



ANÁLISE DOS FATORES RELEVANTES NA ESCOLHA DA LOCALIZAÇÃO DE ESTAÇÕES DOS SISTEMAS DE COMPARTILHAMENTO DE BICICLETAS

Rebeca Costa Bittencourt

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientadores: Licínio Portugal

Ronaldo Balassiano

Rio de Janeiro

Abril de 2020

ANÁLISE DOS FATORES RELEVANTES NA ESCOLHA DA LOCALIZAÇÃO DE
ESTAÇÕES DOS SISTEMAS DE COMPARTILHAMENTO DE BICICLETAS

Rebeca Costa Bittencourt

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Orientadores: Licio Portugal

Ronaldo Balassiano

Aprovada por: Prof^a. Andrea Souza Santos

Prof. Licio Portugal

Prof^a. Vânia Barcellos Gouvêa Campos

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

ABRIL DE 2020

Bittencourt, Rebeca Costa

Análise dos fatores relevantes na escolha da localização de estações dos sistemas de compartilhamento de bicicletas. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2020.

XIII, 123 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Licio Portugal

Ronaldo Balassiano

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2020.

Referências Bibliográficas: p. 119-123.

1. Compartilhamento de Bicicletas. 2. Estações. 3. Análise de Regressão. I. Portugal, Licio *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

À Clara,
que ressignificou este sonho.

Agradecimentos

A Deus por, ao longo de toda a minha história até aqui, sempre ter me ensinado o exercício da confiança e a certeza de que com Ele tudo posso. Espero poder me alegrar sempre com as vitórias conquistadas pelo meu esforço, mas nunca esquecendo quem é Aquele que me capacita, sustenta e direciona.

Aos meus pais, que me ensinaram a importância da educação e do conhecimento e semearam em mim o desejo de buscar ser sempre o melhor que eu puder, sem desrespeitar os meus limites e a minha essência. À minha irmã, minha grande incentivadora para qualquer projeto e a melhor em me animar em dias difíceis. Ao meu esposo, companheiro de vida e pai de minha filha, por me ensinar todos os dias o valor daquilo que é conquistado com sacrifício, por me ajudar a me transformar em uma versão mais leve e feliz de mim mesma, e por acreditar na minha capacidade de realizar meus sonhos e projetos. E à minha filha, cujas feições ainda não conheço e que, estando ainda em tempo de gestação, já mudou tudo. Este trabalho é especialmente para você, para mostrar que antes de qualquer rótulo ou convenção social que nos imponham, somos aquilo que queremos e nos esforçamos para ser. O mundo é seu!

Aos orientadores desta dissertação. Agradeço imensamente ao incrível professor Licínio Portugal, por toda a sua dedicação e excelência em me conduzir neste trabalho, com uma generosidade própria de quem, mais do que conhecimentos, alcançou sabedoria. E ao igualmente querido professor e amigo Ronaldo Balassiano, por tornar esta experiência desafiadora tão mais leve e palpável, sempre exaltando o meu potencial e capacidade.

À Secretaria Municipal de Transportes da cidade do Rio de Janeiro, que me permitiu investir tempo neste mestrado. Agradeço de maneira muito especial à Simone Costa, minha primeira chefe no serviço público, que, pelo exemplo e incentivo, fez com que tudo isso fosse possível.

Por fim, agradeço ao Programa de Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ, pela preocupação em promover educação de excelência. E pela gentileza e atenção das queridas Helena Santos e Jane Correa.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ANÁLISE DOS FATORES RELEVANTES NA ESCOLHA DA LOCALIZAÇÃO DE
ESTAÇÕES DOS SISTEMAS DE COMPARTILHAMENTO DE BICICLETAS

Rebeca Costa Bittencourt

Abril/2020

Orientadores: Licínio Portugal
Ronaldo Balassiano

Programa: Engenharia de Transportes

Esta pesquisa visa levantar e avaliar os fatores locais e socioeconômicos que influenciam no potencial uso de uma estação de compartilhamento de bicicletas, de forma a obter resultados que orientem a localização de estações desse sistema, aumentando a sua eficiência e estimulando o uso de novos usuários. Por meio de técnicas de regressão, tais fatores serão avaliados quanto à sua relevância no caso da cidade do Rio de Janeiro, através da verificação da relação de indicadores de demanda das estações do sistema Bike Rio e dados locais e socioeconômicos da cidade. Por fim, serão apresentadas regiões do subúrbio carioca que, tomando por base as equações encontradas através da análise de regressão apresentam potencial para receber estações do sistema.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ANALYSIS OF RELEVANT FACTORS IN CHOOSING OF THE LOCATION OF
BICYCLE SHARING SYSTEMS STATIONS

Rebeca Costa Bittencourt

April/2020

Advisors: Licinio Portugal

Ronaldo Balassiano

Department: Transportation Engineering

This research aims to raise and evaluate the locational and socioeconomic factors that influence the potential use of a bicycle sharing station, in order to obtain results that guide the location of stations of this system, increasing its efficiency and stimulating the use of new users. By means of regression techniques, such factors will be evaluated for their relevance in the case of the city of Rio de Janeiro, by verifying the relationship of demand indicators of the stations of the Bike Rio system and local and socioeconomic data of the city. Finally, regions of the Rio de Janeiro suburb will be presented that, based on the equations found through regression analysis, have the potential to receive stations from the system.

SUMÁRIO

Agradecimentos	v
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xii
1. Introdução	1
1.1. Descrição do problema de pesquisa e hipóteses	2
1.2. Objetivos Geral e Específicos.....	3
1.3. Justificativa e Relevância	4
1.4. Estrutura do Trabalho	5
2. Revisão Bibliográfica	7
2.1 Considerações Iniciais.....	7
2.2 Os Sistemas de Compartilhamento de Bicicletas.....	7
2.3 Estudos sobre Localização de Estações dos Sistemas de Compartilhamento de Bicicletas	11
2.4 Estudos sobre os Fatores que Interferem na Decisão do Usuário	23
2.5 Evolução dos estudos de localização de estações pelo método da regressão.....	28
2.6 Síntese dos Estudos Apresentados	34
3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	38
3.1 Considerações iniciais	38
3.2 Definição do Modelo Teórico	38
3.3 Concepção do Procedimento.....	42
3.4 Identificação dos Principais Fatores Locacionais e Socioeconômicos	44
3.4.1 Características Socioeconômicas e Demográficas.....	46
3.4.2 Uso do Solo e Ambiente Construído	49
3.4.3 Ambiente Natural.....	52
3.4.4 Infraestrutura Viária (Facilidades).....	52
3.4.5 Atitudes e Percepções	55
3.4.6 Características do Sistema	57
3.5 Coleta de Dados Locacionais, Socioeconômicos e do Sistema	58

3.6	Definição das Variáveis de acordo com os Dados Disponíveis	59
3.7	Análise dos Fatores Estatisticamente Relevantes nas Demandas das Estações Existentes.....	59
3.8	Identificação das Variáveis e Respectiveos Fatores com Melhor Capacidade de Explicação	60
3.8.1	Modelo de Regressão Linear Simples.....	61
3.8.2	Modelo de Regressão Linear Múltipla.....	62
3.8.3	Método dos Mínimos Quadrados.....	62
3.8.4	Coefficiente R^2	63
3.8.5	Valor-p	64
3.9	Identificação das Áreas Desatendidas com Potencial para Receber Estações	64
3.10	Análise dos Resultados e Estabelecimento de Conclusões	64
4.	ESTUDO DE CASO.....	65
4.1	Considerações Iniciais.....	65
4.2	O Sistema Bike Rio.....	65
4.2.1	Histórico.....	65
4.2.2	Funcionamento.....	68
4.3	Identificação dos Principais Fatores Locacionais e Socioeconômicos	69
4.4	Coleta de Dados Locacionais, Socioeconômicos e do Sistema	70
4.5	Definição das Variáveis de acordo com os Dados Disponíveis	71
4.5.1	Variável Dependente.....	71
4.5.2	Variáveis Independentes	72
4.6	Análise dos Fatores Estatisticamente Relevantes nas Demandas das Estações Existentes.....	79
4.6.1	Matriz de Correlação – Geração de viagens no Pico Manhã.....	86
4.6.2	Matriz de Correlação – Produção de viagens no Pico Manhã	87
4.6.3	Matriz de Correlação – Atração de viagens no Pico Manhã.....	88
4.6.4	Matriz de Correlação – Geração de viagens no Pico Tarde.....	88
4.6.5	Matriz de Correlação – Produção de viagens no Pico Tarde.....	89
4.6.6	Matriz de Correlação – Atração de viagens no Pico Tarde	89
4.6.7	Síntese das Correlações	90
4.7	Identificação das Variáveis e Respectiveos Fatores com Melhor Capacidade de Explicação	91

4.7.1	Variáveis Estatisticamente Relevantes para a Geração de Viagens no Pico da Manhã	91
4.7.2	Variáveis Estatisticamente Relevantes para a Produção de Viagens no Pico da Manhã	92
4.7.3	Variáveis Estatisticamente Relevantes para a Atração de Viagens no Pico da Manhã	93
4.7.4	Variáveis Estatisticamente Relevantes para a Geração de Viagens no Pico da Tarde	95
4.7.5	Variáveis Estatisticamente Relevantes para a Produção de Viagens no Pico da Tarde	96
4.7.6	Variáveis Estatisticamente Relevantes para a Atração de Viagens no Pico da Tarde	97
4.7.7	Síntese dos Resultados Encontrados	98
4.8	Identificação das Áreas Desatendidas com Potencial para Receber Estações	99
4.8.1	Áreas Potenciais – Geração de Viagens no Pico da Manhã	100
4.8.2	Áreas Potenciais – Produção de Viagens no Pico da Manhã.....	102
4.8.3	Áreas Potenciais – Atração de Viagens no Pico da Manhã	103
4.8.4	Áreas Potenciais – Geração de Viagens no Pico da Tarde	104
4.8.5	Áreas Potenciais – Produção de Viagens no Pico da Tarde	105
4.8.6	Áreas Potenciais – Atração de Viagens no Pico da Tarde	106
4.8.7	Áreas Potenciais	108
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	111
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Artigos encontrados na base Web of Science com as expressões “bike sharing” e “station”.....	11
Figura 2.2 - Artigos encontrados na base Web of Science com as expressões “bike sharing station” e “location”	13
Figura 2.3 – Densidades de viagens potenciais no centro de Madri.....	17
Figura 3.1 – Etapas do Procedimento Proposto.....	44
Figura 4.1 – Estação do Sistema Alternativo para Mobilidade por Bicicletas (SAMBA)	66
Figura 4.2 – Estação do Sistema Bike Rio	67
Figura 4.3 – Distribuição das Estações Bike Rio	68
Figura 4.4 - Gráfico do Modelo de Geração de Viagens no Pico da Manhã.....	92
Figura 4.5 - Gráfico do Modelo de Produção de Viagens no Pico da Manhã.....	93
Figura 4.6 - Gráfico do Modelo de Atração de Viagens no Pico da Manhã	94
Figura 4.7 - Gráfico do Modelo de Geração de Viagens no Pico da Tarde.....	95
Figura 4.8 - Gráfico do Modelo de Produção de Viagens no Pico da Tarde.....	96
Figura 4.9 - Gráfico do Modelo de Atração de Viagens no Pico da Tarde	97
Figura 4.10 - Malha de Pontos - Subúrbio do Rio de Janeiro	100
Figura 4.11 – Mapa de calor – Geração de viagens no Pico da Manhã.....	101
Figura 4.12 – Mapa de Calor - Produção de Viagens no Pico da Manhã.....	102
Figura 4.13 - Mapa de Calor – Atração de Viagens no Pico da Manhã	104
Figura 4.14 - Mapa de calor – Geração de viagens no Pico da Tarde	105
Figura 4.15 – Mapa de Calor – Produção de Viagens no Pico da Tarde.....	106
Figura 4.16 - Mapa de Calor – Atração de Viagens no Pico da Tarde.....	107
Figura 4.17 - Áreas potenciais nos cenários de Geração de Viagens	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Dez artigos com maior média de citação por ano da busca de artigos na base Web of Science com as expressões “bike sharing” e “station”	11
Tabela 2.2 - Dez artigos com maior média de citações por ano da busca de artigos na base Web of Science com as expressões “bike sharing station” e “location”	14
Tabela 2.3 – Matriz Origem-Destino com 72 pares de demandas de viagens.....	15
Tabela 2.4 – Fatores do modelo de Rietveld e Daniel (2004)	24
Tabela 2.5 – Fatores do modelo de Dill e Car (2003)	25
Tabela 2.6 – Opinião Geral dos Entrevistados sobre o Sistema Bike PE.....	28
Tabela 2.7 – Variáveis do modelo de Daddio (2012).....	29
Tabela 2.8 – Variáveis do modelo de Tran et al. (2015)	31
Tabela 2.9 – Variáveis do estudo de Magalhães et al. (2018)	34
Tabela 3.1 - Modelos para estimativa de demanda de transportes não motorizados.....	39
Tabela 3.2 - Modelos para estimativa da demanda potencial de transportes não motorizados	39
Tabela 3.3 - Descrição dos métodos de estimativa de demanda de transportes não-motorizados	40
Tabela 3.4 – Fatores relacionados ao uso da bicicleta.....	46
Tabela 3.5 - Fatores relacionados às características socioeconômicas e demográficas .	47
Tabela 3.6 - Fatores relacionados ao uso do solo e ambiente construído.....	50
Tabela 3.7 – Fatores relacionados ao ambiente natural.....	52
Tabela 3.8 - Fatores relacionados à infraestrutura viária.....	53
Tabela 3.9 - Fatores relacionados às atitudes e percepções.....	55
Tabela 3.10 - Fatores relacionados às características do sistema	57
Tabela 4.1 – Principais Fatores Locacionais e Socioeconômicos	69
Tabela 4.2 – Planilhas da Base de Informações por Setores Censitários – Censo 2010	70
Tabela 4.3 – Viagens Produzidas por Pico	72
Tabela 4.4 – Viagens Atraídas por Pico	72
Tabela 4.5 – Síntese das variáveis a serem utilizadas	78
Tabela 4.6 - Estações mais utilizadas no pico da manhã - Geração	80
Tabela 4.7 - Estações mais utilizadas no pico da tarde - Geração.....	83
Tabela 4.8 - Estações mais utilizadas no pico da manhã - Produção	81
Tabela 4.9 - Estações mais utilizadas no pico da manhã – Atração	82
Tabela 4.10 - Estações mais utilizadas no pico da tarde - Produção	83
Tabela 4.11 - Estações mais utilizadas no pico da tarde - Atração	85
Tabela 4.12 – Numeração das variáveis	86
Tabela 4.13 - Matriz de Correlação – Geração (Pico Manhã).....	87
Tabela 4.14 – Matriz de Correlação – Produção (Pico Manhã)	87
Tabela 4.15 - Matriz de Correlação – Atração (Pico Manhã)	88
Tabela 4.16 - Matriz de Correlação – Geração (Pico Tarde).....	88
Tabela 4.17 - Matriz de Correlação – Produção (Pico Tarde).....	89

Tabela 4.18 - Matriz de Correlação – Atração (Pico Tarde)	89
Tabela 4.19 – Nível de Correlação com a variável dependente	90
Tabela 4.20 - Síntese das variáveis relevantes para cada cenário	98
Tabela 4.21 – Bairros que apareceram como potenciais para receber estações	108

1.Introdução

Nos últimos anos, a percepção da necessidade de uma mobilidade mais sustentável tem trazido mudanças no planejamento das cidades. Vem surgindo políticas e métodos de incentivo ao uso do transporte não motorizado e transporte público, juntamente ao desestímulo do uso do automóvel.

Neste sentido, o uso da bicicleta como meio de transporte tem sido cada vez mais estimulado, uma vez que ela é uma opção saudável, econômica, sem emissões de gases poluentes, altamente eficiente, capaz de combinar a conveniência de um transporte porta-a-porta com a flexibilidade de rota e horários de um trajeto a pé. Além disso, as bicicletas aumentam grandemente a área de cobertura das estações de transporte público coletivo e são também uma alternativa para os trajetos de médias distâncias, isto é, aquelas que são consideradas muito longas para uma viagem a pé, e muito curtas para o uso do transporte motorizado (ITDP, 2014).

O uso da bicicleta como transporte público vem ganhando força a partir de uma nova onda socioeconômica emergente em todo o mundo, o consumo colaborativo. Ele é um movimento de colaboração e resgate do senso de comunidade que permite que as pessoas, além de perceberem os benefícios do acesso a produtos e serviços em detrimento da propriedade, economizem dinheiro, espaço e tempo (BOTSMAN E ROGERS, 2011). O transporte público individual por meio de sistemas de bicicletas compartilhadas já tomou várias formas ao longo da sua história de desenvolvimento, mas mantém como característica principal permitir que qualquer pessoa retire uma bicicleta pública em um local e a devolva ao sistema em outro local (ITDP, 2014).

Os sistemas de compartilhamento de bicicletas passaram, até o momento, por quatro gerações. A primeira geração surgiu em 1965, em Amsterdã, onde foi disponibilizada ao público, sem custo algum, uma frota de bicicletas comuns que, apesar de atraírem muitas pessoas, não possuíam sistemas de segurança. O modelo da segunda geração inova justamente nesse sentido, tendo por característica principal o depósito de moedas para o destravamento das bicicletas, além de acrescentar características como um serviço de rede, estações específicas e bicicletas distintas com cor e desenho especiais. Já a terceira geração incorporou tecnologia da informação ao sistema, facilitando a operação e a manutenção, disponibilizando ao usuário dados que facilitem a utilização do sistema

durante seus deslocamentos. E, por fim, os modelos da quarta geração apresentam tecnologias avançadas, inovando os métodos de retirada e devolução das bikes, com a utilização de GPS, entre outras modernizações (DE MELO E MAIA, 2013).

O trabalho aqui proposto consiste em duas partes: a primeira é uma revisão dos estudos de localização de estações de compartilhamento de bicicletas, a partir da qual serão identificados os principais fatores locacionais e socioeconômicos indicados como relevantes pelos pesquisadores para o sucesso de um sistema; e a segunda parte é o desenvolvimento de um procedimento que, por meio de técnicas de regressão, verifique a relação destes fatores com a demanda das estações do sistema da cidade do Rio de Janeiro, o Bike Rio.

1.1. Descrição do problema de pesquisa e hipóteses

Nos anos 60 e 70, os grandes centros urbanos brasileiros cresceram de forma descontrolada, favorecendo o desenvolvimento das periferias, processo conhecido como espraiamento e que gerou a criação dos subúrbios. A inclusão de novas tecnologias e as transformações culturais e demográficas impuseram mudanças importantes nos modos de circulação da população no meio urbano. Essa configuração foi influenciada pelo modelo de planejamento urbano que predominou nos Estados Unidos durante a segunda metade do século XX, priorizando a qualidade da viagem nos modos rodoviários, focalizando esforços e investimentos no melhoramento das condições e do nível de serviço para o automóvel (VILLADA, 2015).

Este modelo de urbanização resultou no cenário atual em que cerca de 85% da população vive em áreas consideradas urbanas, e 15 cidades já têm população superior a 1 milhão de habitantes. Neste contexto, a taxa de motorização brasileira vem crescendo de modo alarmante, passando de 14,4 milhões de automóveis para cada 100 habitantes em 2001 para 28,1 autos/100 hab em 2014 (OBSERVATÓRIO DAS METRÓPOLES, 2015). Apesar de não ser ainda uma taxa de motorização tão expressiva se comparada a de outros países, há o predomínio das modalidades, em especial as de transporte público coletivo, em também utilizar o espaço viário, que se caracteriza por suas precariedades.

Este cenário traz a discussão sobre a necessidade de uma mobilidade mais sustentável, cujas ações envolvem o incentivo ao uso de transporte não motorizado. Neste sentido, o

uso da bicicleta, que por si só já apresenta diversas vantagens, é ainda potencializado pelos sistemas de compartilhamento.

Os sistemas de compartilhamento de bicicletas já são utilizados em diversos países como uma modalidade efetiva de transporte público. No Brasil, entretanto, este sistema está ainda em desenvolvimento, onde, especificamente no Rio de Janeiro, apenas a Zona Sul, o Centro, a Tijuca e a Barra da Tijuca podem ser considerados como bem atendidos pelo Bike Rio, um sistema de terceira geração atuante desde 2011 na cidade. Ainda assim, há críticas sobre a concorrência grande em algumas estações e a ociosidade de outras, e ainda sobre a inexistência de estações em áreas aparentemente potenciais (CASA FLUMINENSE, 2017; O GLOBO, 2018). É nesse sentido, em busca de uma análise mais precisa que permita decisões mais estratégicas sobre as localizações das estações de compartilhamento de bicicletas, que este trabalho é desenvolvido.

O objeto de estudo desta dissertação é o sistema de compartilhamento de bicicletas para viagens cotidianas, sendo assim, os fatores e variáveis estudadas levam em consideração aspectos locacionais e socioeconômicos. Parte-se da premissa de que entre estes aspectos, existem aqueles que exercem considerável influência sobre a decisão do usuário. A partir daí, tem-se então a hipótese de que é possível identificar e modelar estes fatores de forma a contribuir para uma melhor decisão da localização de estações de bicicletas compartilhadas no que diz respeito à demanda de viagens.

Vale ressaltar, entretanto, que esta pesquisa estará limitada aos dados que forem disponibilizados pela empresa Tembici no que diz respeito às informações do sistema, e pela Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro no que se refere a dados locacionais e socioeconômicos.

1.2. Objetivos Geral e Específicos

Objetivo geral: Desenvolver um procedimento metodológico que auxilie na identificação de potenciais áreas para a localização de estações de sistemas de compartilhamento de bicicleta, com base em técnicas de regressão, tendo como referência o caso da cidade do Rio de Janeiro.

Objetivos específicos:

- Levantar e avaliar os fatores locacionais e socioeconômicos que influenciam o uso dos sistemas de compartilhamento de bicicletas;
- Avaliar a relação dos fatores levantados com a realidade da cidade do Rio de Janeiro.

1.3. Justificativa e Relevância

Atualmente, há mais de 400 cidades no mundo inteiro que fazem uso de sistemas de compartilhamento de bicicletas. Dentre elas, os sistemas de Paris, Londres e Washington são exemplos de grande sucesso que ajudaram a promover o ciclismo como opção viável e eficiente de transporte (ITDP,2014).

De uma maneira geral, a implantação de um programa de bicicletas compartilhadas está relacionada a metas de aumento do uso urbano da bicicleta, redução do congestionamento, melhoria da qualidade do ar e aumento da oferta de opções de transportes não motorizados. Aliadas às melhorias estão também as vantagens da implementação deste projeto em relação a outros da área de transporte: menor custo e menor prazo de implantação.

Entretanto, apesar das características favoráveis dos sistemas, a localização das estações mostra-se um fator decisivo para que efetivamente tais programas tenham sucesso. Escolhas erradas podem gerar desequilíbrios de oferta e demanda, ou seja, ociosidade de algumas estações e saturação de outras, além de áreas não cobertas, apesar de aparentes potencialidades. Conforme explicado no item 1.1, o Bike Rio é um exemplo de sistema de compartilhamento de bicicletas que passa por esses tipos de problema, que, inclusive, vêm sendo alvo de atenção e ações por parte da operadora.

Levando em consideração o apresentado, é possível perceber que a localização das estações de compartilhamento de bicicletas é um assunto atual e que ainda precisa ser mais profundamente explorado, para que se entenda quais são efetivamente os fatores que devem direcionar as decisões deste ramo. Principalmente no que se refere à América Latina, por suas especificidades, este é um tema ainda pouco explorado e, pela eficiência e expansão de tais sistemas, um tanto quanto necessário.

Desta forma, a partir do levantamento e análise dos dados, pretende-se chegar aos seguintes resultados:

- Principais fatores que influenciam a decisão do usuário e a demanda de uma estação, de maneira geral;
- Equação que explique as demandas das estações do sistema Bike Rio;
- Mapa de calor que destaque graficamente áreas potenciais para a localização de estações no subúrbio da cidade do Rio de Janeiro.

1.4. Estrutura do Trabalho

Esta dissertação está estruturada em 5 capítulos, assim distribuídos:

- Capítulo 1 – **Introdução:** Este capítulo apresenta os aspectos gerais que nortearam este estudo, os objetivos (geral e específicos) da pesquisa, sua justificativa e relevância.
- Capítulo 2 – **Revisão Bibliográfica:** Este capítulo apresenta uma revisão de literatura sobre os sistemas de compartilhamento de bicicleta, tratando desde o conceito de mobilidade urbana sustentável até a síntese dos fatores levantados como relevantes para a escolha da locação de estações.
- Capítulo 3 – **Procedimento Metodológico:** Neste capítulo é feita a descrição do procedimento proposto para análise e hierarquização de áreas candidatas à localização de estações de compartilhamento de bicicletas e os aspectos relacionados ao planejamento da coleta de dados. Além disso, os fatores considerados na revisão bibliográfica como influenciadores de demanda são elencados e organizados conforme suas características.
- Capítulo 4 – **Estudo de Caso:** Este capítulo apresenta a aplicação do procedimento proposto no estudo de caso do sistema de compartilhamento de bicicletas da cidade do Rio de Janeiro, o Bike Rio. São definidas as variáveis a serem utilizadas na análise de regressão e também a amostra de estações. Após a aplicação das técnicas estatísticas, são apresentadas as equações que buscam explicar as demandas das estações do sistema

fluminense e os respectivos mapas de calor, que destacam graficamente áreas potenciais para a localização de estações no subúrbio da cidade.

- **Capítulo 5 – Conclusões e Recomendações:** Apresentam-se os resultados da aplicação desta metodologia de auxílio aos tomadores de decisão, levando em consideração as relações entre os fatores levantados no Capítulo 2 e os encontrados no estudo de caso do Capítulo 4. São descritas algumas limitações às quais a dissertação está submetida e são sugeridos estudos futuros que aperfeiçoem o procedimento defendido.

2.Revisão Bibliográfica

2.1 Considerações Iniciais

Este capítulo trata, inicialmente, do conceito de mobilidade urbana sustentável e o uso da bicicleta como modo de transporte como um dos recursos favoráveis a esta nova linha de planejamento de transportes para as cidades. Apresenta também a revisão de estudos realizados ao redor do mundo que buscam definir as características e o perfil dos usuários do modo ciclovitário em áreas urbanas, sendo alguns deles mais específicos na abordagem do compartilhamento de bicicletas, principalmente no que se refere à locação de estações de tais sistemas. Em seguida, sintetiza os fatores encontrados nesses estudos de forma a relacioná-los com a demanda das estações.

2.2 Os Sistemas de Compartilhamento de Bicicletas

Segundo o Ministério das Cidades (2005), a mobilidade urbana é o resultado da interação dos deslocamentos de pessoas e bens nas cidades, ou seja, vai além do deslocamento de veículos ou do conjunto de serviços implantados para esses deslocamentos. Ela é reconhecida como um dos mais importantes pré-requisitos para um melhor padrão de vida, uma vez que uma melhor mobilidade envolve condições mais favoráveis na realização de serviços essenciais e das atividades em geral, inclusive de lazer (DA SILVEIRA, 2010).

Nos últimos anos, a mobilidade urbana vem sendo discutida sob a ótica da sustentabilidade. A definição mais comum de sustentabilidade foi apresentada no relatório final, *Our Common Future*, da World Commission on Environment and Development de 1987, que define o desenvolvimento sustentável como uma forma de desenvolvimento que vai de encontro às necessidades da geração atual sem comprometer a possibilidade (ou capacidade) das gerações futuras em satisfazer as suas necessidades.

Dentro do conceito de mobilidade urbana, a sustentabilidade contempla tradicionalmente 3 dimensões: a ambiental, a social e a econômica. Do ponto de vista ambiental, pode-se tomar por base a definição do Ministério das Cidades (2007), segundo

a qual a mobilidade urbana sustentável se dá pela capacidade de fazer as viagens necessárias para realização dos direitos dos cidadãos com o menor gasto de energia possível e menor impacto ao meio ambiente. De acordo com as dimensões do desenvolvimento sustentável, pode-se considerar que a mobilidade dentro da visão da sustentabilidade deve ser alcançada pela integração entre os dois seguintes enfoques: um relacionado com a adequação da oferta de transporte ao contexto socioeconômico e outro relacionado com a qualidade ambiental. No primeiro se enquadram medidas que associam o transporte ao desenvolvimento urbano e a equidade social em relação aos deslocamentos e no segundo se enquadram a tecnologia e o modo de transporte a ser utilizado (CAMPOS, 2006).

O uso do solo também deve ser levado em consideração ao se tratar da mobilidade sustentável. O artigo de Mello e Portugal (2017) enfatiza a relevância da densidade e diversidade de uso do solo, desenho urbano, disponibilidade de transporte público e destinos acessíveis para a acessibilidade em escala microscópica (a que ocorre a pé ou por bicicleta). Instruem que os indicadores de acessibilidade incluam a influência das atividades disponíveis em cada localidade, tornando a representação da acessibilidade mais compatível com o desejo de modelar a integração transporte/ uso do solo.

Segundo Lautso *et al.* (2004), um bom programa de políticas de atuação urbana, visando a mobilidade sustentável, requer a coordenação de ações conjuntas com o intuito de gerar efeitos acumulativos de longo prazo atrelados ao balanceamento de metas ambientais, econômicas e sociais, incluindo as seguintes ações:

- Definir políticas de tarifação de transporte público e uso de automóvel, refletindo os custos externos causados e com diferenciação em relação a hora de pico e fora do pico, assim como, em áreas congestionadas e não congestionadas;
- Direcionar os programas de investimento em transportes para as mudanças que possam ocorrer na demanda como consequência da ação supracitada, e especialmente com relação ao aumento da demanda por transportes públicos mais rápidos e com melhores serviços;
- Desenvolver um plano de uso do solo dando suporte à necessidade por novas moradias próximas as áreas centrais, em cidades satélites ou ao longo de

corredores bem servidos de transporte público, além da crescente necessidade e oportunidade de utilizar o transporte público.

Mais especificamente sob o enfoque ambiental, Campos (2006) destaca algumas medidas que ajudam a alcançar a mobilidade sustentável por tal ótica, tais como: investimento em transporte público utilizando energia limpa; políticas de restrição de uso do transporte individual em áreas já poluídas; aumento da qualidade do transporte público; implantação de sistemas de controle de tráfego e de velocidade; adequação de veículos de carga, vias e pontos de parada; e conforto urbano (calçadas adequadas, ciclovias, segurança em travessias e arborização de vias).

A mobilidade sustentável é, então, um dos meios pelos quais busca-se uma abordagem alternativa ao modelo tradicional de planejamento de transportes, priorizando-se as pessoas em vez do automóvel. Para tanto, há o esforço por realizar ações que diminuam a necessidade de viagens e sua extensão, encorajando a substituição de outros modos de transporte e a busca de maior eficiência no sistema.

O uso da bicicleta como meio de transporte tem sido avaliado como uma das medidas que favorecem a mobilidade sustentável. A bicicleta é uma opção saudável, econômica, sem emissões de gases poluentes, altamente eficiente, capaz de combinar a conveniência de um transporte porta-a-porta com a flexibilidade de rota e horários de um trajeto a pé. Além disso, as bicicletas aumentam grandemente a área de cobertura das estações de transporte público coletivo e são também uma alternativa para os trajetos de médias distâncias, isto é, aquelas que são consideradas muito longas para uma viagem a pé, e muito curtas para o uso do transporte motorizado. (ITDP, 2014).

Nos últimos anos, o uso da bicicleta como transporte público vem ganhando força a partir de uma nova onda socioeconômica que vem emergindo em todo o mundo, o consumo colaborativo. Ele é um movimento de colaboração e resgate do senso de comunidade que permite que as pessoas, além de perceberem os grandes benefícios do acesso a produtos e serviços em detrimento da propriedade, economizem dinheiro, espaço e tempo (BOTSMAN E ROGERS, 2011).

O compartilhamento de bicicletas oferece uma alternativa de transporte que aumenta o uso da bicicleta, tornando o ciclismo mais conveniente e atraente para os usuários e integrando-o ao sistema de transporte. O princípio do compartilhamento é simples: os

indivíduos usam bicicletas conforme suas necessidades, sem os custos e responsabilidades da propriedade da bicicleta. O sistema consiste em um esquema flexível no qual o usuário tem acesso a bicicletas públicas disponíveis em estações sem vigilância, que podem ser utilizadas por um curto prazo, proporcionando assim a mobilidade diária. A reserva de bicicletas, sua retirada e sua devolução são feitas exclusivamente pelo usuário. Os programas de compartilhamento de bicicletas normalmente cobrem custos de compra e manutenção de bicicletas, bem como a responsabilidade de armazenamento e estacionamento (SHAHEEN *et al.*, 2010).

Conforme apontado por DeMaio (2009), os impactos do compartilhamento de bicicletas são profundos. Incluem o aumento do uso de transporte público, diminuição das viagens de veículos pessoais, menor emissão de gases do efeito estufa e saúde pública melhorada. Segundo o autor, à medida que há o aumento do preço do combustível, o aumento de congestionamentos e o crescimento das populações, surge uma maior consciência mundial sobre a necessidade de adaptar os modos de transporte existentes ou buscar novos que permitam o deslocamento das pessoas de forma mais ecológica, eficiente e economicamente viável. É neste sentido que o compartilhamento de bicicletas vem evoluindo.

Morton (2018) mostra que os sistemas de compartilhamento de bicicletas podem atrair diferentes grupos de usuários que são distintos em termos de suas experiências com o sistema, além de seus padrões de viagens e comportamentos. Explica que através da apreciação das semelhanças e diferenças entre os usuários, podem-se desenvolver estratégias de submercado que respondam às características particulares de cada um desses segmentos. Como estudo de caso, o autor avalia o sistema de Londres, identificando a presença de quatro grupos heterogêneos de membros: Viajantes Satisfeitos; Potenciais Renovadores; Pouco Frequentadores; Fora da Cidade Insatisfeitos. São apresentadas sugestões de ações estratégicas para cada um desses grupos, mostrando que há meios de tornar os sistemas de compartilhamento cada vez mais atrativos e inseridos na rotina de deslocamentos da vida urbana.

2.3 Estudos sobre Localização de Estações dos Sistemas de Compartilhamento de Bicicletas

Com a evolução dos sistemas de compartilhamento, um número considerável de estudos passaram a ser desenvolvidos sobre o tema. Em pesquisa realizada na base *Web of Science* foi possível encontrar um total de 242 artigos publicados contendo as expressões “bike sharing” (compartilhamento de bicicletas) e “station” (estação), entre 2000 e outubro de 2018, conforme mostra a Figura 2.1. Dentre este total de artigos, os 10 que tiverem as maiores médias de citações por ano encontram-se discriminados na Tabela 2.1.



Figura 2.1- Artigos encontrados na base Web of Science com as expressões “bike sharing” e “station”

Tabela 2.1 - Dez artigos com maior média de citação por ano da busca de artigos na base Web of Science com as expressões “bike sharing” e “station”

Título	Autores	Total de citações	Citações por ano
Bikeshare: A Review of Recent Literature	Fishman (2016)	65	21,7
Strategic design of public bicycle sharing systems with service level constraints	Lin et al (2011)	132	16,5
Mining bicycle sharing data for generating insights into sustainable transport systems	O'Brien et al (2014)	72	14,4
Inventory rebalancing and vehicle routing in bike sharing systems	Schuijbroek et al (2017)	27	13,5
Optimizing the location of stations in bike-sharing programs: A GIS approach	Garcia-Palomares, et al (2012)	93	13,3
A 3-step math heuristic for the static repositioning problem in bike-sharing systems	Forma (2015)	46	11,5
The bike sharing rebalancing problem: Mathematical formulations and benchmark instances	Dell'Amico (2014)	54	10,8
Factors influencing bike share membership: An analysis of Melbourne and Brisbane	Fishman et al (2015)	43	10,8
Promoting bike-and-ride: The Dutch experience	Martens (2007)	123	10,3
Effects of built environment and weather on bike sharing demand: a station level analysis of commercial bike sharing in Toronto	El-Assi et al (2017)	20	10,0

Apesar de apresentar publicações interessantes para o atual estudo, verificou-se que poderia haver uma seleção mais alinhada com o que se pretende pesquisar, a partir do uso de expressões que direcionem melhor a busca para artigos voltados ao objetivo desta dissertação: desenvolver um procedimento metodológico que auxilie na identificação de

potenciais áreas para a localização de estações de sistemas de compartilhamento de bicicleta. Sendo assim, foi realizada uma nova pesquisa na base *Web of Science*, desta vez com as expressões: “bike sharing station” (estações de compartilhamento de bicicletas) e “location” (locação). Tais expressões foram escolhidas com base nas palavras chaves encontradas nos artigos da primeira seleção que mais se aproximavam do tema em estudo. Foram encontrados 62 artigos publicados entre 2000 e outubro de 2018, conforme mostra a Figura 2.2 - Artigos encontrados na base Web of Science com as expressões “bike sharing station” e “location”. Entretanto, vale ressaltar dois artigos que apareceram apenas nesta primeira seleção (Tabela 2.1), mas se mostraram compatíveis com o tema desta dissertação: os trabalhos de Fishman *et al.* (2015) e Fishman (2016).

