

Análise de variáveis para estimativa de viagens por bicicletas: Um estudo no município do Rio de Janeiro, Brasil

Jefferson Ramon Lima Magalhães¹, Vânia Barcellos Gouvêa Campos²,
Renata Albergaria de Mello Bandeira³

¹Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Instituto Militar de Engenharia, jeff-lm@hotmail.com

²Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Instituto Militar de Engenharia, vania@ime.eb.br

³Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Instituto Militar de Engenharia, re.albergaria@gmail.com

Recebido:

2 de junho de 2017

Aceito para publicação:

12 de dezembro de 2017

Publicado:

XX de dezembro de 2018

Editor de área:

Beatriz Cybis

Palavras-chaves:

Transporte cicloviário;
Demanda de viagens por bicicletas;
Rio de Janeiro.

Keywords:

Bicycle transportation;
Bicycle travel demand;
Rio de Janeiro.

DOI:10.14295/transportes.v26i4.1392



RESUMO

O presente artigo tem como objetivo subsidiar o desenvolvimento de um modelo matemático de demanda de viagens de bicicletas em vias urbanas. Assim, apresenta-se uma revisão bibliográfica dos modelos de demanda de viagens por bicicleta e busca-se um modelo de demanda direta mediante regressão linear múltipla com base em contagens volumétricas realizadas na zona sul da cidade de Rio de Janeiro. A partir deste processo, foi possível elencar as principais variáveis que influenciam na demanda deste tipo de viagem, bem como sua significância e caráter do sinal delas nos modelos. 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 são os fatores que mais influenciam o uso da bicicleta. Para vias sem infraestrutura, os principais fatores são: número de interseções, proximidade a vias cicláveis e número de faixas. Finalmente, foi possível identificar um modelo de demanda direta para viagens em vias com infraestrutura para circulação de bicicletas.

ABSTRACT

This paper aims to support the development of mathematical models for bicycle travel demand forecasts in urban areas. Thus, a systematic literature review on bicycle travel demand models is presented, as well as a direct demand model based on multiple linear regressions, using data from volumetric counts performed in the southern area of the city of Rio de Janeiro. In this way, the study allowed to list the main variables that influence bicycle travel demand, as well as their significance in the models. For roads with availability of infrastructure for bicycle circulation, these variables are: parking areas, maximum temperature of the region and the number of traffic accidents. For roads without such infrastructure, the main variables are: number of intersections, proximity to cycle paths and number of lanes. Finally, it was possible to identify a direct demand model for bicycle travel in road trips with infrastructure for bicycle circulation.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, nota-se o crescimento do interesse no incentivo ao uso da bicicleta para viagens pendulares como alternativa para mitigar problemas de mobilidade advindos do crescimento do índice de motorização nos principais centros urbanos brasileiros (Ministério das Cidades, 2007). O transporte cicloviário alia baixos custos de implantação à promoção da sustentabilidade no ambiente urbano e ao aumento dos níveis de mobilidade da população, especialmente a de baixo poder aquisitivo (Barbosa e Leiva, 2006).

O aumento da participação da bicicleta na matriz modal de distribuição de viagens no Brasil, 3,6% do total de viagens realizadas entre 2003 e 2012 (ANTP, 2014), e a popularização do uso de sistemas de bicicletas compartilhadas em algumas cidades brasileiras (Cadena *et al.*, 2014)

são algumas das razões que justificam a necessidade de gerenciamento da demanda de viagens por transporte cicloviário. Contudo, esta prática é dificultada pela ausência de dados ou estudos que comparem os níveis de utilização antes e depois da implantação dessa infraestrutura (Sousa e Kawamoto, 2015) e de pesquisas de caracterização do perfil e do padrão de viagens de usuários do modo cicloviário no país (Ministério das Cidades, 2007).

Modelos de previsão de demanda podem ser empregados para auxiliar planejadores de transportes a realizar um prognóstico da situação futura do transporte cicloviário em uma localidade, a partir de informações sobre a quantidade de bicicletas existentes e em circulação, a frequência, o motivo e os locais de origem e destino das viagens realizadas por esse modo de transporte (Handy *et al.*, 2014). Essas informações, assim como a identificação dos fatores que mais influenciam os níveis atuais de utilização da bicicleta para viagens nas áreas urbanas brasileiras, são necessárias para a definição de intervenções e políticas de transporte que resultem no aumento da demanda pelo modo cicloviário.

Considerando o número reduzido de estudos quantitativos de demanda de viagens por bicicleta em nível nacional, o presente trabalho apresenta uma revisão da literatura sobre o tema, identificando os principais métodos de modelagem matemática adotados pelos autores e as variáveis mais testadas nesses modelos. Estas informações são importantes para subsidiar o desenvolvimento de um modelo de demanda para estimar o número de viagens de bicicletas em vias urbanas, que é o objetivo principal deste artigo. Portanto, buscou-se, neste estudo, um modelo de demanda direta mediante regressão linear múltipla com base em contagens volumétricas realizadas na zona sul da cidade de Rio de Janeiro, identificando os principais fatores que influenciam a demanda deste tipo de viagens.

A estrutura deste trabalho compreende os seguintes tópicos: após esta seção introdutória, a Seção 2 contém uma revisão sistemática da literatura sobre modelos de demanda aplicados ao transporte cicloviário. Em seguida, na Seção 3, é apresentada uma discussão específica sobre os modelos de demanda direta. A Seção 4 apresenta o método utilizado para o desenvolvimento de modelos matemáticos de regressão. A Seção 5 contém os modelos de regressão ajustados e a seção 6 traz uma análise dos resultados obtidos. Por fim, na Seção 7 são apresentadas as conclusões e recomendações deste trabalho.

2. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE MODELOS DE DEMANDA DO MODO CICLOVIÁRIO

A pesquisa bibliográfica de artigos científicos para a composição do referencial teórico deste estudo foi realizada em duas bases de dados de publicações indexadas: *ISI WEB OF SCIENCE* e *TRID (Transport Research International Documentation)*, mantida pelo conselho de pesquisa em transportes (*Transportation Research Board*) dos *US National Academies*. Utilizou-se a seguinte combinação de palavras-chave para a busca, direcionada ao título, resumo e palavras-chave dos artigos: "*bicycle*" and "*demand*" ("bicicleta" e "demanda"). O ano de publicação dos artigos foi limitado ao período entre os anos de 2000 e 2016.

A pesquisa resultou na identificação de 131 artigos. Entretanto, após a leitura dos resumos, apenas onze artigos foram selecionados, pois contêm métodos de demanda efetiva e potencial pelo modo cicloviário. Em seguida, as referências bibliográficas desses artigos foram consultadas para identificar outros estudos que atendem aos critérios definidos, o que resultou na identificação e seleção de outros sete artigos. Assim, 18 artigos compõem o referencial teórico desse

estudo. Esses trabalhos foram analisados em relação às variáveis utilizadas para o desenvolvimento dos modelos, à modelagem matemática aplicada na estimativa da demanda pelo modo cicloviário e segundo as fontes de dados consultadas.

