

Método para definição de rede de rotas cicláveis em áreas urbanas de cidades de pequeno porte: um estudo de caso para a cidade de Bariri-SP

Marcelo Monari¹, Paulo Cesar Lima Segantine²

¹Universidade de São Paulo, Brasil, marcelo.monari@usp.br

²Universidade de São Paulo, Brasil, pclsegantine@usp.br

Recebido:

4 de abril de 2018

Aceito para publicação:

26 de dezembro de 2018

Publicado:

31 de agosto de 2019

Editor de área:

Bruno Vieira Bertoncini

Palavras-chaves:

Bicicleta;
Transporte cicloviário;
Rotas cicláveis;
Cidade de pequeno porte;
Nível de estresse.

Keywords:

Bicycle;
Cycling;
Cycling routes;
Small-sized city;
Level of stress.

DOI:10.14295/transportes.v27i2.1648



RESUMO

Neste trabalho é apresentado um método para definição de rede de rotas cicláveis em áreas urbanas de cidades de pequeno porte. As rotas cicláveis são identificadas de maneira a minimizar a somatória das impedâncias dos segmentos viários que promovem a ligação entre pares origem-destino de interesse ao transporte cicloviário. Estas impedâncias são calculadas considerando-se, para cada segmento, suas respectivas avaliações globais do nível de estresse para ciclistas, e fatores relacionados à declividade e à existência ou possibilidade de inserção de infraestruturas cicloviárias. O estudo de caso, conduzido à cidade de Bariri-SP, mostrou a viabilidade de aplicação do método proposto, permitindo a identificação de 35 rotas cicláveis compostas principalmente por segmentos viários com pequenas declividades e boas avaliações globais do nível de estresse. A reincidência destas rotas permitiu a definição de uma rede composta por 19 eixos viários potencialmente cicláveis distribuídos ao longo de toda a área de estudo.

ABSTRACT

This paper presents a method for the definition of a cycling routes network in urban areas of small-sized cities. The cycling routes are identified in a way that minimizes the impedance's sum of the road segments linking origin-destination pairs of interest to cycling. These impedances are calculated considering, for each road segment, their respective level of stress global evaluations to cycling, and factors related to slope and existing or feasible cycling facilities. The case study, carried out in the city of Bariri-SP, showed the viability of the proposed method's application, allowing the identification of 35 cycling routes made up mostly of road segments with small slopes and good level of stress global evaluations. The reincidence of these routes allowed the definition of a network made up of 19 potentially cyclable road axes widespread over the whole study area.

1. INTRODUÇÃO

A maioria dos métodos para identificação de rotas cicláveis encontrados na literatura baseia-se em informações como pesquisas origem-destino, divisões modais e dados de acidentes envolvendo ciclistas (PETTINGA *et al.*, 2009; SOUSA; SANCHES, 2015). No entanto, grande parte dos municípios brasileiros de pequeno porte, isto é, municípios cuja população urbana é inferior a 100 mil habitantes (IBGE, 2016), não dispõem destas informações, fazendo-se necessária a elaboração de diretrizes que sirvam de suporte técnico à implantação de sistemas cicloviários nos mesmos.

De acordo com o Ministério das Cidades (2007), pode-se afirmar que a bicicleta é o veículo individual mais utilizado nas cidades com menos de 50 mil habitantes, as quais correspondem

a mais de 90% do total de cidades brasileiras. Somando-se a isto, pesquisas mais recentes demonstram que, no Brasil, a porcentagem de deslocamentos realizados pelo modo de transporte cicloviário aumenta conforme a diminuição da população residente nos centros urbanos, uma vez que a configuração compacta e as pequenas distâncias de viagem nestes centros inviabilizam a implantação de sistemas de transporte coletivo que funcionem de maneira eficiente. Por exemplo, a ANTP (2016) conclui em seu relatório geral de mobilidade urbana referente ao ano de 2014 que aproximadamente 14% dos deslocamentos nos municípios com população entre 60 e 100 mil habitantes são realizados por bicicleta, superando os deslocamentos realizados por motocicleta (8%) e assemelhando-se aos deslocamentos realizados por automóveis e ônibus municipais (respectivamente 16% e 17%).

