicletários no terminal. Trata-se de uma variável *dummy*, que assume valor 1 em caso de presença de bicicletários no terminal.
- **O1:** tempo de caminhada até a parada de ônibus, desde o domicílio, somado ao tempo de espera na parada, em minutos.
- **O2:** tempo de viagem dentro do ônibus alimentador, desde a parada de ônibus até o terminal, em minutos.

Cabem algumas observações sobre as variáveis escolhidas. As variáveis B1 e B2 são variáveis comuns ao ninho “Bicicleta”, e, portanto, têm parâmetros iguais para as alternativas Bicicleta Própria e Bicicleta Integrada. Isso implica em considerar que o efeito dessas variáveis sobre o processo decisório é o mesmo para ambas as alternativas. Além disso, a decisão de separar o tempo de viagem por ônibus em duas parcelas (O1 e O2) decorre da hipótese, *a priori*, de que o usuário atribui um valor distinto ao tempo gasto em cada uma dessas parcelas.

Merece destaque, ainda, o fato de que o desconforto associado ao uso da bicicleta ou ao calor enfrentado pelos usuários não foi sistematizado em uma variável explicativa. Isso se deve ao fato de que, em Fortaleza, as temperaturas elevadas e relativamente constantes ao longo de todo o ano inviabilizam a criação de uma variável com diversos níveis de temperatura, por exemplo. Quanto à questão da segurança viária e do possível risco de acidentes, tal aspecto foi levado em conta indiretamente por meio de uma variável *proxy*, a variável B2.

Para as alternativas existentes na ponta da atividade, os atributos escolhidos são idênticos, à exceção da variável B3 (presença de bicicletários), que deixa de fazer sentido quando a única possibilidade de utilização da bicicleta é através do Bicicletar. Os atributos

escolhidos encontram-se apresentados na tabela a seguir:

Tabela 6 – Variáveis explicativas para o modelo na ponta da atividade.

Bicicletar	Ônibus Alimentador
B0) Distância no acesso	O1) Tempo de caminhada e espera
B1) Tempo até o terminal	O2) Tempo dentro do ônibus até o terminal
B2) Existência de ciclofaixas / ciclovias ao longo do trajeto	

4.3.5 Definição da forma da função de utilidade

Essa etapa envolve a determinação da forma como os parâmetros se relacionam na função de utilidade, bem como a forma dos atributos. Devido à ausência de indícios na literatura que apontassem a favor de alguma forma funcional específica, foi adotada, *a priori*, uma função de utilidade linear-nos-parâmetros, com as variáveis incorporadas com seu valor original (sem transformações logarítmicas, box-cox, etc).

4.4 Projeto de Experimento

Partindo-se do modelo especificado *a priori* na etapa anterior, deve-se projetar um experimento compatível com a estrutura específica do modelo construído, ou seja, com o contexto de escolha, as alternativas do conjunto de escolha e os atributos selecionados. Baseado em Rose e Bliemer (2009), o processo de *design* de experimento proposto envolve as seguintes sub-etapas:

Figura 36 – Sub-etapas do processo de *design* de experimento.



Fonte: Autor.

4.4.1 Determinação do tipo de experimento

O primeiro aspecto a ser decidido é sobre o tipo de experimento a ser realizado, ou seja, se trata-se de um experimento rotulado ou não-rotulado. Adotar um experimento não-rotulado implica considerar todos os atributos genéricos e considerar que os nomes das alternativas apenas remetem à ordem de aparição no formulário. Na formulação construída na

seção 4.3, a escolha é de modo, o que implica que o nome da alternativa é importante e remete a uma série de características implícitas, que vão além da ordem de aparição. Além disso, alguns dos atributos são específicos da alternativa, de modo que a escolha apropriada é pela construção de um experimento rotulado.

4.4.2 Determinação dos níveis dos atributos

Determinar os níveis dos atributos envolve dois aspectos principais: (i) determinar a quantidade de níveis por atributo; e (ii) escolher o valor dos níveis adotados. O primeiro aspecto deriva da especificação do modelo: no caso de variáveis *dummy*, a quantidade de níveis já é pré-determinada, enquanto que para os outros atributos, a incorporação de mais de dois níveis seria justificada caso haja hipótese de não-linearidade dos efeitos.

Quanto aos valores dos níveis, a adoção de amplitudes maiores nos níveis é preferível (ex: 10 minutos / 60 minutos é preferível que 10 minutos / 20 minutos), por favorecer a estimação de parâmetros com menor erro-padrão. Além disso, uma variação muito grande nos níveis pode levar à aparição de alternativas dominantes, enquanto que uma menor amplitude pode tornar as alternativas indistinguíveis (ROSE; BLIEMER, 2009). Deve-se considerar, ainda, questões relativas ao realismo das alternativas apresentadas (como tempos de viagem muito distantes daqueles praticados pelos respondentes).

4.4.3 Escolha pelo método de geração do design

Na seção 3.1.2, discutiu-se que os *designs* fatoriais são os mais utilizados em estudos de modelagem de Escolha Discreta. Adotando-se esse tipo de *design* no presente estudo, na presente sub-etapa metodológica busca-se determinar qual o tipo de *design* fatorial é o mais adequado. Isso envolve escolher entre o Fatorial Completo e o Fatorial Fracionário, e, no caso da utilização de um Fatorial Fracionário, qual é o subtipo a ser utilizado. Tal decisão envolve diversos critérios, que são discutidos abaixo.

O primeiro critério se refere à quantidade de cenários a serem considerados. Considerando um experimento rotulado com M alternativas, A atributos (por alternativa) e L níveis, a quantidade P de cenários em um Fatorial Completo é dada por $P = L^{MA}$. Para um Fatorial Fracionário, o menor tamanho de experimento é aquele em que apenas os efeitos principais são avaliados, e deve ser, no mínimo, igual ao número de graus de liberdade do experimento.

O número de graus de liberdade de um experimento refere-se à quantidade total de

parâmetros a serem estimados, dependendo, portanto: (i) da quantidade de efeitos a serem estimados, entre efeitos principais e interações; e (ii) da formulação da função de utilidade. Considerando funções de utilidade que capturam efeitos lineares dos atributos, o número de graus de liberdade considerando apenas efeitos principais é dado por (Hensher et al., 2005):

Tabela 7 – Número de graus de liberdade para projeto com M alternativas e A atributos

Tipo de Experimento	Não-rotulado	Rotulado
Graus de Liberdade dos efeitos principais	$A + 1$	$M \times A + 1$

Um segundo critério para a escolha do *design* é o fenômeno do confundimento, ou *aliasing*. Enquanto o Fatorial Completo permite a estimação independente dos efeitos principais e interações, no Fatorial Fracionário o efeito de um atributo pode estar confundido com outro efeito omitido, possivelmente de ordem superior. Assim, a escolha do *design* deve levar a uma estrutura de confundimento adequada, que permita ao modelador capturar os efeitos desejados. Por exemplo, caso se deseje capturar os efeitos principais e haja confundimento com interações de segunda ordem, os efeitos principais só serão estimados caso as interações de segunda ordem sejam nulas. Caso contrário, os efeitos estimados pela fração serão viesados, e a natureza e extensão desse viés não podem ser determinados pois dependem de efeitos não-observados.

Nesse sentido, um conceito essencial é o de resolução do *design*. Segundo Montgomery (2012), um *design* é de resolução R se “nenhum efeito de p fatores (ordem p) for confundido com outro efeito contendo menos de R – p fatores”. Merecem destaque os *designs*:

- **Resolução III**, nos quais os efeitos principais não são confundidos entre si, mas são confundidos com efeitos de 2ª ordem. Os efeitos de 2ª ordem, por sua vez, são confundidos entre si;
- **Resolução IV**, nos quais os efeitos principais não são confundidos entre si nem com efeitos de 2ª ordem, mas as interações de 2ª ordem são confundidas entre si;
- **Resolução V**, nos quais os efeitos principais e de segunda ordem não são confundidos com efeitos principais nem interações de 2ª ordem, mas as interações de 2ª ordem são confundidas com as interações de 3ª ordem.

A figura a seguir reúne as possibilidades de *design* para experimentos fatoriais com até 12 fatores:

Figura 37 – Possibilidades de experimentos fatoriais com até 12 fatores

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	2^2	2^{3-1}_{III}									
8		2^3	2^{4-1}_{IV}	2^{5-2}_{III}	2^{6-3}_{III}	2^{7-4}_{III}					
16			2^4	2^{5-1}_V	2^{6-2}_{IV}	2^{7-3}_{IV}	2^{8-4}_{IV}	2^{9-5}_{III}	2^{10-6}_{III}	2^{11-7}_{III}	2^{12-8}_{III}
32				2^5	2^{6-1}_{VI}	2^{7-2}_{IV}	2^{8-3}_{IV}	2^{9-4}_{IV}	2^{10-5}_{IV}	2^{11-6}_{IV}	2^{12-7}_{IV}
64					2^6	2^{7-1}_{VII}	2^{8-2}_V	2^{9-3}_{IV}	2^{10-4}_{IV}	2^{11-5}_{IV}	2^{12-6}_{IV}
128						2^7	2^{8-1}_{VIII}	2^{9-2}_{VI}	2^{10-3}_V	2^{11-4}_V	2^{12-5}_{IV}
256							2^8	2^{9-1}_{IX}	2^{10-2}_{VI}	2^{11-3}_{VI}	2^{12-4}_{VI}
512								2^9	2^{10-1}_X	2^{11-2}_{VII}	2^{12-3}_{VI}

Fonte: Minitab Inc. (2003).

Por fim, caso se decida pela utilização de um *design* Fatorial Fracionário, deve-se optar por um subtipo particular desse *design*. Na seção 3.1.2 apontou-se que os *designs* ortogonais eram os mais utilizados, mas que o estado-da-arte envolvia o uso de *designs* OOC e EC. Entretanto, o *design* OOC é apropriado apenas para experimentos não-rotulados, o que não é o caso do experimento do presente trabalho, enquanto o *design* EC necessita de estimativas *a priori* dos coeficientes, de modo que, devido à especificidade local do fenômeno e das restrições em termos de estudos, opta-se pelos *designs* ortogonais.

4.4.4 Determinação da quantidade de cenários por respondente

Um último aspecto do projeto de experimento refere-se à redução da quantidade de cenários de escolha apresentados a cada respondente. Dependendo do número de perfis, a aplicação do questionário pode se tornar cansativa para o respondente, o que pode comprometer a qualidade das respostas dadas. Assim, adota-se uma estratégia denominada *blocking*, que permite reduzir a quantidade de perfis mostrados a cada entrevistado, mas mantendo a quantidade de perfis totais do projeto do experimento.

Para tal, introduz-se uma nova coluna ortogonal no design, cuja quantidade de níveis define a repartição do projeto. Assim, adotar 4 níveis (arbitrários) permitiria dividir a quantidade de cenários de escolha por 4 para cada respondente. Vale observar, no entanto, que, em projetos ortogonais, a ortogonalidade só é efetivamente alcançada caso os blocos sejam

aplicados com uma quantidade igual de respondentes, caso contrário o experimento deixa de apresentar essa propriedade, apesar de ter sido projetado para tal.

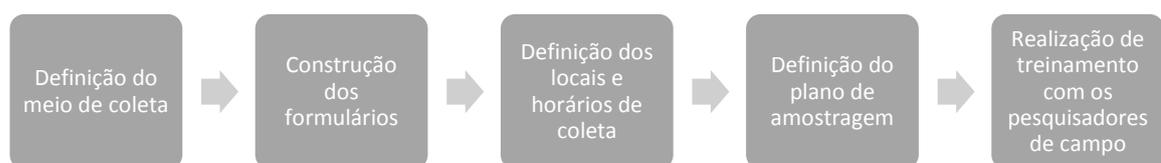
4.4.5 Geração da matriz do design

Para gerar um *design* fatorial fracionário ortogonal, utiliza-se a metodologia apresentada por Montgomery (2012), implementada computacionalmente no *software* Minitab. Para gerar um fatorial fracionário 2^{k-1} , ou seja, um fração de $\frac{1}{2}$ do *design* 2^k , utiliza-se um *design* base, o Fatorial Completo 2^{k-1} . O k-ésimo fator é introduzido por meio do confundimento com a interação de maior ordem. A escolha da interação confundida determina a resolução do experimento, por isso ela deve ser escolhida cuidadosamente. O procedimento pode ser generalizado para frações menores, partindo sempre do Fatorial Completo com o tamanho que se deseja obter, e introduzindo novos fatores (colunas) confundidas com as interações de ordem superior.

4.5 Preparação das Pesquisas de Campo

A matriz de números resultante do experimento projetado não traz significado imediato para os respondentes, de modo que se torna necessário convertê-la em um questionário, que apresente uma situação de escolha bem clara para o entrevistado. A preparação das pesquisas de campo envolve cinco sub-etapas, mostradas na figura a seguir:

Figura 38 – Sub-etapas de preparação das pesquisas de campo.



Fonte: Autor.

A definição do meio de coleta, ou seja, do instrumento de pesquisa, é o primeiro passo da preparação das pesquisas. Como a população de interesse previamente definida é de baixa renda, pesquisas via internet e telefone não são adequadas, visto que o acesso a esses meios pode não ser garantido para todos os indivíduos de interesse. Assim, opta-se pela realização de pesquisas presenciais em formato de papel, em detrimento do uso de formulários eletrônicos, por limitações materiais.

Na construção dos formulários, dois aspectos essenciais devem ser levados em conta: é preciso realizar uma triagem preliminar para verificar o enquadramento do entrevistado

à população de interesse definida na seção 4.1.2. Além disso, as perguntas devem ser elaboradas de modo a permitir a coleta de todas as variáveis selecionadas na etapa de formulação dos modelos. Assim, considera-se que o formulário tem duas seções básicas: uma primeira seção de Preferência Revelada (PR), onde são coletadas informações sobre o perfil do usuário e da viagem realizada, e uma seção de Preferência Declarada (PD), onde são apresentados os cenários determinados na etapa de projeto de experimento.

Na seção de PD, adota-se um arranjo bastante utilizado, que consiste em colocar as alternativas em colunas e os atributos nas linhas. Além disso, uma estratégia adotada é a aleatorização da ordem de apresentação dos cenários, para minimizar possíveis efeitos de ordenamento (HENSHER; BUTTON, 2008): os respondentes podem usar os primeiros cenários para aprender o que deve ser feito, ou ainda sofrer fadiga nas últimas tarefas de escolha. Assim, essa medida permite eliminar essa fonte de viés nas respostas obtidas.

A definição dos locais e horários de coleta é decorrente da compreensão sobre o fenômeno estabelecida anteriormente. Os terminais de integração são os locais mais adequados, por concentrarem um maior fluxo de pessoas e por oferecerem condições mais seguras de aplicação das pesquisas. Para o experimento relativo à ponta do domicílio, aplica-se a pesquisa nos terminais periféricos no período de pico da manhã, onde haveria um fluxo considerável de indivíduos realizando transbordo para se deslocar à região central. Já no segundo experimento, o local escolhido são os terminais centrais (Coração de Jesus e Praça da Estação) no período do pico da tarde, onde haveria grande fluxo de indivíduos saindo das atividades e regressando aos domicílios.

Quanto ao plano de amostragem, será discutido posteriormente que o método de estimação dos modelos de escolha discreta parte da premissa de aleatoriedade na coleta. Isso significa afirmar que todos os indivíduos devem ter a mesma chance de serem abordados pelos pesquisadores. Além disso, levando em conta as hipóteses de estudo, seria apropriado realizar estratificações quanto ao gênero, renda e motivo de viagem. Entretanto, como não se tem informações prévias sobre o perfil dos usuários a serem entrevistados, realiza-se uma estratificação por gênero, apenas, que pode ser realizada visualmente pelos pesquisadores.

Por fim, é realizado um treinamento com os pesquisadores de campo, onde cada pergunta do formulário é explicada, e são dadas as devidas instruções quanto à forma de abordagem aos indivíduos. Em consonância com o plano de amostragem adotado, os pesquisadores foram instruídos a alternar o gênero dos indivíduos abordados, a não abordar

dois indivíduos de um mesmo grupo (casais, pai e filho, etc.), e a alternar entre as plataformas de embarque.

4.6 Realização de Pesquisa-Piloto e Correções na Pesquisa

Louvière et al. (2000) afirmam que nenhuma coleta de campo deve ser realizada sem uma pesquisa-piloto preliminar. Através dessa, é possível avaliar o grau de entendimento dos respondentes para o contexto de escolha proposto para a pesquisa de PD, ou seja, se a forma como os cenários são apresentados no formulário é clara. Além disso, verifica-se se os níveis determinados no projeto de experimento são adequados para promover a variabilidade de escolhas desejada. Nesse sentido, além de avaliações qualitativas, a calibração de modelos preliminares permite avaliar a qualidade dos dados coletados.

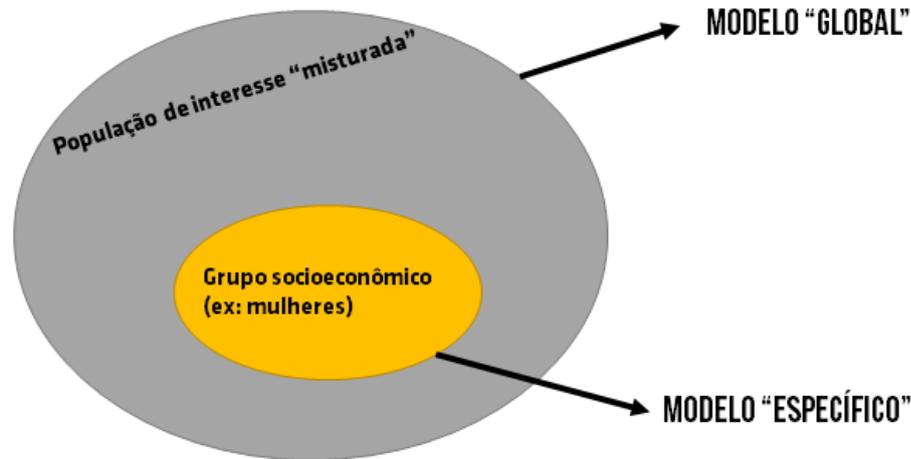
Outros aspectos importantes a serem avaliados são: (i) clareza das perguntas; (ii) tempo médio de aplicação dos formulários; (iii) receptividade dos respondentes às perguntas propostas; e (iv) qualidade das respostas obtidas. A coleta de comentários dos respondentes e dos pesquisadores sobre a pesquisa é fundamental, permitindo incorporar melhorias na pesquisa definitiva a ser realizada. Visto que o propósito principal dessa pesquisa é o aprendizado e o aperfeiçoamento do método de coleta, não se fez requisitos quanto ao tamanho mínimo de amostra.

4.7 Coleta de dados principal e Calibração

Após a etapa de coleta de dados principal, é necessária a realização de uma etapa de tabulação, devido à adoção de formulários de papel, na qual os dados são transcritos para uma base de dados eletrônica, onde podem ser analisados pelo meio de softwares.

A metodologia de calibração proposta está intimamente ligada às hipóteses de estudo a serem investigadas, pois reconhece-se que essa etapa vai além da estimação numérica dos modelos, permitindo também aprendizado sobre o fenômeno. Duas estratégias principais serão utilizadas nessa etapa: (i) a calibração de um modelo “global”, que incorpora os atributos socioeconômicos na utilidade sistemática; e (ii) a realização de segmentações de mercado (BEN-AKIVA; LERMAN, 1985), calibrando-se modelos “específicos” para diferentes grupos de indivíduos. O procedimento descrito está ilustrado na figura a seguir.

Figura 39 – Estratégias de calibração utilizadas.