2.1. ANÁLISE DOS ARTIGOS SEGUNDO AS VARIÁVEIS UTILIZADAS

A análise dos artigos selecionados segundo as variáveis utilizadas nos modelos que compõem o referencial teórico deste estudo resultou na identificação de 96 variáveis independentes associadas a fatores de utilização da bicicleta para viagens. Estas variáveis foram agrupadas em seis categorias, com base na classificação proposta por Fernández-Heredia *et al.* (2014) para fatores de utilização da bicicleta para viagens, sendo então analisadas em termos de ocorrência. Foram consideradas como frequentes as variáveis com ocorrência em pelo menos dois modelos de demanda, resultando na identificação de 29 variáveis, apresentadas na Tabela 1 por categoria. A Tabela 1 também apresenta a frequência, em termos percentuais, com que as variáveis foram consideradas significativas estatisticamente em relação ao total de modelos em que foram testadas.

Tabela 1: Variáveis mais utilizadas por categoria

Categoria	Variável	Número de ocorrências (Significância)	Modelos em que a variável foi significativa
Características socioeconômicas	Idade	10 (50%)	Ortúzar <i>et al.</i> (2000), Rietveld e Daniel (2004), Wardman <i>et al.</i> (2007), Khan <i>et al.</i> (2013), Maldonado-Hinarejos <i>et al.</i> (2014)
	Renda familiar	9 (44%)	Wardman <i>et al.</i> (2007), Hankey <i>et al.</i> (2012), Khan <i>et al.</i> (2013), Habib <i>et al.</i> (2014)
	Gênero	7 (88%)	Wardman <i>et al.</i> (2007), Parkin <i>et al.</i> (2008), Godefroy e Morency (2012), Khan <i>et al.</i> (2013), Habib <i>et al.</i> (2014), Maldonado-Hinarejos <i>et al.</i> (2014).
	Posse de automóvel	7 (88%)	Dill e Carr (2003), Rietveld e Daniel (2004), Parkin <i>et al.</i> (2008), Buehler & Pucher (2012), Godefroy e Morency (2012), Khan <i>et al.</i> (2013)
	Escolaridade	6 (50%)	Buehler & Pucher (2012), Hankey <i>et al.</i> (2012), Habib <i>et al.</i> (2014)
	Etnia	4 (100%)	Rietveld e Daniel (2004), Parkin <i>et al.</i> (2008), Hankey <i>et al.</i> (2012), Maldonado-Hinarejos <i>et al.</i> (2014)
Características da viagem	Localização residencial	4 (50%)	Ortúzar <i>et al.</i> (2000), Maldonado-Hinarejos <i>et al.</i> (2014)
	Tempo de viagem	4 (75%)	Wardman <i>et al.</i> (2007), Parkin <i>et al.</i> (2008), Maldonado-Hinarejos <i>et al.</i> (2014)
	Custo do transporte individual	4 (50%)	Rietveld e Daniel (2004), Buehler e Pucher (2012)
	Distância de viagem	3 (100%)	Ortúzar <i>et al.</i> (2000), Parkin <i>et al.</i> (2008), Godefroy e Morency (2012)
	Motivo da viagem	3 (67%)	Ortúzar <i>et al.</i> (2000), Godefroy e Morency (2012)
Uso do solo e ambiente construído	População	6 (67%)	Parkin <i>et al.</i> (2008), Krykewycz <i>et al.</i> (2010), Rybarczyk e Wu (2010), Habib <i>et al.</i> (2014)
	Densidade de vias cicláveis	4 (100%)	Dill e Carr (2003), Buehler & Pucher (2012), Khan <i>et al.</i> (2013), Habib <i>et al.</i> (2014)
	Áreas comerciais	4 (100%)	Rybarczyk e Wu (2010), Krykewycz <i>et al.</i> (2010), Griswold <i>et al.</i> (2011), Tabeshian e Kattan (2014)
	Existência de polos atratores de viagens recreacionais	4 (100%)	Rybarczyk e Wu (2010), Krykewycz <i>et al.</i> (2010), Griswold <i>et al.</i> (2011), Tabeshian e Kattan (2014)
	Polos geradores de viagens não-recreacionais	4 (75%)	Rybarczyk e Wu (2010), Krykewycz <i>et al.</i> (2010), Habib <i>et al.</i> (2014).
	Proximidade a polos geradores de viagens	4 (33%)	Rybarczyk e Wu (2010), Krykewycz <i>et al.</i> (2010), Tabeshian e Kattan (2014)
	Proximidade à área central	3 (67%)	Krykewycz <i>et al.</i> (2010)
Proximidade a ciclovias ou vias orientadas para a circulação de bicicletas	3 (67%)	Krykewycz <i>et al.</i> (2010), Griswold <i>et al.</i> (2011)	
Infraestrutura viária (Facilidades)	Facilidades para bicicletas no destino	3 (67%)	Wardman <i>et al.</i> (2007), Maldonado-Hinarejos <i>et al.</i> (2014)
	Localização da rota ciclável em relação à via	2 (100%)	Parkin <i>et al.</i> (2008), Hankey <i>et al.</i> (2012)
	Sinalização específica para bicicletas	2 (50%)	Griswold <i>et al.</i> (2011)

Tabela 1: Variáveis mais utilizadas por categoria (continuação)

Categoria	Variável	Número de ocorrências (Significância)	Modelos em que a variável foi significativa
Ambiente natural	Precipitação	5 (80%)	Dill e Carr (2003), Parkin <i>et al.</i> (2008), Griswold <i>et al.</i> (2011), Godefroy e Morency (2012)
	Topografia	4 (75%)	Rietveld e Daniel (2004), Parkin <i>et al.</i> (2008), Griswold <i>et al.</i> (2011)
	Temperatura	4 (50%)	Parkin <i>et al.</i> (2008), Godefroy e Morency (2012)
Atitudes e percepções	Segurança em relação ao tráfego	4 (100%)	Rietveld e Daniel (2004), Wardman <i>et al.</i> (2007), Buehler e Pucher (2012), Habib <i>et al.</i> (2014)
	Imagem do transporte cicloviário	3 (67%)	Rietveld e Daniel (2004), Maldonado-Hinarejos <i>et al.</i> (2014)
	Segurança em relação ao crime	3 (33%)	Rybarczyk e Wu (2010)

Observa-se o predomínio de variáveis socioeconômicas e de uso do solo/ambiente construído, seguidas por variáveis associadas à infraestrutura viária. Por outro lado, ainda existem poucos estudos que analisam o efeito de atitudes e percepções dos indivíduos em relação à propensão de utilizar a bicicleta para viagens, dado que é um tema ainda em consolidação na literatura do transporte cicloviário.