O objetivo desta pesquisa é propor um método para definição de rede de rotas cicláveis em áreas urbanas de cidades de pequeno porte, baseado na avaliação dos seguintes fatores que influenciam no uso da bicicleta como modo de transporte urbano: declividade e qualidade de serviço das vias para o transporte cicloviário, existência de infraestrutura cicloviária e distância da viagem. Neste sentido, visando constatar a viabilidade de aplicação do método proposto às cidades brasileiras de pequeno porte, um estudo de caso foi conduzido à cidade de Bariri-SP.

O artigo está estruturado da seguinte maneira: na seção 1 é feita uma breve introdução e apresentado o objetivo do trabalho; na seção 2 é apresentada a revisão bibliográfica necessária a elaboração deste trabalho; na seção 3 é proposto o método para definição de rede de rotas cicláveis; na seção 4 são mostrados os resultados da aplicação do método na cidade de Bariri-SP; e na seção 5 são feitas as considerações finais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Alternativas viárias para ciclistas

De acordo com o GEIPOT (2001), as principais alternativas viárias para ciclistas são vias cicláveis, ciclofaixas e ciclovias, sendo a disponibilidade de espaço um dos principais fatores que condicionam a construção destas facilidades em ambientes urbanos. Nas cidades brasileiras, por exemplo, onde grande parte da expansão dos sistemas viários ocorreu sem planejamento prévio, as inserções de ciclofaixas e ciclovias são limitadas, respectivamente, pela viabilidade física das seções transversais das vias e dos canteiros centrais: no primeiro caso, estima-se que a largura efetiva mínima da seção transversal de uma via de tráfego capaz de acomodar ciclofaixas unidirecionais é de 4,50 m; já no segundo, estima-se que a largura mínima de um canteiro central capaz de acomodar uma ciclovia bidirecional é de 3,50 m (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2007; DNIT, 2010).

A maioria dos critérios para separação entre o tráfego de bicicletas e o de automóveis encontrados na literatura baseia-se no volume e na velocidade de tráfego destes veículos motorizados, isto é, quanto maiores estas variáveis, maior também deve ser o grau de segregação, o que sugere uma hierarquia entre as alternativas viárias para ciclistas. Para um melhor entendimento destes critérios, o leitor deve consultar o manual *Cycle Network and Route Planning Guide* (LTSA, 2004).

Segundo Segadilha (2014), diversos pesquisadores definem a seguinte ordem decrescente de preferência entre os ciclistas pelas alternativas viárias ao tráfego de bicicletas: (1) ciclovias, (2) ciclofaixas e (3) vias cicláveis. Baseando-se nesta hierarquia, alguns trabalhos têm sido desenvolvidos na tentativa de propor uma relação de equivalência entre estes espaços, isto é,

visando identificar o quanto os ciclistas estão dispostos a aumentar suas distâncias de viagem para, em troca, trafegarem ao longo de infraestruturas que proporcionem melhores condições de segurança e conforto.

Larsen e El-Geneidy (2011), por meio da aplicação de questionários a ciclistas da cidade de Montreal (Canadá), analisaram como cada um dos tipos de alternativa viária para bicicletas afeta o processo de escolha das rotas por estes ciclistas. Os resultados da pesquisa demonstraram que os ciclistas que trafegam por ciclovias têm suas distâncias de viagem aumentadas, em média, em 71% em relação aos ciclistas que trafegam por vias compartilhadas. Com relação aos ciclistas que trafegam por ciclofaixas, é acrescido às suas distâncias de viagem um percentual médio de 31% em relação aos ciclistas que trafegam por vias compartilhadas. Estes valores podem ser utilizados para quantificar a relação de equivalência entre as diversas alternativas viárias para ciclistas.

2.2. Verificação do perfil topográfico das vias para o transporte cicloviário

Segundo Winters *et al.* (2010), não existe um consenso entre os planejadores em transportes com relação à declividade a partir da qual a via é considerada inadequada ao ciclismo. Em contrapartida, de acordo com a maioria dos critérios encontrados na literatura, o grau de inclinação das vias para o uso da bicicleta não deve ser superior a 3%, sendo aceitáveis até 5%.