Fonte: Autor

O método de análise para cada hipótese de estudo é apresentado na tabela abaixo.

Tabela 8 – Métodos de calibração na investigação das hipóteses estabelecidas.

Hipóteses	Método de calibração
H1: a escolha modal depende da distância de acesso	<ul style="list-style-type: none"> • Calibração do modelo “global”, avaliando os coeficientes das variáveis <i>dummy</i> para as faixas de distância
H2: o comportamento de escolha dos usuários varia entre os motivos de viagem	<ul style="list-style-type: none"> • Calibração do modelo “global”, avaliando o coeficiente da variável <i>dummy</i> para motivo de viagem • Segmentação de mercado em dois grupos: calibra-se modelos distintos para indivíduos com viagem motivo trabalho e motivo estudo
H3: o comportamento de escolha dos usuários difere na ponta do domicílio e na ponta da atividade	<ul style="list-style-type: none"> • Comparação dos modelos “globais” dos experimentos da ponta do domicílio e da atividade
H4: facilidades de estacionamento de bicicleta tendem a aumentar a atratividade do uso de bicicleta	<ul style="list-style-type: none"> • Calibração do modelo “global”, avaliando o coeficiente das variáveis <i>dummy</i> relativas à presença de bicicletários
H5: a presença de ciclovias ao longo do percurso aumenta a atratividade da bicicleta	<ul style="list-style-type: none"> • Calibração do modelo “global”, avaliando o coeficiente das variáveis <i>dummy</i> relativas à presença de ciclovias/ciclofaixas
H6: há diferença no comportamento de escolha entre os gêneros masculino e feminino	<ul style="list-style-type: none"> • Calibração do modelo “global”, avaliando o coeficiente da variável <i>dummy</i> relativa ao gênero do indivíduo • Segmentação de mercado em dois grupos: calibra-se modelos distintos para indivíduos de gênero masculino e feminino.
H7: usuários do TP com rendas mais baixas teriam maior tendência à utilização de bicicletas	<ul style="list-style-type: none"> • Calibração do modelo “global”, avaliando o coeficiente da variável <i>dummy</i> relativa à faixa de renda do indivíduo • Segmentação de mercado em três grupos: calibra-se modelos distintos, um para cada faixa de renda estabelecida anteriormente

Independentemente da hipótese a ser investigada, a estimação de modelos com o método da Máxima Verossimilhança é realizada através do *software* Biogeme (BIERLAIRE, 2003), que permite, entre outros, a estimação de modelos do tipo Multinomial Logit e Nested Logit, adotados nesse trabalho. Além da estimação propriamente dita, a etapa de calibração envolve análise dos valores dos coeficientes e a realização de inferência estatística.

Primeiramente, realiza-se o teste *informal* das estimativas dos coeficientes, onde são avaliados os sinais dos coeficientes estimados. As expectativas *a priori* sobre esses coeficientes são: (i) os tempos de viagem são vistos como impedância ao deslocamento, portanto devem ter coeficientes negativos; (ii) no modo ônibus, os tempos de caminhada e espera são mais onerosos que os tempos dentro do veículo, já que envolvem esforço físico, espera em pé, etc.

As análises de inferência partem do fato de que os estimadores de Máxima Verossimilhança têm um comportamento assintótico bem definido, o que permite a realização de diversos testes. É importante ressaltar que as análises de inferência estatística visam não só a construção de modelos adequados, mas também trazem aprendizado sobre o fenômeno, permitindo o estudo de hipóteses sobre ele. Os testes realizados são apresentados brevemente a seguir:

4.7.1 Teste-t assintótico de significância de um componente β_k^*

Para cada parâmetro β_k^* estimado há um erro associado, devido ao fato de que o modelo é estimado com base em uma amostra da população total (KOPPELMAN; BHAT, 2006). A magnitude desse desvio é avaliada por meio do erro padrão s_{kk} associado a cada estimativa. Esse teste é usado para avaliar se um parâmetro *em particular* difere de uma constante, no caso, zero. Define-se, assim, um teste com hipótese nula de que β_k tem valor zero. A estatística de teste é dada por:

$$t = \frac{\beta_k^*}{s_{kk}} \quad (9)$$

4.7.2 Teste-t do caráter genérico dos atributos

Através desse teste, permite-se testar a hipótese de que dois parâmetros β_i^* e β_j^* são estatisticamente distintos entre si. Partindo-se de um teste de hipóteses com hipótese nula de que $\beta_i = \beta_j$, utiliza-se a seguinte estatística de teste t (KOPPELMAN; BHAT, 2006):

$$t = \frac{\beta_i^* - \beta_j^*}{\sqrt{s_i^2 + s_j^2 - 2s_{ij}}} \quad (10)$$

Onde s_{ij} é a covariância do erro para as estimativas dos i -ésimo e j -ésimo parâmetros.

4.7.3 Teste da razão de verossimilhança (Likelihood Ratio Test)

Como citado no capítulo 3, o teste da razão de verossimilhança clássico é pouco útil, devido à facilidade na qual se rejeita a hipótese nula de que todos os coeficientes são nulos, mesmo para níveis de significância extremamente baixos. No entanto, esse teste permite avaliar, também, restrições particulares (considerando R coeficientes) ao modelo completo (com C coeficientes), com a estatística de teste dada por:

$$-2 \left(\mathcal{L}(\beta_{restrito}) - \mathcal{L}(\beta_{completo}) \right) \sim \chi^2(C - R) \quad (11)$$

4.7.4 O índice ρ^2 -quadrado

Por fim, para comparar especificações, utiliza-se a medida de aderência ρ^2 -quadrado, dada por:

$$\rho^2 = 1 - \frac{\mathcal{L}(\beta_{completo})}{\mathcal{L}(0)} \quad (12)$$

Ben-Akiva e Lerman (1985) apresentam, ainda, o ρ^2 -quadrado ajustado, que ajusta o índice em relação à quantidade de variáveis no modelo.

4.8 Validação

Dadas as limitações de recursos e pessoal quanto à coleta de dados, não se julgou possível a validação por meio da separação da amostra em duas parcelas, sendo uma para calibração e outra para validação. O uso de dados de Preferência Revelada também não é viável, já que os dados de bilhetagem eletrônica não permitem, a princípio, conhecer as características do modo de acesso ao transporte público e nem dos tempos de acesso.

Assim, optou-se por fazer uma validação indireta dos modelos por meio da discussão de resultados, comparando os resultados dos modelos calibrados com o de estudos anteriores, principalmente os estudos nacionais, partindo da suposição de que as realidades comparadas possuem semelhanças.

4.9 Análise do comportamento de escolha dos usuários por meio dos modelos calibrados

A análise dos fatores que influenciam no comportamento de escolha pelo uso integrado da bicicleta com o ônibus é feita a partir dos modelos calibrados e validados, partindo-se das hipóteses de estudo definidas no Capítulo 2. O processo de aprendizado sobre o fenômeno, iniciado no processo de calibração com as análises de inferência estatística, é aprofundado nessa etapa, por meio das seguintes análises:

- Análise do peso relativo dos coeficientes calibrados, visando compreender o impacto relativo dos atributos no processo de escolha;
- Análise dos *trade-offs* entre atributos;
- Comparação entre modelos calibrados para estratos (segmentos) distintos;
- Discussão dos resultados em relação a estudos similares.

5 ELABORAÇÃO DO EXPERIMENTO E COLETA DOS DADOS DE PREFERÊNCIA DECLARADA

Nesse capítulo, parte-se da formulação de modelo desenvolvida no Capítulo 4, e apresentam-se os resultados de aplicação do método proposto no capítulo anterior para as etapas que compreendem desde o projeto de experimento até a realização da coleta de dados principal. As discussões desse capítulo culminam, assim, na descrição da amostra coletada, caracterizando-se o perfil dos usuários entrevistados e das viagens realizadas por eles. Os resultados das etapas metodológicas posteriores serão abordados no Capítulo 6.

5.1 Projeto de Experimento

O reconhecimento da existência de dois processos distintos de escolha de modo ao longo da viagem integrada bicicleta-ônibus tem como consequência imediata a necessidade de serem projetados dois experimentos (rotulados) distintos. Quanto à definição dos níveis, para a pesquisa-piloto considerou-se que, em ambos os experimentos, todos os atributos teriam 2 níveis. No caso de variáveis *dummy*, essa é a quantidade natural de níveis, mas para as variáveis relativas ao tempo, isso implica em assumir que o efeito do tempo sobre as escolhas de modo é linear. Os valores adotados dos níveis (com codificação ortogonal: -1/+1) são mostrados abaixo:

Tabela 9 – Valores de níveis adotados nos projetos de experimento

Variável	Níveis
B1) Tempo pedalando até o terminal	-1: 10 minutos +1: 20 minutos
B2) Existência de ciclofaixas/ciclovias ao longo do trajeto	-1: sem ciclofaixas/ciclovias +1: sem ciclofaixas/ciclovias
B3) Presença de bicicletários no terminal	-1: sem bicicletário +1: com bicicletário
O1) Tempo de caminhada e espera	-1: 5 minutos +1: 15 minutos
O2) Tempo dentro do ônibus até o terminal	-1: 15 minutos +1: 25 minutos

A seguir, são feitas considerações sobre cada um dos experimentos elaborados, cujas matrizes finais encontram-se apresentadas no apêndice.

5.1.1 Experimento 1 – Ponta do Domicílio

O experimento 1, realizado na ponta do domicílio, é um experimento com 5 fatores. Dessa forma, o experimento mínimo teria 6 cenários, entretanto a exigência de ortogonalidade eleva esse mínimo para 8 cenários. Nesse caso, existem três distintas possibilidades de experimento (ver Figura 37):

- a) Fatorial fracionário (1/4) com 8 cenários e resolução III
- b) Fatorial fracionário (1/2) com 16 cenários e resolução V
- c) Fatorial completo 2^5 com 32 cenários

Não havendo evidências para desprezar os efeitos de segunda ordem no projeto de experimento, descartou-se, inicialmente, o experimento com resolução III, no qual os efeitos principais estariam confundidos com os efeitos de segunda ordem. Considerou-se, ainda, que seria necessário utilizar blocos, para reduzir a duração das pesquisas. Partindo-se de blocos com 4 cenários, as duas possibilidades restantes de experimento teriam as seguintes características:

Tabela 10 – Comparação das possibilidades de experimentos para a ponta do domicílio

Características	Fatorial fracionário 1/2	Fatorial completo
Número de cenários	16	32
Quantidade de blocos (4 cenários por bloco)	4	8
Resolução (sem os blocos)	V	-
Resolução (com os blocos)	III	III
Estrutura de confundimento dos efeitos principais	A + BCDE B + ACDE C + ABDE D + ABCE E + ABCD	Sem confundimento
Estrutura de confundimento dos blocos	Bloco 1: AB + CDE Bloco 2: AC + BDE Bloco 3: BC + ADE	Bloco 1: AC Bloco 2: BD Bloco 3: ADE Bloco 4: ABCD Bloco 5: CDE Bloco 6: ABE Bloco 7: BCE

A fim de justificar a escolha por uma das possibilidades de experimento expostas acima, alguns aspectos necessitam ser discutidos. A adoção do Fatorial Fracionário traria, em um primeiro momento, a vantagem de redução da amostra mínima necessária, considerando que a quantidade de cenários seria a metade dos cenários necessários para um Fatorial Completo. Quanto ao efeito de confundimento, o experimento fatorial completo é preferível, por ser isento desse efeito indesejável. No entanto, o fatorial fracionário em questão, tendo resolução V, confunde os efeitos principais apenas com efeitos de quarta ordem, e a premissa de que tais efeitos são desprezíveis pode ser imposta sem ônus consideráveis, por responderem a uma parcela ínfima da variância explicada (LOUVIERE et al., 2000).

Por fim, em ambos os experimentos, a introdução dos blocos é feita ao custo de reduzir a resolução dos experimentos para III, considerando-se que os blocos estariam confundidos com as interações de segunda ordem e ordem superior. Isso não traz prejuízos na estimação dos efeitos principais, e possibilita a eventual estimação das interações de segunda ordem, caso se adote a premissa de que o efeito da “blocagem” possa ser desprezado.

Com base nos aspectos anteriormente apresentados, julgou-se que o ganho relativo à adoção de um experimento fatorial completo não compensaria o aumento no tamanho de amostra mínimo necessário, de modo que se optou por utilizar o experimento fatorial com fração de $\frac{1}{2}$, que atenderia aos requisitos de formulação do modelo previamente apresentados.

5.1.2 Experimento 2 – Ponta da atividade

Para o experimento na ponta da atividade, com 4 fatores, o tamanho mínimo de experimento seria de 5 cenários. Havendo exigência de ortogonalidade, o tamanho mínimo se eleva para 8 cenários, no qual existem duas possibilidades:

- a) Fatorial fracionário ($\frac{1}{2}$) com 8 cenários
- b) Fatorial completo 2^4 com 16 cenários.

A fim de avaliar as possíveis vantagens de reduzir o tamanho dos blocos no processo de coleta de dados e na confiabilidade das respostas, esse experimento foi projetado com blocos compostos por apenas 2 cenários. Os projetos assim obtidos possuem as seguintes características:

Tabela 11 - Características dos experimentos possíveis para a ponta da atividade

Características	Fatorial fracionário 1/2	Fatorial completo
Número de cenários	8	16
Quantidade de blocos (2 cenários por bloco)	4	8
Resolução (sem os blocos)	IV	-
Resolução (com os blocos)	III	III
Estrutura de confundimento dos efeitos principais	A + BCD B + ACD C + ABD D + ABC	Sem confundimento
Estrutura de confundimento dos blocos	Blk1 = AB + CD Blk2 = AC + BD Blk3 = AD + BC	Blk1 = AB Blk2 = BC Blk3 = CD Blk4 = AC Blk5 = ABCD Blk6 = BD Blk7 = AD

Comparando as possibilidades de experimento quanto à estrutura de confundimento, ao passo que o Fatorial Completo conta com a vantagem de não confundir efeitos principais, o Fatorial Fracionário em questão teria resolução IV, de modo que efeitos principais seriam confundidos apenas com os efeitos de terceira ordem, que podem ser desprezados. Além disso, da mesma forma que no experimento 1, a introdução dos blocos reduz a resolução por haver um confundimento dos blocos com os efeitos de segunda ordem.

Da mesma forma que no experimento anterior, considerou-se que o experimento fatorial fracionário atenderia aos requisitos de formulação do modelo anteriormente apresentados, com a metade do tamanho do Fatorial Completo, o que reduz o tamanho amostral necessário.

5.2 Preparação das pesquisas de campo

O passo inicial dessa etapa consistiu na elaboração dos formulários, que se encontram apresentados nos apêndices C e D. Foram criados formulários distintos para cada experimento, mas com organização semelhante em termos de estrutura e formatação. Os formulários eram introduzidos por “perguntas de triagem”, cujo objetivo principal era verificar

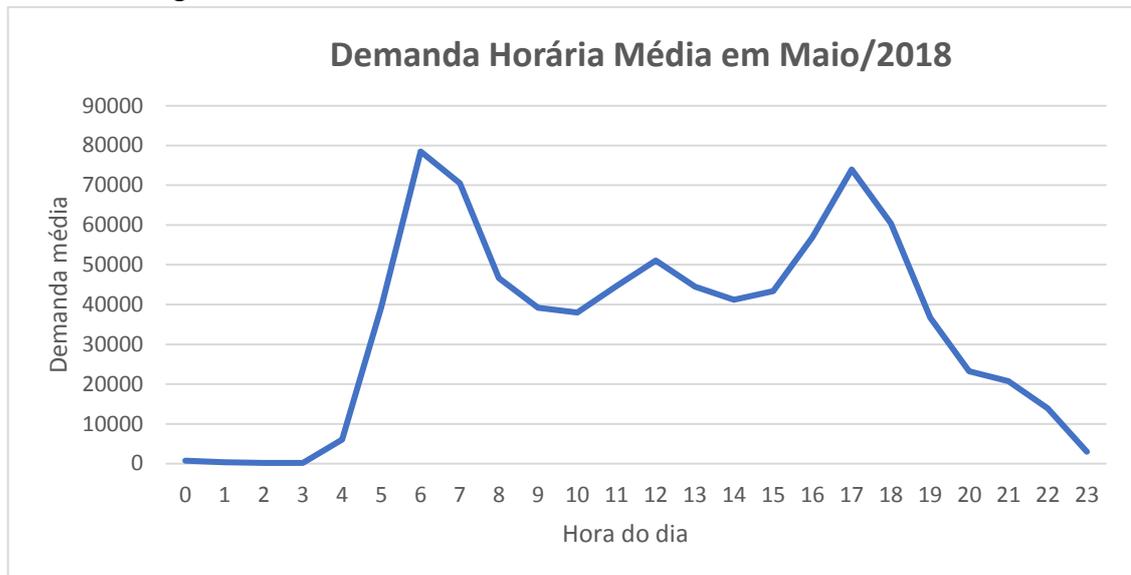
se o entrevistado se enquadrava na população de interesse, no que se refere ao motivo de viagem e à capacidade de conduzir uma bicicleta em um possível deslocamento.

Em seguida, eram feitas questões sobre o perfil do usuário (gênero, idade e renda) e sobre a viagem realizada no momento da entrevista (dados de Preferência Revelada). Os dados de Preferência Revelada permitiram a caracterização dos indivíduos quanto ao modo efetivamente utilizado no acesso ao terminal, os tempos de viagem no acesso (fazendo-se, para o ônibus, a diferenciação quanto ao tempo de caminhada e espera na parada, e o tempo dentro do ônibus).

A última parte dos formulários trouxe a apresentação dos cenários de Preferência Declarada. Inseriu-se, no experimento da ponta do domicílio, um cenário dominante para a bicicleta (cenário 0), para avaliação da consistência das respostas. Para cada bloco, elaborou-se dois tipos de formulário, um primeiro com a sequência crescente dos cenários (ex: 1,2,0,3,4) e um segundo com a sequência decrescente (4,3,0, 2 e 1), onde o cenário 0 era sempre o terceiro a ser mostrado. Como ambos os experimentos tinham 4 blocos, isso implicou na existência de 8 tipos de formulários distintos para cada experimento, que foram gerados de forma automática por meio de rotinas em VBA no Excel.

Quanto aos locais de coleta, escolheu-se o Terminal da Parangaba para o experimento-piloto da ponta do domicílio, e o Terminal do Coração de Jesus para a pesquisa na ponta da atividade. As pesquisas seriam feitas nas plataformas de embarque, com os usuários que estivessem em fila, no aguardo da chegada do ônibus, favorecendo assim a receptividade pela realização da pesquisa. Para definir os horários de coleta, utilizou-se os dados de bilhetagem eletrônica de maio de 2018 do SITFOR (Figura 40) para identificar os períodos de maior afluência de passageiros.

Figura 40 – Demanda horária média do SITFOR em maio de 2018



Fonte: Autor.

Com base no gráfico acima, fixou-se os seguintes horários de coleta:

- Experimento 1 (ponta do domicílio): 6h30 – 9h00
- Experimento 2 (ponta da atividade): 16h00 – 18h30

Cabe observar que o experimento 1, na Parangaba, foi iniciado com certa decalagem em relação ao pico de demanda, devido à lotação frequente das plataformas, o que poderia prejudicar a aplicação das pesquisas.