Fishman *et al.* (2015) constataram que os dois programas de compartilhamento de bicicletas da Austrália, em operação desde 2010, apresentavam taxas de uso significativamente baixas (aproximadamente 0,3 a 0,8 viagens por dia por bicicleta) em comparação à Europa, América do Norte e China (cerca de 3 a 6 viagens por dia por bicicleta). Para buscar entender e quantificar os fatores que influenciam a participação em bicicletas nestes dois programas, localizados em Melbourne e Brisbane, uma pesquisa online foi administrada a membros de ambos os programas, bem como a um grupo sem associação conhecida com o compartilhamento de bicicletas. Um modelo de regressão logística revelou vários preditores significativos de adesão, incluindo reações à legislação obrigatória sobre capacetes, atividade de pilotagem no mês anterior e o grau em que as conveniências motivaram a mobilidade interna. Além disso, os respondentes entre 18 e 34 anos e com estações a menos de 250 metros de seu local de trabalho foram considerados potenciais usuários. Por fim, aqueles com renda relativamente alta aumentaram as chances de adesão.

Já Fishman (2016) explica que a partir dos anos 90, vários temas começaram a surgir por meio de estudos que analisam o compartilhamento de bicicletas. Neste contexto, a conveniência tem se mostrado como principal motivador para o uso de bicicletas e as economias possibilitadas pela escolha deste modo de transporte são grande incentivo para o uso entre as pessoas com baixos rendimentos. Também verificou-se que a distância de moradia a uma estação de ancoragem é um importante fator de previsão para a adesão ao sistema.

Outras informações interessantes do estudo de Fishman (2016) são:

- em vários países, constatou-se que pouco menos de 50% dos usuários de bicicletas usam o sistema menos de uma vez por mês;
- os homens usam bicicletas mais do que as mulheres, mas o desequilíbrio não é tão grande quanto andar de bicicleta particular (pelo menos em países de baixa ciclagem);
- viagens pendulares são os tipos mais comuns para usuários anuais;
- os usuários do compartilhamento de bicicletas parecem menos propensos a se ferirem do que os ciclistas particulares;
- as direções futuras incluem integração com e-bikes, GPS (sistema de posicionamento global), sistemas sem estações de ancoragem e melhor integração de transporte público.

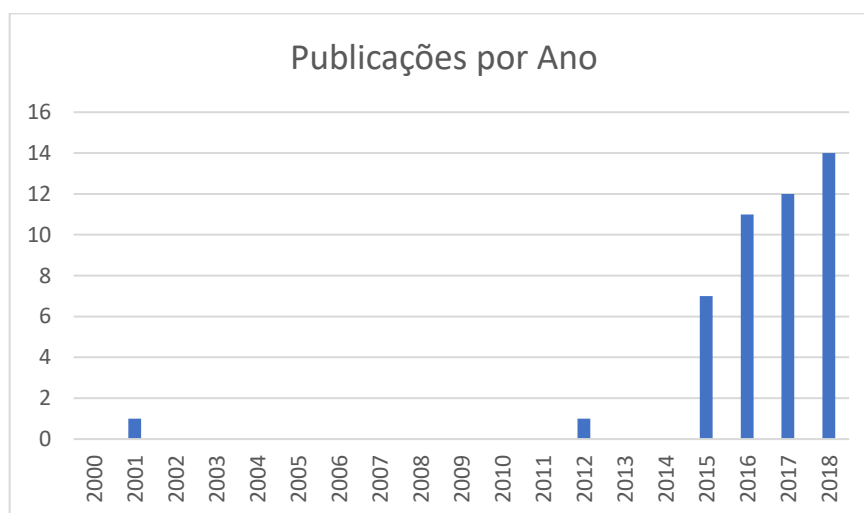


Figura 2.2 - Artigos encontrados na base Web of Science com as expressões “bike sharing station” e “location”

Tabela 2.2 - Dez artigos com maior média de citações por ano da busca de artigos na base Web of Science com as expressões “bike sharing station” e “location”

Título	Autores	Total de citações	Média por ano
Strategic design of public bicycle sharing systems with service level constraints	Lin e Yang (2011)	132	16,5
Mining bicycle sharing data for generating insights into sustainable transport systems	O'Brien <i>et al.</i> (2014)	72	14,4
Optimizing the location of stations in bike-sharing programs: A GIS approach	Garcia-Palomares <i>et al.</i> (2012)	93	13,29
Vehicle-to-Anything Application (V2Anything App) for Electric Vehicles	Ferreira <i>et al.</i> (2014)	29	5,8
Solving a static repositioning problem in bike-sharing systems using iterated tabu search	Sin e Szeto (2014)	27	5,4
An optimisation algorithm to establish the location of stations of a mixed fleet biking system: an application to the city of Lisbon	Martinez <i>et al.</i> (2012)	30	4,29
Bike-sharing stations: A maximal covering location approach	Frade e Ribeiro (2015)	17	4,25
A modeling framework for the dynamic management of free-floating bike-sharing systems	Caggiani <i>et al.</i> (2018)	4	4
Regulating vehicle sharing systems through parking reservation policies: Analysis and performance bounds	Kaspi <i>et al.</i> (2016)	10	3,33
Shared mobility systems	Laporte <i>et al.</i> (2015)	13	3,25

A Tabela 2.2 mostra os 10 (dez) artigos com maior média de citações, encontrados na segunda seleção, que serão comentados nos próximos parágrafos. Vale destacar os trabalhos de Lin e Yang (2011), O'Brien *et al.* (2014) e Garcia- Palomares *et al.* (2012), que aparecem nas duas seleções, mostrando sua relevância para o tema no cenário atual.

O que aparece em primeiro lugar é o trabalho desenvolvido por Lin e Yang em 2011, que aborda o planejamento estratégico de sistemas públicos de compartilhamento de bicicletas tendo por base o nível de serviço. Ao considerar os interesses tanto dos usuários quanto dos investidores, o modelo proposto tenta determinar o número e a localização das estações de bicicletas, a estrutura da rede de ciclovias conectadas entre as estações e as trajetórias dos usuários entre cada par de origens e destinos. Um exemplo foi criado para ilustrar o modelo proposto, considerando uma rede de quatro estações de ônibus, duas estações de BRT e seis edifícios comerciais, o que resultou num total de 72 pares de demandas de viagens (considerando-se que os deslocamentos acontecem entre as estações de ônibus/BRT e os edifícios). A matriz origem destino deste modelo é apresentada na Tabela 2.3, onde os pontos “i” representam as estações e “j” os edifícios.

Tabela 2.3 – Matriz Origem-Destino com 72 pares de demandas de viagens

	i1	i2	i3	i4	i5	i6	j1	j2	j3	j4	j5	j6
i1	0	0	0	0	0	0	10,000	15,000	10,000	15,000	10,000	15,000
i2	0	0	0	0	0	0	20,000	25,000	20,000	25,000	20,000	25,000
i3	0	0	0	0	0	0	10,000	15,000	10,000	15,000	10,000	15,000
i4	0	0	0	0	0	0	20,000	25,000	20,000	25,000	20,000	25,000
i5	0	0	0	0	0	0	30,000	30,000	35,000	30,000	35,000	30,000
i6	0	0	0	0	0	0	40,000	40,000	45,000	40,000	45,000	40,000
j1	10,000	20,000	10,000	20,000	30,000	40,000	0	0	0	0	0	0
j2	15,000	25,000	15,000	25,000	30,000	40,000	0	0	0	0	0	0
j3	10,000	20,000	10,000	20,000	35,000	45,000	0	0	0	0	0	0
j4	15,000	25,000	15,000	25,000	30,000	40,000	0	0	0	0	0	0
j5	10,000	20,000	10,000	20,000	35,000	45,000	0	0	0	0	0	0
j6	15,000	25,000	15,000	25,000	30,000	40,000	0	0	0	0	0	0

Fonte: Lin e Yang (2011)

Lin e Yang (2011) propõem modelos de localização de hubs (isto é, instalações que funcionam como pontos de consolidação, conexão e troca de fluxos entre origens e destinos estipulados) para determinar locais e tamanhos de estações e identificar a necessidade de ciclovias. O procedimento de solução desenvolvido envolve heurísticas para localização de estações e ciclovias, e para o cálculo dos custos destas instalações. As principais decisões de design consideradas são: o número e locais de estações de compartilhamento de bicicletas no sistema, a rede de ciclovias entre as estações, a seleção de caminhos de usuários entre origens e destinos e os níveis de estoque de bicicletas compartilhadas a ser mantido nas estações.

O nível de serviço fornecido para os usuários é medido pelo nível de cobertura da demanda e pelos custos de viagem, enquanto os custos de configuração para estações de bicicleta e ciclovias são considerados no caso do investidor. O projeto ideal do sistema público de compartilhamento de bicicletas requer uma visão integrada que engloba os custos de viagem dos usuários, os custos de instalação de estações de bicicleta, os custos de instalação de ciclovias, bem como o nível de serviço (LIN E YANG , 2011).

O'Brien *et al.* (2014), que tem a segunda maior média de citações, afirma ter desenvolvido o primeiro artigo a ter uma visão global das características de compartilhamento de bicicletas, analisando dados de 38 sistemas, localizados na Europa, Oriente Médio, Ásia, Australásia e Américas. Para tal fim, foi criado um extenso banco de dados contendo a localização geográfica e a ocupação de bicicletas de cada estação dos sistemas escolhidos, capaz de fornecer uma base na qual fosse possível compará-los e classificá-los. Segundo a pesquisa, a análise da variação das taxas de ocupação ao longo do tempo e a comparação em toda a extensão do sistema mostra informações importantes

sobre as características e intenções prováveis dos grupos de usuários. Uma das aplicações do conhecimento de tais padrões e características identificáveis do conjunto de dados seria dar informações norteadoras a operadores e formuladores de políticas a respeito da manutenção de um equilíbrio adequado de bicicletas em toda a área do sistema e da localização de novas estações e ciclovias.

Segundo O'Brien *et al.* (2014), o tamanho de um sistema pode ser expresso em termos do número de estações de ancoragem, o número de pontos de acoplamento de uma maneira geral, ou o número de bicicletas disponíveis para uso no sistema. A última métrica foi escolhida e vários sistemas de compartilhamento foram analisados. Além disso, verificou-se que as extensões geográficas dos 38 sistemas variam entre 20 km² e 200 km², com um aglomerado significativo em torno de 50 km². Também foi possível medir a distância média entre as estações de acoplamento. Os resultados indicam que aproximadamente 50% dos sistemas têm uma média de 300 a 400 m de distância. Todos os sistemas estudados foram baseados em áreas urbanas, que tipicamente possuem alta densidade de interseções, permitindo que as viagens sejam feitas em qualquer direção usando infraestrutura de pista ou ciclovia, com a distância percorrida não muito além da distância em linha reta.

García-Palomares *et al.* (2012) implementam modelos de alocação-localização para decidir sobre locais de estações. Para identificação de áreas potenciais, o trabalho, que tem como estudo de caso o centro de Madri, toma por base a distribuição espacial da demanda, a partir da relação de população e emprego com o número de construções, chegando ao número de produção e atração de viagens por edifícios. As soluções aplicadas foram minimizar a impedância e maximizar a cobertura.

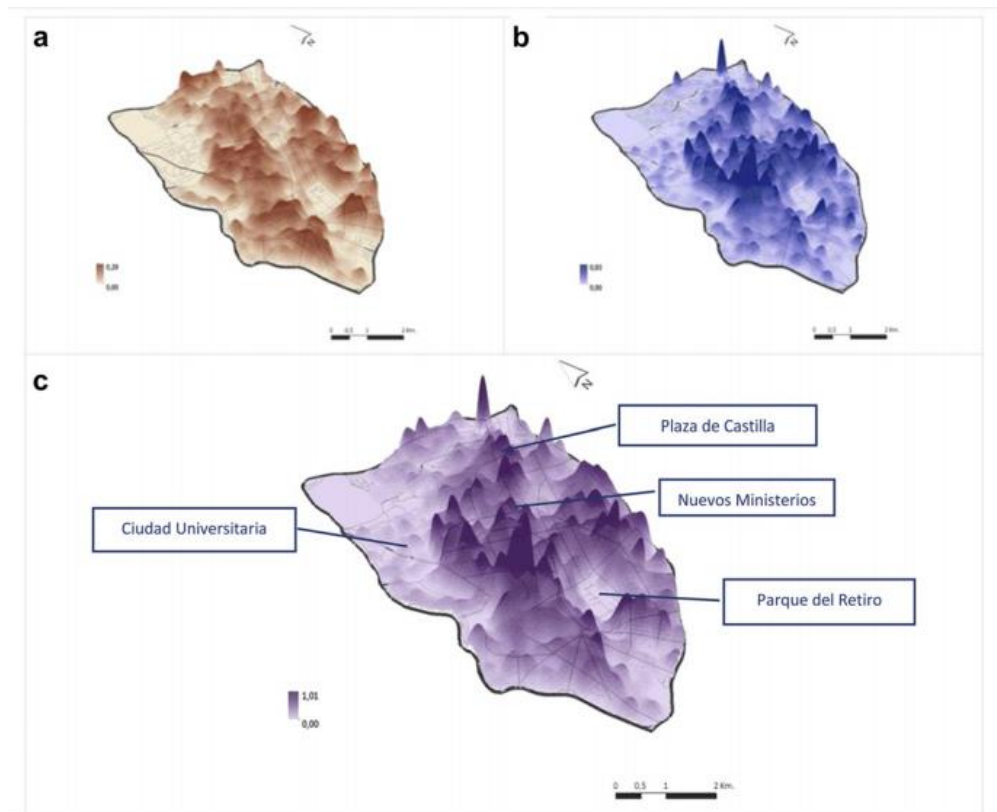


Figura 2.3 – Densidades de viagens potenciais no centro de Madri

Fonte: Garcia-Palomares *et al.* (2012)

Para chegar a esta relação “população-emprego-construções”, García-Palomares *et al.* (2012) explicam que a multiplicação do número de habitantes em cada prédio pela proporção de viagens geradas por habitante na zona de transporte do edifício dá o número de viagens geradas por cada edifício. Da mesma forma, multiplicando o número de empregos em cada prédio pela proporção de viagens atraídas pelo emprego na zona de transporte do edifício, obtém-se o número de viagens atraídas por prédio. Desta forma, zonas especializadas em atividades que atraem um alto número de viagens por trabalho (por exemplo, comerciais e educacionais) podem ser diferenciadas daquelas com atividades que atraem um baixo número de viagens por trabalho (por exemplo, industriais e escritórios). O número total de viagens é calculado adicionando os dados das viagens geradas e atraídas para cada edifício. A Figura 2.3 mostra as seguintes densidades: em (a) de potenciais viagens produzidas; em (b) de potenciais viagens atraídas; e em (c) de demanda potencial total.

Martinez *et al.* (2012) apresentam o projeto e implantação de um sistema de compartilhamento de bicicletas desenvolvido para Lisboa. O design deste novo serviço é

realizado através de uma heurística, englobando um Programa Linear Integral Misto, que otimiza a localização de estações de bicicleta compartilhadas, a dimensão da frota e medição das atividades de realocação de bicicletas necessárias em um dia de operação regular. O objetivo do trabalho é propor uma nova formulação para projetar uma rede de compartilhamento de bicicletas, incorporando os principais fatores de dimensionamento: a incerteza na estimativa de demanda, custos fixos e variáveis da infraestrutura de rede (isto é, frota de bicicletas, estações de ancoragem e custos de frota de realocação).

Para avaliar melhor a viabilidade de um sistema de compartilhamento de bicicletas em grande escala para a cidade de Lisboa, foram concebidos e testados vários cenários. Estes cenários apresentam vários atributos possíveis do sistema, como a vida útil de suas infraestruturas e bicicletas, o sistema de tarifas aplicadas e a variação da disposição ou vontade de utilizar uma bicicleta elétrica para cada minuto de viagem economizado. Para estimar a demanda potencial para tal sistema, uma base de dados foi gerada através de um modelo sintético de simulação de viagens desenvolvido e calibrado para a Área Metropolitana de Lisboa, apresentando todos os extremos de viagem discretizados tanto no espaço (ao nível do bloco de recenseamento) como no tempo (diferentes tempos de partida e chegada). Após a filtragem das viagens contidas na área de estudo, foi estimada uma avaliação da propensão ou vontade de cada viagem a ser realizada em bicicleta, utilizando um modelo calibrado de modo discreto de escolha para a cidade de Lisboa (MARTINEZ *et al.*, 2012).

Frade e Ribeiro (2015) desenvolveram uma pesquisa em que se propõe a utilização de um método de otimização para projetar um sistema de compartilhamento de bicicletas, de tal forma que a demanda coberta seja maximizada, tomando como restrição o orçamento disponível. O trabalho combina decisões estratégicas para localizar estações de compartilhamento de bicicletas e definir a dimensão do sistema (estações e número de bicicletas) com as decisões operacionais (realocação de bicicletas). Como resultado, o modelo determina a localização ideal das estações de bicicleta, o tamanho da frota, a capacidade das estações e o número de bicicletas em cada estação. Para explicar o método, é apresentado e discutido um estudo de caso em Coimbra, Portugal.

Segundo Frade e Ribeiro (2015), o modelo de otimização deve ser coordenado com um estudo de demanda para a cidade ou área urbana, dividido em zonas. A demanda é tomada como o número de viagens geradas e atraídas por cada zona, e as zonas devem

ser pequenas o suficiente para garantir distâncias de caminhada, e também para que o modelo seja o mais preciso possível, recomendando-se que nenhuma zona ultrapasse 500 m como a distância máxima entre dois pontos independentemente da sua forma.

Laporte *et al.* (2015) fizeram um estudo sobre as principais questões de pesquisa operacional que surgem em sistemas de mobilidade compartilhada, bem como os métodos que foram propostos para resolvê-los. Os autores examinam sucessivamente estudos sobre a localização de estações, o dimensionamento da frota, o dimensionamento da estação, os incentivos de reequilíbrio e o reposicionamento de veículos, concluindo que já existe uma ampla gama de ferramentas metodológicas para resolver a maioria dos problemas de planejamento levantados por sistemas de mobilidade compartilhados, mas que uma questão que merece ainda atenção é determinar o nível de estoque ideal em cada estação como um aspecto relevante do problema de reequilíbrio.

Os três outros trabalhos encontrados na seleção dos dez artigos mais citados não apresentaram grande relação com a questão da locação das estações de bicicletas compartilhadas. Caggiani *et al.* (2018) tratam mais especificamente do problema de reposição das bicicletas, concentrando-se em sistemas emergentes de 4ª geração, nos quais as bicicletas podem ser entregues ou recolhidas em praticamente qualquer lugar da rede e não apenas em estações de ancoragem. Já Ferreira *et al.* (2014) apresentam um sistema de informação móvel denominado “veículo para qualquer aplicação” (V2Anything App), que se destina a fornecer informações relevantes aos condutores de veículos totalmente elétricos, apoiando a integração de várias fontes de dados num aplicativo móvel, contribuindo assim para a implantação do processo de mobilidade elétrica. Por fim, Kaspi *et al.* (2016) defendem a importância de políticas de reserva de estacionamento para veículos de compartilhamento de bicicletas.

Além dos artigos destacados na Tabela 2.2, há outros estudos considerados relevantes para esta pesquisa e que foram abordados nos parágrafos que se seguem.

Zhang *et al.* (2013) partem do princípio de que a localização das estações de aluguel de bicicletas é o principal determinante para o sucesso do sistema, no que diz respeito ao seu desempenho, à conectividade com sistemas externos da área urbana (transporte público e instalações públicas de uma maneira geral) e à interação espacial entre as próprias estações. Os autores fornecem uma pesquisa bibliográfica sobre a implementação de sistemas de compartilhamento de bicicletas, os estudos que vêm sendo

desenvolvidos sobre este tema e, de maneira mais específica, a respeito dos modelos de localização-alocação aplicados a este caso. São apresentados como os quatro pontos-chave do sucesso destes modelos, os seguintes:

- A identificação dos fatores que determinam a aceitação e o nível de serviço dos sistemas de compartilhamento de bicicletas e em que situação o uso das bicicletas pode ser melhorado. No que diz respeito à identificação de tais fatores, os autores se referem à identificação das características e vantagens das bicicletas públicas em comparação a outros modos de transporte, destacando que o compartilhamento de bicicletas surge como uma opção de sistema de transporte público, e como uma solução para aliviar os problemas atuais de transporte e alcançar o objetivo de transporte sustentável;
- Ter por base características espaciais de desenvolvimento urbano;
- O uso de técnicas geoespaciais para a localização-alocação de estações;
- Um ambiente de apoio à decisão colaborativo, que leve em consideração em seus critérios a opinião de todas as partes interessadas.

Já Vogel *et al.* (2011) afirmam que as estações podem ser agrupadas de acordo com a estrutura de solicitação. Por exemplo, as estações em áreas residenciais são identificadas - na parte da manhã - por um número relativamente alto de pedidos de aluguel e um número relativamente baixo de retornos (podem ser classificadas na parte da manhã como produtoras de viagens). As estações em áreas de trabalho são indicadas por um número relativamente baixo de aluguéis e um número relativamente alto de retornos (podem ser classificadas na parte da manhã como atratoras de viagens).

O guia *Bike Share Station Siting Guide*, desenvolvido pela NACTO - National Association of City Transportation Officials (Associação Nacional de Funcionários de Transporte Urbano) em 2016, alerta para o fato de cada cidade ter suas próprias condições, cultura e restrições. Segundo o guia, que destaca as melhores práticas em localização de estações de compartilhamento de bicicletas nos Estados Unidos, é difícil construir diretrizes que atendam às especificidades de todas as cidades, uma vez que as decisões levam em consideração critérios técnicos, como larguras de calçada, volumes de pedestres e paradas de ônibus, bem como considerações políticas e desejos da comunidade. Destaca, entretanto que, apesar das especificidades, alguns princípios da localização de estações são universais, como o fácil acesso e a boa visibilidade.

O Guia de Planejamento de Sistemas de Bicicletas Compartilhadas desenvolvido pelo ITDP em 2014 trata de diversas etapas do planejamento de um sistema de compartilhamento de bicicletas, apontando alguns indicadores do sistema em geral. Ele também sugere alguns critérios para a localização de estações, a seguir:

- Densidade das estações em torno de 1 a cada 300 metros;
- Adjacentes a paradas e estações de transporte público;
- Ao longo de ciclovias preferencialmente;
- Público de várias direções (priorização de esquinas);
- Evitar áreas de uso único (comercial/residencial).

No que diz respeito ao contexto brasileiro, Caldas *et al.* (2014) fizeram uma adaptação do modelo proposto por Lin e Yang (2011), desconsiderando os custos de manutenção do estoque de bicicletas nas estações e o custo de segurança devido à incerteza da demanda. O método foi aplicado em uma pequena região do município de Vitória, capital do Espírito Santo. Os autores explicam o trabalho da seguinte forma:

“O problema estudado pode ser assim descrito: dados um conjunto de origens, destinos, locais candidatos a instalar estações de bicicletas (EB) e a demanda entre as origens e os destinos, deve-se determinar o número e a localização das EB que minimizem os custos totais do Sistema de Compartilhamento de Bicicleta (SCB). Considerando que os SCB são projetados para a comutação do usuário com os outros modos de transportes, a utilização do sistema, no modelo proposto, é que o usuário caminhe da origem (pontos de parada de ônibus, trem, metrô, BRT - Bus Rapid Transit, etc.) até uma EB próxima e retire uma bicicleta e pedale até uma EB próxima o destino para devolvê-la e depois caminhar até o seu destino. Considera-se que o retorno dos usuários é feito pelo mesmo caminho de ida.”
CALDAS *et al.* (2014)

A função objetivo utilizada por Caldas *et al.* (2014) minimiza os custos relacionados ao sistema de compartilhamento de bicicletas públicas, sendo composta de cinco termos: o primeiro termo é a soma dos custos da viagem a pé das origens até as estações de compartilhamento onde o usuário retira a bicicleta; o segundo é a soma dos custos de pedalar entre as estações de bicicleta de retirada e de entrega; o terceiro é o somatório dos custos do usuário andar da estação de bicicleta de entrega para o destino; o quarto termo é composto do somatório dos custos de instalar a estação de compartilhamento de bicicleta; e o último termo são os custos relacionados à construção de ciclovias/ciclofaixas entre as estações de compartilhamento.

O modelo proposto foi aplicado em uma pequena região do município de Vitória, capital do estado do Espírito Santo. Essa região compreende dois bairros e caracteriza-se por ter um grande fluxo de pessoas que se destinam à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e a um shopping center de médio porte. Sendo assim, as origens do modelo foram definidas nos pontos de parada de ônibus que existem ao longo da orla da praia de Camburi. E os destinos escolhidos foram a UFES e o shopping center. Foram escolhidos doze (12) locais como potenciais candidatos a estações de compartilhamento de bicicletas, seis (06) como locais de retirada e seis (06) como devolução das bicicletas.

Como não existiam estudos de previsão de demanda para o modo bicicleta na cidade de Vitória, a demanda entre as origens e os destinos foram definidas com base no número médio de passageiros por viagem e a frequência nas linhas de ônibus que operavam nas rotas internas da região (isto é, foram utilizados dados de linhas de ônibus que faziam a ligação da orla à UFES e ao shopping Center). Já no que se refere aos custos de entrada do modelo, o custo de implementação de cada estação foi considerado no valor de R\$250.000,00, com base em informação do ITDP (2014) e o custo do metro de se construir uma ciclovia, foi estimado entre R\$ 109,00 e 160,00, seguindo o estudo da AEERJ (2014). Os demais custos foram adaptados de Lin e Yang (2011): a taxa entre o custo unitário de andar até a estação e o custo unitário de pedalar entre as estações em torno de R\$ 5,00; o custo unitário de pedalar entre as estações (incluindo a taxa cobrada pelo uso do sistema) de R\$ 10,00 por quilômetro; e o custo unitário por quilômetro para andar até as estações de R\$ 2,00.

2.4 Estudos sobre os Fatores que Interferem na Decisão do Usuário

Os trabalhos apresentados no item anterior abordam de diversos modos a questão das estações no contexto do compartilhamento de bicicletas, alguns procurando identificar perfis de usuários e padrões de viagem, outros mais preocupados com a formação de uma rede apropriada, mas todos, de certa maneira, se relacionam com a busca pela maior produtividade do sistema. Para entender quais são os fatores que influenciam de alguma forma a escolha do usuário deste sistema, é importante conhecer quais são as variáveis que interferem nesta decisão não só no que diz respeito ao compartilhamento de bicicletas, mas também no modo de transporte cicloviário de uma maneira geral.

Beheshtitabar *et al.* (2014) avaliam e classificam parâmetros que têm influência sobre o comportamento de escolha de rota de ciclistas, buscando compreender de que forma eles contribuem para a decisão do usuário. Foi desenvolvido um modelo cujo objetivo é prever o caminho mais provável de um viajante regular entre dois pontos localizados em uma área definida. Para isto, foi necessário selecionar os atributos considerados mais relevantes e atribuir pesos a eles de forma que fosse possível chegar à função custo desejada. A partir da revisão bibliográfica, os autores destacaram como principais atributos encontrados na literatura a distância, o gradiente, a segurança de rota, o número de cruzamentos com semáforos, a atratividade (que, apesar de não ter sido claramente explicada pelos autores, pode ser entendida como um atributo relacionado a elementos do ambiente natural e construído), a qualidade da superfície das vias e o estacionamento de bicicletas. Entretanto, por limitações de dados e de tempo, optaram por usar como atributos significativos a distância, os declives, e a existência de instalações cicloviárias (isto é, ciclovias ou ciclofaixas).

Segundo Rietveld e Daniel (2004), há vários fatores que influenciam a demanda cicloviária em áreas urbanas, tais como renda, idade, gênero e padrões de atividades. A renda tem grande relação com a posse ou não de veículos, o que interfere na escolha individual do modo de transporte. A idade também influencia esta escolha, uma vez que pessoas mais idosas geralmente não dispõem de capacidade física para pedalar. Já no que diz respeito ao gênero, as mulheres estão mais sujeitas aos riscos sociais do que os homens. E, por fim, os padrões de atividades, que envolvem principalmente o motivo da viagem, fazem com que esta decisão varie de acordo com cada cenário. Sobre este último fator, leva-se em consideração, por exemplo, se os indivíduos têm emprego, vão à escola,

visitam parentes em determinados locais, sendo todas estas atividades que têm impacto evidente na demanda por viagens.

Rietveld e Daniel (2004) destacam também os fatores relacionados aos custos generalizados da bicicleta. Afirmam que o tempo de viagem depende da estrutura espacial das cidades, da presença ou não de infraestrutura cicloviária, além do tempo de espera nas interseções. No que diz respeito à capacidade física e ao conforto, explicam que estes fatores dependem do traçado e da qualidade das vias disponíveis para uso da bicicleta e do preparo físico dos indivíduos. O custo monetário da bicicleta também é considerado, incluindo os custos provenientes da manutenção e da permanência em bicicletários. Além disso, também são levados em consideração os riscos de roubo e furtos e a segurança viária (necessidade de sinalização horizontal e vertical adequada). Por fim, os custos generalizados dos modos de transporte motorizados também devem ser analisados, já que quanto maiores eles forem, maior será também a probabilidade da preferência pela bicicleta.

O modelo final do estudo de Rietveld e Daniel (2004) considera diversos fatores conforme mostra a Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Fatores do modelo de Rietveld e Daniel (2004)

Categoria	Fatores
Características da Cidade	População, faixa etária, etnia, indicador de atividade humana, áreas escolares, preferências políticas, posse de automóvel e topografia
Condições Meteorológicas	Velocidade do vento, temperatura e precipitação
Consequências de Políticas de Transportes	Segurança em relação ao tráfego e satisfação de uso da bicicleta
Esforços de Políticas de Transportes	Número de paradas, oferta de estacionamento, presença de obstáculos na rota e rapidez

Fonte: Adaptado de Rietveld e Daniel (2004)

O trabalho de Ashley e Banister (1989) usou variáveis relacionadas com a renda do indivíduo, e concluiu que, no que diz respeito à Inglaterra, as viagens de bicicleta decresciam com o aumento do valor de tais variáveis. O trabalho de Lott *et al.* (1977),

aplicado à região da Califórnia, teve um resultado parecido, verificando que as taxas de viagens de bicicleta aumentavam entre as ocupações que envolviam vendedores, mecânicos ou operários da construção, quando comparados com profissões de grau de instrução superior.

Dill e Car (2003) utilizam a técnica de estudos transversais (cross-section) para avaliar o efeito da provisão de infraestrutura para a circulação de bicicletas no nível de demanda de utilização da bicicleta para viagens casa-trabalho em 35 cidades norte-americanas. Os dados utilizados de uma pesquisa suplementar ao Censo norte-americano, realizado no ano de 2000, permitiram a seleção de 10 variáveis relacionadas às características socioeconômicas, de uso do solo, do clima e variáveis associadas a políticas de transportes, conforme apresentado na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Fatores do modelo de Dill e Car (2003)

Categoria	Fatores
Ocupação/ emprego	Escolaridade, Profissão
Disponibilidade/Atratividade de outros modos	Posse de veículos, Preço da gasolina
Uso do Solo	Densidade populacional, Uso de solo residencial
Características Socioeconômicas	Renda
Clima	Precipitação
Apoio público para o ciclismo	Investimento em transporte não-motorizado

Fonte: Adaptado de Dill e Car (2003)

Dill e Car (2003) destacam que, para que se haja elevadas taxas de uso de bicicletas em uma cidade, além da existência de uma infraestrutura extensa composta por ciclovias e/ou ciclofaixas, é necessário que esta infraestrutura esteja inserida em ligações de grande movimento e que existam bicicletários seguros disponíveis para os ciclistas.

Os resultados obtidos indicaram que existe uma associação positiva entre a provisão de ciclofaixas e a proporção de usuários de bicicletas que a utilizam em viagens casa-trabalho, sendo que o acréscimo de uma milha (1,61km) na densidade de ciclovias representa uma variação de 1% na demanda. Além disso, o sinal positivo para a variável investimento em transporte não-motorizado também denota a importância dessa variável

na equação obtida. Por outro lado, a posse de automóvel e o número de dias chuvosos foram identificados como fatores limitantes da demanda, o que é coerente com os resultados de outros estudos na literatura relevante sobre o tema (DILL E CAR, 2003).

Ortuzar *et al.* (2000) citam como fatores influenciadores do uso da bicicleta em áreas urbanas a distância e duração da viagem, a topografia e a segurança. A FHWA (2003), por sua vez, afirma que tais fatores estão divididos em três grupos de itens: percepções e necessidades iniciais; características das viagens; e características dos destinos. O primeiro grupo está relacionado com a percepção de cada indivíduo a respeito da utilidade dos modos de transporte para realizar determinado tipo de viagem, sendo, portanto, intrínseca de cada pessoa. Já o segundo grupo tem relação com a segurança viária, com o tempo de viagem, com a sensação de conforto, entre outros. E, por fim, o terceiro grupo está principalmente ligado à existência ou não de bicicletários e vestiários no local de destino.

Pucher e Buehler (2008) analisam o ciclismo urbano na Holanda, Alemanha, Dinamarca e Estados Unidos, salientando que o percentual de homens e mulheres que utilizam a bicicleta é praticamente igual nos países europeus, enquanto no país americano o total de viagens feitas por mulheres equivale a 24%. Isto indica que as variáveis têm diferentes relevâncias e impactos de acordo com cada país e região. Ainda neste estudo, verificou-se que nos países europeus, as taxas de uso da bicicleta são altas por parte dos jovens, sofrendo queda a partir do aumento da idade, e que os ciclistas estão distribuídos entre as diversas classes de renda.

No caso específico do Brasil, algumas pesquisas já realizadas indicam que a bicicleta é utilizada como meio de transporte principalmente em áreas periféricas das grandes cidades e que a população que a utiliza é geralmente pobre, do sexo masculino e em idade economicamente ativa.

A Pesquisa Perfil do Ciclista Brasileiro, desenvolvida pela Transporte Ativo em 2018, realizou entrevistas com 7644 ciclistas em diversas cidades das diferentes regiões brasileiras, dentre elas o Rio de Janeiro. De acordo com os dados da pesquisa é possível concluir que o uso da bicicleta como meio de transporte ainda é uma cultura em crescimento nas cidades brasileiras, uma vez que quase metade dos entrevistados (41%) começaram a utilizar a bicicleta com este intuito em uma data igual ou posterior a 5 anos

antes da pesquisa. Segundo os dados, a maior motivação para esta escolha é a sua rapidez e praticidade.

Ainda de acordo com a pesquisa, a maioria das viagens feitas por bicicleta no Brasil são rotineiras, havendo a predominância dos trajetos com ocorrência diária, ou nos dias úteis. Esse dado é ratificado pela informação de que o principal destino apontado foi o trabalho, citado por 75,8% dos entrevistados. Além deste, grande parte dos usuários se desloca por bicicleta com destino a atividades de lazer (61,9%) e compras (55,7%). Já os ciclistas que viajam a instituições de ensino correspondem a 25,4% dos entrevistados.

O tempo de trajeto mais frequente está entre 10 e 30 minutos (55,5%), seguido pelo tempo de até 10 minutos, ao qual correspondem 21,6% dos entrevistados. Além disso, vale ressaltar que a grande maioria dos ciclistas urbanos brasileiros entrevistados (88%) informaram não combinar a utilização da bicicleta com outro modo de transporte.

Também pela pesquisa foi possível perceber que o maior problema enfrentado pelo ciclista brasileiro é a falta de segurança no trânsito (40,8%). Outro problema considerado significativo (37,9%) é a falta de infraestrutura adequada, informação ratificada pela resposta de 47,6% dos entrevistados, que informaram que o que os faria pedalar mais seria a existência de mais e melhores infraestruturas adequadas. Em 2015, esta mesma pesquisa apontou a falta de respeito dos condutores motorizados como o maior dos problemas enfrentados pelos ciclistas, e que cerca de 20% dos entrevistados havia sofrido algum acidente de trânsito entre 2012 e 2015 enquanto pedalava.

Ainda no contexto brasileiro, de Macedo *et al.* (2018) identificaram algumas das barreiras e incentivos ao uso das bicicletas compartilhadas da cidade de Recife, que são disponibilizadas pelo sistema Bike PE. Através da aplicação de um questionário a alunos da graduação da UFPE com afirmações em Escala Likert (isto é, questionário no qual os entrevistados especificam seu nível de concordância com uma afirmação), foi possível conhecer algumas das diferenças entre usuários e não usuários.

Aos entrevistados foram dadas as opções de resposta em escala Likert de 1 a 5, variando entre “discordo totalmente”, “discordo parcialmente”, “indiferente”, “concordo parcialmente” e “concordo totalmente”. A Tabela 2.6 apresenta a opinião geral dos respondentes em relação às afirmações apresentadas, através da média e do desvio padrão além da mediana e da resposta mais apresentada. Pelos dados apresentados na tabela, foi

possível concluir que em apenas quatro afirmações os entrevistados não apresentaram indiferença (isto é, obtiveram médias fora do intervalo de 2,5 e 3,5).