Todos os tipos de infraestrutura cicloviária devem manter uma adequada distância de visibilidade para promover a circulação das bicicletas de maneira eficiente e segura. Para o caso das ciclovias, isto é, infraestruturas completamente segregadas do tráfego de veículos motorizados e que, portanto, podem se beneficiar de trajetos independentes do sistema viário já construído, o GEIPOT (2001) apresenta valores para a verificação das rampas desejáveis e admissíveis em função do desnível a ser vencido. Já no caso das ciclofaixas ou das vias de tráfego compartilhado, a viabilidade técnica para sua implantação está diretamente ligada às características geométricas deste sistema viário, dentre elas, o greide. Em algumas situações, no entanto, não é possível mudar o greide da via de maneira a garantir as inclinações aceitáveis. Para estes casos, este trabalho sugere que as declividades sejam avaliadas de acordo com os limites de extensão admissível dos trechos em aclave propostos pela AASHTO (1999), apresentados pela Tabela 1.

Tabela 1: Limites de extensão de trechos em aclave (Fonte: AASHTO, 1999)

Active (%)	Lmáximo (m)
5 – 6	240
7	120
8	90
9	60
10	30
> 10	15

2.3. Nível de estresse relacionado aos ciclistas

Entende-se por estresse relacionado aos ciclistas como o conjunto de reações destes indivíduos frente às condições de segurança e conforto do espaço onde trafegam (MEKURIA; FURTH; NIXON, 2012). Diversos modelos têm sido desenvolvidos nas últimas décadas visando quantificar o nível de estresse ao qual um determinado ciclista está submetido ao trafegar por vias urbanas, sendo o *Bicycle Stress Level* (BSL), desenvolvido por Sorton e Walsh (1994), e o *Level of Traffic Stress* (LTS), desenvolvido por Mekuria, Furth e Nixon (2012), dois dos mais relevantes dentre

estes modelos. Apesar de ambos apresentarem algumas vantagens em comum, como a facilidade de coleta das variáveis de entrada e de aplicação dos próprios modelos, cada um deles apresenta particularidades ou restrições de utilização muito características.

O BSL não sugere procedimentos para a avaliação do nível de estresse ao qual um ciclista está submetido ao trafegar por ciclofaixas ou ciclovias, ficando restrito à avaliação dos espaços compartilhados por ciclistas e usuários do transporte motorizado. No entanto, o LTS, apesar de apresentar procedimentos distintos para avaliação da qualidade operacional de vias compartilhadas, ciclofaixas e interseções não semaforizadas, não inclui como parâmetro de entrada o volume de veículos motorizados, um dos principais indicadores da compatibilidade das vias urbanas com o transporte cicloviário. Desta forma, apesar de proposto há mais de duas décadas atrás, optou-se neste trabalho pela utilização do BSL como modelo de avaliação do nível de estresse relacionado aos ciclistas, ficando a cargo das relações de equivalência entre as infraestruturas cicloviárias a padronização entre estas diversas facilidades.

O BSL, proposto por Sorton e Walsh (1994), baseia-se em três variáveis de entrada: (1) volume de tráfego dos veículos motorizados em horário de pico; (2) velocidade de tráfego dos veículos motorizados; e (3) largura da faixa externa da via de tráfego. A cada uma destas três variáveis deve ser atribuída uma avaliação individual que varia de 1 a 5, sendo 1 a melhor condição e 5 a pior, de acordo com os valores apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Avaliações individuais do nível de estresse (Fonte: Sorton e Walsh, 1994)

Nível de estresse	Volume (veíc/h/faixa)	Velocidade (km/h)	Lfe (m)
1	≤ 50	≤ 40	≥ 4,6
2	150	50	4,3
3	250	60	4,0
4	350	65	3,7
5	≥ 450	≥ 75	≤ 3,3

A avaliação global do nível de estresse relacionado aos ciclistas é obtida por meio da média aritmética entre as três avaliações individuais. É válido destacar ainda que, com exceção das vias que possuem avaliação global igual a 5 (impróprias ao ciclismo), todas as demais são passíveis de comportar alterações (alargamento da própria via, inserção de segmentos viários pavimentados etc.) ou incluir condições compensatórias (alargamento de faixas, pavimentação, inserção de ciclofaixas etc.) para melhorar suas respectivas condições frente ao transporte cicloviário.