5.3 Realização de Pesquisa-Piloto

As pesquisas-piloto foram realizadas no dia 26 de junho de 2018 (terça-feira) nos horários estabelecidos anteriormente. Contou-se com 6 pesquisadores no período da manhã e 4 pesquisadores à tarde. Cabe ressaltar, que a equipe no período da tarde é menor devido ao menor tamanho do experimento. Algumas das precauções tomadas no processo de coleta foram:

- Foi obtida autorização prévia juntamente à ETUFOR para aplicação dos questionários nos terminais;
- Os entrevistados encontravam-se identificados com coletes uniformizados (Figura 41), visando favorecer a receptividade dos respondentes;
- Para favorecer a ortogonalidade na coleta, os formulários foram colocados em sequência de blocos: 1,1,2,2,3,3... (a repetição se deve ao requisito de estratificação).

Figura 41 – Aplicação da pesquisa-piloto no Terminal da Parangaba



Fonte: Autor.

De modo geral, as pesquisas foram aplicadas sem incidentes em ambos os terminais. Tomou-se um cuidado especial em registrar os *feedbacks* dos entrevistados e pesquisadores, que são resumidos abaixo:

- i. Diversas pesquisas tiveram de ser interrompidas devido à chegada dos ônibus que os respondentes aguardavam, ou devido ao não enquadramento do indivíduo à população de interesse;
- ii. Alguns entrevistados manifestaram ter dificuldades para compreender o contexto de escolha que estava sendo proposto na pesquisa de Preferência Declarada, o que pode ter comprometido a confiabilidade de algumas respostas;
- iii. De modo geral, considerou-se que as pesquisas do Experimento 1 estavam muito longas, devido à adoção de blocos maiores, com 4 cenários;
- iv. Houve dificuldade na obtenção de informações precisas sobre a origem e o destino dos indivíduos, que muitas vezes demonstravam desconfiança ao repassar endereços e pontos de referência.

Apesar dessas questões, obteve-se ao fim do período de coleta uma amostra para cada experimento, que permitiram fazer uma análise preliminar do fenômeno e direcionar melhor os esforços de coleta de dados definitivos. Tais amostras serão analisadas na seção seguinte.

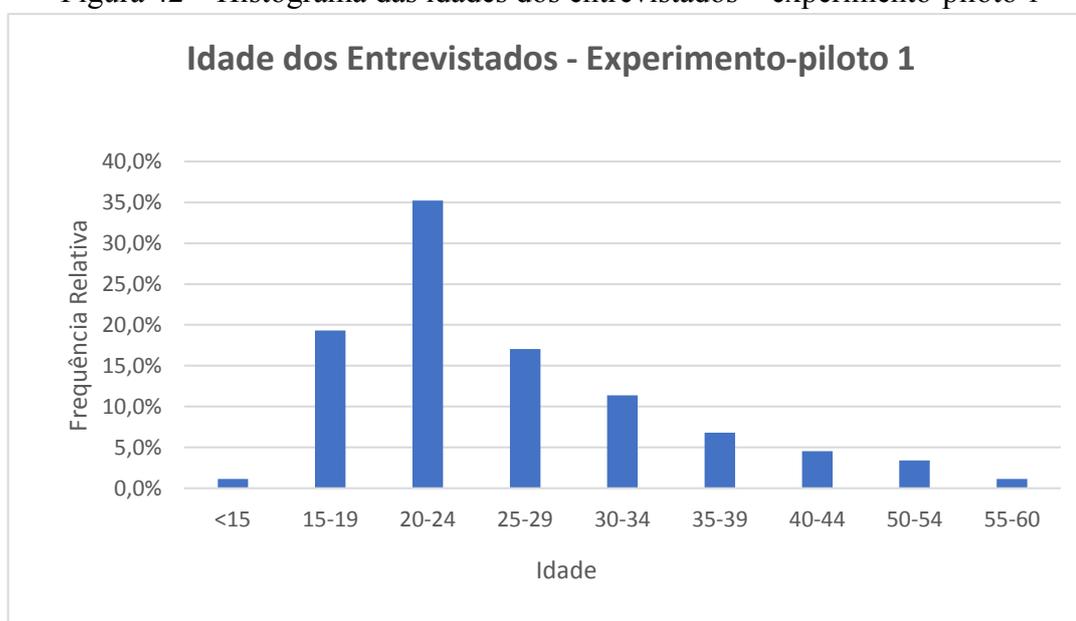
5.4 Avaliação dos resultados da pesquisa piloto

5.4.1 Experimento-piloto 1 – Ponta do Domicílio

A coleta realizada na pesquisa-piloto resultou em uma amostra com 127 entrevistas. Os diversos critérios de triagem estabelecidos levaram à eliminação de 38 formulários (cerca de 30% do total), e 24 formulários estavam incompletos devido à interrupção da pesquisa com a chegada do ônibus do respondente (19% do total). Assim, dos formulários tabulados, apenas 65 (51%) resultaram na coleta de dados válidos de Preferência Declarada. A seguir, é feita a análise descritiva dos dados de PR e uma avaliação preliminar dos resultados da PD.

Na amostra coletada, 51% dos indivíduos eram do sexo masculino, o que não reflete necessariamente a composição por sexo dos usuários, mas apenas reforça a boa execução do plano de amostragem previamente estabelecido. O histograma de idades dos entrevistados (Figura 42) revela uma predominância de indivíduos entrevistados com idade até 30 anos, e uma distribuição assimétrica à direita. A inexistência de dados do SITFOR que permitam traçar o perfil de idades dos usuários não permite avaliar, nesse momento, a representatividade da distribuição obtida.

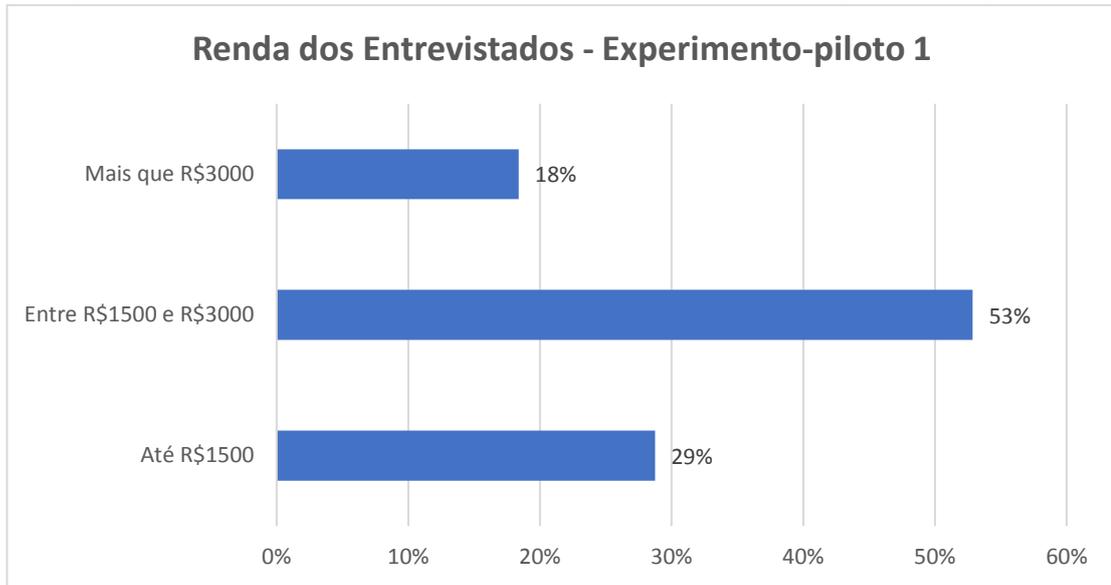
Figura 42 – Histograma das idades dos entrevistados – experimento-piloto 1



Fonte: Autor.

Com relação à renda, a maior parte dos usuários (53%) declarou ter renda entre R\$1500 e R\$3000, e 29% declararam possuir renda de até R\$ 1500.

Figura 43 – Distribuição dos usuários por faixas de renda – experimento-piloto 1



Fonte: Autor.

Abaixo, é apresentada uma matriz O/D simplificada descrevendo o padrão de viagens dos usuários entrevistados. A estratégia de abordar os usuários no horário de pico da manhã mostrou-se bastante eficaz, visto que apenas 20 (15,7%) usuários foram eliminados na triagem por realizarem viagens que fogem do perfil da população de interesse.

Tabela 12 – Matriz O/D simplificada das viagens dos entrevistados

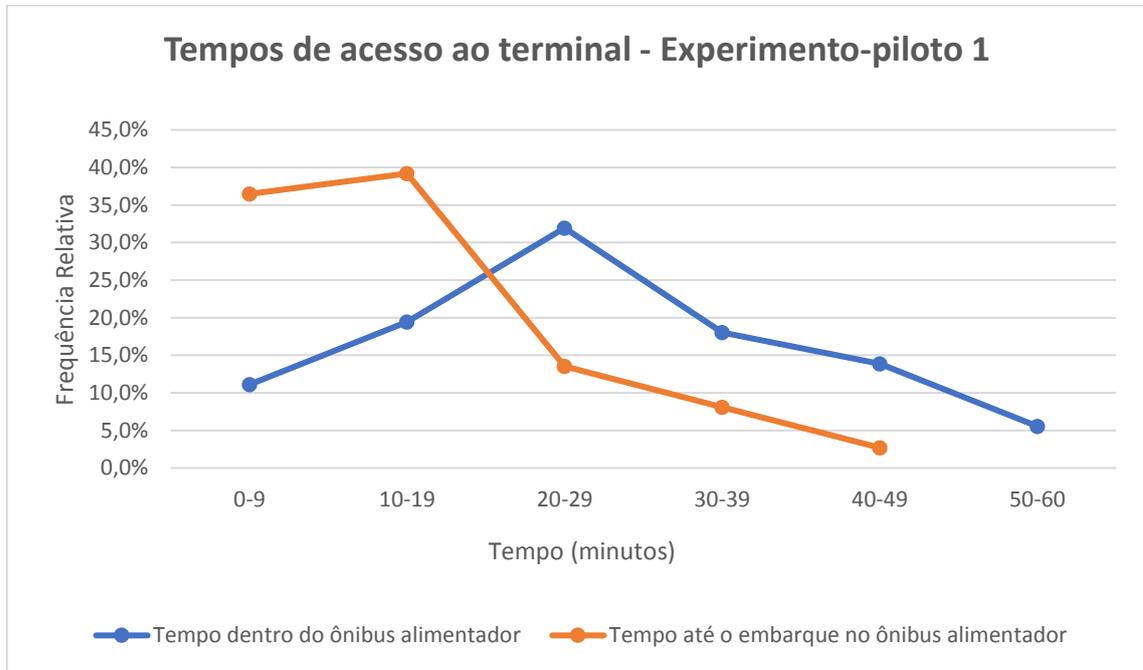
O/D	Local de estudo	Local de trabalho	Outro
Casa	37	70	14
Outro		6	

Quanto ao perfil das viagens realizadas no acesso ao terminal, 97% dos entrevistados chegaram ao Terminal da Parangaba por meio de linhas de ônibus e nenhuma com uso de bicicleta. Isso reforça a opção metodológica de coletar dados de Preferência Declarada, já que os dados de Preferência Revelada não trariam a variabilidade de escolhas necessária para estimar os modelos.

Os tempos de acesso ao terminal são mostrados na figura a seguir. O tempo médio entre o domicílio e o embarque no ônibus alimentador foi de 12,3 minutos, e a sua distribuição revela uma elevada assimetria à direita. Observa-se que a maioria (75%) dos entrevistados demora até 20 minutos em caminhada e espera para embarcar em ônibus das linhas alimentadoras em direção aos terminais. Chama a atenção, no entanto, a existência de usuários (11%) cujo tempo até o embarque supere os 30 minutos, dada a densidade de linhas na cidade

e os *headways* praticados por essas linhas, o que pode indicar problemas na compreensão da pergunta.

Figura 44 – Tempos até o embarque nas linhas alimentadoras e dentro dos ônibus – experimento-piloto 1.



Fonte: Autor

Os tempos dentro das linhas alimentadoras tiveram média de 24 minutos e distribuição aproximadamente simétrica, não superando 60 minutos. Apesar de não mostrada no gráfico, ao se perguntar sobre o comprimento total da viagem (desde o domicílio até a atividade), encontrou-se inconsistências onde a soma das duas parcelas do tempo de acesso seria superior ao alegado tempo total de trajeto até o destino final, apontando para uma falha no processo de coleta.

Apesar dos possíveis problemas na compreensão das perguntas relativas aos tempos de viagem no acesso, os valores obtidos em campo estão de acordo com os níveis adotados para o experimento-piloto. Isso é importante para agregar realismo e verossimilhança aos contextos de escolha apresentados.

Os resultados da calibração do modelo Nested Logit com base nos dados de Preferência Declarada da pesquisa-piloto são mostrados a seguir:

Tabela 13 – Resultados da calibração do modelo com os dados da pesquisa-piloto (exp. 1)

Observações	260
Parâmetros estimados	8
$\mathcal{L}(\mathbf{0})$ (log-verossimilhança do modelo nulo)	-285,639
$\mathcal{L}(\mathbf{c})$ (log-verossimilhança do modelo com a constante)	-267,641
$\mathcal{L}(\hat{\beta})$ (log-verossimilhança do modelo completo)	-240,284
Rhô-quadrado	0,159
Rhô-quadrado ajustado	0,131

Para avaliar a consistência do contexto de escolha proposto aos usuários e da formulação *a priori*, foram realizados testes de hipótese (*Likelihood ratio test*) a fim de avaliar a significância do modelo. A Tabela 14 resume as hipóteses nulas, a estatística de teste e o valor crítico da distribuição qui-quadrado.

Tabela 14 – Testes de hipótese para o experimento-piloto 1

Hipótese nula	Estatística de Teste	Graus de Liberdade	Valor Crítico χ^2 ($\alpha = 1\%$)
$\beta_0 = \dots = \beta_k = 0$ (todos os coeficientes são nulos)	$-2 [\mathcal{L}(\mathbf{0}) - \mathcal{L}(\hat{\beta})] = 90,7$	8	20,090
$\beta_3 = \dots = \beta_k = 0$ (todos os coeficientes, exceto as constantes específicas da alternativa, são nulos)	$-2 [\mathcal{L}(\mathbf{c}) - \mathcal{L}(\hat{\beta})] = 54,7$	6	16,812

Em ambos os testes de hipótese, a hipótese nula é rejeitada com baixo nível de significância (1%), o que aponta a favor da formulação *a priori* construída. Os coeficientes estimados e os respectivos testes de significância são mostrados na tabela abaixo:

Tabela 15 – Coeficientes estimados para o experimento-piloto 1 (ponta do domicílio)

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	Teste-t	Valor-p
Constante (Bicicleta Própria)	-1,63	1,04	-1,57	0,12
Constante (Ônibus)	0	fixo	-	-
Constante (Bicicleta Integrada)	-0,866	0,772	-1,12	0,26

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	Teste-t	Valor-p
Bicicletários (Bicicleta Própria)	1,04	0,677	1,54	0,12
Caminhada+Espera (Ônibus)	-3,56	2,63	-1,35	0,18
Cicloviás/Ciclofaixas (Bicicleta Própria e Integrada)	1,12	0,264	4,24	0,00
Tempo de viagem (Bicicleta Própria e Integrada)	-5,74	2,64	-2,18	0,03
Tempo dentro do ônibus (Ônibus)	-2,31	2,63	-0,88	0,38

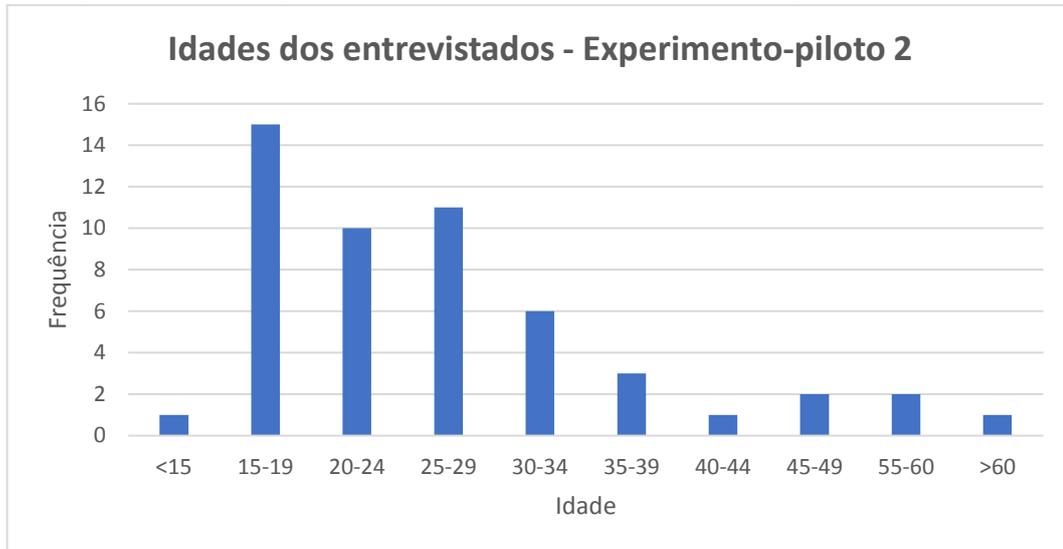
Os coeficientes estimados apresentaram um sinal consistente com as hipóteses feitas inicialmente. Os problemas de significância dos parâmetros podem ser atribuídos, primeiramente, ao reduzido tamanho amostral da pesquisa-piloto. Além disso, os elevados erros-padrão assintóticos, sobretudo nas variáveis de tempo, podem estar traduzindo problemas na compreensão das variáveis pelos entrevistados.

5.4.2 Experimento-piloto 2 – Ponta da Atividade

A coleta realizada no Terminal do Coração de Jesus possibilitou a obtenção de informações sobre 72 entrevistados. Desse total, 17 entrevistados (23,6%) foram eliminados em decorrência dos critérios de triagem, e 17 formulários estavam incompletos devido à chegada do ônibus do entrevistado antes da finalização da pesquisa. Assim, apenas 38 formulários contiveram dados de Preferência Declarada (52,7%), o que corresponde a uma taxa de sucesso semelhante àquela observada no experimento-piloto 1. A seguir, é feita uma análise dos dados de Preferência Revelada e Declarada coletados.

Cerca de 60% dos indivíduos eram do sexo masculino, havendo assim um ligeiro desbalanceamento entre os estratos amostrados. A distribuição das idades dos entrevistados (Figura 45) tem forma bastante assimétrica à direita, predominando os indivíduos entre 15 e 19 anos. A maior quantidade de jovens nesse local de coleta pode ser justificada pela existência de diversas instituições de ensino nas proximidades.

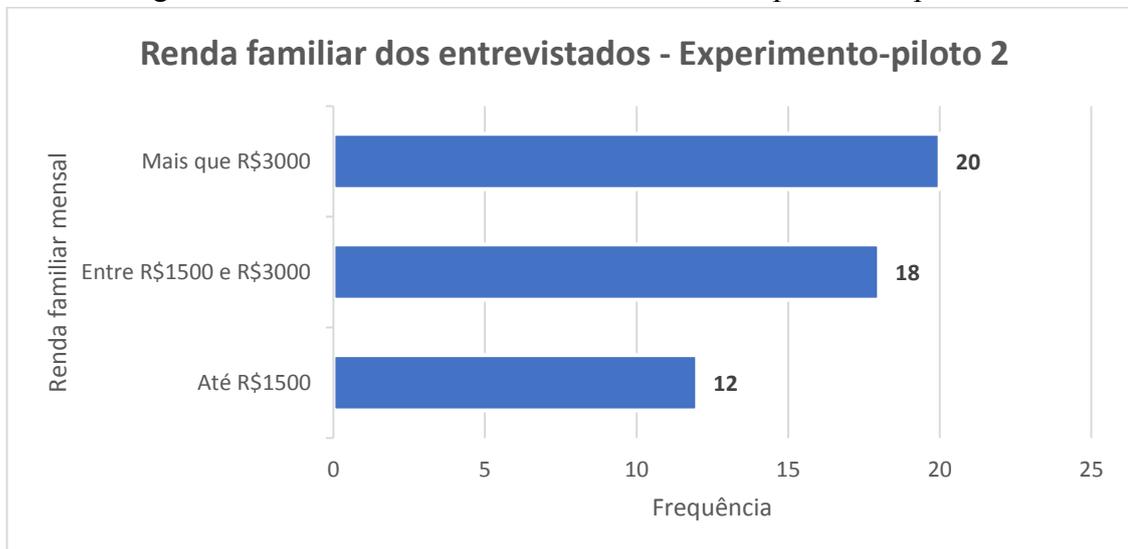
Figura 45 – Histograma das idades dos entrevistados – experimento-piloto 2



Fonte: Autor.