Tabela 2.6 – Opinião Geral dos Entrevistados sobre o Sistema Bike PE

<i>Afirmação</i>	<i>Critério Estudado</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Mediana</i>	<i>Moda</i>
Os preços dos planos de adesão do sistema de bicicletas compartilhadas e a tarifa de tempo extra são acessíveis e atraentes.	Preço do sistema	3,02	1,38	3	4
É fácil de se cadastrar no sistema, utilizar o aplicativo e retirar e devolver as bicicletas nas estações.	Facilidade do sistema	3,28	1,15	3	3
As estações de bicicletas compartilhadas estão bem distribuídas na cidade do Recife e funcionam bem como complemento aos outros meios de transporte de transporte público como ônibus e metrô.	Distribuição do sistema	2,83	1,28	3	4
As bicicletas do sistema são confortáveis, seguras, atualizadas e fáceis de usar.	Conforto da bicicleta	4,03	1,06	4	5
A rede viária de Recife é adequada para o uso seguro de bicicletas.	Infraestrutura viária	1,67	0,98	1	1
Me sinto mais vulnerável a assaltos usando bicicleta do que em outros modos de transporte.	Segurança Pública	3,11	1,33	3	2
O clima de Recife é estimulante para o uso de bicicleta.	Clima de Recife	2,83	1,39	3	1
A melhoria da saúde pessoal e do bem-estar motivam as pessoas a usarem bicicletas.	Saúde Pessoal	4,06	1,10	4	5
As reduções de impactos ambientais motivam o uso da bicicleta compartilhada.	Consciência Ambiental	3,84	1,17	5	5

Fonte: de Macedo *et al.* (2018)

A mais forte opinião apresentada foi relacionada à infraestrutura viária, já que a maioria dos entrevistados discordaram totalmente de que a rede viária de Recife seja adequada para o uso seguro de bicicletas. As outras opiniões fortes obtiveram concordâncias positivas e são relacionadas às variáveis de opinião pessoal, como as melhorias do uso da bicicleta para a saúde pessoal e para o meio ambiente. Outra opinião positiva foi a afirmação relacionada à qualidade da bicicleta.

Ao separar as entrevistas entre “usuários” e “não-usuários”, de Macedo *et al.* (2018) puderam concluir que ambos os grupos sentem que a rede viária da cidade é inadequada para bicicletas. Os usuários se apresentaram mais positivos que os não-usuários sobre os critérios da facilidade de usar o sistema e a influência da segurança pública, podendo-se inferir que esses critérios são as duas maiores barreiras que o sistema tem para alcançar os não-usuários. Em relação aos aparentes benefícios que esses sistemas geram, tanto à saúde pessoal quanto ao meio ambiente, os não-usuários apresentaram opiniões mais positivas que os usuários, indicando que esses benefícios não possuem muita força como motivadores ao uso do sistema.

2.5 Evolução dos estudos de localização de estações pelo método da regressão

Daddio (2012) apresenta uma abordagem de regressão para relacionar as características do entorno com a demanda da estação para o sistema Capital Bikeshare,

existente na Área Metropolitana de Washington. Considera como variável dependente o número de partidas de viagem por estação, enquanto as variáveis independentes, medidas a uma distância de 400 metros a pé de cada estação, são divididas em três conjuntos de características: produção de viagem, atração de viagem e rede de transporte. Tais variáveis são elencadas na Tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Variáveis do modelo de Daddio (2012)

Variável	Definição	Efeito previsto
Produção de Viagens		
Idade 20-39	População entre as idades de 20 e 39 anos	Positivo
População não – branca	Proporção da população que seja de uma raça diferente de “apenas branco”	Negativo
Prevalência de domicílios com poucos veículos	Proporção de domicílios com um ou zero veículos disponíveis	Desconhecido
Renda	Renda familiar mediana (em milhares de dólares)	Desconhecido
Quartos de hotel	Número de quartos de hotel (em dezenas de quartos)	Positivo
Viajantes alternativos	Proporção de trabalhadores que se deslocam de bicicleta, a pé ou de transporte público	Positivo
Atração de Viagens		
Atratores	Número de atratores (centros comerciais, locais culturais / históricos / cívicos, complexos desportivos, centros de entretenimento, museus, etc.)	Positivo
Varejo (licenças de álcool)	Estabelecimentos varejistas vendendo álcool	Positivo
Universidades	Área de campus universitário (em milhares de metros quadrados)	Positivo
Parques	Área de parques e centros de recreação (em milhares de metros quadrados)	Desconhecido
Rede de Transporte		
Paradas de Ônibus	Número de paradas de ônibus	Positivo
Metrô	Número de estações de metrô	Positivo
Infraestrutura Cicloviária	Comprimento das ciclovias existentes e caminhos (em centenas de metros)	Positivo
Distância ao centro do sistema de compartilhamento de bicicletas	Distância média ponderada (número de passageiros) ao centro do sistema completo de CD e CA Capital Bikeshare (em milhares de metros)	Negativo

Fonte: Adaptado de Daddio (2012)

Após o controle da influência de cada uma das 14 variáveis em uma regressão multivariada, 5 delas emergiram como estatisticamente significativas (agindo de acordo com o efeito previsto): Idade 20-39, População não-branca, Varejo (licenças de álcool), Metrô e Distância ao centro do sistema.

Rixey (2013) investiga os efeitos das características demográficas e do ambiente construído perto de estações de compartilhamento de bicicletas em níveis de passageiros

em três sistemas operacionais dos EUA. O autor considera como diferenciais deste estudo o fato de possibilitar a comparação entre diferentes sistemas e expandir estudos anteriores, por incluir efeitos do tamanho e da distribuição da rede.

A análise da regressão feita por Rixey (2013) identificou um conjunto de variáveis como tendo correlações estatisticamente significativas com o número de usuários de compartilhamento de bicicletas: densidade populacional; densidade de trabalhos de varejo; trabalhadores que se deslocam a pé, por bicicleta, ou por transporte público; renda mediana; educação; presença de ciclovias; população não branca (associação negativa); dias de precipitação (associação negativa); e proximidade a uma rede de outras estações de compartilhamento de bicicletas. Esta última exibe uma forte correlação positiva com o número de passageiros em uma variedade de especificações do modelo e ao mesmo tempo controla as outras variáveis demográficas e do ambiente construído, sugerindo que o acesso a uma rede abrangente de estações é um fator crítico.

Tran *et al.* (2015) apresentaram uma modelagem da demanda de compartilhamento de bicicletas em nível de estação na cidade de Lyon, França, com base em fatores do ambiente construído e em dados do sistema de compartilhamento de bicicletas local, um dos primeiros do mundo: o Vélo'v. Foram utilizados modelos robustos de regressão linear para prever os fluxos de cada estação, utilizando-se dados de mais de 6 milhões de viagens de compartilhamento de bicicletas registradas em 2011. As variáveis de ambiente construído usadas no modelo são determinadas em uma zona intermediária de 300 metros em torno de cada estação. Para estimar o fluxo de compartilhamento de bicicletas, utilizou-se o método de regressão linear durante os períodos de pico de um dia da semana. As variáveis explicativas utilizadas na análise foram categorizadas em cinco grupos de fatores: fator transporte público, fator socioeconômico, fator topográfico, fator rede de compartilhamento de bicicleta e fator de lazer, conforme Tabela 2.8.

Tabela 2.8 – Variáveis do modelo de Tran *et al.* (2015)

Grupo de fatores	Variáveis
Fator Transporte público	Número de estações de metrô Número de estações de trem Número de estações de bonde
Fator Socioeconômio	População Número de empregos Número de estudantes em campus Número de estudantes residentes próximos a uma estação Velo'v
Fator Topográfico	Altitude
Fator Rede de Compartilhamento	Infraestrutura cicloviária Capacidade da estação Densidade da Rede
Fator de Lazer	Número de restaurantes Número de cinemas Presença (ou não) da estrada de aterro do Rio Ródano

Fonte: Adaptado de Tran *et al.* (2015)

O modelo de Tran *et al.* (2015) indicou que a densidade da rede de compartilhamento de bicicletas e a capacidade da estação estavam plausivelmente correlacionadas ao uso de bicicletas para cada estação. A altitude teve uma influência negativa no fluxo de chegada e partida. A combinação de compartilhamento de bicicletas com trem foi a única intermodalidade significativa nos modelos. A população e o número de empregos são dois fatores explicativos principais para o uso do compartilhamento de bicicletas por usuários de longo prazo (aqueles que tem assinatura anual). A população afetou positivamente os fluxos de saída do compartilhamento de bicicletas pela manhã e os fluxos de entrada no período da tarde, enquanto o número de empregos afetou positivamente os fluxos de entrada de compartilhamento de bicicletas no período da manhã e os fluxos de saída no período da tarde. O uso de bicicletas compartilhadas por usuários de curto prazo (aqueles com assinatura de um dia) não é explicado apenas pela manhã, pela população e número de empregos, mas também, à tarde, por variáveis de lazer. Os resultados mostram que, durante o dia de trabalho, os usuários de longo prazo utilizam o compartilhamento de bicicletas principalmente para viagens de ida e volta, enquanto os usuários de curto prazo usam o compartilhamento de bicicletas para viagens ocasionais.

Segundo Zhang *et al.* (2017), os fatores do ambiente construído tais como densidade populacional e de emprego, proximidade de estações de transporte público e ciclovias e pontos de interesse (lojas de varejo, parques, restaurantes, etc) estão fortemente associados à demanda de viagens e desempenham um papel importante no sucesso dos sistemas de compartilhamento de bicicletas, motivo pelo qual, utilizando dados de viagem do sistema de Zhongshan (China), empregaram um modelo de regressão linear múltipla para examinar a influência de variáveis do ambiente construído na demanda de viagem, bem como na relação entre demanda e oferta em estações de bicicleta. Também consideraram as correlações espaciais do uso das bicicletas públicas entre estações próximas. O estudo descobriu que, de uma maneira geral, tanto a demanda de viagem quanto a relação entre a demanda e a oferta nas estações de bicicleta foram influenciadas positivamente pela densidade populacional, comprimento das ciclovias e ramais, e diversos tipos de uso do solo perto da estação, e foram influenciados negativamente pela distância para o centro da cidade e o número de outras estações próximas. As instalações de transporte público, por sua vez, não mostraram um impacto significativo na demanda e relação Demanda/Oferta nas estações, o que pode ser atribuído à divisão modal local.

O trabalho de Faghih-Imani *et al.* (2017) tem por objetivo explicar os fatores que influenciam a produção e a atração de viagens de compartilhamento de bicicletas em Barcelona e Sevilha, na Espanha. A pesquisa foi realizada para avaliar a influência de atributos da infraestrutura cicloviária e características de uso do solo na demanda dos sistemas (chegadas e partidas de usuários) e no reequilíbrio (frequência e quantidade de reabastecimento e remoção de bicicletas das estações para adaptar a oferta à demanda). Para tal fim, desenvolveram um modelo linear misto para estimar a influência da infraestrutura de bicicletas, características sociodemográficas e características do uso do solo nas chegadas e partidas dos usuários. Além disso, criaram um modelo logit binário para identificar períodos de tempo de reequilíbrio e uma estrutura de modelo de regressão para estimar a quantidade de rebalanceamento.

As variáveis dependentes de interesse na análise são as taxas de chegada e partida do uso da bicicleta pública e as taxas de rebalanceamento (reabastecimento e remoção de bicicletas das estações) do operador nos Distritos Sub-Cidades (DSCs) (regiões espacialmente homogêneas em termos de estrutura social e ambiente construído) formadas para facilitar o planejamento. As variáveis independentes incluem dados censitários ao nível do DSC sobre sócio-demografia, economia e habitação, da EuroStat.

Dados de pontos de interesse (PI), como a localização de empresas, estações de metrô, atividades de lazer, restaurantes, etc., são usados como *proxies* para as características de uso do solo e finalidade da viagem. Os resultados do modelo para a região de Barcelona destacam a densidade de bicicletas, a capacidade média e o percentual de PIs de negócios, recreação e restaurantes como importantes contribuintes das taxas de chegada e partida. Os resultados para a região de Sevilha são semelhantes, exceto pelo atributo da densidade da estação, que teve efeito negativo. Quanto a isto, os autores observam que o efeito desta variável e da capacidade média devem ser considerados em conjunto. (FAGHIH-IMANI *et al.*, 2017).

Na realidade brasileira, vale citar o estudo de Magalhães *et al.* (2018) que, apesar de não tratar especificamente de sistemas de compartilhamento de bicicletas, busca desenvolver um modelo de demanda direta mediante regressão linear múltipla com base em contagens volumétricas realizadas na zona sul da cidade de Rio de Janeiro, com o objetivo de subsidiar o desenvolvimento de um modelo matemático de demanda de viagens de bicicletas em vias urbanas. Para tal fim, apresentaram uma revisão bibliográfica dos modelos já existentes, a partir da qual foi possível elencar as principais variáveis que influenciam na demanda deste tipo de viagem, bem como suas significâncias e carácter de seus respectivos sinais. Foram consideradas como frequentes 29 variáveis, mas os autores optaram por trabalhar com 16 delas, subdividas em quatro grupos: uso do solo e ambiente construído, sistema viário, ambiente físico ou natural e fatores subjetivos mensuráveis, conforme mostra a Tabela 2.9. Para analisar as variáveis socioeconômicas e de infraestrutura das vias, consideraram áreas de influência com raio de 400 m.

Não foi possível obter uma equação de regressão para a amostra inicial dos 18 pontos de contagem, motivo pelo qual ela foi estratificada em dois grupos de mesmo tamanho (n=9): locais com facilidades disponíveis para a circulação de bicicletas (ciclovias e ciclofaixas) e locais sem tais facilidades. Para vias com disponibilidade de infraestrutura para circulação de bicicletas, a presença de estacionamento, a temperatura máxima da região e o número de acidentes de trânsito foram os fatores que mostraram maior influência no uso da bicicleta. Para vias sem infraestrutura, os principais fatores identificados foram: número de interseções, proximidade a vias cicláveis e número de faixas (MAGALHÃES *et al.*, 2018).

Tabela 2.9 – Variáveis do estudo de Magalhães *et al.* (2018)

Variável	Descrição
Variável dependente:	
VolBike	Número de bicicletas em circulação em um segmento viário durante o período de 2h
Características de uso do solo e ambiente construído	
Pop400 ^a	População residente em uma área com raio de influência de 400m a partir do ponto de contagem
UsoSoloCom ^b	Proporção de uso do solo comercial no segmento viário analisado (considerando o nível térreo das edificações)
UsoSoloRes ^b	Proporção de uso do solo residencial no segmento viário analisado (considerando o nível térreo das edificações)
DensInt400 ^c	Número de interseções em uma área com raio de 400m a partir do ponto de contagem
ProxViaCic ^c	Distância à ciclovia ou à ciclofaixa mais próxima
ProxMetro ^c	Distância à estação de metrô mais próxima
ProxCorpoDagua ^c	Distância ao corpo d'água mais próximo (Oceano Atlântico ou Lagoa Rodrigo de Freitas)
BikeRio400 ^{c,d}	Número de estações de <i>bikesharing</i> do sistema <i>Bike Rio</i> em uma área com raio de 400m a partir do ponto de contagem
Características do sistema viário	
ClassFuncVia ^e	Variável binária (via coletora = 0, via arterial = 1)
InfraCic ^d	Variável <i>dummy</i> (1, se existe ciclovia ou ciclofaixa; 0, caso contrário)
Estacionamento ^b	Variável <i>dummy</i> (1, se é permitido estacionar na via; 0, caso contrário)
NumFaixas ^b	Número de faixas de rolamento na via
VolVeicMotor ^d	Número de veículos motorizados em uma hora por faixa
Característica do ambiente físico	
TempMaxDia ^e	Temperatura máxima diária na Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro no dia de realização da contagem
Fatores subjetivos mensuráveis	
Crime ^f	Número de crimes fatais por unidade administrativa da Região Sul da cidade do Rio de Janeiro
Acidente ^f	Número de acidentes de trânsito fatais e não fatais por unidade administrativa da Região Sul da cidade do Rio de Janeiro

Fonte: Magalhães *et al.* (2018)

2.6 Síntese dos Estudos Apresentados

Tendo em vista o apresentado até aqui, pode-se notar que diversos estudos já foram realizados ao redor do mundo com o objetivo de definir o perfil dos usuários do modo cicloviário em áreas urbanas, sendo alguns deles mais específicos na abordagem do compartilhamento de bicicletas. A partir destes estudos, é possível perceber que questões socioeconômicas e locacionais e as características das viagens urbanas se mostraram relevantes no processo de decisão do usuário pelo uso do modo cicloviário.

No que diz respeito ao ambiente urbano, os trabalhos de Rixey (2013), Dill e Car (2003), Zhang *et al.* (2013) e NACTO (2016) indicam ser necessário que se tenha uma rede abrangente de destinos potenciais próximos uns dos outros e uma infraestrutura extensa composta por ciclovias e/ou ciclofaixas, inseridas em ligações de grande movimento. Especificamente sobre localização das estações do sistema de compartilhamento de bicicletas, elas devem apresentar conectividade com sistemas externos da área urbana, isto é, transporte público e instalações públicas de uma maneira geral, além de estarem situadas em área de fácil acesso e boa visibilidade.

Outro aspecto importante e largamente abordado foi a forte relação entre os usuários e a proximidade do transporte público (FAGHIIH-IMANI *et al.*, 2017), isto é, proximidade de paradas de ônibus (DADDIO, 2012) e estações de trem (TRAN *et al.*, 2015) e metrô (MAGALHÃES *et al.*, 2018). Além disso, outras variáveis relacionadas ao ambiente urbano foram indicadas como estatisticamente relevantes, especialmente àquelas voltadas aos diferentes usos de solo e proximidade de elementos considerados atratores de viagens, como parques, restaurantes, comércio varejista, universidades, hospitais e hotéis (DADDIO, 2012; FAGHIIH-IMANI *et al.*, 2017; MAGALHÃES *et al.*, 2018).

Alguns trabalhos abordam o ambiente natural como um dos grupos de fatores que afetam o uso da bicicleta, do qual fazem parte a topografia, as estações do ano, a atratividade dos ambientes ao redor e o clima. Ortuzar *et al.* (2000) e Tran *et al.* (2015) indicam a topografia como um dos fatores influenciadores do uso da bicicleta, mais especificamente em áreas urbanas. No que diz respeito ao clima, Magalhães *et al.* (2018) identificam a “temperatura máxima da região” como um dos fatores que mais influenciam o uso da bicicleta em vias urbanas do Rio de Janeiro. Já Rixey (2013) observou que a variável “dias de precipitação” apresentava associação negativa na correlação com o número de usuários de sistemas de compartilhamento de bicicletas norte-americanos.

Ainda neste sentido, Beheshtitabar *et al.* (2014), que avaliam e classificam parâmetros que têm influência sobre o comportamento de escolha de rota de ciclistas, destacaram, dentre os principais atributos encontrados na literatura, a distância, o gradiente e a atratividade.

Rixey (2013) identificou como fatores críticos na estimativa do número de passageiros de um sistema de compartilhamento de bicicletas, características socioeconômicas: densidade populacional, densidade de empregos relacionados ao comércio, níveis medianos de renda, e a participação de trabalhadores alternativos e de população não branca, o que se mostra muito compatível com o indicado pelo estudo de Daddio (2012) em um sistema de compartilhamento de bicicletas americano. Também outros estudos avaliaram a relevância de variáveis socioeconômicas e constataram fortes correlações destas com o uso de bicicletas compartilhadas (FISHMAN *et al.*, 2015; TRAN *et al.*, 2015; ZHANG *et al.*, 2017; FAGHIIH-IMANI *et al.*, 2017; MAGALHÃES *et al.*, 2018).

Rietveld e Daniel (2004) destacam a renda, a idade e gênero, explicando que a renda tem grande relação com a posse ou não de veículos, o que interfere na escolha individual

do modo de transporte; a idade está relacionada com o esforço físico, de forma que o uso da bicicleta por idosos é menor que por jovens e adultos; e o gênero está associado ao fato de as mulheres estarem mais sujeitas aos riscos sociais que os homens, tendo mais resistência ao uso da bicicleta no cotidiano que a classe masculina. Já os trabalhos de Ashley e Banister (1989) e Lott *et al.* (1997) permitiram concluir que, respectivamente, na Inglaterra e na Califórnia (Estados Unidos), as viagens de bicicleta decresciam com o aumento do valor de variáveis relacionadas à renda dos indivíduos.

Ainda enfatizando a relevância da densidade populacional e de empregos, o trabalho de García-Palomares *et al.* (2012) toma por base a distribuição espacial da demanda, a partir da relação de população e emprego com o número de construções, chegando ao número de produção e atração de viagens por edifícios. Também Vogel *et al.* (2011) levam em consideração esta relação de áreas residenciais e áreas comerciais.

O Bike Share Station Siting Guide, desenvolvido pela NACTO em 2016, alerta para o fato de cada cidade ter suas próprias condições, cultura e restrições. Pucher e Buehler (2008) confirmam isso ao salientarem que o percentual de homens e mulheres que utilizam a bicicleta é praticamente igual, quando se trata de países europeus (Holanda, Alemanha e Dinamarca), enquanto que nos Estados Unidos o total de viagens feitas por mulheres equivale a 24%. Ainda neste contexto Rietveld e Daniel (2004) destacam que, dentre os fatores que influenciam a demanda ciclovitária, estão os padrões de atividades, que envolvem principalmente o motivo da viagem.

Fatores como custo, tempo de viagem, esforço e segurança são apresentados como um grupo que tem influência sobre o uso da bicicleta. Beheshtitabar *et al.* (2014) e Ortuzar *et al.* (2000) concordam sobre a relevância da distância e dos declives (naturalmente associados ao esforço necessário para transcorrer-los) para a escolha deste modo de transporte.

O'Brien *et al.* (2014) afirma que o esforço físico exercido no ciclismo implica que os ciclistas sejam muito menos predispostos a fazerem longos desvios do que os condutores de automóveis ou usuários de outros modos de transporte que estão mais protegidos e limitados dentro da sua rede. Também devem ser considerados os fatores relacionados aos custos generalizados da bicicleta, e o tempo de viagem, incluindo os tempos de espera nas interseções (RIETVELD e DANIEL, 2014; ORTUZAR *et al.*, 2000).

A FHWA (2003) enquadra a segurança viária como uma das características das viagens que devem ser levadas em consideração na análise de fatores influenciadores da escolha de rota de ciclistas. A segurança da rota, o número de cruzamentos com semáforos e a superfície das vias são atributos levantados por Beheshtitabar *et al.* (2014) como parte de tais fatores. Também neste sentido, Rietveld e Daniel (2014) destacam a necessidade de sinalização horizontal e vertical adequada para a circulação de bicicletas nas vias.

A Transporte Ativo (2018) indicou, por meio de pesquisa, que o maior problema enfrentado pelo ciclista brasileiro é a falta de segurança no trânsito. Tal informação é reforçada pelo trabalho de Magalhães *et al.* (2018) que indica que a variável “número de acidentes de trânsito” foi uma das estatisticamente significativas na correlação com o número de ciclistas para o caso do Rio de Janeiro.

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

3.1 Considerações iniciais

Este capítulo apresenta o procedimento proposto para a análise e a hierarquização de áreas candidatas à localização de estações de compartilhamento de bicicletas. Para tal fim, foram apresentados os métodos costumeiramente utilizados para a análise de demanda cicloviária de uma maneira geral para então fazer as devidas adaptações para a modalidade de compartilhamento de bicicletas e para o estudo de caso da cidade do Rio de Janeiro. Além disso, os fatores considerados na revisão bibliográfica como influenciadores de demanda foram elencados e organizados conforme suas características.

3.2 Definição do Modelo Teórico

O “FHWA Guidebook on Methods to Estimate Non-Motorized Travel” (Guia de Métodos de Estimativa de Viagens Não-Motorizadas da FHWA) (1999) é uma das principais bibliografias sobre estimativa de demanda. Segundo o guia, um modelo de previsão de demanda por um sistema de transporte pode ser definido como uma representação razoável e precisa do comportamento dos usuários do sistema atual ou proposto, para os quais se deseja avaliar o comportamento provável em resposta a uma ou mais mudanças observadas em fatores ou políticas de transporte que afetam os níveis de demanda atuais do sistema estudado.

A FHWA (1999) apresenta alguns modelos propostos com o objetivo de subsidiar novos investimentos em sistemas cicloviários, o que é feito em 2 volumes: o Volume 1 fornece uma visão geral concisa de métodos disponíveis para prever níveis futuros das viagens de bicicleta; e o Volume 2 oferece mais detalhes sobre os modelos descritos e identifica as fontes e aplicações dos métodos. O material descreve e compara vários modelos para estimar a demanda do transporte não motorizado, dividindo-os em dois conjuntos: modelos para estimativa com base em dados existentes, conforme Tabela 3.1, e modelos para estimativa da demanda potencial, conforme Tabela 3.2.

Tabela 3.1 - Modelos para estimativa de demanda de transportes não motorizados

Grupo	Tipo de Modelo
Modelos para estimativa da demanda existente	Métodos Comparativos
	Métodos de Comportamento Agregados
	Métodos Simples
	Modelos de Escolha Discreta
	Modelos Tradicionais

Fonte: FHWA (1999)

Tabela 3.2 - Modelos para estimativa da demanda potencial de transportes não motorizados

Grupo	Tipo de Modelo
Modelos para estimativa da demanda potencial	Métodos de Análise de Mercado
	Método de análise de facilidades

Fonte: FHWA (1999)

Os tipos de modelos da Tabela 3.1 utilizam duas formas de estimativa de demanda, uma fazendo uma comparação entre a demanda para um tipo de facilidade e o aumento da demanda em função de melhoria ou implantação de novas facilidades; e a outra forma busca definir através de uma função matemática (regressão), o número de viagens a partir de dados agregados de estudos de transporte e censo demográfico, algumas vezes utilizando o modelo tradicional de quatro etapas. Já os métodos descritos na Tabela 3.2 buscam identificar uma demanda latente em função de deslocamentos para todos os modos de transporte existentes nas cidades ou baseando-se em suposições de implantação de facilidades.

Como o sistema de compartilhamento de bicicletas do Rio de Janeiro já funciona desde 2011, considera-se que a abordagem dos modelos com base em dados existentes seja mais adequada. Magalhães *et al.* (2018) e Campos (2013) abordaram esses métodos em seus estudos, podendo tais informações serem compiladas na Tabela 3.3.

Com base no apresentado, constatou-se que os estudos comportamentais agregados e os métodos simplificados são os métodos que mais se aproximam do objetivo desta dissertação, já que o trabalho não conta com nenhuma nova ação ou facilidade que interfira no uso das bicicletas compartilhadas (o que exclui o uso dos modelos comparativos e de escolha discreta) e também não tem a preocupação de alocar viagens

em outros modos de transporte (como fazem os métodos tradicionais, geralmente associados ao consagrado modelo de planejamento Quatro Etapas).

Tabela 3.3 - Descrição dos métodos de estimativa de demanda de transportes não-motorizados

Estimativa de Demanda	Descrição	Dados de Entrada
Estudos comparativos	Comparam as características dos usuários de uma instalação com as de outras e identificam fatores que poderiam explicar as diferenças nos níveis de uso do solo da bicicleta nesses locais. Podem também identificar a diferença do uso antes e depois de uma intervenção.	Distâncias de viagens; Números de usuários de diferentes áreas de estudo; dados do entorno como população e uso do solo são opcionais.
Estudos comportamentais agregados	Métodos que relacionam viagens não motorizadas em uma área com sua população local, uso do solo e outras características, geralmente por meio de análise de regressão. Isto é, relacionam uma variável dependente (por exemplo, o número de viagens realizadas por bicicleta) com uma ou mais variáveis independentes.	Fontes existentes, tais como censo e uso do solo.
Métodos simplificados	Métodos que preveem viagens não motorizadas em uma instalação ou em uma área com base em cálculos e regras simples sobre as distâncias das viagens, compartilhamentos de modos de transporte e outros aspectos de comportamento de viagem. São estimativas baseadas nas características das viagens e dados já existentes (censo, uso do solo) combinados a suposições referentes ao comportamento dos usuários.	Fontes existentes, tais como censo e uso do solo.
Modelos de escolha discreta	Modelos que predizem as decisões de viagem de um indivíduo com base nas características de alternativas disponíveis para eles, ou seja, estimam o número total de pessoas que mudam seu comportamento em resposta a uma ação.	Dados das entrevistas locais.
Modelos Tradicionais	Modelos que preveem viagens totais por propósito, modo e origem / destino da viagem e distribuem essas viagens por uma rede de instalações de transporte, com base nas características do uso do solo, tais como população e emprego e nas características da rede de transporte.	Características dos sistemas de transportes, do uso do solo e da população.

Fonte: Adaptado de Magalhães *et al.* (2018) e Campos (2013)

Tanto os estudos comportamentais agregados quanto os métodos simplificados costumam fazer uso de técnicas de regressão para chegar a informações relevantes sobre a estimativa da demanda e as respectivas influências dos fatores considerados. A FHWA (1999) aponta o segundo método como mais preciso, entretanto costuma ser mais utilizado para a estimativa de volume de pedestres, fazendo-se uso de contagens.

Sendo assim, optou-se pela aplicação de modelos comportamentais agregados. Eles são utilizados para estimar a demanda pelo modo cicloviário em uma determinada área a partir de variáveis relacionadas às características da população local e de fatores relacionados ao uso do solo e ao ambiente construído, à existência de infraestrutura viária e ao ambiente físico (MAGALHÃES *et al.*, 2018).

Paiva Junior (2006) fez um levantamento sobre os métodos comportamentais de previsão de demanda nos serviços de transporte urbano brasileiros. Segundo ele, as informações fundamentais para a elaboração de um plano de transportes podem ser agrupadas em quatro tipos: dados socioeconômicos, dados legais e financeiros, dados infraestruturais e dados específicos sobre a demanda.

As informações socioeconômicas abrangem todos os aspectos referentes à população, emprego e base econômica, tais como: características geográficas, sociais e culturais da população da área de estudo, estrutura de empregos e ocupação e tipos de atividades econômicas. Quanto aos aspectos legais e financeiros, trata-se da necessidade de considerar os diferentes regulamentos, normas e leis, bem como taxas e impostos a serem cobrados ou recursos a serem oferecidos, sendo, portanto, mais essenciais para o nível tático do planejamento (PAIVA JUNIOR, 2006).

No que diz respeito à infraestrutura, é crucial uma precisa descrição das características e condições do sistema de transportes vigente. Essa avaliação deve colher informações sobre vias, instalações, dimensões, condições, custos de serviços, e sobre a capacidade e comportamento operacional. Outro fator é o levantamento do uso do solo e ocupação do solo, plano diretor, zoneamento e projeções de desenvolvimento (PAIVA JUNIOR, 2006).

Por fim, a última fonte de informações para o planejamento é a pesquisa de demanda, a qual contribui de duas formas: através da descrição e quantificação dos padrões de viagens gerados; e através da avaliação de valores e fatores sociais, econômicos e psicológicos que influem nesses padrões. O primeiro engloba as características espaciais, temporais, funcionais e modais das viagens e atividades realizadas pelos usuários. O segundo envolve a análise dos fatores que motivam ou causam o comportamento dos usuários (PAIVA JUNIOR, 2006). Pode-se supor que, no contexto do compartilhamento de bicicletas, cabe também a avaliação da qualidade do serviço fornecido pela operadora do sistema.

3.3 Concepção do Procedimento

A concepção deste procedimento surgiu da necessidade de uma metodologia que contribuísse na escolha da localização de estações de sistemas de compartilhamento de bicicletas em uma adequada abordagem que levasse em consideração não somente os critérios técnicos e operacionais, mas também questões socioeconômicas e locais. E, mais especificamente no caso do Rio de Janeiro, que permitisse a consideração da expansão do sistema para áreas até então desatendidas, de forma a identificar aquelas que apresentam potencial para receber tais estações.

Na revisão do contexto do transporte por bicicletas compartilhadas no Brasil e no mundo, os autores apresentaram uma série de fatores que podem ser considerados como influenciadores do comportamento e escolha dos usuários. Esta dissertação tem o intuito de elaborar um procedimento que leve em consideração tais fatores para contribuir para a escolha de áreas potenciais, tomando por base o sistema Bike Rio, presente em algumas áreas da cidade do Rio de Janeiro.

O procedimento aqui proposto procura ser compatível com as especificidades do sistema de compartilhamento de bicicletas, considerando as ferramentas apropriadas para tratar os fatores locais mais representativos e que reflitam a percepção e importância dos interesses dos envolvidos nessa estrutura de decisão, com base na revisão bibliográfica. É uma abordagem derivada do conhecimento do problema, sendo a sua estrutura dividida em 7 (sete) etapas explicadas a seguir e esquematicamente sintetizadas na Figura 3.1 – Etapas do Procedimento Proposto.

A primeira etapa consiste na identificação dos principais fatores locais e socioeconômicos apresentados na revisão bibliográfica como influenciadores da escolha e do comportamento do usuário dos sistemas de compartilhamento de bicicletas. Neste primeiro momento, será feito apenas o levantamento destes fatores, para que posteriormente, após a coleta de dados, seja realizada uma análise mais profunda sobre a viabilidade de seus respectivos usos.

A segunda etapa se refere à coleta dos dados das estações do sistema Bike Rio, junto à operadora Tembici, e de dados locais e socioeconômicos da população do Rio de Janeiro. No que diz respeito ao sistema, espera-se encontrar indicadores de demanda, que inclusive possam se articular e se complementar, e que sirvam como parâmetro para a

análise que se deseja realizar. Já os demais dados serão buscados no Censo 2010 e nas informações disponibilizadas pela Prefeitura e instituições de apoio ao ciclismo.

A terceira etapa consiste na comparação dos fatores levantados na primeira etapa, com a disponibilidade de dados da segunda. A partir das informações disponíveis serão definidas as variáveis, isto é, informações mensuráveis associadas aos fatores. Desta forma, as variáveis dependentes serão aquelas associadas ao uso da estação. Já as variáveis explicativas ou independentes serão aquelas associadas aos fatores levantados na revisão bibliográfica como relevantes para a escolha pelo uso da bicicleta compartilhada. Nesta etapa será possível dizer quais fatores efetivamente poderão ou não ser incluídos na análise, de acordo com o tipo de informação disponível.

Para identificar as variáveis estatisticamente relevantes – etapa 4 – serão estabelecidas matrizes de correlação entre as variáveis selecionadas como explicativas e a(s) variável(is) dependente(s), cujas estatísticas, em conjunto com as relações bem sucedidas observadas na bibliografia, indicarão as correlações mais significativas, permitindo definir modelos a serem correlacionados com base nas técnicas de regressão, com o cuidado de evitar problemas estatísticos.

Na 5ª etapa, a partir da análise dos resultados do uso das técnicas de regressão, isto é, a obtenção de uma equação que tente explicar as demandas das estações Bike Rio, serão identificadas as variáveis que tem melhor capacidade de explicação e, conseqüentemente, os fatores aos quais elas estão associadas.

A 6ª etapa pressupõe que, de posse da informação de que variáveis se mostraram estatisticamente relevantes, será possível identificar áreas potenciais para receber novas estações, a partir de dados socioeconômicos e locacionais, principalmente em bairros ainda não cobertos pelo serviço (como os do subúrbio). Para facilitar a identificação de tais áreas, pretende-se elaborar um mapa de calor, com auxílio do QGIS, um *software* de sistema de informação geográfica, que destaque graficamente os locais compatíveis com a descoberta da etapa anterior.

Por fim, a 7ª etapa será a análise de todos os resultados obtidos, de forma a identificar possíveis inconvenientes e limitações encontradas ao longo do caminho. Espera-se que nesta etapa, seja possível avaliar a coerência da equação encontrada, a partir das áreas

que forem apontadas como potenciais locais de estações e estabelecer conclusões e recomendações para estudos futuros.

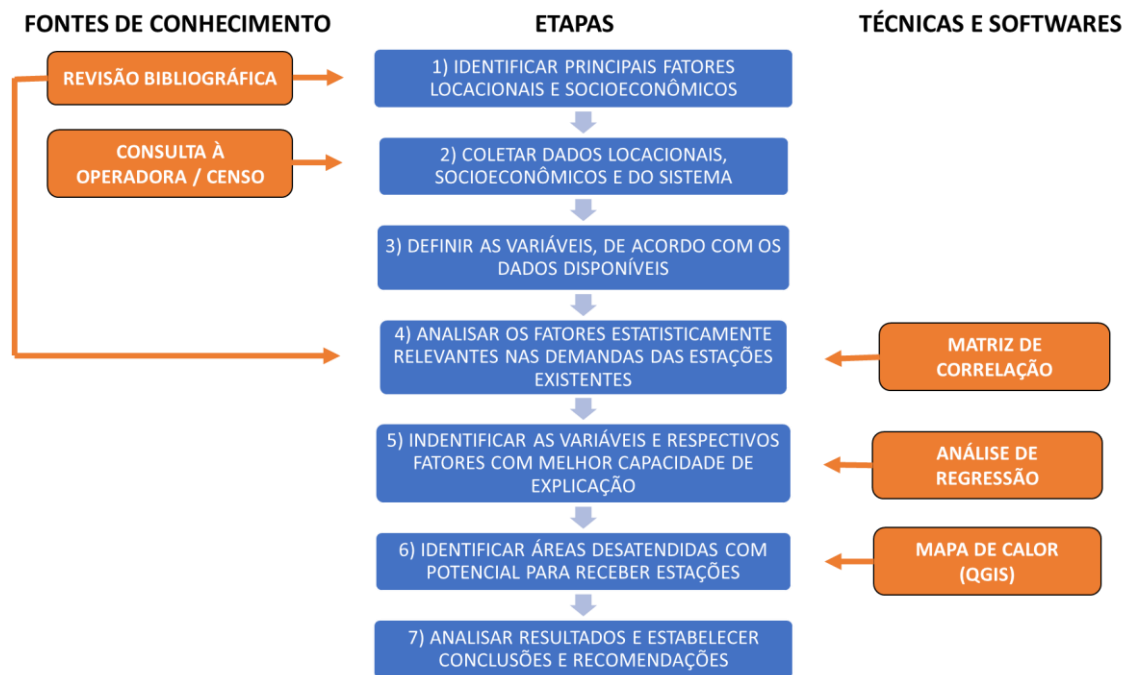


Figura 3.1 – Etapas do Procedimento Proposto

3.4 Identificação dos Principais Fatores Locacionais e Socioeconômicos

de Macedo *et al.* (2018), com base em revisão bibliográfica, classificam os fatores que influenciam o uso de um sistema de compartilhamento de bicicletas, separando-os entre aqueles provenientes do próprio sistema e aqueles externos a ele. Dentre os fatores específicos do sistema compartilhado citam como relevantes para a adesão ou não: Preço e Forma de Pagamento; Tecnologia de Acesso; Localização das Estações e Densidade da Rede; e Qualidade e Conforto das bicicletas. Já no que se refere aos fatores externos aos sistemas, considera relevantes: Infraestrutura Cicloviária; Segurança Pública; Fatores Climáticos; Saúde Pessoal; e Consciência Ambiental.