2.4. Rotas cicláveis

Segundo o Ministério das Cidades (2007), entende-se por rota ciclável um trajeto que garante a ligação entre um par origem-destino de maneira segura aos ciclistas, podendo incluir diversas alternativas viárias ao tráfego de bicicletas. Neste contexto, a evolução dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), principalmente ao longo das últimas duas décadas, tem auxiliado pesquisadores em transportes no processo de identificação destes trajetos, com destaque para abordagens que avaliam os segmentos viários de acordo com suas respectivas impedâncias, isto é, custos generalizados relacionados a fatores que influenciam no uso da bicicleta como modo de transporte urbano. Desta forma, a rota ciclável entre um determinado par origem-destino de

interesse pode ser definida como o trajeto que minimiza a somatória destas impedâncias (MCDANIEL; LOWRY; DIXON, 2014).

Klobucar e Fricker (2007), por meio de um estudo de caso realizado em West Lafayette (EUA), buscaram identificar trajetos que minimizassem condições adversas ao ciclismo. Para isto, os autores definiram a impedância de um determinado segmento viário como o produto entre o comprimento deste segmento e seu respectivo *Bicycle Compatibility Index* (BCI), indicador da qualidade operacional das vias ao transporte cicloviário proposto por Harkey *et al.* (1998). Os resultados permitiram a definição dos locais mais precários à circulação de bicicletas.

Lowry *et al.* (2012) desenvolveram um método para identificação de rotas cicláveis em que a impedância de um determinado segmento viário é representada matematicamente pelo produto entre o comprimento deste segmento e seu respectivo *Bicycle Level of Stress* (BLOS), nível de serviço para bicicletas proposto pelo *Highway Capacity Manual* (TRB, 2010). A aplicação do método à comunidade de Moscow (EUA) sugere que conforme mais destinos de viagens são atendidos pelas rotas cicláveis, maior também é a adequação da bicicleta no espaço urbano.

Furth e Mekuria (2013), baseando-se nos trabalhos citados anteriormente, desenvolveram um método para identificação de rotas cicláveis no qual a impedância de um determinado segmento viário é dada pelo produto entre o comprimento deste segmento e sua respectiva avaliação global do modelo de nível de estresse relacionado aos ciclistas desenvolvido pelos próprios autores, ou seja, o *Level of Traffic Stress* (LTS). A condução do estudo de caso à cidade de San Jose (EUA) mostrou que, apesar de serem identificados trajetos mais seguros à circulação dos ciclistas, tais trajetos desviam-se expressivamente das rotas que minimizam a distância de viagem, com o intuito de evitar segmentos viários com baixa qualidade operacional, o que, portanto, pode eventualmente desestimular o tráfego de bicicletas.

No caso do Brasil, a subjetividade no processo de seleção do modelo de avaliação do nível de serviço ou estresse para bicicletas reflete em diretrizes para identificação de rotas cicláveis pouco satisfatórias, uma vez que tais modelos, por serem desenvolvidos internacionalmente, não são condizentes com as características viárias e de trânsito das cidades brasileiras. Isto fica evidente quando analisamos alguns estudos de caso realizados em território nacional que se beneficiaram, por exemplo, do modelo de Dixon (1996), o qual pondera de maneira expressiva a existência de facilidades para ciclistas ao longo das vias, situação que não ocorre com frequência no Brasil (KIRNER, 2006; MAGALHÃES; CAMPOS; BANDEIRA, 2015).