Ao se analisar a renda familiar declarada pelos entrevistados (Figura 46), observou-se uma maior proporção de indivíduos com renda familiar superior a R\$ 3000. A distribuição observada nesse experimento difere significativamente daquela observada no experimento anterior, onde a classe modal se referia a rendas entre R\$ 1500 e R\$ 3000.

Figura 46 – Renda familiar dos entrevistados – Experimento-piloto 2



Fonte: Autor.

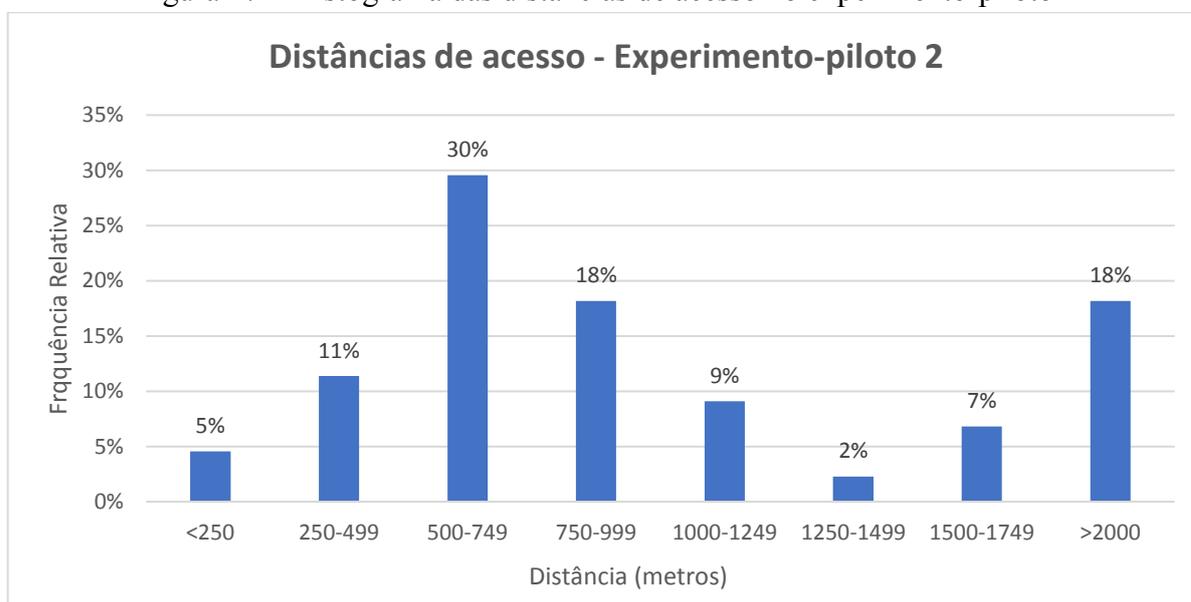
A partir das respostas dos entrevistados foi possível obter uma matriz O/D simplificada das viagens realizadas. Observa-se que 80% dos deslocamentos são trabalho-casa ou estudo-casa, estando conformes quanto à triagem realizada. Os demais deslocamentos correspondem, por exemplo, a viagens motivo compras, ou usuários que se deslocam do local de trabalho para o local de estudo.

Tabela 16 – Matriz O/D simplificada dos deslocamentos amostrados – experimento-piloto 2

O/D	Casa	Outro
Trabalho	42	5
Estudo	16	-
Outro	9	

Em relação à escolha modal no segmento de acesso ao terminal, observou-se que 65,8% dos usuários chegaram ao terminal a pé, 31,6% utilizaram uma linha de ônibus e 2,6% adotaram outros modos. O predomínio da caminhada pode ser explicado pela grande proximidade do terminal às atividades na região central da cidade. Com base nos endereços fornecidos pelos respondentes, estimou-se as distâncias percorridas até o terminal, cuja distribuição é mostrada na figura a seguir (apenas para os indivíduos realizando trajetos trabalho-casa ou estudo-casa).

Figura 47 – Histograma das distâncias de acesso no experimento-piloto 2



Fonte: Autor.

Pode-se observar que há uma predominância por distâncias de acesso curtas. Cerca de 75% dos entrevistados percorreram distâncias de até 1,5 km no acesso. Destes, 83% disseram ter acessado a caminhada a pé e apenas 12,5% de ônibus. Por outro lado, dos indivíduos cuja distância de acesso é superior a 1,5 km, 71% realizaram o trajeto por ônibus.

Os dados de Preferência Declarada possibilitaram a calibração do modelo Logit

Binário formulado *a priori*, cujos resultados são apresentados a seguir:

Tabela 17 – Resultados da calibração do modelo com os dados da pesquisa-piloto (exp. 2)

Observações	76
Parâmetros estimados	5
$\mathcal{L}(\mathbf{0})$ (log-verossimilhança do modelo nulo)	-52,679
$\mathcal{L}(\mathbf{c})$ (log-verossimilhança do modelo com a constante)	-52,019
$\mathcal{L}(\hat{\beta})$ (log-verossimilhança do modelo completo)	-50,898
Rhô-quadrado	0,034
Rhô-quadrado ajustado	-0,061

Como feito para o experimento-piloto 1, foram realizados testes de hipótese para avaliar a consistência do contexto de escolha proposto aos usuários e da formulação *a priori*. Os resultados encontram-se apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Testes de hipótese para o experimento-piloto 2 (ponta da atividade)

Hipótese nula	Estatística de Teste	Graus de Liberdade	Valor Crítico χ^2 ($\alpha = 1\%$)
$\beta_0 = \dots = \beta_k = 0$ (todos os coeficientes são nulos)	$-2 [\mathcal{L}(\mathbf{0}) - \mathcal{L}(\hat{\beta})] = 3,563$	5	15,086
$\beta_2 = \dots = \beta_k = 0$ (todos os coeficientes, exceto as constantes específicas da alternativa, são nulos)	$-2 [\mathcal{L}(\mathbf{c}) - \mathcal{L}(\hat{\beta})] = 2,242$	4	13,277

Em ambos os testes de hipótese, não houve evidências a favor da rejeição das hipóteses nula. Juntamente com o baixo valor do rhô-quadrado, esses resultados levantam questionamentos quanto à validade da situação de escolha proposta e quanto ao modelo formulado *a priori* para a ponta da atividade. Para investigar melhor essas questões, apresenta-se na Tabela 19 os valores estimados dos coeficientes e os teste-t de significância dos parâmetros:

Tabela 19 – Coeficientes estimados para o experimento-piloto 2 (ponta da atividade)

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	Teste-t	Valor-p
Constante (Bicicletar)	0,329	1,24	0,26	0,79
Constante (Ônibus)	0	fixo	-	-
Caminhada+Espera (Ônibus)	-0,00929	0,0478	-0,19	0,85
Ciclovias/Ciclofaixas (Bicicletar)	0,613	0,0479	1,28	0,20
Tempo até o terminal (Bicicletar)	-0,0427	0,0478	-0,89	0,37
Tempo dentro do ônibus (Ônibus)	-0,00929	0,0478	-0,19	0,85

Ao serem testados individualmente, nenhum dos coeficientes estimados se mostraram significativamente diferentes de zero, com elevados erros-padrão assintóticos, apesar de apresentarem sinais compatíveis com as expectativas iniciais. Foram levantadas as seguintes hipóteses para explicar os problemas de significância do modelo na ponta da atividade:

- a) Tamanho insuficiente de amostra;
- b) Problemas nos formulários e na abordagem dos pesquisadores, que podem ter levado à uma má compreensão da situação de escolha proposta;
- c) Má formulação *a priori* do modelo;

Quanto ao tamanho de amostra, é preciso ter em mente, em primeiro lugar, que o experimento projetado tinha apenas 8 cenários, a metade dos cenários do primeiro experimento. Reconhece-se, entretanto, a baixa quantidade de observações de escolha deve ter tido impacto na significância dos parâmetros e do modelo. McFadden (1984) sugere uma regra prática, segundo a qual “tamanhos amostrais que levam a menos de 30 respostas por alternativa produzem estimadores que não podem ser analisados de forma confiável por métodos assintóticos”. Havendo, na amostra, 43 escolhas pelo Bicicletar e 33 por ônibus, esse critério seria satisfeito, reforçando, de certo modo, a validade das estimativas e testes assintóticos feitos anteriormente.

Em seguida, o segundo aspecto levantado não parece proceder, já que os formulários e métodos de pesquisa aplicados nesse experimento foram bastante similares àqueles aplicados no experimento-piloto 1. O terceiro aspecto, por outro lado, mostra-se crítico, podendo sinalizar que a compreensão de fenômeno estabelecida anteriormente estaria inadequada.

Nesse sentido, merece destaque a expressiva proporção amostral de indivíduos que chegavam ao terminal a pé, e a grande quantidade de entrevistados que percorriam distâncias inferiores a 1,5 km. Nesse caso, a reduzida distância de viagem poderia tornar a caminhada a alternativa dominante, de modo que o Bicicletar ou ônibus alimentador não fariam parte do conjunto de escolha da maior parte dos indivíduos entrevistados, o que comprometeria diretamente o realismo do contexto de escolha apresentado aos respondentes.

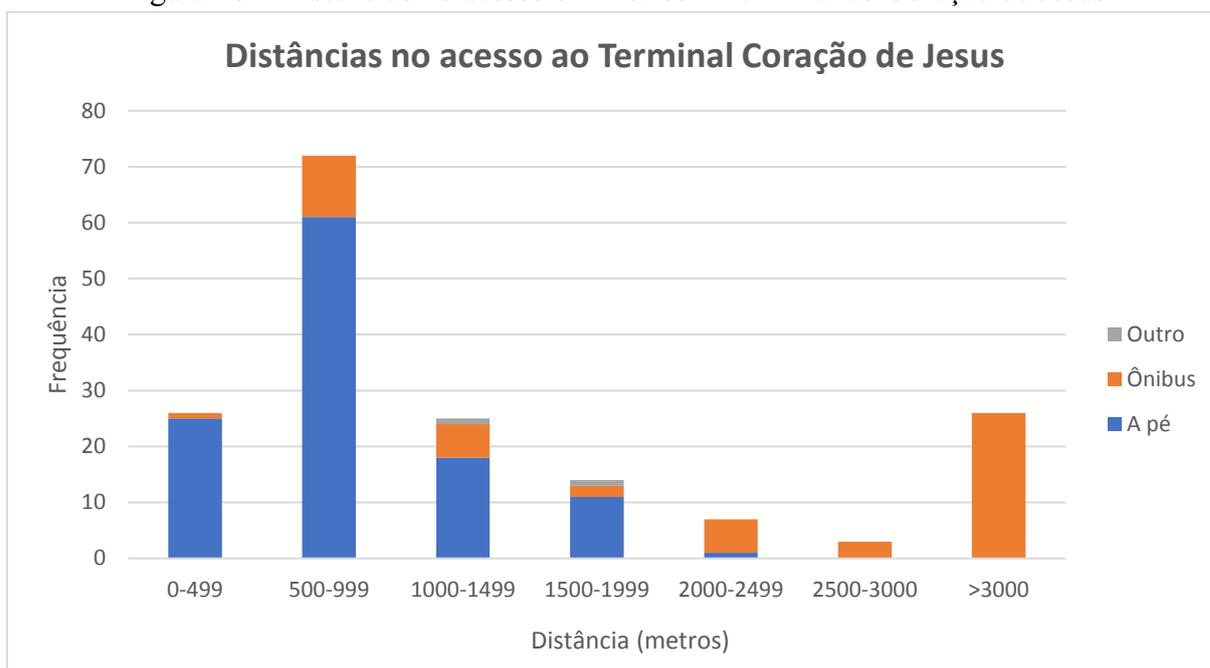
Visando investigar mais aprofundadamente essas hipóteses, julgou-se necessário conduzir uma pesquisa auxiliar na Ponta da Atividade para capturar essencialmente as distâncias de acesso e modos escolhidos pelos usuários, visando quantificar a parcela de indivíduos que estaria enquadrada na população de interesse.

5.4.3 Pesquisa auxiliar – Ponta da atividade

A pesquisa auxiliar na Ponta da Atividade foi construída com uma quantidade reduzida de perguntas (o formulário é apresentado no Apêndice E), capturando as seguintes informações do indivíduo e da viagem: origem e destino do deslocamento (coletando-se endereços e/ou pontos de referência), faixa de renda familiar e modo de acesso ao terminal. As coletas de campo ocorreram no pico da tarde do dia 05/setembro/2018 no terminal do Coração de Jesus, aonde foram realizadas 223 entrevistas com usuários dos ônibus. Os resultados mostrados a seguir agregam os dados coletados tanto na pesquisa-piloto quanto na pesquisa auxiliar.

A distribuição de frequências amostral das distâncias no acesso (trajetos trabalho-casa ou estudo-casa) é mostrada abaixo. Para cada classe de distâncias, é destacada a repartição modal dos entrevistados.

Figura 48 – Distâncias no acesso em metros – Terminal do Coração de Jesus



Fonte: Autor

Observa-se que, para distâncias de até 2 km, há uma predominância da escolha pela caminhada como modo de acesso, enquanto que para distâncias superiores, predomina o ônibus. Analisando a escolha modal no acesso de forma geral, cerca de 66% dos entrevistados optaram pela caminhada, 33% pelo ônibus e 1% por outros modos (nenhum dos quais era a bicicleta). Para o modo “a pé”, a margem de erro em torno da proporção amostral é de 6,7%.

Por fim, determinou-se a proporção populacional de indivíduos que percorrem até 2 km para acessar o terminal do Coração de Jesus, construindo-se um intervalo de confiança ($\alpha = 5\%$) em torno da proporção amostral de 80%, obtendo-se uma margem de erro calculada de 5,6%.

5.4.4 Conclusões acerca do experimento na ponta da atividade

As análises dos dados da pesquisa-piloto apontaram para um comportamento de escolha bastante distinto entre a ponta do domicílio e a ponta da atividade, como evidenciado por alguns dos estudos levantados no capítulo 2. Enquanto na Parangaba a opção predominante de acesso era através do ônibus alimentador, no Coração de Jesus predomina a caminhada em distâncias de até 2 quilômetros, o que abrange $80\% \pm 5,6\%$ dos usuários que utilizam esse terminal. A não-significância do modelo calibrado para a ponta da atividade reforça essa diferença no fenômeno da integração bicicleta-ônibus, indicando que a formulação *a priori* para esse segmento pode não ter sido adequada.

5.5 Correções realizadas na Pesquisa de Preferência Declarada

Com base nas impressões observadas na aplicação das pesquisas-piloto, nos *feedbacks* fornecidos pelos pesquisadores e pelos entrevistados, bem como pela análise dos formulários preenchidos, foram realizadas mudanças e correções no método de coleta de dados em campo. Tais correções encontram-se descritas ao longo dessa seção.

Primeiramente, tomou-se a decisão de aplicar a coleta de dados definitiva apenas na ponta do domicílio. Como discutido na seção anterior, há indícios para se acreditar que a formulação *a priori* desenvolvida para a ponta da atividade esteja inadequada, havendo a ocorrência de fenômenos distintos em cada um desses segmentos de viagem. Apesar de se reconhecer a necessidade de aprofundar o estudo do fenômeno na ponta da atividade, optou-se, no presente trabalho, por concentrar os esforços na ponta do domicílio. As pesquisas seriam realizadas no mesmo local, o Terminal da Parangaba, que se mostrou bastante adequado em termos de volume de passageiros, segurança e espaço físico.

Quanto ao problema da interrupção recorrente das pesquisas devido ao procedimento de triagem, considerou-se que seria possível reduzir a proporção de indivíduos abordados que realizava viagens por outros motivos que não fossem trabalho e estudo. Para isso, os pesquisadores foram instruídos a abordar indivíduos apenas nas linhas cujo destino era a região central. As linhas selecionadas encontram-se apresentadas na Tabela 20.

Para reduzir a proporção de pesquisas incompletas devido à chegada dos ônibus que os entrevistados aguardavam, foi feita uma análise dos *headways* médios com base nas tabelas de horários fornecidas pela ETUFOR. Os pesquisadores foram instruídos a priorizarem as linhas com maiores *headways* (Tabela 20) e a abordarem os indivíduos preferencialmente no final da fila, o que aumentava as chances de a pesquisa ser concluída a tempo.

Tabela 20 – Linhas selecionadas para abordagem de passageiros no Terminal da Parangaba, com os respectivos *headways* no pico da Manhã

Linha	<i>Headway</i> médio no pico manhã (minutos)
401 – Montese/Parangaba	11
390 – Parangaba/João Pessoa	11
371 – Parangaba/José Bastos	12
403 – Parangaba / Centro / Expedicionários	23
029 – Parangaba / Náutico	12
038 – Parangaba / Papicu	12
066 – Parangaba / Papicu / Aeroporto	11
094 – Expresso / Parangaba / Aldeota	11
089 – Expresso / Parangaba / Papicu	8
044 – Parangaba / Papicu / Montese	7
041 – Parangaba / Oliveira Paiva / Papicu	7
091 – Expresso Ant. Bezerra / Parangaba	13
072 – Ant. Bezerra / Parangaba	18
077 – Parangaba / Mucuripe	14

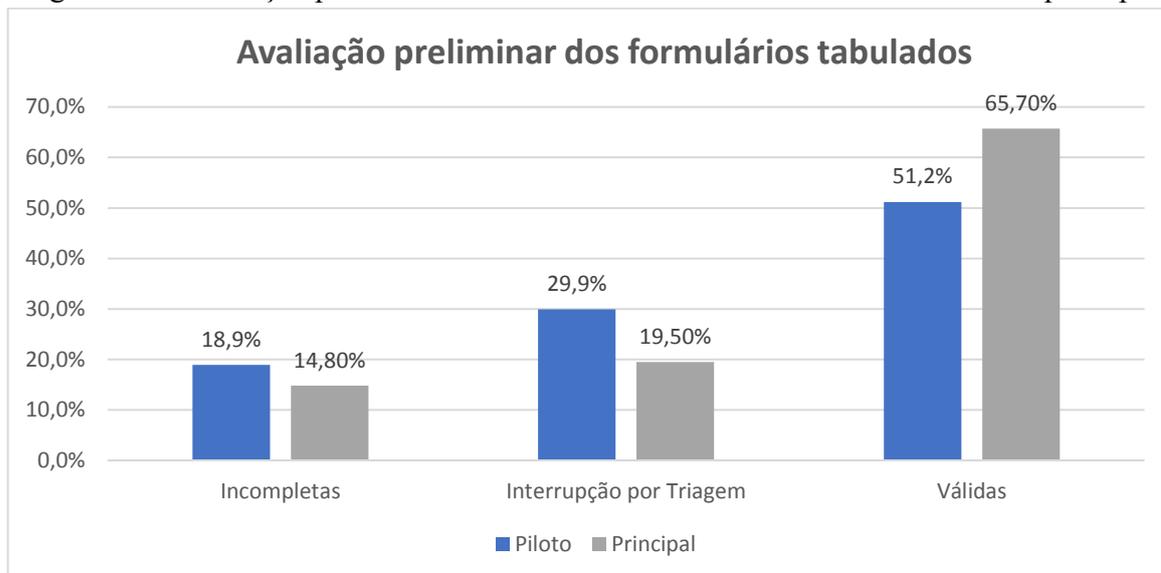
O questionário também sofreu modificações, estando apresentado no Apêndice F. Optou-se por adotar blocos menores, com 2 cenários, visando reduzir os tempos de pesquisa e os efeitos de cansaço dos entrevistados. Outra estratégia adotada foi a de adotar elementos gráficos que favorecessem o entendimento das perguntas pelos entrevistados, tanto na coleta dos tempos de acesso efetivamente praticados, quanto na apresentação dos cenários de escolha hipotéticos de PD. Por fim, para solucionar os problemas de entendimento de algumas das perguntas, o enunciado de algumas delas foi simplificado. Por exemplo, ao invés de perguntar “Qual foi a origem do seu deslocamento de hoje?”, a pergunta foi reformulada para “De onde você está vindo agora?”.

