



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

RAQUEL CHAVES COSTA LIMA

**BENEFÍCIOS POTENCIAIS DO USO DO MODO INTEGRADO BICICLETA-
ÔNIBUS SOBRE A ACESSIBILIDADE DA POPULAÇÃO DE BAIXA RENDA
EM FORTALEZA**

FORTALEZA

2022

RAQUEL CHAVES COSTA LIMA

BENEFÍCIOS POTENCIAIS DO USO DO MODO INTEGRADO BICICLETA-ÔNIBUS
SOBRE A ACESSIBILIDADE DA POPULAÇÃO DE BAIXA RENDA EM FORTALEZA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes. Área de Concentração: Planejamento de Transportes e Uso do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Felipe Grangeiro Loureiro

Coorientador: Dr. Francelino Franco Leite de Matos Sousa

FORTALEZA

2022

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

C875b Costa Lima, Raquel Chaves.
Benefícios Potenciais do Uso do Modo Integrado Bicicleta-Ônibus Sobre a Acessibilidade da População de Baixa Renda em Fortaleza / Raquel Chaves Costa Lima. – 2022.
86 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Carlos Felipe Loureiro Grangeiro.

Coorientação: Prof. Dr. Francelino Franco Leite de Matos Sousa.

1. Bicicleta, . 2. Ônibus. 3. Integração. 4. Acessibilidade. 5. Logsum. I. Título.

CDD 388

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Francelino Franco Leite de Matos Sousa. (Coorientador)
Centro Universitário Christus

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

Prof. Dr. Antônio Néelson Rodrigues da Silva (Examinador Externo)
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo

AGRADECIMENTOS

Á Deus, por guiar meus passos e permitir que tudo aconteça da melhor forma.

Ao meu marido, Victor, pelo companheirismo e amor demonstrados nos pequenos e grandes atos. Obrigada por não me deixar desistir, por me apoiar e me compreender em todo o percurso. Obrigada também pelas discussões e críticas em relação a esse trabalho.

Aos meus pais, Roberto e Cristiana, por estarem sempre ao meu lado, me incentivando na busca pelos meus sonhos e me apoiando nas minhas decisões. Obrigada pelo amor e carinho de sempre.

À minha família, Roberto Jr, Felipe, Victor, Sabrina, Aninha e Caco pelo carinho e apoio e por vibrarem com cada conquista minha.

Ao professor Dr. Felipe Loureiro, meu orientador, pelos ensinamentos e conselhos e pelas perguntas sem respostas que amadureceram meu senso crítico.

Ao meu coorientador e amigo, Francelino Franco, pela disponibilidade, praticidade e ajuda de sempre, além dos ensinamentos fundamentais para elaboração desta pesquisa.

A todos os professores e colegas do PETRAN que contribuíram com a minha formação e dividiram experiências acadêmicas e profissionais. A forma em que os discentes e docentes do programa se ajudam vai para além de ensinamentos de engenharia, acredito que aprendi com vocês a conviver melhor em sociedade. Agradeço especialmente aos amigos do PETRAN Kauê, Caio Gustavo, Davi, Renan, Tais e Matheus, que acompanharam partes da produção desse trabalho, discutindo o assunto e fazendo sugestões ou disponibilizando materiais. A ajuda de vocês foi essencial.

Aos amigos Alana, Raphael, Juliana, Luana, Lara Barroso, Lara Braide, Isabela, Talyson, Germana, Bia, Bianca, Ana B., Caio, Letícia, Thaianny, Thais, Teka, entre tantos outros, que me escutam reclamar continuamente do processo de fazer pesquisa e me colocam pra cima. A torcida de vocês é super importante.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelo apoio financeiro por meio de concessão de bolsa de mestrado.

RESUMO

A população de baixa renda de Fortaleza, a qual reside principalmente na região periférica da cidade, distante da maioria dos postos de trabalho, apresenta baixos níveis de acessibilidade ao trabalho. Alguns estudos sugerem que a utilização do modo integrado bicicleta-ônibus pode ser uma alternativa que diminua problemas de acessibilidade, já que o uso combinado é exposto na literatura como uma forma de deslocamento mais rápida e eficiente que o ônibus isoladamente. Algumas pesquisas já analisaram os benefícios desse modo integrado sobre a acessibilidade ao trabalho em outras cidades, concluindo que essa alternativa melhora a situação dos usuários, porém os autores utilizaram indicadores que não incorporam a utilidade percebida pelo indivíduo em um deslocamento. Esta pesquisa se propôs a analisar este fenômeno na cidade de Fortaleza, a qual tem sistemas de ônibus e de bicicleta diferentes dos existentes nas cidades analisadas em outros estudos. Verificou-se que a integração em Fortaleza tem potencial de reduzir o tempo de acesso aos postos de trabalho pela população de baixa renda em até 15 minutos. Esta pesquisa também analisou fatores que impactam a acessibilidade desta população além do tempo de acesso ao estimar o indicador de acessibilidade aos terminais de ônibus por *logsum*. Verificou-se aumento de acessibilidade também por esse indicador. Nesta avaliação, em relação a oferta, verificou-se que a bicicleta compartilhada agrega maior utilidade no deslocamento ao terminal que a bicicleta própria. Já em relação a demanda, concluiu-se que mulheres têm maior potencial de serem beneficiadas com esta combinação entre modos que os homens.

Palavras-Chave: Bicicleta, Ônibus, Integração, Acessibilidade, Logsum.

ABSTRACT

The Fortaleza low-income population live mainly at the peripheral regions of the city, far from most work places. Due to this, they have low accessibility levels to work. Some studies suggest that the use of the integrated mode bicycle-bus can be an alternative that would reduce accessibility problems, since the combined use is exposed in the literature as a faster and more efficient way to travel than the bus alone. Some studies have already analyzed the benefits of this integrated mode on work accessibility in other cities, concluding that this alternative improves commuting for users, however, the authors of these studies haven't used indicators that incorporate the utility perceived by the people during such commute. This research aimed to analyze this phenomenon in Fortaleza city, which has different bus and bicycle systems comparing to other cities that have already made these researches. As a result, it was found that integration in Fortaleza has the potential to reduce the low-income population access time to jobs by up to 15 minutes. This research also analyzed factors that impact the accessibility of this population in addition to the access time, estimating the accessibility indicator to bus terminals by Logsum. There was also an increase in accessibility for this indicator. In this evaluation, in relation to the supply, it was found that bike shared systems adds more utility to terminals trip than personally owned bicycles. Regarding demand, it was concluded that women have greater potential to benefit from this combination of modes (bicycle-bus) than men.

Keywords: Bicycle, Bus, Integration, Accessibility, Logsum.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura da dissertação.....	17
Figura 2 – Esquema evidenciando relação entre acessibilidade, mobilidade e impactos no desenvolvimento sustentável.	19
Figura 3 - Distribuição espacial dos indicadores demográficos e de uso do solo para Fortaleza	23
Figura 4 - Indicador cumulativo de oportunidades por ônibus para empregos (esquerda) e matrículas (direita).....	24
Figura 5 - Acessibilidade da baixa renda aos postos de trabalho por modo: coletivo, individual e não-motorizado	25
Figura 6 - Divisão modal das viagens por motivo trabalho em Fortaleza, por classe de renda, em 1996 e 2019.	26
Figura 7 - Divisão modal das viagens por motivo trabalho das pessoas de baixa renda em Fortaleza, por posse de veículos motorizados em 2019.	27
Figura 8 - Divisão modal das viagens por motivo trabalho das pessoas de baixa renda em Fortaleza, por posse de veículos motorizados e por gênero em 2019.	28
Figura 9 – Distância das viagens motivo trabalho das pessoas de baixa renda do gênero feminino que residem em domicílios com veículos motorizados.....	29
Figura 10 – Distância das viagens motivo trabalho das pessoas de baixa renda do gênero feminino que residem em domicílios sem veículos motorizados.	29
Figura 11 – Distância das viagens motivo trabalho das pessoas de baixa renda do gênero masculino que residem em domicílios com veículos motorizados.....	30
Figura 12 – Distância das viagens motivo trabalho das pessoas de baixa renda do gênero masculino que residem em domicílios sem veículos motorizados.	30
Figura 13 – Distribuição dos modos de acesso aos terminais da população de baixa renda por motivo trabalho.....	31
Figura 14 – Histograma dos horários de início das viagens por motivo trabalho da população de baixa renda.....	32
Figura 15 - Componentes da oferta do modo de transporte de bicicleta - transporte público..	36
Figura 16 - Distribuição espacial dos tempos médios ponderados de viagem dos usuários do SITFOR em 2000.	37

Figura 17 - Disposição espacial dos terminais de integração e das linhas do SITFOR em dezembro/2020.	39
Figura 18 - Pontos de Parada do SITFOR com raio de influência de 500 metros em dezembro/2020.	41
Figura 19 –Faixas exclusivas e BRT`s em Fortaleza em janeiro de 2020.....	41
Figura 20 – Estações do Bicicletar e Malha ciclovitária em dezembro 2020.....	43
Figura 21 – Paraciclos e Bicicletários em janeiro/2021.	44
Figura 22 – Utilidade de cada modo de acesso ao metrô a depender da distância.....	Erro!
Indicador não definido.	
Figura 23 – Alternativas de escolha de modo para acessar o terminal: a) No C1 e b) No C2.	57
Figura 24 – Acessibilidade ao emprego da população de baixa renda por ônibus.....	64
Figura 25 –Acessibilidade ao emprego da população de baixa renda por bicicleta.....	65
Figura 26 – Mapa da acessibilidade ao emprego atual da população de baixa renda sem acesso a veiculos motorizados individuais no C1.....	66
Figura 27 – Acessibilidade ao emprego da população de baixa renda por carro.	67
Figura 28 – Mapa da acessibilidade ao emprego da população de baixa renda sem acesso a veiculos motorizados individuais no C2.....	68
Figura 29 – Mapa da redução do tempo de acesso aos postos de trabalho ao considerar a integração bicicleta-ônibus.	69
Figura 30 – Mapa da redução do tempo de acesso aos postos de trabalho ao considerar a integração bicicleta-ônibus nos locais em que residem pessoas de baixa renda.	70
Figura 31 – Histogramas do <i>logsum</i> do acesso aos terminais para os homens (a) e mulheres (b) no C1 e C2.	73
Figura 32 – Mapa de quantis da diferença de <i>logsum</i> do acesso aos terminais para os homens (a) e mulheres (b) entre os C1 e C2.....	74
Figura 33 – Mapas dos locais em que o modo de acesso ao terminal com maior utilidade para os homens (a) e para as mulheres (b) é a bicicleta.	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Abordagens de acessibilidade e seus componentes	20
Tabela 2 – Calibração do modelo de escolha de modo de acesso ao terminal para pessoas do gênero masculino.....	71
Tabela 3 – Calibração do modelo de escolha de modo de acesso ao terminal para pessoas do gênero feminino.....	72

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Contextualização.....	14
1.2	Objetivos.....	16
1.3	Estrutura da dissertação	16
2	PROBLEMÁTICA DA ACESSIBILIDADE AO TRABALHO DA POPULAÇÃO DE BAIXA RENDA EM FORTALEZA E SUA RELAÇÃO COM OS PADRÕES ATUAIS DE MOBILIDADE.....	18
2.1	Conceitos de acessibilidade e mobilidade	18
2.2	Diferentes abordagens de indicadores de acessibilidade	20
2.3	Acessibilidade da população de baixa renda em Fortaleza.....	22
2.4	Mobilidade da baixa renda em Fortaleza.....	26
2.5	Considerações finais	32
3	INTEGRAÇÃO BICICLETA-ÔNIBUS COMO ALTERNATIVA PARA MELHORAR A ACESSIBILIDADE AO TRABALHO DA POPULAÇÃO DE BAIXA RENDA EM FORTALEZA.....	34
3.1	Integração bicicleta-ônibus	34
3.2	Sistema de transporte público por ônibus em Fortaleza.	36
3.3	Transporte cicloviário em Fortaleza	42
3.4	Integração bicicleta-ônibus em Fortaleza	44
3.5	Integração bicicleta-ônibus como melhoria da acessibilidade dos usuários.....	46
3.6	Atributos das funções utilidade relativos à integração bicicleta e ônibus no Brasil..	47
3.7	Considerações finais	49
4	PROPOSTA METODOLÓGICA	50
4.1	Caracterização dos níveis atuais de acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza.....	52
4.1.1	Estimativa das matrizes de tempo	52

4.1.2	Indicador tempo de acesso aos postos de trabalho.....	53
4.2	Estimação dos níveis de acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza considerando a integração bicicleta-ônibus	55
4.3	Estimação dos benefícios potenciais da integração bicicleta-ônibus na acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza, considerando o local de moradia	56
4.4	Estimação dos benefícios potenciais da integração bicicleta-ônibus na acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza, considerando o comportamento de escolha modal dos usuários.....	57
4.4.1	Indicador de acessibilidade aos terminais baseado em Logsum	57
4.4.2	Modelo de escolha discreta para representar a escolha pela integração bicicleta-ônibus	58
4.4.3	Calibração de Funções utilidade do acesso da baixa renda aos terminais de ônibus em Fortaleza.....	59
4.4.4	Estimativa do indicador baseado em logsum	61
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
5.1	Níveis atuais de acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza.....	63
5.1.1	Níveis atuais de acessibilidade da população de baixa renda sem acesso a modos motorizados individuais aos postos de trabalho em Fortaleza.....	63
5.1.2	Níveis atuais de acessibilidade da população de baixa renda com acesso a modos motorizados individuais aos postos de trabalho em Fortaleza.....	66
5.2	Níveis de acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza considerando a integração bicicleta-ônibus	67
5.3	Benefícios potenciais da integração bicicleta-ônibus na acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza, considerando o local de moradia	70
5.4	Benefícios potenciais da integração bicicleta-ônibus na acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza, considerando o comportamento de escolha modal dos usuários.....	71

6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	76
6.1	Consolidação das contribuições do trabalho.....	76
6.2	Recomendações para trabalhos futuros.....	78
	REFERÊNCIAS	81

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O crescimento desordenado das cidades e a segregação da população de menor renda na periferia é algo frequente em grandes cidades brasileiras (VASCONCELOS; PINTAUDI; CORRÊA, 2013). Essa periferização de parte da população e a concentração das atividades nas regiões mais centrais gera problemas de acessibilidade. As diferenças de acessibilidade entre a população de alta e baixa renda são refletidas no padrão de mobilidade, de forma que a mobilidade é bastante destoante para as diferentes classes de renda nas grandes cidades brasileiras. Em São Paulo, por exemplo, observou-se que quanto menor a renda mais os indivíduos são dependentes de transporte coletivo e maiores são seus tempos de deslocamento (ZANDONADE; MORETTI, 2012). Com o aumento da motorização individual no Brasil, levanta-se a hipótese de que nem todas as pessoas de baixa renda sejam dependentes do transporte público e surge então a primeira questão de pesquisa: **Como a população de baixa renda de Fortaleza se desloca atualmente?**

Alguns estudos já evidenciaram problema de baixa acessibilidade aos empregos da população de baixa renda em Fortaleza, ressaltando diferenças de acessibilidade aos postos de trabalho entre a região central, em que a maioria das residências é de alta renda, e a periferia, em que a maioria é de baixa renda, porém esses estudos consideram a população de baixa renda se deslocando exclusivamente de transporte coletivo (LIMA et al., 2021). Assim, surge a segunda questão de pesquisa deste trabalho: **Considerando os modos utilizados por essa parcela da população, qual o nível de acessibilidade aos postos de trabalho da baixa renda de Fortaleza?**

Em um contexto de problema de baixa acessibilidade, principalmente das pessoas cativas do ônibus, modos mais rápidos e de baixo custo, que possam ser acessíveis financeiramente para as pessoas de baixa renda, talvez possam auxiliar este problema. A integração entre bicicleta e transporte público tem sido bastante estudada nos últimos anos por ser uma combinação de modos com muitos benefícios. Esse modo integrado une a flexibilidade e a alta velocidade da bicicleta em curtos percursos congestionados e a possibilidade de percorrer grandes distâncias do transporte público (KAGER; BERTOLINI; TE BRÖMMELSTROET, 2016) sem ter o alto custo do transporte individual motorizado.

Observou-se que em Fortaleza a integração entre bicicleta e transporte público é diferente do fenômeno que ocorre em cidades de países desenvolvidos, pois, além de o modo de transporte público mais utilizado ser o ônibus (diferentemente dos países desenvolvidos que têm sistema de metrô consolidado), a maioria dos usuários do modo integrado em Fortaleza é de baixa renda (COSTA, 2019). Assim, o impacto da velocidade do modo motorizado é menor na integração, de forma que surge outra questão de pesquisa: **a integração entre bicicleta e ônibus pode aumentar a acessibilidade aos postos de trabalho da população de baixa renda que mora na região periférica da cidade de Fortaleza?**

A Prefeitura de Fortaleza tem estimulado o uso de meios de transportes mais sustentáveis e investido em incentivos ao uso da bicicleta e do transporte coletivo nos últimos anos, incluindo aumento de infraestrutura para bicicleta e para ônibus e direcionado parte desse esforço para o uso integrado dos dois modos. Apesar dos incentivos governamentais, o uso integrado bicicleta-ônibus ainda é bastante baixo. Costa Lima et al. (2019) mostram que entre 6 e 8% das viagens de bicicleta compartilhada são feitas integradas ao ônibus e as pesquisas do Plano de Acessibilidade Sustentável de Fortaleza (PAS-For) também confirmam a baixa adesão a esse modo integrado: na pesquisa domiciliar, observou-se que somente 0,04% das viagens de ônibus foram realizadas integradas à bicicleta e, na pesquisa dos terminais de ônibus, verificou-se que 0,2% das viagens de ônibus que passam pelos terminais foram integradas à bicicleta (PREFEITURA DE FORTALEZA, 2020a). Percebe-se, assim, que o fenômeno da integração entre bicicleta e ônibus é incipiente em Fortaleza.

Estudos mostram que a integração bicicleta-transporte público melhora a acessibilidade por transporte público dos usuários em San Diego (BOARNET et al., 2017), Holanda (PRITCHARD; STEPNIAK; GEURS, 2019) e São Paulo (PRITCHARD et al., 2019), Fortaleza tem peculiaridades que a diferenciam das cidades retratadas nesses estudos, como o fato já mencionado de seu transporte público mais utilizado ser o ônibus, que tem menor eficiência que modos metroferroviários, e sua cultura da bicicleta ainda ser de um meio de transporte ligado à população de baixa renda, que não tem condições de pagar por outro modo.

Um estudo realizado para analisar os fatores que afetam a utilização do modo integrado bicicleta-ônibus em Fortaleza chegou à conclusão de que o fator que mais afeta a integração desses modos é a existência de infraestrutura cicloviária, porém características dos indivíduos e da viagem também tem impacto sobre a escolha pela integração (SIQUEIRA,

2018). Então questiona-se: **ao se considerar o modo integrado bicicleta-ônibus, observa-se uma maior percepção da utilidade do deslocamento pelo usuário de baixa renda?**

1.2 Objetivos

A partir das questões apresentadas, o objetivo geral desse trabalho é investigar os benefícios potenciais do uso do modo integrado bicicleta-ônibus sobre a acessibilidade da população de baixa renda ao trabalho em Fortaleza, a partir da consecução dos seguintes objetivos específicos:

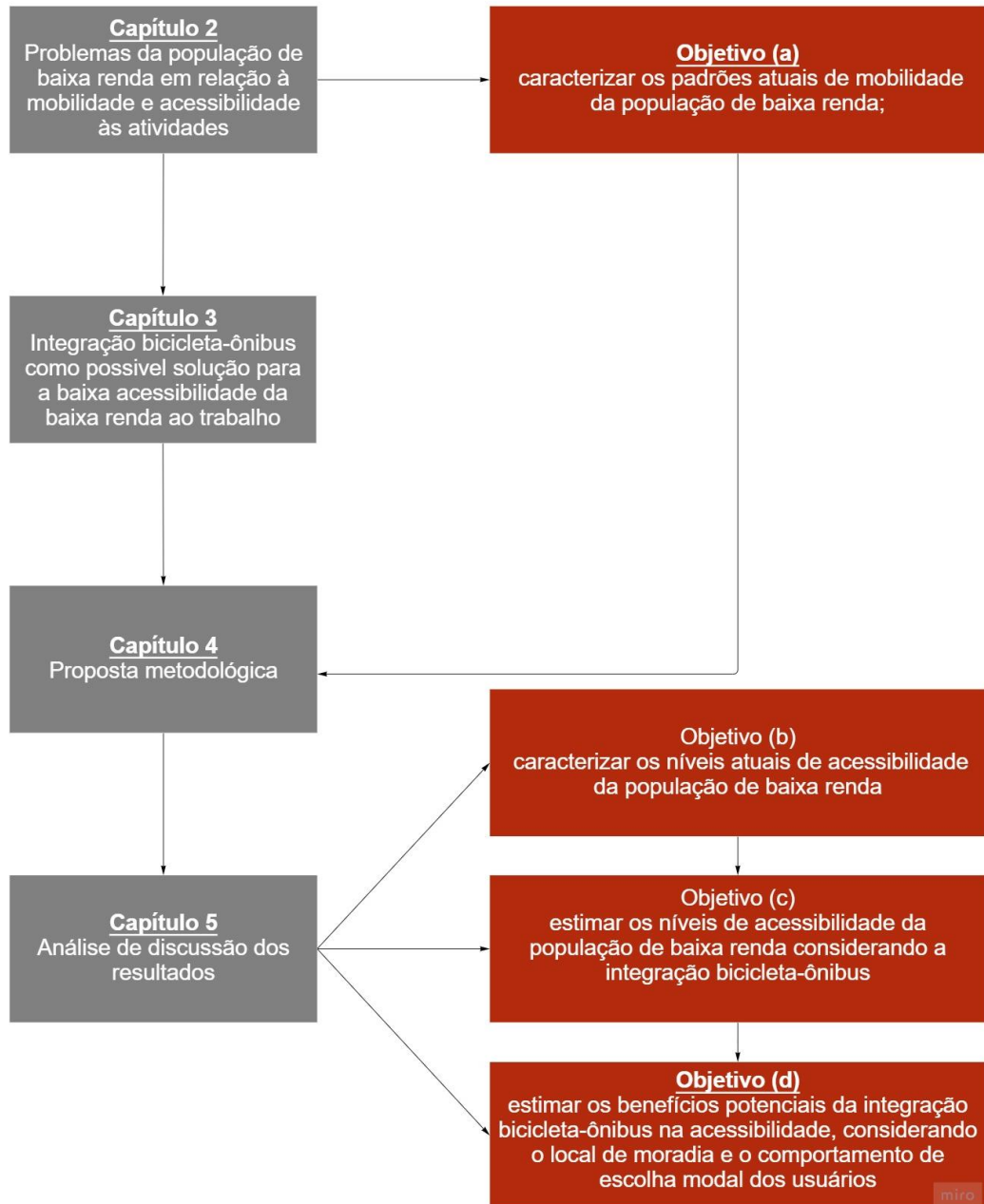
- a) caracterizar os padrões atuais de mobilidade da população de baixa renda de Fortaleza;
- b) caracterizar os níveis atuais de acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza nas redes de transporte motorizado coletivo, motorizado individual e não motorizado;
- c) estimar a distribuição espacial dos níveis de acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza considerando a integração bicicleta-ônibus;
- d) estimar os benefícios potenciais da integração bicicleta-ônibus na acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza, considerando o local de moradia e o comportamento de escolha modal dos usuários.

1.3 Estrutura da dissertação

Para atingir os objetivos acima descritos, a estrutura desta dissertação é planejada conforme a Figura 1. O capítulo 2 discorre sobre a problemática da acessibilidade e mobilidade da população de baixa renda em Fortaleza e o capítulo 3 sobre como a integração bicicleta-ônibus tem potencial para mitigar esse problema. Esses dois capítulos juntos trazem as justificativas das questões de pesquisa abordadas nesta pesquisa e a fundamentação teórica para o desenvolvimento da pesquisa. Além disso, o primeiro objetivo de caracterizar os padrões atuais de mobilidade da população de baixa renda de Fortaleza, que é importante para direcionar a proposta metodológica deste trabalho, é atingido no capítulo 2.

O capítulo 4 apresenta a proposta metodológica para atingir os objetivos seguintes, o capítulo 5 analisa e discute os resultados, atingindo os três últimos objetivos, e o capítulo 6 discorre acerca das conclusões, limitações do trabalho e recomendações para trabalhos futuros.

Figura 1 – Estrutura da dissertação



Fonte: Elaborado pela autora.

2 PROBLEMÁTICA DA ACESSIBILIDADE AO TRABALHO DA POPULAÇÃO DE BAIXA RENDA EM FORTALEZA E SUA RELAÇÃO COM OS PADRÕES ATUAIS DE MOBILIDADE

Este capítulo apresenta a problemática da baixa acessibilidade da população de baixa renda em Fortaleza e evidencia as relações que existem entre mobilidade e acessibilidade. Para tal, na seção 2.1, são apresentados os conceitos de acessibilidade e mobilidade utilizados na pesquisa. Partindo desses conceitos, são expostas diferentes abordagens utilizadas para medir os níveis de acessibilidade na seção 2.2, ao passo que os resultados de pesquisas anteriores que evidenciaram problemas de acessibilidade em Fortaleza utilizando diferentes indicadores são apresentados na seção 2.3. A seção 2.4 apresenta os diversos aspectos da mobilidade das pessoas de baixa renda de Fortaleza, focando nas viagens de motivo trabalho, atingindo o primeiro objetivo desta pesquisa: caracterizar os padrões atuais de mobilidade da população de baixa renda de Fortaleza.

Ao final do capítulo espera-se ter contextualizado a mobilidade e a acessibilidade ao trabalho da população de baixa renda em Fortaleza, evidenciando problemas relacionados a essas temáticas e possibilitando a construção de uma alternativa que possa minorar algumas dificuldades vivenciadas pela população de baixa renda de Fortaleza no capítulo 3 deste trabalho.