A maioria dos fatores abordados por de Macedo *et al.* (2018) consta também nos trabalhos já apresentados na Revisão Bibliográfica desta dissertação. É importante ressaltar, entretanto, que como este estudo tem por objetivo avaliar, especificamente, a localização das estações de um mesmo sistema, a maioria dos fatores internos não será considerada, por não apresentarem variação relevante ao longo da sua distribuição (sendo admitidos como constantes), como é o caso do preço, da tecnologia de acesso e do

conforto das bicicletas. Já a densidade da rede pode variar ao longo do sistema, tendo estações mais concentradas em algumas áreas e outras mais dispersas. Sendo assim, salvo raras exceções, serão destacados aqui os fatores externos, mais especificamente, os locais e socioeconômicos.

Há também uma característica muito importante a ser considerada a respeito dos sistemas de compartilhamento: a capacidade de remanejamento das bicicletas. Ela afeta a confiabilidade do sistema, uma vez que o usuário não tem a garantia de encontrar uma bicicleta disponível na sua estação de origem ou uma vaga na estação de destino. Por isso, há muitos estudos sendo atualmente desenvolvidos no sentido de buscar maneiras de otimizar esse procedimento, muitas vezes por técnicas de pesquisa operacional. Apesar de importante, esta característica não será avaliada neste estudo, assumindo-se ser ela também constante ao longo do sistema. Entretanto, ao analisar a geração de viagens de estações do sistema Bike Rio, isto é, o somatório das viagens produzidas e atraídas por determinada estação, entende-se estar avaliando indiretamente a capacidade de uma estação manter sua demanda, com base na rotatividade das bicicletas.

Feitas tais considerações, é possível prosseguir com base na Revisão Bibliográfica apresentada no Capítulo 2. Foi apresentada uma revisão da literatura a respeito dos sistemas de compartilhamento de bicicleta, tratando desde o conceito de mobilidade urbana sustentável até a abordagem de estudos de localização de estações destes programas. A partir de todas as informações levantadas, espera-se identificar quais fatores socioeconômicos e locais devem ser levados em consideração para orientar a escolha da localização de uma estação.

Para organizar esta grande quantidade de informações, optou-se por utilizar como base o trabalho de Heinen *et al.* (2010). Os autores fazem uma discussão aprofundada sobre os fatores pertencentes a cada uma das categorias apresentadas por Kuzmyak *et al.* (2014) como influentes na escolha de utilização do modo cicloviário para viagens, elencados conforme Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Fatores relacionados ao uso da bicicleta

Categoria	Fatores relacionados ao uso da bicicleta
Características socioeconômicas e demográficas	Idade, gênero, etnia, renda familiar média, número de veículos por residência, grau de instrução escolar.
Uso do solo e ambiente construído	Densidade de empregos, densidade de residências, desenho urbano, densidade de interseções, distância ao ponto de transporte mais próximo, entre outros.
Ambiente natural	Clima, precipitação, temperaturas extremas, topografia e iluminação.
Infraestrutura viária (facilidades)	Distância de viagem, tempo de viagem, volume de veículos, classificação funcional das rotas, número de interseções sinalizadas, pavimento, estacionamento seguro no destino da viagem.
Atitudes e percepções	Benefícios à saúde, atividade física, atratividade, diversão, conveniência, flexibilidade, conforto físico percebido, insegurança viária, tempo reduzido, entre outras.

Fonte: Heinen *et al.* (2010) e Kuzmyak *et al.* (2014) (apud Magalhães *et al.*, 2018)

Com base nas variáveis identificadas por Heinen *et al.* (2010) e categorias apresentadas por Kuzmyak *et al.* (2014), foi possível elencar uma série de fatores encontrados na revisão bibliográfica desta dissertação e agrupá-las segundo suas características. Vale ressaltar que a grande maioria das variáveis listadas por Heinen *et al.* (2010) foram encontradas na literatura estudada, entretanto, adotou-se como critério considerar aquelas que haviam sido citadas pelo menos duas vezes, ou que tivessem relevância por conta das especificidades do estudo de caso ou dos sistemas de compartilhamento de bicicletas (o que quer dizer que alguns fatores foram acrescentados e outros descartados). Os fatores que não foram derivados de Heinen *et al.* (2010) foram destacados por um asterisco nas Tabelas 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9.

3.4.1 Características Socioeconômicas e Demográficas

A primeira categoria com seus respectivos fatores é apresentada na Tabela 3.5 e trata das características socioeconômicas e demográficas. Na revisão bibliográfica, a idade foi apresentada pelos autores indicados como fator influente, já que a idade está relacionada com o esforço físico, de forma que o uso da bicicleta por idosos é menor que por jovens e adultos (RIETVELD e DANIEL, 2004; PUCHER e BUEHLER, 2008). Daddio (2012)

teve como resultado de seu modelo de regressão, cinco variáveis que se destacaram como estatisticamente relevantes, entre elas, está a Idade 20-39, referindo-se à proporção da população nesta faixa etária. Já Fishman *et al.* (2015) indicam a faixa etária de 18 a 34 anos como correspondente a potenciais usuários.

Tabela 3.5 - Fatores relacionados às características socioeconômicas e demográficas

CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÔMICAS E DEMOGRÁFICAS	
Fatores	Estudos em que o fator foi considerado relevante para a demanda
Idade	Daddio (2012), Fishman <i>et al</i> (2015), Rietveld e Daniel (2004) e Pucher e Buehler (2008)
Gênero	Pucher e Buehler (2008) e Rietveld e Daniel (2004)
Etnia	Daddio (2012), Rixey (2013)
Renda	Ashley e Banister (1989), Daddio (2012), Dill e Car (2003), Fishman <i>et al</i> (2015), Lott <i>et al.</i> (1997), Rietveld e Daniel (2004) e Rixey (2013).
Posse de veículos	Daddio (2012), Dill e Car (2003) e Rietveld e Daniel (2004).
Grau de instrução escolar	Dill e Car (2003), Lot <i>et al.</i> (1997) e Rixey (2013)
Densidade Populacional*	Dill e Car (2003), García-Palomares <i>et al.</i> (2012), Magalhães <i>et al.</i> (2018), Rietveld e Daniel (2004), Rixey (2013), Tran <i>et al.</i> (2015), Zhang <i>et al.</i> (2017)

Fonte: Elaborado pela autora

No que diz respeito ao gênero, Rietveld e Daniel (2004) explicam que as mulheres estão mais sujeitas aos riscos sociais do que os homens. O trabalho de Pucher e Buehler (2008) salientam que o percentual de homens e mulheres que utilizam a bicicleta é praticamente igual na Alemanha, Dinamarca e Holanda, enquanto nos Estados Unidos o total de viagens feitas por mulheres equivale a apenas 24%. Isto indica que este fator tem diferentes relevâncias e impactos de acordo com cada país e região.

Tanto no trabalho de Daddio (2012) quanto de Rixey (2013), a variável referente à proporção da população que seja de uma raça diferente de “apenas branco” emergiu como estatisticamente relevante, e com uma associação negativa. Ou seja, na realidade dos Estados Unidos, o uso das bicicletas compartilhadas é feito predominantemente por pessoas brancas.

Segundo Rietveld e Daniel (2004), a renda tem grande relação com a posse ou não de veículos, o que interfere na escolha individual do modo de transporte. Daddio (2012) e Dill e Car (2003) fazem uso de variável referente ao fator renda, porém indicando o efeito

previsto como desconhecido. Em ambos os trabalhos, ela não é apresentada como influente nos resultados. Entretanto a análise de regressão de Rixey (2013) apresenta a variável associada à renda mediana como estatisticamente relevante para programas de compartilhamento dos Estados Unidos. Já para os sistemas de Melbourne e Brisbane (ambos na Austrália), Fishman *et al* (2015) identificaram, por meio de pesquisa online, que pessoas com renda relativamente alta aumentaram as chances de adesão. Por fim, sobre a Inglaterra, o trabalho de Ashley e Banister (1989) concluiu que as viagens de bicicletas (de maneira geral, e não especificamente nos sistemas de compartilhamento) decresciam com o aumento do valor de variáveis relacionadas à renda do indivíduo. É possível perceber então que a relação do uso da bicicleta com a renda dos usuários variou bastante entre os estudos, permitindo intuir que tal relação não deve ser generalizada, devendo ser estudada a partir do conhecimento da realidade de cada cenário.

Como já indicado por Rietveld e Daniel (2004), a renda tem grande relação com a posse ou não de veículos. Ainda assim, alguns trabalhos fazem a análise dos dois separadamente. É o caso de Daddio (2012) que tem como uma das variáveis de seu modelo a prevalência de domicílios com poucos veículos, analisando a proporção de domicílios com um ou zero veículos disponíveis e a relação desta informação com o número de partidas de viagem por estação do sistema Capital Bikeshare, em Washington. Entretanto, tal variável não emergiu como estatisticamente relevante. Dill e Car (2003), que classificaram o fator da posse de veículos como relevante, incluindo-o na categoria “Disponibilidade/Atratividade de outros modos”, puderam concluir que a posse de veículos era um dos limitantes da demanda pelo uso de bicicleta na realização de viagens casa-trabalho nos Estados Unidos.

A escolaridade foi um dos fatores selecionados por Dill e Car (2003) para avaliar o efeito da provisão de infraestrutura para a circulação de bicicletas no nível de demanda de utilização para viagens casa-trabalho em 35 cidades norte-americanas. Neste sentido, o trabalho de Lott *et al.* (1997), aplicado à região da Califórnia, verificou que as taxas de viagens de bicicleta aumentavam entre as ocupações que envolviam vendedores, mecânicos ou operários da construção, quando comparados com profissões de grau de instrução superior. Já o trabalho de Rixey (2013) mostrou o oposto para três sistemas de compartilhamento de bicicletas nos Estados Unidos, já que a educação apresentou correlação estatisticamente significativa e positiva com o número de usuários.

É de fácil compreensão que a densidade populacional seja um dos fatores mais abordados na Revisão Bibliográfica, uma vez que é possível intuir que onde há um número maior de habitantes exista maior demanda para uma modalidade de transporte (RIETVELD e DANIEL, 2004; DILL e CAR, 2003). Nesta linha de raciocínio, García-Palomares *et al.* (2012), ao buscarem identificar potenciais áreas para receber estações de compartilhamento de bicicletas em Madri, tomaram por base a distribuição espacial da demanda, a partir da relação de população e emprego com o número de construções. A variável densidade populacional emergiu como estatisticamente significativa nos trabalhos de Rixey (2013), Tran *et al.* (2015) e Zhang *et al.* (2017), desempenhando um importante papel no sucesso dos sistemas de compartilhamento de bicicletas estudados. No trabalho de Magalhães *et al.* (2018), por sua vez, a variável que analisou a população residente em uma área com raio de influência de 400 m a partir do ponto de contagem não se mostrou significativa.

3.4.2 Uso do Solo e Ambiente Construído

O trabalho de García-Palomares *et al.* (2012) toma por base a relação de população e emprego com o número de construções, para o desenvolvimento de seu modelo de alocação-localização para decidir locais de estações de compartilhamento de bicicletas em Madri. Também Vogel *et al.* (2011) trabalham com esta avaliação do uso do solo, classificando as áreas residenciais e comerciais de acordo com a estrutura da solicitação: as primeiras são produtoras de viagens na parte da manhã e atratoras na parte da tarde, enquanto as últimas têm as características opostas. O trabalho de Tran *et al.* (2015) confirma este padrão a partir dos resultados da análise de regressão sobre o sistema de Lyon, França, ao mostrar que a população afetou positivamente os fluxos de saída do compartilhamento de bicicletas pela manhã e os fluxos de entrada no período da tarde, enquanto o número de empregos afetou positivamente os fluxos de entrada de compartilhamento de bicicletas no período da manhã e os fluxos de saída no período da tarde. No cenário brasileiro, Magalhães *et al.* (2018) também inclui variáveis associadas ao uso do solo como possivelmente explicativas para seu modelo de demanda de viagens por bicicleta em vias urbanas, mas estas não emergiram como estatisticamente relevantes.

Já Zhang *et al.* (2017) apresentam a heterogeneidade do solo como fator relevante para produtividade de uma estação de compartilhamento de bicicletas ao verificar que tanto a

demanda de viagem quanto a relação entre a demanda e a oferta nas estações de bicicleta foram influenciadas positivamente pela presença de diversos tipos de uso do solo nos arredores. Neste sentido, o Guia de Planejamento de Sistemas de Bicicletas Compartilhadas desenvolvido pelo ITDP em 2014 orienta que estações sejam localizadas preferencialmente ao longo de ciclovias, priorizando esquinas para que alcance o público de várias regiões e em áreas de uso misto. A diversidade do uso do solo é também defendida por Mello e Portugal (2017) como um dos recursos para a garantia da acessibilidade em escala microscópica.

Tabela 3.6 - Fatores relacionados ao uso do solo e ambiente construído

USO DO SOLO E AMBIENTE CONSTRUÍDO	
Fatores	Estudos em que o fator foi considerado relevante para a demanda
Uso de solo comercial	García-Palomares <i>et al.</i> (2012), Magalhães <i>et al.</i> (2018), Tran <i>et al.</i> , 2015, Transporte Ativo (2018) e Vogel <i>et al.</i> (2011)
Uso de solo residencial	García-Palomares <i>et al.</i> (2012), Vogel <i>et al.</i> (2011) e Magalhães <i>et al.</i> (2018)
Uso misto de solo	ITDP (2014), Mello e Portugal (2017) e Zhang <i>et al.</i> (2017)
Densidade de Interseções	Beheshtitabar <i>et al.</i> (2014), O' Brien <i>et al.</i> (2014), Magalhães <i>et al.</i> (2018) e Rietveld e Daniel (2004)
Conectividade com transporte público	Daddio (2012), ITDP (2014), Magalhães <i>et al.</i> (2018), Rietveld e Daniel (2004), Tran <i>et al.</i> (2015) e Zhang <i>et al.</i> (2013)
Áreas Escolares / Universidades*	Daddio (2012), Rietveld e Daniel (2004) e Transporte Ativo (2018)
Atratores/ Pontos de interesse*	Daddio (2012) e Faghih-Imani <i>et al.</i> (2017)
Varejo*	Daddio (2012) e Rixey (2013)
Centros de recreação / Parques/ Variáveis de lazer*	Daddio (2012), Faghih-Imani <i>et al.</i> (2017) e Tran <i>et al.</i> (2015)

Fonte: Elaborado pela autora

O'Brien *et al.* (2014) ressaltam que os resultados de sua pesquisa foram baseados em áreas urbanas, que tipicamente possuem alta densidade de interseções, permitindo que as viagens sejam feitas em qualquer direção usando infraestrutura de pista ou ciclovia, com a distância percorrida não muito além da distância em linha reta. Já Rietveld e Daniel (2004) observam esta densidade do ponto de vista do tempo de viagem, ao considerar o tempo de espera nas interseções. Para o modelo de Magalhães *et al.* (2018) o número de interseções mostrou-se dentre os principais fatores que apresentam influência no uso da bicicleta para vias sem infraestrutura viária. Beheshtitabar *et al.* (2014), por sua vez, são mais específicos, considerando o número de cruzamentos com semáforos.

No que diz respeito ao fator da conectividade com o transporte público, o ITDP (2014) defende que as bicicletas aumentam grandemente a área de cobertura das estações de transporte público coletivo. Segundo Zhang *et al.* (2013), a localização das estações de aluguel de bicicletas é o principal determinante para o sucesso do sistema, no que diz respeito ao seu desempenho, à interação espacial entre as próprias estações e à conectividade com sistemas externos da área urbana (transporte público e instalações públicas de uma maneira geral). Neste sentido, Daddio (2012) apresenta duas variáveis relativas a esta integração intermodal: número de paradas de ônibus e número de estações de metrô. Apenas a segunda se mostrou explicativa. Ainda sobre este fator, Magalhães *et al.* (2018) também utilizaram uma variável a ele associada, levando em consideração a distância à estação de metrô mais próxima, entretanto sem apresentar resultados significantes. Já Tran *et al.* (2015) usam três variáveis associadas ao fator Conectividade com o Transporte Público: número de estações de metrô, de trem e de bonde. Apenas a segunda demonstrou ser estatisticamente relevante para o caso da França. Também Rietveld e Daniel (2004) fazem análise do número de paradas em seu modelo.

Daddio (2012) usa a variável Universidades em seu modelo, que tem por definição a área de campus universitário em milhares de metros quadrados. Entretanto, esta não emergiu como estatisticamente relevante. Também Rietveld e Daniel (2004) listaram as áreas escolares, como um fator a ser considerado como influente na demanda ciclovitária em áreas urbanas. No caso brasileiro, a Pesquisa Nacional do Ciclista realizada pela Transporte Ativo (2018) indica que 25,4% das viagens feitas por bicicleta no Brasil são atraídas por instituições de ensino.

Sobre o fator Atratores, Daddio (2012) cita o número de centros comerciais, locais culturais/ históricos / cívicos, complexos desportivos, centros de entretenimento, museus. Também usa variáveis associadas a estabelecimentos de varejo, parques e, como já observado, universidades. Destas, a variável relacionada aos estabelecimentos de varejo foi a única que se demonstrou explicativa, o que também acontece no trabalho de Rixey (2013). Já o modelo de Faghih-Imani *et al.* (2017), que tem por objetivo explicar os fatores que influenciam a produção e a atração de viagens de compartilhamento de bicicletas em Barcelona e Sevilha, na Espanha, usa o termo Pontos de Interesse (PIs) para se referir à localização de empresas, estações de metrô, atividades de lazer, restaurantes, etc. Os resultados para as duas cidades espanholas indicam o percentual de PIs de negócios, recreação e restaurantes como importantes contribuintes das taxas de chegada

e partida. Também o modelo de Tran *et al.* (2015) apresenta o que os autores chamam de Variáveis de Lazer como explicativas do uso de bicicletas compartilhadas por usuários de curto prazo (aqueles com assinatura de um dia) no sistema de Lyon, França.

3.4.3 Ambiente Natural

No trabalho de Dill e Car (2003), o número de dias chuvosos foi identificado como um dos fatores limitantes da demanda. O mesmo acontece na análise de regressão feita por Rixey (2013), no qual os dias de precipitação apresentam associação negativa com o número de usuários de compartilhamento de bicicletas dos sistemas americanos avaliados.

A temperatura é considerada por Rietveld e Daniel (2004) como um dos fatores que influenciam a demanda ciclovária em áreas urbanas. Magalhães *et al.* (2018) faz esta análise para a cidade do Rio de Janeiro, ao fazer uso de variável que tem por definição a “temperatura máxima diária na Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro no dia de realização da contagem”. Tal variável aparece como explicativa para o uso da bicicleta em vias com disponibilidade de infraestrutura ciclovária.

Sobre a topografia, Ortuzar *et al.* (2000) e Beheshtitabar *et al.* (2014) concordam que os declives são um dos atributos que influenciam os ciclistas em áreas urbanas. O modelo de Tran *et al.* (2015) exemplifica isto, já que a altitude teve uma influência negativa no fluxo de chegada e partida no modelo desenvolvido.

Tabela 3.7 – Fatores relacionados ao ambiente natural

AMBIENTE NATURAL	
Fatores	Estudos em que o fator foi considerado relevante para a demanda
Precipitação	Dill e Car (2003), Rixey (2013)
Temperaturas extremas	Magalhães <i>et al.</i> (2018) e Rietveld e Daniel (2004)
Topografia	Beheshtitabar <i>et al.</i> (2014), Ortuzar <i>et al.</i> (2000) e Tran <i>et al.</i> (2015)

Fonte: Elaborado pela autora

3.4.4 Infraestrutura Viária (Facilidades)

Ortuzar *et al.* (2000) e Beheshtitabar *et al.* (2014) classificam a distância como um dos principais fatores que influenciam o uso da bicicleta em áreas urbanas. Segundo o ITDP

(2014), as bicicletas são uma alternativa para os trajetos de médias distâncias, isto é, aquelas que são consideradas muito longas para uma viagem a pé, e muito curtas para o uso do transporte motorizado. No estudo de Zhang *et al.* (2017), a distância para o centro da cidade influenciou negativamente, tanto a demanda de viagem quanto a relação entre a demanda e a oferta nas estações de bicicleta.

Ortuzar *et al.* (2000) e a FHWA (2003) citam o tempo de viagem como um dos fatores influenciadores do uso da bicicleta em áreas urbanas. Rietveld e Daniel (2004) afirmam que este tempo depende da estrutura espacial das cidades, da presença ou não de infraestrutura cicloviária, além do tempo de espera nas interseções. No Brasil, segundo pesquisa desenvolvida pela Transporte Ativo (2018), o tempo de trajeto mais frequente está entre 10 e 30 minutos (55,5%), seguido pelo tempo de até 10 minutos, ao qual correspondem 21,6% dos entrevistados.

Tabela 3.8 - Fatores relacionados à infraestrutura viária

INFRAESTRUTURA VIÁRIA (FACILIDADES)	
Fatores	Estudos em que o fator foi considerado relevante para a demanda
Distância de viagem	Beheshtitabar <i>et al.</i> (2014), ITDP (2014), Ortuzar <i>et al.</i> (2000) e Zhang <i>et al.</i> (2017)
Tempo de viagem	FHWA (2003), Ortuzar <i>et al.</i> (2000), Rietveld e Daniel (2004) e Transporte Ativo (2018)
Pavimento	Beheshtitabar <i>et al.</i> (2014), Rietveld e Daniel (2004)
Estacionamento seguro no destino da viagem	Beheshtitabar <i>et al.</i> (2014), Rietveld e Daniel (2004), Dill e Car (2003), FHWA (2003), Magalhães <i>et al.</i> (2018)
Existência e característica das instalações cicloviárias*	Beheshtitabar <i>et al.</i> (2014), Daddio (2012), de Macedo <i>et al.</i> (2018), Dill e Car (2003), ITDP (2014), Lin e Yang (2011), O' Brien <i>et al.</i> (2014), Rietveld e Daniel (2004), Rixey (2013), Transporte Ativo (2018) e Zhang <i>et al.</i> (2017)
Segurança em relação ao tráfego*	FHWA (2003), Ortuzar <i>et al.</i> (2000), Rietveld e Daniel (2004) e Transporte Ativo (2018)
Características do tráfego geral*	Magalhães <i>et al.</i> (2018)

Fonte: Elaborado pela autora

Beheshtitabar *et al.* (2014) destacam a qualidade da superfície das vias como um dos parâmetros que têm influência sobre o comportamento de escolha de rota de ciclistas. Rietveld e Daniel (2004) também consideram que a qualidade das vias disponíveis para uso da bicicleta influencia na sensação de conforto do usuário e, conseqüentemente, na sua escolha pelo modo cicloviário.

Dill e Car (2003) explicam que, para que se haja elevadas taxas de uso de bicicletas em uma cidade, além da existência de uma infraestrutura extensa composta por ciclovias e/ou ciclofaixas, é necessário que esta infraestrutura esteja inserida em ligações de grande movimento e que existam bicicletários seguros disponíveis para os ciclistas. Neste sentido, A FHWA (2003) classifica as características dos destinos como um dos três grupos de fatores que influenciam o uso da bicicleta em áreas urbanas, estando principalmente ligado à existência ou não de bicicletários e vestiários no local de destino. Também Beheshtitabar *et al.* (2014), Rietveld e Daniel (2004) e Magalhães *et al.* (2018) destacam a existência de estacionamento seguro como fator relevante.

As características das instalações cicloviárias constituem o fator mais apontado pela literatura consultada. Dill e Car (2003) defendem que, para que se haja elevadas taxas de uso de bicicletas em uma cidade, é necessária a existência de uma infraestrutura extensa composta por ciclovias e/ou ciclofaixas. Rietveld e Daniel (2004) associam o fator e a qualidade das vias disponíveis para uso cicloviário à sensação de conforto do usuário. Nessa perspectiva, o guia de Planejamento de Sistemas de Bicicletas Compartilhadas (ITDP, 2014) sugere que as estações sejam localizadas, preferencialmente, ao longo de ciclovias. A rede de ciclovias é demonstrada relevante nos modelos de Beheshtitabar *et al.* (2014), Daddio (2012), Lin e Yang (2011) e Rixey (2013). No Recife, de Macedo *et al.* (2018) identificaram algumas das barreiras e incentivos ao uso das bicicletas compartilhadas da cidade, concluindo que a mais forte opinião apresentada foi relacionada à infraestrutura viária, já que a maioria dos entrevistados discordaram totalmente de que a rede viária de Recife fosse adequada para o uso seguro de bicicletas. Por fim, vale ressaltar que a Pesquisa Perfil do Ciclista Brasileiro (TRANSPORTE ATIVO, 2018) levantou que o segundo maior problema apontado pelos ciclistas (37,9% do total de entrevistados) é a falta de infraestrutura adequada, informação ratificada pela resposta de 47,6% dos entrevistados, que informaram que o que os faria pedalar mais seria a existência de mais e melhores infraestruturas.

A FHWA (2003) classifica a segurança viária como um dos fatores do grupo “características das viagens”, indicados como influenciadores do uso da bicicleta em áreas urbanas. Tal fator também é indicado por Ortuzar *et al.* (2000). Frente a isto, Rietveld e Daniel (2004) enfatizam a necessidade de sinalização horizontal e vertical adequadas. No Brasil, a Pesquisa Perfil do Ciclista Brasileiro (TRANSPORTE ATIVO,

2018) identificou que o maior problema enfrentado pelo usuário da bicicleta é a falta de segurança no trânsito (40,8% dos entrevistados).

Magalhães *et al.* (2018) utilizam variáveis associadas às características do tráfego geral: classificação funcional das vias (coletoras ou arteriais), número de faixas de rolamento na via e número de veículos motorizados em um hora por faixa. Para vias sem disponibilidade de infraestrutura cicloviária, o número de faixas de rolamento emergiu como uma das variáveis de maior influência no uso da bicicleta na Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro.

3.4.5 Atitudes e Percepções

A Tabela 3.9 apresenta os fatores relacionados às atitudes e percepções dos usuários da bicicleta. A sensação de conforto é uma das características da viagens urbanas elencadas pela FHWA (2003) como relevantes para a determinação do uso (ou não) deste modo de transporte. Rietveld e Daniel (2004) também abordam o conforto, explicando que ele é consequência do traçado e da qualidade das vias disponíveis para uso da bicicleta e do preparo físico dos indivíduos.

Tabela 3.9 - Fatores relacionados às atitudes e percepções

ATITUDES E PERCEPÇÕES	
Fatores	Estudos em que o fator foi considerado relevante para a demanda
Conforto físico percebido	FHWA (2003) e Rietveld e Daniel (2004)
Insegurança (roubo, furto e crimes)*	de Macedo <i>et al.</i> (2018), Magalhães <i>et al.</i> (2018) e Rietveld e Daniel (2004)
Rapidez	Rietveld e Daniel (2004) e Transporte Ativo (2018)
Acidentes	Magalhães <i>et al.</i> (2018) e Transporte Ativo (2015)
Padrões de atividades*	FHWA (2003) e Rietveld e Daniel (2004)
Viajantes Alternativos	Daddio (2012) e Rixey (2013)

Fonte: Elaborado pela autora

Quanto à insegurança, Rietveld e Daniel (2004) destacam que os riscos de roubos e furtos devem ser incluídos na consideração do custo monetário dos programas de compartilhamento de bicicletas. de Macedo *et al.* (2018), ao observar que, em seu modelo, os usuários do sistema do Recife se apresentaram mais positivos que os não-usuários sobre a influência da segurança pública, inferem que esse fator é uma das maiores barreiras a se enfrentar para alcançar os ainda não adeptos. Neste sentido, Magalhães *et*

al. (2018) utilizam o “número de crimes fatais por unidade administrativa da Região Sul da cidade do Rio de Janeiro” como uma das variáveis de seu modelo, sem obter, entretanto, associação significativa desta com o número de bicicletas em circulação.

Rietveld e Daniel (2004) classificam a rapidez como um fator que influencia o uso da bicicleta e que faz parte dos esforços de Políticas de Transportes. Dados levantados pela Pesquisa Perfil do Ciclista Brasileiro (TRANSPORTE ATIVO, 2018) indicam que a maior motivação para a escolha pelo uso da bicicleta como modo de transporte é a sua rapidez e praticidade.

A Pesquisa Perfil do Ciclista Brasileiro realizada em 2015 pela Transporte Ativo, apontou que cerca de 20% dos entrevistados havia sofrido algum acidente de trânsito nos três anos anteriores à pesquisa. O trabalho de Magalhães *et al.* (2018) reforça tal informação, já que seu modelo utilizou a variável “número de acidentes de trânsito fatais e não fatais por unidade administrativa”, que apresentou considerável influência no uso da bicicleta em vias com disponibilidade de infraestrutura cicloviária.

Rietveld e Daniel (2004) citam os padrões de atividades como influenciadores do uso da bicicleta em áreas urbanas, explicando que eles envolvem principalmente o motivo da viagem, fazendo com que esta decisão varie de acordo com cada cenário. Leva-se em consideração, por exemplo, se os indivíduos têm emprego, vão à escola, visitam parentes em determinados locais, sendo todas estas atividades que têm impacto evidente na demanda por viagens. A FHWA (2003) traz uma abordagem semelhante ao classificar as “percepções e necessidades iniciais” como um dos três grupos de fatores relevantes para o uso da bicicleta como modo de transporte. Segundo a instituição, este grupo está relacionado com a percepção de cada indivíduo a respeito da utilidade dos modos de transporte para realizar determinado tipo de viagem, sendo, portanto, intrínseca de cada pessoa.

Daddio (2012) e Rixey (2013) avaliam a relevância de variável associada aos trabalhadores que se deslocam por bicicleta, a pé ou por transporte público. No segundo trabalho, tal variável aparece dentre as estatisticamente significativas em relação ao número de usuários de compartilhamento de bicicletas em sistemas dos Estados Unidos.

3.4.6 Características do Sistema

As categorias elencadas Kuzmyak *et al.* (2014) tratam do sistema cicloviário de uma maneira geral. Entretanto, como o objeto deste trabalho são os sistemas de compartilhamento de bicicletas, considerou-se importante categorizar também as características próprias destes sistemas apontadas como relevantes pela revisão bibliográfica, conforme Tabela 3.10.

Tabela 3.10 - Fatores relacionados às características do sistema

CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA	
Fatores	Estudos em que o fator foi considerado relevante para a demanda
Número e locais de estações	Fishman <i>et al.</i> (2015), Frade e Ribeiro (2015), ITDP (2014), Lin e Yang (2011) e Magalhães <i>et al.</i> (2018)
Capacidade da estação	Faghih-Imani <i>et al.</i> (2017), Frade e Ribeiro (2015), Lin e Yang (2011), O' Brien <i>et al.</i> (2014) e Tran <i>et al.</i> (2015)
Densidade de estações	O' Brien <i>et al.</i> (2014), ITDP (2014), Rixey (2013), Tran <i>et al.</i> (2015), Zhang <i>et al.</i> (2013) e Zhang <i>et al.</i> (2017).

Fonte: Elaborado pela autora

Diversos trabalhos da revisão bibliográfica apontaram os locais de estações como determinantes para os sistemas de compartilhamento de bicicletas. O Guia de Planejamento de Sistemas de Bicicletas Compartilhadas desenvolvido pelo ITDP em 2014 orienta que elas sejam localizadas preferencialmente ao longo de ciclovias, priorizando esquinas para que alcance o público de várias regiões e em áreas de uso misto. Também Frade e Ribeiro (2015) se preocupam em encontrar a localização ideal de estações de bicicleta, o que fazem por meio de método de otimização. O procedimento desenvolvido por Lin e Yang (2011) faz uso de heurísticas para localização de estações e ciclovias, levando em consideração o número e locais de estações de compartilhamento de bicicletas no sistema, a rede de ciclovias entre as estações, a seleção de caminhos de usuários entre origens e destinos e os níveis de estoque de bicicletas compartilhadas a ser mantido nas estações. No Brasil, Magalhães *et al.* (2018) tem como uma das variáveis de seu modelo, o número de estações do sistema Bike Rio em uma área com raio de 400m a partir do ponto de contagem.

Segundo O'Brien *et al.* (2014), o tamanho de um sistema pode ser expresso em termos do número de estações de ancoragem, o número de pontos de acoplamento de uma maneira geral, ou o número de bicicletas disponíveis para uso no sistema. Capacidade da estação é uma das variáveis avaliadas dentro do fator da “rede de compartilhamento” do

trabalho de Tran *et al.* (2015). O modelo indicou que a capacidade da estação estava plausivelmente correlacionada ao uso de bicicletas para cada estação. Também Faghhi-Imani *et al.* (2017) apresentaram a capacidade média das estações como um dos importantes contribuintes das taxas de chegada e partida tanto para o sistema de compartilhamento de bicicletas de Barcelona quanto para o de Sevilha. Frade e Ribeiro (2015) desenvolveram um modelo de otimização para projetar um sistema de compartilhamento de bicicletas que determina não somente a localização ideal das estações de bicicleta, mas também o tamanho da frota, a capacidade das estações e o número de bicicletas em cada estação.

O estudo de O'Brien *et al.* (2014), que analisa dados de 38 programas de compartilhamento, observou que 50% dos sistemas têm uma média de 300 a 400 m de distância entre estações. Ratificando tal informação, o Guia de Planejamento de Sistemas de Bicicletas Compartilhadas (ITDP, 2014) sugere uma densidade de estações em torno de uma a cada 300 metros. No trabalho de Rixey (2013) a “proximidade a uma rede de outras estações de compartilhamento de bicicletas” apresenta forte correlação positiva com o número de passageiros em uma variedade de especificações do modelo e ao mesmo tempo controla as outras variáveis demográficas e do ambiente construído, sugerindo que o acesso a uma rede abrangente de estações é um fator crítico. O modelo de Tran *et al.* (2015) indicou que a densidade da rede de compartilhamento de bicicletas estava plausivelmente correlacionada ao uso de bicicletas para cada estação. Zhang *et al.* (2013) defendem que a localização das estações de aluguel de bicicletas é o principal determinante para o sucesso do sistema, inclusive pela interação espacial entre as próprias estações. No caso do estudo de Zhang *et al.* (2017), os autores observaram que no sistema de Zhongshan (China), o “número de outras estações próximas” influenciou negativamente tanto a demanda de viagem quanto a relação entre a demanda e a oferta nas estações de bicicleta.

3.5 Coleta de Dados Locacionais, Socioeconômicos e do Sistema

Uma vez identificados os fatores apontados como relevantes pela revisão bibliográfica, será feita a coleta de dados para as posteriores análises. As informações do sistema serão obtidas junto à operadora Tembici, de acordo com a política de dados abertos da empresa.

Espera-se encontrar um indicador de demanda das estações, além de variáveis associadas aos fatores do grupo “Características do Sistema”.

Para os dados socioeconômicos, será utilizado como fonte o Censo 2010, que disponibiliza diversas informações de livre acesso, agrupadas de diversas maneiras. Como as informações que se deseja obter são dos arredores das estações, serão utilizados os dados agregados por setor censitário, que é a unidade territorial de coleta das operações censitárias.

O banco de dados da Prefeitura do Rio de Janeiro e do Estado do Rio de Janeiro, nas suas diversas secretarias, será utilizado para a obtenção de dados locacionais, tais como: uso de solo, rede de transportes, entre outros.

3.6 Definição das Variáveis de acordo com os Dados Disponíveis

Para a definição das variáveis será necessário comparar os fatores levantados na primeira etapa, com os tipos de informações disponibilizadas pela Tembici, pelo Censo, pelo banco de dados da Prefeitura e do Estado, e outras possíveis fontes. A partir desta comparação, será possível avaliar quais dados poderão ser utilizados como variáveis. As variáveis dependentes serão aquelas associadas ao uso da estação e as independentes associadas aos fatores levantados.

Vale ressaltar que é provável que não seja possível associar uma variável a cada fator, principalmente aqueles de caráter subjetivo. Portanto, é nesta etapa que se faz efetivamente a seleção dos fatores possíveis de serem mensurados e analisados.

3.7 Análise dos Fatores Estatisticamente Relevantes nas Demandas das Estações Existentes

Para identificar as variáveis estatisticamente relevantes serão estabelecidas matrizes de correlação de Pearson entre as variáveis selecionadas como explicativas e a(s) variável(is) dependente(s), cujas estatísticas indicarão as correlações mais significativas.

O coeficiente de correlação de Pearson mede o grau da correlação entre duas variáveis de escala métrica. Este coeficiente, normalmente representado por ρ assume apenas

valores entre -1 e 1. Quando o coeficiente de correlação se aproxima de 1, nota-se um aumento no valor de uma variável quando a outra também aumenta, ou seja, há uma relação linear positiva. Quando o coeficiente se aproxima de -1, também é possível dizer que as variáveis são correlacionadas, mas nesse caso quando o valor de uma variável aumenta o da outra diminui. Isso é o que é chamado de correlação negativa ou inversa. Portanto, o sinal indica a direção e o tamanho da variável indica a força da correlação. Os seus valores são interpretados da seguinte forma (FRANZBLAU, 1958):

- Se $|\rho| < 0,20$, a correlação é negligenciável;
- Se $0,20 < |\rho| < 0,40$, a correlação é fraca;
- Se $0,40 < |\rho| < 0,60$, a correlação é moderada;
- Se $0,60 < |\rho| < 0,80$, a correlação é forte;
- Se $|\rho| > 0,80$, a correlação é muito forte.