5.6 Coleta de dados principal

A coleta de dados principal no Terminal da Parangaba foi realizada nos dias 12 e 13 de setembro de 2018, contando com a participação de 5 pesquisadores no primeiro dia e 6 no segundo e possibilitando a obtenção de um total de 257 formulários tabulados. Destes, 14,8% estavam incompletos, devido à interrupção da pesquisa pela chegada do ônibus do entrevistado.

Além disso, os critérios de triagem levaram à eliminação de 19,5% dos respondentes. É importante destacar que as medidas corretivas implantadas após a realização da pesquisa-piloto foram bastante eficazes, como mostra a Figura 49, e foi possível elevar o percentual de formulários válidos de 51% (na pesquisa-piloto da Parangaba) para 66%.

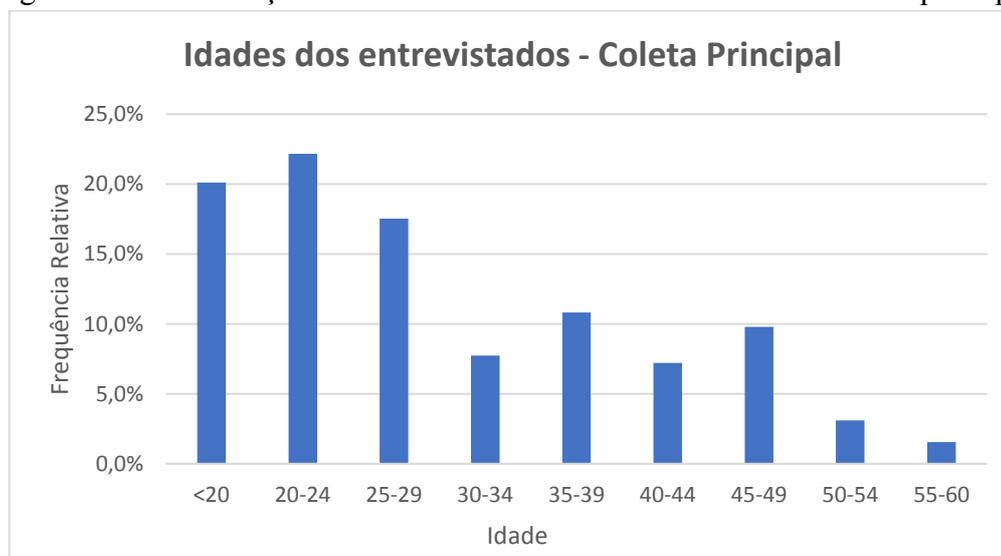
Figura 49 – Avaliação preliminar dos formulários tabulados na coleta de dados principal



Fonte: Autor.

Dos entrevistados, 51% eram do gênero masculino, o que é compatível com a estratificação adotada na coleta. A distribuição das idades dos entrevistados (Figura 50) revela uma expressiva assimetria à direita, estando a maioria dos entrevistados em uma faixa etária de até 30 anos, o que é consistente com o resultado obtido na pesquisa-piloto.

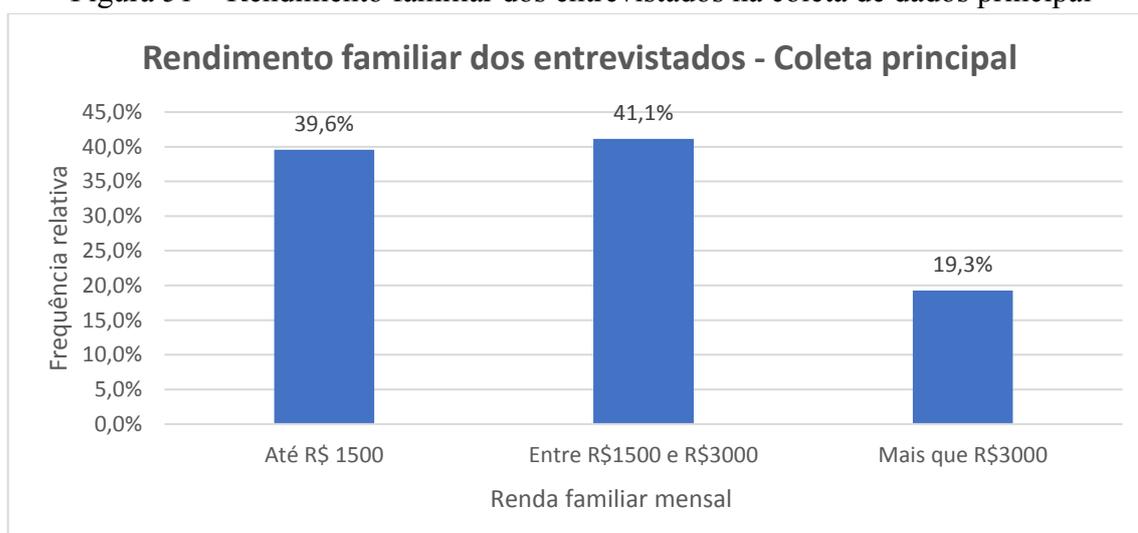
Figura 50 – Distribuição de idades dos entrevistados na coleta de dados principal



Fonte: Autor.

Ao se analisar o perfil de renda dos indivíduos amostrados, percebe-se que há uma predominância de indivíduos cujos rendimentos familiares são de até R\$ 3000, sendo enquadrados como baixa renda. Isso confirma, de certa forma, a compreensão preliminar do fenômeno desenvolvida, segundo a qual a população de baixa renda, residente em sua maioria nas regiões periféricas, utiliza o Terminal da Parangaba no deslocamento casa-atividade, em direção às áreas centrais da cidade.

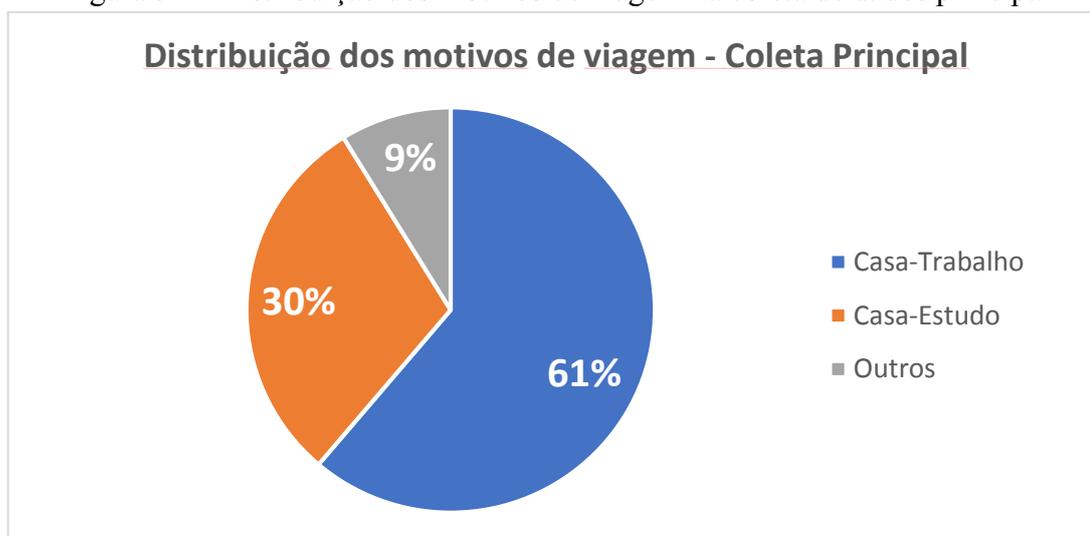
Figura 51 – Rendimento familiar dos entrevistados na coleta de dados principal



Fonte: Autor.

A pesquisa mostrou que praticamente todos os entrevistados (98%) utilizavam o ônibus com frequência no deslocamento praticado, e cerca de 12,5% dos indivíduos não sabiam andar de bicicleta, sendo eliminados por triagem. O gráfico de setores a seguir mostra a distribuição dos motivos de viagens dos entrevistados, apontando para uma predominância dos deslocamentos motivo trabalho e educação. A análise dos dados de bilhetagem eletrônica do SITFOR no pico da manhã (maio/2018) revela, entretanto, que apenas 20,8% das validações são feitas com carteiras de estudante. Deve-se enfatizar que as proporções obtidas em campo não representam necessariamente o padrão de viagens do SITFOR, já que a escolha das linhas de ônibus dos entrevistados visava, propositalmente, elevar a proporção das viagens trabalho e educação.

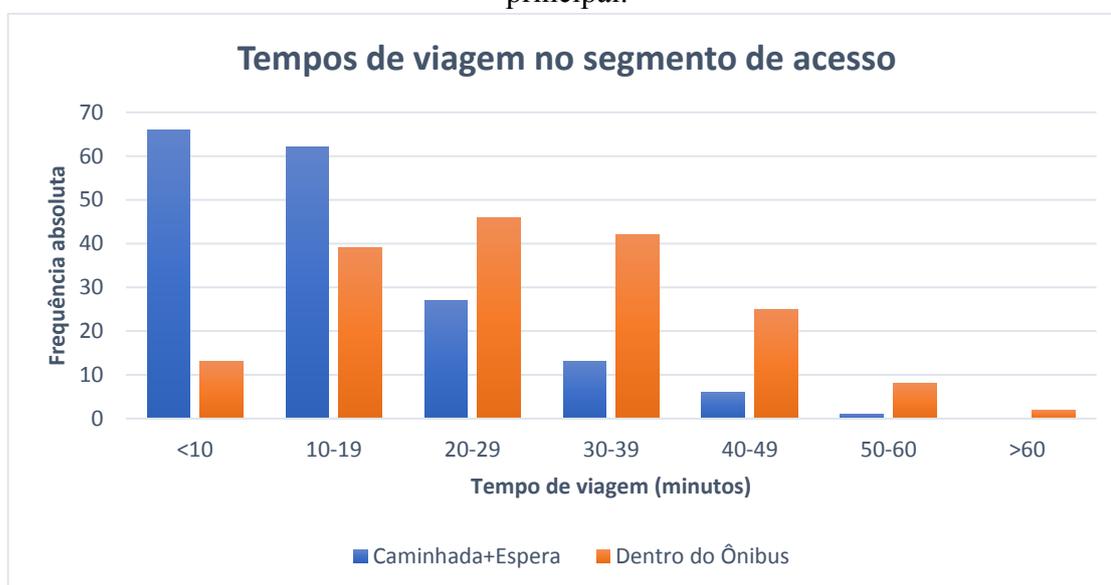
Figura 52 – Distribuição dos motivos de viagem na coleta de dados principal



Fonte: Autor.

Quanto ao perfil das viagens realizadas, cerca de 98% dos entrevistados declarou ter utilizado o ônibus para chegar ao terminal da Parangaba. Os tempos de viagem no acesso por ônibus ao terminal da Parangaba são apresentados na figura abaixo, divididos entre o tempo de caminhada/espera na parada e o tempo efetivamente embarcado no ônibus.

Figura 53 – Tempos de viagem no segmento de acesso dos entrevistados na coleta de dados principal.



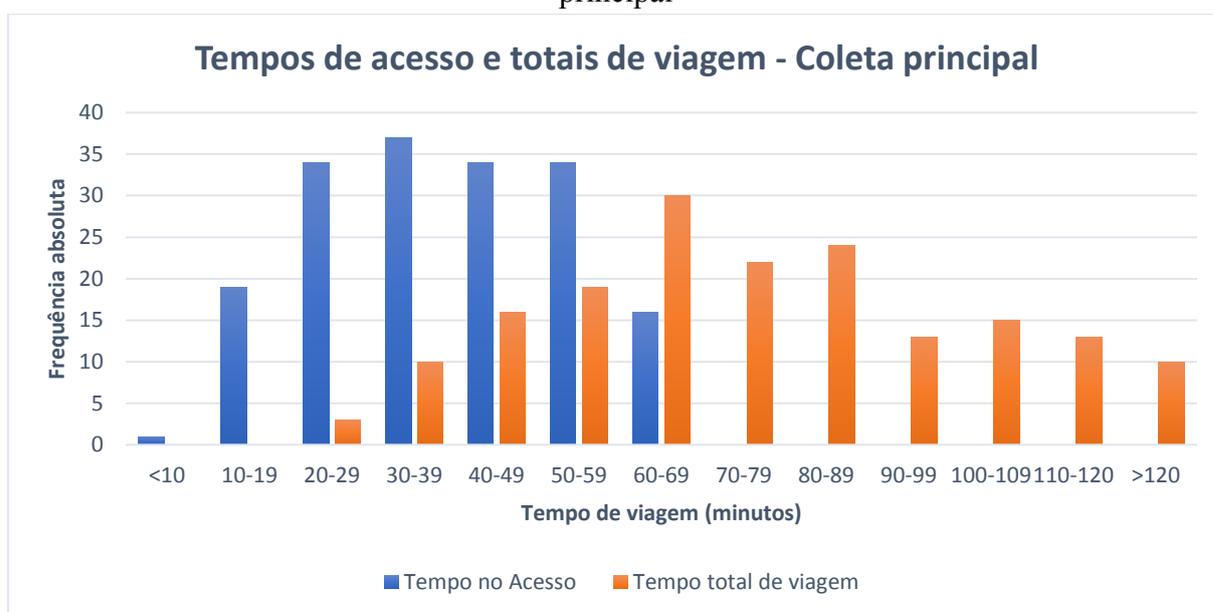
Fonte: Autor

Os tempos de caminhada e espera tem média de 13 minutos e uma elevada assimetria à direita, enquanto que os tempos embarcados no ônibus, com média de 25,5 minutos, tem forma bastante simétrica. A maior parcela do tempo gasto no acesso se dá, portanto, dentro das linhas alimentadoras. Outro aspecto que merece destaque é que, apesar da

elevada cobertura espacial do sistema, uma considerável parcela dos entrevistados gasta tempos superiores a 10 minutos no percurso do domicílio até o embarque no ônibus.

Na figura a seguir, são apresentados os tempos de viagem no acesso (até o terminal) e totais (desde o domicílio até a atividade). Os dados coletados apontam que, em média, 52% do tempo total de viagem é gasto no acesso ao terminal pelos indivíduos entrevistados. Além disso, obteve-se um tempo médio de acesso de cerca de 38 minutos, enquanto os tempos totais de viagem tinham média de 75 minutos. Chama a atenção, ainda, a elevada proporção de indivíduos cujo tempo de deslocamento motivo trabalho/educação é superior a 1 hora (72%), evidenciando a relevância da problemática da baixa acessibilidade da população de baixa renda em Fortaleza.

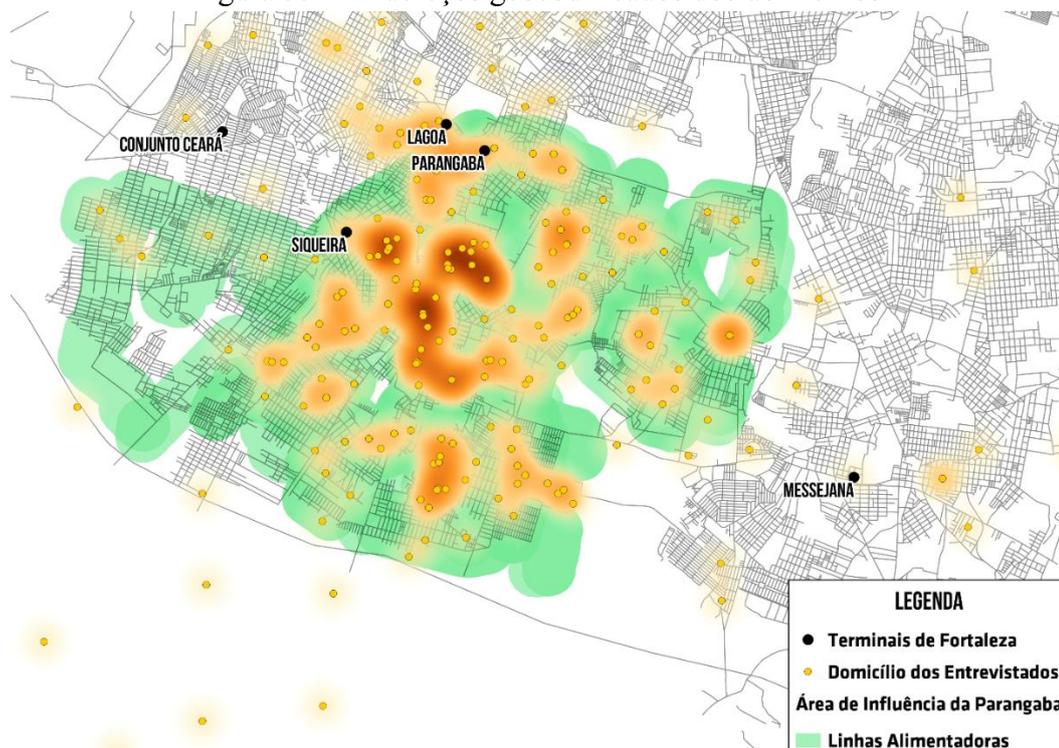
Figura 54 – Tempos no acesso e totais de viagem dos entrevistados na coleta de dados principal



Fonte: Autor

Os endereços dos domicílios, fornecidos pelos entrevistados, foram geocodificados (transformados em coordenadas geográficas) por meio da ferramenta Google Maps API Geocoder Tool. O mapa a seguir apresenta o resultado desse procedimento, mostrando que a maior parcela dos domicílios entrevistados está dentro da “área de influência” das linhas alimentadoras ao terminal da Parangaba, como esperado.