3. MÉTODO PARA DEFINIÇÃO DE REDE DE ROTAS CICLÁVEIS EM ÁREAS URBANAS DE CIDADES DE PEQUENO PORTE

O método para definição de rede de rotas cicláveis em áreas urbanas de cidades de pequeno porte proposto neste trabalho é subdividido nas cinco seguintes etapas, como apresenta a Figura 1: (1) caracterização da área de estudo, (2) análise dos polos geradores de tráfego por bicicleta, (3) avaliação da compatibilidade das vias com o transporte cicloviário, (4) identificação das rotas cicláveis e (5) definição da rede.

3.1. Etapa 1: Caracterização da área de estudo

A caracterização da área de estudo consiste na execução de uma série de procedimentos preliminares necessários ao planejamento de sistemas de transporte, tais como: delimitação de toda

a porção territorial eminentemente urbana da área de estudo; redistribuição de bairros ou setores censitários com características econômicas e populacionais homogêneas, configurando zonas de tráfego; e levantamento de informações referentes ao sistema viário, linhas de transporte público e infraestrutura cicloviária existente.

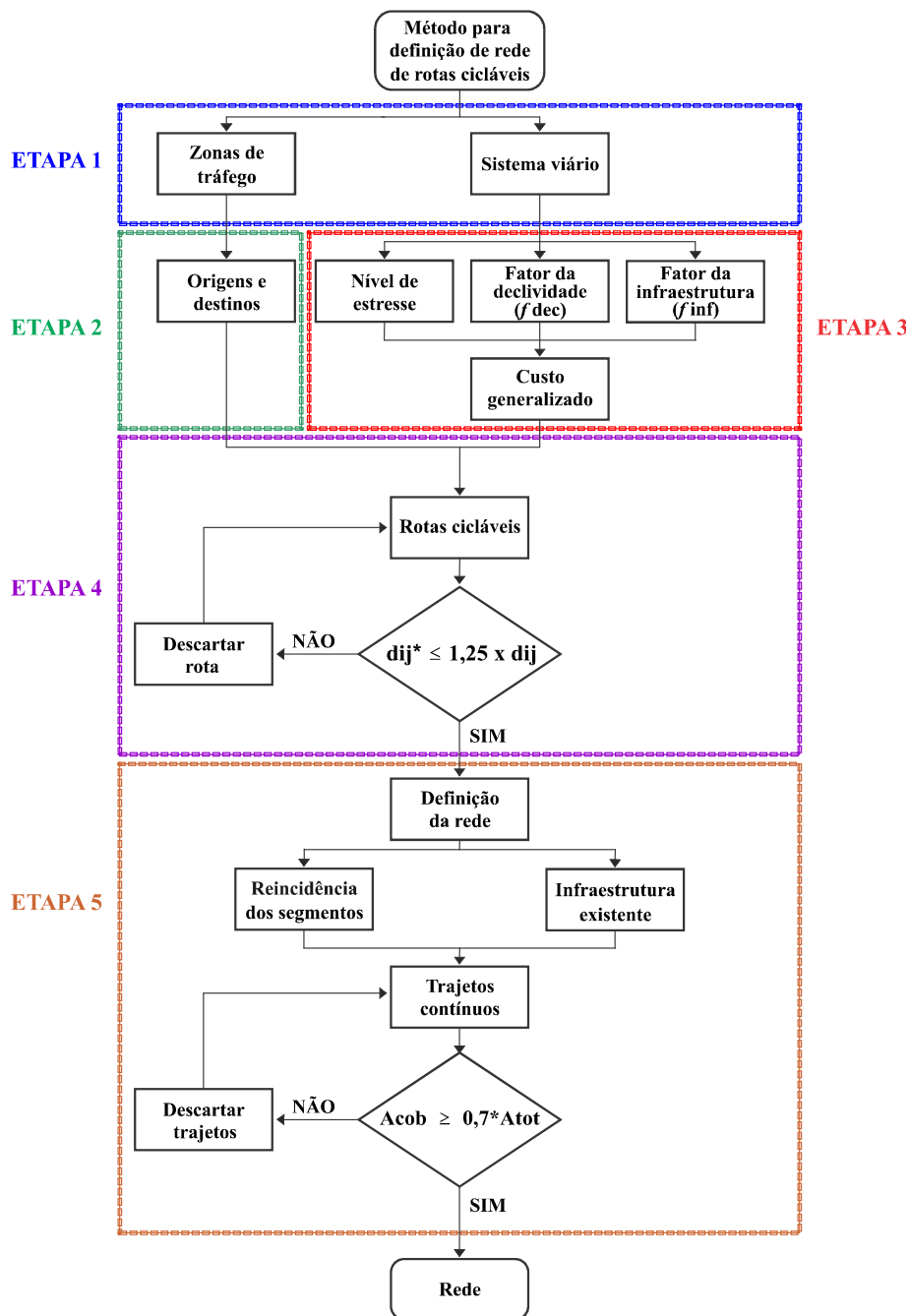


Figura 1: Fluxograma de procedimentos do método proposto.

3.2. Etapa 2: Análise dos polos geradores de tráfego por bicicleta

De acordo com Tavares (2011), entende-se por polos geradores de tráfego por bicicleta como locais que exercem grande atratividade e, portanto, geram um contingente significativo de deslocamentos por bicicleta. A análise proposta neste trabalho consiste na identificação, no georreferenciamento e na seleção de algumas destas instalações para a coleta de informações junto

aos ciclistas que as frequentam. Os principais objetivos desta etapa são a caracterização da demanda cicloviária existente e a identificação das origens das viagens por bicicleta até estes polos.

3.3. Etapa 3: Avaliação da compatibilidade das vias com o transporte cicloviário