2.2. Análise dos artigos segundo a modelagem matemática adotada

Em relação à modelagem matemática, a maior parte dos estudos encontrados pode ser subdividida em dois grupos: modelos de regressão e modelos probabilísticos. Também foram identificados estudos que utilizam conceitos de outras teorias ou ferramentas específicas (como *softwares* de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), técnicas de análise multicritério, teoria de sintaxe espacial e modelos econométricos), conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Abordagens matemáticas utilizadas em estudos de previsão de demanda pelo modo cicloviário

Modelo	Autores
Modelos de regressão	
Regressão linear simples	Barnes e Krizek (2005)
Estudos transversais (cross-section)	Dill e Carr (2003)
Regressão semi-linear	Rietveld e Daniel (2004)
Regressão logística	Parkin <i>et al.</i> (2008)
Regressão log-linear	Buehler e Pucher (2012), Griswold <i>et al.</i> (2011)
Regressão binomial negativo (BN)	Hankey <i>et al.</i> (2012)
Regressão BN inflacionada de zeros	Khan <i>et al.</i> (2013)
Regressão de Poisson	Khan <i>et al.</i> (2013), Tabeshian e Kattan (2014)
Modelos probabilísticos	
<i>Logit</i> binário	Ortúzar <i>et al.</i> (2000), Godefroy e Morency (2012), Khan <i>et al.</i> (2013)
<i>Logit</i> hierárquico	Wardman <i>et al.</i> (2007)
<i>Logit</i> multinomial	Khan <i>et al.</i> (2013)
<i>Logit</i> multinomial híbrido	Maldonado-Hinarejos <i>et al.</i> (2014)
Outras abordagens	
Sintaxe Espacial	Raford <i>et al.</i> (2007), McCahill e Garrick (2008)
Análise multicritério	Rybarczyk e Wu (2010)
Métodos econométricos	Habib <i>et al.</i> (2014)
Análise espacial (SIG)	Krykewycz <i>et al.</i> (2010)

As principais aplicações dos modelos de regressão consistem em estimar a demanda efetiva de viagens por bicicletas em uma área ou região, ou ainda de uma facilidade destinada à circulação exclusiva de bicicletas. A regressão linear foi utilizada por Dill e Carr (2003), Rietveld e Daniel (2004), Barnes e Krizek (2005), Griswold *et al.* (2011) e Buehler e Pucher (2012). Parkin

et al. (2008) adotaram modelo de regressão logística no modelo de previsão de demanda para viagens casa-trabalho por bicicletas em cidades inglesas. Técnicas de regressão de Poisson e binomial negativa (BN) foram utilizadas por Tabeshian e Kattan (2014), Khan *et al.* (2013) e Hankey *et al.* (2012).

Por sua vez, os modelos probabilísticos utilizam conceitos da Teoria da Utilidade para determinar, através de modelos *logit*, a probabilidade de escolha da bicicleta para viagens frente a outras opções de modos de transporte, além de estimar a demanda potencial de viagens por bicicletas a nível regional. Khan *et al.* (2013), Ortúzar *et al.* (2000) e Godefroy e Morency (2012) desenvolveram modelos *logit* binários para avaliar a propensão de utilização da bicicleta para viagens. O modelo *logit* hierárquico foi utilizado por Wardman *et al.* (2007), enquanto Maldonado-Hinarejos *et al.* (2014) utilizaram o modelo *logit* híbrido.

2.3. Análise dos artigos segundo as fontes de dados

A análise dos artigos segundo as características dos dados utilizados para o desenvolvimento de modelos de demanda resultou em uma divisão desses trabalhos em dois grupos: modelos que utilizam dados a nível agregado e a nível desagregado.

Dez de 18 artigos apresentam modelos de demanda pelo modo ciclovitário a partir de dados agregados. Esses modelos relacionam o número de viagens às características socioeconômicas e demográficas de uma área ou região, ou ainda às características das facilidades existentes e os padrões de uso do solo lindeiro a esses locais (FHWA, 1999). As informações utilizadas pelos autores são predominantemente oriundas de censos, que podem ou não ser combinados com dados de outras fontes públicas para incluir características do ambiente construído, do ambiente físico e variáveis sensíveis a políticas de transporte, como preço da gasolina, frequência de acidentes envolvendo bicicletas e investimentos em transporte não motorizado (Dill e Carr, 2003).

Oito artigos apresentam modelos de demanda pelo modo ciclovitário a partir de dados desagregados. De acordo com FHWA (1999), esses modelos relacionam características intrínsecas aos indivíduos (idade, gênero, atitudes e crenças) às características de tempo, custo e conforto da viagem dos modais existentes. As informações são obtidas por pesquisas populacionais, a nível individual ou domiciliar (por exemplo, pesquisas origem-destino). Embora capazes de caracterizar o perfil da demanda pelo modo ciclovitário, a principal dificuldade dos modelos desagregados é a obtenção de estimativas precisas de demanda a partir dos dados utilizados (Handy *et al.*, 2014).

Enfim, observa-se, por meio da revisão sistemática da literatura, que os modelos mais recentes seguem duas tendências: os modelos agregados estão adotando escalas de análise mais reduzidas para melhor capturar o efeito de variáveis características da circulação de bicicletas, com destaque para modelos de demanda direta (Hankey *et al.*, 2012; Tabeshian e Kattan, 2014). Por sua vez, alguns modelos desagregados incorporam variáveis que não podem ser mensuradas diretamente, como atitudes e percepções relacionadas ao transporte ciclovitário, que são tratadas de maneira quantitativa ao serem modeladas como fatores latentes (em modelos híbridos e econométricos) ou, de maneira menos indicada, incorporadas diretamente na estimativa de uma função utilidade, como no modelo *logit* hierárquico de Wardman *et al.* (2007).

Portanto, seguindo as tendências identificadas na literatura, optou-se por desenvolver um modelo matemático de demanda direta para estimar o número de bicicletas em vias da cidade

do Rio de Janeiro. Deste modo, apresenta-se, na seção a seguir, uma discussão sobre os modelos de demanda direta.

3. MODELOS DE DEMANDA DIRETA

Os modelos de demanda direta estabelecem, por meio de uma equação de regressão, uma relação entre o volume de bicicletas observado em uma via ou facilidade destinada à circulação e as características físicas e operacionais das vias e do uso do solo adjacente aos locais estudados (Kuzmyak *et al.*, 2014). Por ser um método de estimativa da demanda atual, requer dados de contagens volumétricas de bicicletas recentes para a construção desses modelos. As variáveis relacionadas aos volumes podem ser analisadas segundo diferentes raios de influência para melhorar o poder explicativo das equações de regressão ajustadas e aumentar a precisão desses modelos para estimar a demanda de viagens por bicicletas nas regiões de estudo. Na literatura, foram identificados raios entre 0,1 e 0,75 milha (161 e 1205 m, respectivamente).

Os resultados dos modelos desenvolvidos recentemente (McCahill e Garrick, 2008; Griswold *et al.*, 2011; Hankey *et al.*, 2012; Tabeshian e Kattan, 2014) mostram que os volumes observados são mais sensíveis às características do uso do solo local, tais como: densidade populacional e de empregos (McCahill e Garrick, 2008), a proximidade à área central (Hankey *et al.*, 2012) e a polos geradores de viagens (Griswold *et al.*, 2011), além da proporção de áreas residenciais, institucionais (Tabeshian e Kattan, 2014) e comerciais (Griswold *et al.*, 2011; Tabeshian e Kattan, 2014) e da oferta de infraestrutura cicloviária (Hankey *et al.*, 2012). Por outro lado, esses modelos são pouco sensíveis às características de infraestrutura viária, sendo identificada alguma relação apenas no modelo de Tabeshian e Kattan (2014). As autoras observaram que os volumes observados em interseções viárias são inversamente proporcionais ao número de faixas de uma aproximação viária.