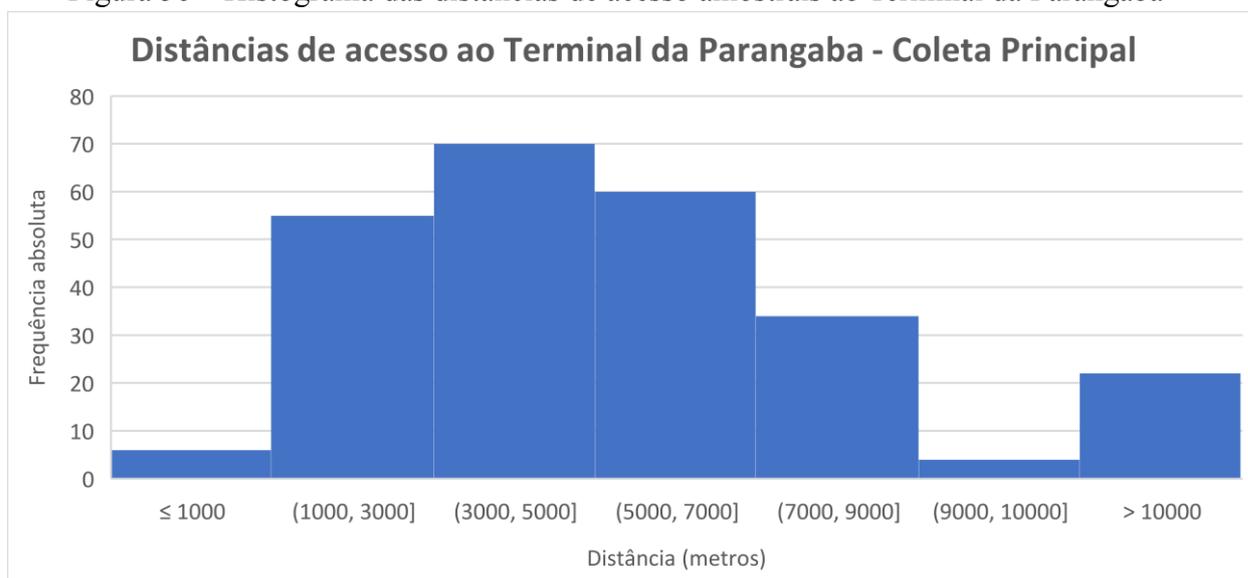
Figura 55 – Endereços geocodificados dos domicílios



Fonte: Autor

Utilizando-se a Distance Matrix API, também do Google, foi possível obter as distâncias (na rede) de acesso dos domicílios até o Terminal da Parangaba. O histograma abaixo revela uma distribuição aproximadamente simétrica, com média amostral de 5500 metros. Vale ressaltar que as distâncias superiores a 10 km correspondem, em grande parte, a indivíduos provenientes do município de Maracanaú, ao sul de Fortaleza.

Figura 56 – Histograma das distâncias de acesso amostrais ao Terminal da Parangaba



Fonte: Autor

Finalizando as discussões sobre os dados coletados, apresenta-se abaixo, para a pesquisa de Preferência Declarada, a quantidade de respostas obtidas para cada cenário de escolha. Percebe-se que houve um certo desbalanceamento entre as respostas, ou seja, alguns cenários tiveram mais replicações de respostas que outros. Como apontam Rose e Bliemer (2009), essa é uma das dificuldades práticas dos experimentos de PD que leva a uma perda na ortogonalidade do experimento, apesar de ele ter sido projetado com tal característica. Essa distância entre a ortogonalidade teórica (de *design*) e a prática é, de fato, uma limitação da coleta de dados realizada, implicando em uma perda, em algum grau, da independência estatística entre os atributos do experimento.

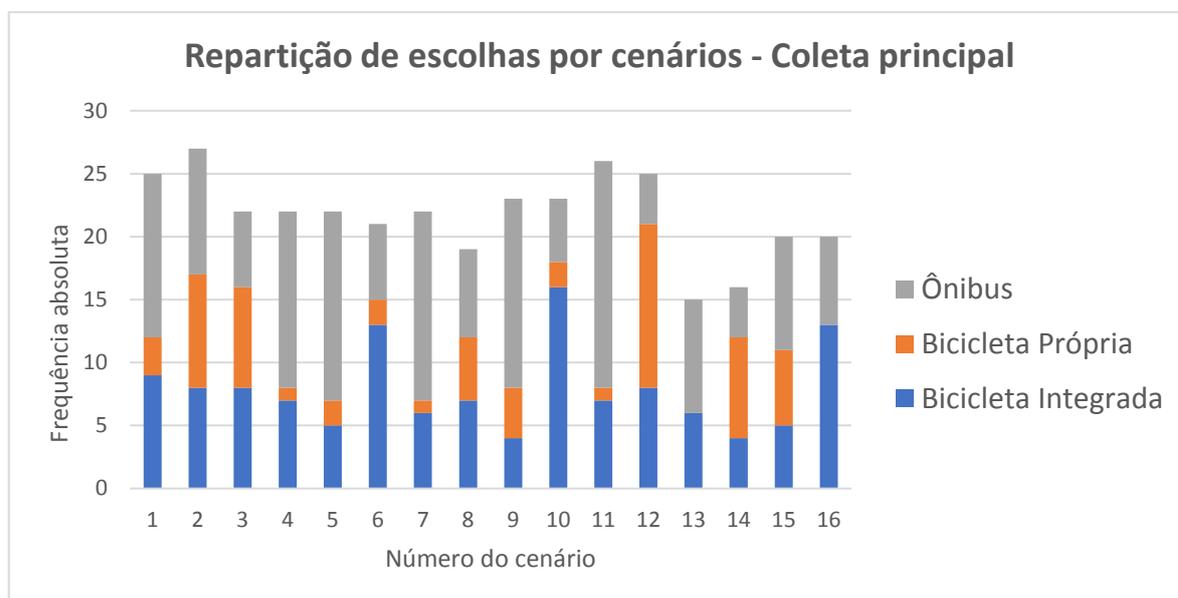
Figura 57 – Quantidade de respostas por cenário na coleta de dados principal.



Fonte: Autor.

As escolhas dos entrevistados em cada cenário são apresentadas na Figura 58. O cenário 12 é o que apresenta maior opção pela bicicleta, sendo formado pelos maiores tempos de acesso e difusão (15 e 25 minutos), pelo menor tempo de acesso pela bicicleta (10 minutos), com ciclofaixas/ciclovias e com bicicletários. Apesar de contar com um tempo de viagem 4 vezes menor que o do ônibus e a presença de infraestruturas cicloviárias, alguns indivíduos ainda optaram pelo ônibus, o que é um indicio de que esses indivíduos estão levando em conta outros fatores na escolha modal. Por outro lado, os cenários 5,7,9,e 11, com baixas taxas de opção pela bicicleta, todos apresentam os maiores tempos de viagem na bicicleta e a ausência de ciclofaixas, o que é um indicio da importância desses fatores na escolha modal.

Figura 58 – Repartição das escolhas por cenários na coleta principal



Fonte: Autor.

Ao longo das pesquisas de PD, alguns entrevistados manifestaram espontaneamente ou foram questionados quanto ao motivo da escolha nos cenários. Os indivíduos que optaram pelo ônibus apontaram questões como o conforto, comodidade e a possibilidade de carregar pequenos pacotes enquanto que a bicicleta seria associada ao cansaço físico, risco de acidentes e transpiração. Já um argumento a favor da bicicleta seria evitar a lotação dos ônibus.

Merece destaque, ainda, que alguns usuários apontaram preferir a Bicicleta Integrada do que a bicicleta própria pela questão dos furtos ao serem estacionadas, e por não trazerem preocupações quanto à manutenção. Além disso, alguns usuários manifestaram considerar a Bicicleta Integrada mais segura, por ser uma bicicleta padronizada da Prefeitura.

6 ANÁLISE DOS FATORES QUE INFLUENCIAM NA ESCOLHA PELA VIAGEM INTEGRADA BICICLETA-ÔNIBUS

Nesse capítulo, é feita a análise dos fatores que influenciam na escolha da bicicleta como modo integrado ao ônibus. Esse capítulo se inicia pela calibração do modelo “global”, envolvendo observações de todos os indivíduos entrevistados, e que será essencial na investigação de todas as hipóteses de interesse (apresentadas no capítulo 2). Após a calibração desse primeiro modelo, são investigadas as hipóteses individualmente, o que envolve, em alguns casos, análises de segmentação de mercado. Ao longo das análises, os resultados obtidos são confrontados com aqueles obtidos pela comunidade científica em estudos anteriores.

6.1 Calibração do modelo “global”

O modelo “global” foi calibrado com dados de todos os respondentes (348 observações). Esse modelo diz respeito, portanto, aos indivíduos da população de interesse como um todo, ou seja, aos indivíduos de baixa renda que utilizam o SITFOR costumeiramente (deslocamentos pendulares) no seu deslocamento periferia-centro. Como discutido no capítulo 4, o modelo calibrado tem a seguinte formulação (as variáveis D_i são variáveis *dummy*):

Figura 59 – Formulação do modelo global

$$\begin{aligned}
 V_{bike_integrada} &= ASC_{integrada} + \beta_{tempo(bike)} * \frac{Tempo_{bike}}{100} + \beta_{ciclofaixas} * D_{ciclofaixas} \\
 V_{bike_própria} &= ASC_{própria} + \beta_{tempo(bike)} * \frac{Tempo_{bike}}{100} + \beta_{ciclofaixas} * D_{ciclofaixas} \\
 &\quad + \beta_{bicicletários} * D_{bicicletários} \\
 V_{onibus} &= ASC_{bus} + \beta_{caminhada+espera} * \frac{Tempo_{caminhada+espera}}{100} + \beta_{onibus} * \frac{Tempo_{onibus}}{100} + \beta_{genero} * D_{genero} \\
 &\quad + \beta_{motivo} * D_{motivo} + \beta_{renda<1500} * D_{renda<1500} + \beta_{renda1500ate3000} * D_{renda1500ate3000} \\
 &\quad + \beta_{dist>1500} * D_{dist>1500} + \beta_{dist1500ate3500} * D_{dist1500ate3500}
 \end{aligned}$$

Fonte: Autor.

A formulação adotada fixa como parâmetro de referência o ônibus, na determinação das constantes específicas das alternativas (ASC's), e atribui à função utilidade do ônibus as variáveis socioeconômicas. Vale ressaltar que, ainda, que nos atributos codificados *dummy* com N níveis, se incorpora N-1 variáveis, para ser possível a estimação dos parâmetros. Os resultados do modelo calibrado são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 21 - Resultados de calibração do modelo global

Observações	348
Parâmetros estimados	14
$\mathcal{L}(\mathbf{0})$ (log-verossimilhança do modelo nulo)	-382,317
$\mathcal{L}(\mathbf{c})$ (log-verossimilhança do modelo com a constante)	-362,029
$\mathcal{L}(\hat{\beta})$ (log-verossimilhança do modelo completo)	-310,863
Rhô-quadrado	0,187
Rhô-quadrado ajustado	0,150

Com base nesses valores, foram realizadas duas modalidades do *Likelihood Ratio Test*, a primeira para avaliar a significância do modelo como um todo, e a segunda para avaliar a significância dos coeficientes com exceção das constantes específicas das alternativas (ASC's). Os resultados desses testes de hipótese encontram-se apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - Testes de hipótese para o modelo global

Hipótese nula	Estatística de Teste	Graus de Liberdade	Valor Crítico χ^2 ($\alpha = 1\%$)
$\beta_0 = \dots = \beta_k = 0$ (todos os coeficientes são nulos)	$-2 [\mathcal{L}(\mathbf{0}) - \mathcal{L}(\hat{\beta})] = 142,91$	14	29,141
$\beta_3 = \dots = \beta_k = 0$ (todos os coeficientes, exceto as constantes específicas da alternativa, são nulos)	$-2 [\mathcal{L}(\mathbf{c}) - \mathcal{L}(\hat{\beta})] = 102,91$	12	26,217

Em ambos os testes, a hipótese nula é rejeitada com nível de significância bem reduzido (1%). Na tabela a seguir, são mostrados os valores estimados dos coeficientes das funções de utilidade, com os respectivos erros padrão assintóticos e os valores dos testes-t realizados.

Tabela 23 - Coeficientes estimados para o modelo global

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	Teste-t
Constante (Bicicleta Própria)	-2,75	1,34	-2,04*
Constante (Ônibus)	0	fixo	-
Constante (Bicicleta Integrada)	-1,26	0,959	-1,32
Tempo de Caminhada+Espera (Ônibus)	-5,19	2,40	-2,17*
Tempo dentro do ônibus (Ônibus)	-3,07	2,39	-1,29
Tempo de viagem (Bicicleta Própria e Integrada)	-8,66	2,40	-3,61*
Ciclovias/Ciclofaixas (Bicicleta Própria e Integrada)	1,09	0,24	4,55*
Bicicletários (Bicicleta Própria)	1,57	0,839	1,87**
Distância de acesso superior a 3500 metros	-0,557	0,631	-0,88
Distância de acesso entre 1500 e 3500 metros	-1,17	0,662	-1,76**
Gênero	-0,584	0,242	-2,41*
Motivo de viagem	0,282	0,251	1,12
Renda até R\$ 1500	-0,269	0,349	-0,77
Renda entre R\$1500 e R\$3000	0,235	0,342	0,69

* Significante com $\alpha < 0,05$
** Significante com $\alpha < 0,10$

Iniciando a análise do modelo calibrado pelo *teste informal* dos coeficientes estimados, observa-se que os coeficientes das variáveis de tempo apresentam, todos, coeficientes negativos, o que vai ao encontro das expectativas *a priori*, já que o tempo é visto como impedância ou desutilidade ao deslocamento.

Um aspecto que merece destaque é o valor negativo dos coeficientes específicos das alternativas Bicicleta Integrada e Bicicleta Própria, o que aponta para uma preferência na utilização do ônibus no acesso aos terminais. Além disso, observa-se um menor ASC para a

Bicicleta Própria do que para a Integrada, indicando uma maior preferência pela Bicicleta Integrada do que pela Bicicleta Própria. Ao se realizar um teste para a hipótese alternativa de que $ASC_{própria} < ASC_{integrada}$, obteve-se uma estatística-t de -1,80, apontando para um menor valor de $ASC_{própria}$ (NS= 5%).

Vale lembrar que os ASC's reúnem todos os fatores que influem no comportamento de escolha, mas não se encontram explicitados na utilidade sistemática. Algumas das possíveis explicações para esses resultados foram comentadas pelos entrevistados (ver final do Capítulo 5): enquanto o uso de ônibus é atrelado a um maior conforto e comodidade, a bicicleta implica em uma maior exposição às intempéries, esforço físico e sudorese. A preferência pelo uso da Bicicleta Integrada pode ser explicada pela praticidade, já que esse modo dispensa a necessidade de realizar manutenções periódicas na bicicleta, e não haver necessidade de preocupações quanto ao furto da bicicleta ao ser estacionada.

Antes de prosseguir para as hipóteses de estudo propriamente ditas, algumas discussões são feitas acerca dos coeficientes das variáveis de tempo. As estimativas encontradas para o tempo de caminhada/espera e para o tempo dentro da bicicleta são significativamente diferentes de zero. Apesar de o tempo do ônibus não ser significativo, essa variável foi retida no modelo por ter o sinal esperado, já que o valor estimado é a melhor aproximação para o seu valor real, podendo a falta de significância ocorrer por falta de dados (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011).

O tempo de caminhada e espera mostrou-se 1,7 vezes mais “oneroso” que o tempo dentro do ônibus, o que pode ser explicado pelo maior esforço físico e a exposição ao sol, ao passo que dentro do ônibus o usuário está abrigado e possivelmente sentado. Na perspectiva da de competição entre o ônibus alimentador e a bicicleta, os coeficientes estimados mostram que o tempo de viagem na bicicleta é 2,8 vezes mais oneroso que o tempo dentro do ônibus. Os testes de hipóteses quanto às diferenças nesses coeficientes são mostrados abaixo:

Tabela 24 – Testes de hipóteses para os coeficientes das variáveis temporais

Hipótese Alternativa	Estatística de teste t
$\beta_{caminhada+espera} < \beta_{onibus}$	-0,64
$\beta_{tempo (bike)} < \beta_{onibus}$	-1,73

Apesar de não ser possível afirmar quanto à diferença nos tempos de caminhada/espera e dentro do ônibus, devido ao grande erro padrão as estimativas, há evidências para se afirmar que os tempos na bicicleta são mais onerosos que os dentro do ônibus, com grau de confiança de 95%. Isso corrobora a escolha por assumir coeficientes específicos para os tempos dentro do ônibus e na bicicleta, na formulação da utilidade sistemática.

6.2 Investigação das hipóteses de estudo

6.2.1 O comportamento de escolha dos usuários difere na ponta do domicílio e na ponta da atividade

Como discutido no capítulo 5, a ausência de significância estatística para o modelo da ponta da atividade levantou questionamentos quanto à validade do modelo formulado para esse segmento da viagem. Os dados coletados no Terminal do Coração de Jesus sugerem que os fenômenos do acesso na ponta do domicílio e da atividade são bastante distintos, havendo uma predominância do acesso por ônibus na Parangaba e do acesso a pé no Centro. Além disso, observou-se um encurtamento das distâncias de acesso na região central, o que pode ser explicado pela maior densidade de linhas e paradas nessa área e pelo uso do solo mais adensado inerente a essa área da cidade.

Na ponta da atividade, como na ponta oposta, parece haver uma preferência maior pelo ônibus em distâncias de acesso maiores. Não é possível, entretanto, fazer análises comparativas mais aprofundadas quanto ao comportamento de escolha propriamente dito, devido à ausência de um modelo apropriado para o segmento da ponta da atividade.

6.2.2 A escolha modal depende da distância de acesso

Para investigar essa hipótese, utiliza-se o modelo global calibrado anteriormente, avaliando os coeficientes das variáveis *dummy* para as faixas de distância. Lembrando que a alternativa de referência é o ônibus, os coeficientes estimados permitem afirmar com significância estatística que, para distâncias de acesso entre 1,5 km e 3,5 km, há um aumento na atratividade da bicicleta. Percebe-se, ainda, que para distâncias superiores a 3,5 km, a bicicleta reduz sua atratividade, porém deve-se ressaltar que o coeficiente encontrado (-0,557) não teve significância estatística. Tais resultados vão ao encontro das análises realizadas por Keijer e Rietveld (2000) e De Souza et al. (2017), que apontam também que o aumento da distância de acesso é um desincentivo ao uso da bicicleta.

6.2.3 Facilidades de estacionamento de bicicleta e a presença de ciclovias/ciclofaixas ao longo do percurso tendem a aumentar a atratividade do uso da bicicleta

O coeficiente positivo e estatisticamente significativo das variáveis *dummy* referentes à existência de bicicletários e à presença de ciclofaixas/ciclovias mostra que essas infraestruturas cicloviárias aumentam a atratividade da bicicleta como modo de acesso aos terminais. Esses resultados traduzem, por um lado, a importância dada pelos indivíduos na segurança viária e no risco de acidentes, já que a presença de ciclovias é considerada uma *proxy* desses elementos. Por outro lado, a importância dada à presença de bicicletários traduz a preocupação pela segurança pública, notadamente o risco de furtos.

Para os usuários da bicicleta própria, cuja decisão é influenciada tanto pela presença de bicicletários quanto pela existência de ciclovias/ciclofaixas, não é possível afirmar que há diferença estatisticamente significativa entre o peso relativo desses dois atributos, com grau de confiança de 95% ($t = 0,55$).

6.2.4 O comportamento de escolha dos usuários varia entre os motivos de viagem

No modelo global, o sinal positivo do coeficiente referente ao atributo motivo de viagem revela que a bicicleta tem maior tendência a ser usada em viagens motivo educação do que em viagens motivo trabalho. Apesar de não ser estatisticamente significativa, o valor desse coeficiente pode ser atribuído a uma maior preferência dos jovens pelo uso da bicicleta, fato já observado por De Souza et al. (2017) e Wang e Liu (2013).

Foram calibrados modelos específicos para cada um desses segmentos, cujos resultados encontram-se apresentados na tabela a seguir. Apesar de ambos os modelos serem significativos, é preciso ressaltar que há um desbalanceamento em termos da quantidade de observações (223 para trabalho e 125 para estudo). Mesmo com um número menor de observações, o modelo para o motivo estudo teve uma melhor aderência (ρ^2 de 0,22, contra um ρ^2 de 0,15 do modelo para trabalho).