Vale ressaltar que, ainda que ρ apresente o valor “0”, isso não significa que não exista dependência entre as variáveis, mas sim que esta dependência não é linear. Portanto, nestes casos, deve ser feita a investigação por outros meios.

3.8 Identificação das Variáveis e Respetivos Fatores com Melhor Capacidade de Explicação

Para identificar as variáveis que tem melhor capacidade de explicação e, conseqüentemente, os fatores aos quais elas estão associadas, será utilizada a análise de regressão, que é uma técnica estatística com o objetivo de verificar a existência ou não de uma relação funcional entre uma variável dependente com uma ou mais variáveis independentes ou preditoras. O objetivo da análise de regressão é prever as mudanças na variável dependente como resposta a mudanças nas variáveis independentes por meio da regra estatística dos mínimos quadrados (PETERNELLI, 2004; HAIR *et al.*, 2005).

Para obtenção de uma equação que tente explicar a variação da variável dependente pela variação do(s) nível(is) da(s) variável(is) independente(s), pode-se fazer um gráfico, conhecido como diagrama de dispersão, para verificar como se comportam os valores da variável dependente (Y) em função da variável independente (X). O comportamento de

Y em relação a X pode se apresentar de diversas maneiras: linear, quadrático, cúbico, exponencial, logarítmico, entre outros. Para se estabelecer o modelo para explicar o fenômeno, deve-se verificar qual tipo de curva e equação de um modelo matemático mais se aproxima dos pontos representados no diagrama de dispersão (PETERNELLI, 2004).

Pode-se verificar, entretanto, que os pontos do diagrama de dispersão, não vão se ajustar perfeitamente à curva do modelo matemático proposto. Isso porque o fenômeno em estudo não se trata de um fenômeno matemático e sim de um fenômeno sujeito a influências que ocorrem ao acaso. Assim, o objetivo da regressão é obter um modelo matemático que melhor se ajuste aos valores observados de Y em função da variação dos níveis da variável X. Vale ressaltar que a escolha deste modelo deve ser condizente tanto no grau como no aspecto da curva, para representar em termos práticos, o fenômeno em estudo, e deve conter apenas as variáveis que são relevantes para explicá-lo (PETERNELLI, 2004).

3.8.1 Modelo de Regressão Linear Simples

Análise de regressão linear simples é um método estatístico que utiliza a relação entre duas variáveis quantitativas (ou qualitativas) de tal forma que uma variável pode ser predita a partir da outra. O modelo é dado pela equação 3.1:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad (3.1)$$

Onde:

- Y_i é o valor observado para a variável dependente Y no i-ésimo nível da variável independente X;
 - β_0 é a constante de regressão. Representa o intercepto da reta com o eixo dos Y;
 - β_1 é o coeficiente de regressão. Representa a variação de Y em função da variação de uma unidade da variável X;
 - X_i é o i-ésimo valor da variável independente (é uma constante conhecida);
 - ε_i é o erro que está associado à distância entre o valor observado Y_i e o correspondente ponto na curva do modelo proposto, para o mesmo nível i de X.
- (PETERNELLI, 2004).

Os dados são usados para estimar β_0 e β_1 , isto é, ajustar o modelo aos dados, para (RIBEIRO, 2012):

- Quantificar a relação entre Y e X;
- Usar a relação para prever uma nova resposta Y_0 para um dado valor de X_0 (não incluído no estudo).

3.8.2 Modelo de Regressão Linear Múltipla

A regressão múltipla envolve três ou mais variáveis, ou seja, uma única variável dependente (Y) e duas ou mais variáveis independentes. A teoria é uma extensão da análise de regressão linear simples. De modo similar, a análise tem por objetivo estabelecer uma equação que possa ser usada para prever valores de Y para valores dados das diversas variáveis independentes. A finalidade das variáveis independentes adicionais é melhorar a capacidade de predição em confronto com a regressão linear simples. O método de cálculo da reta de regressão busca encontrar uma reta em que o somatório dos erros - distância vertical entre o ponto e a reta de regressão - seja minimizado (PETERNELLI, 2004; RIBEIRO, 2012). Define-se o modelo de regressão, com erros normais, em termos das variáveis predictoras, por meio da equação 3.2:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon_i \quad (3.2)$$

Onde:

- Y_i é o valor observado para a variável dependente Y no i-ésimo nível da variável independente X;
- β_0 é a constante de regressão;
- $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ são os coeficientes de regressão;
- X_1, X_2, \dots, X_k são constantes conhecidas;
- ε_i são os erros (independentes com distribuição $N(0, \sigma^2)$)

3.8.3 Método dos Mínimos Quadrados

A técnica dos mínimos quadrados é o método mais utilizado para ajustar uma linha reta a um conjunto de pontos. É uma técnica de otimização matemática que procura encontrar o melhor ajustamento para um conjunto de dados tentando minimizar a soma

dos quadrados das diferenças entre o valor estimado e os dados observados (tais diferenças são chamadas de resíduos). A reta resultante tem duas características importantes (RIBEIRO, 2012):

- a) a soma dos desvios verticais dos pontos em relação a reta é zero;
- b) e a soma dos quadrados desses desvios é mínima (isto é, nenhuma outra reta daria menor soma de quadrados de tais desvios).

Resumidamente, pode-se dizer que o Método dos Mínimos Quadrados consiste em um estimador que minimiza a soma dos quadrados dos resíduos da regressão, de forma a maximizar o grau de ajuste do modelo aos dados observados. Tal definição pode ser observada na equação 3.3:

$$\sum(y_i - y_c)^2 \quad (3.3)$$

Onde:

- y_i = um valor observado de y ;
- y_c = o valor calculado de y , utilizando-se a equação de mínimos quadrados com o valor de x correspondente a y_i .

3.8.4 Coeficiente R^2

O coeficiente de determinação R^2 é uma medida descritiva da proporção da variação de Y em torno da sua média (\bar{y}) que pode ser explicada por variações em X , segundo o modelo de regressão especificado. Matematicamente, pode ser definido pela equação 3.4 (HOFFMAN, 2016):

$$R^2 = \frac{\sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} = \frac{\text{variação explicada pelo modelo}}{\text{variação total}} \quad (3.4)$$

- $\sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2$ = variação explicada apenas pela soma dos quadrados da regressão
- $\sum(y_i - \bar{y})^2$ = variação total, incluindo a soma dos quadrados residuais (erros)

Quanto mais próximo de 1 estiver o coeficiente de determinação, melhor será o grau de explicação da variação de Y em termos da variável X . Sendo assim, quando

multiplicado por 100, ele corresponde à porcentagem da variabilidade em Y que pode ser explicada através da equação da regressão (RIBEIRO, 2012).

3.8.5 Valor-p

O valor-p para cada termo testa a hipótese nula de que o coeficiente é igual a zero (sem efeito). Um valor-p baixo ($< 0,05$) indica que a hipótese nula pode ser rejeitada, isto é, uma preditora que tenha um valor-p baixo provavelmente será uma adição significativa ao modelo, porque as alterações no valor da preditora estão relacionadas a alterações na variável resposta. Por outro lado, um valor-p maior (insignificante) sugere que as mudanças na preditora não estão associadas a mudanças na resposta.

3.9 Identificação das Áreas Desatendidas com Potencial para Receber Estações

A 6ª etapa do procedimento consiste na identificação de áreas até então desatendidas pelas estações do Bike Rio com potencial para receber novas estações, isto é, locais com características compatíveis com o que foi encontrado na análise de regressão. A ideia deste trabalho é fazer esta sugestão de locação de estações principalmente para o subúrbio do Rio de Janeiro.

Para tal fim, será utilizado o QGIS, um *software* de sistema de informação geográfica, através do qual será elaborado um mapa de calor que destaque graficamente os locais que, segundo a previsão estatística, apresentariam elevada demanda, caso recebessem uma estação de compartilhamento de bicicletas.

3.10 Análise dos Resultados e Estabelecimento de Conclusões

Esta última etapa envolve toda a análise dos resultados obtidos e do processo até alcançá-los. É nesta fase que será feita a avaliação da eficiência do procedimento sugerido quanto à sua exequibilidade, levando em consideração as limitações encontradas e fazendo a comparação dos resultados obtidos com os esperados. A partir desta análise, serão enfim estabelecidas conclusões e as recomendações para estudos futuros.

4. ESTUDO DE CASO

4.1 Considerações Iniciais

Este capítulo apresenta a aplicação do procedimento proposto no estudo de caso do sistema de compartilhamento de bicicletas da cidade do Rio de Janeiro, o Bike Rio. A partir dos dados disponíveis, são definidas as variáveis a serem utilizadas na análise de regressão e também a amostra de estações. Após a aplicação das técnicas estatísticas, são apresentadas as equações que buscam explicar as demandas das estações do sistema fluminense e o mapa de calor, que destaca graficamente áreas potenciais para a localização de estações na cidade.

4.2 O Sistema Bike Rio

4.2.1 Histórico

O primeiro sistema de bicicletas compartilhadas da América Latina foi implantado no Rio de Janeiro e teve a sua inauguração em 11 de dezembro de 2008. O Sistema Alternativo para Mobilidade por Bicicletas de Aluguel - “SAMBA”, com o projeto Pedala Rio, contava com apenas dezenove estações e 190 bicicletas prateadas distribuídas por poucos bairros da Zona Sul carioca. Entretanto, a empresa pernambucana Sertell Engenharia, operadora do sistema, logo encontrou problemas para a manutenção do projeto, devido à ausência de patrocínio, orçamento restrito e aos casos de vandalismo e furto, por conta da falta de uma tecnologia de segurança adequada (TRANSPORTE ATIVO, 2018).



Figura 4.1 – Estação do Sistema Alternativo para Mobilidade por Bicletas (SAMBA)

Fonte: Transporte Ativo (2018)

Houve uma breve e frustrada possibilidade de patrocínio, no início de 2010, momento em que a frota de bicicletas chegou a ser pintada de azul, mas a parceria não seguiu adiante. Diante deste quadro desanimador, a Prefeitura do Rio de Janeiro, em parceria com a operadora e contando com o patrocínio do Banco Itaú, reformulou o sistema, o qual passou a ser chamado de Bike Rio. As modificações envolveram custo mais baixo para os usuários, maior número de estações e bicicletas disponíveis e integração total com *smartphones*. O programa foi implantado em outubro de 2011, contendo 56 estações, 600 bicicletas disponíveis e 723 posições de engate de bicicletas. A partir daí, o sistema passou a se consolidar, sofrendo uma grande expansão entre 2013 e 2015, com a instalação de 200 novas estações. Tal ação ampliou o número de bairros atendidos e aumentou a densidade da rede, diminuindo a distância entre estações (TRANSPORTE ATIVO, 2018; ITDP, 2014).



Figura 4.2 – Estação do Sistema Bike Rio
Fonte: ITDP (2015)

Em 2015, o sistema atingiu seu auge até então, com uma média de 8 mil viagens por dia ou 240 mil por mês. Entretanto, com uma demanda maior que a capacidade de oferta, além das dificuldades para fazer a manutenção das bicicletas e lidar com problemas físicos e tecnológicos, o Bike Rio foi entrando em colapso. Em função disso, em maio de 2017, houve a troca da concessionária operadora, saindo a Sertell Engenharia e entrando a TemBici. Com esta mudança, houve uma breve melhora no sistema já existente, mas já com planos de uma reformulação, que viria alguns meses depois (TRANSPORTE ATIVO, 2018).

O novo sistema adotado pela TemBici é o canadense Public Bike System Company (PBSC), um dos mais confiáveis e utilizados do mundo. Ele é mais robusto, com uma bicicleta pensada para essa função, que oferece mais segurança e conforto na pedalada. Além disso, permite uma variedade maior de formas para se retirar a bicicleta e adquirir os passes. A nova Geração do Bike Rio foi lançada no dia 20 de fevereiro de 2018 e logo no primeiro dia já teve mais de 900 viagens e mais de dois mil cadastros. No segundo dia, por volta das 21 horas o número de viagens já era o dobro em relação ao dia anterior, chegando perto de duas mil viagens (TRANSPORTE ATIVO, 2018). A Figura 4.3 apresenta a distribuição das estações Bike Rio.

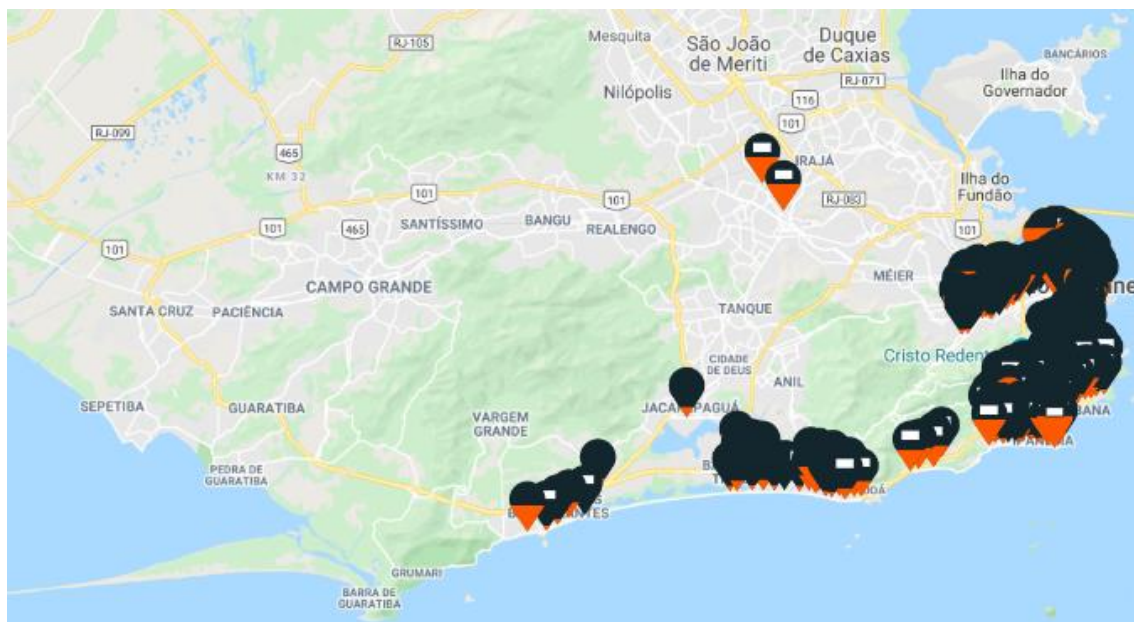


Figura 4.3 – Distribuição das Estações Bike Rio

Fonte: Bike Itaú (2019)

4.2.2 Funcionamento

A Tembici oferece cinco planos para o uso das bicicletas do Bike Rio:

- Plano diário – R\$5,00
- Plano para três dias – R\$15,00
- Plano mensal – R\$20,00
- Plano trimestral – R\$50,00
- Plano anual – R\$160,00

Os usuários podem fazer viagens ilimitadas de até 60 min e intervalos mínimos de 15 min entre uma locação e outra, durante o período do seu plano. Em caso de uso da bicicleta por mais tempo do que o determinado, é cobrado um valor adicional de R\$ 5,00 por hora.

A retirada das bicicletas é feita através do uso do cartão Bike Rio, ou do App Bike Itaú, digitando o código gerado pelo aplicativo, na vaga da bicicleta escolhida. A devolução da bicicleta é feita pelo próprio usuário, encaixando-a em uma vaga disponível de qualquer estação. É possível localizar as estações com vagas disponíveis pelo site, pelo App Bike Itaú ou ligando para a Central de Atendimento.

4.3 Identificação dos Principais Fatores Locacionais e Socioeconômicos

Esta etapa tem a função de identificar os fatores locacionais e socioeconômicos que devem ser levados em consideração ao se escolher a localização de uma estação de compartilhamento de bicicletas. Tal seleção foi feita no item 3.4 desta dissertação, a partir da revisão bibliográfica e tomando por base as categorizações de Heinen *et al.* (2010) e Kuzmyak *et al.* (2014). Foram feitas as devidas adaptações, levando-se em conta o cenário brasileiro e as especificidades dos programas de compartilhamento de bicicletas. A Tabela 4.1 apresenta esta seleção de forma sintetizada:

Tabela 4.1 – Principais Fatores Locacionais e Socioeconômicos

Categoria	Fatores
Características Socioeconômicas e Demográficas	Idade
	Gênero
	Etnia
	Renda
	Posse de veículos
	Grau de instrução escolar
	Densidade Populacional
Uso do Solo e Ambiente Construído	Uso de solo comercial
	Uso de solo residencial
	Uso misto do solo
	Densidade de Interseções
	Conectividade com transporte público
	Áreas Escolares / Universidades
	Atratores/ Pontos de interesse
	Varejo
Centros de recreação / Parques/ Variáveis de lazer	
Ambiente Natural	Precipitação
	Temperaturas extremas
	Topografia
Infraestrutura Viária (Facilidades)	Distância de viagem
	Tempo de viagem
	Pavimento
	Estacionamento seguro no destino da viagem
	Existência e característica das instalações cicloviárias
	Segurança em relação ao tráfego
	Características do tráfego geral
Atitudes e Percepções	Conforto físico percebido
	Insegurança (roubo, furto e crimes)
	Rapidez
	Acidentes
	Padrões de atividades
Características dos Sistemas	Viajantes Alternativos
	Número e locais de estações
	Capacidade da estação
	Densidade de estações

Fonte: Elaborado pela autora

4.4 Coleta de Dados Locacionais, Socioeconômicos e do Sistema

As características socioeconômicas e demográficas dos usuários do sistema de compartilhamento de bicicletas do Rio de Janeiro serão obtidas através dos dados do Censo 2010. Para que seja possível filtrar as informações por estação Bike Rio, serão utilizados os dados agregados por setor censitário, que é a unidade territorial de coleta das operações censitárias, definido pelo IBGE, com limites físicos identificados, em áreas contínuas e respeitando a divisão político-administrativa do Brasil.

A Base de Informações por Setores Censitários de cada Unidade da Federação (UF) está subdividida em 18 planilhas, agrupadas em oito categorias:

Tabela 4.2 – Planilhas da Base de Informações por Setores Censitários – Censo 2010

Categoria	Descrição
Básico	Contém os códigos e nomes das subdivisões geográficas e a informação básica do cadastro de áreas (totais, médias e variâncias)
Domicílio	Fornecem informações sobre os moradores por sexo, idade e características do domicílio
Responsável	Fornecem informações sobre os responsáveis por domicílios particulares permanentes por sexo, idade, alfabetização
Alfabetização	Fornecem informação sobre a alfabetização da população residente por sexo e idade
Cor e Raça	Fornecem informação sobre cor ou raça da população por sexo e idade
Parentesco	Fornecem informação sobre parentesco da população por sexo e idade
Registro Civil	Contém as informações sobre registro de nascimento da população
Pessoa	Fornecem informação sobre a população residente por sexo, idade

A maior parte das informações a respeito dos dados locacionais será obtida pela plataforma de mapas interativos *inLoco*, desenvolvida pelo Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro, que oferece uma série de informações georreferenciadas do estado. A partir da extração destes dados através do respectivo site, eles poderão ser manipulados pelo uso do *software* QGis. Ainda no tocante às características locacionais, as

informações do sistema de transporte da cidade do Rio de Janeiro poderão ser obtidas junto ao banco de dados da Secretaria Municipal de Transportes.

E, por fim, no que diz respeito às características do sistema, a empresa Tembici disponibilizou planilhas mensais, desde abril de 2018, contendo todas as viagens realizadas no sistema Bike Rio, apresentando as seguintes informações:

- Número da estação de origem;
- Nome da estação de origem;
- Data e hora da retirada da bicicleta;
- Número da estação de destino;
- Nome da estação de destino;
- Data e hora da devolução da bicicleta.

A partir deste levantamento então será possível definir quais fatores poderão ser medidos e, conseqüentemente, avaliados.

4.5 Definição das Variáveis de acordo com os Dados Disponíveis

4.5.1 Variável Dependente

De posse das informações disponibilizadas pela Tembici, chegou-se a um dado que será utilizado como indicador de demanda das estações: número de viagens/estação. Para chegar a tal indicador foram avaliados os dados de 01 a 05 de abril de 2019, período escolhido por se tratar de dias de semana típicos, isto é, segunda à sexta-feira sem feriados, do mês mais próximo à data da análise. A partir daí foi possível identificar os períodos de maior utilização das bicicletas tanto na manhã quanto na tarde.

Tabela 4.3 – Viagens Produzidas por Pico

	PICO - MANHÃ		PICO - TARDE	
	Viagens Produzidas	Hora-pico	Viagens Produzidas	Hora-pico
01/04/2019	1623	07:30 – 08:30	2628	17:30 – 18:30
02/04/2019	1823	07:45 – 08:45	2733	17:40 – 18:40
03/04/2019	1885	07:40 – 08:40	2796	17:25 – 18:25
04/04/2019	1791	07:45 – 08:45	2773	17:35 – 18:35
05/04/2019	1839	08:00 – 09:00	2630	17:20 – 18:20

Tabela 4.4 – Viagens Atraídas por Pico

	PICO - MANHÃ		PICO - TARDE	
	Viagens Atraídas	Hora-pico	Viagens Atraídas	Hora-pico
01/04/2019	1587	07:35 – 08:35	2638	17:45 – 18:45
02/04/2019	1806	08:00 – 09:00	2711	17:40 – 18:40
03/04/2019	1844	08:05 – 09:05	2837	17:40 – 18:40
04/04/2019	1748	07:50 – 08:50	2743	17:50 – 18:50
05/04/2019	1774	08:05 – 09:05	2653	17:50 – 18:50

É possível notar que as horas-picos da manhã variaram entre 7h30 e 9h05 e as da tarde entre 17h20 e 18h50. Por motivos de padronização, optou-se por avaliar os períodos de 7h às 9h e 17h às 19h. Sendo assim, a variável dependente será **Número de Viagens por Estação**, sendo representada pelas viagens geradas, produzidas e atraídas nos períodos da manhã e da tarde, configurando seis cenários de análise.

4.5.2 Variáveis Independentes

Os fatores levantados como relevantes para a escolha da localização de uma estação de compartilhamento de bicicletas foram selecionados a partir da revisão bibliográfica, conforme explica o item 3.4 e sintetiza a Tabela 4.1. Como já mencionado, os fatores foram agrupados nas seguintes categorias: características socioeconômicas e demográficas, uso do solo e ambiente construído, ambiente natural, infraestrutura viária (facilidades), atitudes e percepções e características do sistema.

Vale ressaltar, entretanto, que apenas parte dos fatores já elencados poderão ser utilizados como variáveis na análise de regressão que se pretende executar, isto porque boa parte deles não é facilmente mensurável ou por escassez de dados a respeito de outros. Dito isto, serão considerados como variáveis apenas os fatores para os quais tenha sido possível encontrar indicadores equivalentes adequados e disponíveis.

Outra consideração importante a ser feita é que tais informações serão obtidas para cada estação analisada considerando-se uma área de influência de raio 1 km. Isto porque esta é uma distância de caminhada tradicionalmente considerada razoável para o acesso a estações de Transporte Público, de maneira geral. Sendo assim, ao adotar tal parâmetro, entende-se que os potenciais usuários de determinada estação têm sua origem ou destino localizada dentro desta área de abrangência.

4.5.2.1 Características Socioeconômicas e Demográficas

A primeira variável deste grupo se refere à população, isto é, a quantidade de pessoas residentes nas proximidades das estações Bike Rio. Para obter tal informação, será utilizada a variável V001 (Pessoas Residentes) da Planilha Pessoa03_RJ do Censo 2010. Entretanto, como os setores censitários têm áreas diferentes, a variável a ser considerada será a **Densidade Populacional**, isto é:

$$Densidade\ Populacional = \frac{Número\ de\ pessoas\ residentes\ no\ setor\ censitário}{Área\ do\ setor\ censitário} \quad (4.1)$$

O gênero é outro fator a ser considerado nesta categoria. Para recolher os respectivos dados será utilizada a variável V002 da Planilha Pessoa11_RJ (Homens residentes em domicílios particulares permanentes e a variável V002 (Mulheres residentes em domicílios particulares permanentes) da Planilha Pessoa12_RJ do Censo 2010. A fim de trabalhar a relação desses dois dados, a variável a ser utilizada será a **População Masculina**, que medirá a prevalência do número de homens sobre o número de mulheres, esperando que esta apresente uma relação positiva com a variável dependente. Desta forma:

$$\text{População Masculina} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de homens residentes no setor censitário}}{\text{N}^\circ \text{ de mulheres residentes no setor censitário}} \quad (4.2)$$

Outro fator tido como relevante pelos autores é a renda, que será avaliada de acordo com os dados da Planilha PessoaRenda_RJ do Censo 2010. As variáveis V001 à V010 indicam a quantidade de pessoas de 10 anos ou mais com rendimento nominal mensal divididos por faixas salariais. Sendo assim, a variável **Renda** terá por valor a média ponderada do rendimento nominal mensal dos residentes do respectivo setor censitário.

A idade também é retratada como característica que influencia no uso das bicicletas compartilhadas. No caso do Rio de Janeiro, a Pesquisa Perfil do Ciclista Brasileiro (Transporte Ativo, 2018) indica que os ciclistas urbanos das faixas etárias de 15 a 24 anos (22,4%), de 25 a 34 anos (27,6%) e de 35 a 44 anos (23,6%), somados correspondem a 73,6% do total. Sendo assim, este fator será medido pela variável **Idade 15-44**, correspondente à porcentagem da população do respectivo setor censitário com idade entre 15 e 44 anos.

A parcela de pessoas não brancas é indicada na revisão bibliográfica como uma das variáveis com associação negativa com a variável dependente. Para verificar esta relação, será utilizada a variável **População Não-Branca**, a partir da combinação da informação de pessoas residentes com a variável V002 (Pessoas Residentes Brancas) da planilha Pessoa03_RJ do Censo 2010. A variável será medida da seguinte forma:

$$\text{Pop. Não – Branca} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de pessoas residentes} - \text{N}^\circ \text{ de pessoas residentes brancas}}{\text{N}^\circ \text{ de pessoas residentes}} \quad (4.3)$$

Ainda nesta categoria está a educação. Os autores explicam que quanto maior o grau de instrução, menores costumam ser as taxas de utilização da bicicleta. Um indicador adequado para este fator seria o percentual de pessoas com determinada escolaridade, entretanto, a nível de setor censitário, a única informação disponível é o número de pessoas alfabetizadas. Sendo assim, não será possível ter uma variável associada a este fator. Da mesma forma, a posse de veículos também não apresentou indicador adequado.

4.5.2.2 Uso do Solo e Ambiente Construído

Pela plataforma de mapas interativos *inLoco*, será possível atribuir ao fator das áreas educacionais, a variável **Escola**, referente ao número de escolas dentro de um raio de 1km de cada estação Bike Rio. Ainda mais duas variáveis virão das informações do Ministério Público: **Shopping** e **Saúde**. A primeira se refere ao número de *shopping centers* dentro de um raio de 1km de cada estação Bike Rio e a segunda ao número de estabelecimentos de saúde dentro desta mesma área.

Quanto ao uso do solo, a informação disponibilizada na plataforma inLoco é o mapa de uso de solo da Cidade do Rio de Janeiro referente ao ano de 2017, que, no grupo de áreas urbanizadas, faz as seguintes classificações:

- Áreas de comércio e serviços;
- Áreas de educação e saúde;
- Áreas de exploração mineral;
- Áreas de lazer;
- Áreas industriais;
- Áreas institucionais e de infraestrutura pública;
- Áreas não edificadas;
- Áreas residenciais;
- Favela.

Analisando os tipos de informações disponíveis, optou-se pelo uso de três variáveis. A primeira é a **Densidade Comercial**, referente à proporção de área comercial dentro da área total do círculo de raio de 1 km, a partir das estações Bike Rio. A segunda é a **Uso Misto do Solo**, que avalia a relação das densidades de áreas comerciais e de áreas residenciais, dentro dos círculos de abrangência das estações. Sendo assim, enquanto a primeiro tem apenas a função de medir a relação do uso das bicicletas com a proximidade de áreas comerciais, a segunda avalia a relação deste número de viagens com a heterogeneidade do uso do solo. Como última informação obtida através do mapa, tem-se a variável **Lazer**, referente à proporção de área de lazer dentro da área total do círculo de raio de 1 km.

Dentre os fatores classificados na categoria “uso do solo e ambiente construído” está a conectividade com o transporte público. Para definir as variáveis a serem relacionadas a este tópico é necessário primeiro observar o sistema estruturante de transporte da cidade do Rio de Janeiro. Ele é constituído de 3 linhas de metrô, 8 ramais de trem, três corredores de BRT, 2 linhas de VLT e 3 estações de barcas. Desta forma, a este fator está associada a variável **Transporte**, que se refere ao número de estações de Metrô, Trem, BRT, VLT ou Barcas dentro de um raio de 1 km de cada estação Bike Rio.

4.5.2.3 Ambiente Natural

Pelo fato do estudo de caso tratar de uma única cidade, entende-se que a ocorrência de precipitações e de temperaturas extremas afetem as estações de maneira semelhante, não servindo como uma variável explicativa para as diferenças de demanda entre elas. Desta forma, a topografia seria o único fator a ser analisado nesta categoria, entretanto não foram encontrados dados disponíveis para medir esta variável de maneira adequada.

4.5.2.4 Infraestrutura Viária (facilidades)

Entende-se que os fatores distância e tempo de viagem já são considerados quando se delimita a busca a uma área de influência de raio de 1 km de uma estação do sistema Bike Rio. Já a questão da existência de um estacionamento seguro, indicada como fator relevante para os ciclistas urbanos de maneira geral, não se enquadra na realidade dos sistemas de compartilhamento de bicicletas e, por isso, não será levada em consideração.

Os demais fatores têm relação com a existência de instalações cicloviárias e segurança viária. Para medir o primeiro grupo, será utilizada a variável **Vias Cicláveis**, referindo-se à extensão total de ciclovias, ciclofaixas ou faixas compartilhadas dentro do raio de 1 km de uma estação Bike Rio. Tal informação será obtida através da plataforma *inLoco*. O segundo grupo, por sua vez, será medido através de dados disponibilizados pela SMTR e CET-Rio, a respeito da rede viária da cidade do Rio de Janeiro. A variável associada será a **Velocidade 30**, consistindo na proporção da extensão de vias com velocidade máxima de até 30 km/h no somatório da extensão do total de vias dentro da área de abrangência de uma estação Bike Rio.

4.5.2.5 Atitudes e Percepções

Esta categoria envolve fatores de análise subjetiva e difícil de se mensurar. Os únicos fatores que aparentemente podem ser quantificados são os acidentes e as ocorrências voltadas à falta de segurança pública. Ainda assim, não foram encontrados dados que pudessem ser trabalhados a nível censitário. Desta forma, não serão utilizadas variáveis associadas a esta categoria de fatores.

4.5.2.6 Características do Sistema

Uma das características do sistema de compartilhamento de bicicletas a ser avaliada é a densidade de estações, já que, segundo os autores, uma rede de destinos potenciais próximos uns dos outros é essencial para o seu sucesso. Daí, tem-se a variável **Densidade da Rede**, que consiste no número de outras estações Bike Rio na área de abrangência (isto é, um raio de 1 km) da estação que estiver sendo analisada. Por fim, a capacidade das estações será avaliada por meio da variável **Capacidade** definida pelo número de vagas de cada estação.

4.5.2.7 Síntese das variáveis

Como não foi possível encontrar dados que mensurassem muitos dos fatores levantados na revisão bibliográfica, optou-se por reclassificar as variáveis que efetivamente poderão ser utilizadas, tomando por base o adotado por Daddio (2012). Desta forma, chegou-se à tabela-síntese:

Tabela 4.5 – Síntese das variáveis a serem utilizadas

Variável	Definição	Efeito previsto
Produção de Viagens		
Densidade Populacional	Número de pessoas residentes por hectare no respectivo setor censitário	Positivo
População Masculina	Proporção do número de homens no total da população do respectivo setor censitário	Positivo
Renda	Média ponderada do rendimento nominal mensal dos residentes do respectivo setor censitário em Reais	Desconhecido
Idade 15-44	Proporção da população do respectivo setor censitário com idade entre 15 e 44 anos.	Positivo
População não – branca	Proporção da população que seja de uma raça diferente de “apenas branco”	Negativo
Atração de Viagens		
Escola	Número de escolas dentro de um raio de 1 km de determinada estação Bike Rio.	Positivo
Shopping	Número de shopping centers dentro de um raio de 1 km de determinada estação Bike Rio.	Positivo
Saúde	Número de estabelecimentos de saúde dentro de um raio de 1 km de determinada estação Bike Rio.	Positivo
Densidade Comercial	Proporção de área comercial dentro da área total do círculo de raio de 1 km, a partir de determinada estação Bike Rio.	Positivo
Uso Misto do Solo	Relação entre a área comercial e a área residencial, dentro do círculo de raio de 1 km, a partir de determinada estação Bike Rio.	Positivo
Lazer	Proporção de área de lazer dentro da área total do círculo de raio de 1 km, a partir de determinada estação Bike Rio.	Positivo
Rede de Transporte		
Transporte	Número de estações de Metrô, Trem, BRT, VLT ou Barcas dentro de um raio de 1 km de cada estação Bike Rio.	Positivo
Vias Cicláveis	Extensão total de ciclovias, ciclofaixas ou faixas compartilhadas dentro do raio de 1 km de uma estação Bike Rio.	Positivo
Velocidade 30	Proporção da extensão de vias com velocidade máxima de até 30 km/h no somatório da extensão do total de vias dentro da área de abrangência de uma estação Bike Rio.	Positivo
Densidade da Rede	Número de outras estações Bike Rio dentro de um raio de 1 km da que estiver sendo analisada.	Positivo
Capacidade	Número de vagas de cada estação.	Positivo

4.6 Análise dos Fatores Estatisticamente Relevantes nas Demandas das Estações Existentes

Para a realização das correlações e análise de regressão é preciso selecionar uma amostra das estações, de forma que seja possível recolher dados de maneira satisfatória. Sendo assim, partiu-se da verificação das estações de compartilhamento que apresentaram maior geração de viagens. Além disso, consideraram-se relevantes as abordagens dos trabalhos de Vogel *et al.* (2011) e García-Palomares *et al.* (2012) que se preocupam em agrupar as estações em função de suas características produtoras ou atratoras de acordo com o turno. Vogel *et al.* (2011) parte do dado do número de pedidos de aluguel de bicicletas e a partir daí identifica os usos do solo das respectivas áreas, atribuindo a classificação de áreas residenciais às estações que tiveram um número relativamente alto de solicitações de aluguel e um número relativamente baixo de retornos na parte da manhã, e de áreas de trabalho as estações com características opostas. Já García-Palomares *et al.* (2012) fazem o movimento contrário, partindo da análise do uso do solo para prever a distribuição espacial da demanda. Desta forma, considerou-se importante fazer a análise de diferentes amostras: estações com maior número de viagens geradas; aquelas que funcionam principalmente como atratoras pela manhã e produtoras pela tarde, e aquelas que funcionam principalmente como produtores pela manhã e atratoras pela tarde.

Desta forma, foram analisados os períodos de pico da manhã (7h às 9h) e da tarde (17h às 19h) dos dias 01 a 05 de abril de 2019 (segunda à sexta-feira), selecionando-se, separadamente, as estações que apresentaram maior geração, produção e atração de viagens, por período. As Tabelas Tabela 4.6 à Tabela 4.11 elencam as estações selecionadas, partindo das que apresentaram maior número de viagens. São dadas as informações do número e nome das estações e total de viagens produzidas ou atraídas no período de pico analisado.