2.1 Conceitos de acessibilidade e mobilidade

Antes de adentrar na problemática da pesquisa, é necessário explanar sobre a definição de acessibilidade considerada nesta dissertação. A palavra acessibilidade tem sido utilizada em diferentes contextos e tem causado discordâncias em relação ao seu significado. Etimologicamente, acessibilidade deriva do latim *accessibilitas*, que significa “livre acesso, possibilidade de aproximação” (HOUAISS; VILLAR; FRANCO, 2001), o que permite seu uso em discussões muito diferentes do tema desta pesquisa, como disponibilidade de informação e utilização de instalações por pessoas com deficiências ou mobilidade reduzida.

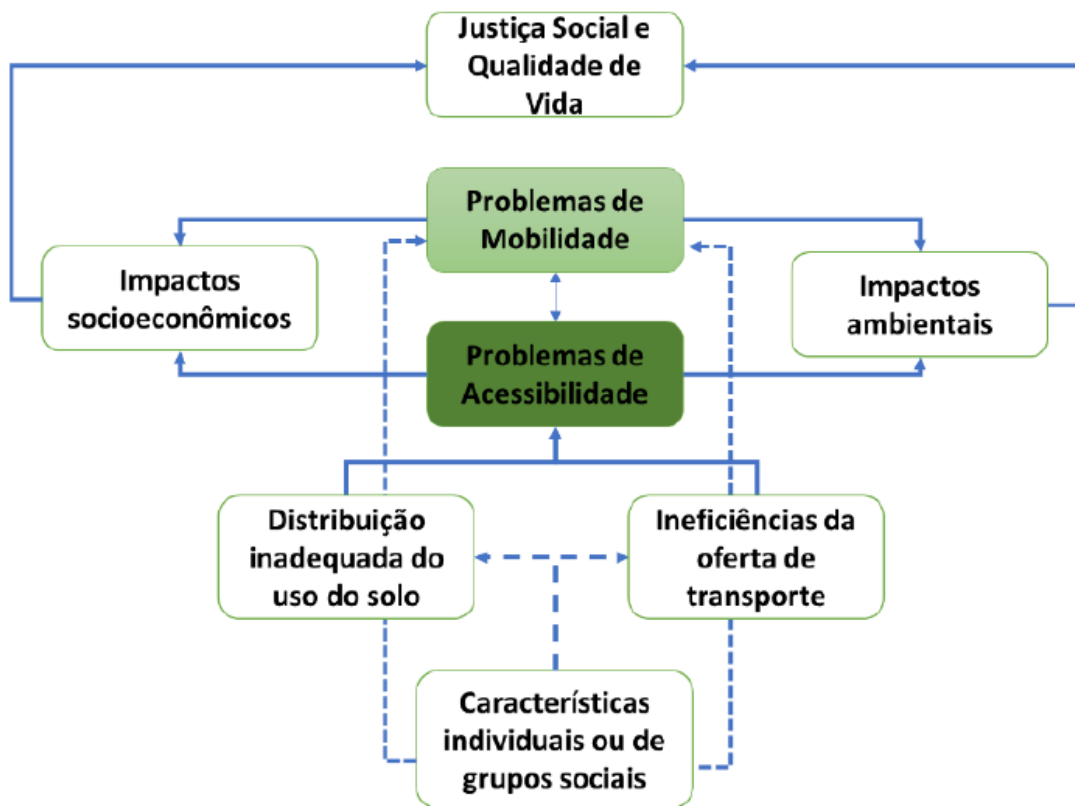
Se restringindo a estudos sobre uso do solo e transportes, autores definem acessibilidade de diversas formas e o principal equívoco em relação a esse termo acontece quando se confunde acessibilidade e mobilidade. Levine e Garb (2002) definem mobilidade

como a facilidade de movimento e acessibilidade como facilidade de chegar aos destinos. Mobilidade está relacionada a quantidade de movimento que uma pessoa (ou veículo, ou carga) realiza, com foco no subsistema de transportes, e acessibilidade relaciona-se com o potencial de realização de atividades, contemplando os subsistemas de transportes e uso do solo.

Apesar de serem termos diferentes, mobilidade e acessibilidade estão relacionadas, dado que as viagens que um indivíduo realiza dependem do seu potencial de realização de viagens, assim como a quantidade de viagens realizadas e os modos utilizados conjuntamente por várias pessoas afetam a condição da rede de transportes, afetando a acessibilidade (GARCIA et al., 2018; KNEIB; PORTUGAL, 2017), conforme mostrado na Figura 2.

Verifica-se também na Figura 2 que a acessibilidade é impactada tanto pela distribuição do uso do solo, como pela eficiência do sistema de transportes, sistemas esses que são afetados pelas características dos indivíduos. A forma com que a acessibilidade é caracterizada pode incorporar esses componentes, como é evidenciado na próxima seção.

Figura 2 – Esquema evidenciando relação entre acessibilidade, mobilidade e impactos no desenvolvimento sustentável.



Fonte: Traduzido de Garcia *et al.* (2018)

2.2 Diferentes abordagens de indicadores de acessibilidade

A acessibilidade como oportunidade de chegar aos destinos para realizar atividades depende de diversos fatores que podem ser agrupados em quatro classes: componente de uso do solo, componente de transportes, componente temporal e componente individual (GEURS; VAN WEE, 2004). Esses componentes evidenciam a relação entre as restrições individuais e os subsistemas de transporte, uso do solo e atividades. A partir dessas relações também se percebe a interdependência entre acessibilidade e as decisões relacionadas a esses subsistemas: decisão de viagem, decisão locacional e decisão de atividades.

Para quantificar os níveis de acessibilidade, os indicadores deveriam incorporar todos os componentes, porém, por causa da complexidade de incorporá-los, a depender da abordagem do estudo, foca-se mais em um ou mais componentes (GEURS; VAN WEE, 2004).

Geurs e Van Wee (2004) definem quatro abordagens básicas em quais se classificam os indicadores de acessibilidade: baseados em infraestrutura, baseados em locais, baseados em pessoas, baseados em utilidade. A Tabela 1 mostra como os componentes são ou podem ser incorporados em cada abordagem.

Tabela 1 – Abordagens de acessibilidade e seus componentes

Abordagens de acessibilidade e seus componentes				
Indicadores	Componentes			
	Transporte	Uso do Solo	Temporal	Individual
Baseados em infraestrutura	Velocidade de percurso; Horas perdidas por veículos em congestionamentos	---	Período de hora-pico; Período 24h	Estratificação baseada nas viagens, por exemplo, casa-trabalho, compras, etc.
Baseados em locais	Tempo de viagem e/ou custos entre os locais das atividades	Qtde. e distribuição espacial da demanda e/ou oferta de oportunidades	Tempos de viagem e custos que podem diferir, por exemplo, entre horas do dia, entre dias da semana, estações do ano.	Estratificação da população (ex: por renda, grau de instrução, etc)
Baseados em pessoas	Tempo de viagem entre locais das atividades	Qtde. e distribuição espacial das ofertas de oportunidades	Restrições temporais para atividades e tempo disponível para atividades	Acessibilidade é analisada no nível individual
Baseados em utilidade	Custos da viagem entre os locais das atividades	Qtde. e distribuição espacial das ofertas de oportunidades	Tempos de viagem e custos que podem diferir, por exemplo, entre horas do dia, entre dias da semana, estações do ano.	Utilidade é derivada a partir do indivíduo ou níveis de grupos homogêneos da população

Fonte: Traduzido de Geurs e Van Wee (2004).

Observa-se que as abordagens vão ficando mais complexas ao passo que incorporam mais componentes. Todos os indicadores de acessibilidade incluem o componente de transporte. Os indicadores locacionais são capazes de incorporar aspectos dos subsistemas de transporte, uso do solo e atividades, dado que a oferta dos dois primeiros potencializa ou limita o acesso às atividades. Apesar de não incorporarem diretamente as restrições e preferências individuais, uma maneira de abranger o componente individual nesse tipo de indicador é separando a população e as oportunidades disponíveis para cada grupo de pessoas.

O indicador mais utilizado é o de acesso cumulativo às oportunidades, o qual é um indicador simples de calcular e comunicar, porém, além de pressupor que todas as oportunidades são igualmente interessantes, o indicador implica na seleção de um período arbitrário de viagem que os usuários estariam dispostos a dispendar para atingir as oportunidades, e o resultado dessa métrica é impactado por essa seleção. (PEREIRA, 2019)

O indicador tempo médio de viagem às oportunidades, também tem a vantagem de ser simples de calcular e comunicar e resolve as limitações acima mencionadas ao passo que mais oportunidades que podem ser atingidas em menor tempo de viagem diminuem o valor do indicador, representando maior acessibilidade.

Os indicadores baseados em utilidade são os que conseguem incorporar outras impedâncias consideradas pelos usuários em seus deslocamentos além de custo e tempo. Esse tipo de indicador permite que a acessibilidade seja diferenciada entre grupos de pessoas e por modo de transporte, destacando os fatores que afetam a escolha modal para cada grupo.

Os indicadores de utilidade são embasados na Economia do Bem-estar, em que o nível de bem-estar líquido ou excedente do consumidor de um indivíduo é a diferença entre o que ele está disposto a pagar e o que realmente paga por um bem ou serviço, e na Teoria da Utilidade Aleatória, na qual parte-se da premissa de que o indivíduo conhece todas as alternativas para o seu deslocamento e escolhe de forma racional a que lhe oferece maior utilidade, a de maior excedente do consumidor. A utilidade percebida pelo indivíduo é calibrada a partir de modelos de escolha discreta em que se estima os fatores que o usuário percebe como custo ou benefício de cada alternativa para seu deslocamento e se atribui um erro aleatório para fatores que não se consegue estimar por modelos, mas que são considerados de forma consciente ou não pelo usuário (DE JONG et al., 2007).

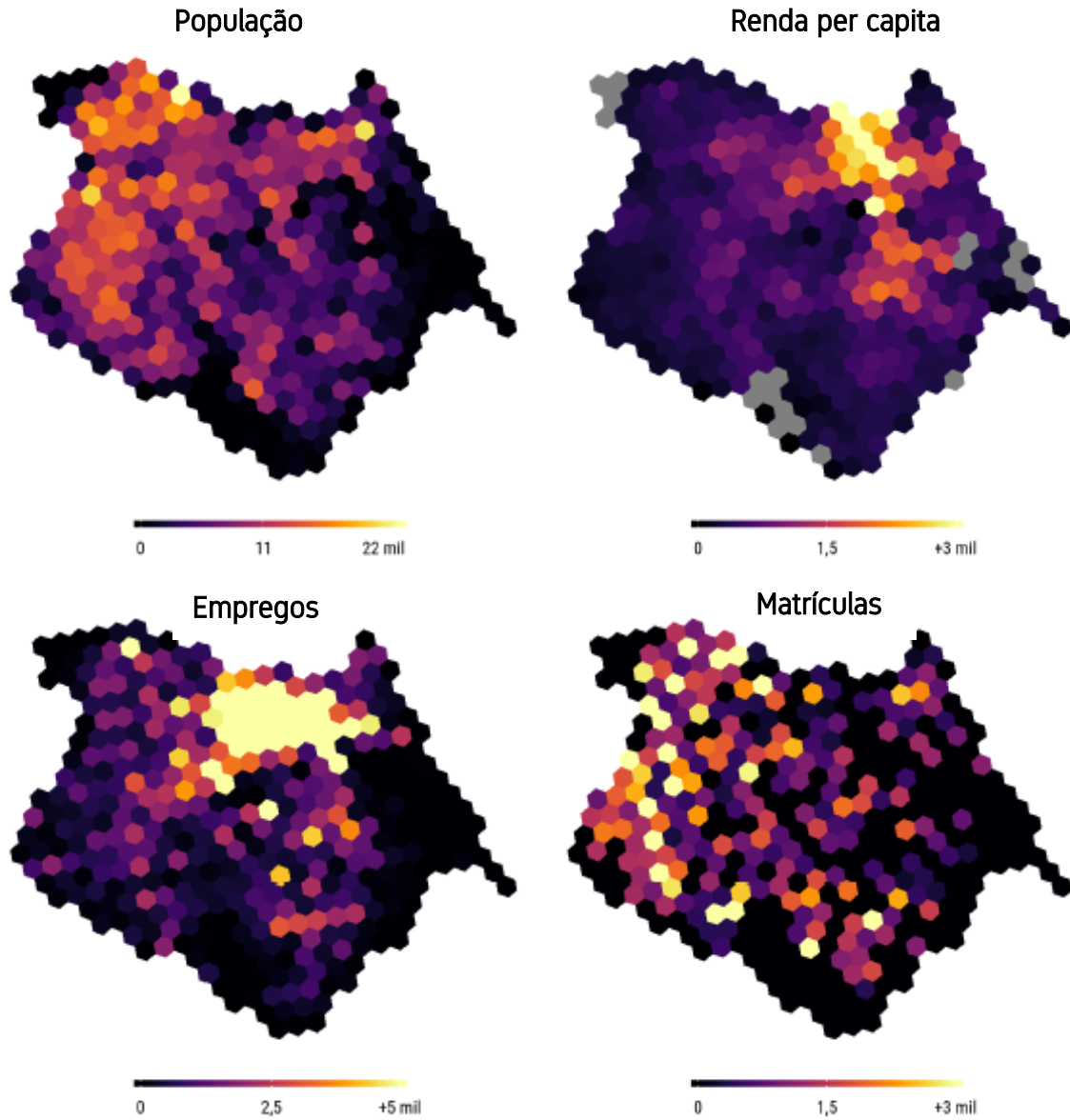
Apesar de se reconhecer que esse tipo de indicador apresenta limitações tanto em relação à dificuldade de modelagem, como em relação a comunicação, por ser baseado em modelos econômicos complexos, percebe-se que os indicadores de acessibilidade baseados em utilidade têm uma base teórica consolidada e conseguem captar a percepção dos diferentes usuários em relação a cada alternativa. Como medida de acessibilidade baseada em utilidade, destaca-se o *Logsum*, que é o excedente do consumidor esperado de um modelo logit padrão.

2.3 Acessibilidade da população de baixa renda em Fortaleza

Muitas cidades brasileiras cresceram de forma desordenada e com uma série de problemas, muitos deles originados na priorização dos automóveis particulares e no domínio da especulação imobiliária. Com isso, a malha viária aumentou rápido e as residências e atividades podiam se localizar longe umas das outras, formando cidades espraiadas, com muitos vazios urbanos (SOUZA, 2003). Essas cidades dispersas têm altos custos com infraestrutura para abranger todo o espaço ocupado pelas pessoas e os investimentos não são divididos igualmente no espaço, de forma que as regiões centrais das cidades são as mais providas de infraestrutura e com melhor diversificação de uso do solo. Nessa situação, a população de alta renda escolhe onde morar, residindo ou em regiões centrais, ou se autosegregando em condomínios fechados mais afastados do centro, enquanto a população de baixa renda é induzida a residir em áreas periféricas, longe da maior concentração de atividades, por não ter condições de pagar o valor de moradias em locais centrais. (VASCONCELOS; PINTAUDI; CORRÊA, 2013).

Em Fortaleza, a população de baixa renda foi segregada para a periferia, principalmente para a região oeste, e os empregos estão majoritariamente concentrados na região central (Figura 3) gerando uma incompatibilidade espacial entre domicílios e empregos para essa parcela da população, fenômeno internacionalmente conhecido como *spatial mismatch* (CASTRO, 2019). Já em relação às escolas e aos estabelecimentos de saúde públicos, esses foram construídos em diversas regiões da cidade e não há incompatibilidade espacial entre a localização dessas atividades e das residências (Figura 3).

Figura 3 - Distribuição espacial dos indicadores demográficos e de uso do solo para Fortaleza

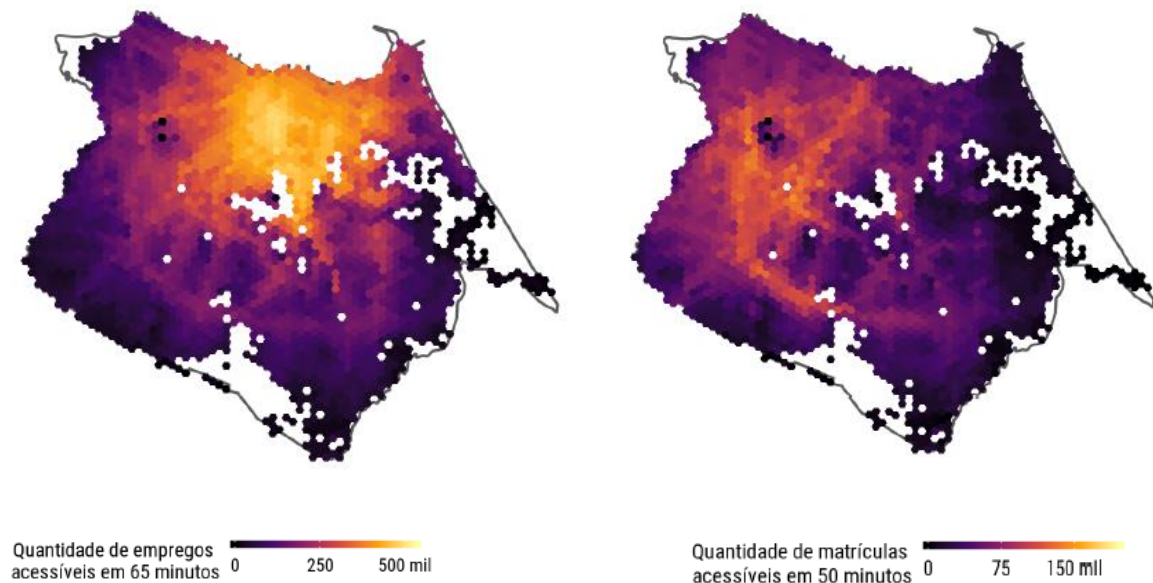


Fonte: Braga (2019)

Braga (2019) analisou como as localizações de domicílios, empregos e escolas afetava a acessibilidade da população de baixa renda por ônibus e verificou que a região de maior acessibilidade por ônibus a matrículas escolares é a oeste, onde a maioria das pessoas de

baixa renda reside, mas que o mesmo não acontece para acessibilidade a empregos, a qual é baixa no oeste de Fortaleza (Figura 4).

Figura 4 - Indicador cumulativo de oportunidades por ônibus para empregos (esquerda) e matrículas (direita).



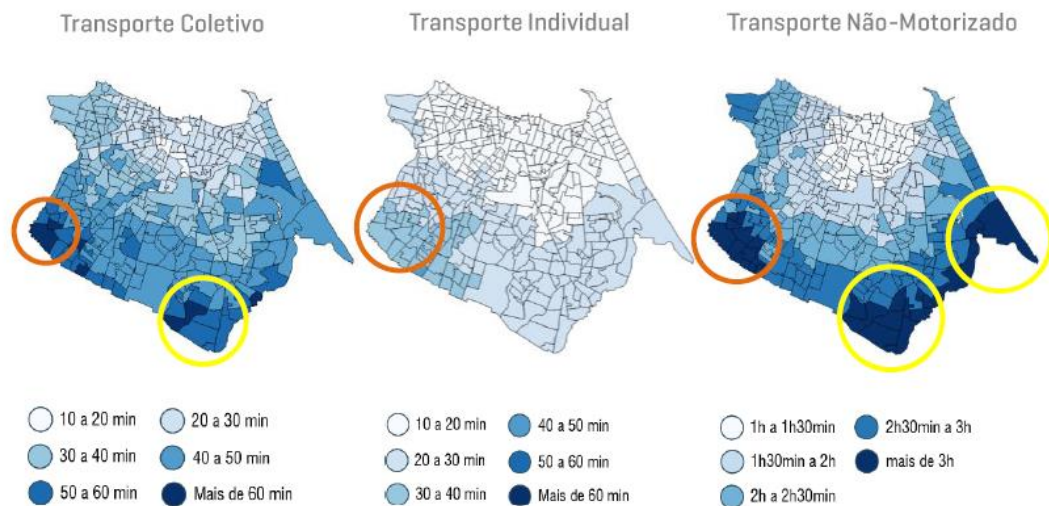
Fonte: Braga (2019)

Lima et al. (2021) analisaram a periferação imposta à população de baixa renda e a autossegregação da população de alta renda, verificando diferenças de acessibilidade aos postos de trabalho entre baixa e alta renda em Fortaleza. Andrade (2016) verificou que a população de baixa renda que reside na região sudoeste apresenta níveis menores de acessibilidade ao trabalho para os três modos analisados, como pode ser visto na Figura 5. A autora também constatou que o modo considerado altera bastante o tempo médio de acesso aos postos de trabalho, sendo 36min para o transporte coletivo, 20min para o transporte individual e mais de 2h para o transporte não-motorizado.

Enquanto Andrade (2016) e Lima (2017) fizeram uma análise somente do ano de 2015, Castro (2019) fez uma análise temporal do problema e verificou que entre 2000 e 2015 houve uma melhora dos níveis de acessibilidade da população de baixa renda, porém a desigualdade de acessibilidade entre baixa e alta renda aumentou. Sousa (2019), além de analisar os problemas de desigualdade espacial da acessibilidade ao trabalho entre 2000 e 2015, também faz um prognóstico para 2030 e verifica que, com a implantação do sistema

metroferroviário, espera-se melhora na acessibilidade aos postos de trabalho da região noroeste, a qual contempla muitos domicílios de baixa renda, porém espera-se aumento nas desigualdades espaciais da acessibilidade, porque a região central deve melhorar ainda mais a acessibilidade por ser a conexão entre as 4 linhas metroferroviárias. Além disso, não se espera melhorias de acessibilidade na região sudoeste que já era a que tinha piores níveis de acessibilidade.

Figura 5 - Acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho por modo: coletivo, individual e não-motorizado



Fonte: Andrade (2016)

Alguns trabalhos (LIMA, 2017; PINTO, 2020) sobre acessibilidade da população de baixa renda em Fortaleza partem da premissa de que os indivíduos dessa classe são usuários cativos do ônibus e os de alta renda do automóvel particular, para utilizar indicadores de acessibilidade mais simples e ainda assim diferenciar grupos sociais. Porém o percentual de posse de automóveis por pessoas de baixa renda cresceu nos últimos anos e é provável que muitas pessoas dessa classe tenham acesso a carro e utilizem esse modo em suas viagens. Como existe grande diferença de acessibilidade em Fortaleza a depender do modo utilizado (ANDRADE, 2016), conhecer o modo mais utilizado por um grupo de pessoas antes de caracterizar a acessibilidade deles é importante.

2.4 Mobilidade da população de baixa renda em Fortaleza

A mobilidade, diferentemente da acessibilidade, pode ser observada empiricamente, já que representa as decisões de viagem realmente realizadas. Além disso, já que a acessibilidade não pode ser observada, para medir seus níveis ela deve ser modelada e, para isso, é importante compreender os fatores que influenciam nas decisões de viagem, impactando a acessibilidade.

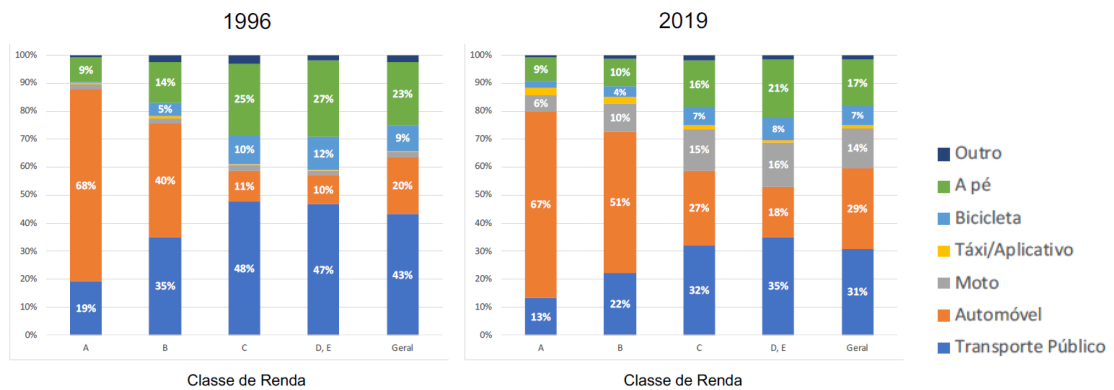
Henrique (2004) realizou a análise de mobilidade e acessibilidade ao ônibus e por ônibus a partir de dados da pesquisa origem destino (OD) de Fortaleza do ano 2000, porém seus dados e análises já têm vários anos e podem não mais representar a realidade. A nova pesquisa OD de Fortaleza, realizada em 2019, apresenta a oportunidade de a mobilidade atual da população ser caracterizada.

Pinto et al. (2021) mostram que houve mudança na escolha modal das pessoas entre 1996 e 2019 em viagens motivo trabalho (Figura 6). Em relação à população de baixa renda, verificou-se que houve aumento do percentual de viagens que utilizam modos motorizados e diminuição das que utilizam de transporte público e da bicicleta. Esse aumento da utilização de modos motorizados aconteceu juntamente ao aumento da posse de veículos motorizados. De acordo com Pinto *et al.*, 2021,

Em 1996, apenas 27% dos indivíduos em idade economicamente ativa tinham acesso a um automóvel no domicílio, enquanto 5% tinham acesso a moto. Em 2019, essas proporções passaram a 41% e 20%, respectivamente. Esse crescimento foi ainda maior entre as classes C, D e E.

Para investigar os padrões de mobilidade atual da população de baixa renda de Fortaleza em viagens motivo trabalho, analisou-se os dados da pesquisa domiciliar de 2019 (PREFEITURA DE FORTALEZA, 2020a). As análises consideraram os domicílios das classes de renda C, D e E do Critério Brasil (ABEP, 2015) como domicílios de baixa renda, seguindo a divisão percentual de renda defendida por Sousa (2019) em que a classe baixa é definida por 60% da população.