Os estudos de Raford *et al.* (2007) e McCahill e Garrick (2008) também utilizaram conceitos da Teoria da Sintaxe Espacial para investigar a influência da linearidade das rotas de bicicletas nos volumes observados em interseções por meio de uma métrica de análise angular de segmentos. Porém, Kuzmyak *et al.* (2014) ressaltam que os resultados desses modelos ainda são inconclusivos para atestar a aplicabilidade da Sintaxe Espacial na modelagem da demanda por transporte cicloviário. Em ambos os estudos, os autores identificaram uma relação pouco significativa entre a linearidade das rotas e os níveis de utilização das vias analisadas.

4. MÉTODO DE ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS

Esta seção apresenta o método adotado para realização da pesquisa e o tratamento dos dados de contagens realizadas em 18 vias na Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro.

4.1. Área de estudo

A Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro foi definida como a área de estudo para este trabalho. Essa região engloba 17 bairros, com 649.121 residentes (Rio Como Vamos, 2012). Dos 370 km de vias cicláveis existentes na cidade (Albuquerque, 2014), 20% dessa infraestrutura está localizada na Região Sul (Binatti, 2012), porém o nível de utilização da bicicleta para viagens pendulares está aquém do patamar encontrado em outras regiões da cidade, como a Zona Oeste. Por outro lado, o uso da bicicleta como veículo de entrega de mercadorias por estabelecimentos comerciais (Transporte Ativo, 2015) ou para viagens recreacionais é bastante significativo na

zona sul carioca, destacando-se o bairro de Copacabana. Nos últimos anos, exemplos de iniciativas realizadas com a finalidade de incentivar o uso da bicicleta para viagens de curta distância e reduzir o número de acidentes envolvendo bicicletas na região são, respectivamente, a ampliação do número de estações do sistema de aluguel de bicicletas compartilhadas *Bike Rio* e a implantação de vias de circulação compartilhada mediante sinalização horizontal (*sharrows* e *bike-boxes*) e vertical específica em áreas denominadas “Zona 30”, no bairro de Copacabana.

4.2. Amostragem

Segundo RYUS *et al.* (2014), a amostragem aleatória estratificada é o principal tipo de amostragem utilizado para a definição de locais de contagem de tráfego que integram modelos de demanda direta de viagens pelo modo cicloviário. Ainda, em relação ao tamanho da amostra, FHWA (2013) ressalta que não existe um critério geral para determinar o número mínimo de locais para contagens manuais de curta duração, pois isto é definido em função dos recursos financeiros disponíveis e do objetivo da coleta.

Neste estudo, o principal critério de estratificação para definição de locais de contagem é a presença de infraestrutura para a circulação de bicicletas, de modo a avaliar a influência deste tipo de facilidade para ciclistas a partir da comparação entre os volumes observados em vias com esse tipo de infraestrutura. Logo, os segmentos viários escolhidos para a realização de contagens volumétricas estão localizados em vias concorrentes em uma determinada região da área de estudo.

A escolha das vias foi norteadada por pesquisas realizadas com 45 alunos e funcionários de duas instituições de ensino superior da região (Instituto Militar de Engenharia e Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro), com a finalidade de identificar as rotas utilizadas por esses usuários para viagens com motivo trabalho ou estudo. Essas informações foram complementadas por dados de 24 rotas de viagens pendulares com origem na Região Sul e destino à

Região Central identificadas por Cardoso (2014). A partir das informações obtidas, o processo de seleção das vias se deu por meio da técnica de amostragem aleatória estratificada, e a disposição dos locais de coleta de dados considerou a diversidade de características de uso do solo da região (uso residencial, comercial ou misto, proximidade a pólos geradores de viagens), de características físicas e operacionais do sistema viário (classificação funcional da via, classificação funcional da via ciclável, volume de veículos motorizados, estacionamento na via, número de faixas, entre outros aspectos) e em função da infraestrutura existente para a circulação de bicicleta.

Assim, as contagens volumétricas de bicicletas foram em 18 segmentos viários de vias arteriais e coletoras dos bairros Botafogo, Catete, Copacabana, Flamengo, Jardim Botânico, Lagoa, Laranjeiras e Leblon. A localização desses segmentos viários é apresentada na Figura 1.

4.3. Pesquisas de contagem de tráfego de bicicletas

Contagens volumétricas de bicicletas foram realizadas durante o período de três meses. As contagens foram manuais do tipo *screen line*, de acordo com as recomendações de FHWA (2013). Com o objetivo de analisar o padrão de viagens pendulares na região, o período de contagem na via foi de 2 h, no horário de pico da tarde de viagens não motorizadas (entre 16 e 18 horas), durante terças, quartas e quintas de dias úteis. Não houve realização de contagens em dias chuvosos, em dias atípicos ou imediatamente antes e após feriados. A Tabela 3 apresenta os dados obtidos nas contagens volumétricas de bicicletas.



Figura 1. - Locais de contagem volumétrica de bicicletas na área de estudo

Tabela 3: Resumo das estatísticas descritivas das contagens realizadas

	Todos os locais de contagem	Locais sem facilidades para bicicletas	Locais com facilidades para bicicletas
Número de contagens (N)	18	9	9
Volume mínimo	99	128	99
Volume máximo	644	313	644
Volume médio	221,50	174,22	268,78
Desvio-padrão	129,12	57,76	164,50

4.4. Tratamento dos Dados: Regressão linear múltipla

A regressão linear múltipla foi a técnica de análise de dados adotada neste estudo. A regressão de Poisson não é abordada neste trabalho, pois os volumes de bicicletas coletados não seguem essa distribuição, conforme os resultados obtidos por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov para a amostra de dados utilizada ($Z = 2,345$; $p < 0,05$). Assim, adotou-se a regressão linear múltipla para o desenvolvimento de modelos de demanda direta como alternativa à regressão de Poisson.

O procedimento de análise de variáveis para o desenvolvimento de modelos matemáticos de regressão linear múltipla consiste em três etapas (Griswold *et al.*, 2011):

- Análise de correlações para identificar e eliminar variáveis com grau baixo de correlação ($r < 0,3$) com a variável dependente;
- Análise de correlações entre as variáveis remanescentes para verificar a existência de alto grau de colinearidade ($r > 0,6$) entre variáveis para evitar incluí-las em uma mesma equação;

- Identificação e verificação da qualidade do ajuste dos melhores modelos obtidos.

5. ANÁLISE DAS VARIÁVEIS

Nesta seção, é apresentada a caracterização dos volumes observados, bem como os dados e variáveis de análise. Em seguida, explica-se o procedimento de análise das variáveis e, enfim, analisa-se a influência destas variáveis na demanda de viagens por bicicleta.

5.1. Resultados e Caracterização dos volumes observados

O volume observado nos 18 segmentos viários analisados variou entre 99 e 644 bicicletas, sendo o volume médio igual a 221 bicicletas. A proporção de gênero entre os ciclistas é de 87% de usuários do sexo masculino e 13% do sexo feminino.

Dos volumes observados, verificou-se que 75% são bicicletas convencionais (sendo 7% destas com cadeiras para crianças), 20% de carga, 10% são do sistema de aluguel de bicicletas compartilhadas *Bike Rio* e 5% são bicicletas elétricas. Destaca-se que os percentuais mais altos de bicicletas convencionais (acima de 70%) foram observados em áreas predominantemente residenciais, como os bairros Lagoa e Leblon, enquanto os percentuais mais altos de bicicletas em serviço (acima de 25%) foram registrados nos bairros de Botafogo e Copacabana, cujo padrão de adensamento do uso do solo favorece a utilização da bicicleta como veículo de entrega de mercadorias por estabelecimentos comerciais. Desta forma, percebe-se uma influência do uso do solo adjacente à via nos principais tipos de bicicletas observadas.