A avaliação da compatibilidade das vias com o transporte cicloviário consiste em atribuir a cada segmento viário da área de estudo fatores relacionados à declividade (f_{dec}) e à infraestrutura cicloviária (f_{inf}), conforme apresentado pela Tabela 3, assim como suas correspondentes avaliações globais do nível de estresse, possibilitando o cálculo da impedância, isto é, do custo generalizado de cada um destes segmentos, utilizados no processo de identificação das rotas cicláveis.

Tabela 3: Fatores relacionados à declividade e à infraestrutura cicloviária

Fator relacionado à declividade		
Declividade	L_{active}	f_{dec}
< 5%	-	1,00
$\geq 5\%$	$L_{active} \leq L_{m\acute{a}x}$	1,00
$\geq 5\%$	$L_{active} > L_{m\acute{a}x}$	$L_{active} / L_{m\acute{a}x}$
Fator relacionado à infraestrutura cicloviária		
Alternativa viária para ciclistas		f_{inf}
Via de uso compartilhado		1,00
Ciclofaixa		1,31
Ciclovía		1,71

O fator relacionado à declividade (f_{dec}) deve ser atribuído a cada segmento viário de acordo com seus respectivos graus de inclinação e comprimentos em active, segundo o critério da AASHTO (1999). Já o fator relacionado à infraestrutura cicloviária (f_{inf}) deve ser atribuído aos locais que já possuem ciclofaixas e ciclovias, ou que, simultaneamente, necessitam destas facilidades e dispõem de espaço para sua inserção, com o intuito de padronizar os segmentos viários que dispõem de diferentes alternativas viárias para ciclistas, de acordo a relação de equivalência apresentada por Larsen e El-Geneidy (2011).

3.4. Etapa 4: Identificação das rotas cicláveis

O processo de identificação das rotas cicláveis, o qual deve ser auxiliado por SIGs, baseia-se em um algoritmo de caminho mínimo, ou seja, na definição do conjunto de segmentos que promove a ligação entre os pares origem-destino previamente estabelecidos na Etapa 2, de maneira a minimizar a somatória dos custos generalizados, calculados de acordo com a Equação 1.

$$C(e) = \frac{L(e) \times NE(e) \times f_{dec}(e)}{f_{inf}(e)} \quad (1)$$

em que: $C(e)$: custo generalizado do segmento e ;
 $L(e)$: comprimento do segmento e ;
 $NE(e)$: avaliação global do nível de estresse do segment e ;
 $f_{dec}(e)$: fator relacionado à declividade atribuído ao segmento e ;
 $f_{inf}(e)$: fator relacionado à infraestrutura atribuído ao segmento e .