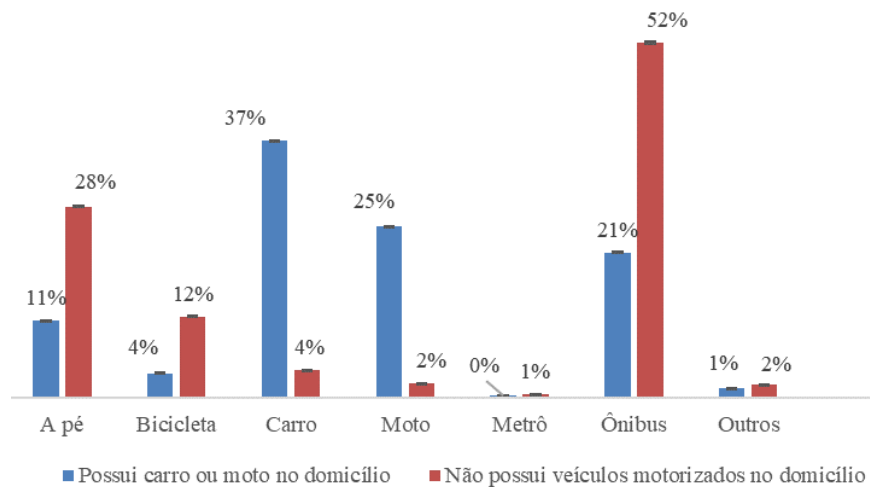
Figura 6 - Divisão modal das viagens por motivo trabalho em Fortaleza, por classe de renda, em 1996 e 2019.



Fonte: Pinto et al (2021).

Observa-se que apesar da mudança na divisão modal, as pessoas de baixa renda ainda são as que mais se deslocam por ônibus e modos ativos (Figura 6). Porém existe diferença entre a divisão modal das viagens motivo trabalho das pessoas de baixa renda que tem carro ou moto no domicílio e daquelas que não tem (Figura 7). As pessoas de baixa renda sem acesso a veículos motorizados ainda são quase totalmente cativas do ônibus (52%) e dos modos ativos (40%), já os que tem acesso a esses veículos, se deslocam em sua maioria de carro ou moto (62%).

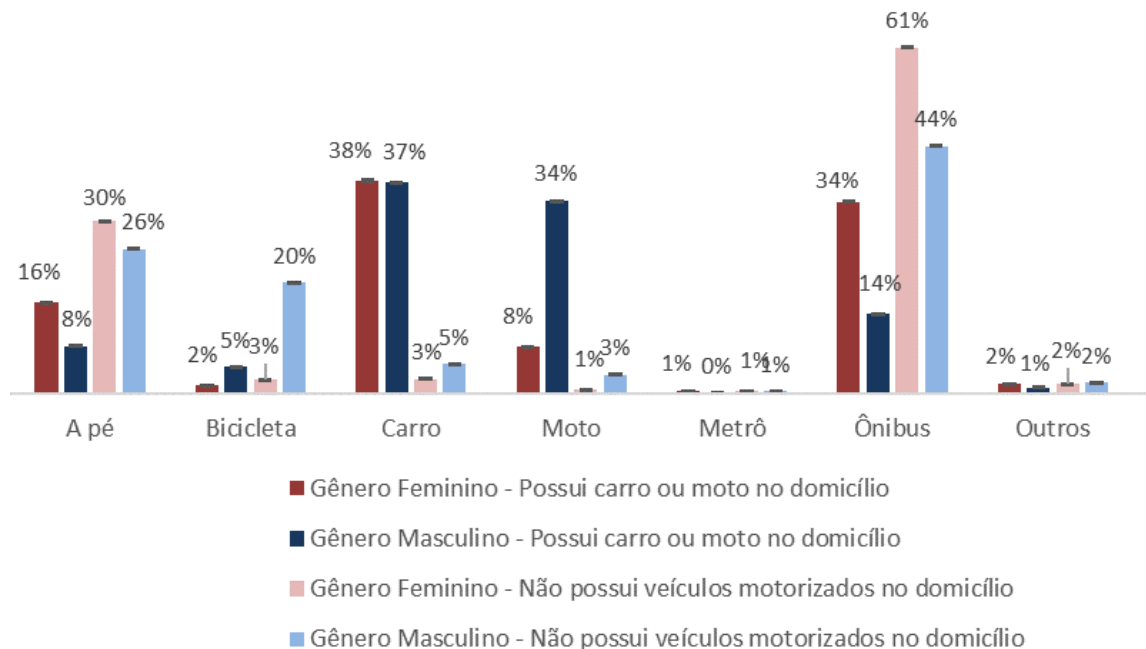
Figura 7 - Divisão modal das viagens por motivo trabalho das pessoas de baixa renda em Fortaleza, por posse de veículos motorizados em 2019.



Fonte: Elaborado pela autora.

Também pode-se observar que a divisão modal difere entre pessoas de gênero masculino e feminino em Fortaleza, conforme já identificado em outras cidades (MACÊDO et al., 2019), de forma que homens utilizam mais moto e bicicleta e mulheres se deslocam mais a pé ou por ônibus. Em relação a utilização do carro, observa-se que entre as pessoas que não têm veículos motorizado em seus domicílios, homens se deslocam mais por carro que mulheres, conforme identificado por Macêdo et al. (2019), porém quando se analisa os domicílios com posse de veículos motorizados, observa-se que, em Fortaleza, não há diferença estatisticamente significativa entre os gêneros (Figura 8).

Figura 8 - Divisão modal das viagens por motivo trabalho das pessoas de baixa renda em Fortaleza, por posse de veículos motorizados e por gênero em 2019.

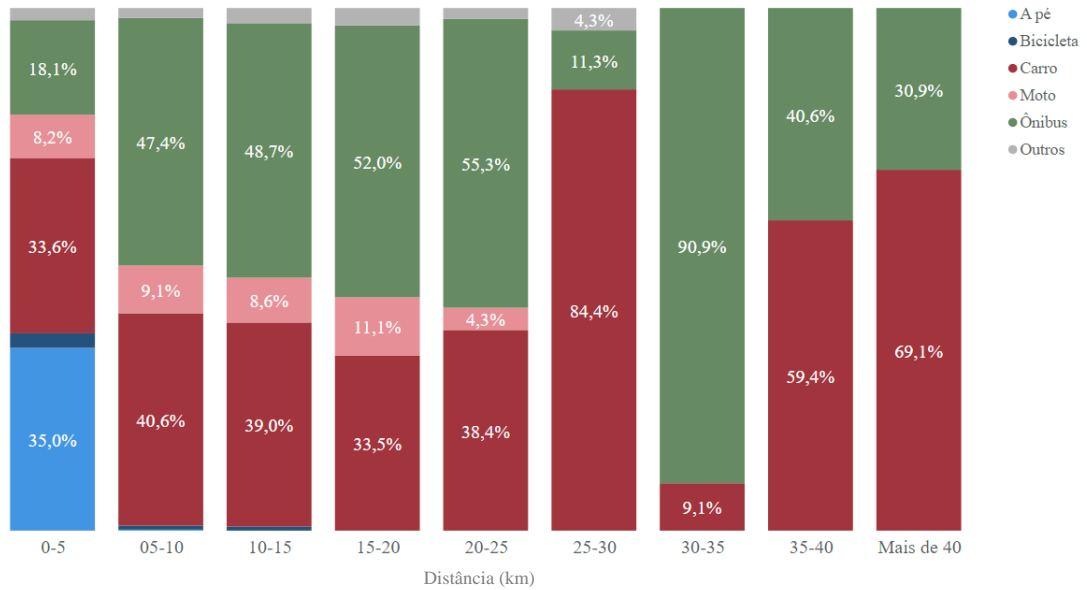


Fonte: Elaborado pela autora.

Verifica-se que os modos motorizados são mais utilizados em viagens mais longas e modos ativos em viagens mais curtas, porém percebe-se diferença na utilização do tipo de modo ativo (a pé ou bicicleta) e tipo de modo motorizado (privado ou coletivo) a depender do gênero e da posse de veículos motorizados (Figura 9 a Figura 12). Verificando especificamente o gênero feminino, as residentes em domicílios com veículos motorizados possuem uso de ônibus oscilando entre 11 e 55% a depender da distância (com exceção da distância de 30-35km), ao passo que as residentes em domicílios sem veículos motorizados possuem uso de

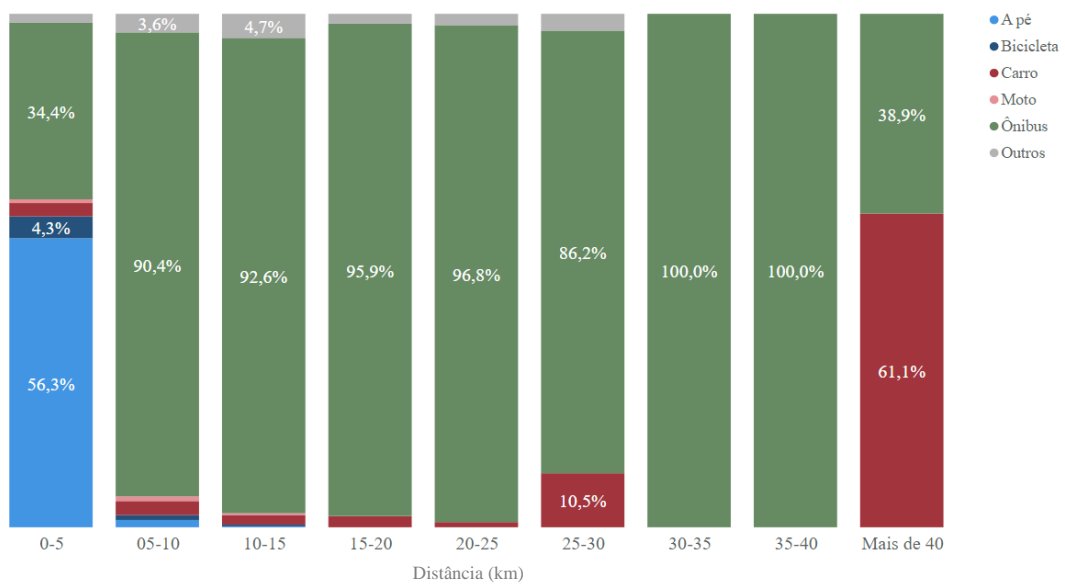
ônibus oscilando entre 34 e 100% a depender da distância. No gênero masculino esse padrão também ocorre de forma similar, porém de forma mais discrepante, com uso do ônibus apenas entre 8 e 27% nos domicílios que possuem veículos motorizados a depender da distância.

Figura 9 – Distância das viagens motivo trabalho das pessoas de baixa renda do gênero feminino que residem em domicílios com veículos motorizados.



Fonte: Elaborado pela autora.

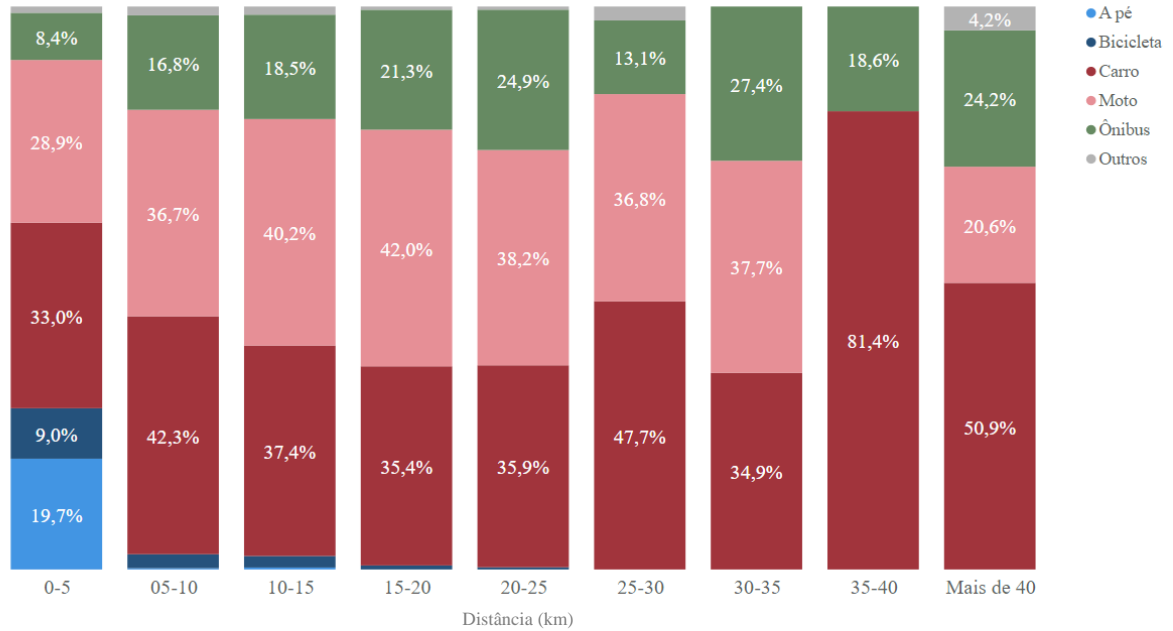
Figura 10 – Distância das viagens motivo trabalho das pessoas de baixa renda do gênero feminino que residem em domicílios sem veículos motorizados.



Fonte: Elaborado pela autora.

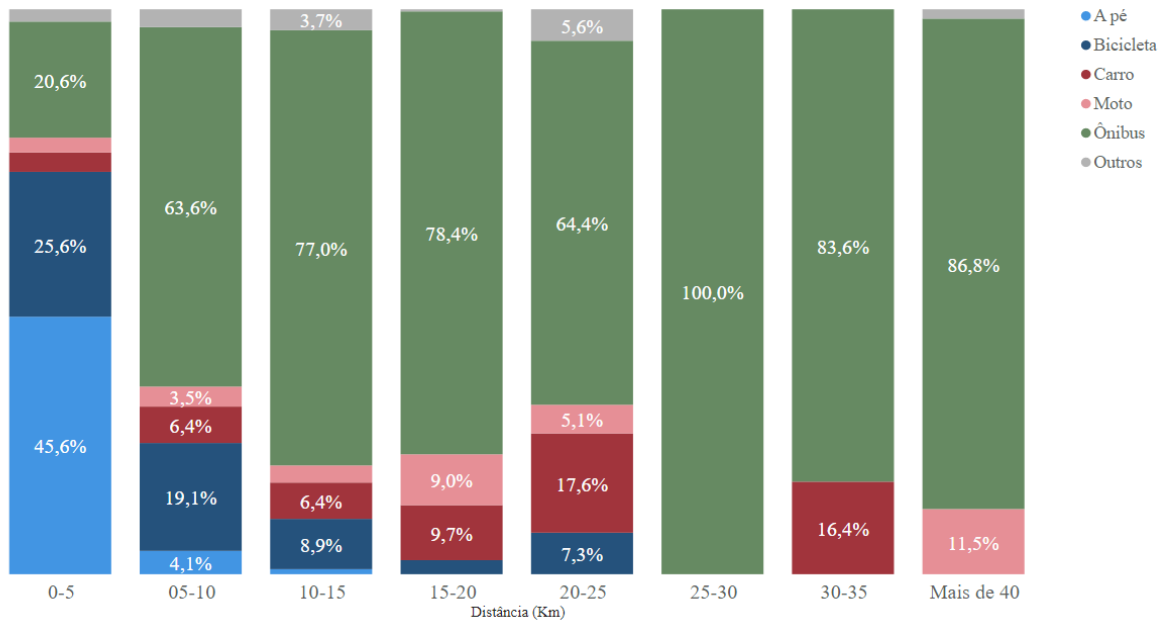
Figura 11 – Distância das viagens motivo trabalho das pessoas de baixa renda do gênero masculino que residem em domicílios com veículos motorizados.

Distância das viagens motivo trabalho das pessoas do gênero masculino de baixa renda- domicílios com carro ou moto



Fonte: Elaborado pela autora.

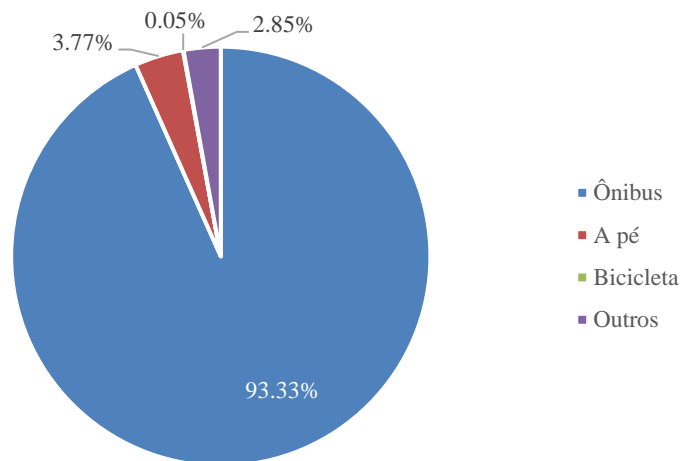
Figura 12 – Distância das viagens motivo trabalho das pessoas de baixa renda do gênero masculino que residem em domicílios sem veículos motorizados.



Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação às viagens de ônibus, verificou-se que 32% das viagens motivo trabalho de pessoas de baixa renda tiveram pelo menos uma integração entre ônibus e que 87% dessas integrações ocorreram em um terminal de ônibus. A maioria dos acessos aos terminais se dá por ônibus (93,33%), seguido pelo modo “a pé” (3,77%), conforme mostrado no gráfico da Figura 13. Merecem destaque os Terminal da Parangaba e Conjunto Ceará, que dentre os 7 terminais analisados foram os que apresentaram maior percentual de acesso pelo modo “a pé”, respectivamente 8,4% e 7,7%. O acesso por bicicleta representou somente 0,05% do total, com maior expressividade também no Terminal da Parangaba.

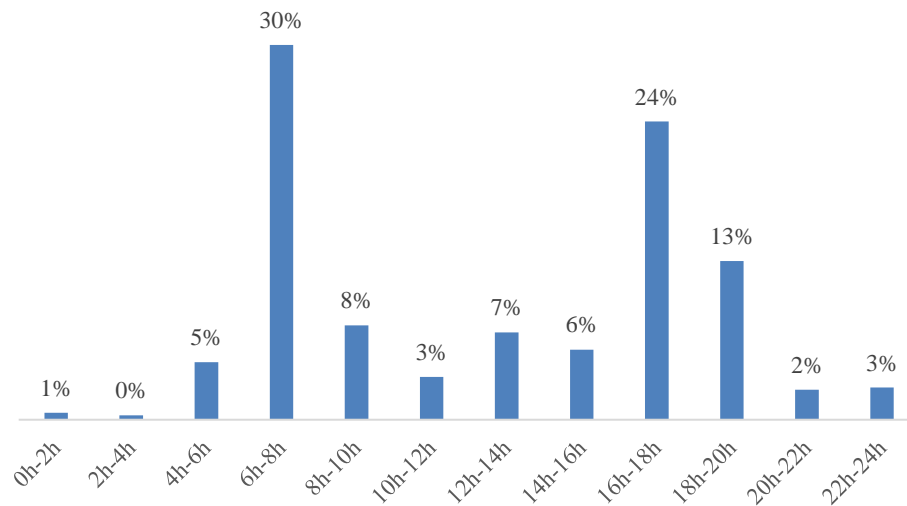
Figura 13 – Distribuição dos modos de acesso aos terminais da população de baixa renda por motivo trabalho



Fonte: Elaborado pela autora.

As viagens da população de baixa renda por motivo trabalho se concentram no período das 6h às 8h no pico da manhã e das 16h às 18h no pico da tarde. A Figura 14 apresenta o histograma dos horários de início das viagens por motivo trabalho da população de baixa renda, evidenciando que 54% das viagens se concentram nesses 2 picos.

Figura 14 – Gráfico dos horários de início das viagens por motivo trabalho da população de baixa renda



Fonte: Elaborado pela autora.

2.5 Considerações finais

Esse capítulo trouxe diversas características da mobilidade e acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho. Inicialmente foram abordados os conceitos de acessibilidade e mobilidade, seguido das diferentes abordagens de indicadores de acessibilidade. O capítulo é finalizado com uma abordagem específica da acessibilidade ao trabalho e da mobilidade da população de baixa renda na cidade de Fortaleza.

No que tange à acessibilidade, percebe-se uma forte inequidade no acesso ao trabalho dessa parcela da população, uma vez que habitam majoritariamente as regiões periféricas, enquanto os empregos e atividades concentram-se nas regiões centrais. Essa condição de baixa acessibilidade não é tão expressiva para o acesso à equipamentos de educação, uma vez que estes são bem distribuídos e estão próximos à locais com alta densidade de domicílios de baixa renda. Ao observar os diferentes modos de transporte, verificou-se que os baixos índices de acessibilidade são mais agravados para usuários de transporte público e modos não-motorizados, com destaque para a baixa acessibilidade das regiões sudoeste e sudeste da cidade.

A principal lacuna em relação às análises de acessibilidade atual da população de baixa renda refere-se à utilização do indicador desta problemática. Observa-se, portanto, a necessidade de caracterizar a acessibilidade da população de baixa renda por um indicador capaz de mensurar o tempo de acesso aos postos de trabalho, considerando todos os modos disponíveis para essa parcela da população e a localização dos postos de trabalho. Para isso, verifica-se a necessidade primeiramente de caracterizar os modos utilizados por essa população.

Em relação à mobilidade da população de baixa renda, para as análises relacionadas a escolha modal, percebeu-se a necessidade de segmentar a demanda em relação ao gênero, uma vez que homens e mulheres apresentam padrões de mobilidade bastante distintos. Por exemplo, enquanto as mulheres utilizam mais transporte público em comparação aos homens, estes utilizam mais bicicleta em relação a elas. Identificou-se também a necessidade de segmentar a demanda em relação à posse de veículos: a parcela da população que não possui automóveis se desloca majoritariamente por ônibus ou modos ativos. A distância também é um fator determinante na escolha modal: distâncias mais longas são mais atrativas para modos motorizados (públicos ou privados), enquanto distâncias mais curtas são mais atrativas para modos ativos.

Em se tratando de viagens por motivo de trabalho da população de baixa renda, a maioria se desloca de ônibus. Aproximadamente um terço (32%) das viagens de ônibus por motivo de trabalho possuem integração, e a maioria destas ocorre nos terminais de transporte público. Sendo assim, a análise do acesso ao terminal é crucial para verificar os níveis de acessibilidade da população de baixa renda. Em Fortaleza, a maioria das pessoas que acessam o terminal o fazem de ônibus (93%), porém algumas também acessam a pé (4%). Merece destaque o Terminal da Parangaba, que apresenta cerca de 8% dos acessos realizados a pé. O capítulo seguinte apresenta uma abordagem específica da integração bicicleta-ônibus como alternativa para melhorar a acessibilidade da população de baixa renda no acesso ao trabalho.

3 INTEGRAÇÃO BICICLETA-ÔNIBUS COMO ALTERNATIVA PARA MELHORAR A ACESSIBILIDADE AO TRABALHO DA POPULAÇÃO DE BAIXA RENDA EM FORTALEZA

Este capítulo tem como objetivo expor os possíveis benefícios da integração entre bicicleta e ônibus para a acessibilidade da população de baixa renda ao trabalho e as peculiaridades do fenômeno em Fortaleza, para que auxiliem na proposta metodológica visando alcançar o segundo, terceiro e quarto objetivo desta pesquisa.

Para tal, a seção 3.1 traz uma revisão bibliográfica acerca da integração entre bicicleta e transporte público na literatura internacional, as seções 3.2 e 3.3 mostram, respectivamente, especificidades dos sistemas de ônibus e de bicicleta em Fortaleza para que, na seção 3.4, seja apresentada uma revisão do que já foi estudado sobre a integração entre esses dois modos no município. Dessa forma, espera-se que essas quatro primeiras seções juntas contextualizem a proposta de alternativa e o local do estudo de caso.

Nas duas últimas seções deste capítulo espera-se evidenciar as lacunas da análise de benefícios da integração bicicleta-ônibus sobre a acessibilidade existentes na literatura. Assim, a seção 3.5 analisa estudos que já verificaram algum tipo de benefício deste modo sobre a acessibilidade ao trabalho em outros locais, mostrando algumas lacunas relacionadas aos indicadores utilizados nesses trabalhos, e a seção 3.6 discute sobre os fatores que afetam a acessibilidade dos usuários do modo integrado no Brasil e como eles podem ser aplicados no cálculo do indicador de acessibilidade baseado em utilidade proposto nesta pesquisa.

3.1 Integração bicicleta-ônibus

Nos últimos anos, muitos pesquisadores têm estudado a integração entre bicicleta e transporte público e verificado que esse é um modo híbrido de muitas vantagens (GIVONI; RIETVELD, 2007; HEINEN; BOHTE, 2014; JÄPPINEN; TOIVONEN; SALONEN, 2013; KAGER; BERTOLINI; TE BRÖMMELSTROET, 2016; KEIJER; RIETVELD, 2000; KRIZEK; STONEBRAKER, 2011; MA et al., 2018; MARTENS, 2007; ZHAO; LI, 2017). Para Kager, Bertolini e Te Brömmelstroet (2016), a utilização conjunta da bicicleta e transporte público combina os aspectos positivos dos dois modos, gerando viagens rápidas e flexíveis. Por um lado, a bicicleta fornece a vantagem de ser uma viagem porta-a-porta e dá liberdade de

escolha de rota aos usuários, e, por outro, os sistemas de transporte público promovem um aumento significativo na velocidade e alcance.

Para os usuários do ônibus, a utilização da bicicleta no acesso ou difusão, além dos ganhos mencionados acima, aumenta a velocidade de acesso ao ônibus. Para os operadores de transporte público, a integração com a bicicleta pode ser uma alternativa que aumentaria, a longo prazo, a eficiência do sistema uma vez que aumenta a sua área de alcance, diminuindo a necessidade de algumas linhas alimentadoras ou locais (KRIZEK; STONEBRAKER, 2011).