Com relação ao sistema de aluguel de bicicletas compartilhadas *Bike Rio*, verificou-se que o seu uso ocorre, com maior frequência, em vias dotadas de infraestrutura para a circulação de bicicletas. É importante destacar que, no Rio de Janeiro, nem sempre estas estações encontram-se próximas a vias dotadas de ciclovias. Ainda, observou-se uma possível associação entre o número de bicicletas elétricas e o nível de renda dos bairros da Zona Sul, visto que os percentuais mais elevados foram observados nos bairros de maior poder aquisitivo da população, como Leblon e Jardim Botânico.

5.2. Dados e variáveis de análise

Considerando os raios de influência adotados em modelos de demanda direta apresentados na seção 3, o raio de 400m foi escolhido para a análise de variáveis socioeconômicas e de infraestrutura das vias. Visto que a área de estudo abrange apenas uma região da cidade do Rio de Janeiro e que a existência de barreiras geográficas naturais (faixa marítima, Lagoa Rodrigo de Freitas e maciços como o do Corcovado) é um fator limitante à definição de um número maior de segmentos viários, o raio de influência adotado assegura que mais de um segmento viário não esteja contido em uma mesma área analisada.

Um conjunto de 16 variáveis foi definido para este estudo com base na análise apresentada na seção 2.1. Os dados utilizados foram coletados de uma série de fontes públicas municipais e também em campo, em conjunto com as pesquisas de contagem de tráfego de bicicletas. As variáveis englobam quatro grupos: uso do solo e ambiente construído, sistema viário, ambiente físico ou natural e fatores subjetivos mensuráveis. A relação das variáveis escolhidas e a descrição de cada uma delas são mostradas na Tabela 4. Para a análise dos dados coletados e modelagem matemática da demanda, foi utilizado o *software* SPSS 21.0.

5.3. Análise da influência das variáveis na demanda de viagens por bicicleta

A análise de correlações inicial entre as variáveis listadas na Tabela 4 e os volumes de bicicletas observados permitiu a identificação de cinco variáveis com grau moderado de correlação, porém não significativas ao nível de 0,10: volume de veículos motorizados ($r = 0,508$), existência de infraestrutura cicloviária ($r = 0,377$), acidentes de trânsito ($r = -0,372$), número de faixas da via ($r = -0,368$) e número de crimes fatais ($r = -0,341$). Todos os sinais dos coeficientes de correlação são intuitivos e esperados, com exceção feita à associação positiva entre os volumes de bicicletas e de veículos motorizados, sendo esta excluída das demais análises. Uma possível causa para o fato é a ocorrência de volumes significativos de veículos motorizados em algumas das vias com infraestrutura cicloviária com maior utilização por ciclistas, especialmente a ciclovia da Avenida Atlântica, localizada na orla da Praia de Copacabana. Além disso, volumes pouco significativos foram observados em vias sem infraestrutura cicloviária, onde os volumes de bicicletas em geral também foram menores em relação aos encontrados nas demais vias.

Tabela 4: Descrição das variáveis de interesse

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
ProxViaCicl ^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)
InfraCicl ^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

Notas:

^a Mapa Digital Atlas do Censo 2010 (<http://www.rio.rj.gov.br/web/ipp/siurb>)

^b Em campo

^c Google Earth

^d Mapa Cicloviário do Rio de Janeiro (<http://www.ta.org.br/ciclorio/>)

^e Centro de Operações Prefeitura do Rio (<http://centrodeoperacoes.rio/boletins>)

^f Rio Como Vamos (<http://riocomovamos.org.br/indicadores-regionalizados/>)

Contudo, não foi possível obter uma equação de regressão ao relacionar as cinco variáveis restantes, visto que nenhum dos parâmetros estimados do modelo apresentou significância estatística ao nível de 0,05. Portanto, a amostra inicial de dados foi estratificada em dois grupos de mesmo tamanho ($n = 9$) para a realização de novas análises: um conjunto de contagens em locais com facilidades disponíveis para a circulação de bicicletas (ciclovias e ciclofaixas) e outro

de contagens em locais onde essas facilidades não existem. Assim, os volumes de bicicletas dos dois conjuntos de dados amostrais foram testados para a normalidade através de verificações da assimetria e da curtose das curvas de distribuição e do teste de Shapiro-Wilk e os resultados obtidos indicaram que essa variável segue uma distribuição normal em ambas as situações ($p > 0,05$).

5.3.1. Análises relativas a locais com infraestrutura cicloviária

Para a análise dos dados de contagens realizadas em segmentos viários com ciclovias ou ciclofaixas, a variável Proximidade a vias cicláveis não foi considerada. A Tabela 5 apresenta as correlações entre as variáveis independentes e o volume de bicicletas.

Tabela 5: Correlações entre os volumes de bicicletas e as variáveis de interesse para a amostra de contagens em segmentos viários com infraestrutura cicloviária (N=9)

Variável	Correlação com Volume
Volume de bicicletas	1,000
Acidentes de trânsito	-0,398
Classificação funcional da via	0,067
Crimes fatais	-0,346
Estacionamento na via	-0,451
Estações do <i>Bike Rio</i> (400 m)	-0,071
Número de faixas da via	0,049
Número de interseções (400 m)	0,013
População (400 m)	0,060
Proximidade a corpo d'água	-0,459
Proximidade a estações de metrô	-0,108
Temperatura máxima diária	0,745*
Tipologia da via ciclável	0,197
Uso do solo comercial	0,501
Uso do solo residencial	-0,329
Volume de veículos motorizados	0,384

Nota: * significativo ao nível de 0,05

Observa-se, por meio da Tabela 5, que o grau de correlação entre o volume de bicicletas e as variáveis estudadas varia de fraco a forte. A temperatura máxima diária foi a única variável que apresentou correlação alta com o volume de bicicletas, outras sete variáveis apresentaram correlações moderadas.

As variáveis com grau de correlação superior a 0,4 com os volumes de bicicletas foram analisadas quanto à colinearidade e os resultados indicaram a existência de uma forte correlação significativa entre as variáveis “estacionamento na via” e “uso do solo comercial” ($r = -0,714$; $p < 0,05$). Assim, ambas não poderiam estar presentes na mesma equação. Em seguida, uma equação de regressão linear múltipla foi ajustada para sete das oito variáveis remanescentes. Após várias análises, os resultados do ajuste do melhor modelo obtido são apresentados na Tabela 6.

Os resultados obtidos mostram que a equação de regressão explica 75,5% da variação observada na variável dependente, o que indica a existência de uma forte relação linear entre os volumes de bicicletas observados e as três variáveis remanescentes. Em relação à significância estatística dos coeficientes, a hipótese nula de que os coeficientes dos parâmetros de regressão são iguais a zero não pode ser rejeitada apenas para a constante do modelo, sendo os demais significativos nos níveis de 0,10 ou 0,05. O valor da estatística F é significativo no nível de 0,05

e indica que o modelo possui significância global. Por fim, o valor da estatística de Durbin-Watson, igual a 2,397, está contido no intervalo aceitável entre 1,5 e 2,5 para a não existência de autocorrelação residual significativa, ainda que acima do valor de 2,0. Contudo, a constante do modelo não apresentou significância estatística, sendo necessário eliminá-la.