Tabela 4.6 - Estações mais utilizadas no pico da manhã - Geração

ESTAÇÕES MAIS UTILIZADAS: PICO - MANHÃ							
	GERAÇÃO						
	Nº da Estação	Nome da Estação	01/04/2019	02/04/2019	03/04/2019	04/04/2019	05/04/2019
1	1	Central do Brasil	404	492	464	473	419
2	5	Largo da Carioca	192	224	226	218	214
3	205	Praça Barão de Ládario	171	168	218	166	71
4	210	Praça XV	155	143	159	182	124
5	223	Henrique Valadares	110	113	130	123	129
6	203	Praça Mauá	97	115	105	116	98
7	67	Gomes Freire	96	95	102	99	95
8	214	Poeta Manuel Bandeira	95	104	94	97	80
9	133	Pasteur	98	80	88	88	65
10	257	Metrô Jardim Oceânico	71	104	59	86	96
11	58	Estádio Célio de Barros	79	83	75	75	80
12	117	Antônio Vieira	74	79	96	68	70
13	54	Morais e Silva	56	70	81	60	70
14	65	Metrô Uruguaiana	62	79	61	72	62
15	131	Metrô Botafogo	54	45	75	57	87
16	111	Siqueira Campos	55	62	72	60	59
17	167	Metrô Saens Pena	51	69	72	57	57
18	190	Metrô Afonso Pena	60	62	61	69	53
19	109	Metrô Siqueira Campos	38	60	72	66	51
20	139	Parque Buarque de Macedo	49	54	70	49	60
21	185	Rua da Lapa	64	57	55	43	55
22	69	Palácio do Catete	41	61	64	51	48
23	64	Metrô Uruguai	37	56	53	45	60
24	6	Praça Marechal Âncora	61	47	46	39	57
25	226	Rua do Rezende	55	40	61	36	57
26	114	Cardeal Arcoverde	43	52	49	47	47
27	31	Santa Clara	39	55	49	46	44
28	138	Praça José de Alencar	42	55	46	34	49
29	121	Mourisco	35	56	42	51	33
30	68	Rua do Catete	33	49	22	43	50

Tabela 4.7 - Estações mais utilizadas no pico da manhã - Produção

ESTAÇÕES MAIS UTILIZADAS: PICO - MANHÃ							
PRODUÇÃO							
	Nº da Estação	Nome da Estação	01/04/2019	02/04/2019	03/04/2019	04/04/2019	05/04/2019
1	1	Central do Brasil	360	436	419	423	357
2	210	Praça XV	80	70	88	87	71
3	223	Henrique Valadares	58	56	65	64	62
4	5	Largo da Carioca	55	59	59	52	50
5	67	Gomes Freire	48	51	57	52	57
6	257	Metrô Jardim Oceânico	33	54	30	49	53
7	117	Antônio Vieira	44	41	52	37	37
8	109	Metrô Siqueira Campos	23	44	46	46	38
9	58	Estádio Célio de Barros	36	40	36	37	38
10	131	Metrô Botafogo	27	27	40	29	46
11	54	Morais e Silva	30	32	41	28	37
12	69	Palácio do Catete	26	38	39	34	27
13	190	Metrô Afonso Pena	30	36	32	32	24
14	139	Parque Buarque de Macedo	27	28	36	27	34
15	111	Siqueira Campos	31	28	33	29	26
16	6	Praça Marechal Âncora	34	24	27	25	36
17	226	Rua do Rezende	30	25	38	18	33
18	185	Rua da Lapa	29	33	28	22	28
19	64	Metrô Uruguai	21	28	30	24	30
20	138	Praça José de Alencar	27	34	27	21	24
21	97	Júlio de Castilhos	22	26	27	30	25
22	133	Pasteur	26	29	21	29	24
23	68	Rua do Catete	20	31	14	31	32
24	114	Cardeal Arcoverde	23	27	26	24	27
25	167	Metrô Saens Pena	24	27	29	23	22
26	10	Largo da Glória	23	26	30	17	27
27	199	Metrô Estácio	21	24	28	24	25
28	214	Poeta Manuel Bandeira	22	30	24	30	13
29	205	Praça Barão de Ládario	22	14	43	11	21
30	9	Sala Cecília Meirelles	14	27	19	24	21

Tabela 4.8 - Estações mais utilizadas no pico da manhã – Atração

ESTAÇÕES MAIS UTILIZADAS: PICO - MANHÃ							
	ATRAÇÃO						
	Nº da Estação	Nome da Estação	01/04/2019	02/04/2019	03/04/2019	04/04/2019	05/04/2019
1	5	Largo da Carioca	137	165	167	166	164
2	205	Praça Barão de Ládario	149	154	175	155	50
3	203	Praça Mauá	80	103	92	100	77
4	210	Praça XV	75	73	71	95	53
5	214	Poeta Manuel Bandeira	73	74	70	67	67
6	223	Henrique Valadares	52	57	65	59	67
7	133	Pasteur	72	51	67	59	41
8	1	Central do Brasil	44	56	45	50	62
9	67	Gomes Freire	48	44	45	47	38
10	58	Estádio Célio de Barros	43	43	39	38	42
11	65	Metrô Uruguaiana	35	46	37	40	40
12	257	Metrô Jardim Oceânico	38	50	29	37	43
13	167	Metrô Saens Pena	27	42	43	34	35
14	117	Antônio Vieira	30	38	44	31	33
15	54	Morais e Silva	26	38	40	32	33
16	111	Siqueira Campos	24	34	39	31	33
17	190	Metrô Afonso Pena	30	26	29	37	29
18	131	Metrô Botafogo	27	18	35	28	41
19	185	Rua da Lapa	35	24	27	21	27
20	207	Rua da Alfândega	22	24	31	25	31
21	139	Parque Buarque de Macedo	22	26	34	22	26
22	73	Furnas	18	26	26	30	29
23	208	Av. Passos	26	27	24	22	28
24	55	Mata Machado	26	27	25	25	23
25	208	Av. Passos	26	27	24	22	28
26	31	Santa Clara	23	28	26	24	24
27	64	Metrô Uruguai	16	28	23	21	30
28	202	Armazém 3	22	23	24	25	21
29	114	Cardeal Arcoverde	20	25	23	23	20
30	9	Sala Cecília Meirelles	13	27	19	23	26

Tabela 4.9 - Estações mais utilizadas no pico da tarde - Geração

ESTAÇÕES MAIS UTILIZADAS: PICO - TARDE							
	GERAÇÃO						
	Nº da Estação	Nome da Estação	01/04/2019	02/04/2019	03/04/2019	04/04/2019	05/04/2019
1	1	Central do Brasil	445	463	459	456	395
2	5	Largo da Carioca	269	289	353	348	314
3	210	Praça XV	169	209	173	174	131
4	214	Poeta Manuel Bandeira	145	173	166	151	139
5	131	Metrô Botafogo	133	134	138	135	146
6	133	Pasteur	135	123	137	144	119
7	117	Antônio Vieira	107	115	126	127	141
8	203	Praça Mauá	99	131	107	130	146
9	67	Gomes Freire	104	123	130	130	121
10	257	Metrô Jardim Oceânico	115	135	119	116	112
11	111	Siqueira Campos	133	116	121	109	98
12	69	Palácio do Catete	116	108	101	133	112
13	24	Lauro Müller	133	99	118	128	90
14	58	Estádio Célio de Barros	122	124	109	91	89
15	226	Rua do Rezende	109	97	103	108	91
16	25	UFRJ Praia Vermelha	75	81	106	98	88
17	167	Metrô Saens Pena	86	102	91	107	80
18	35	Pedra do Arpador	95	63	111	95	108
19	138	Praça José de Alencar	79	102	116	124	124
20	82	Antero de Quental	105	96	83	88	76
21	31	Santa Clara	98	102	108	100	75
22	122	Botafogo Praia Shopping	114	84	93	122	101
23	122	Botafogo Praia Shopping	114	84	93	122	101
24	29	Copacabana Palace	92	69	63	92	84
25	223	Henrique Valadares	61	102	94	92	86
26	9	Sala Cecília Meirelles	84	60	89	75	72
27	221	Rua do Riachuelo	81	96	88	88	74
28	109	Metrô Siqueira Campos	97	85	66	59	83
29	32	Domingos Ferreira	83	118	78	61	94
30	114	Cardeal Arcoverde	103	91	96	80	90

Tabela 4.10 - Estações mais utilizadas no pico da tarde - Produção

ESTAÇÕES MAIS UTILIZADAS: PICO - TARDE							
PRODUÇÃO							
	Nº da Estação	Nome da Estação	01/04/2019	02/04/2019	03/04/2019	04/04/2019	05/04/2019
1	5	Largo da Carioca	200	211	251	255	226
2	214	Poeta Manuel Bandeira	119	148	137	121	116
3	210	Praça XV	95	110	96	86	63
4	203	Praça Mauá	76	101	73	94	101
5	1	Central do Brasil	91	80	80	86	78
6	131	Metrô Botafogo	66	69	71	66	77
7	133	Pasteur	65	61	70	71	58
8	67	Gomes Freire	51	62	72	60	63
9	117	Antônio Vieira	49	59	65	69	66
10	257	Metrô Jardim Oceânico	62	71	61	58	55
11	24	Lauro Müller	67	52	64	69	45
12	35	Pedra do Arpoador	58	37	63	53	63
13	111	Siqueira Campos	64	53	60	54	41
14	167	Metrô Saens Pena	47	59	53	58	48
15	58	Estádio Célio de Barros	62	62	52	45	44
16	69	Palácio do Catete	57	53	46	58	50
17	138	Praça José de Alencar	35	48	52	57	59
18	122	Botafogo Praia Shopping	53	41	45	60	47
19	226	Rua do Rezende	54	47	45	54	41
20	31	Santa Clara	54	46	54	47	34
21	25	UFRJ Praia Vermelha	40	43	59	48	44
22	82	Antero de Quental	52	50	42	45	38
23	114	Cardeal Arcoverde	51	40	51	36	38
24	221	Rua do Riachuelo	41	45	43	42	36
25	223	Henrique Valadares	30	47	46	43	40
26	33	Miguel Lemos	36	45	35	41	47
27	9	Sala Cecília Meirelles	45	30	45	42	40
28	190	Metrô Afonso Pena	38	53	47	30	30
29	109	Metrô Siqueira Campos	46	48	32	28	39
30	29	Copacabana Palace	39	31	31	45	41

Tabela 4.11 - Estações mais utilizadas no pico da tarde - Atração

ESTAÇÕES MAIS UTILIZADAS: PICO - TARDE							
ATRAÇÃO							
	Nº da Estação	Nome da Estação	01/04/2019	02/04/2019	03/04/2019	04/04/2019	05/04/2019
1	1	Central do Brasil	354	383	379	370	317
2	5	Largo da Carioca	69	78	102	93	88
3	210	Praça XV	74	99	77	88	68
4	131	Metrô Botafogo	67	65	67	69	69
5	133	Pasteur	70	62	67	73	61
6	117	Antônio Vieira	58	56	61	58	75
7	69	Palácio do Catete	59	55	55	75	62
8	111	Siqueira Campos	69	63	61	55	57
9	67	Gomes Freire	53	61	58	70	58
10	138	Praça José de Alencar	44	54	64	67	65
11	257	Metrô Jardim Oceânico	53	64	58	58	57
12	24	Lauro Müller	66	47	54	59	45
13	58	Estádio Célio de Barros	60	62	57	46	45
14	122	Botafogo Praia Shopping	61	43	48	62	54
15	226	Rua do Rezende	55	50	58	54	50
16	31	Santa Clara	44	56	54	53	41
17	114	Cardeal Arcoverde	52	51	45	44	52
18	33	Miguel Lemos	41	50	44	54	50
19	32	Domingos Ferreira	49	62	45	31	47
20	223	Henrique Valadares	31	55	48	49	46
21	82	Antero de Quental	53	46	41	43	38
22	221	Rua do Riachuelo	40	51	45	46	38
23	25	UFRJ Praia Vermelha	35	38	47	50	44
24	54	Morais e Silva	42	49	43	36	39
25	10	Largo da Glória	34	40	49	37	43
26	167	Metrô Saens Pena	39	43	38	49	32
27	35	Pedra do Arpoador	37	26	48	42	45
28	139	Parque Buarque de Macedo	34	39	44	42	38
29	68	Rua do Catete	38	41	41	27	47
30	185	Rua da Lapa	31	22	36	45	30

Uma vez definidas as estações a serem analisadas, foi possível identificar, através de mapa georreferenciado, em qual setor censitário se encontra cada estação, para então extrair os respectivos dados socioeconômicos fornecidos pelo Censo.

Para favorecer a organização deste trabalho, tendo em vista o grande número de variáveis, elas serão numeradas de acordo com a Tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Numeração das variáveis

CÓDIGO	VARIÁVEL
V01	Densidade Populacional
V02	População Masculina
V03	Renda
V04	Idade 15-44
V05	População não – branca
V06	Escola
V07	Shopping
V08	Saúde
V09	Densidade Comercial
V10	Uso Misto do Solo
V11	Lazer
V12	Transporte
V13	Vias Cicláveis
V14	Velocidade 30
V15	Densidade da Rede
V16	Capacidade

4.6.1 Matriz de Correlação – Geração de viagens no Pico Manhã

Verificou-se que a estação nº 1 (Central do Brasil) apresentava valor muito discrepante, de forma que ela foi eliminada da amostra.

Tabela 4.13 - Matriz de Correlação – Geração (Pico Manhã)

Viagens	V01	V02	V03	V04	V05	V06	V07	V08	V09	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	
Viagens	1																
V01	-0,40642	1															
V02	0,543644	-0,36566	1														
V03	-0,437	0,253608	-0,20992	1													
V04	0,336531	-0,44328	0,596029	-0,49279	1												
V05	0,553171	-0,30193	0,494245	-0,81121	0,55752	1											
V06	-0,2047	0,220199	-0,26527	0,146627	-0,18623	-0,21295	1										
V07	0,311302	-0,24979	0,351706	-0,09052	0,113743	0,17787	-0,21924	1									
V08	0,321428	-0,16939	0,302778	-0,10532	0,015349	0,149762	-0,08163	0,469558	1								
V09	0,682526	-0,43304	0,678665	-0,66287	0,618	0,692887	-0,29905	0,418913	0,454261	1							
V10	0,594194	-0,45703	0,640122	-0,47506	0,494174	0,624106	-0,34377	0,494139	0,453652	0,894466	1						
V11	0,166332	0,070561	0,326001	-0,37179	0,369155	0,368536	-0,06522	0,075608	0,116215	0,282831	0,246621	1					
V12	0,632263	-0,42844	0,575035	-0,61347	0,521444	0,634593	-0,22559	0,434779	0,529467	0,935202	0,891283	0,434543	1				
V13	0,03449	-0,12726	0,147574	0,352812	-0,07558	-0,20913	-0,25964	0,260839	0,425523	0,022336	0,144991	0,18277	0,177898	1			
V14	0,087531	0,296705	0,100558	-0,06935	-0,02075	0,01111	0,336106	-0,00904	0,243607	0,039476	-0,06138	0,193741	0,018395	0,04106	1		
V15	0,633562	-0,15053	0,500134	-0,36334	0,482027	0,432715	-0,05276	0,324084	0,547031	0,651032	0,472065	0,470251	0,701397	0,354977	0,26353	1	
V16	-0,07434	-0,18701	-0,06092	0,402321	-0,2569	-0,28823	0,159454	0,015022	0,266354	-0,19342	-0,00758	-0,4547	-0,1881	0,035946	-0,12271	-0,24247	1

As variáveis V09, V15 e V12 apresentaram correlação forte com a variável dependente; V10, V05 (efeito oposto ao esperado), V02, V03 e V01 (efeito oposto ao esperado) apresentaram correlação moderada; V04, V08, V07, V06 (efeito oposto ao esperado), correlação fraca; e as demais apresentaram correlação negligenciável.

4.6.2 Matriz de Correlação – Produção de viagens no Pico Manhã

Verificou-se que a estação nº 1 (Central do Brasil) apresentava valor muito discrepante, de forma que ela foi eliminada da amostra.

Tabela 4.14 – Matriz de Correlação – Produção (Pico Manhã)

Viagens	V01	V02	V03	V04	V05	V06	V07	V08	V09	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	
Viagens	1																
V01	-0,26183	1															
V02	0,434706	-0,4065	1														
V03	-0,08772	0,166569	-0,27357	1													
V04	0,277856	-0,41558	0,668157	-0,40332	1												
V05	0,158573	-0,25873	0,546506	-0,85583	0,564614	1											
V06	-0,10731	0,167124	-0,28598	0,109289	-0,19937	-0,15767	1										
V07	0,169274	-0,27194	0,451718	-0,188	0,307935	0,249087	-0,20992	1									
V08	0,173502	-0,24116	0,462982	-0,21434	0,149695	0,282987	-0,13387	0,456096	1								
V09	0,407064	-0,43262	0,766663	-0,60168	0,523336	0,74718	-0,38985	0,610485	0,584482	1							
V10	0,380715	-0,44108	0,686676	-0,37249	0,391028	0,608831	-0,38344	0,63945	0,518797	0,862517	1						
V11	-0,1059	0,076623	0,347133	-0,39168	0,421968	0,366975	-0,18304	0,107538	0,047507	0,269432	0,186576	1					
V12	0,300792	-0,43835	0,696942	-0,54296	0,425994	0,685587	-0,32338	0,626173	0,608701	0,926438	0,877913	0,397262	1				
V13	-0,20692	-0,15232	0,127764	0,031421	0,14352	0,038366	-0,31115	0,06061	0,307869	0,172903	0,095899	0,227216	0,231401	1			
V14	0,009375	0,265847	0,055874	-0,36125	0,282333	0,170234	0,131626	-0,10548	0,041228	0,026255	-0,2432	0,001138	-0,2153	-0,23698	1		
V15	0,360072	-0,18102	0,615445	-0,37702	0,555576	0,507458	-0,14774	0,376977	0,529954	0,674074	0,428101	0,39221	0,682451	0,339713	0,052444	1	
V16	0,119394	-0,29196	-0,0109	0,302601	-0,1797	-0,21788	0,183924	-0,01962	0,360078	-0,0401	0,087414	-0,41336	-0,05005	0,152968	-0,02516	-0,11389	1

Pela análise da matriz de correlação, é possível verificar que as variáveis V02 e V09 apresentaram correlação moderada com a variável dependente; a V10, V15, V12, V04 e V01 (efeito oposto ao esperado), correlação fraca; e as demais demonstraram correlação negligenciável.

4.6.3 Matriz de Correlação – Atração de viagens no Pico Manhã

Tabela 4.15 - Matriz de Correlação – Atração (Pico Manhã)

Viagens	V01	V02	V03	V04	V05	V06	V07	V08	V09	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	
Viagens	1																
V01	-0,32871	1															
V02	0,178836	-0,35133	1														
V03	-0,30838	0,392563	-0,37752	1													
V04	0,199002	-0,57275	0,422057	-0,55041	1												
V05	0,460002	-0,37417	0,296862	-0,80796	0,53779	1											
V06	-0,30679	0,073229	-0,17328	0,211832	-0,12162	-0,26238	1										
V07	0,542917	-0,1375	0,007335	-0,03297	-0,03928	0,040327	-0,13935	1									
V08	0,231575	-0,0609	-0,06473	-0,1125	0,116968	0,138643	-0,15038	0,392946	1								
V09	0,441174	-0,47731	0,464432	-0,79864	0,700214	0,741539	-0,36767	0,193088	0,36392	1							
V10	0,525084	-0,47244	0,289443	-0,61005	0,570954	0,634135	-0,35665	0,179605	0,416395	0,894471	1						
V11	0,192113	-0,10993	0,073372	-0,38684	0,312984	0,364179	-0,08321	0,036868	0,05572	0,3023	0,258051	1					
V12	0,368199	-0,45731	0,44034	-0,76333	0,60543	0,664007	-0,2643	0,178132	0,36536	0,943982	0,879852	0,397932	1				
V13	-0,0674	0,029672	-0,21798	0,121309	-0,00117	0,017489	-0,24456	0,145092	0,305814	-0,04044	-0,03434	0,255225	-0,04957	1			
V14	-0,09657	0,248103	-0,06174	0,088931	0,04921	-0,0895	0,092453	-0,04271	0,183924	-0,23628	-0,35438	-0,16338	-0,37843	-0,02903	1		
V15	0,417372	-0,31115	0,322504	-0,46735	0,639628	0,490151	-0,21836	0,435339	0,614743	0,743315	0,673107	0,36265	0,742402	0,213394	0,013651	1	
V16	-0,03084	0,072994	-0,15873	0,483081	-0,33408	-0,3017	0,197975	0,078433	0,229431	-0,31888	-0,14988	-0,4094	-0,39824	0,170994	0,198224	-0,28918	1

As variáveis V07, V10, V05, V09 e V15 apresentaram correlação moderada com a variável dependente; V01 (efeito oposto ao esperado), V03, V04 e V13 (efeito oposto ao esperado) apresentaram correlação fraca; e as demais podem ser desconsideradas.

4.6.4 Matriz de Correlação – Geração de viagens no Pico Tarde

Verificou-se que a estação nº 1 (Central do Brasil) apresentava valor muito discrepante, de forma que ela foi eliminada da amostra.

Tabela 4.16 - Matriz de Correlação – Geração (Pico Tarde)

Viagens	V01	V02	V03	V04	V05	V06	V07	V08	V09	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	
Viagens	1																
V01	-0,24478	1															
V02	0,483321	-0,28178	1														
V03	-0,24244	-0,19829	-0,17453	1													
V04	0,400751	-0,16666	0,646809	-0,43233	1												
V05	0,331415	0,21458	0,403008	-0,87302	0,604314	1											
V06	-0,19215	0,199816	-0,27448	-0,08706	0,156514	0,134706	1										
V07	0,295731	-0,23732	0,249515	0,049676	0,187495	-0,05595	-0,10469	1									
V08	0,401354	-0,11386	0,138532	-0,14164	-0,08199	0,203335	0,104478	0,072413	1								
V09	0,624245	-0,0791	0,710903	-0,68881	0,551039	0,781145	-0,19385	0,065608	0,356055	1							
V10	0,678368	-0,23805	0,682353	-0,42027	0,445207	0,552757	-0,28593	0,083045	0,352991	0,85957	1						
V11	0,370576	-0,03079	0,406595	-0,40943	0,429262	0,441104	-0,05371	0,00306	0,138195	0,434435	0,377462	1					
V12	0,719526	-0,27563	0,630315	-0,5269	0,40668	0,580939	-0,21909	0,076003	0,50078	0,88778	0,856318	0,597532	1				
V13	-0,08285	-0,31298	0,075513	0,215517	0,02556	-0,14934	-0,08561	0,255937	0,201764	-0,08447	-0,0437	0,23442	0,100584	1			
V14	-0,00947	0,534596	-0,08176	-0,55795	0,33076	0,554849	0,250863	-0,19791	0,063336	0,158739	-0,12181	0,169675	-0,08086	-0,30492	1		
V15	0,657388	-0,07087	0,545239	-0,29184	0,519278	0,490041	0,109433	0,201709	0,424678	0,581999	0,483809	0,600484	0,657183	0,272042	0,167659	1	
V16	-0,02705	-0,37239	-0,00227	0,445259	-0,28263	-0,39822	-0,15889	-0,02907	0,411966	-0,0965	0,128639	-0,30277	-0,00533	0,301748	-0,30581	-0,14782	1

As variáveis V12, V10, V15 e V09 apresentaram correlação forte com a variável dependente; V02, V08 e V04 apresentaram correlação moderada; V07, V01 e V03 apresentaram correlação fraca; e as demais podem ser desconsideradas.

4.6.5 Matriz de Correlação – Produção de viagens no Pico Tarde

Tabela 4.17 - Matriz de Correlação – Produção (Pico Tarde)

	Viagens	V01	V02	V03	V04	V05	V06	V07	V08	V09	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16
Viagens	1																
V01	-0,29492	1															
V02	0,353631	-0,27291	1														
V03	-0,30713	-0,13979	-0,33946	1													
V04	0,395507	-0,17922	0,401874	-0,44702	1												
V05	0,334591	0,204323	0,231279	-0,83737	0,611966	1											
V06	-0,24071	0,191851	-0,13921	-0,0705	0,012408	0,086582	1										
V07	0,332615	-0,22111	0,086978	0,02748	0,256918	-0,03157	-0,09346	1									
V08	0,404043	-0,09382	-0,07921	-0,05469	-0,07176	0,188757	0,020425	0,047983	1								
V09	0,697642	-0,11358	0,520789	-0,69794	0,57746	0,773857	-0,20643	0,081835	0,304267	1							
V10	0,695979	-0,2474	0,374281	-0,40344	0,460202	0,553828	-0,27448	0,102918	0,341185	0,84823	1						
V11	0,442427	-0,03683	0,203361	-0,3937	0,442325	0,445887	-0,15801	0,068053	0,153191	0,442989	0,387546	1					
V12	0,782437	-0,30803	0,544053	-0,56644	0,429178	0,569218	-0,18588	0,07722	0,410619	0,888563	0,829264	0,580847	1				
V13	-0,01711	-0,25993	-0,15449	0,250386	0,047908	-0,12706	-0,23635	0,273715	0,268387	-0,07879	-0,01271	0,271117	0,051041	1			
V14	-0,08277	0,542558	-0,14288	-0,49773	0,284255	0,540749	0,27753	-0,14426	0,061078	0,121219	-0,13686	0,13469	-0,10723	-0,289	1		
V15	0,685065	-0,06868	0,293928	-0,29637	0,520658	0,508713	-0,02701	0,263975	0,454002	0,613188	0,51477	0,613955	0,667761	0,28094	0,137535	1	
V16	-0,0438	-0,28804	-0,10018	0,34857	-0,2286	-0,33983	0,132358	-0,04933	0,272938	-0,10603	0,109032	-0,25578	-0,01658	0,185547	-0,13495	-0,12577	1

Verifica-se que as variáveis V12, V09, V10 e V15 apresentaram correlação forte com a variável dependente; V08 e V11 apresentaram correlação moderada; V04, V02, V05, V07, V03 e V06 (efeito oposto ao esperado) apresentaram correlação fraca; e as demais podem ser desconsideradas.

4.6.6 Matriz de Correlação – Atração de viagens no Pico Tarde

Verificou-se que a estação nº 1 (Central do Brasil) apresentava valor muito discrepante, de forma que ela foi eliminada da amostra.

Tabela 4.18 - Matriz de Correlação – Atração (Pico Tarde)

	Viagens	V01	V02	V03	V04	V05	V06	V07	V08	V09	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16
Viagens	1																
V01	-0,1953	1															
V02	0,329264	-0,32939	1														
V03	-0,01855	-0,21234	-0,02843	1													
V04	0,336024	-0,17429	0,575158	-0,42633	1												
V05	0,162005	0,183063	0,331592	-0,87484	0,609439	1											
V06	-0,18235	0,094062	-0,17442	-0,12565	0,175614	0,13373	1										
V07	0,125236	-0,27688	0,302518	0,049898	0,202411	-0,07531	-0,13016	1									
V08	0,318727	-0,13625	0,205976	-0,04487	-0,11397	0,156396	0,039277	0,11289	1								
V09	0,526263	-0,02729	0,608055	-0,58683	0,463043	0,73621	-0,14527	0,165768	0,414567	1							
V10	0,653026	-0,19148	0,561657	-0,31075	0,338704	0,493896	-0,22368	0,160372	0,415251	0,832887	1						
V11	-0,12862	0,135172	0,143741	-0,41818	0,433162	0,41068	0,186006	-0,08627	-0,19217	0,185357	0,157274	1					
V12	0,553207	-0,22923	0,52006	-0,46705	0,374846	0,567979	-0,06057	0,157127	0,485285	0,85761	0,836102	0,392568	1				
V13	0,119551	-0,40956	0,133783	0,631872	-0,09028	-0,55427	-0,16127	0,501107	0,135079	-0,29756	-0,02859	-0,16827	-0,06118	1			
V14	0,046316	0,500023	0,03034	-0,66219	0,479081	0,637869	0,101284	-0,21257	-0,03734	0,349336	0,004614	0,178044	0,011399	-0,6625	1		
V15	0,522805	-0,07256	0,586278	-0,25002	0,510246	0,45925	0,066705	0,265759	0,413646	0,692155	0,553115	0,283491	0,717924	0,181618	0,158633	1	
V16	0,170822	-0,40863	0,10673	0,390681	-0,16943	-0,33496	-0,13764	0,053387	0,37929	-0,03017	0,245112	-0,25686	0,079832	0,316653	-0,29967	-0,0321	1

A variável V10 apresentou correlação forte com a variável dependente; V12, V09 e V15 apresentaram correlação moderada; V04, V02 e V08 apresentaram correlação fraca; e as demais podem ser desconsideradas.

4.6.7 Síntese das Correlações

A Tabela 4.19 apresenta a síntese do nível de correlação das variáveis independentes com a variável dependente. A cor verde destaca as variáveis que tiveram correlação diferente de negligenciável, variando a tonalidade de acordo com a intensidade da correlação (tons mais claros associados a correlações mais fracas e mais escuros a correlações mais fortes). Já a cor laranja é utilizada para os casos em que a variável apresentou efeito oposto ao esperado (ver Tabela 4.5). É possível verificar o destaque das variáveis Densidade Comercial, Uso Misto do Solo e Densidade da Rede como as que apresentaram maiores correlações.

Tabela 4.19 – Nível de Correlação com a variável dependente

Variável		Pico Manhã			Pico Tarde		
		Geração	Produção	Atração	Geração	Produção	Atração
V01	Densidade Populacional	Moderada (oposto)	Fraca (oposto)	Fraca (oposto)	Fraca	Negligenciável	Negligenciável
V02	População Masculina	Moderada	Moderada	Negligenciável	Moderada	Fraca	Fraca
V03	Renda	Moderada	Negligenciável	Fraca	Fraca	Fraca	Negligenciável
V04	Idade 15-44	Fraca	Fraca	Fraca	Moderada	Fraca	Fraca
V05	População não - branca	Moderada (oposto)	Negligenciável	Moderada	Negligenciável	Fraca	Negligenciável
V06	Escola	Fraca (oposto)	Negligenciável	Negligenciável	Negligenciável	Fraca (oposto)	Negligenciável
V07	Shopping	Fraca	Negligenciável	Moderada	Fraca	Fraca	Negligenciável
V08	Saúde	Fraca	Negligenciável	Negligenciável	Moderada	Moderada	Fraca
V09	Densidade Comercial	Forte	Moderada	Moderada	Forte	Forte	Moderada
V10	Uso Misto do Solo	Moderada	Fraca	Moderada	Forte	Forte	Forte
V11	Lazer	Negligenciável	Negligenciável	Negligenciável	Negligenciável	Moderada	Negligenciável
V12	Transporte	Forte	Fraca	Negligenciável	Forte	Forte	Moderada
V13	Vias Cicláveis	Negligenciável	Negligenciável	Fraca (oposto)	Negligenciável	Negligenciável	Negligenciável
V14	Velocidade 30	Negligenciável	Negligenciável	Negligenciável	Negligenciável	Negligenciável	Negligenciável
V15	Densidade da Rede	Forte	Fraca	Moderada	Forte	Forte	Moderada

É interessante verificar também que a variável Renda apresentou, na maioria dos casos, correlação fraca ou negligenciável com o número de viagens por estações. No caso do modelo de Geração de viagens no Pico Tarde, tal correlação foi inclusive negativa. Esta observação é importante para o estudo de caso, uma vez que o subúrbio carioca tem uma renda média inferior aos locais onde atualmente estão localizadas as estações do sistema Bike Rio. O fato de as correlações com esta variável não serem fortes, favorece, de certa forma, a possibilidade de sucesso na expansão do sistema para áreas de menor renda.

4.7 Identificação das Variáveis e Respectivos Fatores com Melhor Capacidade de Explicação

Para identificar as variáveis que tem melhor capacidade de explicação e, conseqüentemente, os fatores aos quais elas estão associadas, será utilizada a análise de regressão. Desta forma, busca-se prever as mudanças no número de viagens de determinada estação como resposta a mudanças nas variáveis relacionadas aos fatores socioeconômicos e locacionais definidos.

Para encontrar as equações relativas a cada um dos seis cenários estudados (geração, produção e atração de viagens nos picos da manhã e da tarde), foi feito uso da ferramenta de regressão do Excel. A técnica adotada foi partir de análise de regressão envolvendo apenas a variável preditora com maior correlação com a variável dependente e acrescentar gradativamente as demais variáveis predictoras (em ordem decrescente de grau de correlação com a variável dependente), até o ponto em que houvesse piora no desenvolvimento do modelo.

Outra análise importante foi verificar se os sinais (positivo ou negativo) dos coeficientes associados à cada variável eram compatíveis com os encontrados nas respectivas matrizes de correlação. Nos casos em que eles eram opostos, os modelos foram desconsiderados.

4.7.1 Variáveis Estatisticamente Relevantes para a Geração de Viagens no Pico da Manhã

As variáveis Densidade Comercial, Densidade de Rede e Transporte foram as que se mostraram fortemente correlacionadas à variável dependente, de acordo com a matriz de correlações. Entretanto, como elas também apresentam altos coeficientes de correlação entre si, não puderam ser utilizadas juntas na mesma equação. Desta forma, o melhor modelo encontrado faz a combinação das variáveis Uso Misto do Solo e Densidade de Rede.

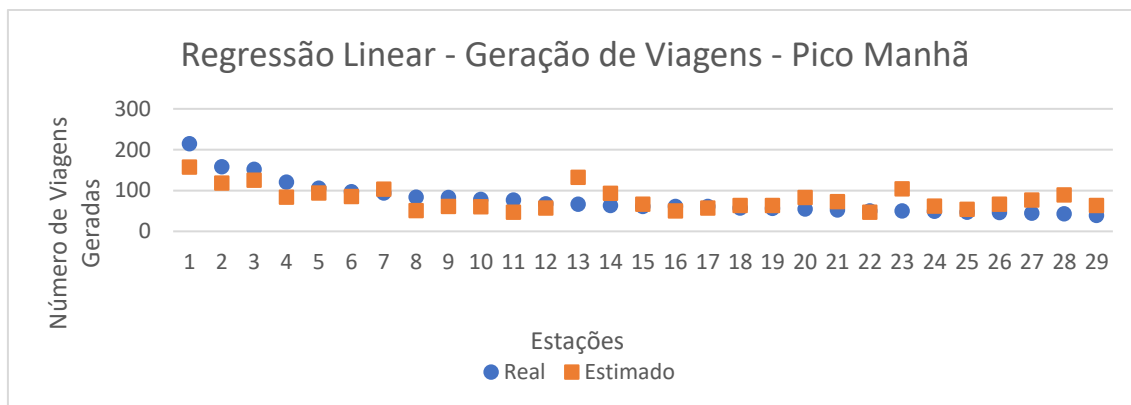


Figura 4.4 - Gráfico do Modelo de Geração de Viagens no Pico da Manhã

RESUMO DOS RESULTADOS										
<i>Estatística de regressão</i>										
R múltiplo	0,716563917									
R-Quadrado	0,513463848									
R-quadrado ajusta	0,47603799									
Erro padrão	29,17614117									
Observações	29									
ANOVA										
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>					
Regressão	2	23357,36279	11678,68139	13,71949441	8,56045E-05					
Resíduo	26	22132,42756	851,2472138							
Total	28	45489,79034								
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>		
Interseção	37,42571315	10,90970047	3,430498688	0,002022875	15,00050267	59,85092363	15,00050267	59,85092363		
V10	7,72577989	3,157047771	2,447153306	0,021466849	1,236375257	14,21518452	1,236375257	14,21518452		
V15	3,267746935	1,116143722	2,927711611	0,007009386	0,973480656	5,562013213	0,973480656	5,562013213		

Observa-se um R^2 ajustado de aproximadamente 0,47, o que pode ser verificado pelo gráfico da Figura 4.4, apresentando dados estimados próximos dos reais, tanto para níveis extremos quanto intermediários, e uma aleatoriedade dos resíduos.

4.7.2 Variáveis Estatisticamente Relevantes para a Produção de Viagens no Pico da Manhã

Como já era possível prever pela observação da matriz de correlação, que apresentou a grande maioria das variáveis predictoras com correlação fraca ou negligenciável em relação ao número de viagens, o modelo de regressão linear relativo à produção de viagens do sistema Bike Rio no pico da manhã não demonstrou bom desempenho

estatístico:

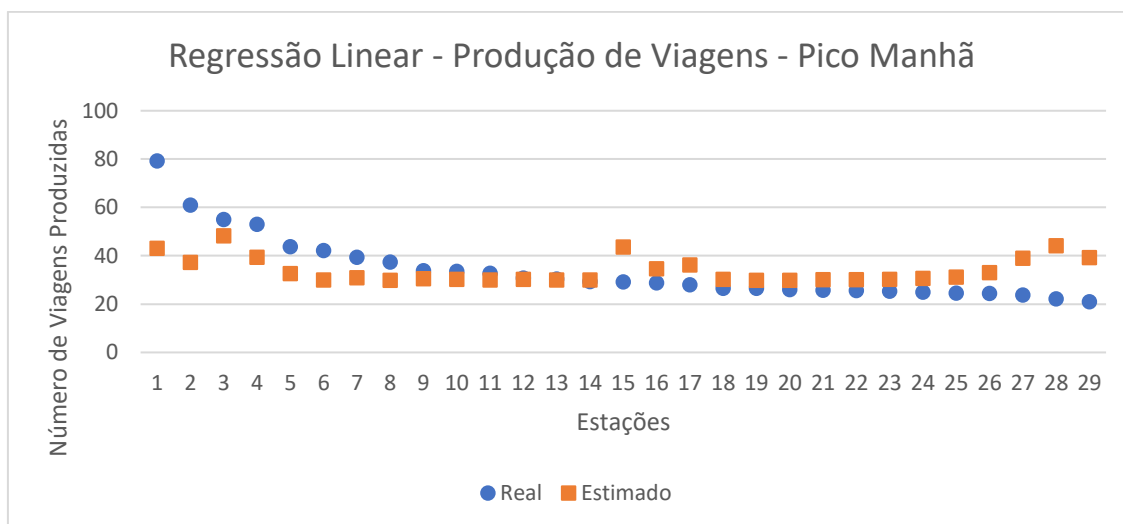


Figura 4.5 - Gráfico do Modelo de Produção de Viagens no Pico da Manhã

RESUMO DOS RESULTADOS								
<i>Estatística de regressão</i>								
R múltiplo	0,407063552							
R-Quadrado	0,165700735							
R-quadrado ajustado	0,134800763							
Erro padrão	12,39139259							
Observações	29							
ANOVA								
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>			
Regressão	1	823,3918669	823,3918669	5,362488077	0,028409532			
Resíduo	27	4145,758478	153,5466103					
Total	28	4969,150345						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	29,88835328	2,895539524	10,32220525	7,15933E-11	23,94719692	35,82950964	23,94719692	35,82950964
V09	30,2653142	13,0695916	2,315704661	0,028409532	3,448727303	57,08190109	3,448727303	57,08190109

Observa-se um valor de R^2 ajustado baixo ($\sim 0,13$) e pode-se perceber pelo gráfico da Figura 4.5 que a distribuição dos dados não foi bem representada pela curva da equação de regressão linear, que teve por variável preditora a Densidade Comercial.