A relação entre a bicicleta e o transporte público pode ser descrita sob duas perspectivas: competição ou complementariedade. Por um lado, a competição entre esses modos acontece no componente de alimentação do transporte público, com linhas caracterizadas por baixas velocidades operacionais e baixa frequência, visto que o foco está na cobertura do sistema. Nesse caso, a bicicleta permite superar alguns dos problemas das linhas alimentadoras, como elevados tempos de espera nas paradas e lotação dentro do veículo. Por outro lado, observa-se uma complementariedade entre a bicicleta e o transporte público de maior velocidade (como metrô, linhas expressas de ônibus, BRT, etc.), em que se combina a maior liberdade da bicicleta com o maior alcance dos veículos de transporte público (JÄPPINEN; TOIVONEN; SALONEN, 2013).

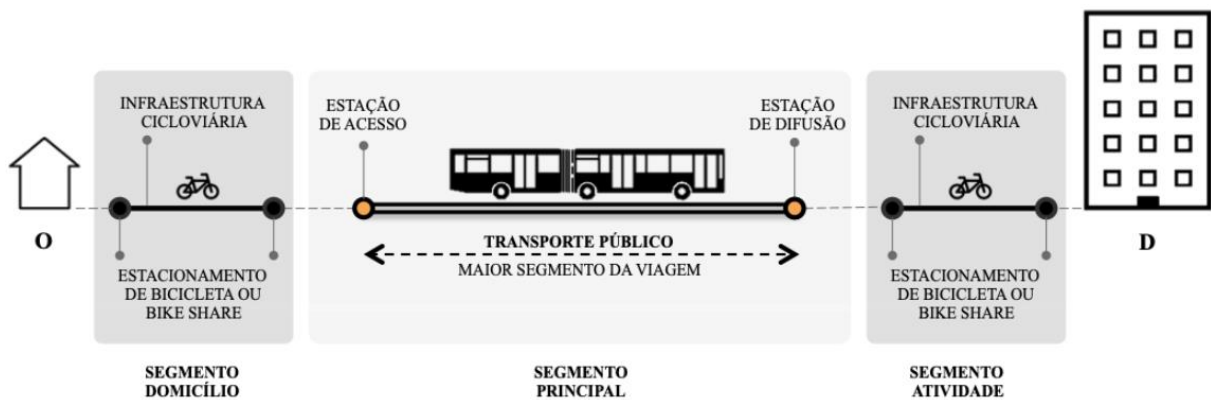
Kager, Bertolini e Te Brömmelstroet (2016) distinguem três segmentos em uma viagem integrada bicicleta-transporte público: (a) um segmento de acesso, entre a origem da viagem e a estação de transporte público; (b) um segmento principal, realizado por transporte público, entre os pontos de embarque e desembarque do sistema; e (c) um segmento de difusão, entre a estação de desembarque e o destino final. Givoni e Rietveld (2007) reconhecem que existem distinções entre as viagens de acesso e difusão, mas afirmam que as maiores diferenças ocorrem entre as pontas da viagem ligadas ao domicílio e às atividades. De fato, a bicicleta própria é submetida a um problema de assimetria, estando prioritariamente disponível no segmento de viagem referente ao domicílio, que constitui a base de seu uso (RIETVELD, 2000). A utilização da bicicleta na ponta da atividade só é possível quando esta é levada a bordo dos veículos de transporte público, ou através de sistemas de compartilhamento de bicicletas.

Essa dualidade entre competição e complementariedade é interessante para os usuários, já que ela significa menos transbordo e tempo de espera pelos ônibus. Heinen e Bohte (2014) verificaram que os usuários do modo integrado bicicleta e transporte público avaliaram melhor o transporte público que aqueles que utilizam esse meio de transporte isoladamente e

eles levantam a hipótese de que a integração possa diminuir os transbordos entre veículos de transporte público motorizados, que são uma parte da viagem que incomoda muitos usuários.

Unindo as discussões apresentadas anteriormente, Costa (2019) introduz uma adaptação para países em desenvolvimento da estrutura das viagens integradas bicicleta-transporte público proposta por Kager, Bertolini e Te Brömmelstroet (KAGER; BERTOLINI; TE BRÖMMELSTROET, 2016), considerando que o principal transporte público desses locais é o ônibus, conforme Figura 15.

Figura 15 - Componentes da oferta do modo de transporte de bicicleta - transporte público.



Fonte: Costa (2019)

Como visto, a possibilidade de integração entre ônibus e bicicleta é dependente das infraestruturas de transportes disponíveis a cada modo. Em Fortaleza, a rede de transporte público é tronco-alimentadora e dependente de integrações nos terminais, enquanto a rede cicloviária tem se desenvolvido nos últimos, com a expansão de ciclofaixas, bicicletários e bicicletas compartilhadas. Estes e outros aspectos da oferta do sistema de transportes que determinam a possibilidade de integração bicicleta-ônibus serão detalhados nas seções 3.2 e 3.3 a seguir.

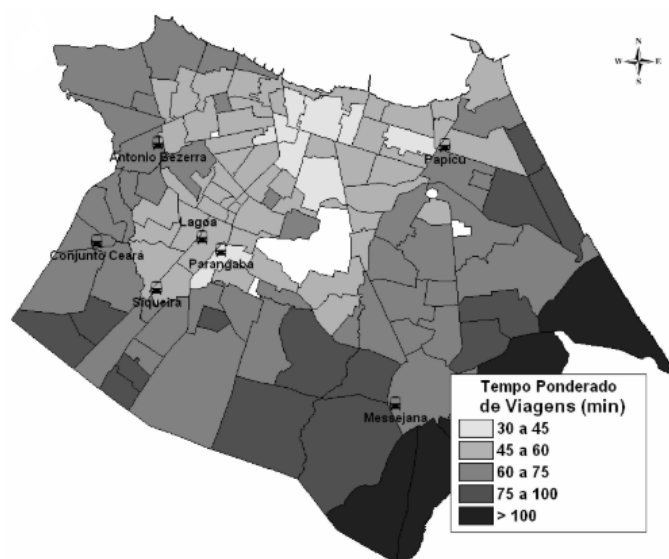
3.2 Sistema de transporte público por ônibus em Fortaleza.

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 aos usuários a integração física e, posteriormente, tarifária

através das estruturas dos terminais, numa rede tronco-alimentadora, com linhas entre os bairros e os terminais (alimentadoras) e entre os terminais e o centro (troncais) (IPLANFOR, 2015).

Henrique e Loureiro (2005) diagnosticaram a micro acessibilidade ao SITFOR e a macro acessibilidade ao trabalho dos usuários do SITFOT com dados dos anos 2000 e 2003 e verificaram que a periferia de Fortaleza tem diversos problemas de acessibilidade por ônibus. Em relação ao acesso ao transporte público, os autores verificaram problemas tanto em relação à distância de caminhada como de tempo de espera. A autora também mostra que ao somar-se o tempo de caminhada, o tempo de espera inicial, o tempo e desutilidade do transbordo (que acontecia na maioria das viagens do SITFOR) ao tempo dentro dos veículos observa-se longos tempos de viagem a partir da periferia aos postos de trabalho, os quais estavam majoritariamente na região central, levando à população da periferia a ter baixa acessibilidade ao trabalho por ônibus (Figura 16).

Figura 16 - Distribuição espacial dos tempos médios ponderados de viagem dos usuários do SITFOR em 2000.



Fonte: Henrique e Loureiro (2005)

Em 2003, apesar de 94% da população de Fortaleza ser servida por linhas de ônibus em até 500m de sua residência, existiam regiões da cidade em que os usuários precisavam caminhar bastante para acessar a rede. Além da caminhada no acesso, algumas linhas de ônibus

tinham *headways* muito altos, levando a altos tempos de espera em algumas regiões do município (HENRIQUE E LOUREIRO, 2005).

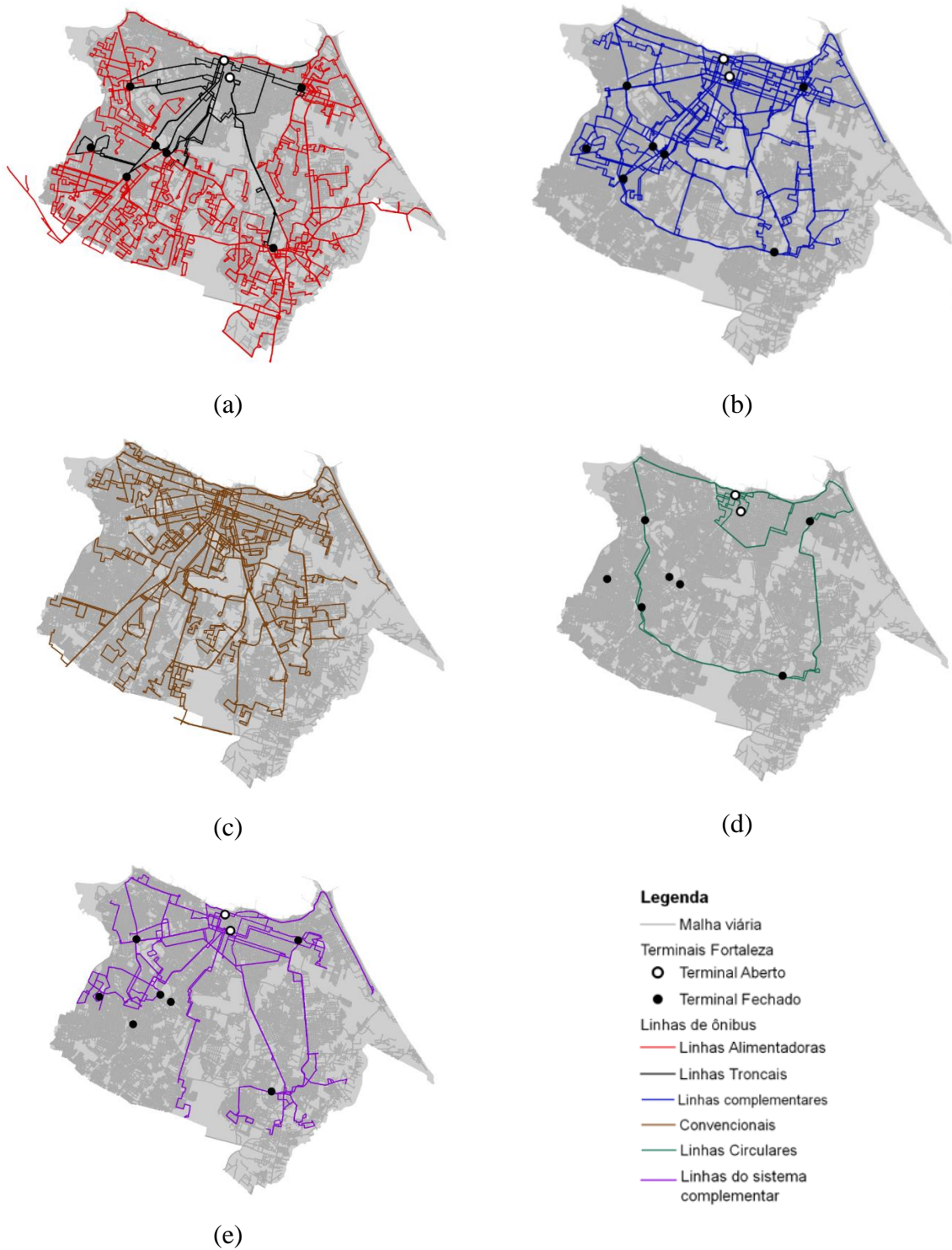
Apesar de o sistema contar com linhas alimentadoras que se dirigiam aos terminais de onde saíam linhas troncais, em 2003 as linhas troncais não eram de alta capacidade, não se configurando como um sistema tronco-alimentador eficiente. Além disso, existiam diversos tipos de linhas que possibilitam outros tipos de deslocamentos diferentes do tipicamente considerado num sistema tronco-alimentador, permitindo ao usuário escolher o tipo de linha a depender do seu deslocamento (HENRIQUE, 2004). Essa diversidade de tipos de linhas ainda existe atualmente. A localização dos 9 terminais, bem como a disposição das linhas no ano de 2020, é mostrada na Figura 17.

Apesar de os tipos de linhas não terem mudado substancialmente de 2003 até atualmente, a oferta de ônibus foi alterada. No início do SITFOR era possível realizar integração entre ônibus pagando tarifa única somente no interior dos terminais fechados, mas em 2013 foi implantado em Fortaleza o Bilhete Único, o qual possibilita que os usuários utilizem quantas integrações desejarem, no período de 2h, pagando somente uma tarifa, independentemente de onde a integração ocorra, incentivando integrações entre ônibus em qualquer ponto de parada. (PREFEITURA DE FORTALEZA, 2022)

Mesmo com a alternativa que o Bilhete Único trouxe, muitos usuários do transporte público ainda preferem realizar integrações nos terminais. Costa e Bezerra (2016) analisaram o impacto do Bilhete Único nas integrações e viram que até 2015, somente 8% das integrações foram realizadas fora dos terminais. As autoras relataram que o principal motivo declarado pelos usuários de ônibus entrevistados que os fazia preferir integrar no terminal era a insegurança pública, mas muitos usuários também reclamaram que os tempos de espera nas paradas de ônibus eram muito altos. De acordo com dados da Empresa de Transporte Urbano de Fortaleza (ETUFOR), empresa que gere o SITFOR, com a consolidação do Bilhete Único, o percentual de integrações fora dos terminais subiu para 11% em 2019.

Além das linhas alimentadoras e troncais (Figura 17a), o SITFOR tem outros tipos de linha: as linhas complementares, que conectam bairros mais distantes aos terminais (Figura 17b); as linhas convencionais, que ligam os bairros diretamente ao centro, sem passar pelos terminais (Figura 17c) as linhas circulares, que ligam diversos terminais passando pelos bairros, evitando o tráfego das regiões centrais (Figura 17d) e as linhas corujões, com operação noturna a partir de meia noite. (PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA, 2010).

Figura 17 - Disposição espacial dos terminais de integração e das linhas do SITFOR em dezembro/2020.



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ETUFOR de dezembro/2020.

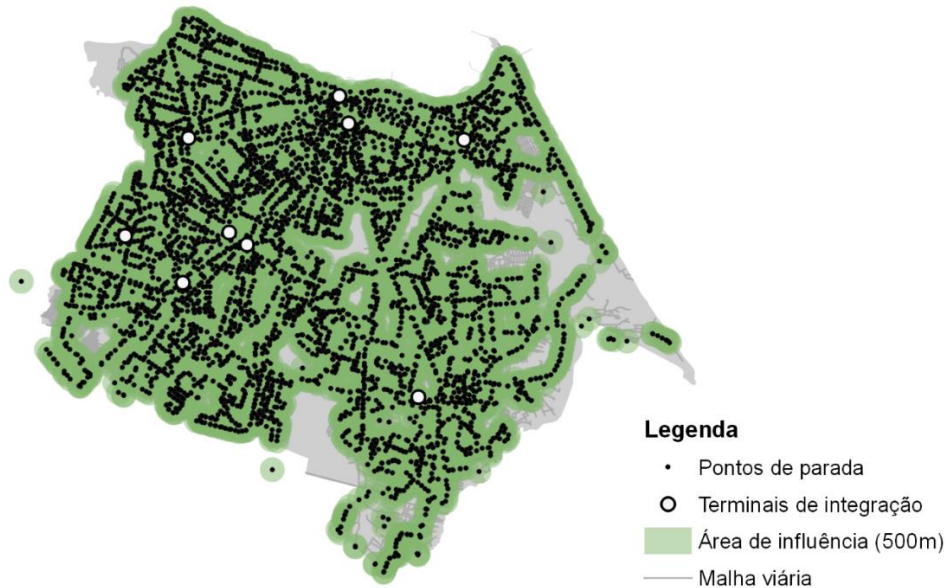
Além das linhas de ônibus regulares, em 2014 as linhas do sistema complementar de transporte público, operadas geralmente com veículos de menor capacidade, como vans, passaram a fazer parte do SITFOR e a poder passar por dentro dos terminais. Nesse ano, as linhas do sistema complementar passaram por uma reestruturação para que sua frota e tipo de veículos fossem dimensionados em conjunto ao sistema regular. A configuração desse tipo de linha pode ser vista na Figura 17e (PREFEITURA DE FORTALEZA, 2014).

Dessa forma, o SITFOR não é simplesmente um sistema tronco-alimentador como foi concebido originalmente. Em alguns locais o usuário pode escolher como ir das regiões periféricas ao centro, como, por exemplo, utilizar uma linha alimentadora ou complementar até um terminal e então entrar em uma linha troncal até o destino; ou utilizar somente uma linha convencional; ou, com uso do bilhete único, fazer uma combinação de linhas que o levem ao destino pelo menor caminho, fazendo integração temporal nas paradas de ônibus.

Considerando todas as linhas do sistema regular ou complementar, o SITFOR consegue atender a 93% da população de fortaleza com uma parada de ônibus até 500m de sua residência, como mostra a Figura 18, cenário semelhante ao encontrado por Henrique (2004). Porém verifica-se que mesmo em locais de boa cobertura, existem pontos de parada em que passam poucas linhas de ônibus e que tem baixa frequência, elevando os tempos de espera dos usuários e fazendo-os utilizar veículos lotados. Em 2015, além da reclamação de alto tempo de espera, a maioria dos usuários reclamava da lotação dos veículos, já que em horário de pico, as linhas mais demandadas estavam operando com nível de serviço F, com densidade igual ou superior a 6 passageiros/m² (IPLANFOR, 2015).

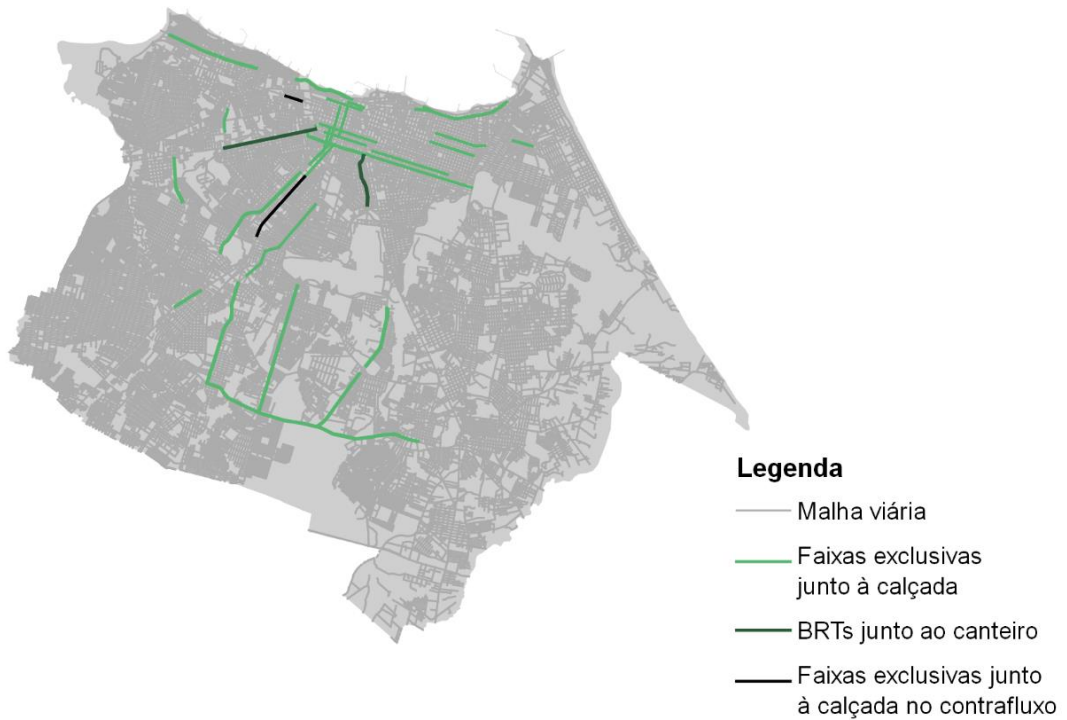
A Prefeitura de Fortaleza tem realizado algumas intervenções no sistema de transporte público por ônibus nos últimos anos, como implantar *wi-fi* com acesso aberto, aumentar a frota com ar-condicionado, implantar BRTs e faixas exclusivas (Figura 19) e otimizar as rotas das linhas. A implantação de BRTs e faixas exclusivas tem aumentado a velocidade de operação do transporte público nessas vias, como a Av. Santos Dumont que teve um ganho de velocidade operacional dos ônibus de 207% após a implantação da faixa exclusiva (PREFEITURA DE FORTALEZA, 2020b).

Figura 18 - Pontos de Parada do SITFOR com raio de influência de 500 metros em dezembro/2020.



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ETUFOR de dezembro/2020.

Figura 19 –Faixas exclusivas e BRT's em Fortaleza em janeiro de 2020.



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da Prefeitura de Fortaleza (2020).

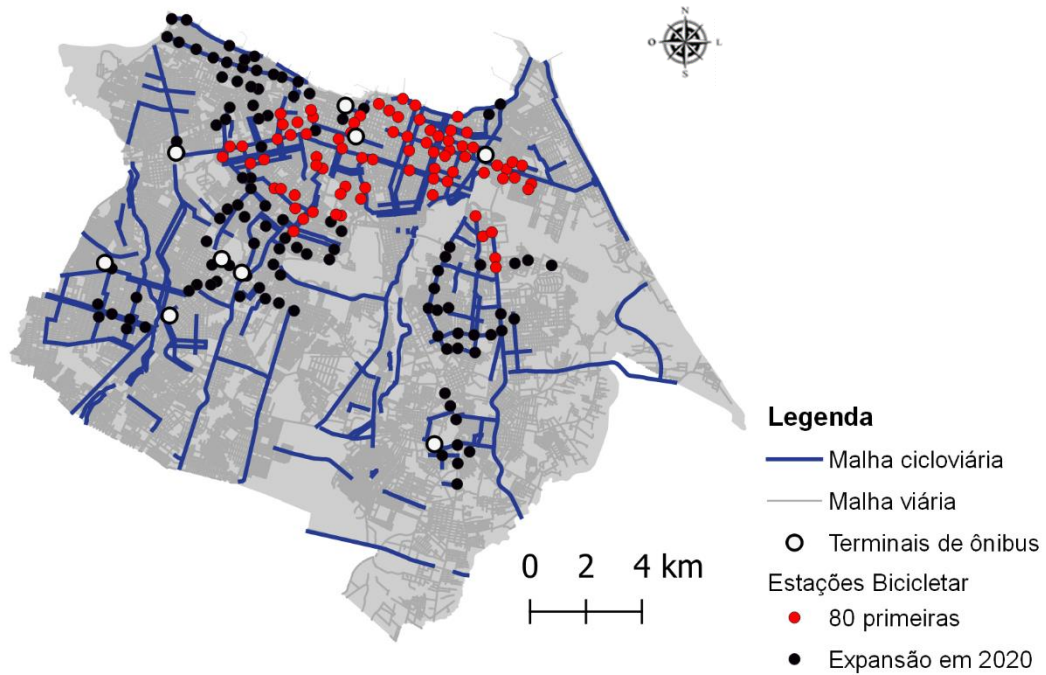
Várias pesquisas concluíram que a utilização da bicicleta no acesso ou difusão do transporte público tem impacto bastante positivo sobre a acessibilidade dos usuários ao trabalho e os pesquisadores associam essa melhora na acessibilidade ao aumento da área de captação do transporte público (BOARNET et al., 2017; PRITCHARD et al., 2019; PRITCHARD; STEPNIAK; GEURS, 2019). Como foi evidenciado anteriormente, a área de captação dos ônibus não parece ser um problema grande em Fortaleza, porém outros problemas que os usuários de ônibus relataram, como alto tempo de espera e lotação dentro das linhas alimentadoras, que aumentam a desutilidade dos seus deslocamentos, devem ser incluídos na análise da acessibilidade ao trabalho em Fortaleza.

3.3 Transporte cicloviário em Fortaleza

A cultura do uso da bicicleta em muitas cidades brasileiras não era forte, porém, nos últimos anos, têm-se investido em infraestrutura e programas relacionados à bicicleta na tentativa de incentivá-la como modo de transporte. Em relação à malha cicloviária, houve um crescimento de mais de 5 vezes entre o final de 2012 e de 2020, quando sua extensão passou de 68,2 km para 347,2 km (PREFEITURA DE FORTALEZA, 2020c) melhorando a conectividade da rede ao longo dos anos, facilitando o deslocamento por bicicleta com segurança em grande parte do município. Além do aumento de extensão e conectividade, a malha cicloviária de Fortaleza está conectada a todos os terminais de ônibus (Figura 20).

Fortaleza também recebeu alguns programas de Bicicleta compartilhada, sendo o Bicicletar o principal, que até o fim de 2019 tinha 80 estações na região central da cidade, e em 2020 foi expandido para 191 estações, priorizando regiões periféricas. (PREFEITURA DE FORTALEZA, 2021). Muitas estações do Bicicletar foram implantadas em vias com ciclovias ou ciclofaixas e próximo aos terminais de ônibus, favorecendo a utilização segura da bicicleta e a integração modal. A localização das estações do Bicicletar pode ser visualizada junto à malha cicloviária e aos terminais na Figura 20.

Figura 20 – Estações do Bicicletar e Malha cicloviária em dezembro 2020.