Tabela 6. Resultados do ajuste do modelo de para a amostra de contagens em locais com infraestrutura cicloviária (N=9)

Variável	Coefficiente	Teste t	Valor-p
Constante	-507,272	-1,318	0,245
Estacionamento na via	-160,794	-2,784	0,039**
Temperatura máxima diária	35,392	3,337	0,021**
Acidentes de trânsito	-0,410	-2,133	0,086*
Qualidade do ajuste			
Amostra (N)	9		
R ² ajustado	0,755		
Estatística F	9,197**		
Durbin-Watson	2,397		

Notas: * significante ao nível de 0,10; ** significante ao nível de 0,05

Na situação de existência de facilidades para a circulação de bicicletas, observa-se que os volumes de bicicletas nos nove segmentos viários analisados estão associados à presença ou ausência de estacionamento para veículos motorizados, à temperatura máxima diária e ao número de acidentes na área de estudo. Os resultados encontrados estão consistentes aos encontrados na literatura:

- A variável uso do solo comercial apresentou associação positiva com os volumes de bicicletas, mas foi excluída do modelo por não ser estatisticamente significativa;
- Estacionamento na via e acidentes de trânsito apresentaram coeficientes negativos, indicando que a existência de estacionamento na via e números significativos de acidentes fatais e não fatais contribuem para a ocorrência de baixos volumes de bicicletas nesses segmentos. Em relação ao coeficiente da variável “proibição de estacionamento na via”, verifica-se que esta medida implicaria em um acréscimo de 161 bicicletas no volume esperado para locais com ciclovias ou ciclofaixas.
- A temperatura máxima diária prevista para a região estudada apresentou coeficiente positivo. Em relação a este coeficiente, observa-se que a variação de 1°C na temperatura máxima resultaria em um acréscimo de 35 bicicletas no volume para locais com ciclovias ou ciclofaixas. Ressalta-se que, durante o período de pesquisa, as temperaturas máximas na cidade variaram entre 25° e 35°, o que nos faz crer que para um máximo de temperatura no entorno de 35° esta relação é possível. Assim, pode-se explicar a correlação positiva para este intervalo de temperatura, que também é observada no verão em outros países onde esta variável teve influência positiva, como nos trabalhos de Parkin et al. (2008), Buehler e Pucher (2012), Hankey et al. (2012), Godefroy e Morency (2012).

5.3.2. Análises relativas a locais sem infraestrutura cicloviária

A Tabela 7 apresenta as correlações entre os volumes de bicicletas e as demais variáveis de interesse para a amostra de contagens em segmentos viários sem infraestrutura cicloviária (Tabela 7).

Observa-se, por meio da Tabela 7, que o grau de correlação entre o volume de bicicletas e as variáveis estudadas varia de fraco a forte, com predomínio de correlações moderadas. As variáveis associadas à proximidade a vias cicláveis, ao número de faixas do segmento viário e ao número de interseções apresentaram correlação alta com o volume de bicicletas. Por outro lado, diferentemente das demais análises, o número de crimes fatais e de acidentes de trânsito apresentaram fraca correlação com os volumes de bicicletas.

Tabela 7. Correlações entre os volumes de bicicletas e as variáveis de interesse para a amostra de contagens em segmentos viários sem infraestrutura cicloviária (N=9)

Variável	Correlação com Volume
Volume de bicicletas (2h)	1,000
Acidentes de trânsito	0,015
Classificação funcional da via	-0,436
Crimes fatais	-0,131
Estacionamento na via	-0,348
Estações do Bike Rio (400m)	-0,444
Número de faixas	-0,877
Número de interseções (400m)	-0,615
População (400m)	0,286
Proximidade a corpo d'água	0,305
Proximidade a estações de metrô	-0,388
Proximidade a vias cicláveis	0,768
Temperatura máxima diária	-0,394
Uso do solo comercial	0,323
Uso do solo residencial	-0,477
Volume de veículos motorizados	-0,477

As variáveis com grau de correlação maior que 0,4 com os volumes de bicicletas foram analisadas quanto à colinearidade. Os resultados indicaram a existência de uma forte correlação entre “proximidade a vias cicláveis” e “número de faixa dos segmentos viários” ($r = -0,714$; $p < 0,05$), o que resultou no desenvolvimento de duas equações de regressão específicas, modelos B e C (uma para cada variável), conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8. Resultados do ajuste de modelos para a amostra de contagens em locais sem infraestrutura para circulação de bicicletas

Variável	Modelo B			Modelo C		
	Coef.	Teste-t	Valor-p	Coef.	Teste-t	Valor-p
Constante	211,056	3,626	0,011**	474,452	11,234	0,000**
DensInt400	-4,288	-2,491	0,047**	-3,267	-2,603	0,001**
ProxViaCicl	0,260	3,539	0,012**	-	-	-
NumFaixas	-	-	-	-61,010	-5,601	0,000**
Qualidade do ajuste						
Amostra (N)	9			9		
R ² ajustado	0,731			0,867		
Estatística F	11,893**			27,044**		
Durbin-Watson	1,061			2,916		

Nota: ** significante ao nível de 0,05

Na situação de ausência de facilidades para a circulação de bicicletas, observa-se que os volumes de bicicletas são influenciados pela densidade de interseções, pelo número de faixas da via e pela proximidade a ciclovias ou ciclofaixas. No entanto, no tocante à qualidade do ajuste,

os modelos B e C violam a hipótese de não existência de resíduos auto correlacionados no modelo de regressão linear, uma vez que os valores da estatística de Durbin-Watson estão fora do intervalo aceitável entre 1,5 e 2,5. Por outro lado, os valores de R^2 ajustado e de todos os parâmetros de regressão dos dois modelos são significativos para o nível de 0,05.

Desta forma, não se pode considerar o resultado como um modelo confiável, porém, a partir destes resultados pode-se avaliar a importância relativa dos fatores que influenciam na demanda de viagens por bicicletas.

A distância à ciclovia ou ciclofaixa mais próxima ao segmento viário apresentou coeficiente positivo no modelo B. Isto indica que, na falta destas facilidades, o ciclista opta por determinados corredores para circulação. Como exemplo, destaca-se a Rua do Catete, importante via de acesso da Região Sul à Região Central da cidade, cujo volume é cerca de 140 bicicletas maior que a média dos volumes observados para os demais locais sem infraestrutura. O ponto de coleta de dados na via citada dista 548 m da ciclovia mais próxima, que foi a maior distância identificada a uma via ciclável na região estudada.

No modelo C, o número de faixas apresentou coeficiente negativo, indicando que em vias com maior número de faixas é observado um menor volume de bicicletas. Na área de estudo, menores volumes foram observados predominantemente em vias arteriais com quatro faixas de rolamento ao longo dos bairros que compõem a área de estudo. Este resultado é consistente com as informações encontradas em diversos estudos de demanda identificados na literatura.