4.7.3 Variáveis Estatisticamente Relevantes para a Atração de Viagens no Pico da Manhã

A matriz de correlação deste modelo mostrou as seguintes variáveis com correlação moderada com a variável dependente: População Não-Branca, Shopping, Densidade Comercial, Uso Misto do Solo e Densidade da Rede. Entretanto, verificando as

correlações entre as variáveis preditoras e observando-se os resultados para as combinações das mesmas, apenas as variáveis Shopping e População Não-Branca se mostraram estatisticamente relevantes.

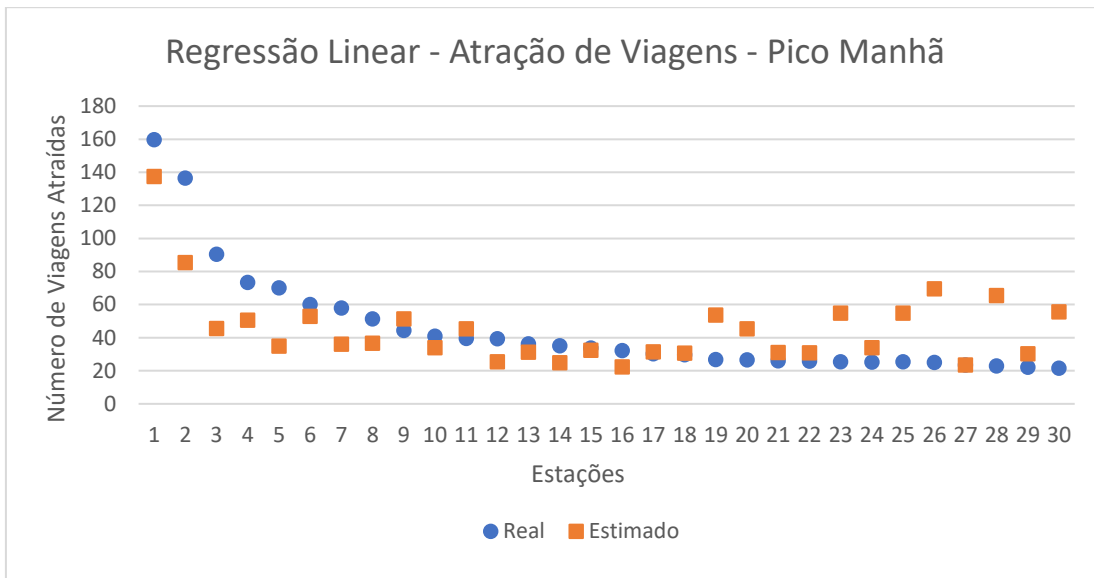


Figura 4.6 - Gráfico do Modelo de Atração de Viagens no Pico da Manhã

RESUMO DOS RESULTADOS								
<i>Estatística de regressão</i>								
R múltiplo	0,697860655							
R-Quadrado	0,487009493							
R-quadrado ajustado	0,449010197							
Erro padrão	24,45003378							
Observações	30							
ANOVA								
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>			
Regressão	2	15323,24657	7661,623286	12,81627647	0,000122033			
Resíduo	27	16140,7121	597,8041517					
Total	29	31463,95867						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	15,47473626	9,205425134	1,681045257	0,104288149	-3,413235946	34,36270847	-3,413235946	34,36270847
V07	42,97337347	11,28714121	3,807285889	0,000735242	19,81407269	66,13267425	19,81407269	66,13267425
V05	76,97116427	24,19728926	3,180982938	0,00367015	27,32242775	126,6199008	27,32242775	126,6199008

Observa-se que este modelo apresentou melhores resultados que o anterior, obtendo um R² ajustado de aproximadamente 0,45. Ainda assim, é possível perceber que, apesar de os valores intermediários terem sido bem representados, os dados mais extremos apresentaram divergências consideráveis entre os reais e os estimados.

4.7.4 Variáveis Estatisticamente Relevantes para a Geração de Viagens no Pico da Tarde

Este cenário apresentou quatro variáveis com forte correlação linear com a variável dependente: Densidade Comercial, Transporte, Uso Misto do Solo e Densidade da Rede. Como as duas primeiras também apresentam forte correlação com as demais, elas foram descartadas do modelo.

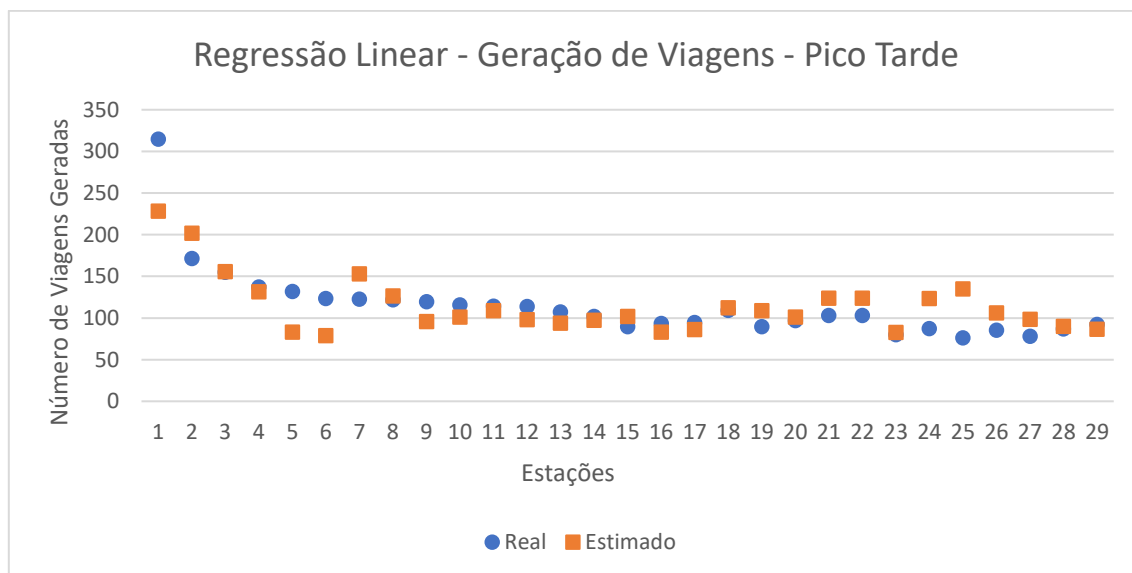


Figura 4.7 - Gráfico do Modelo de Geração de Viagens no Pico da Tarde

O uso das variáveis Uso Misto do Solo e Densidade da Rede como predictoras resultou em um modelo que apresentou o melhor desempenho até aqui, obtendo um R^2 ajustado de aproximadamente 0,57.

RESUMO DOS RESULTADOS								
<i>Estatística de regressão</i>								
R múltiplo	0,775670297							
R-Quadrado	0,601664409							
R-quadrado ajustado	0,57102321							
Erro padrão	29,21944957							
Observações	29							
ANOVA								
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>			
Regressão	2	33529,15587	16764,57793	19,63579833	6,3568E-06			
Resíduo	26	22198,18207	853,7762333					
Total	28	55727,33793						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	67,33177234	12,4743806	5,39760446	1,1804E-05	41,6903158	92,97322889	41,6903158	92,97322889
V10	14,46442269	4,348579136	3,326241109	0,002629977	5,525790256	23,40305512	5,525790256	23,40305512
V15	3,744906618	1,232337866	3,038863547	0,005354441	1,211799857	6,27801338	1,211799857	6,27801338

4.7.5 Variáveis Estatisticamente Relevantes para a Produção de Viagens no Pico da Tarde

Este modelo foi o que apresentou maiores correlações entre as variáveis preditoras e a variável dependente. Entretanto, estas variáveis independentes também apresentaram elevadas correlações entre si, de forma que o modelo com melhor desempenho estatístico apresenta apenas a variável Transporte.

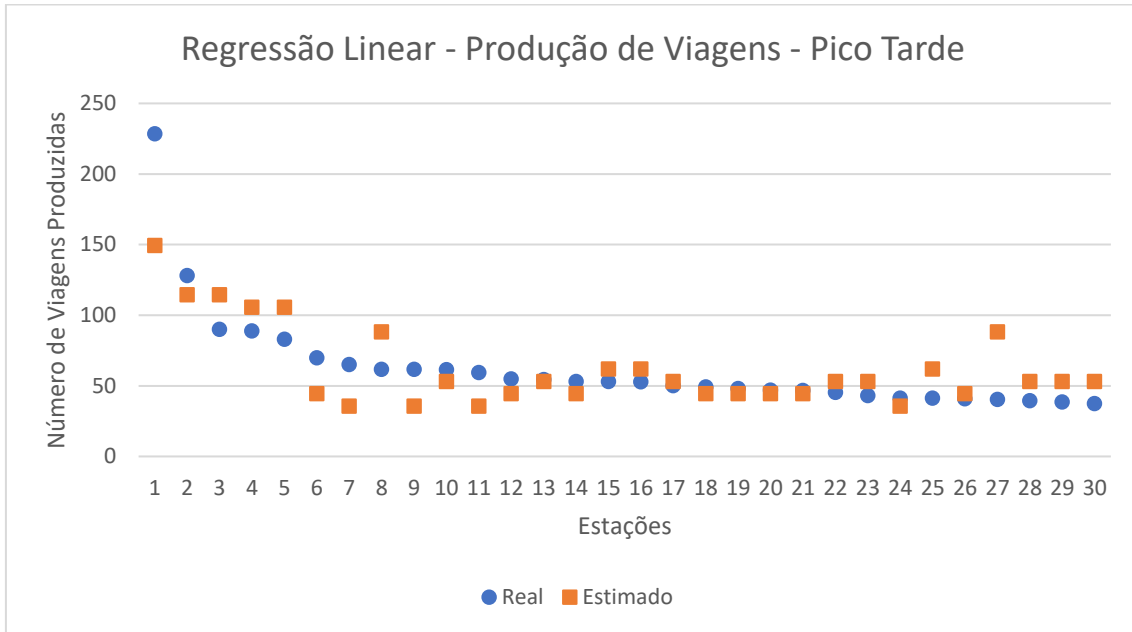


Figura 4.8 - Gráfico do Modelo de Produção de Viagens no Pico da Tarde

RESUMO DOS RESULTADOS								
<i>Estatística de regressão</i>								
R múltiplo	0,782437452							
R-Quadrado	0,612208366							
R-quadrado ajustado	0,598358665							
Erro padrão	23,39650447							
Observações	30							
ANOVA								
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>			
Regressão	1	24196,96019	24196,96019	44,20372373	3,25578E-07			
Resíduo	28	15327,09981	547,3964216					
Total	29	39524,06						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	35,6592233	5,87745135	6,067123516	1,52799E-06	23,61980998	47,69863662	23,61980998	47,69863662
V12	8,752427184	1,316433963	6,648588101	3,25578E-07	6,055834452	11,44901992	6,055834452	11,44901992

Observa-se um R^2 ajustado de aproximadamente 0,60, o que pode ser verificado pelo gráfico da Figura 4.8, apresentando dados estimados bem próximos dos reais, tanto para níveis extremos quanto intermediários, e uma aleatoriedade dos resíduos.

4.7.6 Variáveis Estatisticamente Relevantes para a Atração de Viagens no Pico da Tarde

Por fim, o modelo relativo à atração de viagens no pico da tarde teve por preditora a variável Uso Misto do Solo. É possível verificar que o R^2 ajustado foi de aproximadamente 0,40. A observação do gráfico permite notar que a distribuição dos valores estimados não apresenta boa compatibilidade com os dados reais, uma vez que os resíduos não têm uma distribuição aleatória.

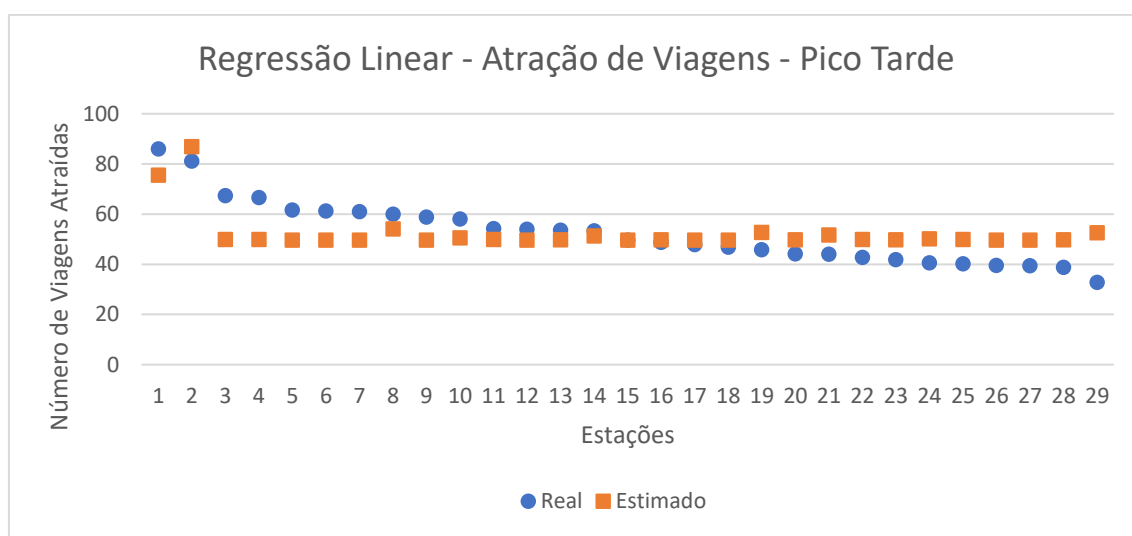


Figura 4.9 - Gráfico do Modelo de Atração de Viagens no Pico da Tarde

RESUMO DOS RESULTADOS								
<i>Estadística de regressão</i>								
R múltiplo	0,653025988							
R-Quadrado	0,426442941							
R-quadrado ajustado	0,405200087							
Erro padrão	9,677395246							
Observações	29							
ANOVA								
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>			
Regressão	1	1880,031	1880,031057	20,07465386	0,00012296			
Resíduo	27	2528,603	93,65197875					
Total	28	4408,634						
	<i>Coefficientes</i>	<i>erro padrãc</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	49,64564708	1,900286	26,12536073	1,06008E-20	45,74658307	53,54471109	45,74658307	53,54471109
V10	6,29066402	1,404017	4,480474736	0,00012296	3,409858488	9,171469552	3,409858488	9,171469552

4.7.7 Síntese dos Resultados Encontrados

A Tabela 4.20 apresenta as variáveis que emergiram como relevantes para cada modelo. Cada cenário analisado gerou uma equação equivalente com o objetivo de tentar explicar a demanda das estações Bike Rio. As variáveis que apareceram como relevantes com maior frequência foram o Uso Misto do Solo (em três modelos) e a Densidade da Rede (em dois modelos). Já as variáveis População Não-branca, Shopping, Densidade Comercial e Transporte se mostraram relevantes em um dos seis modelos. A partir daí é possível concluir que as variáveis relacionadas às características locais foram mais determinantes que aquelas associadas às questões socioeconômicas.

Tabela 4.20 - Síntese das variáveis relevantes para cada cenário

Variável		Pico Manhã			Pico Tarde		
		Produção	Atração	Geração	Produção	Atração	Geração
V01	Densidade Populacional						
V02	População Masculina						
V03	Renda						
V04	Idade 15-44						
V05	População não - branca		X				
V06	Escola						
V07	Shopping		X				
V08	Saúde						
V09	Densidade Comercial	X					
V10	Uso Misto do Solo			X		X	X
V11	Lazer						
V12	Transporte				X		
V13	Vias Cicláveis						
V14	Velocidade 30						
V15	Densidade da Rede			X			X
V16	Capacidade						

Quanto ao desempenho estatístico de cada modelo, é possível classificar o cenário de Produção de Viagens no Pico da Tarde como o que obteve melhor desempenho estatístico, apresentando dados estimados bem próximos dos reais, tanto para níveis extremos quanto intermediários, e uma aleatoriedade dos resíduos. A Geração de Viagens no Pico da Tarde também pode ser considerada um bom modelo, com um coeficiente de determinação R^2 próximo de 0,57. No pico da manhã, a análise da Geração de Viagens também teve um desempenho razoável. Apesar de exibir um R^2 de 0,47, apresentou dados estimados próximos dos reais e uma boa aleatoriedade dos resíduos.

Já os modelos de Produção no Pico da Manhã e de Atração para os dois turnos não apresentaram boas características estatísticas. O primeiro foi o pior deles, observando-se um valor de R^2 de aproximadamente 0,13, o que refletiu numa curva da equação de regressão pouco representativa da distribuição de dados reais. Quanto aos dois cenários de Atração de Viagens (um pela manhã e outro pela tarde) apesar de apresentarem coeficientes de determinação mais razoáveis (0,45 e 0,40, respectivamente) também não foram bem representativos dos dados reais: no caso do modelo da manhã, houve grande divergência entre o real e o estimado para os pontos mais extremos da curva; e no modelo da tarde os resíduos não apresentaram distribuição aleatória.

4.8 Identificação das Áreas Desatendidas com Potencial para Receber Estações

Para identificar as áreas até então desatendidas pelas estações do Bike Rio com potencial para receber novas estações, foram analisados os bairros do subúrbio do Rio de Janeiro, segundo a presença dos fatores locacionais e socioeconômicos identificados nas equações dos seis cenários analisados no item anterior: geração, produção e atração de viagens, no pico da manhã e da tarde.

Para isto, foi criada uma malha (Figura 4.10), cujos pontos apresentam distância de 300 metros entre si, tanto na horizontal, quanto na vertical. A partir daí foi possível coletar as informações atribuindo-se uma área de influência com raio de 1 km, para os dados da vizinhança, e levando em consideração o setor censitário no qual cada um deles está inserido.

Para determinar as áreas do subúrbio carioca com potencial para receber estações Bike Rio, utilizou-se como critério de corte inicial a mediana de viagens das amostras de cada cenário, fazendo-se adaptações conforme as necessidades identificadas e devidamente explicitadas na apresentação dos resultados de cada cenário.

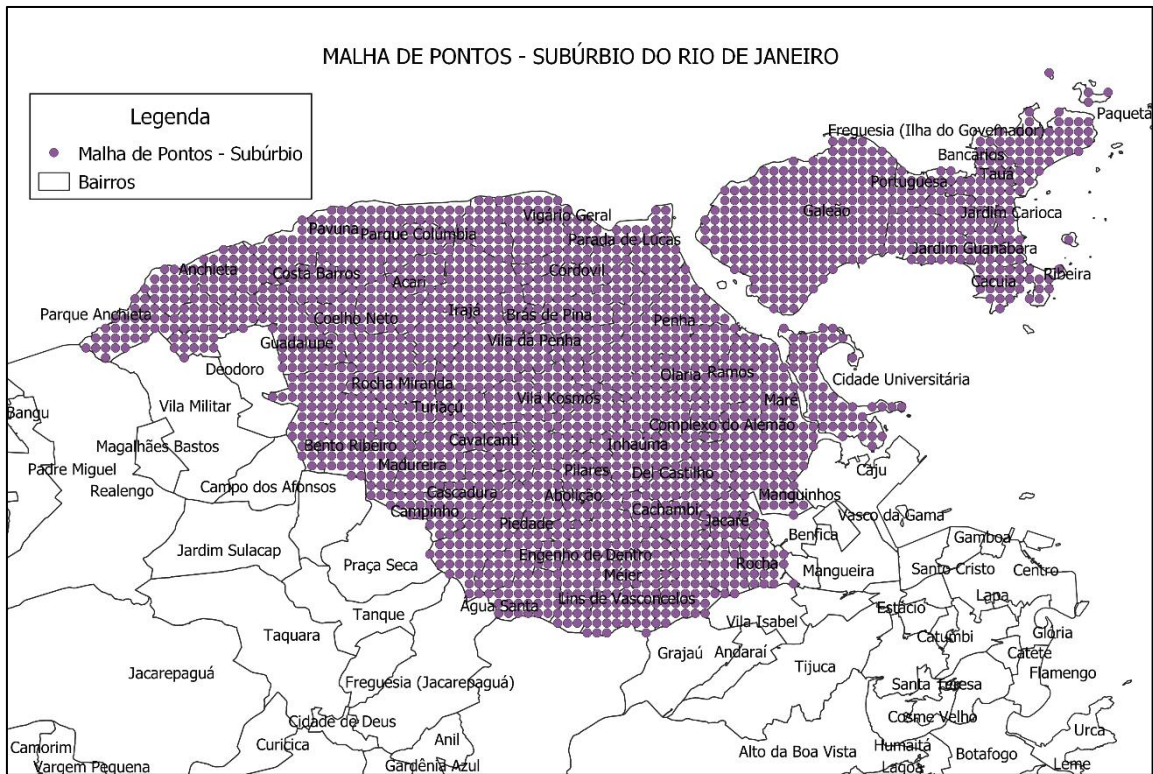


Figura 4.10 - Malha de Pontos - Subúrbio do Rio de Janeiro

4.8.1 Áreas Potenciais – Geração de Viagens no Pico da Manhã

Para a análise das áreas potenciais no que diz respeito à geração de viagens no pico da manhã foi utilizada a equação obtida através da análise de regressão para este modelo:

$$n^{\circ} VG = 37,4257131470374 + 7,72577988960103 \times V10 + 3,26774693454596 \times V15 \quad (4.4)$$

Onde:

$n^{\circ} VG$: Número de Viagens Geradas;

V10: Variável Uso Misto do Solo;

V15: Variável Densidade da Rede.

Como não é possível identificar a densidade da rede de bicicletas compartilhadas em áreas em que o sistema ainda não atua, considerou-se 10 estações no raio de 1 km para todas as áreas analisadas, uma vez que este foi o valor médio encontrado para a amostra.

4.8.2 Áreas Potenciais – Produção de Viagens no Pico da Manhã

Para a análise das áreas potenciais com base na produção de viagens estimadas no pico da manhã utilizou-se a equação:

$$n^{\circ} VP = 29,8883532815176 + 30,2653141956408 \times V09 \quad (4.5)$$

Onde:

n° VP: Número de Viagens Produzidas;

V09: Variável Densidade Comercial.

O valor da mediana do número de viagens da amostra do modelo de produção no pico da manhã é de 29 (vinte e nove) viagens. Entretanto, a adoção do número 30 (trinta) como valor de corte para a determinação das áreas com potencial para receber estações de compartilhamento de bicicletas indicaria um número muito grande de bairros, não tendo eficácia no sentido de destacar as regiões com maior potencial (devido à constante de regressão deste modelo já ter um valor muito próximo de 30). Desta forma, optou-se por adotar o valor de 31 (trinta e uma) viagens como corte.

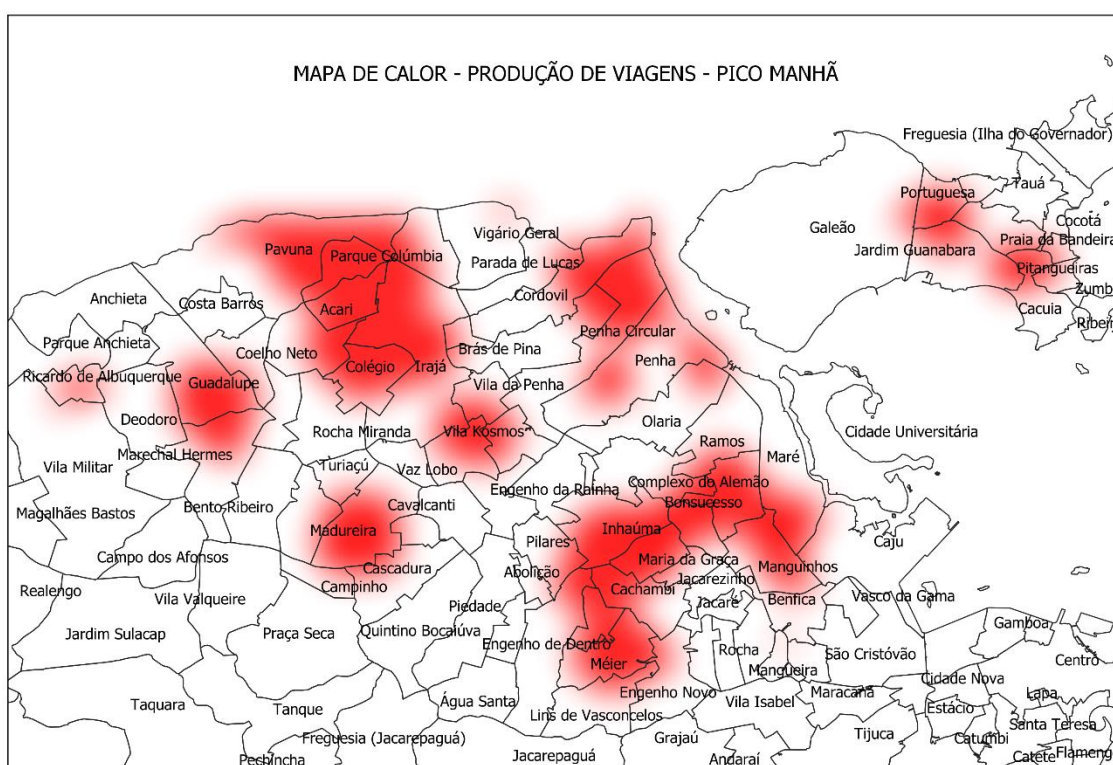


Figura 4.12 – Mapa de Calor - Produção de Viagens no Pico da Manhã

A Figura 4.12 apresenta as áreas que se destacaram como potenciais para este modelo, contemplando principalmente os bairros da Pavuna, Parque Colúmbia, Acari, Coelho

Neto, Colégio, Irajá, Cordovil, Penha Circular, Penha, Ricardo de Albuquerque, Guadalupe, Madureira, Vila Kosmos, Complexo do Alemão, Bonsucesso, Inhaúma, Manguinhos, Maria da Graça, Cachambi, Engenho de Dentro, Méier, Portuguesa, Jardim Guanabara e Pitangueiras.

4.8.3 Áreas Potenciais – Atração de Viagens no Pico da Manhã

Para a análise das áreas potenciais no que diz respeito à atração de viagens no pico da manhã foi utilizada a equação obtida através da análise de regressão para este modelo:

$$n^{\circ} VA = 15,4747362612204 + 42,97337346925 \times V07 + 76,9711642677924 \times V05 \quad (4.6)$$

Onde:

$n^{\circ} VA$: Número de Viagens Atraídas;

V07: Variável Shopping;

V05: Variável População Não-Branca.

Neste caso, não foi adotado o valor da mediana do número de viagens das estações da amostra (trinta e três) para determinar as áreas potenciais, porque este valor é muito baixo em comparação com os possíveis resultados da equação de regressão, tendo em vista seus coeficientes. Então, por observação, optou-se pelo número de 70 (setenta) viagens como valor de corte.

A Figura 4.13 apresenta as áreas que se destacaram como potenciais para este modelo, contemplando principalmente os bairros de Irajá, Penha Circular, Guadalupe, Madureira, Oswaldo Cruz, Turiacú, Vila Kosmos, Vila da Penha, Vicente de Carvalho, Olaria, Penha, Inhaúma, Del Castilho, Cachambi, Engenho de Dentro, Méier, Portuguesa e Jardim Guanabara.

potenciais levando-se em consideração a influência do Uso Misto do Solo, foi necessário trabalhar com um número de viagens a partir de 106 (cento e seis).

A Figura 4.14 apresenta as áreas que se destacaram como potenciais para este modelo, contemplando principalmente os bairros da Pavuna, Parque Colúmbia, Acari, Coelho Neto, Colégio, Irajá, Cordovil, Penha Circular, Penha, Guadalupe, Galeão, Portuguesa, Vila Kosmos, Madureira, Inhaúma, Del Castilho, Cachambi, Engenho de Dentro, Bonsucesso, Maré e Manguinhos.

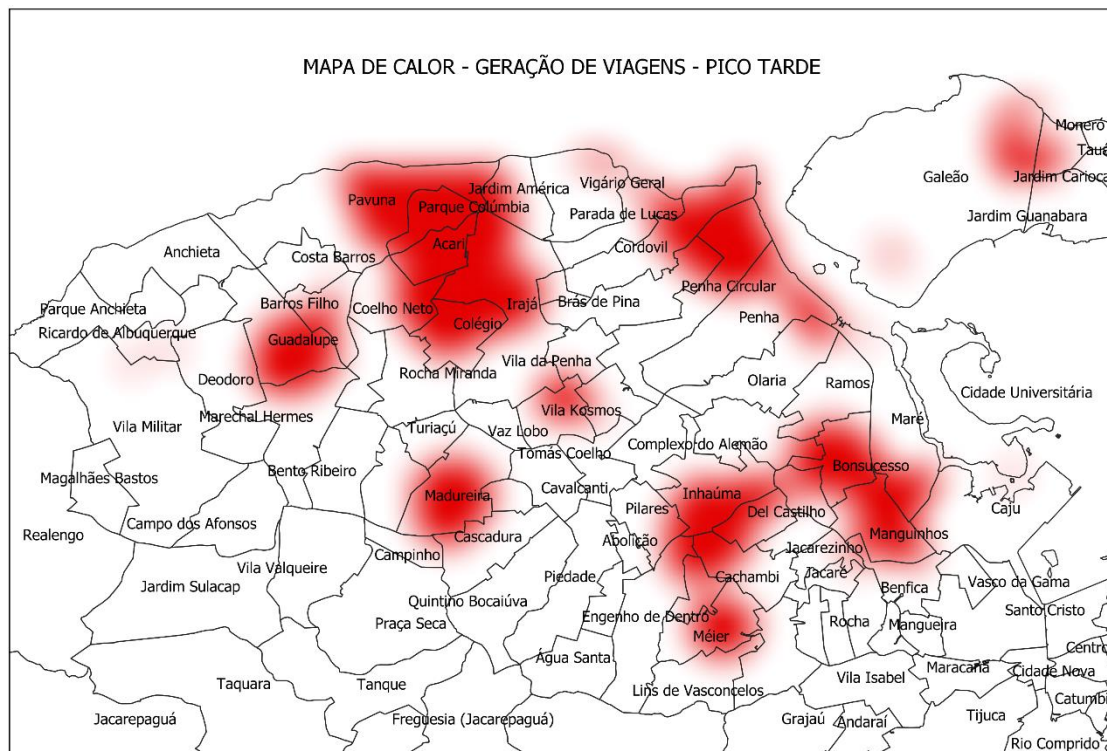


Figura 4.14 - Mapa de calor – Geração de viagens no Pico da Tarde

4.8.5 Áreas Potenciais – Produção de Viagens no Pico da Tarde

Para o pico da tarde, a análise das áreas potenciais com base na produção de viagens estimadas utilizou a equação:

$$n^{\circ} VP = 35,6592233009709 + 8,75242718446603 \times V12 \quad (4.8)$$

Onde:

$n^{\circ} VP$: Número de Viagens Produzidas;

V12: Variável Transporte.

A determinação das áreas com potencial para receber estações de compartilhamento de bicicletas foi feita com base nas regiões que apresentaram número de viagens produzidas estimadas acima de 53 (cinquenta e três), por se tratar do valor da mediana do número de viagens das estações da amostra.

A Figura 4.15 apresenta as áreas que se destacaram como potenciais para este modelo, contemplando principalmente os bairros de Pavuna, Cordovil, Penha Circular, Penha, Olaria, Ramos, Vila da Penha, Vila Kosmos, Vaz Lobo, Madureira, Cascadura, Campinho, Tomás Coelho, Del Castilho, Jacarezinho, Engenho de Dentro, Méier, Rocha e Galeão.

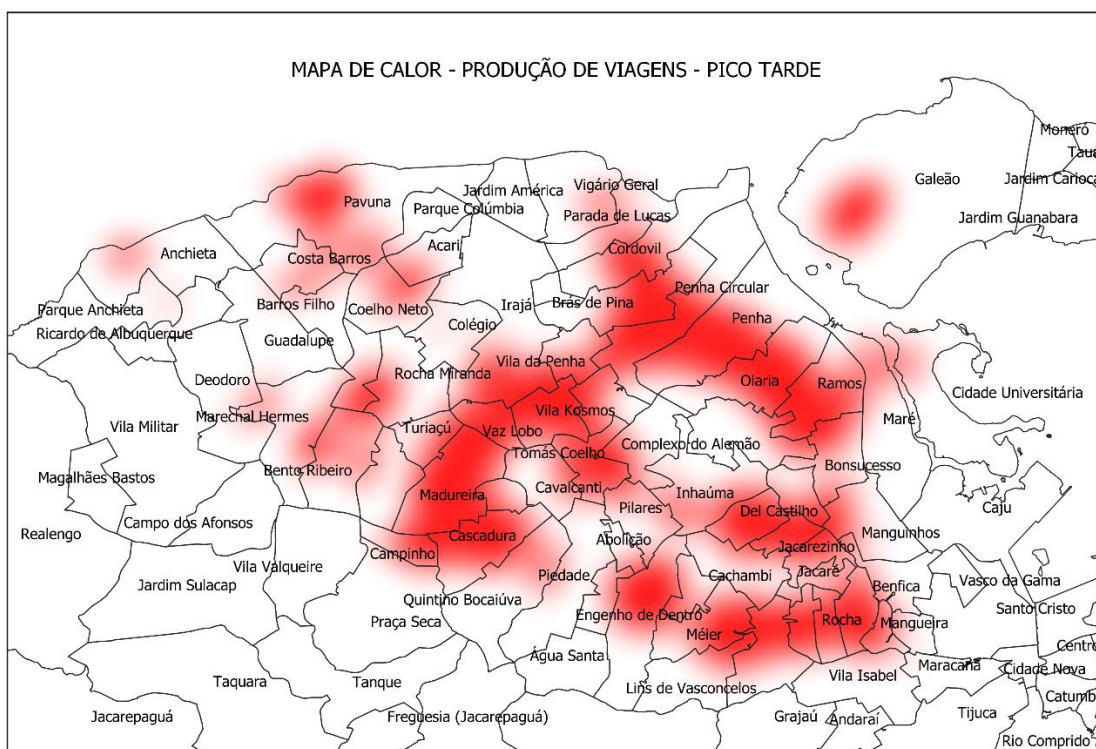


Figura 4.15 – Mapa de Calor – Produção de Viagens no Pico da Tarde

4.8.6 Áreas Potenciais – Atração de Viagens no Pico da Tarde

No que se refere à atração de viagens no pico da tarde, foi utilizada a equação:

$$n^{\circ} VA = 49,6456470810408 + 6,29066401990457 \times V10 \quad (4.9)$$

Onde:

$n^{\circ} VA$: Número de Viagens Atraídas;

V10: Variável Uso Misto do Solo;

A determinação das áreas com potencial para receber estações de compartilhamento de bicicletas foi feita com base nas regiões que apresentaram número de viagens atraídas estimadas acima de 50 (cinquenta), por se tratar do valor da mediana do número de viagens das estações da amostra.

A Figura 4.16 apresenta as áreas que se destacaram como potenciais para este modelo, contemplando principalmente os bairros de Pavuna, Parque Colúmbia, Acari, Coelho Neto, Colégio, Irajá, Guadalupe, Cordovil, Penha Circular, Penha. Vila Kosmos, Madureira, Mangunhos, Bonsucesso, Del Castilho, Inhaúma, Cachambi, Engenho de Dentro, Méier, Portuguesa.

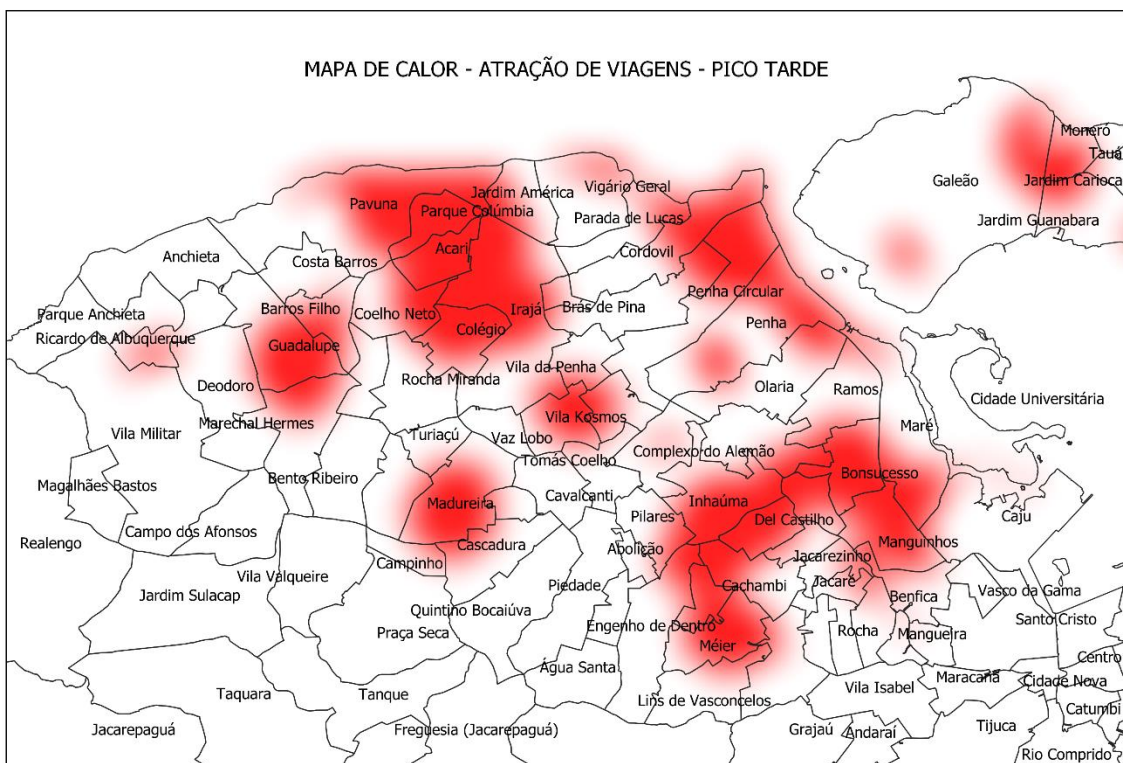


Figura 4.16 - Mapa de Calor – Atração de Viagens no Pico da Tarde

4.8.7 Áreas Potenciais

A Tabela 4.21 apresenta os bairros que apareceram como potenciais para receber estações, sendo destacados com tons mais escuros aqueles que tiveram maior frequência nos resultados.