Tabela 25 – Calibração de modelos com base em segmentos de motivos de viagem

Parâmetro	Trabalho		Educação	
	Estimativa	Teste-t	Estimativa	Teste-t
Constante (Bicicleta Própria)	-1,08	-0,90	-2,71	-2,22*
Constante (Ônibus)	0	-	0	-
Constante (Bicicleta Integrada)	-0,433	-0,53	-0,421	-0,39
Tempo de Caminhada+Espera (Ônibus)	-4,46	-1,58	-6,79	-1,62**
Tempo dentro do ônibus (Ônibus)	-3,86	-1,37	-0,789	-0,19
Tempo de viagem (Bicicleta Própria e Integrada)	-7,53	-2,65*	-8,48	-2,04*
Ciclovias/Ciclofaixas (Bicicleta Própria e Integrada)	0,671	2,38*	1,78	4,20*
Bicicletários (Bicicleta Própria)	0,742	0,83	2,22	3,37*

* Significante com $\alpha < 0,05$
** Significante com $\alpha < 0,10$

Em ambos os segmentos, observa-se uma predisposição ao uso do ônibus, indicada pelos valores negativos das constantes específicas das alternativas. Quanto às modalidades do uso da bicicleta, observa-se que há uma predisposição maior em utilizar o sistema Bicicleta Integrada em viagens motivo educação. Isso pode traduzir uma maior tendência da população jovem em utilizar esse sistema de bicicletas compartilhadas do que a população adulta.

Além disso, comparativamente ao tempo dentro do ônibus, o tempo de viagem na bicicleta mostrou-se muito mais oneroso nas viagens motivo educação do que naquelas motivo trabalho. Isso pode ser explicado pela necessidade de, ao ir para a instituição de ensino, o indivíduo ter que carregar consigo a mochila com caderno, etc, o que torna esse deslocamento mais desconfortável, ao ser realizado por bicicleta.

Quanto à presença de infraestruturas cicloviárias, apesar de elas impactarem positivamente no uso da bicicleta, não houve diferença significativa quanto aos valores estimados dos coeficientes.

6.2.5 Há diferença no comportamento de escolha entre os gêneros masculino e feminino

A análise do modelo global revela que há uma distinção no comportamento de escolha entre os gêneros, podendo-se perceber que os indivíduos do sexo masculino teriam maior tendência na utilização da bicicleta como modo de acesso. Essa descoberta vai ao encontro dos resultados obtidos por De Souza et al. (2017), que atribuíram essa questão a uma sensação de vulnerabilidade por parte das mulheres. Para avaliar com maior profundidade essas diferenças, foram calibrados modelos distintos para esses dois segmentos, cujos resultados encontram-se apresentados na Tabela 26. Os modelos foram calibrados com uma quantidade de observações muito semelhantes (masculino: 175 e feminino: 173), e ambos os modelos calibrados são significantes.

Tabela 26 – Calibração de modelos com base em segmentos de gêneros

Parâmetro	Masculino		Feminino	
	Estimativa	Teste-t	Estimativa	Teste-t
Constante (Bicicleta Própria)	-1,02	-0,58	-2,50	-1,67**
Constante (Ônibus)	0	-	0	-
Constante (Bicicleta Integrada)	0,552	0,60	-1,47	-1,51
Tempo de Caminhada+Espera (Ônibus)	-5,68	-1,69**	-5,03	-1,50
Tempo dentro do ônibus (Ônibus)	-1,71	-0,51	-4,29	-1,29
Tempo de viagem (Bicicleta Própria e Integrada)	-10,8	-3,20*	-5,87	-1,76**
Ciclovias/Ciclofaixas (Bicicleta Própria e Integrada)	0,862	2,54*	1,28	3,86*
Bicicletários (Bicicleta Própria)	1,62	1,29	1,12	1,04

* Significante com $\alpha < 0,05$
 ** Significante com $\alpha < 0,10$

Os modelos calibrados permitem perceber que há uma distinção na valoração do tempo entre os gêneros. Enquanto para os homens o tempo de viagem pela bicicleta é 6,3 vezes mais oneroso que o tempo dentro do ônibus, para as mulheres essa razão é de apenas 1,4. Além disso, para os homens o tempo de caminhada e espera mostrou-se 3,3 vezes mais oneroso que o tempo dentro do ônibus, enquanto que para as mulheres eles tem pesos semelhantes.

Os modelos mostram, ainda, que as mulheres atribuem maior importância relativa à presença de ciclovias/ciclofaixas do que à existência de bicicletários, o que traduz, para esse segmento, uma maior preocupação com aspectos ligados à segurança viária. Essa descoberta vai ao encontro dos resultados obtidos por Pezzuto e Sanches (2003) para a cidade de Araçatuba, SP. Vale ressaltar, no entanto, que em ambos os segmentos a hipótese de igualdade entre os coeficientes desses dois atributos não pode ser rejeitada, o que é atribuído ao reduzido tamanho amostral.

6.2.6 Usuários do TP com rendas mais baixas teriam maior tendência à utilização de bicicletas

Para investigar essa hipótese, recorre-se ao modelo global, que mostra que há uma tendência maior de uso da bicicleta em indivíduos com renda familiar de até R\$ 1500, em detrimento dos indivíduos com rendas entre R\$ 1500 e R\$ 3000. Esse resultado converge com as conclusões de Silveira (2010), que estudou o fenômeno integração bicicleta-metrô no Recife. Os resultados da calibração dos modelos específicos para os segmentos de renda são mostrados abaixo. Devido à baixa quantidade de observações do segmento de usuários com renda superior a R\$ 3000, os indivíduos foram agrupados em duas parcelas: rendas até R\$ 1500 e rendas superiores a R\$ 1500.

Tabela 27 – Calibração de modelos com base em segmentos de renda

Parâmetro	Renda Familiar < R\$ 1500		Renda Familiar > R\$ 1500	
	Estimativa	Teste-t	Estimativa	Teste-t
Constante (Bicicleta Própria)	-1,69	-1,13	-1,95	-1,08
Constante (Ônibus)	0	-	0	-
Constante (Bicicleta Integrada)	-0,327	-0,30	-0,549	-0,65
Tempo de Caminhada+Espera (Ônibus)	-4,21	-1,13	-5,65	-1,84**
Tempo dentro do ônibus (Ônibus)	-4,58	-1,21	-1,79	-0,60
Tempo de viagem (Bicicleta Própria e Integrada)	-9,18	-2,42*	-7,44	-2,47*
Ciclovias/Ciclofaixas (Bicicleta Própria e Integrada)	0,820	2,16*	1,19	3,95*

Parâmetro	Renda Familiar < R\$ 1500		Renda Familiar > R\$ 1500	
	Estimativa	Teste-t	Estimativa	Teste-t
Bicicletários (Bicicleta Própria)	1,71	-0,30	1,32	1,01
* Significante com $\alpha < 0,05$				
** Significante com $\alpha < 0,10$				

Os modelos calibrados permitem perceber que a existência de bicicletários tem influência 2,1 vezes maior que a existência de ciclovias/ciclofaixas na escolha pela bicicleta, para indivíduos com rendas de até R\$ 1500, enquanto esse peso relativo é de apenas 1,1 para os indivíduos com rendas superiores. Portanto, os indivíduos com rendas de até R\$ 1500 atribuem maior importância relativa à presença de bicicletários, o que indica que há, para esse segmento, uma preocupação suplementar com a questão dos furtos.

Entre os modos de utilização da bicicleta, observa-se que os indivíduos com menor renda têm maior preferência pela bicicleta Integrada do que os indivíduos com maior renda. Isso vai no sentido das conclusões anteriores, já que a alternativa Bicicleta Integrada não submete o usuário ao risco de furto, por exemplo.

Por fim, outro aspecto que merece destaque é que, para indivíduos com menor renda, os tempos de caminhada/espera e o tempo dentro do ônibus tem o mesmo peso relativo, ao passo que para indivíduos com maior renda o tempo de caminhada/espera é mais oneroso. Além disso, o tempo de viagem na bicicleta é apenas 2 vezes mais oneroso que o tempo dentro do ônibus para indivíduos com menor renda, enquanto que, para indivíduos com renda maior, o tempo na bicicleta é 4,2 vezes mais oneroso. Isso reforça a questão já discutida de que a bicicleta tende a ser um modo mais atrativo para indivíduos com rendas menores.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Partindo da problemática da baixa acessibilidade da população de baixa renda às atividades em Fortaleza, esse trabalho buscou modelar o comportamento de escolha dos indivíduos pelo uso integrado a bicicleta com o ônibus.

Iniciou-se os esforços a partir de um estabelecimento das bases fenomenológicas sobre essa integração, com base em estudos anteriores e na contextualização dos subsistemas que compõem esse fenômeno em Fortaleza. Em seguida, buscou-se na literatura levantamentos sobre os fatores que influenciam na escolha pelo uso integrado da bicicleta com o transporte público, o que subsidiou o levantamento das hipóteses de estudo para esse trabalho.

Buscou-se, após isso, discutir o uso do ferramental de Escolha Discreta na construção de modelos que pudessem representar adequadamente o fenômeno de interesse, levando-se inclusive, as abordagens de modelagem adotadas pela comunidade científica na representação de fenômenos similares.

A base fenomenológica e de modelagem construídas permitiram a proposição de um método para modelar a integração bicicleta ônibus da cidade de Fortaleza. À luz das hipóteses anteriormente formuladas, o método foi construído ao longo de 5 macro etapas: formulação, projeto de experimento, coleta de dados, calibração e análise dos modelos.

Os resultados da aplicação do método mostraram, em primeiro lugar, a importância das pesquisas-piloto na condução de estudos de Preferência Declarada. Por meio delas, foi possível identificar fragilidades no método de coleta proposto, notadamente no enunciado de algumas questões e na apresentação dos cenários de escolha. Isso impactou diretamente na qualidade dos dados levantados. Além disso, as calibrações preliminares dos modelos apontaram para uma possível inadequação da formulação do modelo da ponta da atividade, o que mostra que a compreensão *a priori* sobre o fenômeno pode ter sido equivocada.

Os dados de preferência Revelada coletados na Parangaba revelaram que a quase-totalidade dos acessos ao Terminal se dá por meio de ônibus. Em média, metade do tempo dispendido no acesso se dá na caminhada/espera, e o restante dentro do ônibus. Isso é reflexo, sobretudo, da baixa frequência de passagem dos ônibus alimentadores, já que a cobertura do sistema é muito elevada em Fortaleza. A média das distâncias de acesso é de cerca de 5,5 km e o georreferenciamento dos endereços mostrou que a compreensão preliminar sobre a estruturação dos deslocamentos em Fortaleza estava correta, já que a grande maioria dos

domicílios se localizava dentro da área de influência das linhas alimentadoras que levam à Parangaba.

Quanto à análise dos dados de Preferência Declarada propriamente dita, os modelos calibrados permitiram a investigação das hipóteses de estudo levantadas. Em primeiro lugar, mostrou-se que há diferença no processo de escolha dos usuários entre as pontas do domicílio e da atividade, havendo uma predominância do acesso por ônibus na Parangaba e a pé no Centro. No entanto, os modelos formulados *a priori* não permitiram quantificar o peso relativo dos fatores avaliados.

A distância de acesso se mostrou um fator importante na escolha modal, favorecendo o uso da bicicleta em distâncias intermediárias (entre 1,5 km e 3,5 km), o que se mostrou alinhado com as conclusões de estudos anteriores realizados pela comunidade científica.

Observou-se, ainda, que as infraestruturas cicloviárias impactam positivamente no uso da bicicleta como modo de acesso. Isso traduz a importância dada pelos indivíduos à segurança viária e ao risco de acidentes. Já o impacto positivo dos bicicletários traduz a preocupação dos usuários quanto à segurança pública e aos furtos. Observou-se, entretanto, que o peso relativo entre as ciclovias/ciclofaixas e os bicicletários varia entre os segmentos da população analisados.

Encontrou-se indícios que apontam quanto a uma diferença de comportamento entre os motivos de viagem realizados. Há uma maior tendência pelo uso da bicicleta em viagens motivo estudo, o que pode indicar uma preferência dos jovens pelo uso da bicicleta. Mostrou-se que, em viagens motivo estudo, há uma maior predisposição ao uso do Bicicleta Integrada, em relação ao uso da bicicleta própria.

Quanto às distinções de comportamento entre os gêneros, observou-se uma maior tendência dos homens ao uso da bicicleta. Além disso, já uma distinção no valor atribuído ao tempo entre os gêneros, sendo, para os homens, o tempo de viagem pela bicicleta cerca de 6 vezes mais oneroso que o tempo dentro dos ônibus, enquanto que para a mulher essa razão é de cerca de 1,4. Os modelos calibrados apontam, ainda, para uma maior preocupação das mulheres a aspectos ligados à segurança viária, o que vai ao encontro de estudos realizados em cidades brasileiras.

Por fim, ao se analisarem os estratos de renda, mostrou-se que os indivíduos com renda mais baixa têm maior tendência ao uso de bicicleta, o que vai ao encontro de estudos

realizados no Recife. Indivíduos com renda mais baixa atribuem maior importância relativa ao uso de bicicletários, o que indica que esse segmento tem uma preocupação suplementar com a questão dos furtos. Encontrou-se, ainda, indícios que apontam para uma diferente valoração do tempo entre indivíduos de classes de renda diferentes, sendo o tempo na bicicleta menos oneroso para indivíduos com renda mais baixa.

Quanto aos resultados encontrados, reconhece-se que o tamanho amostral reduzido pode ser um fator limitante nas conclusões a serem tiradas desse estudo, já que alguns dos coeficientes estimados não tiveram significância estatística. Entretanto, Ortúzar e Willumsen (2011) apontam que, mesmo com falta de significância, as estimativas encontradas, estando com sinal correto, são a melhor aproximação que se têm dos valores populacionais.

Como recomendações para trabalhos posteriores, sugere-se, primeiramente, investigar com maior profundidade a integração bicicleta-ônibus na ponta da atividade (região central de Fortaleza), que parece constituir um fenômeno distinto daquele observado na ponta do domicílio. Além disso, é de grande importância a comparação da integração da bicicleta com o ônibus e com o metrô, pois há indícios na literatura que apontem quanto à diferença entre essas modalidades de integração. Por fim, um aspecto interessante a ser estudado é a possível variabilidade de comportamento entre indivíduos de terminais periféricos distintos, já que o presente trabalho se concentrou apenas no Terminal da Parangaba, assumindo a premissa de que esse comportamento seria homogêneo entre os terminais periféricos.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. A. P. et al. A Bicicleta como Meio de Transporte Integrado a Terminais de Ônibus: o caso do Terminal Vilarinho (Belo Horizonte / Minas Gerais). **ANAIS do 7o Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável**, 2016.
- ANDRADE, B. R. **Compreensão da Problemática da Periferização por Segregação Involuntária no Planejamento da Acessibilidade e Mobilidade em Fortaleza**. [s.l.] Universidade Federal do Ceará, 2016.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. **Transporte Cicloviário**. São Paulo: BNDES, 2007. v. 7
- BEN-AKIVA, M.; LERMAN, S. R. **Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand**. 1a. Ed. ed. Cambridge, MA: The MIT Press, 1985. v. 6
- BIERLAIRE, M. **BIOGEME: A free package for the estimation of discrete choice models**. Proceedings of the 3rd Swiss Transportation Research Conference. **Anais...Ascona**, Switzerland: 2003
- BOARETO, R. A mobilidade urbana sustentável. **Revista dos Transportes Públicos - ANTP - Ano 25 - 3º Trimestre**, p. 45–56, 2003.
- BRASIL. **Programa Brasileiro de Mobilidade por Bicicleta-Bicicleta Brasil Caderno de Referência para elaboração de: Plano de Mobilidade por Bicicleta nas Cidades**. [s.l.: s.n.].
- CASCETTA, E. **Transportation Systems Analysis, Models and Applications**. 2a. Ed. ed. [s.l.] Springer, 2009. v. 10
- COSTA LIMA, R. C. **Caracterização do Uso Integrado de Bicicleta Compartilhada e Ônibus em Fortaleza**. [s.l.] Universidade Federal do Ceará, 2018.
- DE SOUZA, F. et al. Modelling the potential for cycling in access trips to bus, train and metro in Rio de Janeiro. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 56, p. 55–67, 2017.
- FERRAZ, A. C. P.; TORRES, I. G. E. **Transporte Público Urbano**. 2a. Edição ed. São Carlos: RiMa Editora, 2004.
- FUJIWARA, M. Y. **Mobilidade Urbana por meio da Integração entre Transporte Coletivo e Cicloviário**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.
- GEURS, K. T.; LA PAIX, L.; VAN WEPEREN, S. A multi-modal network approach to model public transport accessibility impacts of bicycle-train integration policies. **European Transport Research Review**, v. 8, n. 4, p. 1–15, 2016.
- HENRIQUE, C. S. **Diagnóstico Espacial da Mobilidade e da Acessibilidade dos Usuários do Sistema Integrado de Transporte de Fortaleza**. [s.l.] Universidade Federal do Ceará, 2004.
- HENSHER, D. A., ROSE, J. M., & GREENE, W. H. **Applied Choice Analysis**. 1st ed. ed.

New York: Cambridge University Press, 2005.

HENSHER, D.; BUTTON, K. Handbook of Transport Modelling. **Journal of Transportation Engineering**, v. 127, n. 6, p. 546–546, 2008.

JINGXU, C. et al. The Demand Analysis of Bike-and-ride in Rail Transit Stations based on Revealed and Stated Preference Survey. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 96, n. Cictp, p. 1260–1268, 2013.

KAGER, R.; BERTOLINI, L.; TE BRÖMMELSTROET, M. Characterisation of and reflections on the synergy of bicycles and public transport. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 85, p. 208–219, 2016.

KEIJER, M. J. N.; RIETVELD, P. How do people get to the railway station? The dutch experience. **Transportation Planning and Technology**, v. 23, n. 3, p. 215–235, 2000.

KOPPELMAN, F. S.; BHAT, C. A Self Instructing Course in Mode Choice Modeling : Multinomial and Nested Logit Models by with technical support from Table of Contents. **Elements**, v. 28, n. 3, p. 501–12, 2006.

KRIZEK, K.; STONEBRAKER, E. Bicycling and Transit: A Marriage Unrealized. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2144, p. 161–167, 2010.

LA PAIX PUELLO, L.; GEURS, K. T. Integration of unobserved effects in generalised transport access costs of cycling to railway stations. **European Journal of Transport and Infrastructure Research**, v. 16, n. 2, p. 385–405, 2016.

LIMA, L. S. **Espraiamento Urbano por Autossegregação e seus Impactos na Acessibilidade Urbana de Fortaleza**. [s.l.] Universidade Federal do Ceará, 2017.

LOUVIERE, J. J. et al. **Stated Choice Methods**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

MARTENS, K. The bicycle as a feedering mode: Experiences from three European countries. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 9, n. 4, p. 281–294, 2004.

MARTENS, K. Promoting bike-and-ride: The Dutch experience. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 41, n. 4, p. 326–338, 2007.

MCFADDEN, D. L. Econometric Analysis of Qualitative Response Models. In: Z. GRILICHES AND M.D, I. (Ed.). . **Handbook of Econometrics**. [s.l.] Elsevier Science Publishers B V, 1984.

MEYER, M.; MILLER, E. Chapter 3: urban travel and transportation system characteristics: a system perspective. In: **Urban Transportation Planning: a Decision-Oriented Approach**. New York: McGraw Hill, 2013.

MINITAB INC. **Minitab**State College, PA, 2003.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. 8a. Ed. ed. [s.l.] John Wiley

& Sons, Inc., 2012. v. 2

O'SULLIVAN, D.; UNWIN, D. J. **Geographic Information Analysis**. [s.l: s.n.].

ORTÚZAR, J. D. D.; IACOBELLI, A.; VALEZE, C. Estimating demand for a cycle-way network. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 34, n. 5, p. 353–373, 2000.