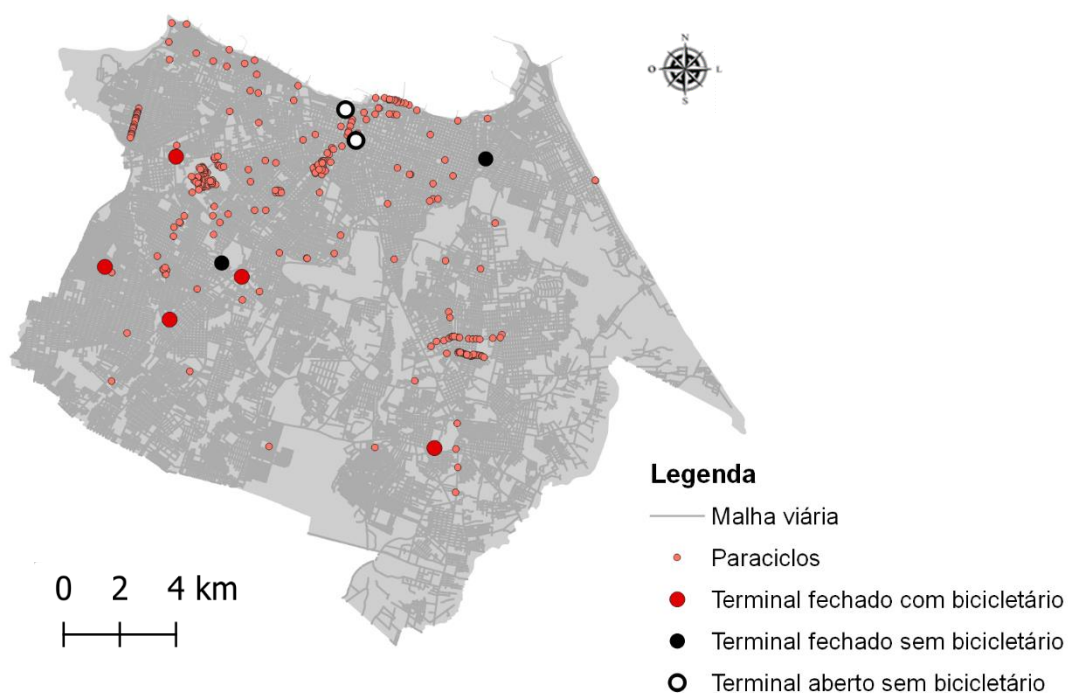


Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da Prefeitura de Fortaleza de dezembro/2020.

Além do Bicicletar, também existem outros programas de bicicleta compartilhada em Fortaleza: O Bicicletar Mini, voltado para crianças; o Corporativo, somente para funcionários da prefeitura; e o Bicicleta Integrada, o qual foi criado com a intenção de fomentar a integração entre bicicleta e ônibus e tem as estações localizadas nos terminais fechados e regras que foram concebidas com essa intenção.

A infraestrutura de estacionamento para bicicleta também aumentou no município nos últimos anos. Diversos paraciclos foram instalados de forma distribuída na cidade e, com a intenção de fomentar a integração com o transporte público, foram construídos bicicletários nos terminais de ônibus, em que os usuários poderiam deixar bicicletas próprias em locais protegidos antes de utilizar o transporte público.

Figura 21 – Paraciclos e Bicletários em janeiro/2021.



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da Prefeitura de Fortaleza de março/2021.

3.4 Integração bicicleta-ônibus em Fortaleza

A partir da caracterização da divisão modal da população de baixa renda de Fortaleza em viagens por motivo trabalho, pode-se ter a percepção de uma barreira para integração modal: mulheres usam mais ônibus, homens utilizam mais bicicleta. Porém, o perfil dos usuários que fazem integração entre bicicleta e ônibus é diferente dos que usam um dos modos separadamente (HEINEN; BOHTE, 2014), assim, é importante que seja feita uma análise das características dos usuários que utilizam esse modo integrado especificamente.

Alguns estudos já analisaram a integração Bicicleta-ônibus em Fortaleza e verificaram que o fenômeno é pouco expressivo na cidade (COSTA LIMA et al., 2019; COSTA et al., 2019). Costa Lima *et al* (2019) perceberam que, em relação às viagens dos sistemas de bicicleta compartilhadas, menos de 10% foram realizadas de forma integrada ao ônibus e, em relação à quantidade de viagens de ônibus, o percentual era irrelevante. Apesar disso, as pesquisas caracterizaram o fenômeno com o intuito de compreender melhor esse modo híbrido que pode ter potencial de melhorar a acessibilidade de pessoas de baixa renda. Assim Costa

Lima (2018) e Costa (2019) analisaram a demanda atual pela integração e Siqueira (2018) analisou os fatores que afetam a integração incluindo uma demanda potencial, por meio de modelos de escolha discreta.

Costa Lima (2018) analisou o fenômeno da integração bicicleta compartilhada e ônibus utilizando *big data* e caracterizou o perfil dos usuários e das viagens realizadas por eles e mostrou que a maioria dos usuários é jovem, do gênero masculino e pouco frequente nas viagens integradas. Em relação à frequência, Costa Lima (2018) levanta a hipótese de que isso aconteça porque a capacidade do sistema de bicicletas compartilhadas não permite que os usuários que integram sejam mais assíduos. Quanto às características das viagens, ela observa que as viagens seguem o padrão horário de outros modos, tendo o maior pico de demanda no final do dia e que os locais de integração entre bicicleta e ônibus se assemelham a locais de integração entre ônibus, dando indícios de que a bicicleta esteja substituindo um trecho da viagem que poderia ser realizado por ônibus.

A análise do sistema de ônibus de Fortaleza feita por Siqueira (2018) mostra que o sistema abrange quase a totalidade da área povoada da cidade, porém grande parte da periferia é atendida por linhas alimentadoras ou complementares que têm baixa frequência e as primeiras passam pelos terminais, levando o usuário a ter a impedância do transbordo. Dessa forma, a utilização da bicicleta no acesso ou difusão do ônibus, não aumenta consideravelmente a área de captação do sistema de ônibus, porém pode diminuir o tempo de espera pelo ônibus ou evitar transbordo.

Costa *et al.* (2019) caracterizaram a integração entre bicicleta e ônibus considerando tanto a bicicleta compartilhada como a própria e observaram que o fenômeno em Fortaleza difere em alguns aspectos do constatado em grandes cidades europeias, como por exemplo em renda. Em Fortaleza, os usuários que utilizam o modo híbrido analisado são majoritariamente de renda baixa e eles atribuem esse resultado ao estigma de “veículo de pobre” atrelado a bicicleta no Brasil, unido à maior utilização do ônibus também por pessoas dessa classe. Além da renda, eles observaram que em Fortaleza também existe grande impacto da insegurança pública e viária sobre a atratividade da integração bicicleta e ônibus, o que não se verifica em muitas cidades de países desenvolvidos em que o uso integrado da bicicleta e transporte público já está consolidado. Em relação a motivo da viagem, eles observaram que a maioria das viagens integradas aconteceram por motivo trabalho, seguido por viagens motivo

educação, o que concorda com a literatura estrangeira a respeito de motivo de viagens integradas.

Siqueira (2018) também verifica a influência da segurança pública e viária ao constatar o impacto da existência de bicicletários e infraestrutura cicloviária, respectivamente. Ele também confirma diferença de tendência ao uso da bicicleta no acesso ao ônibus por gênero e renda. Em relação a motivo de viagem, ele verifica que os usuários seriam mais propensos a utilizar a bicicleta no acesso ao ônibus quando o motivo da viagem é educação, diferente do que acontece na demanda atual apresentada por Costa *et al.* (2019), porém os autores acreditam que a influência do motivo pode ser afetada no modelo pela idade dos usuários que realizam viagens de motivo educação. Além disso, o autor verifica que a escolha do modo de acesso e difusão ao transporte público varia com a distância até a parada de ônibus e que a bicicleta é mais utilizada em distâncias entre 1,5 km e 3,5 km.

3.5 Integração bicicleta-ônibus como melhoria da acessibilidade dos usuários

Boarnet *et al.* (2017), Pritchard *et al.*, (2019) e Pritchard, Stepniak e Geurs, (2019) observaram que o uso integrado bicicleta e transporte público tem potencial de melhorar a acessibilidade dos usuários aos postos de trabalho, mas divergem em relação a diminuição da inequidade da acessibilidade.

Boarnet *et al.* (2017) concluem que, em San Diego, melhorar as formas de acesso e difusão ao transporte público diminui consideravelmente as diferenças de acessibilidade aos postos de trabalho entre o carro e o transporte público. Eles mostram que utilizar bicicleta na primeira e última milha, em vez de ir caminhando aos pontos de parada ou estações, melhora acessibilidade aos postos de trabalho mais que aumentar a frequência do transporte público em 50%. Eles fizeram a análise considerando todo o transporte público da cidade, incluindo BRTs e ônibus convencionais.

Pritchard, Stepniak e Geurs (2019) analisaram a integração entre bicicleta e transporte público na Holanda, mas disseram que no país a integração entre bicicleta e ônibus é rara, então só foi avaliada a integração entre bicicleta e trens. Eles concluíram que a integração com a bicicleta aumenta a acessibilidade aos postos de trabalho dos usuários de transporte público e diminui a inequidade espacial de acesso aos postos de trabalho. Apesar dos ganhos

que a integração oferece, eles ainda percebem uma grande diferença de acessibilidade entre o carro e o transporte público.

Pritchard *et al.* (2019) analisaram a integração entre bicicleta e trem ou metrô em São Paulo, e viram que a integração entre bicicleta e o metrô aumenta bastante a acessibilidade dos usuários, mas que não tende a uma distribuição espacial igualitária da acessibilidade. Eles perceberam que, em locais que já tinham uma boa acessibilidade por transporte público, a integração com a bicicleta melhorou de forma mais intensa a acessibilidade dos usuários do que em locais com baixa acessibilidade por transporte público. Apesar de São Paulo ter uma densa rede de ônibus, o estudo só analisa a integração com trem e metrô.

Boarnet *et al.* (2017), Pritchard *et al.*, (2019) e Pritchard, Stępniaik e Geurs (2019) concluíram que, apesar de a integração com a Bicicleta melhorar a acessibilidade aos postos de trabalho por transporte público, o TP ainda não se equipara ao carro nesse indicador. Os estudos encontraram distintos resultados de diferença de redução da diferença de acessibilidade entre os modos. Pritchard, Stępniaik e Geurs (2019) perceberam que cidades maiores tem maior redução da diferença de acessibilidade entre o carro e esse modo híbrido.

Os estudos mencionados acima tiveram boas contribuições acerca do impacto do modo integrado bicicleta-transporte público sobre a acessibilidade, mas todos consideraram indicadores de acessibilidade mais simples, de base locacional, os quais não consideram a utilidade percebida pelas pessoas em um deslocamento, nem as diferenças entre grupos de indivíduos no cálculo da acessibilidade.

3.6 Atributos das funções utilidade relativos à integração bicicleta e ônibus no Brasil

Uma opção de indicador que incorpora a percepção das impedâncias do deslocamento potencial pelo usuário é o *Logsum*, indicador estimado a partir de modelos de escolha discreta. A literatura já apresenta diversos exemplos de modelos os quais evidenciam os atributos que influenciam a probabilidade de escolha pela bicicleta no acesso ao transporte público, sendo em sua maioria estudos sobre o acesso ao metrô (DEBREZION; PELS; RIETVELD, 2009; PUELLO; GEURS, 2015), porém os atributos ou o peso dado a eles pode ser diferente de quando se está considerando o acesso ao ônibus. Em relação à realidade brasileira, De Souza et al. (2017) e Siqueira (2018) dedicaram suas pesquisas à integração entre bicicleta e ônibus no Brasil.

Modelos de escolha modal comumente fazem análise do impacto que o custo e o tempo de cada modo exercem sobre a escolha modal de um grupo de indivíduos, separando o tempo realmente utilizado no modo escolhido do tempo de espera ou caminhada até o veículo no caso de transportes públicos (SOUZA, 2018), porém já foi observado que outros atributos, como renda, gênero, posse de veículos, distância da viagem, segurança viária e segurança pública também têm impacto sobre a probabilidade de escolha pela bicicleta no acesso ao ônibus e devem ser considerados no cálculo de indicadores. (DE SOUZA et al., 2017; SIQUEIRA, 2018)

Quanto ao impacto de características socioeconômicas sobre a escolha do modo de acesso ao transporte público, Siqueira (2018) mostra que as pessoas de renda mais baixa têm maior probabilidade de escolher pela bicicleta e tanto De Souza et al. (2017) como Siqueira (2018) observaram que homens são mais propensos a escolher a bicicleta. Siqueira (2018) observou ainda que os outros fatores tinham pesos diferentes para cada gênero, como por exemplo que as mulheres dão mais importância que os homens à segurança viária ao escolher o modo. De Souza et al. (2017) revelam também que a posse de carro é uma barreira e a posse de bicicleta uma questão motivadora para o uso dela no acesso ao transporte público.

De Souza et al. (2017) e Siqueira (2018) observaram a distância de acesso ao transporte público afeta a escolha do modo e que existe uma faixa de distância intermediária em que a bicicleta é preferível, já que para distâncias mínimas a caminhada é mais prática e para distâncias longas se opta mais por modos motorizados. Esse fator que também foi observado por Debzeion, Pels e Rietveld (2009) no acesso ao metrô e Keijer e Rietveld (2000) verificaram que essa distância ideal depende do modo principal da viagem.

No que diz respeito à segurança viária, De Souza *et al.* (2017) e Siqueira (2018) concluíram que a existência de ciclovias ou ciclofaixas tem impacto positivo sobre a probabilidade de escolha pela bicicleta ao acessar o ônibus. Porém De Souza *et al.* (2017) verificaram que a existência de malha cicloviária tem mais impacto que a existência de local para estacionar a bicicleta e Siqueira (2018) verificou o contrário.

A segurança pública foi tratada diretamente no modelo de De Souza *et al.* (2017), que obtiveram resultados mostrando que as pessoas que relataram segurança pública como uma barreira para a utilização da bicicleta não diminuíam sua probabilidade de escolher esse modo. Porém esse atributo pode ser observado de forma indireta tanto no modelo de De Souza *et al.* (2017) como de Siqueira (2018) quando os autores avaliam o impacto da infraestrutura de

estacionamento para bicicleta, já que esses elementos devem impedir ou dificultar um possível furto da bicicleta e os dois autores obtiveram resultados que os indicam como motivadores do uso da bicicleta.

3.7 Considerações finais

Esse capítulo apresentou inicialmente os benefícios da integração entre bicicleta e o transporte público em outras localidades para, em seguida, avançar com essa análise em Fortaleza. Inicialmente foi caracterizado o sistema de transporte público na capital cearense, enfatizando as peculiaridades desse sistema, como, por exemplo, a alta cobertura do sistema na cidade, chegando ao índice de 93% da população possuir uma parada de ônibus até 500m. Em seguida realizou-se uma caracterização do sistema cicloviário e dos avanços obtidos nos últimos anos da cidade de Fortaleza. A infraestrutura cicloviária avançou amplamente nos últimos anos, tanto em relação a malha cicloviária, com ciclofaixas e ciclovias, como com estacionamentos para bicicletas e sistemas de bicicletas compartilhadas.

O fenômeno da integração bicicleta-ônibus já foi estudado no contexto de Fortaleza e esse capítulo apresentou os resultados obtidos em tais estudos, evidenciando que esse fenômeno atualmente tem uma baixa demanda. Apesar de ser incipiente, partindo da possibilidade da integração e da problemática da baixa acessibilidade abordada no Capítulo 2, estuda-se a possibilidade deste modo integrado ter potencial de contribuir para melhores níveis de acessibilidade, em especial da população de baixa renda. Foi constatado também que outros locais como São Paulo, Chicago e algumas cidades da Holanda já experimentaram os benefícios potenciais da integração para a acessibilidade.

Por fim, neste capítulo fica evidente o potencial que esse modo tem para reduzir a problemática da baixa acessibilidade da população de baixa renda em Fortaleza. Porém, verifica-se através da literatura uma lacuna existente em relação ao método de análise: os estudos existentes analisam o impacto da integração bicicleta-ônibus sobre a acessibilidade sem considerar a percepção dos usuários sobre os fatores que influenciam esse fenômeno.

4 PROPOSTA METODOLÓGICA

O produto deste capítulo é a construção de um método que permita analisar os benefícios do uso do modo integrado bicicleta-ônibus sobre a acessibilidade da população de baixa renda em Fortaleza, tendo como base as discussões dos capítulos anteriores.

Para atingir os objetivos b, c e d, pretende-se caracterizar a acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em dois cenários e compará-los:

- C1: Cenário de infraestrutura existente, reconhecendo que a população de baixa renda não considera o modo integrado bicicleta-ônibus no seu conjunto de escolha de modo de transporte.
- C2: Cenário de infraestrutura hipotético, em que houvesse ciclofaixas em todas as vias e bicicletários em todos os terminais. Nesse cenário idealizado, considera-se o modo integrado bicicleta-ônibus como alternativa atrativa para o acesso aos terminais.

O cenário C1 pode ser entendido como um cenário atual, diante de uma realidade marcada por uma irrisória integração bicicleta-ônibus, indicando possivelmente que esse modo híbrido não faz parte do conjunto de escolha dos usuários de baixa renda quando do acesso aos terminais. Por outro lado, o cenário C2 parte da premissa de que, além de benefícios máximos em termos de infraestrutura cicloviária, a percepção dos usuários reconhece a bicicleta-ônibus como alternativa competitiva de acesso aos terminais.

Diferente de estudos que consideraram que as pessoas de baixa renda eram cativas do transporte público e que as de alta renda utilizavam automóveis para conseguir utilizar indicadores mais simples de comunicar e ainda diferenciar pessoas de classes sociais distintas (LIMA, 2017; PINTO, 2020), esta pesquisa verificou, a partir da caracterização da mobilidade das pessoas de baixa renda ao trabalho, que algumas pessoas da baixa renda não tem acesso a veículos motorizados individuais e é cativa do transporte público ou dos modos ativos, mas outras podem escolher entre utilizar o veículo individual motorizado, o transporte público ou modos ativos. Assim, a acessibilidade aos postos de trabalho será caracterizada para esses dois grupos de pessoas em cada um dos cenários.

Serão utilizados dois indicadores de diferentes abordagens. Primeiramente será realizada a análise da acessibilidade pelo indicador locacional ‘tempo de acesso aos postos de trabalho’, o qual é um indicador de fácil comunicação e entendimento, que já acarreta

contribuição ao atingir os objetivos tanto de caracterizar os níveis de acessibilidade aos postos de trabalho na situação atual como na situação em que se considera o modo integrado bicicleta-ônibus. A partir desse indicador, também é possível analisar a quantidade de pessoas que podem ser beneficiadas com redução de tempo de acesso às oportunidades de emprego.

Apesar desse indicador ter benefícios, a partir da análise dos indicadores realizada no capítulo dois, observa-se que a percepção da impedância de deslocamento não depende somente do tempo de acesso, e que esse indicador não consegue captar o impacto dos demais fatores. Assim, é também necessário utilizar um indicador que consiga caracterizar a acessibilidade da população de baixa renda incluindo a percepção da utilidade dos deslocamentos e decidiu-se por utilizar o indicador baseado em logsum.

Com o indicador baseado em logsum, será estimada a acessibilidade aos terminais de ônibus a partir da utilidade percebida pelas pessoas de população de baixa renda no deslocamento entre suas residências e o terminal de ônibus mais próximo em viagens motivo trabalho a depender do modo de acesso utilizado e será possível analisar se a substituição do modo usual de acesso ao terminal pela bicicleta acarretaria aumento de utilidade nesse acesso, considerando as impedâncias percebidas pelo usuário.

Assim, a seção 4.1 apresenta as etapas metodológicas para atingir o segundo objetivo de caracterizar os níveis atuais de acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza nas redes de transporte motorizado coletivo, motorizado individual e não motorizado, a seção 4.2 apresenta as etapas metodológicas além das já apresentadas na seção anterior que são necessárias para atingir o terceiro objetivo, de estimar a distribuição espacial dos níveis de acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza considerando a integração bicicleta-ônibus.

As seções 4.3 e 4.4 juntas apresentam as etapas para atingir o quarto objetivo, de forma que a seção 4.3 apresenta o método para estimar os benefícios potenciais da integração bicicleta-ônibus na acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza, considerando o local de moradia, e mensurando a quantidade de pessoas beneficiadas e a seção 4.4 explica como o comportamento de escolha modal foi incorporado na estimativa de benefícios potenciais da integração bicicleta-ônibus na acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza.

4.1 Caracterização dos níveis atuais de acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza

4.1.1 Estimativa das matrizes de tempo

Para estimar os tempos de viagem entre as zonas, tanto para calcular o indicador tempo de acesso aos postos de trabalho como para calcular a impedância para o indicador de acessibilidade baseado em *logsum*, utilizar-se-á o pacote R5R, que é um pacote de roteirização multimodal para a linguagem de programação R para estimar as matrizes de tempo de viagens (PEREIRA et al., 2021). Esse pacote gera estimativas detalhadas das rotas, sendo possível tanto impor restrições para cada parcela da viagem, como obter resultados do tempo de viagem separado em cada trecho da viagem (tempo de acesso, tempo de espera, tempo no veículo, tempo de difusão), o que será fundamental para as análises do indicador de logsum. O R5R calcula rotas multimodais a partir da malha viária do *Open Streep Maps* (OSM), dados de topografia e informações de rotas de ônibus programadas (GTFS).

O zoneamento para atingir os objetivos dessa pesquisa não pode ser muito agregado, visto que as alterações na distância de acesso interferem na impedância percebida pelo usuário, então o zoneamento deve ser bastante desagregado para que o erro da distância de acesso seja mínimo, porém não pode ser desagregado demais para não comprometer a capacidade computacional de processamento. Assim, decidiu-se por utilizar as agregações espaciais H3 desenvolvidas pelo Uber, em que as zonas são hexágonas de diagonal menor igual a 357 metros. (UBER, 2018).

Estimou-se os tempos de viagem por ônibus, bicicleta e carro. O tempo de viagem de cada modo entre cada par origem-destino foi estimado como o tempo da rota mais rápida utilizando aquele modo. Para os modos carro e ônibus, em que o trânsito afeta o tempo de viagem, estimou-se o tempo de viagem a cada minuto no período de pico da manhã, entre 6 e 8h, e o valor utilizado foi a mediana desses valores. Esse período foi escolhido já que se deseja caracterizar a acessibilidade aos postos trabalho e essas viagens ocorrem em sua maioria entre esses horários de acordo com a caracterização da mobilidade apresentada no capítulo 2.

O tempo de viagem de carro considera o congestionamento médio naquele horário de acordo com o OSM, enquanto o tempo dentro do ônibus e o tempo de espera depende da programação horária dos ônibus obtido no arquivo de GTFS fornecido pelas empresas de

ônibus, já os tempos de caminhada no acesso ao ônibus e o tempo de bicicleta são calculados a partir da distância em rota e uma velocidade média estipulada para os usuários. Considerou-se as mesmas velocidades médias do estudo de acessibilidade realizado pelo IPEA (PEREIRA et al., 2019) que aplica velocidade de 3,6km/h para o pedestre e 12km/h para o ciclista, e também se considera que as velocidades são impactadas pela topografia do caminho. Em relação ao tempo de viagem do ciclista, a malha cicloviária impacta o tempo indiretamente, dado que altera a escolha de rota, podendo ser uma rota mais longa por ser segura. As rotas de bicicleta consideraram preferencialmente vias com ciclofaixas ou ciclovias.

Foram identificados pares de origem e destino os quais não tiveram o tempo estimado pelo R5r, o que evidencia falha na roteirização por causa de erros de codificação na malha viária do OSM. Esses pares OD foram retirados da análise, de forma que tanto os empregos do destino como o tempo de acesso entre o par foram desconsiderados.

4.1.2 Indicador tempo de acesso aos postos de trabalho

Primeiramente, estimou-se a acessibilidade aos postos de trabalho da população de baixa renda como a estimativa de tempo de viagem a partir da zona de residência até todas as zonas com oportunidades de emprego de baixa escolaridade, ponderando pela quantidade dessas oportunidades. Como a estimativa de tempo depende do modo utilizado, a acessibilidade foi calculada por zona e por modo, conforme a equação 1 abaixo.

$$TAT_{i,m} = \frac{\sum_j T_{ij,m} \times E_j}{\sum_j E_j} \quad (1)$$

$TAT_{i,m}$: Tempo de acesso aos postos de trabalho dos residentes da zona i por modo m .

$T_{ij,m}$: Tempo de viagem da rota mais rápida entre a zona i e a zona j pelo modo m .

E_j : Quantidade de empregos de baixa escolaridade da zona j .

O tempo de acesso aos postos de trabalho dos residentes da zona i foi estimado para os modos: bicicleta, ônibus e carro. Esses modos foram escolhidos a partir da caracterização da mobilidade das pessoas de baixa renda ao trabalho, na qual verificou-se que os modos mais

utilizados pela população de baixa renda são ônibus, carro, moto, a pé e bicicleta. O modo a pé, apesar de bastante expressivo em viagens dessas pessoas ao trabalho, é majoritariamente utilizado em viagens mais curtas, não sendo representativo da problemática que se deseja caracterizar e propor uma possível solução. Já a moto, apesar de bastante utilizadas em viagens de diversas distâncias é de difícil caracterização, já que a maioria dos roteirizadores, incluindo o utilizado nesta pesquisa, não estima o tempo de viagem por moto.

Além da acessibilidade por modo, também se estimou a acessibilidade aos postos de trabalho de baixa escolaridade em cada zona considerando todos os modos disponíveis para aquela parcela da população, conforme a equação 2 .

$$TAT_i = \frac{\sum_j T_{ij} \times E_j}{\sum_j E_j} \quad (2)$$

TAT_i : Tempo de acesso aos postos de trabalho dos residentes da zona i considerando os modos disponíveis para aquela parcela da população

T_{ij} : Tempo de viagem da rota mais rápida entre a zona i e a zona j considerando todos os modos disponíveis para aquela parcela da população.

E_j : Quantidade de empregos de baixa escolaridade da zona j .

Esse segundo indicador foi estimado separadamente para duas parcelas da população de baixa renda: as pessoas de baixa renda com acesso a veículos motorizados individuais e as que são cativas dos transportes públicos ou ativos.

Apesar de a acessibilidade ao trabalho não ter sido estimada por moto, a diferença do tempo de acesso aos postos de trabalho entre carro e moto é que o da moto será menor, dado que a moto consegue ser mais rápida que o carro em vias congestionadas. Assim, considerou-se que o tempo de acesso aos postos de trabalho das pessoas com acesso a moto é no mínimo o estimado considerando o modo carro.