Tabela 4.21 – Bairros que apareceram como potenciais para receber estações

Bairro	Pico Manhã			Pico Tarde		
	Geração	Produção	Atração	Geração	Produção	Atração
Acari	X	X		X		X
Brás de Pina	X					
Bonsucesso	X	X		X		X
Cachambi	X	X	X	X		X
Coelho Neto	X	X		X		X
Colégio	X	X		X		X
Complexo do Alemão		X				
Cordovil	X	X		X	X	X
Del Castilho	X		X	X	X	X
Engenho de Dentro		X	X	X	X	X
Galeão				X	X	
Guadalupe	X	X	X	X		X
Inhaúma	X	X	X	X		X
Irajá	X	X	X	X		X
Jacarezinho					X	
Jardim Guanabara		X	X			
Madureira	X	X	X	X		X
Manguinhos	X	X		X		X
Maré	X			X		
Maria da Graça		X				
Méier		X	X			X
Olaria			X		X	
Oswaldo Cruz			X			
Parque Colúmbia	X	X		X		X
Pavuna	X	X		X	X	X
Penha		X	X	X	X	X
Penha Circular	X	X	X	X	X	X
Pilares	X					
Pitangueiras		X				
Portuguesa		X	X	X		X
Ricardo de Albuquerque		X				
Rocha					X	
Tomás Coelho					X	
Turiacú			X			
Vicente de Carvalho			X			
Vila da Penha			X			
Vila Kosmos		X	X	X		X

É possível verificar que o bairro da Penha Circular se destacou, aparecendo como área potencial em todos os cenários. Também os bairros de Cachambi, Cordovil, Del Castilho, Engenho de Dentro, Guadalupe, Inhaúma, Irajá, Madureira, Pavuna e Penha foram frequentes nos resultados, com cinco aparições cada um.

É importante lembrar que, desses modelos, apenas três foram considerados com bons resultados estatísticos: Produção de Viagens no Pico da Tarde, Geração de Viagens no Pico da Manhã e Geração de Viagens no Pico da Tarde. Desta forma, é coerente que se faça uma análise mais limitada, desconsiderando os cenários para os quais não se obteve bom desempenho na análise de regressão. Há ainda mais uma questão a se considerar: a capacidade de uma estação manter sua produtividade, com base na rotatividade das bicicletas. A análise da geração de viagens de determinada estação, isto é, o somatório das viagens produzidas e atraídas por ela, permite de certa forma verificar o quanto essa estação consegue se manter em uso, pelo equilíbrio entre a demanda de retirada e a oferta de bicicletas.

Sendo assim, é conveniente observar os resultados obtidos para os cenários que avaliaram a geração de viagens no pico da manhã e no pico da tarde. Os bairros que são contemplados pelos dois modelos são: Acari, Bonsucesso, Cachambi, Coelho Neto, Colégio, Cordovil, Del Castilho, Guadalupe, Inhaúma, Irajá, Madureira, Manginhos, Maré, Parque Colúmbia, Pavuna e Penha Circular, conforme apresenta a Figura 4.17. Os resultados são indicativos de que tais áreas tem, em uma primeira análise, características socioeconômicas e locacionais propícias à uma boa demanda tanto pela manhã quanto pela tarde, considerando tanto as viagens produzidas quanto as atraídas.

Vale lembrar que tanto para o modelo da manhã quanto para o da tarde, as variáveis consideradas foram o Uso Misto do Solo e a Densidade da Rede. Como a densidade da rede foi considerada como uma constante para todas as áreas, é possível concluir que a variável determinante foi o Uso Misto do Solo, demonstrando a relevância de localizar estações de compartilhamento de bicicletas em áreas que apresentam heterogeneidade de uso do solo.

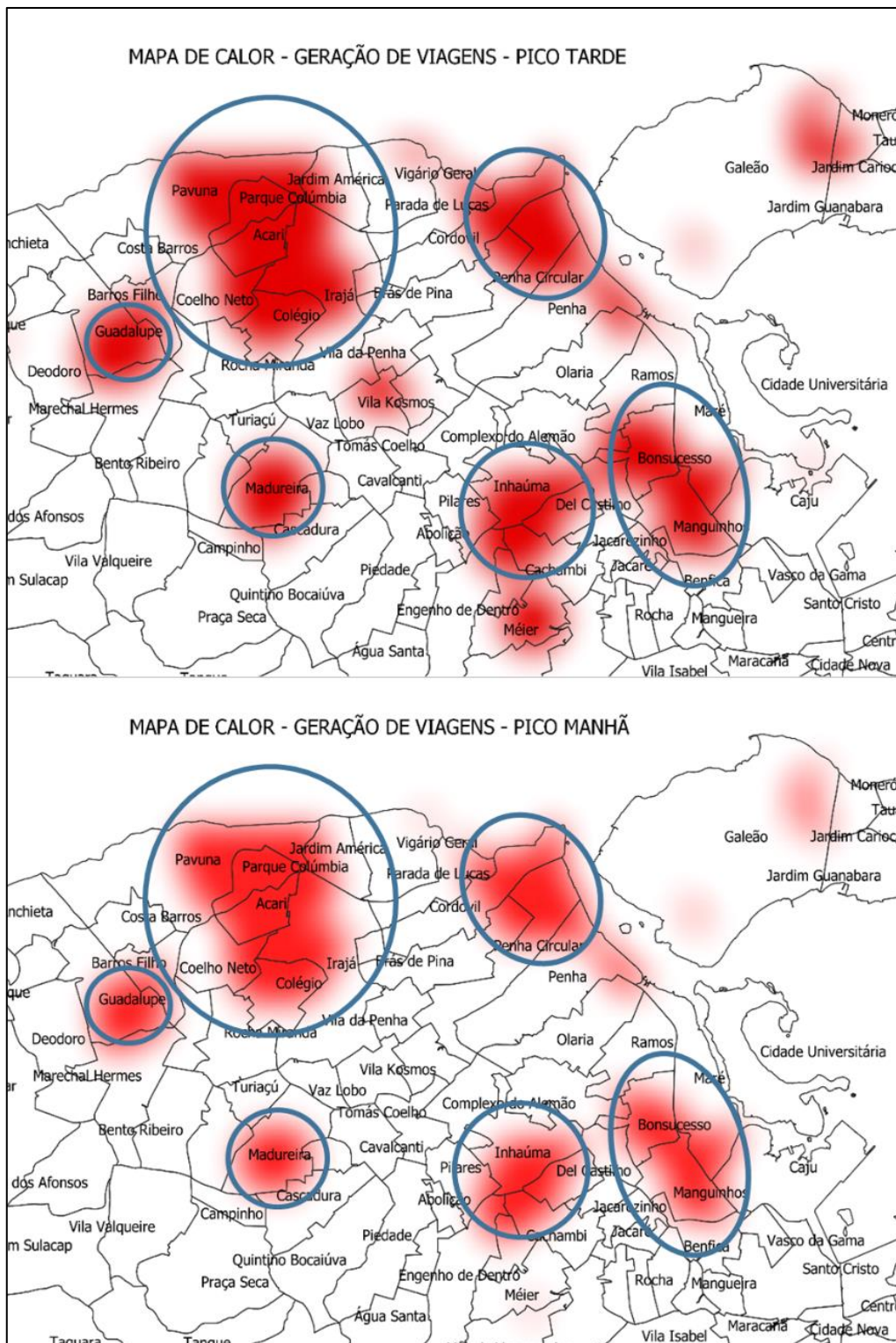


Figura 4.17 - Áreas potenciais nos cenários de Geração de Viagens

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho buscou abordar um tema atual e em desenvolvimento ao redor do mundo: os sistemas de compartilhamento de bicicletas. A implementação de tais programas está costumeiramente associada a metas de aumento do uso urbano da bicicleta, redução do congestionamento, melhoria da qualidade do ar e aumento da oferta de opções de transportes não motorizados, favorecendo, desta forma, a vivência de uma mobilidade sustentável.

Pela revisão bibliográfica apresentada no Capítulo 2, pode-se notar que diversos estudos já foram realizados ao redor do mundo com o objetivo de definir o perfil dos usuários do modo ciclovitário em áreas urbanas. Entretanto, esta dissertação traz como foco a localização das estações dos sistemas de compartilhamento de bicicletas, entendendo que este é um fator decisivo para a demanda. Neste sentido, foi possível verificar que os estudos com esta abordagem são ainda muito recentes, de forma que a pesquisa bibliométrica realizada levando em consideração o período de 2000 a 2018, encontrou apenas 62 artigos publicados sobre o tema, sendo 60 deles concentrados nos últimos 4 anos, de maneira crescente.

Levando em consideração esta necessidade de explorar mais a fundo a relevância da localização das estações dentro de um sistema de compartilhamento de bicicletas, principalmente no que se refere à América Latina, é que este trabalho apresentou o seguinte objetivo: desenvolver um procedimento metodológico que auxilie na identificação de potenciais áreas para a localização de estações de sistemas de compartilhamento de bicicletas. Para isto, buscou-se levantar e avaliar os fatores locais e socioeconômicos que influenciam no potencial uso de uma estação, procurando orientar a identificação de áreas para sua localização, e, conseqüentemente, aumentando a sua eficiência e estimulando o uso de novos usuários.

A revisão bibliográfica realizada, permitiu o levantamento de uma série de fatores considerados relevantes para o uso da bicicleta no meio urbano, sendo alguns estudos mais específicos na avaliação dos sistemas de compartilhamento de bicicletas. No Capítulo 3, tais fatores foram elencados e agrupados de acordo com as seguintes categorias: Características Socioeconômicas e Demográficas; Uso do Solo e Ambiente

Construído; Ambiente Natural; Infraestrutura Viária (Facilidades); Atitudes e Percepções; e Características do Sistema.

Além da definição dos fatores a serem analisados, no Capítulo 3 foi definido o procedimento metodológico a ser adotado, considerando-se os métodos de estimativa de demanda de transportes não-motorizados já tradicionalmente utilizados. Dentre eles, o que foi identificado como mais adequado foi o estudo comportamental agregado, que relaciona viagens não motorizadas em uma área com sua população local, uso do solo e outras características, geralmente por meio de análise de regressão. Dentre os trabalhos apresentados na revisão bibliográfica, alguns deles podem ser enquadrados nesta categoria, pelo uso de técnicas de regressão: Daddio (2012) e Rixey (2013) nos Estados Unidos, Tran *et al.* (2015) na França, Zhang *et al.* (2017) na China, Faghih-Imani *et al.* (2017) na Espanha e Fishman *et al.* (2015) na Austrália. No Brasil, vale citar o estudo de Magalhães *et al.* (2018) que, apesar de não tratar especificamente de sistemas de compartilhamento de bicicletas, faz uso de regressão linear múltipla para subsidiar o desenvolvimento de um modelo matemático de demanda de viagens de bicicletas em vias urbanas.

A concepção do procedimento metodológico surgiu da necessidade de um artifício que contribuísse na escolha da localização de estações de sistemas de compartilhamento de bicicletas em uma adequada abordagem que levasse em consideração não somente os critérios técnicos e operacionais, mas também questões socioeconômicas e locacionais. E, mais especificamente no caso do Rio de Janeiro, que permitisse a consideração da expansão do sistema para áreas até então desatendidas, de forma a identificar aquelas que apresentam potencial para receber tais estações.

Uma vez realizada a primeira etapa do procedimento, que consistiu na identificação dos principais fatores locacionais e socioeconômicos apresentados na revisão bibliográfica como influenciadores da escolha e do comportamento do usuário dos sistemas de compartilhamento de bicicletas, deu-se início ao Capítulo 4, no qual foram realizadas as demais etapas. Nele, foi apresentado o estudo de caso do sistema de compartilhamento de bicicletas Bike Rio, atuante na cidade do Rio de Janeiro. Foi necessário identificar dentre os dados coletados, quais fatores encontrariam indicadores correspondentes e quais precisariam ser desconsiderados (etapas 2 e 3). Desta forma, foram identificadas as variáveis explicativas (associadas aos fatores levantados na revisão

bibliográfica como relevantes para a escolha pelo uso da bicicleta compartilhada) e as variáveis dependentes (associadas ao uso das estações).

Para analisar as relevâncias das variáveis, considerou-se importante fazer a análise de diferentes amostras: estações com maior número de viagens geradas; aquelas que funcionam principalmente como atratoras pela manhã e produtoras pela tarde, e aquelas que funcionam principalmente como produtoras pela manhã e atratoras pela tarde. Sendo assim, a partir de dados fornecidos pela empresa Tembici, foram analisados os períodos de pico da manhã (7h às 9h) e da tarde (17h às 19h) dos dias 01 a 05 de abril de 2019 (segunda à sexta-feira), selecionando-se, separadamente, as estações que apresentaram maior geração, produção e atração de viagens, por período. Uma vez definidas as estações a serem analisadas, foi possível identificar, através de mapa georreferenciado, em qual setor censitário se encontra cada estação, para então extrair os respectivos dados socioeconômicos fornecidos pelo Censo.

Para identificar as variáveis estatisticamente relevantes, foram estabelecidas matrizes de correlação linear entre as variáveis selecionadas como explicativas e a variável dependente. Tais matrizes serviram de base para a seleção das variáveis que deveriam entrar nos respectivos modelos de análise de regressão linear. É válido destacar que as variáveis Densidade Comercial, Uso Misto do Solo e Densidade da Rede foram as que se mostraram mais fortemente correlacionadas com o número de viagens, de maneira geral.

A análise permitiu também verificar que a variável Renda apresentou, na maioria dos casos, correlação fraca ou negligenciável com a variável dependente. Ao se levar em conta que o subúrbio do Rio de Janeiro tem um renda média inferior aos locais onde atualmente estão localizadas as estações do sistema Bike Rio, tal disparidade poderia ser uma preocupação quanto a um possível insucesso da expansão em estudo. Entretanto, a verificação de que a renda não tem tanta influência (pelo menos não de maneira linear) na demanda de uma estação permite um olhar mais otimista sobre tal proposta.

Cada cenário analisado gerou uma equação equivalente com o objetivo de tentar explicar as demandas das estações Bike Rio. As variáveis que apareceram como relevantes com maior frequência foram o Uso Misto do Solo (em três modelos) e a Densidade da Rede (em dois modelos). Já as variáveis População Não-branca, Shopping, Densidade Comercial e Transporte se mostraram relevantes em um dos seis modelos. A

partir daí é possível concluir que as variáveis relacionadas às características locais foram mais determinantes que aquelas associadas às questões socioeconômicas.

A análise da produção de viagens no pico da manhã apresentou a Densidade Comercial como variável preditora do número de viagens das estações, permitindo presumir que o uso de bicicletas compartilhadas pela manhã está fortemente relacionado ao trabalho ou atividades de compras. Entretanto, este modelo não apresentou bom desempenho estatístico, de forma que os dados reais não foram bem representados pelos dados estimados.

Quanto ao modelo de atração de viagens, as variáveis independentes que se mostraram relevantes foram Shopping e População Não-branca. Com base na primeira, pode-se inferir que as viagens deste turno são atraídas por motivos de trabalho ou compras, enquanto a segunda traz uma conotação social, compatível com o apresentado pelos trabalhos de Daddio (2012) e Rixey (2013) no contexto norte-americano. No que diz respeito ao desempenho estatístico, este modelo se mostrou mais bem representativo para dados intermediários do que para os mais extremos.

Já para o cenário de geração de viagens no pico da manhã, as variáveis preditoras foram o Uso Misto do Solo e a Densidade de Rede, mostrando que a diversidade do uso do solo e a existência de uma rede abrangente de destinos potenciais próximos uns dos outros são essenciais para o sucesso do sistema conforme defendem Rixey (2013), Dill e Car (2003), Zhang *et al.* (2013) e NACTO (2016). Para este modelo observou-se um desempenho razoável, apresentando dados estimados próximos dos reais, tanto para níveis extremos quanto intermediários, e aleatoriedade dos resíduos.

Nenhuma das três análises do período da tarde teve variáveis relacionadas a características socioeconômicas em seus resultados. Sendo assim, as características locais e do sistema se mostraram determinantes para este turno. O modelo de produção de viagens no período da tarde, teve o Transporte como variável preditora. É possível presumir então que boa parte dos usuários utilize as bicicletas como um modo complementar à rede estrutural de transportes, para chegarem aos seus destinos. Este foi o modelo que apresentou melhor desempenho estatístico.

O Uso Misto do Solo foi a variável que se destacou como preditora do número de viagens atraídas no pico da tarde. Zhang *et al.* (2017) também encontraram a

heterogeneidade do solo como fator relevante para produtividade de estações de compartilhamento de bicicletas na China, o que é compatível com o que defendem ITPD (2014) e Mello e Portugal (2017), ao afirmar que a diversidade do uso do solo é um dos recursos para a garantia da acessibilidade em escala microscópica. Apesar disso, este modelo não apresentou bom desempenho estatístico, já que a curva de dados estimados não representou bem os dados reais, com uma distribuição não aleatória dos resíduos.

Por fim, as variáveis que emergiram como relevantes para o modelo de geração de viagens no pico da tarde foram a Densidade da Rede e o Uso Misto do Solo. Este resultado é muito coerente com o apresentado pela revisão bibliográfica e bem sintetizado por Zhang *et al.* (2013) ao afirmar que: a localização das estações de aluguel de bicicletas é o principal determinante para o sucesso do sistema, no que diz respeito ao seu desempenho, à conectividade com sistemas externos da área urbana (transporte público e instalações públicas de uma maneira geral) e à interação espacial entre as próprias estações. No estudo de caso em questão, o uso destas duas variáveis preditoras resultou em um modelo que apresentou bom desempenho estatístico.

É válido também analisar os resultados dos modelos de geração de viagens, nos dois turnos, sob a ótica do remanejamento das bicicletas. No item 3.4, salientou-se a capacidade de realizar tal remanejamento como uma característica importante a ser observada nos sistemas de compartilhamento, uma vez que ela afeta a confiabilidade do sistema. Por se tratar da análise de um mesmo sistema, e por ter o foco na localização das estações, esta característica não foi diretamente analisada, mas a observação dos dados para os modelos de geração de viagens, que consideram tanto as retiradas de bicicletas de uma estação quanto as devoluções, permite algumas conclusões interessantes. Tanto para o pico da manhã quanto para o da tarde, a Densidade da Rede e o Uso Misto do Solo foram as variáveis que apresentaram efeito no número de viagens geradas. Daí, pode-se verificar que a localização de estações em áreas com diversos usos de solo e que permitam a ligação com outros modos de transporte (ou com outras estações do próprio sistema) favorece a produtividade das estações, de forma que os próprios usuários garantem o remanejamento das bicicletas, ao realizarem viagens de diversos padrões, o que só é possibilitado por um rede integrada em áreas adensadas.

Sintetizando, apenas três desses modelos foram considerados com bons resultados estatísticos: Produção de Viagens no Pico da Tarde, Geração de Viagens no Pico da

Manhã e Geração de Viagens no Pico da Tarde. Para possibilitar também uma análise (ainda que indireta) da rotatividade das bicicletas, seria mais adequado o uso apenas das duas últimas, já que consideram tanto as retiradas quanto as devoluções de bicicletas. Sendo assim, podem-se considerar as variáveis “Número de Viagens Geradas no Pico da Manhã” e “Número de Viagens Geradas no Pico da Tarde” como as mais indicadas para a análise, principalmente quando avaliadas em conjunto.

Uma vez realizadas as análises de regressão, partiu-se para a verificação das áreas do subúrbio do Rio de Janeiro que apresentam potencial para localizar novas estações do sistema Bike Rio, tomando-se por base o encontrado nas equações resultantes das análises de regressão. Para tal fim, criou-se uma malha de pontos, apresentando distância de 300 metros entre si, tanto na horizontal, quanto na vertical. Para a obtenção dos dados locais, foi atribuída uma área de influência com raio de 1 km a cada um dos pontos, enquanto os dados socioeconômicos foram obtidos através do setor censitário no qual cada um deles está inserido.

Na sexta etapa do procedimento aplicado ao estudo de caso, foram apresentados os mapas de calor dos seis cenários, nos quais foram graficamente destacadas as áreas que mostraram potencial para receber estações de compartilhamento de bicicletas com base nas equações das análises de regressão, isto é, tais locais apresentaram número de viagens consideráveis quando avaliados quanto à presença das variáveis explicativas de cada modelo.

É possível verificar que o bairro da Penha Circular se destacou, aparecendo como área potencial em todos os cenários. Também os bairros de Cachambi, Cordovil, Del Castilho, Engenho de Dentro, Guadalupe, Inhaúma, Irajá, Madureira, Pavuna e Penha foram frequentes nos resultados, com cinco aparições cada um.

Como já explicado, é conveniente observar principalmente os resultados obtidos para os cenários que avaliaram a geração de viagens no pico da manhã e no pico da tarde, já que obtiveram bons resultados estatísticos e permitem a consideração tanto das retiradas quanto das devoluções de bicicletas. Os bairros que são contemplados pelos dois modelos são: Acari, Bonsucesso, Cachambi, Coelho Neto, Colégio, Cordovil, Del Castilho, Guadalupe, Inhaúma, Irajá, Madureira, Manguinhos, Maré, Parque Colúmbia, Pavuna e Penha Circular. Os resultados são indicativos de que tais áreas tem, em uma primeira

análise, características locais propícias a uma boa demanda tanto pela manhã quanto pela tarde, considerando tanto as viagens produzidas quanto as atraídas.

Sabe-se que os dois modelos apresentaram as mesmas variáveis preditoras: a Densidade de Rede e o Uso Misto do Solo. A primeira foi considerada como uma constante, já que essa tal rede ainda não existe nos locais estudados. Sendo assim, a variável determinante para a estimativa de geração de viagens foi o Uso Misto do Solo, indicando que áreas que apresentam heterogeneidade de uso do solo são boas candidatas para localizar estações de compartilhamento de bicicletas.

Frente a tudo o que foi exposto, é possível concluir que esta dissertação alcançou o seu objetivo, desenvolvendo um procedimento metodológico que serve de auxílio na identificação de potenciais áreas para a localização de sistemas de compartilhamento de bicicletas. É importante ressaltar, entretanto, que ele não deve ser a única ferramenta utilizada para tal definição, uma vez que existem questões que não foram abordadas, podendo-se destacar, principalmente, a questão da segurança pública. Além disso, há a triste característica de muitos bairros do subúrbio de degradação do patrimônio público e furtos. Mas, de maneira geral, do ponto de vista do transporte, pode-se considerar o procedimento como adequado, já que tomou por base, não só a experiência ao redor do mundo, como também os dados do próprio sistema em questão.

Também é importante expor as limitações de pesquisa. As análises ficaram limitadas aos dados disponibilizados pela Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro e pelo Censo 2010 no que se refere a dados locais e socioeconômicos. No caso dos dados do Censo, foi necessário trabalhar com valores médios, já que a unidade territorial de coleta das operações censitárias é o setor censitário. Além disso, alguns fatores identificados como relevantes pela literatura não obtiveram indicadores equivalentes que pudessem servir como variáveis nas análises e, por isso, precisaram ser desconsiderados. E, por fim, é necessário frisar que a análise estatística se limitou à observação das relações lineares entre as variáveis dependentes e as preditoras.

Esta dissertação analisou a relevância de fatores socioeconômicos e locais para a demanda de estações de compartilhamento de bicicletas para a cidade do Rio de Janeiro, por meio de análise de regressão linear múltipla. Sugere-se dar continuidade a esta pesquisa explorando outros métodos, estatísticos ou mesmo empíricos, de avaliação

destes fatores. Uma sugestão seria o uso de Análise Hierárquica, envolvendo mais diretamente a opinião dos operadores e agentes públicos.

Uma questão importante que poderia ser mais bem explorada nessa análise é a rotatividade das bicicletas. Tal análise poderia ser mais bem desenvolvida com o uso de indicadores de demanda que deixassem mais clara essa informação, como por exemplo, o Número de Viagens por Vaga por Estação.

Além disso, apesar de os estudos sobre a localização de estações de bicicletas compartilhadas estarem em crescimento ao redor do mundo, não foram encontrados estudos com esta abordagem para a América Latina. Neste sentido, sugere-se o aprofundamento de pesquisas para esta região, buscando encontrar as peculiaridades que podem existir quando comparados ao restante das Américas e outros continentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHLEY, C. A., BANISTER, C. “Cycling to work from wards in a metropolitan area. II: Model development” *Traffic engineering & control*, v. 30, n. 7-8, pp. 361-367, 1989.
- BEHESHTITABAR, E., AGUILAR RÍOS, S., KÖNIG-HOLLERWÖGER, D., SVATÝ, Z., & RYDERGREN, C. “Route Choice Modelling for Bicycle Trips”, *International Journal for Traffic & Transport Engineering*, v. 4, n. 2, 2014.
- BOTSMAN, R.; ROGERS, R., *O que é meu é seu: como o consumo colaborativo vai mudar o nosso mundo*. Bookman Editora, 2009.
- BUEHLER, R. “Determinants of transport mode choice: a comparison of Germany and the USA”, *Journal of Transport Geography* v. 19, n. 4, pp. 644-657, 2011.
- CAGGIANI, L., CAMPOREALE, R., OTTOMANELLI, M., & SZETO, W. Y. “A modeling framework for the dynamic management of free-floating bike-sharing systems”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 87, pp. 159-182, 2018.
- CALDAS, M. A. F.; FERREIRA, F. R. N.; SILVEIRA, G. P. “Localização de estações de compartilhamento de bicicletas em uma região universitária na cidade de Vitória/ES”, *XLVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Salvador, Bahia, BR, Setembro 2014.
- CAMPOS, V. B. G. “Uma visão da mobilidade urbana sustentável”, *Revista dos Transportes Públicos*, v. 2, n. 99-106, pp. 4, 2006.
- CAMPOS, V. B. G. *Planejamento de transportes: conceitos e modelos*. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.
- CASA FLUMINENSE, 2017, *Estações do Bike Rio oferecem, em média, uma bicicleta a cada 10 vagas*. Disponível em: <https://casافلuminense.org.br/estacoes-do-bike-rio-oferecem-em-media-uma-bicicleta-cada-10-vagas/>. Acesso em: 05 jul. 2018.
- COMISSÃO EUROPÉIA, 2000, *Cidades para Bicicletas, Cidades de Futuro*. Luxemburgo, Serviços das Publicações Oficiais das Comunidades Européias.
- DA SILVEIRA, M. O., 2010, *Mobilidade Sustentável: A bicicleta como um meio de transporte integrado.*, Tese de D. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- DADDIO, D.W., 2012, *Maximizing Bicycle Sharing: An Empirical Analysis of Capital Bikeshare Usage*. Dissertação de M.Sc., University of North Carolina, Chapel Hill, Carolina do Norte, EUA.
- DE MACEDO, M. M. C., DE MELO, R. R., DE ANDRADE, M. O., & MEIRA, L. H., “Fatores e barreiras que influenciam o uso do sistema de bicicletas compartilhadas Bike PE entre alunos da UFPE.”

XXXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET, Gramado, Rio Grande do Sul, BR, Novembro 2018.

DE MELO, M. F. S; MAIA, M. L. A., “Sistema de Bicicletas Públicas: Um Balanço De Sua Evolução e sua Integração na rede de transporte público.” *XXVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET*, Belém, Pará, BR, Novembro 2013.

DE SOUSA, P. B., 2012, *Análise de fatores que influem no uso da bicicleta para fins de planejamento cicloviário*, Tese de D. Sc., Universidade de São Paulo, SP, Brasil.

DEMAIO, P., “Bicycle-Sharing: History, Impacts, Models of Provision, and Future”, *Journal of Public Transportation*, v. 12, n. 4, pp. 41-56, 2009

DILL, J.; CARR, T. “Bicycle commuting and facilities in major U.S. cities: if you build them, commuters will use them”, *Transportation Research Record : The Journal of Transportation Research Board*, Washington, D.C., n. 1828, pp. 116-123, 2003.

FAGHIH-IMANI, A., HAMPSHIRE, R., MARLA, L., & ELURU, N. “An empirical analysis of bike sharing usage and rebalancing: Evidence from Barcelona and Seville”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 97, pp. 177-191, 2017

FERREIRA, J. C.; MONTEIRO, V.; & AFONSO, J. L. “Vehicle-to-anything application (V2Anything App) for electric vehicles”, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 10, n. 3, pp. 1927-1937, 2013.

FHWA - FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. “Guide on Methods to Estimate Non-Motorized Demand Travel: Supporting Documentation” *United States of America: Federal Highway Administration*, Washington D. C., 1999.

FISHMAN, E.; WASHINGTON, S.; HAWORTH, N. “Barriers and facilitators to public bicycle scheme use: A qualitative approach”, *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, v. 15, n. 6, pp. 686-698, 2012.

FISHMAN, E.; WASHINGTON, S.; HAWORTH, N. “Bike share: a synthesis of the literature”, *Transport reviews*, v. 33, n. 2, pp. 148-165, 2013.

FISHMAN, E., W., S., H., N., & WATSON, A. (2015). “Factors influencing bike share membership: an analysis of Melbourne and Brisbane”, *Transportation research part A: policy and practice*, v. 71, pp. 17-30, 2015.

FISHMAN, E. “Bikeshare: A review of recent literature”, *Transport Reviews*, v. 36, n. 1, p. 92-113, 2016.

FRADE, I., & RIBEIRO, A. “Bike-sharing stations: A maximal covering location approach.” *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 82, v. 82, pp. 216-227, 2015.

- FRANZBLAU, A., 1958, *A primer of statistics for non-statisticians*. New York: Harcourt, Brace & World.
- GARCÍA-PALOMARES, J. C.; GUTIÉRREZ, J.; LATORRE, M. “Optimizing the location of stations in bike-sharing programs: a GIS approach”, *Applied Geography*, v. 35, n. 1, pp. 235-246, 2012.
- GRIECO, E.P., 2015, *Índice do Ambiente Construído Orientado à Mobilidade Sustentável*, Dissertação de M. Sc, POLI/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- HAIR, J. F. et al. *Análise multivariada de dados*. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- HEINEN, E.; VAN WEE, B; MAAT, K. “Commuting by bicycle: an overview of the literature”, *Transport Reviews*, v. 30, n. 1, pp. 59-96, 2010.
- HOFFMAN, R., 2016, *Análise de Regressão: Uma introdução à econometria*, Hucitec, São Paulo.
- INSTITUTE FOR TRANSPORTATION AND DEVELOPMENT POLICY – ITPD, *Guia de Planejamento de Sistemas de Bicicletas Compartilhadas*, 2014.
- KASPI, M., RAVIV, T., TZUR, M., & GALILI, H. “Regulating vehicle sharing systems through parking reservation policies: Analysis and performance bounds”, *European Journal of Operational Research*, v. 251, n. 3, pp. 969-987, 2016.
- LAPORTE, G., MEUNIER, F., & WOLFLER CALVO, R., “Shared mobility systems.” *4or*, v. 13, n. 4, pp. 341-360, 2015.
- LAUTSO, K., SPIEKERMANN, K., WEGENER, M., 2004, *PROPOLIS - Planning and Research of Policies for Land Use and Transport for Increasing Urban Sustainability*. Disponível em: <<http://www.cipra.org/alpknowhow/publications/propolis>>
- LIN, J., YANG, T., “Strategic design of public bicycle sharing with service level constraints”, *Transportation Research Part E: logistics and transportation review*, v.47, pp. 284-294, 2011.
- LOTT, D. Y., TARDIFF, T. J., LOTT, D. F. “Bicycle transportation for downtown work trips: A case study in Davis, California.” *Transportation research record*, v. 629, pp. 30-37, 1977.
- MAGALHÃES, J. R. L., CAMPOS, V. B. G, DE MELLO BANDEIRA, R. A. “Análise de variáveis para estimativa de viagens por bicicletas: Um estudo no município do Rio de Janeiro, Brasil.” *Revista Transportes*, v. 26, n. 4, pp. 30-46, 2018.
- MARTENS, K., “The bicycle as a feeding mode: experiences from three European countries”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 9, n. 4, pp. 281-294, 2004.
- MARTENS, K., “Promoting bike-and-ride: The Dutch experience” *Transportation Research Part A*, v. 41, n. 4, pp. 326-338, 2007.

- MARTINEZ, L. M., CAETANO, L., EIRÓ, T., & CRUZ, F., “An Optimisation Algorithm to Establish the Location of Stations of a Mixed Fleet Biking System: An Application to the City of Lisbon”, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 54, pp. 513-524, 2012.
- MELLO, A. J. R., 2015, *A acessibilidade ao emprego e sua relação com a mobilidade e o desenvolvimento sustentáveis: O caso da Região Metropolitana do Rio de Janeiro*, Tese de D. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- MELLO, A., & PORTUGAL, L., “Um procedimento baseado na acessibilidade para a concepção de planos estratégicos de mobilidade urbana: O caso do Brasil”, *EURE (Santiago)*, v. 43, n. 128, pp. 99-125, 2017.
- MORTON, C., “Appraising the market for bicycle sharing schemes: Perceived service quality, satisfaction, and behavioural intention in London”, *Case Studies on Transport Policy*, v. 6, n. 1, pp. 102-111, 2018.
- NAIR, R.; MILLER-HOOKS, E., “Fleet management for vehicle sharing operations”, *Transportation Science*, v. 45, n. 4, p. 524-540, 2011.
- NATIONAL ASSOCIATION OF CITY TRANSPORTATION OFFICIALS, *Bike Share Station Siting Guide*, 2016.
- TRANSPORTE ATIVO, *Pesquisa Nacional sobre o Perfil do Ciclista Brasileiro*, 2018.
- O GLOBO, 2018, *Novas estações do Bike Rio geram polêmica entre moradores do Rio*. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/rio/novas-estacoes-do-bike-rio-geram-polemica-entre-moradores-do-rio-22708867>>. Acesso em: 02 jul. 2018.
- O'BRIEN, O., CHESHIRE, J., & BATTY, M., “Mining bicycle sharing data for generating insights into sustainable transport systems”, *Journal of Transport Geography*, v. 34, p. 262-273, 2014.
- ORTÚZAR, J. D., IACOBELLI, A., VALEZE, C. “Estimating demand for a cycle-way network”, *Transportation Research Part A*, v. 34, pp. 353-373, 2000.
- PETTERNELI, L. A., 2004, “Estatística I” *Universidade Federal de Viçosa*, cap. 9.
- PAIVA JUNIOR, H, 2006, *Segmentação e modelagem comportamental de usuários dos serviços de transporte urbano brasileiros*. Tese de D. Sc., Universidade de São Paulo, SP, Brasil.
- PITILIN, T. R; SANCHES, S. P., “Identificação dos principais atributos para o projeto de uma rede cicloviária”, *XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET*, Ouro Preto, Minas Gerais, BR, Novembro 2015.
- PUCHER, J.; DILL, J.; HANDY, S., “Infrastructure, programs, and policies to increase bicycling: an

- international review”, *Preventive medicine*, v. 50, pp. S106-S125, 2010.
- PUCHER, J., BUEHLER, R., “Cycling for everyone: lessons from Europe.” *Transportation research record*, v. 2074, n. 1, pp. 58-65, 2008.
- RIETVELD, P., & DANIEL, V. “Determinants of bicycle use: do municipal policies matter?”. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 38, n. 7, pp. 531-550, 2004.
- RIXEY, R. “Station-level forecasting of bikesharing ridership: Station Network Effects in Three US Systems.” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 2387, n. 1, p. 46-55, 2013.
- SAYARSHAD, H.; TAVASSOLI, S.; ZHAO, F. “A multi-periodic optimization formulation for bike planning and bike utilization”, *Applied Mathematical Modelling*, v. 36, n. 10, pp. 4944-4951, 2012.
- SHAHEEN, S.; GUZMAN, S.; ZHANG, H. “Bikesharing in Europe, the Americas, and Asia: past, present, and future.” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 2143, n. 1, pp. 159-167, 2010.
- TRAN, T. D., OVTRACHT, N., & D’ARCIER, B. F. “Modeling bike sharing system using built environment factors.” *Procedia Cirp*, v. 30, pp. 293-298, 2015
- TRANSPORTE ATIVO, *Pesquisa Nacional sobre o Perfil do Ciclista Brasileiro*, 2015
- TRANSPORTE ATIVO, *Pesquisa Nacional sobre o Perfil do Ciclista Brasileiro*, 2018
- TRANSPORTE ATIVO, 2018, *Bike Rio, 4ª Geração já está nas ruas*. Disponível em: <<http://transporteativo.org.br/ta/?p=11115>> Acesso em: 23/03/2018.
- VILLADA, C. A. G.; PORTUGAL, L. D. S. “Mobilidade sustentável e o desenvolvimento orientado ao transporte sustentável”, *XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET*, Ouro Preto, Minas Gerais, BR, Novembro 2015.
- VOGEL P, GREISER T, MATTFELD D. C. “Understanding bike-sharing systems using data mining: exploring activity patterns” *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, v. 20, pp. 514-523, 2011.
- ZHANG, Y., THOMAS, T., BRUSSEL, M., & VAN MAARSEVEEN, M. “Exploring the impact of built environment factors on the use of public bikes at bike stations: Case study in Zhongshan, China.” *Journal of transport geography*, v. 58, pp. 59-70, 2017.