ORTÚZAR, J. DE D.; WILLUMSEN, L. G. **Modelling Transport**. 4th Editio ed. [s.l.] John Wiley and Sons, Ltd, 2011.

PEZZUTO, C. C.; SANCHES, S. DA P. Identificação dos fatores que influenciam o uso da bicicleta, visando o direcionamento de programas cicloviários. **Revista dos Transportes Públicos**, n. 25, p. 73–83, 2003.

PINTO, T. D. C. et al. A Bicicleta como Meio de Transporte Integrado ao Terminal Morro Alto (Vespasiano / Minas Gerais). **Anais do XXX Congresso ANPET 2016 - Rio de Janeiro/RJ**, 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA. **Anuário de Transporte Público**. Fortaleza: [s.n.].

PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA. **Plano Diretor Cicloviário Integrado**. Fortaleza: [s.n.].

PUCHER, J.; BUEHLER, R. Making cycling irresistible: Lessons from the Netherlands, Denmark and Germany. **Transport Reviews**, v. 28, n. 4, p. 495–528, 2008.

RIBEIRO, E.; SILVEIRA, J.; VIANA, E. Controle do Sprawl Urbano, e Inclusão Social: o caso da cidade de João Pessoa-PB. **Proc. IV Simpósio Internacional de Ciências ...**, 2007.

ROSE, J. M.; BLIEMER, MI. C. J. Constructing efficient stated choice experimental designs. **Transport Reviews**, v. 29, n. 5, p. 587–617, 2009.

SÁ, T. H. DE et al. Socioeconomic and regional differences in active transportation in Brazil. **Revista de Saúde Pública**, v. 50, n. 0, p. 1–9, 2016.

SERTTEL. **Bicicletar - Bicycles Compartilhadas de Fortaleza**.

SILVEIRA, M. O. **Mobilidade sustentável: a bicicleta como meio de transporte integrado**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

SINGLETON, P.; CLIFTON, K. Exploring Synergy in Bicycle and Transit Use. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2417, p. 92–102, 2014.

SOUSA, P. B. DE. **Análise de Fatores que Influem no Uso da Bicicleta para Fins de Planejamento Cicloviário**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2012.

SOUZA, H. H. H. DE et al. Estimação do Valor do Tempo com Base em Pesquisas Domiciliares de Origem e Destino: desafios teóricos e dificuldades práticas. **Anais do XXXI Congresso ANPET 2017 - Recife/PE**, 2017.

TAYLOR, D.; MAHMASSANI, H. Analysis of Stated Preferences for Intermodal Bicycle-Transit Interfaces. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 1556, p. 86–95, 1996.

TRAIN, K. E. **Discrete Choice Methods with Simulation**. 1a. Ed. ed. [s.l.] Cambridge University Press, 2003.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Integration of Bicycles and Transit**. Washington, DC: Transportation Research Board, 2005.

WANG, R.; LIU, C. Bicycle-Transit Integration in the United States, 2001–2009. 2013.

ZHAO, P.; LI, S. Bicycle-metro integration in a growing city: The determinants of cycling as a transfer mode in metro station areas in Beijing. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 99, p. 46–60, 2017.

APÊNDICE A – PROJETOS DE EXPERIMENTO – PESQUISA PILOTO

- Experimento 1 – Ponta do Domicílio

Cenário	Bloco	A	B	C	D	E
1	3	+1	-1	+1	+1	-1
2	3	-1	+1	-1	+1	+1
3	3	-1	+1	-1	-1	-1
4	3	+1	-1	+1	-1	+1
5	4	+1	+1	+1	+1	+1
6	4	+1	+1	+1	-1	-1
7	4	-1	-1	-1	+1	-1
8	4	-1	-1	-1	-1	+1
9	1	+1	-1	-1	-1	-1
10	1	+1	-1	-1	+1	+1
11	1	-1	+1	+1	+1	-1
12	1	-1	+1	+1	-1	+1
13	2	-1	-1	+1	-1	-1
14	2	+1	+1	-1	-1	+1
15	2	-1	-1	+1	+1	+1
16	2	+1	+1	-1	+1	-1

- Experimento 2 – Ponta da Atividade

Cenário	Bloco	A	B	C	D
1	3	-1	+1	-1	+1
2	3	+1	-1	+1	-1
3	2	+1	+1	-1	-1
4	2	-1	-1	+1	+1
5	1	+1	-1	-1	+1
6	1	-1	+1	+1	-1
7	4	-1	-1	-1	-1
8	4	+1	+1	+1	+1

APÊNDICE B – PROJETO DE EXPERIMENTO – COLETA PRINCIPAL

Cenário	Bloco	A	B	C	D	E
1	1	1	-1	-1	-1	1
2	1	-1	1	1	1	-1
3	2	1	1	-1	-1	-1
4	2	-1	-1	1	1	1
5	3	1	-1	1	-1	-1
6	3	-1	1	-1	1	1
7	4	1	1	1	-1	1
8	4	-1	-1	-1	1	-1
9	5	-1	1	1	-1	-1
10	5	1	-1	-1	1	1
11	6	-1	-1	1	-1	1
12	6	1	1	-1	1	-1
13	7	-1	1	-1	-1	1
14	7	1	-1	1	1	-1
15	8	-1	-1	-1	-1	-1
16	8	1	1	1	1	1

**APÊNDICE C – FORMULÁRIOS DA PESQUISA PILOTO (EXPERIMENTO 1 –
PONTA DO DOMICÍLIO)**



**PESQUISA DE PREFERÊNCIA DECLARADA DO USUÁRIO DE
TRANSPORTE COLETIVO DE FORTALEZA**



PESQUISADOR:

DATA:

TERMINAL DE INTEGRAÇÃO:

TIPO DE FORMULÁRIO: 01 - PERIFERIAS

PARTE 1 – COLETA DE DADOS SOCIOECONÔMICOS E CARACTERÍSTICAS ATUAIS DA VIAGEM

Bom dia/tarde/noite. Sou pesquisador da Universidade Federal do Ceará e estamos desenvolvendo uma pesquisa com passageiros de ônibus que utilizam os terminais. Você poderia me responder a algumas perguntas?

Perguntas de Triagem

1) Qual foi a origem do seu deslocamento de hoje?

Casa Outro. Qual? _____
(encerra a pesquisa)

2) Você poderia informar o endereço da sua casa? Ou algum ponto de referência próximo?

Casa: _____

3) Qual será o destino do seu deslocamento de hoje?

Local de trabalho Local de estudo Outro. Qual? _____
(encerra a pesquisa)

4) Você poderia informar o endereço do seu local de trabalho/estudo? Ou algum ponto de referência próximo?

Local de Trabalho/Estudo: _____

5) Você utiliza o ônibus com frequência para realizar esse deslocamento (mais que 2x por semana)?

Sim Não (encerra a pesquisa)

6) Você anda / já andou de bicicleta?

Sim Não (encerra a pesquisa)

Características do indivíduo	
7) Gênero (circule a opção): feminino / masculino	8) Idade: _____ anos
9) Por favor, qual a faixa de renda mensal de sua família?	
Até R\$ 1500 <input type="checkbox"/>	Entre R\$1500 e R\$3000 <input type="checkbox"/>
	Mais que R\$ 3000 (encerra a pesquisa) <input type="checkbox"/>
Características da Viagem	
10) Em média, quanto tempo você leva da sua casa até o local de trabalho/estudo (em minutos)?	
11) Qual o meio de transporte que você usou para chegar até esse terminal?	
<input type="checkbox"/> Ônibus	<input type="checkbox"/> Moto
<input type="checkbox"/> Bicicleta Integrada	<input type="checkbox"/> Mototáxi
<input type="checkbox"/> Bicicleta Própria	<input type="checkbox"/> Táxi / Uber
<input type="checkbox"/> A pé	<input type="checkbox"/> Outro. Qual? _____
11a) Caso a opção utilizada tenha sido o ônibus :	
Quanto tempo leva da sua casa até você pegar o ônibus que o trouxe aqui (em minutos)?	
Qual o tempo dentro do ônibus, até chegar aqui no terminal (em minutos)?	
11b) Caso a opção utilizada tenha sido a Bicicleta Própria ou Bicicleta Integrada :	
Quanto tempo leva da sua casa até esse terminal, de bicicleta (em minutos)?	
Realizou parte do trajeto em ciclovias/ciclofaixas?	
<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não

FORMULÁRIO TIPO: 1-1

PARTE 2 - APRESENTAÇÃO DOS CENÁRIOS DE ESCOLHA HIPOTÉTICOS

Vamos proceder para a segunda parte da pesquisa. Considere a seguinte situação: você está realizando o deslocamento do domicílio até local de trabalho/estudo, passando pelo terminal.



Imagine que, para chegar no terminal, você somente possui três opções:

- Pegar um ônibus até o terminal
- Utilizar o sistema "Bicicleta Integrada". Considere que você poderia retirar a bicicleta na estação no dia anterior e, ao chegar no terminal, iria devolvê-la na estação.
- Utilizar uma bicicleta própria para chegar até o terminal (considere que você possui bicicleta disponível)

Nos cenários de escolha a seguir, qual seria a opção escolhida?

CENÁRIO 12			
Cenário 1/5			
			
OPÇÕES:	BICICLETA PRÓPRIA	BICICLETA INTEGRADA	ÔNIBUS
Tempo até o terminal	20 minutos	20 minutos	5 minutos (caminhada + espera)
			25 minutos (dentro do ônibus)
Presença de Bicicletários	Sem Bicicletário	-	-
Trajetos realizados em ciclofaixas / ciclovias	Sem ciclofaixas/ciclovias	Sem ciclofaixas/ciclovias	-
Escolha:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**APÊNDICE D – FORMULÁRIOS DA PESQUISA PILOTO (EXPERIMENTO 2 –
PONTA DA ATIVIDADE)**



**PESQUISA DE PREFERÊNCIA DECLARADA DO USUÁRIO DE
TRANSPORTE COLETIVO DE FORTALEZA**



PESQUISADOR:

DATA:

TERMINAL DE INTEGRAÇÃO:

TIPO DE FORMULÁRIO: 02- CENTRO

PARTE 1 – COLETA DE DADOS SOCIOECONÔMICOS E CARACTERÍSTICAS ATUAIS DA VIAGEM

Bom dia/tarde/noite. Sou pesquisador da Universidade Federal do Ceará e estamos desenvolvendo uma pesquisa com passageiros de ônibus que utilizam os terminais. Você poderia me responder a algumas perguntas?

Perguntas de Triagem

1) Qual foi a origem do seu deslocamento de hoje?

Local de trabalho

Local de estudo

Outro. Qual? _____
(encerra a pesquisa)

2) Você poderia informar o endereço do seu local de trabalho/estudo? Ou algum ponto de referência próximo?

Local de Trabalho/Estudo: _____

3) Qual será o destino do seu deslocamento de hoje?

Casa

Outro. Qual? _____
(encerra a pesquisa)

4) Você poderia informar o endereço da sua casa? Ou algum ponto de referência próximo?

Casa: _____

5) Você utiliza o ônibus com frequência para realizar esse deslocamento (mais que 2x por semana)?

Sim

Não (encerra a pesquisa)

6) Você anda / já andou de bicicleta?

Sim

Não (encerra a pesquisa)

Características do indivíduo	
7) Gênero (circule a opção): feminino / masculino	8) Idade: _____ anos
9) Por favor, qual a faixa de renda mensal de sua família?	
Até R\$ 1500 <input type="checkbox"/>	Entre R\$1500 e R\$3000 <input type="checkbox"/>
	Mais que R\$ 3000 (encerra a pesquisa) <input type="checkbox"/>
Características da Viagem	
10) Em média, quanto tempo você leva do local de trabalho/estudo até a sua casa (em minutos)?	
11) Qual o meio de transporte que você usou para chegar até esse terminal?	
<input type="checkbox"/> Ônibus	<input type="checkbox"/> Moto
<input type="checkbox"/> Bicicletar	<input type="checkbox"/> Mototáxi
<input type="checkbox"/> A pé	<input type="checkbox"/> Táxi / Uber
	<input type="checkbox"/> Outro. Qual? _____
11a) Caso a opção utilizada tenha sido o ônibus :	
Quanto tempo leva do seu local de trabalho/estudo até pegar o ônibus que o trouxe aqui (em minutos)?	
Qual o tempo dentro do ônibus, até chegar aqui no terminal (em minutos)?	
11b) Caso a opção utilizada tenha sido o Bicicletar :	
Quanto tempo leva do seu local de trabalho/estudo até esse terminal, de bicicleta (em minutos)?	
Realizou parte do trajeto em ciclovias/ciclofaixas?	
<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não

FORMULÁRIO TIPO:

PARTE 2 - APRESENTAÇÃO DOS CENÁRIOS DE ESCOLHA HIPOTÉTICOS

Vamos proceder para a segunda parte da pesquisa. Considere a seguinte situação: você está realizando o deslocamento do local de trabalho/estudo para o seu domicílio, passando pelo terminal.



Imagine que, para chegar no terminal, você somente possui duas opções:

- Pegar um ônibus até o terminal
- Utilizar uma bicicleta compartilhada para chegar até o terminal. Considere que há bicicletas disponíveis para retirada próximo ao local de trabalho e há vagas para devolução no terminal.

Nos cenários de escolha a seguir, qual seria a opção escolhida?

CENÁRIO 5 Cenário 1/2		
OPÇÕES:	BICICLETAR	ÔNIBUS
Tempo até o terminal	20 minutos	5 minutos (caminhada + espera)
		25 minutos (dentro do ônibus)
Trajeto realizado em ciclofaixas / ciclovias	Sem ciclofaixas/ciclovias	-
Escolha:	<input type="text"/>	<input type="text"/>

APÊNDICE E – FORMULÁRIO DA PESQUISA AUXILIAR – PONTA DA ATIVIDADE



PESQUISA COM USUÁRIOS DE TRANSPORTE COLETIVO DE FORTALEZA



TERMINAL DE INTEGRAÇÃO:

TIPO DE FORMULÁRIO: 02- CENTRO

Perguntas Iniciais
<p>1) Qual foi a <u>origem</u> do seu deslocamento de hoje?</p> <p style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> Local de trabalho <input type="checkbox"/> Local de estudo <input type="checkbox"/> Outro. Qual? _____ </p>
<p>2) Você poderia informar o endereço do seu local de trabalho/estudo? Ou algum ponto de referência próximo?</p> <p>Nome: _____ Endereço: _____</p>
<p>3) Qual será o <u>destino</u> do seu deslocamento de hoje?</p> <p style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> Casa <input type="checkbox"/> Outro. Qual? _____ </p>
Características do indivíduo
<p>4) Por favor, qual a faixa de renda mensal de sua família?</p> <p style="text-align: center;"> Até R\$ 1500 Entre R\$1500 e R\$3000 Mais que R\$ 3000 </p> <p style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </p>
Características da Viagem
<p>5) Qual o meio de transporte que você usou para chegar até esse terminal?</p> <p style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> Ônibus <input type="checkbox"/> Moto <input type="checkbox"/> Bicicletar <input type="checkbox"/> Mototáxi <input type="checkbox"/> A pé <input type="checkbox"/> Táxi / Uber <input type="checkbox"/> Outro. Qual? _____ </p>
<p>6) Caso tenha chegado a pé: quantos quarteirões andou para chegar até o terminal?</p>

APÊNDICE F – FORMULÁRIO DA PESQUISA PRINCIPAL – PONTA DO DOMICÍLIO



PESQUISA DE PREFERÊNCIA DECLARADA DO USUÁRIO DE TRANSPORTE COLETIVO DE FORTALEZA



TERMINAL DE INTEGRAÇÃO: PARANGABA

TIPO DE FORMULÁRIO: 01 - PERIFERIAS

Marque se a pesquisa não tiver sido completada

PARTE 1 – COLETA DE DADOS SOCIOECONÔMICOS E CARACTERÍSTICAS ATUAIS DA VIAGEM

Perguntas de Triagem

1) **De onde** você está vindo agora?

Casa

Outro. Qual? _____
(encerra a pesquisa)

2) Você poderia informar o endereço da sua casa? Ou ponto de referência próximo?

Endereço / Ponto de Referência: _____

Bairro: _____

3) **Para onde** você está indo agora?

Local de trabalho

Local de estudo

Outro. Qual? _____
(encerra a pesquisa)

4) Você poderia informar o endereço do local de trabalho/estudo? Ou ponto de referência próximo?

Local de Trabalho/Estudo: _____

Bairro: _____

5) Você costuma ir de casa para o trabalho/escola usando ônibus (mais que 2x por semana)?

Sim

Não

6) Você anda / já andou de bicicleta?

Sim

Não (encerra a pesquisa)

Características do indivíduo		
7) Gênero: Masculino <input type="checkbox"/> Feminino <input type="checkbox"/>		8) Idade: _____ anos
9) Por favor, qual a faixa de renda mensal de sua família? Até R\$ 1500 <input type="checkbox"/> Entre R\$1500 e R\$3000 <input type="checkbox"/> Mais que R\$ 3000 <input type="checkbox"/>		
Características da Viagem		
10) Para vir de casa para o Terminal da Parangaba, você usou qual meio de transporte principal?		
<input type="checkbox"/> Ônibus	<input type="checkbox"/> Moto	
<input type="checkbox"/> Bicicleta Integrada	<input type="checkbox"/> Mototáxi	
<input type="checkbox"/> Bicicleta Própria	<input type="checkbox"/> Táxi / Uber	
<input type="checkbox"/> A pé	<input type="checkbox"/> Outro. Qual? _____	

11a) Caso a opção utilizada tenha sido o ônibus:

<p>TEMPO CAMINHANDO ATÉ A PARADA E ESPERANDO O ÔNIBUS:</p> <p>MINUTOS</p>	<p>TEMPO NO ÔNIBUS QUE VOCÊ PEGOU PARA CHEGAR NO TERMINAL:</p> <p>MINUTOS</p>	<p>TEMPO NO PRÓXIMO ÔNIBUS QUE VOCÊ VAI PEGAR PARA CHEGAR NO TRABALHO/ESCOLA:</p> <p>MINUTOS</p>	
CASA	PARADA DE ÔNIBUS	TERMINAL DA PARANGABA	TRABALHO/ESCOLA

11b) Caso a opção utilizada tenha sido a Bicicleta Própria ou Bicicleta Integrada:

Quanto tempo leva da sua casa até o Terminal da Parangaba, de bicicleta (em minutos)?

Realizou parte do trajeto em ciclovias/ciclofaixas?

Sim

Não

FORMULÁRIO TIPO:

PARTE 2 - APRESENTAÇÃO DOS CENÁRIOS DE ESCOLHA HIPOTÉTICOS

CENÁRIO:

OPÇÃO 1: BICICLETA PRÓPRIA



CASA



TERMINAL DA PARANGABA

TRAJETO COM CICLOFAIXAS/CICLOVIAS

COM BICICLETÁRIO NO TERMINAL

TEMPO TOTAL DA CASA AO TERMINAL: 20 MINUTOS

OPÇÃO 2: BICICLETA INTEGRADA



CASA



ESTAÇÃO BICICLETA INTEGRADA



TERMINAL DA PARANGABA

TRAJETO COM CICLOFAIXAS/CICLOVIAS

TEMPO TOTAL DA CASA AO TERMINAL: 20 MINUTOS

OPÇÃO 3: ÔNIBUS



CASA



PARADA DE ÔNIBUS



TERMINAL DA PARANGABA

TEMPO DE CAMINHADA E ESPERA DO ÔNIBUS: 5
MINUTOS

TEMPO DENTRO DO ÔNIBUS ATÉ O TERMINAL: 25 MINUTOS