Para os dois tipos de indicadores, considerou-se a localização dos empregos de baixa escolaridade do banco de dados do IPEA (PEREIRA et al., 2019), o qual partiu da base da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) de 2017 do Ministério do Trabalho. Apesar de esse banco de dados ter a limitação de conter somente os empregos formais, verificou-se que

em Fortaleza os empregos formais e informais tem distribuição espacial semelhante, não acarretando limitação ao trabalho (PINTO; LOUREIRO; SOUSA, 2021).

4.2 Estimação dos níveis de acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza considerando a integração bicicleta-ônibus

Para análise dos níveis de acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza considerando a integração bicicleta-ônibus, é necessário primeiramente estimar as matrizes de tempo em todos os modos disponíveis. Como já se demonstrou como foram estimadas as matrizes de tempo de viagem de ônibus, bicicleta e carro, para esta análise falta estimar a matriz de tempo de viagem do modo integrado bicicleta-ônibus. Apesar de o 5r5 calcular automaticamente os tempos das rotas multimodais entre bicicleta-ônibus, não é possível limitar os locais de transbordo e esta pesquisa considera que a integração aconteceria somente nos terminais, que seriam locais com bicicletários em que os usuários poderiam deixar suas bicicletas em segurança.

Assim, calculou-se a matriz de tempo de viagem deste modo integrado por etapas. Primeiramente calculou-se o tempo de viagem entre a origem e o terminal mais próximo e em seguida o tempo desse terminal ao destino. Nessa estimativa, considerou-se como tendo malha cicloviária em todas as vias, levando o algoritmo a estimar a rota de bicicleta mais curta. Considerou-se que o tempo de viagem de bicicleta-ônibus será a soma desses dois tempos acrescidos de 2 minutos, considerando como o tempo de transbordo. Nesse caso, considera-se que pelo tempo de viagem de bicicleta ser mais confiável, assim como o horário de saída dos ônibus dos terminais, as pessoas sabendo o seu tempo de viagem e o horário de saída do ônibus, calcula a hora de saída para que não espere no terminal e dois minutos seja somente o tempo do transbordo.

Comparou-se então as matrizes de tempo por modo estimadas conforme explicado na seção 4.1 com a matriz do modo integrado bicicleta-ônibus e considerou-se que as pessoas utilizariam o modo mais rápido e se estimou a acessibilidade aos postos de trabalho de baixa escolaridade em cada zona considerando todos os modos disponíveis para aquela parcela da população no cenário C2, conforme a equação 2 apresentada anteriormente.

Esse indicador também foi estimado separadamente para as duas parcelas da população de baixa renda no cenário C2: as pessoas de baixa renda com acesso a veículos motorizados individuais e as que são cativas dos transportes públicos ou ativos.

Os valores dos níveis de acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza tanto sem considerar a integração bicicleta-ônibus no cenário C1, como considerando o modo integrado no C2 foram apresentados em forma de mapa para verificar os locais com menor acessibilidade no C1 e os locais que a acessibilidade tem potencial de melhorar ao se considerar o modo integrado.

4.3 Estimação dos benefícios potenciais da integração bicicleta-ônibus na acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza, considerando o local de moradia

Para analisar os benefícios do uso do modo integrado bicicleta-ônibus sobre a acessibilidade da população de baixa renda em Fortaleza, considerando somente o tempo de acesso, foi verificado se há diminuição do tempo de acesso aos postos de trabalho a partir de zonas em que residem pessoas de baixa renda e qual o tempo total de acesso que foi reduzido, considerando quantas pessoas de baixa renda residem nessas zonas.

Assim, calculou-se a diferença de tempo de acesso aos postos de trabalho dos residentes para cada zona, conforme a equação 3.

$$\Delta TAT_i = TAT_i C2 - TAT_i C1 \quad (3)$$

ΔTAT_i : Diferença de tempo de acesso aos postos de trabalho para residentes da zona i

$TAT_i C2$: Tempo de acesso aos postos de trabalho dos residentes da zona i considerando os modos disponíveis para aquela parcela da população no C1

$TAT_i C1$: Tempo de acesso aos postos de trabalho dos residentes da zona i considerando os modos disponíveis para aquela parcela da população no C2

A diferença de tempo de acesso aos postos de trabalho para residentes da zona i foi espacializada e comparada com as piores condições de acessibilidade apresentada no cenário

C1, para verificar onde a inserção da bicicleta no acesso ao ônibus melhora a acessibilidade da população de baixa renda. Também foi realizada a análise de quantas pessoas de baixa renda são beneficiadas por essa alternativa.

Considerou-se a quantidade de pessoas de baixa renda em cada zona de acordo com o estimado pelo IPEA (PEREIRA et al., 2019) a partir da base de dados do IBGE, que tem a limitação de considerar as zonas uniformes em relação a renda. As zonas consideradas como de baixa renda foram as que se encontravam entre o 1º e o 6º decil de renda (SOUSA, 2019).

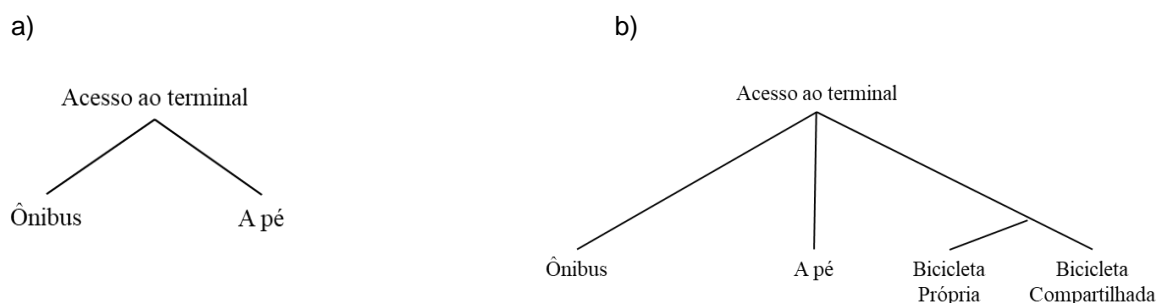
4.4 Estimação dos benefícios potenciais da integração bicicleta-ônibus na acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza, considerando o comportamento de escolha modal dos usuários.

4.4.1 Indicador de acessibilidade aos terminais baseado em Logsum

O *logsum* das opções de deslocamento é a máxima utilidade esperada mensurada a partir do conjunto de alternativas de transporte que o usuário dispõe para realizar viagens, então primeiramente deve-se definir o conjunto de alternativas disponíveis aos usuários.

Na caracterização da mobilidade, observou-se que as pessoas que utilizam terminais, acessam-no por ônibus ou a pé. Assim, estimou-se a acessibilidade ao terminal mais próximo por logsum considerando esses modos para o C1, enquanto no C2 acrescentou-se a alternativa da bicicleta, podendo essa ser bicicleta própria ou bicicleta compartilhada.

Figura 22 – Alternativas de escolha de modo para acessar o terminal: a) No C1 e b) No C2.



Fonte: Elaborado pela autora.

Assim, é necessário dispor das matrizes de tempo de acesso ao terminal por ônibus, a pé e por bicicleta para que esses valores sejam aplicados nas funções utilidade conforme explicado nas próximas seções. As matrizes de ônibus e bicicleta já foram estimadas na seção 4.1 e, nesta etapa do método, filtrou-se os tempos entre todas as origens e os terminais de ônibus de acesso mais rápido por cada modo. Já a matriz de tempo a pé entre todas as zonas de origem de Fortaleza e os terminais de ônibus foi estimada nesta etapa do método e seguiu passos semelhantes ao apresentado na seção 4.1, utilizando o R5R.

4.4.2 Modelo de escolha discreta para representar a escolha pela integração bicicleta-ônibus

A utilidade de cada alternativa de um indicador baseado em *logsum* é mensurada a partir de função utilidade oriunda de um modelo de escolha discreta *logit*. Os modelos *logit* mais simples são o binomial ou o multinomial, quando existem duas ou mais alternativas respectivamente, porém esse tipo de modelo parte da premissa de que não existe correlação entre as alternativas e, se o processo de escolha de modo e rota acontece como mostrado na Figura 22, no cenário C2 não se pode assumir essa premissa. Uma alternativa quando existe problema com a premissa de IIA (Independência das Alternativas Irrelevantes) é utilizar modelos *logit* aninhados (*nested logit*), os quais consideram que as escolhas são feitas de forma hierárquica, por grupos de escolhas, conforme a Figura 22, e que não pode haver correlação entre escolhas de grupos hierárquicos diferentes. Assim, no C1 pode-se considerar como uma escolha binomial *logit* e no C2 considera-se que a primeira escolha é realizada como multinomial *logit* e a segunda escolha binomial *logit* aninhada a primeira.

Em um modelo de escolha discreta, cada alternativa k tem utilidade U_k com uma parte sistemática, que pode mensurada a partir dos atributos considerados no modelo, V_k e um erro aleatório ε_k , conforme a equação 4. Em qualquer modelo de escolha discreta, a média dos erros deve ser zero e, no caso de modelos *logit*, assume-se que os erros são distribuídos de forma independente e idêntica segundo distribuição Gumbel (IID Gumbel).

$$U_k = V_k + \varepsilon_k \quad (4)$$

No C2, como se está considerando um modelo *logit* aninhado, considera-se que são realizadas escolhas hierarquizadas. A utilidade da segunda escolha (escolha b) é dada pela utilidade da primeira escolha (escolha a) somada a utilidade da segunda escolha dada que a primeira escolha já foi realizada, conforme a equação 5. Nesse tipo de modelo, considera-se que a segunda escolha, dado que a primeira já foi tomada, acontece de forma independente e a correlação entre alternativas de um mesmo ninho é evidenciada pela existência do erro da escolha anterior na utilidade de todas as alternativas daquele ninho, também conforme a equação 5.

$$U_{b,a} = V_a + \varepsilon_a + V_{b|a} + \varepsilon_{b|a} \quad (5)$$

4.4.3 Calibração de Funções utilidade do acesso da população de baixa renda aos terminais de ônibus em Fortaleza.

A partir da caracterização da mobilidade dos indivíduos de baixa renda, percebeu-se que o comportamento de escolha modal entre homens e mulheres é diferente e espera-se que o peso que esses indivíduos atribuam aos fatores que influenciam no modo utilizado até o terminal seja diferente. Assim, decidiu-se por calibrar funções específicas para pessoas de cada gênero. Siqueira (2018) calibrou funções utilidade de acesso aos terminais de Fortaleza para a população de baixa renda e fez análises separadamente por motivo de viagem e gênero, porém não gerou modelos que representassem somente as viagens motivo trabalho separadamente por gênero, então observa-se a necessidade de modelá-las nesta análise.

Assim, partiu-se dos dados de Preferência de Declarada (PD) decorrentes da realização de entrevistas que consistiram na apresentação de cenários hipotéticos de escolha do modo de acesso ao transporte público nos terminais de integração desenvolvido no trabalho de

Siqueira (2018) para calibrar as funções utilidade de cada gênero dos modos ônibus e bicicleta, conforme equações 6, 7 e 8 abaixo.

$$V_{\text{ônibus}} = ASC_{\text{ônibus}} + \beta_{t_{\text{caminhada_espera}}} * \frac{X_{t_{\text{caminhada_espera}}}}{100} + \beta_{t_{\text{veículo}}} * \frac{X_{t_{\text{veículo}}}}{100} \quad (6)$$

$$V_{\text{bicicleta_própria}} = ASC_{BP} + \beta_{t_{\text{bicicleta}}} * \frac{X_{t_{\text{bicicleta}}}}{100} + \beta_{\text{malha_ciclovária}} * X_{\text{malha_ciclovária}} + \beta_{\text{bicicletário}} * X_{\text{bicicletário}} \quad (7)$$

$$V_{\text{bicicleta_compartilhada}} = ASC_{BC} + \beta_{t_{\text{bicicleta}}} * \frac{X_{t_{\text{bicicleta}}}}{100} + \beta_{\text{malha_ciclovária}} * X_{\text{malha_ciclovária}} \quad (8)$$

Em que:

$ASC_{\text{ônibus}}$ – Constante específica do ônibus fixada em zero como valor de referência do modelo.

ASC_{BP} – Constante específica da bicicleta própria

ASC_{BC} - Constante específica da bicicleta compartilhada

$\beta_{t_{\text{caminhada_espera}}}$ – Coeficiente do tempo de caminhada ou tempo de espera

$x_{t_{\text{caminhada_espera}}}$ – Tempo de caminhada ou tempo de espera

$\beta_{t_{\text{veículo}}}$ – Coeficiente do tempo dentro do veículo de ônibus

$x_{t_{\text{veículo}}}$ - Tempo dentro do veículo de ônibus

$\beta_{t_{\text{bicicleta}}}$ – Coeficiente do tempo na bicicleta

$x_{t_{\text{bicicleta}}}$ - Tempo na bicicleta

$\beta_{\text{malha_ciclovária}}$ – Coeficiente da existência de malha ciclovária no caminho percorrido por bicicleta

$x_{\text{malha_ciclovária}}$ - *dummy* para existência de malha ciclovária no caminho percorrido por bicicleta

$\beta_{\text{bicicletário}}$ - Coeficiente da existência de bicicletário no terminal de destino

$x_{\text{bicicletário}}$ - *dummy* para existência de bicicletário no terminal de destino

Para abranger todos os modos considerados nos cenários de acesso ao terminal nesta pesquisa, é necessário calibrar uma função utilidade para o modo a pé, o qual não foi

contemplado na PD de Siqueira (2018). Assim, considerou-se que a desutilidade percebida pelo usuário é a mesma ao caminhar para acessar o ônibus de acesso ou caminhar até o terminal, de forma que o coeficiente do tempo de caminhada pode ser calibrado como descrito na equação 6. Porém ainda é necessário estimar a constante específica da alternativa, conforme mostrado na equação 9 abaixo.

$$V_{a_pé} = ASC_{a_pé} + \beta_{t_caminhada_espera} * \frac{X_{t_caminhada_espera}}{100} \quad (9)$$

Em que:

$ASC_{a_pé}$ - Constante específica do modo a pé

Não se espera que modelos calibrados com dados de outras localidades retratem perfeitamente a realidade das viagens da população de baixa renda ao trabalho em Fortaleza, porém pode-se utilizar estudos para estimar a função utilidade do modo a pé. Essa função será utilizada não para fazer previsões, mas para analisar o benefício da inserção de uma nova alternativa de acesso aos terminais (bicicleta), de modo que, para ser conservador em relação aos benefícios da bicicleta para acessar os terminais, é melhor que a utilidade do modo a pé seja superestimada. Assim, partiu-se de um modelo de escolha discreta calibrado para a Região Metropolitana da Baixada Santista no estado de São Paulo, em que o coeficiente específico do modo a pé é o maior em relação aos outros modos considerados (transporte público e bicicleta) (SOUSA; KAWAMOTO, 2015). A partir dos coeficientes desse estudo, observou-se uma taxa marginal de substituição entre a constante do modo a pé e o coeficiente de tempo de viagem pelo modo a pé de $2.22 / -3.69 = -0.60$. Esse coeficiente foi aplicado ao coeficiente do tempo calibrado anteriormente para se obter a função de utilidade do modo a pé.

4.4.4 Estimativa do indicador baseado em logsum

A máxima utilidade esperada ou o *logsum* das opções de deslocamento entre a zona i e a zona j (S_{ij}) é mensurada a partir do conjunto de alternativas (k) de transporte que o usuário dispõe para realizar aquela viagem. O *logsum* é matematicamente o logaritmo natural do denominador da função de probabilidade de um modelo *logit*, conforme a equação (10).

$$S_{ij} = \ln \left(\sum_k e^{V_{k,ij}} \right) \quad (10)$$

Como não existem muitas alternativas de rota das origens até o terminal por cada modo considerado, considerou-se somente a rota mais rápida. A partir das matrizes de tempo por modo, verificou-se o terminal mais próximo de cada zona de origem, verificou-se as rotas mais rápidas de cada modo e aplicou-se as funções de utilidade calibradas anteriormente. A partir dos resultados das funções utilidade, calculou-se o logsum de cada origem do município.

A partir do cálculo desse indicador, foi possível comparar seu valor nos dois cenários e verificar se, para as zonas em que houve diminuição do tempo de acesso aos postos de trabalho ao se considerar a disponibilidade do modo integrado, realmente haverá aumento da acessibilidade considerando a utilidade percebida pelo usuário.

$$\Delta S_{ij} = S_{ij} C2 - S_{ij} C1 \quad (11)$$

Em que:

ΔS_{ij} : Diferença do *logsum* entre os cenários C2 e C1.

$S_{ij} C2$: *logsum* das opções de deslocamento entre a zona i e a zona j no C1

$S_{ij} C1$: *logsum* das opções de deslocamento entre a zona i e a zona j no C2

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os principais resultados advindos da aplicação do método do capítulo anterior, buscando alcançar os três últimos objetivos do trabalho: caracterizar os níveis atuais de acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza nas redes de transporte motorizado coletivo, motorizado individual e não motorizado; estimar a distribuição espacial dos níveis de acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza considerando a integração bicicleta-ônibus e estimar os benefícios potenciais da integração bicicleta-ônibus na acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza, considerando o local de moradia e o comportamento de escolha modal dos usuários.

5.1 Níveis atuais de acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza

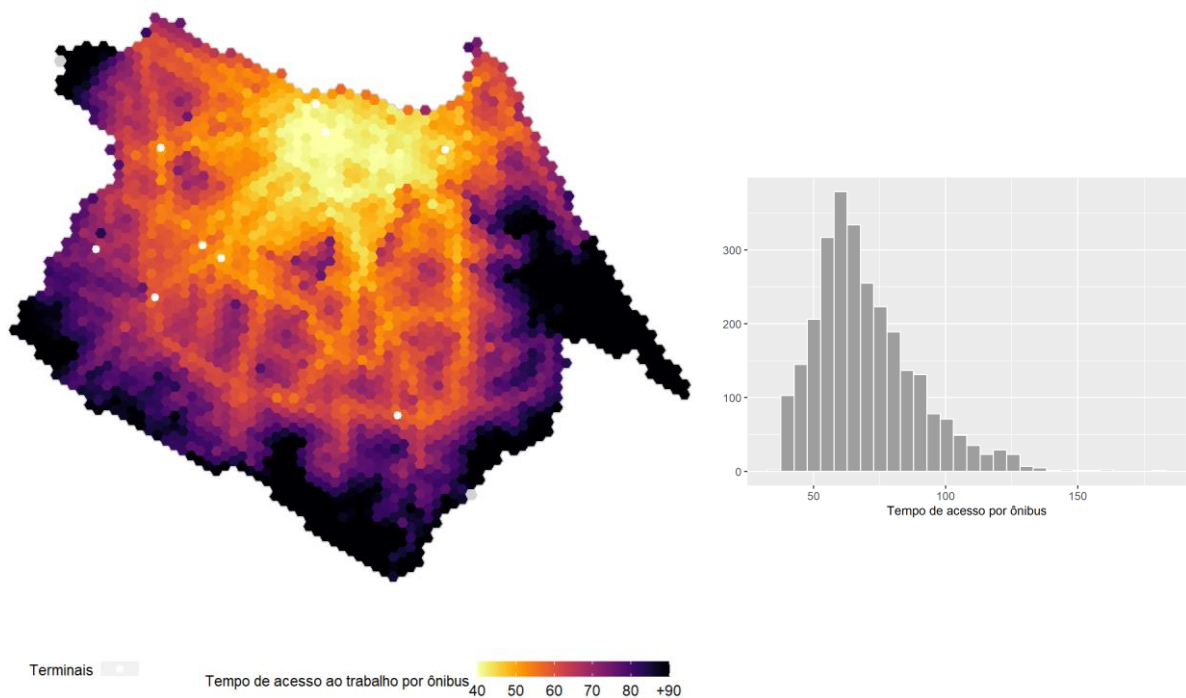
Como visto anteriormente, a maior parte da população de baixa renda em Fortaleza se desloca por ônibus ou transportes não-motorizados, porém existe uma parcela dessa população que tem acesso a carro ou moto e se desloca por esses modos. Este item apresenta os níveis atuais de acessibilidade dessas duas parcelas dessa população aos postos de trabalho. Primeiramente considerou-se a população de baixa renda que não tem acesso a modos motorizados individuais, analisando-se, portanto, a acessibilidade através do uso exclusivo do ônibus, do uso exclusivo da bicicleta e do uso de ônibus ou bicicleta. Em seguida, considerou-se a população de baixa renda que possui acesso a veículos motorizados individuais, analisando-se somente o acesso com uso do carro, uma vez que os roteirizadores não realizam o processo de roteirização por motocicleta.

5.1.1 *Níveis atuais de acessibilidade da população de baixa renda sem acesso a modos motorizados individuais aos postos de trabalho em Fortaleza*

A primeira análise realizada se deu para o deslocamento realizado exclusivamente por ônibus. De acordo com os resultados, o tempo de acesso aos postos de trabalho utilizando

este modo varia de 36 a 182min, com mediana em 65,97min. No mapa da Figura 23 é possível observar que as regiões com maior acessibilidade são aquelas próximas aos locais de concentração de emprego, conforme ilustrado na Figura 3, porém, nesses locais residem poucas pessoas de baixa renda, estando a maioria destas na região oeste de Fortaleza. Além da região central, os indivíduos com maior acessibilidade são aqueles que residem próximo às vias arteriais e expressas. Tal configuração urbana faz com que indivíduos de baixa renda residentes em regiões periféricas possuam tempos de acesso elevados, com mais de 90min, chegando ao máximo de 182min.

Figura 23 – Acessibilidade ao emprego da população de baixa renda por ônibus

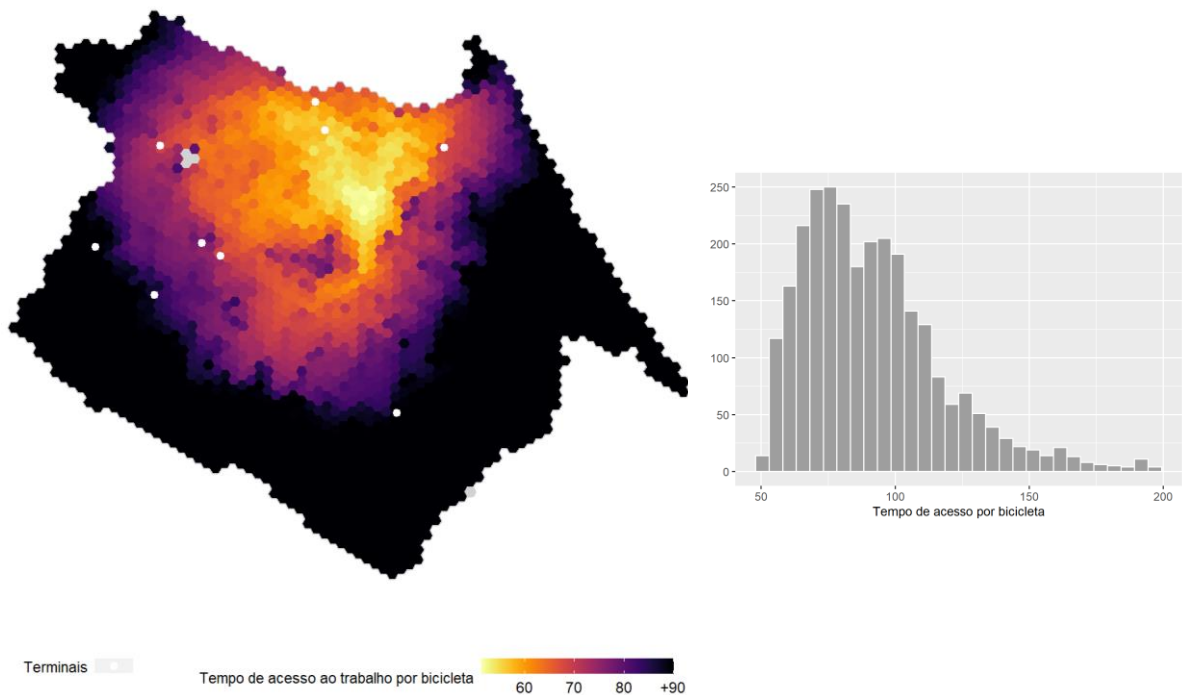


Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 24 apresenta a acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho utilizando exclusivamente a bicicleta. O uso da bicicleta como modo de deslocamento (sem a integração com outro modo) apresenta condições de acessibilidade ainda piores se comparadas com o deslocamento por ônibus. De acordo com os resultados, o tempo de acesso ao trabalho por bicicleta varia entre 51min e 197min, com mediana de 86,85min. Por ser um

transporte ativo, os eixos viários de maior velocidade exercem menor impacto sobre a bicicleta. Dessa forma, a acessibilidade é maior na região central, próximo aos empregos e distante das moradias de baixa renda, e vai diminuindo na medida em que se afasta dessa região.