6. DISCUSSÕES

Dos resultados dos ajustes das três equações de regressão linear múltipla, apresentados na seção 5, apenas o modelo obtido para vias com ciclovias pode ser utilizado para estimar a demanda de viagens por bicicletas na Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro. Os demais modelos violam algumas suposições básicas da regressão linear múltipla, como linearidade e autocorrelação residual.

Convém ressaltar que a divisão da amostra inicial em dois grupos, definidos em função da disponibilidade de infraestrutura para a circulação de bicicletas nos segmentos viários analisados, permitiu identificar fatores que influenciam o uso da bicicleta nas duas situações. Na situação de existência de infraestrutura, esses fatores são:

- Presença de estacionamento na via: a existência de estacionamento na via está associada negativamente aos volumes de bicicletas, ratificando assim resultados encontrados na literatura. Apesar de que aparentemente este coeficiente está superestimado, verifica-se a influência da variável em relação ao volume de bicicletas.
- Temperatura máxima esperada para a região de estudo: esta variável está associada positivamente aos volumes de bicicletas, conforme resultados existentes na literatura (Parkin et al., 2008; Buehler e Pucher, 2012; Hankey et al., 2012; Godefroy e Morency, 2012). Ressalta-se que, durante o período de pesquisa, as temperaturas máximas na cidade variaram entre 25° e 35°, valores também observados no verão em outros países onde esta variável teve influência positiva.
- Número de acidentes de trânsito: está associado negativamente aos volumes de bicicletas observados, conforme observado em outros modelos de demanda. Contudo, o valor do coeficiente obtido é próximo de zero. Conclusões mais detalhadas em relação à essa

variável seria possível se os dados de acidentes disponibilizados fossem individualizados por bairro, ao invés de região administrativa.

Na situação oposta, ou seja, em locais sem infraestrutura viária, os fatores que influenciam o uso da bicicleta são:

- Número de interseções: está associado negativamente aos volumes de bicicletas, sendo que a influência desta variável é maior quando é analisada em associação com a proximidade a vias cicláveis.
- Proximidade a vias cicláveis: A distância à facilidade para circulação de bicicletas mais próxima ao segmento viário apresentou coeficiente positivo no modelo B, indicando que maiores volumes de bicicletas podem ser observados em áreas distantes desses locais. Isso ocorre pois, na inexistência de facilidades, os ciclistas acabam optando por estes corredores para circulação. Embora a magnitude do coeficiente para essa variável seja próxima de zero, pode-se inferir uma preferência de utilização de ciclovias ou ciclofaixas ao invés dos segmentos viários quando estas estão próximas. De fato, os resultados das contagens indicaram a preferência por ciclovias ou ciclofaixas em comparação a vias paralelas próximas, sem esse tipo de facilidade para a circulação de bicicletas.
- Número de faixas: está associado negativamente aos volumes de bicicletas, indicando que menores volumes de bicicletas são observados em vias com maior número de faixas. Este resultado é consistente com as informações encontradas em diversos estudos de demanda identificados na literatura.

Para as demais variáveis, foi observado que os sinais obtidos para os coeficientes de correlação com a variável independente (volumes de bicicletas) ratificam os resultados de alguns estudos de demanda identificados na revisão da literatura, tanto a nível agregado quanto desagregado. A Tabela 9 apresenta os resultados dessa comparação.

Tabela 9: Sinais obtidos e esperados para as variáveis não significativas nas equações de regressão

Variável	Sinal obtido	Sinal esperado	Modelos em que a variável foi significativa
Crime	-	-	Rybarczyk e Wu (2010)
Bike Rio (400m)	Variável	+	-
Existência de vias cicláveis	+	+	Dill e Carr (2003), Buehler e Pucher (2012), Khan et al. (2013), Habib et al. (2014)
População	+	+	McCahill e Garrick (2008), Parkin et al. (2008), Krykewycz et al. (2010), Rybarczyk e Wu (2010), Habib et al. (2014)
Proximidade a corpo d'água	-	-	Hankey et al. (2012)
Proximidade a estações de metrô	-	-	Krykewycz et al. (2010)
Uso do solo comercial	+	+	Rybarczyk e Wu (2010), Krykewycz et al. (2010), Griswold et al. (2011), Tabeshian e Kattan (2014)
Uso do solo residencial	Variável	+	Tabeshian e Kattan (2014)
Volume de veículos motorizados	Variável	-	Sener et al. (2009)

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente estudo teve como objetivo subsidiar o desenvolvimento de um modelo de demanda direta para estimar o número de viagens de bicicletas em vias urbanas. Deste modo, foi realizada uma análise sistemática da literatura com a finalidade de identificar os principais métodos de modelagem matemática adotados pelos autores e as variáveis mais testadas nesses modelos.

Observou-se, por meio da revisão sistemática da literatura, que os modelos mais recentes

adotam escalas de análise mais reduzidas para melhor capturar o efeito de variáveis características da circulação de bicicletas, com destaque para modelos de demanda direta. Também foram identificadas como relevantes, a partir da revisão sistemática da literatura, 16 variáveis, agrupadas em quatro fatores: uso do solo e ambiente construído, sistema viário, ambiente físico ou natural e fatores subjetivos mensuráveis.

Portanto, seguindo as tendências identificadas na literatura, optou-se por desenvolver um modelo matemático de demanda direta mediante regressão linear múltipla para estimar o número de bicicletas em vias urbanas, com base em contagens volumétricas realizadas na zona sul da cidade de Rio de Janeiro. No desenvolvimento do modelo, foram testadas as 16 variáveis identificadas na revisão sistemática da literatura. Entretanto, a obtenção desse modelo não foi possível para a amostra pesquisada, considerando todo o conjunto de vias pesquisadas. Contudo, ao dividir a amostra inicial em dois grupos definidos em função da disponibilidade de infraestrutura para circulação de bicicletas nos segmentos viários analisados, foi possível identificar fatores que influenciam o uso da bicicleta nas duas situações e um modelo significativo para as vias com infraestrutura.

A adoção de um único raio de influência (400 m) pode ter influenciado a análise das variáveis relacionadas ao entorno, tais como população e oferta de estações do sistema de bicicletas compartilhadas *Bike Rio*. Deste modo, sugere-se que diferentes raios de influência sejam considerados, porém isto não foi possível neste estudo devido à existência de barreiras geográficas naturais na região estudada, pois isso acarretaria na redução do número de pontos de locais de contagem de tráfego de bicicletas e poderiam comprometer a representatividade da amostra de dados utilizada.

Para a obtenção de resultados que efetivamente possibilitem estimar a demanda de viagens por bicicletas em diferentes regiões do Rio de Janeiro, este estudo poderia ser estendido a outras regiões para comparar a influência de fatores de utilização da bicicleta no padrão de viagens pendulares de cada área, o que possibilitaria estudar novas variáveis e ainda adotar outros raios de influência identificados na literatura.