Após identificadas, as rotas cicláveis devem ser avaliadas quanto à distância de viagem. Para isto, este trabalho propõe que esta verificação seja feita de acordo com a metodologia proposta por Tucker e Manaugh (2016), ou seja, a extensão total de uma determinada rota ciclável que

liga um par origem-destino não deve exceder 25% da distância referente à menor rota entre este par. A Equação 2 apresenta, em termos matemáticos, esta verificação.

$$d_{ij}^* = \sum_{i \in I, j \in J} \sigma_{ij}^*(e) \leq 1,25 \times d_{ij} = 1,25 \times \left(\sum_{i \in I, j \in J} \sigma_{ij}(e) \right) \quad (2)$$

em que: I : subconjunto das origens i da rede;
 J : subconjunto dos destinos j da rede;
 σ_{ij} : caminho de menor distância entre os nós i e j ;
 σ_{ij}^* : caminho de menor custo generalizado entre os nós i e j ;
 $\sigma_{ij}(e)$: $\{L(e)$, se o segmento é usado em σ_{ij} ; 0, caso contrário};
 $\sigma_{ij}^*(e)$: $\{L(e)$, se o segmento é usado em σ_{ij}^* ; 0, caso contrário};
 d_{ij} : menor distância entre os nós i e j ;
 d_{ij}^* : distância do caminho de menor custo generalizado entre os nós i e j .

Segundo o Código de Trânsito Brasileiro (CTB, 2010), a circulação das bicicletas deve ocorrer, na ausência de infraestruturas próprias, de maneira a compartilhar as vias de tráfego com os veículos motorizados, com preferência sobre os mesmos, respeitando-se o sentido de circulação regulamentado para tais vias. Apesar de notório o fato de que muitos ciclistas não seguem estas orientações, propõe-se neste trabalho que as rotas cicláveis a serem identificadas estejam de acordo com os sentidos de circulação permitidos, com o intuito de que a rede definida estimule a utilização da bicicleta de maneira responsável e consciente por parte dos ciclistas.

3.5. Etapa 5: Definição da rede

A definição da rede de rotas cicláveis consiste em priorizar os segmentos viários com maior reincidência das rotas cicláveis identificadas na Etapa 4, configurando trajetos contínuos, com conectividade entre si, acessíveis e adequados à infraestrutura cicloviária e aos planos municipais pré-existentes. Além disso, devem ser definidos os locais para inserção de novas ciclofaixas e ciclovias.

Alguns dos principais trabalhos encontrados na literatura relacionados à acessibilidade às infraestruturas cicloviárias sugerem que as áreas de cobertura de eixos potencialmente cicláveis sejam delimitadas por raios de ação que variam entre 400 m e 2,4 km, medidos em distância euclidiana (VALE; SARAIVA; PEREIRA, 2016). Com relação à maioria das cidades brasileiras de pequeno porte, no entanto, devido à configuração compacta da área urbana e às menores distâncias de viagem, propõe-se neste trabalho que sejam adotados valores menores para estes raios de ação, limitando-os a 200 m. Desta forma, sugere-se ainda que configuração da rede seja aceita se a área total coberta pela mesma for superior a 70% da área delimitada para estudo.

4. ESTUDO DE CASO: BARIRI-SP

Com o objetivo de aplicar o método proposto por este trabalho, foi realizado um estudo de caso para a cidade de Bariri-SP.

4.1. Caracterização da área de estudo

A cidade de Bariri localiza-se na região central do estado de São Paulo, pertencendo à região administrativa de Bauru. A área delimitada para estudo, compreendida entre os limites urbanos do município, é de aproximadamente 6,9 km².

A organização territorial e a distribuição da população residente ao longo da porção urbana de Bariri-SP permitiram a reorganização da área de estudo em 36 zonas de tráfego, mostradas na Figura 2, de acordo com critérios de homogeneidade, tipo de uso do solo e divisões previamente realizadas pelos órgãos municipais e pelo IBGE (bairros e setores censitários).