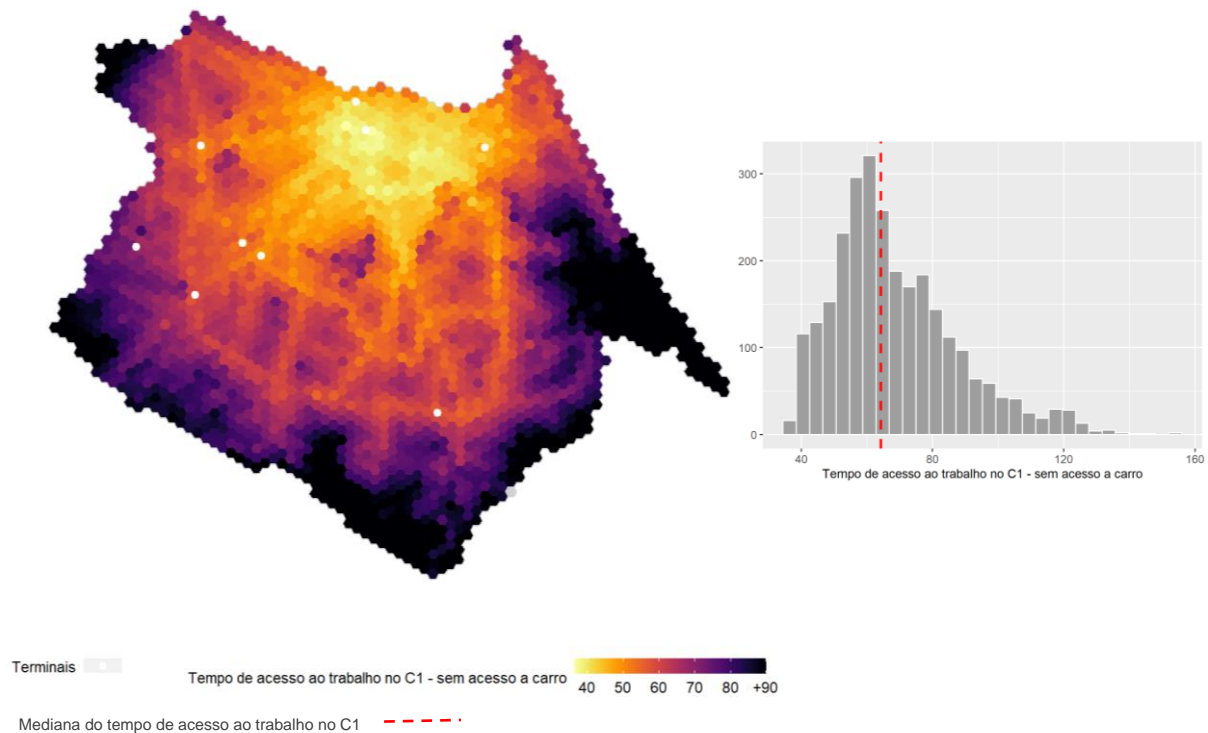
Figura 24 –Acessibilidade ao emprego da população de baixa renda por bicicleta



Fonte: Elaborado pela autora

Conforme dito anteriormente, cada um dos modos bicicleta e ônibus apresentam vantagens em relação à acessibilidade. Para deslocamentos curtos, por exemplo, o uso da bicicleta apresenta-se como mais vantajoso. Considerando, portanto, que o indivíduo possui a sua disposição qualquer um dos dois modos, é possível que este opte por aquele que apresente o menor tempo de acesso aos postos de emprego. A Figura 25 ilustra essa configuração, apresentando o mapa de acessibilidade dos indivíduos de baixa renda utilizando bicicleta ou ônibus. Neste cenário, os tempos de acesso variam entre 36 e 153min, com mediana de 64,24min. Como esperado, os tempos de acesso são menores quando comparados ao uso de cada modo exclusivamente, principalmente para as regiões com pior acessibilidade.

Figura 25 – Mapa da acessibilidade ao emprego atual da população de baixa renda sem acesso a veículos motorizados individuais no C1.

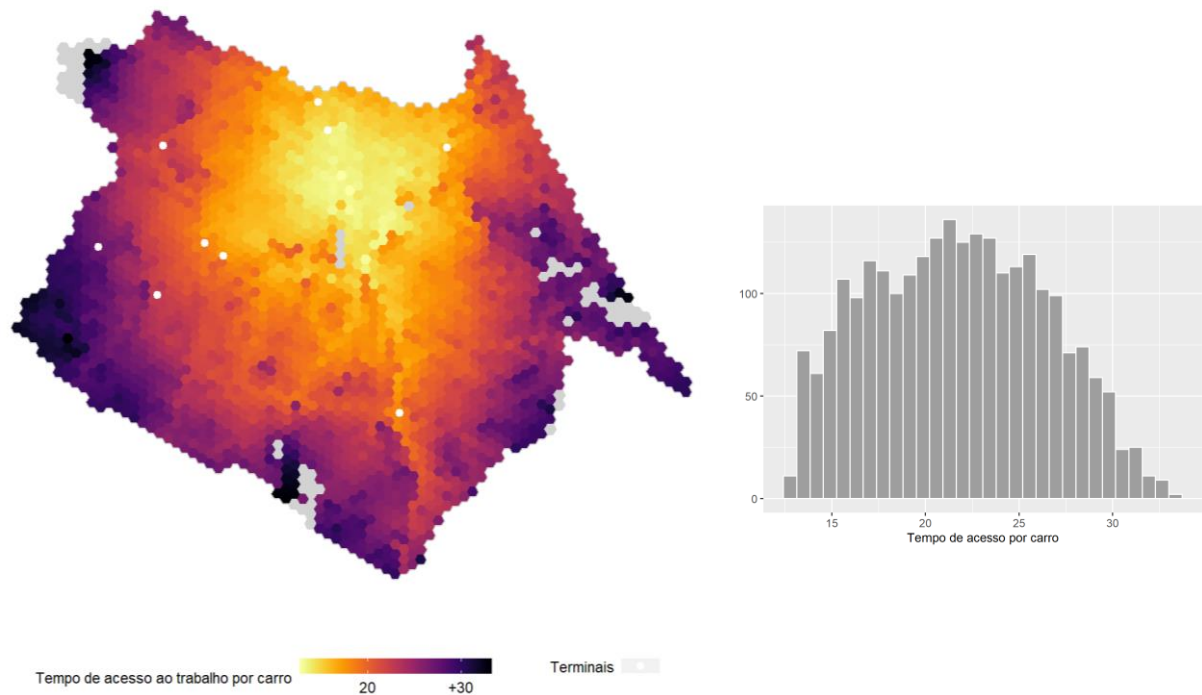


Fonte: Elaborado pela autora.

5.1.2 Níveis atuais de acessibilidade da população de baixa renda com acesso a modos motorizados individuais aos postos de trabalho em Fortaleza

A análise dos níveis de acessibilidade da população de baixa renda com acesso a modos motorizados individuais foi realizado apenas para o uso do carro, uma vez que os *softwares* de roteirização não realizam essa análise para motocicletas. Nesse cenário, o tempo de acesso ao trabalho por carro varia entre 12min e 33min, com mediana de 21,64min (Figura 26). Os locais com piores condições de acessibilidade desse cenário (33min), portanto, ainda apresentam maiores níveis de acessibilidade quando comparados ao cenário de acesso por ônibus ou bicicleta. Com o uso da motocicleta espera-se resultados de acessibilidade iguais ou ainda melhores, uma vez que esse modo consegue alcançar maiores velocidades médias e sofrer menores impactos com congestionamentos.

Figura 26 – Acessibilidade ao emprego da população de baixa renda por carro.



Fonte: Elaborado pela autora.

Considerando o uso do carro, o problema da baixa acessibilidade é menor em comparação com outros modos, mas ainda há uma discrepância de acessibilidade quando compara-se a região central às regiões periféricas de Fortaleza, possível de ser observado no mapa da Figura 26. Verifica-se, portanto, que ainda existe um problema de equidade no acesso às oportunidades de emprego para a população que reside em bairros periféricos.

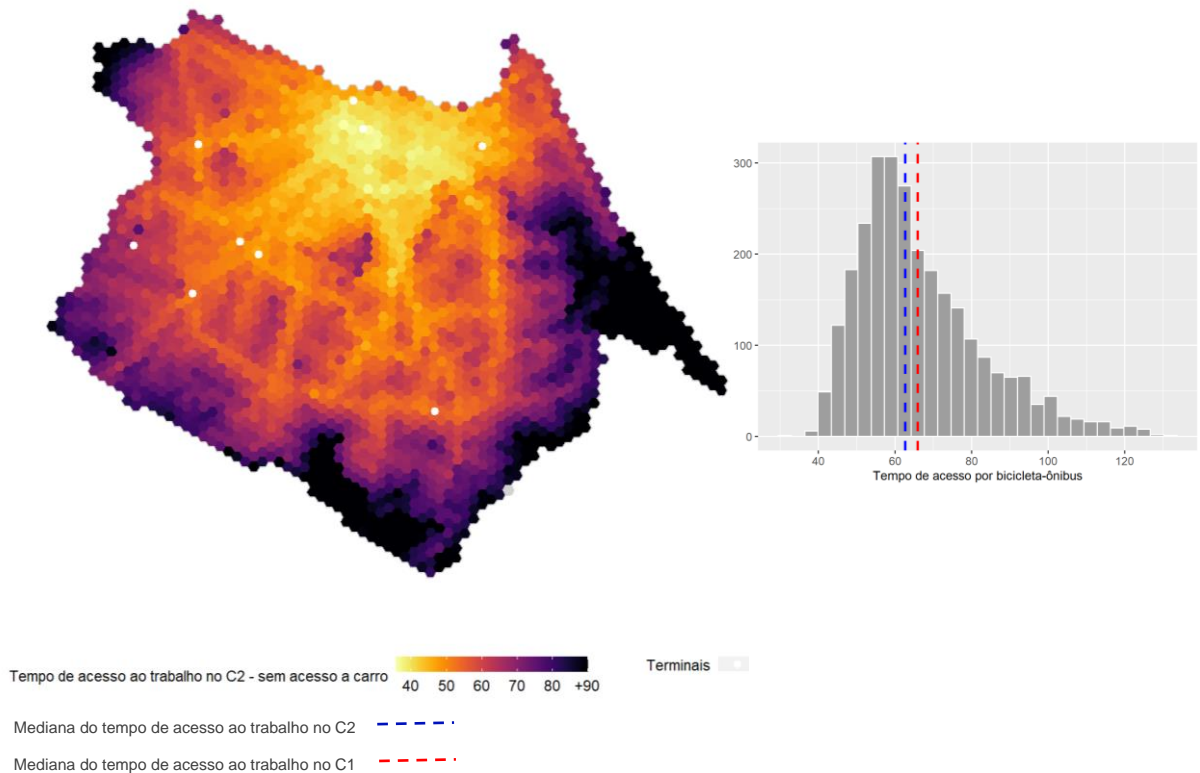
5.2 Níveis de acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza considerando a integração bicicleta-ônibus

Este item apresenta os níveis de acessibilidade da população de baixa renda considerando a integração bicicleta-ônibus. De acordo com as análises realizadas, para a população que tem acesso a um modo individual motorizado, essa combinação dos modos bicicleta-ônibus não apresentou ganhos nos níveis de acessibilidade, ou seja, não apresentou

redução no tempo de acesso aos postos de trabalho. Por outro lado, para a população sem acesso a veículos individuais motorizados, essa configuração apresentou expressivos aumentos nos níveis de acessibilidade, com zonas apresentando reduções da ordem de 15min nos tempos de acesso.

No cenário de integração bicicleta-ônibus, considerando que a população de baixa renda pode optar pelo modo mais rápido entre bicicleta, ônibus ou ambos, os tempos de acesso aos postos de trabalho variaram entre 35 e 153min, com mediana de 60,50min. Dessa forma, observa-se que os limites de tempo ao trabalho não mudam muito (o mínimo passa de 36 para 35min e o máximo continua 153min), porém algumas zonas com tempos intermediários apresentaram diminuição no tempo de acesso, fazendo com que a mediana reduzisse de 64,24min para 60,5min, 5,8% menor em comparação com o cenário de bicicleta ou ônibus. A Figura 27 apresenta o mapa de acessibilidade dessa configuração.

Figura 27 – Mapa da acessibilidade ao emprego da população de baixa renda sem acesso a veículos motorizados individuais no C2.

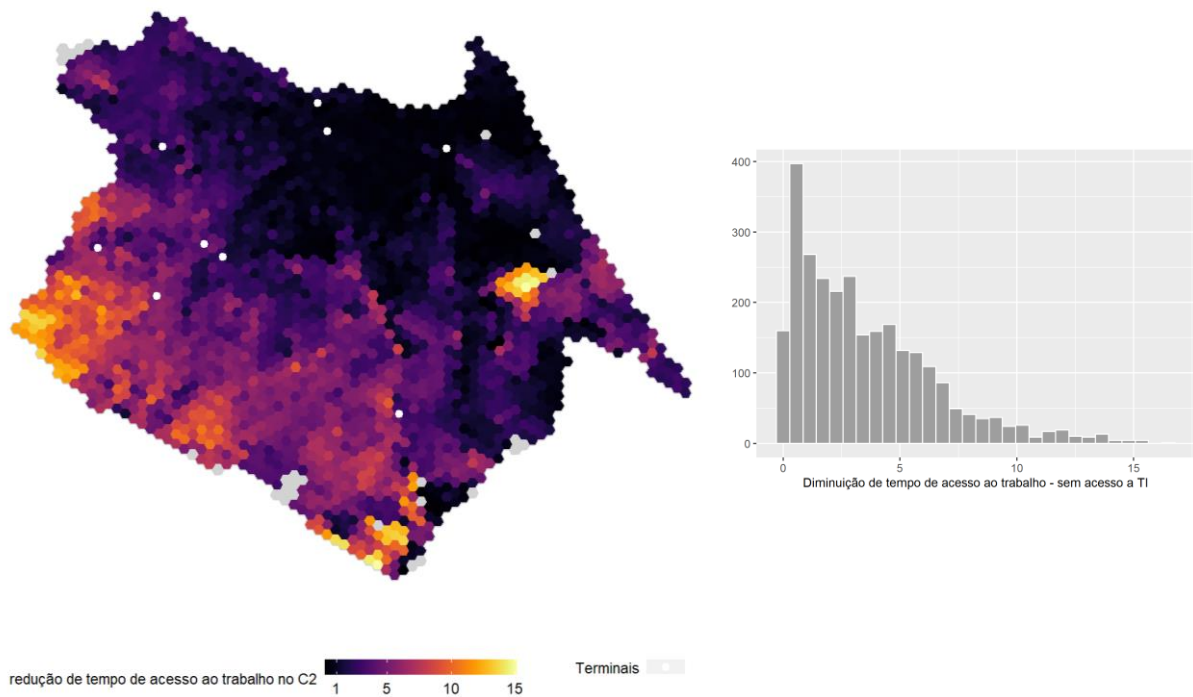


Fonte: Elaborado pela autora.

Observando de forma mais específica as reduções nos tempos de acesso aos postos de trabalho ao considerar a integração bicicleta-ônibus (Figura 28), é possível perceber que a redução dos tempos de acesso (e consequente aumento dos níveis de acessibilidade) é mais expressiva nas regiões periféricas da cidade, em especial na região sudoeste, uma região com forte presença da população de baixa renda.

Em locais próximos o suficiente para acessar os terminais de integração a pé, o aumento da acessibilidade não é tão expressivo. Já em locais mais distantes dos terminais, com distâncias de caminhabilidade impraticáveis, é possível perceber melhorias nos níveis de acessibilidade. Isso se dá pelo fato dessas regiões possuírem menores quantidade de linhas de transporte público (geralmente alimentadoras ou locais), menores frequências entre veículos, o que ocasiona maiores tempos de espera, tornando, então, uma distância atrativa para se percorrer por bicicleta. O uso combinado dos modos bicicleta e ônibus, portanto, para essas regiões, apresenta melhorias expressivas em se tratando de níveis de acessibilidade.

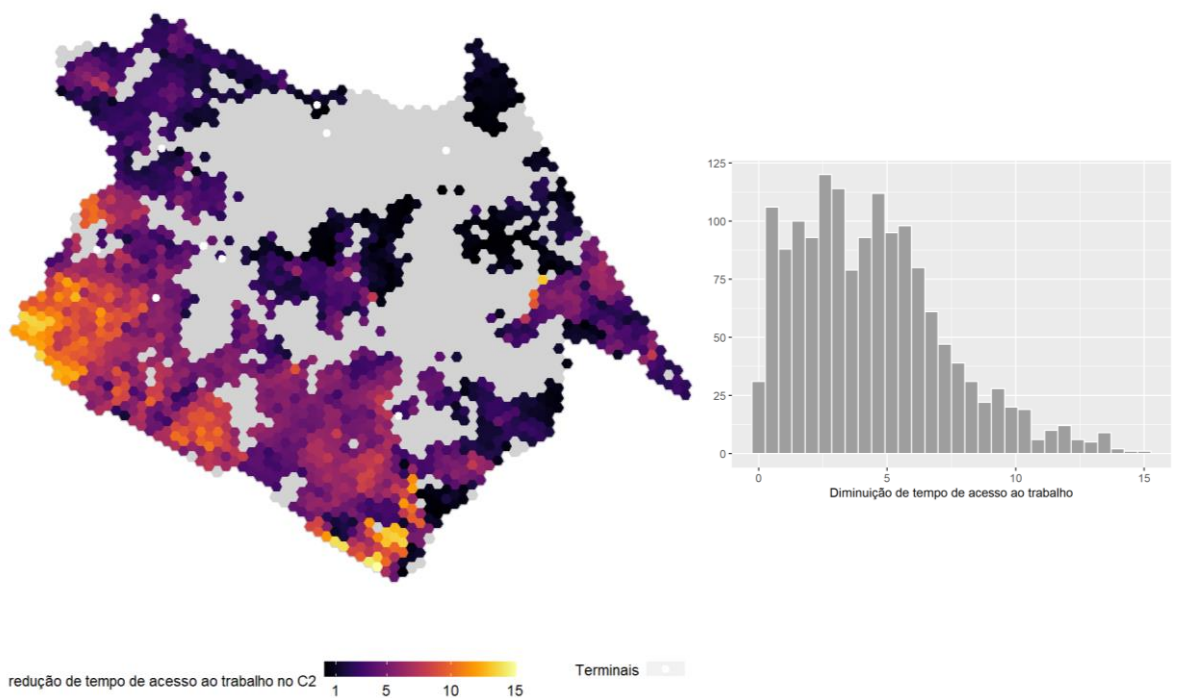
Figura 28 – Mapa da redução do tempo de acesso aos postos de trabalho ao considerar a integração bicicleta-ônibus.



Fonte: Elaborado pela autora.

Considerando somente os locais em que residem pessoas de baixa renda, verifica-se a redução de tempo de acesso ao trabalho é maior do que considerando todas as regiões do município, conforme pode ser visto na Figura 29. A mediana da redução de tempo de acesso nesses locais é de 4 minutos, variando de 0 min a 15,1 min, enquanto considerando a cidade toda, os limites eram os mesmos, porém a mediana é de 2,89min.

Figura 29 – Mapa da redução do tempo de acesso aos postos de trabalho ao considerar a integração bicicleta-ônibus nos locais em que residem pessoas de baixa renda.



Fonte: Elaborado pela autora.

5.3 Benefícios potenciais da integração bicicleta-ônibus na acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza, considerando o local de moradia

Ao considerar a integração entre bicicleta e ônibus, concluiu-se que 1.420.859 pessoas de baixa renda residem em locais em que há diminuição do tempo de acesso aos postos de trabalho, sem considerar a utilização de veículos motorizados individuais. Porém algumas

dessas pessoas residem em locais em que o ganho de tempo de acesso é mínimo (0,1min). Considerando 5 minutos um tempo em que as pessoas podem perceber uma melhora no tempo de acesso, estima-se que 564.407 pessoas de baixa renda residem nesses locais.

Verificou-se nas análises anteriores que o benefício potencial da integração bicicleta-ônibus na acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho depende do acesso das pessoas a veículos motorizados individuais, porém não foi possível estimar quantas pessoas realmente se beneficiam, dado que não se tem a informação de quantas dessas pessoas têm acesso a carro ou moto, já que a disponibilidade de uso do veículo não é igual a posse deste no domicílio.

5.4 Benefícios potenciais da integração bicicleta-ônibus na acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza, considerando o comportamento de escolha modal dos usuários.

As Tabelas 2 e 3 mostram os resultados da calibração do modelo de escolha de modo de acesso ao terminal separadamente para pessoas do gênero masculino e feminino, respectivamente. Nessas tabelas, todos as variáveis foram calibradas pelo modelo de escolha discreta, porém a constante específica do modo a pé (ASC_A_PÉ) foi calculada comparando-a com outro coeficiente, conforme explicado no Capítulo 4. É por esse motivo que especificamente essa variável não apresenta os resultados de desvio padrão e valor p.

Tabela 2 – Calibração do modelo de escolha de modo de acesso ao terminal para pessoas do gênero masculino

Nome	Estimativa	Desvio Padrão	t-teste	valor p
CONSTANTE da Bicicleta Própria	0.152	1.87	0.0815	0.935
CONSTANTE da Bicicleta Compartilhada	0.888	1.17	0.757	0.449
CONSTANTE do modo A Pé	3.228			
B_BICICLETARIO (Bicicleta Própria)	0.819	1.29	0.633	0.527
B_TEMPO_CAMINHADAESPERA (Ônibus/A pé)	-5.38	4.09	-1.31	0.189
B_CICLOFAIXA (Bicicletas)	0.395	0.408	0.967	0.333
B_TEMPO (Bicicletas)	-8.76	4.11	-2.13	0.0332 **
B_TEMPO (Ônibus)	-0.589	4.08	-0.144	0.885
MU_BIKE (Parâmetro de escala, bicicleta)	2.54	4.06	0.626	0.531

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 3 – Calibração do modelo de escolha de modo de acesso ao terminal para pessoas do gênero feminino

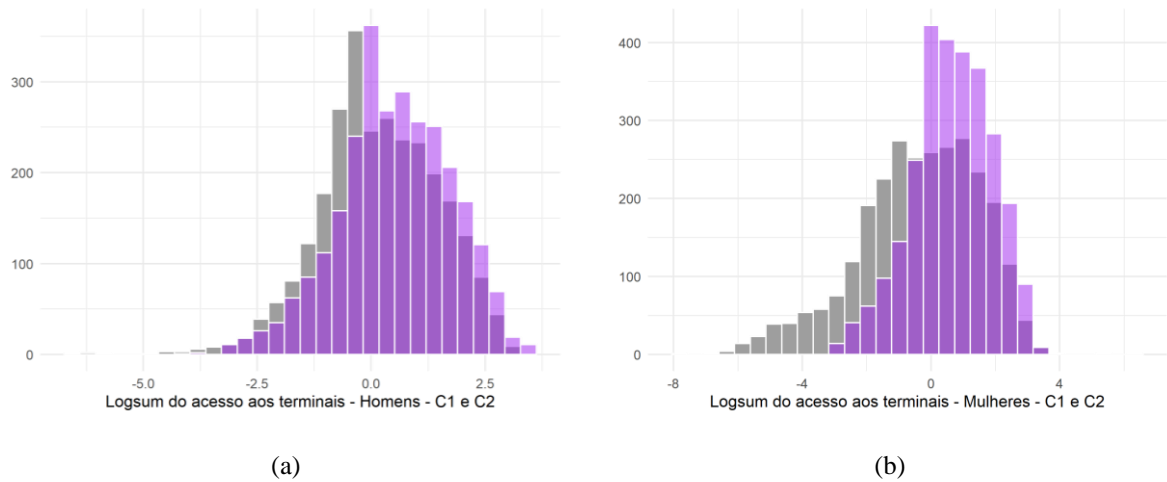
Nome	Estimativa	Desvio Padrão	t-teste	valor p	
CONSTANTE da Bicicleta Própria	-2.77	1.95	-1.42	0.154	
CONSTANTE da Bicicleta Compartilhada	-2.32	1.19	-1.95	0.051	*
CONSTANTE do modo A Pé	3.312				
B_BICICLETARIO (Bicicleta Própria)	0.508	1.44	0.354	0.723	
B_TEMPO_CAMINHADAESPERA (Ônibus/A pé)	-5.52	4.14	-1.33	0.182	
B_CICLOFAIXA (Bicicletas)	0.996	0.416	2.4	0.0166	**
B_TEMPO (Bicicletas)	-6.33	4.14	-1.53	0.127	
B_TEMPO (Ônibus)	-8.62	4.16	-2.07	0.0381	**
MU_BIKE (Parâmetro de escala, bicicleta)	5.17	14.6	0.353	0.724	

Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com os resultados obtidos nas Tabelas 2 e 3, verifica-se que a maioria dos valores das variáveis não são significativos, provavelmente devido ao fato das pessoas terem dificuldade de realizar uma análise de um eventual modo que elas não utilizam. Em um modelo de escolha de preferência declarada em que as pessoas opinam sobre um modo que não utilizam hoje, é esperado que as preferências e escolhas não sejam muito constantes.

Considerando esse modelo pra fazer análise de *logsum*, verifica-se, diante dos resultados, que existe um aumento da utilidade percebida pelo usuário ao se considerar a integração bicicleta-ônibus, principalmente para as mulheres. A Figura 30 apresenta os histogramas do *logsum* do acesso aos terminais para os homens e mulheres, nos quais é possível observar um aumento da utilidade percebida maior para as mulheres.

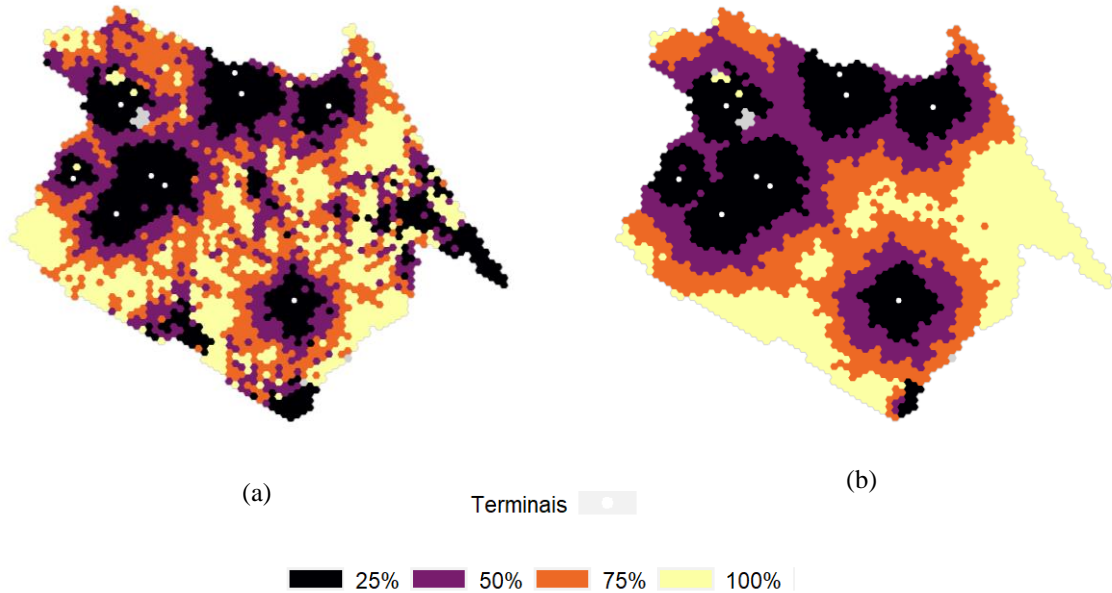
Figura 30 – Histogramas do *logsum* do acesso aos terminais para os homens (a) e mulheres (b) no C1 e C2.