REFERÊNCIA

- Albuquerque, R. (2014) Ciclovias de Botafogo serão revitalizadas e interligadas. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/guest/exibeconteudo?id=5068984>>. Acesso em: 24 jul. 2015.
- ANTP (2014) *Sistema de Informações da Mobilidade Urbana: Relatório Comparativo 2003-2012*. Associação Nacional dos Transportes Públicos. Disponível em: <http://files-server.antp.org.br/_5dotSystem/userFiles/SI-MOB/Comp_Sum%20Exe_03_12_V1.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2015.
- Barbosa, H. M. e Leiva, G. C. (2006) Nível de qualidade da rota de ciclistas: um instrumento para a promoção do desenvolvimento urbano sustentável. *Revista dos Transportes Públicos*, n. 110, p. 1-12.
- Barnes, M. e Krizek, K. J. (2005) Estimating Bicycle Demand. *Transportation Research Record*, n. 1939, p. 45-51. DOI: 10.3141/1939-06
- Binatti, G. (2012) *Mais amor Menos motor: Mobilidade e cultura de bicicleta no Rio de Janeiro*. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental). Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro e Instituto Brasil PNUMA, Rio de Janeiro.
- Buehler, R. e Pucher, J. (2012) Cycling to work in 90 large American cities: new evidence on the role of bike paths and lanes. *Transportation*, v. 39, n. 2, p. 409-432. DOI: 10.1007/s11116-011-9355-8
- Cadena, R. P.; Andrade, M. O.; Brasileiro, A. (2014) A necessidade da regulação do aluguel de bicicletas como serviço público complementar ao transporte urbano. *Anais do XXVIII Congresso Nacional de Pesquisa em Ensino e Transportes*, ANPET, Curitiba.
- Dill, J. e Carr, T. (2003) Bicycle commuting and facilities in major U.S. cities: if you build them, commuters will use them. *Transportation Research Record*, n. 1828, p. 116-123. DOI: 10.3141/1828-14
- Fernández-Heredia, A.; Monzón, A.; Jara-Díaz, S. (2014) Understanding cyclists' perceptions, keys for a successful bicycle promotion. *Transportation Research Part A*, v. 63, n. 5, p. 1-11. DOI: 10.1016/j.tra.2014.02.013
- Godefroy, F. e Morency, C. (2012) Estimating latent cycling trips in Montreal, Canada. *Transportation Research Record*, n. 2314, p. 120-128. DOI: 10.3141/2314-16

- Governo do Estado do Rio de Janeiro (2010) Plano Diretor de Transporte Urbano da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro: Resultados da Pesquisa Origem-Destino. Rio de Janeiro, Brasil.
- Griswold, J.; Medury, A.; Schneider, R. (2011) Pilot Models for Estimating Bicycle Intersection Volumes. *Transportation Research Record*, n. 2247, p. 1-7. DOI: 10.3141/2247-01
- Handy, S.; Van Wee, B.; Kroesen, M. (2014) Promoting cycling for transport: Research needs and challenges. *Transport Reviews*, v. 34, n. 1, p. 4-24. DOI: 10.1080/01441647.2013.860204
- Hankey, S.; Lindsey, G.; Wang, X.; Borah, J.; Hoff, K.; Utecht, B.; Xu, Z. (2012) Estimating use of non-motorized infrastructure: Models of bicycle and pedestrian traffic in Minneapolis, MN. *Landscape and Urban Planning*, v. 107, p. 307-316. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2012.06.005
- Khan, M.; Kockelman, K. M.; Xiong, X. (2013) Models for anticipating non-motorized travel, and the role of the built environment. *Transport Policy*, v. 35, p. 117-126. DOI: 10.1016/j.tranpol.2014.05.008
- Krizek, K. J.; Handy, S. L.; Forsyth, A. (2009) Explaining changes in walking and bicycling behavior: Challenges for transportation research. *Environment and Planning B*, v. 36, p. 725-740. DOI: 10.1068/b34023
- Krykewycz, G. R.; Puchalsky, C. W.; Rocks, J.; Bonnette, B.; Jaskiewicz, F. (2010) Defining a Primary Market and Estimating Demand for Major Bicycle-Sharing Program in Philadelphia, Pennsylvania. *Transportation Research Record*, n. 2143, p. 117-124. DOI: 10.3141/2143-15
- Kuzmyak, J. R.; Walters, J.; Bradley, M.; Kockelman, K. M. (2014) *Estimating Bicycling and Walking for Planning and Project Development: A Guidebook*. Washington, D.C.: National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board. DOI: 10.17226/22330
- Maldonado-Hinarejos, R.; Sivakumar, A.; Polak, J. W. (2014) Exploring the role of individual attitudes and perceptions in predicting the demand for cycling: a hybrid choice modelling approach. *Transportation*, v. 41, n. 6, p. 1287-1304. <https://doi.org/10.1007/s11116-014-9551-4>
- McCahill, C. e Garrick, N. W. (2008) The applicability of Space Syntax on bicycle facility planning. *Transportation Research Record*, n. 2074, p. 46-51. DOI: 10.3141/2074-06
- Ministério das Cidades (2007) *Programa Brasileiro de Mobilidade por Bicicleta - Bicicleta Brasil*. Ministério das Cidades, Brasília, DF.
- Ortúzar, J. D.; Iacobelli, A.; Valeze, C. (2000) Estimating demand for a cycle-way network. *Transportation Research Part A*, v. 34, p. 353-373. DOI: 10.1016/S0965-8564(99)00040-3
- Parkin, J.; Wardman, M.; Page, M. (2008) Estimation of the determinants of bicycle mode share for the journey to work using census data. *Transportation*, v. 35, n. 1, p. 93-109. DOI: 10.1007/s11116-007-9137-5
- Raford, N.; Chiaradia, A.; Gil, J. (2007) Space Syntax: The role of urban form in cyclist route choice in Central London. *Proceedings of the 86th Transportation Research Board Annual Meeting*, Washington, D.C.
- Rietveld, P. e Daniel, V. (2004) Determinants of bicycle use: do municipal policies matter?. *Transportation Research Part A*, v. 38, p. 531-550. DOI: 10.1016/j.tra.2004.05.003
- Rio Como Vamos (2012) *Indicadores regionalizados*. Disponível em: <<http://riocomovamos.org.br/indicadores-regionalizados/>>. Acesso em: Set. 2015.
- Rybarczyk, G. e Wu, C. (2010) Bicycle facility planning using GIS and multi-criteria decision analysis. *Applied Geography*, v. 30, p. 282-293. DOI: 10.1016/j.apgeog.2009.08.005
- Ryus, P.; Ferguson, E.; Laustsen, K.M.; Schneider, R.J.; Proulx, F.R.; Hull, P.; Miranda-Moreno, L. (2014) *Guidebook on Pedestrian and Bicycle Volume Data Collection*. National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, D.C. DOI: 10.17226/22223
- Sousa, P.B. e Kawamoto, E. (2015) Análise de fatores que influem no uso da bicicleta para fins de planejamento ciclovário. *Transportes*, v. 23, n. 4, p. 79-88. <https://doi.org/10.14295/transportes.v23i4.928>
- Tabeshian, M. e Kattan, L. (2014) Modeling Nonmotorized Travel Demand at Intersections in Calgary, Canada. *Transportation Research Record*, n. 2430, p. 38-46. DOI: 10.3141/2430-05
- Transporte Ativo (2015) Contagem de estabelecimentos comerciais com entregas por bicicleta. Disponível em: <http://www.ta.org.br/contagens/cb/Relatorio_CargaII.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2015
- Wardman, M.; Tight, M.; Page, M. (2007) Factors influencing the propensity of cycle to work. *Transportation Research Part A*, v. 41, p. 339-350. DOI: 10.1016/j.tra.2006.09.011