Fonte: Elaborado pela autora.

Partindo para uma análise espacial, a Figura 31 apresenta os mapas de quantil da diferença de *logsum* do acesso aos terminais para os homens e mulheres. É possível observar que o aumento de utilidade é mais percebido por pessoas que não moram tão perto do terminal, uma vez que esses locais possuem uma boa cobertura de serviço de transporte público e são atrativos para a caminhada como modo de acesso ao terminal. Porém, para as regiões mais distantes dos terminais, em especial regiões periféricas, o transporte público tem menores níveis de serviço (regiões de linhas alimentadoras e locais), a caminhada não é atrativa devido às longas distância, logo a bicicleta é percebida com uma maior utilidade.

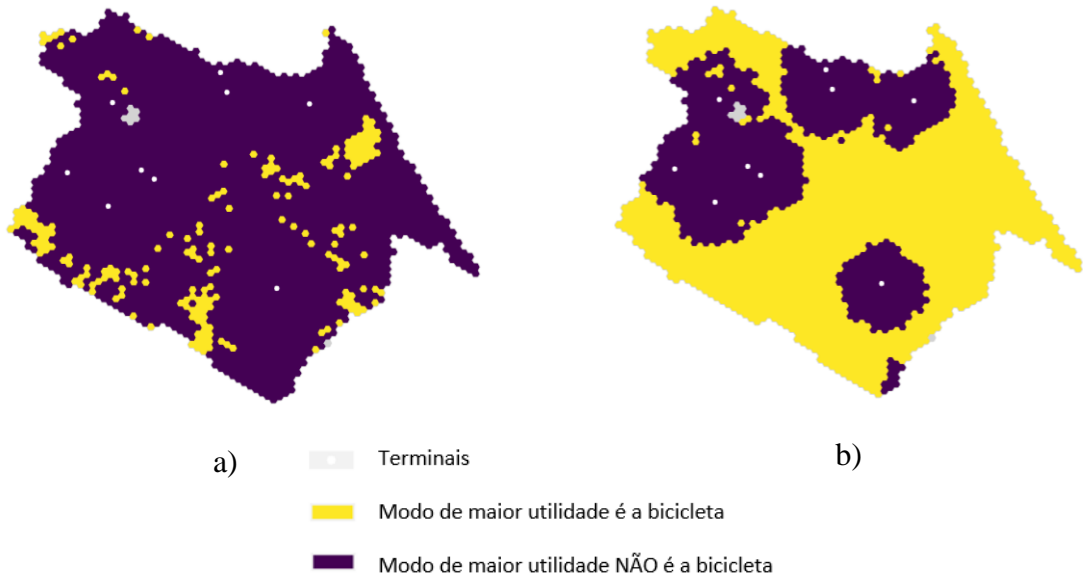
Figura 31 – Mapa de quantis da diferença de *logsum* do acesso aos terminais para os homens (a) e mulheres (b) entre os C1 e C2.



Fonte: Elaborado pela autora.

Por fim, a Figura 32 apresenta os mapas dos locais em que o modo de acesso ao terminal com maior utilidade é a bicicleta, com abordagens distintas para homens e mulheres. Verifica-se que para as mulheres existem mais locais em que a utilidade do uso da bicicleta é a maior, quando comparados aos indivíduos do sexo masculino.

Figura 32 – Mapas dos locais em que o modo de acesso ao terminal com maior utilidade para os homens (a) e para as mulheres (b) é a bicicleta.



Fonte: Elaborado pela autora.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Consolidação das contribuições do trabalho

Essa dissertação de mestrado se propôs a analisar benefícios potenciais do uso do modo integrado bicicleta-ônibus sobre a acessibilidade da população de baixa renda em Fortaleza. Na revisão da literatura foram identificadas algumas problemáticas que motivaram a análise. Inicialmente foi identificado que a população de baixa renda de Fortaleza, majoritariamente residente de áreas periféricas da cidade, tem baixos níveis de acessibilidade aos postos de trabalho, que estão concentrados em sua grande maioria na região central. Além disso, constatou-se que ainda não há uma análise sobre a alternativa de integrar os modos bicicleta e ônibus como forma de mitigar essa problemática de acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho. Os benefícios dessa integração dependem dos sistemas ofertados em cada local e do padrão de mobilidade do grupo estudado, o que motiva uma análise específica da cidade de Fortaleza. Assim, este trabalho teve como propósito contribuir com uma maior compreensão desse fenômeno.

A análise da mobilidade da população de baixa renda e da oferta dos sistemas de bicicleta e de transporte público permitiu a estruturação do método de análise desta pesquisa. Inicialmente foi possível perceber que parte da população de Fortaleza tem acesso a veículos individuais motorizados (carro ou moto), e que esse fato deveria ser considerado nas análises por não se tratar de um valor irrisório. O padrão de mobilidade entre as pessoas que têm acesso a um modo motorizado é muito diferente das pessoas que se deslocam por transporte público ou modos ativos. O transporte ativo é utilizado majoritariamente para viagens com menores distâncias, ao passo que viagens ao trabalho, com distâncias maiores dentro dessa configuração de uso do solo, geralmente são viagens de transporte público. A análise separada da demanda entre gênero também foi necessária dados os diferentes padrões de mobilidade de homens e mulheres.

A maioria das viagens por motivo de trabalho da população de baixa renda é realizada por ônibus. Dentre essas viagens, observou-se que aproximadamente um terço (32%) das pessoas que as fazem já realizam alguma integração entre ônibus e a maioria destas integrações ocorre nos terminais de transporte público. Esse padrão de mobilidade da população de baixa renda motivou a análise de como a integração bicicleta-ônibus pode ser considerada como alternativa viável para mitigar os problemas de acessibilidade dessa parcela da população.

A partir dos resultados obtidos, confirma-se a importância de analisar separadamente a parcela da população de baixa renda com acesso a veículos motorizados daquela parcela que consegue utilizar somente transporte público ou modos ativos, uma vez que a acessibilidade desses dois grupos é bastante diferente. Nesse contexto, verificou-se que, enquanto os tempos de acesso aos postos de trabalho por ônibus ou bicicleta variam entre 36 e 182 minutos, os resultados desse mesmo indicador para quem tem acesso a carro variaram entre 12 e 33 minutos. As medianas dos tempos de acesso desses dois grupos são, respectivamente, 64,24 e 21,64min. No caso da motocicleta (que não foi abordada devido aos *softwares* de roteirização ainda não possibilitarem essa análise), espera-se que o resultado para a parcela da população que possui esse modo seja de níveis de acessibilidade iguais ou maiores que aqueles obtidos por carros, dado que o tempo de viagem por motocicleta tende a ser menos impactado pelo congestionamento.

A parcela da população de baixa renda com acesso a veículos motorizados não apresentou baixos níveis de acessibilidade aos postos de trabalho. Vale ressaltar que, diante dos resultados obtidos, os tempos de acesso aos postos de trabalho por carro na zona com pior índice de acessibilidade ainda é melhor do que os tempos de acesso da zona com melhor índice de acessibilidade por ônibus, mesmo que integrado à bicicleta. Portanto, verifica-se ainda que existe inequidade no acesso aos postos de empregos da parcela da população que mora em áreas periféricas, as quais possuem tempos de acesso bem mais elevados do que aqueles que residem em áreas mais centrais.

Diante da problemática posta, verificou-se que a integração bicicleta-ônibus tem potencial de melhorar a acessibilidade aos postos de trabalho das pessoas sem acesso a veículos motorizados e que esse benefício foi percebido na diminuição tanto do tempo de acesso como da inutilidade do acesso aos terminais de transporte público. Em relação aos tempos de acesso, observou-se que existem zonas com potencial de diminuição de 15 minutos para acesso aos postos de trabalho e que as maiores diminuições são nas regiões periféricas, locais onde reside majoritariamente a população de baixa renda. Estima-se, portanto, que 564.407 pessoas de baixa renda residem em locais em que a integração entre bicicleta e ônibus possui potencial de diminuir o tempo de acesso aos postos de trabalho em pelo menos 5 minutos, não considerando a disponibilidade de carro ou moto.

Existem ainda outras conclusões importantes de serem destacadas. A partir dos resultados, verificou-se que a oferta de infraestrutura para bicicleta tem impacto sobre a

acessibilidade percebida pelo usuário, tanto em relação à presença de malha cicloviária (ciclovias, ciclofaixas, etc), como de estacionamentos para bicicleta e de sistemas de bicicletas compartilhadas. Verificou-se também que os usuários percebem maior utilidade ao utilizar bicicleta compartilhada do que bicicleta própria. Quanto à percepção do usuário em relação à utilidade do deslocamento, verificou-se que a utilização da bicicleta para acessar os terminais de ônibus tem potencial de aumentar a acessibilidade percebida pelos usuários, principalmente para as mulheres. Verificou-se, ainda, que em diversas regiões de Fortaleza o modo que oferece a maior utilidade aos usuários é a bicicleta.

Os resultados da estimação da acessibilidade ao trabalho da população de baixa renda, considerando a integração entre bicicleta e ônibus, representam a principal contribuição desta pesquisa, uma vez que avança no entendimento fenomenológico dessa alternativa em um local com padrões de oferta de ônibus e de bicicleta diferentes das outras cidades que já realizarem análises sobre esse fenômeno.

Além das contribuições fenomenológicas, essa pesquisa também apresenta contribuições metodológicas, abordando um método que permite mensurar a acessibilidade de um grupo de pessoas ao inserir a alternativa da integração bicicleta-ônibus com indicadores baseados em *logsum*. Isso foi motivado pela constatação, ainda na revisão da literatura, de que os indicadores de acessibilidade utilizados em trabalhos com motivações semelhantes (estimação do ganho de acessibilidade com a integração bicicleta-ônibus), não consideraram que a população de baixa renda percebe a utilidade dos seus deslocamentos de forma única e que tal fato exerce influência na acessibilidade dessas pessoas.

O item seguinte apresenta as recomendações para trabalhos futuros baseadas nos resultados obtidos nessa pesquisa, nas análises realizadas e ainda nas lacunas científicas, fenomenológicas e metodológicas.

6.2 Recomendações para trabalhos futuros

A primeira recomendação para trabalhos futuros é que a rede multimodal considerada inclua o metrô e VLT. Apesar de o metrô representar percentualmente poucas viagens (em Fortaleza representa aproximadamente 1% das viagens totais), as linhas

metroviárias constituem eixos troncais de alta velocidade operacional do sistema de transporte público e podem aumentar a acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho.

Ainda em relação ao metrô, a inclusão desse modo nas análises também auxilia na contribuição dos estudos sobre utilização da bicicleta na difusão. Como observado a partir da análise da literatura, a bicicleta pode ser utilizada de forma integrada no acesso e na difusão e, no caso desta pesquisa, estudou-se a bicicleta somente no acesso, uma vez que é o fenômeno mais provável de acontecer dada a assimetria da bicicleta no domicílio. Dessa forma, ao se considerar o metrô, é viável considerar e analisar o uso da bicicleta também na difusão, já que, por questões de espaço, o transporte da bicicleta nas composições metroviárias é mais viável do que nos ônibus.

Além da possibilidade de se considerar a bicicleta sendo levada dentro do metrô, recomenda-se a análise do uso de bicicletas de sistemas compartilhados como alternativa para difusão, principalmente na região central onde há uma maior densidade de estações. Como o uso das bicicletas de sistemas compartilhados nas regiões periféricas apresentou maior utilidade que o uso da bicicleta própria, levanta-se a hipótese de resultado semelhante ser encontrado com bicicleta compartilhada na difusão.

Para trabalhos futuros, recomenda-se também que sejam realizadas pesquisas de preferência declarada de escolha de modo e rota que incorporem as diversas partes da viagem, de forma a possibilitar análise de acessibilidade ao trabalho por *logsum*, indo além da análise do acesso até o terminal. Na formulação do experimento de pesquisa, recomenda-se que seja considerado o impacto da troca de veículos, possibilitando diferenciar a desutilidade percebida pelo usuário na troca entre ônibus e mudança de tipo de veículo, da bicicleta para o ônibus.

É necessário evidenciar uma limitação do modelo da função utilidade do modo a pé utilizada nesta pesquisa, a qual foi estimada a partir da razão entre os coeficientes de outros modelos. Análise do ganho de acessibilidade que a bicicleta acarretaria de forma conservadora, foi admissível utilizá-la na análise deste trabalho, porém não seria possível utilizá-la para previsão de demanda. Assim, recomenda-se que, com uma pesquisa de preferência declarada formulada para essa análise, além de estimativas de acessibilidade, seja estimada a demanda que poderia ser atraída para o modo integrado bicicleta-ônibus.

Como sugestões de futuras análises, recomenda-se ainda avaliar benefícios potenciais da integração do transporte público com a bicicleta em outros fatores que vão além de acessibilidade, como diminuição do sedentarismo, redução de emissão de poluente e

sustentabilidade da operação do sistema de transporte público. Este trabalho concluiu que a bicicleta tem o potencial de aumentar a acessibilidade às oportunidades de emprego, mas espera-se que essa integração proporcione benefícios para além da acessibilidade. Tais benefícios podem ser pontuais, ou seja, dependendo somente da utilização de um modo ativo pelo usuário, fato que gera uma expectativa de melhoria da saúde resultante da diminuição do sedentarismo, como também podem ser mais expressivos, considerando os impactos da utilização de modos integrados em larga escala.

Uma vez que a utilização da bicicleta no acesso aos ônibus passar a ser algo comum e praticado, é viável considerar uma reorganização no sistema de transporte público, diminuindo a frequência de linhas alimentadoras e locais. Essa alteração na oferta de ônibus, tendo parte das viagens sendo substituída por modo ativo, pode proporcionar, por exemplo, impactos positivos na qualidade do ar, na sustentabilidade financeira do sistema de transporte público, além dos já estimados benefícios para a acessibilidade.

A utilização da bicicleta não deve estimular a redução da área de cobertura do transporte público, dado que nem todo usuário de ônibus pode substituir o trecho da viagem de acesso por modos ativos, a exemplo das pessoas com mobilidade reduzida. Porém, se a demanda por essas linhas alimentadoras e locais for menor, havendo uma reestruturação da oferta de linhas no intuito de diminuir a frequência das linhas alimentadoras e melhorar o nível de serviço de linhas troncais, levanta-se a hipótese de que essa ação melhore a eficiência econômica e operacional do sistema de transporte público.

REFERÊNCIAS

- ABEP. **Critério de Classificação Econômica Brasil - 2015**. Brasil. 2015. Disponível em: <<https://www.abep.org/criterio-brasil>>.
- ANDRADE, B. R. **Compreensão da Problemática da Periferização por Segregação Involuntária no Planejamento da Acessibilidade e Mobilidade em Fortaleza**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, 2016.
- BOARNET, M. G. GIULIANO, G.; HOU, Y.; SHIN, E. J. First/last mile transit access as an equity planning issue. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 103, 2017.
- BRAGA, C. K. V. **Big Data de Transporte Público na Análise da Variabilidade de Indicadores da Acessibilidade às Oportunidades de Trabalho e Educação**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará., 2019.
- CASTRO, I. R. DE. **Compreensão das Mudanças no Uso do Solo e na Acessibilidade ao Trabalho da População de Baixa Renda em Fortaleza**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará., 2019.
- COSTA, E. G. B.; BEZERRA, R. G. Política de Transporte: Implantação do Bilhete Único no Município de Fortaleza. **Conhecer: Debate Entre O Público E O Privado**, v. 6, n. 16, p. 49–66, 2016.
- COSTA LIMA, R. **Caracterização do Uso Integrado de Bicicleta Compartilhada e Ônibus em Fortaleza**. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Civil. Universidade Federal do Ceará, 2018.
- COSTA LIMA, R. C.; SIQUEIRA, M. F.; COSTA, T. B.; LOPES, A. S.; LOUREIRO, C. F. G. Big Data na Caracterização do Uso Integrado de Bicicleta Compartilhada e Ônibus em Fortaleza. **XXXIII Congresso Nacional de Pesquisa em Transportes da ANPET. Modelos e Técnicas de Planejamento de Transportes**. Balneário Camburiú, SC., p. 2784–2796, 2019.

COSTA, T. B. **Integração Bicicleta – Transporte Público: Barreiras e Oportunidades para a Acessibilidade da População de Baixa Renda em Fortaleza.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará., 2019.

COSTA, T. B.; SIQUEIRA, M. F.; COSTA LIMA, R. C.; LOPES, A. S.; LOUREIRO, C. F. G. Integração Bicicleta-Transporte Público no Contexto de Grandes Cidades Brasileiras. **XXXIII Congresso Nacional de Pesquisa em Transportes da ANPET. Modelos e Técnicas de Planejamento de Transportes.** Balneário Camburiú, SC., 2019.

DE JONG, G; DALY, A.; PIETERS; M.; HOORN; T.V.D. The logsum as an evaluation measure: Review of the literature and new results. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 41, n. 9 SPEC. ISS., p. 874–889, 2007.

DE SOUZA, F.; PUELLO, L. L. P.; BRUSSEL, M; ORRICO, R.; MAARSEVEEN; M. V. 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, out. 2017.

DEBREZION, G.; PELS, E.; RIETVELD, P. Modelling the joint access mode and railway station choice. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 45, n. 1, p. 270–283, 2009.

GARCIA, C. S. H. F. et al. Strategic Assessment of Lisbon’s Accessibility and Mobility Problems from an Equity Perspective. **Networks and Spatial Economics**, v. 18, n. 2, p. 415–439, 1 jun. 2018.

GEURS, K.; VAN WEE, B. Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. **Journal of Transport Geography**, v. 12, n. 2, p. 127–140, 2004.

GIVONI, M.; RIETVELD, P. The access journey to the railway station and its role in passengers’ satisfaction with rail travel. **Transport Policy**, v. 14, n. 5, p. 357–365, set. 2007.

HEINEN, E.; BOHTE, W. Multimodal Commuting to Work by Public Transport and Bicycle. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2468, n. 1, p. 111–122, jan. 2014.

- HENRIQUE, C. S. **Diagnóstico Espacial da Mobilidade e da Acessibilidade dos Usuários do Sistema Integrado de Transporte de Fortaleza**. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará., 2004.
- HENRIQUE, C. S.; LOUREIRO, C. F. G. Diagnóstico espacial da mobilidade e da acessibilidade dos usuários do sistema integrado de transporte de Fortaleza. **XIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transportes, ANPET**. Recife, PE, 2005.
- HOUAISS, A.; VILLAR, M. DE S.; FRANCO, F. M. DE M. **Dicionários Houaiss da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2009.
- IPLANFOR, I. DE P. DE F. **Plano de Mobilidade de Fortaleza PlanMob**, 2015.
- JÄPPINEN, S.; TOIVONEN, T.; SALONEN, M. Modelling the potential effect of shared bicycles on public transport travel times in Greater Helsinki: An open data approach. **Applied Geography**, v. 43, p. 13–24, set. 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, mar. 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.
- KNEIB, E. C.; PORTUGAL, L. DA S. Caracterização da acessibilidade e suas relações com a mobilidade e o desenvolvimento. In: **TRANSPORTE, MOBILIDADE E DESENVOLVIMENTO URBANO**. 1^a ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.
- KRIZEK, K. J.; STONEBRAKER, E. W. Assessing Options to Enhance Bicycle and Transit Integration. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2217, n. 1, p. 162–167, jan. 2011.
- LEVINE, J.; GARB, Y. Congestion pricing's conditional promise: Promotion of accessibility or mobility? **Transport Policy**, v. 9, n. 3, p. 179–188, 2002.
- LIMA, L. S. **Espraiamento urbano por autosegregação e seus impactos na acessibilidade urbana de Fortaleza**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará. 2017.

LIMA, L. S.; LOUREIRO, C. F. G.; SOUSA, F.F.L.M.; LOPES, A. S. Espreadimento urbano e seus impactos nas desigualdades socioespaciais da acessibilidade ao trabalho em Fortaleza. **Transportes**, v. 29, n. 1, 2021.

MA, X.; JI, Y.; YANG, M.; JIN, Y.; TAN X. Understanding bikeshare mode as a feeder to metro by isolating metro-bikeshare transfers from smart card data. **Transport Policy**, v. 71, n. November 2018, p. 57–69, 2018.

MACÊDO, B.; PINTO, D. G. L.; SIQUEIRA, M. F.; LOPES, A. S.; LOUREIRO, C. F. G. Caracterização das Diferenças no Padrão de Mobilidade de Mulheres e Homens em Grandes Cidades Brasileiras. **Transportes**, v. 28, n. 4, 2020.

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

PEREIRA, R. H. M.; BRAGA, C. K. V.; SERRA, B.; NADALIN, V. Desigualdades socioespaciais de acesso a oportunidades nas cidades brasileiras, 2019. **Texto para discussão IPEA**, v. 2535, 2019.

PEREIRA, R. H. M. Future accessibility impacts of transport policy scenarios: Equity and sensitivity to travel time thresholds for Bus Rapid Transit expansion in Rio de Janeiro. **Journal of Transport Geography**, v. 74, p. 321–332, 1 jan. 2019.

PEREIRA, R. H. M.; SARAIVA, M.; HERSZENHUT, D.; BRAGA, C. K. V.; CONWAY, M. W. r5r: Rapid Realistic Routing on Multimodal Transport Networks with R 5 in R. **Findings**, v. 21262, 4 mar. 2021.

PINTO, D. G. L. **Compreensão das Desigualdades Socioespaciais na Acessibilidade ao Trabalho Formal e Informal em Fortaleza**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará., 2020.

PINTO, D. G. L.; SIQUEIRA, M. F.; LOUREIRO, C. F. G.; SOUSA, F.F.L.M. Inferência causal da evolução dos padrões de escolha modal por classe de renda em Fortaleza. **XXXV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes - ANPET, 2021. Anais do 35º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes**, 2021.

PINTO, D. G. L.; LOUREIRO, C. F. G.; SOUSA, F. F. L. DE M. Socio-spatial inequalities in accessibility to jobs in Fortaleza under distinct metrics. **Transportes**, v. 29, n. 3, 2021.

PREFEITURA DE FORTALEZA. **PASFOR - RT02 - Coleta de Dados**, 2020a.

PREFEITURA DE FORTALEZA. **Faixas Exclusivas de Ônibus**. Disponível em: <bit.ly/faixas_exclusivas_de_onibus>. Acesso em: 23 dez. 2020b.

PREFEITURA DE FORTALEZA. **Malha Cicloviária**. Disponível em: <<https://mobilidade.fortaleza.ce.gov.br/menu-programas/malha-cicloviaria.html>>. Acesso em: 3 jan. 2020c.

PREFEITURA DE FORTALEZA. **Prefeitura de Fortaleza completa seis anos do Bicicletar com novas estações nos bairros Vila Peri, Conjunto Ceará e Bom Jardim**. Disponível em: <<https://www.fortaleza.ce.gov.br/noticias/prefeitura-de-fortaleza-completa-seis-anos-do-bicicletar-com-novas-estacoes-nos-bairros-vila-peri-conjunto-ceara-e-bom-jardim>>. Acesso em: 4 jan. 2021.

PREFEITURA DE FORTALEZA. **Bilhete Único**. Disponível em: <<https://mobilidade.fortaleza.ce.gov.br/transporte/bilhete-unico.html>>. Acesso em: 2 maio. 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA. **Anuário de Transporte Público**, 2010.

PRITCHARD, J. P.; TOMASIELLO, D. B.; GIANNOTTI, M. GEURS, K. Potential impacts of bike-and-ride on job accessibility and spatial equity in São Paulo, Brazil. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 121, n. January, p. 386–400, 2019.

PRITCHARD, J. P.; STĘPNIAK, M.; GEURS, K. T. Equity analysis of dynamic bike-and-ride accessibility in the Netherlands. **Measuring Transport Equity**, p. 73–83, 2019.

PUELLO, L. L. P.; GEURS, K. Modelling observed and unobserved factors in cycling to railway stations: Application to transit-oriented-developments in the Netherlands. **European Journal of Transport and Infrastructure Research**, v. 15, n. 1, p. 27–50, 2015.

RIETVELD, P. Non-motorised modes in transport systems: A multimodal chain perspective for The Netherlands. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 5, n. 1, p. 31–36, 2000.

SIQUEIRA, M. F. **Modelagem comportamental da escolha por integração bicicleta-ônibus em Fortaleza**. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Civil. Universidade Federal do Ceará., 2018.

SOUSA, F. F. L. DE M. **Diagnóstico Estratégico das Desigualdades Socioespaciais na Acessibilidade ao trabalho em Fortaleza**. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará., 2019.

SOUSA, P. B.; KAWAMOTO, E. Análise de fatores que influem no uso da bicicleta para fins de planejamento ciclovitário. **TRANSPORTES**, v. 23, n. 4, p. 79–88, 9 nov. 2015.

SOUZA, M. L. DE. **ABC do desenvolvimento urbano**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

SOUZA, H. H. H. **Caracterização da problemática da acessibilidade urbana com base no valor do tempo percebido pelos usuários**. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará., 2018.

UBER. **H3: Uber's Hexagonal Hierarchical Spatial Index**. Disponível em: <<https://eng.uber.com/h3/>>. Acesso em: 17 fev. 2020.

VASCONCELOS, P. DE A.; PINTAUDI, S. M.; CORRÊA, R. L. **A cidade contemporânea - segregação espacial**. 1ª ed. São Paulo: Contexto, 2013.

ZANDONADE, P.; MORETTI, R. O padrão de mobilidade em São Paulo e o pressuposto de desigualdade. **EURE**, v. 38, n. 113, p. 77–97, 2012.

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.