Com relação ao sistema viário, o ponto de partida para sua representação foi a base de faces de logradouros, um plano de informações disponível no repositório oficial do IBGE desde julho de 2016. Em outras palavras, trata-se de um conjunto de dados vetoriais que descrevem as extensões compreendidas entre os quarteirões de todos os municípios brasileiros, com base em levantamentos realizados durante o censo demográfico de 2010. Assim, foi efetuada a compatibilização, por meio de um processo de vetorização, entre a malha urbana disponibilizada pelo IBGE e outras fontes de informação (mapas disponibilizados pela prefeitura local e bases de dados geográficos, como o *Open Street Map* – OSM), permitindo uma representação extremamente fiel do sistema viário atual da cidade de Bariri-SP, o qual também é apresentado pela Figura 2.

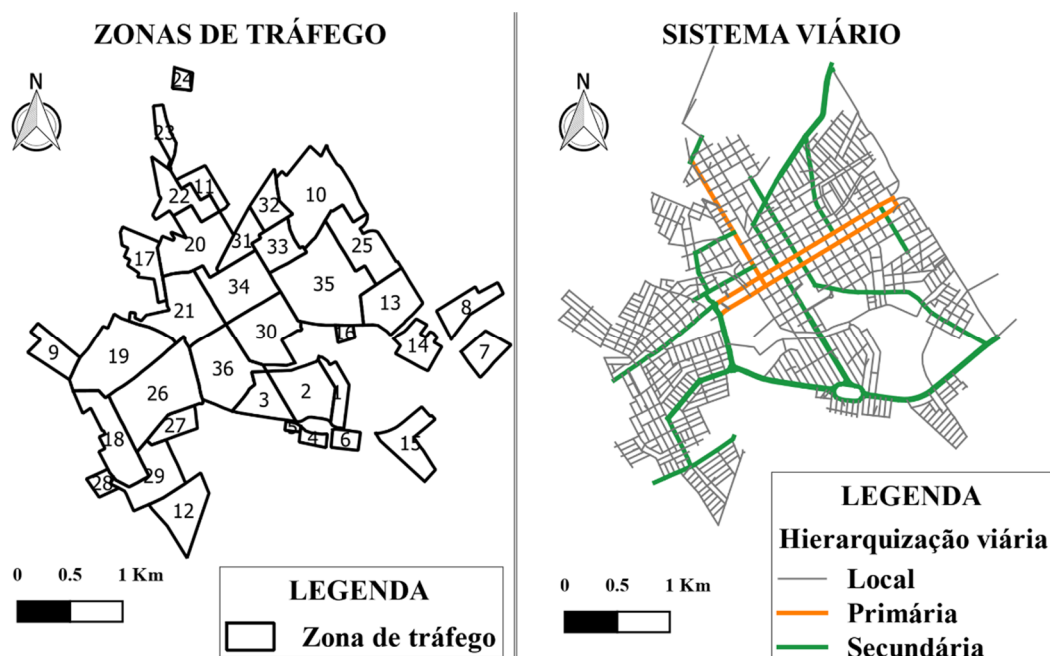


Figura 2: Zonas de tráfego e sistema viário da cidade de Bariri-SP

4.2. Análise dos polos geradores de tráfego por bicicleta

A identificação dos polos geradores de tráfego por bicicleta da cidade de Bariri-SP foi realizada por meio das nove *unidades urbanísticas mínimas* previstas no plano diretor de mobilidade do município. Tratam-se de nove conjuntos de segmentos viários definidos pelas autoridades em transporte municipais de maneira a articular 67 polos geradores de tráfego locais, como escolas, creches, postos de saúde, praças, clubes etc., interligando os mesmos dentro de uma trama contínua, acessível, arborizada e, assim, privilegiando os modos de transporte não motorizados.

Os seguintes polos foram selecionados para a coleta de informações junto aos ciclistas: E. E. Prof.^a Idalina Vianna Ferro, E. E. Prof.^a Ephigênia Cardoso Machado Fortunato, Centro Educacional SESI 143, Cooperativa Educacional de Bariri (COEBA), Indústria Plásticos Bariri e Umua-rama Clube de Bariri.

O tamanho da amostra foi calculado de acordo com o procedimento apresentado por Richardson (1999), apresentado pela Equação 3.

$$n_0 = \frac{z^2 \times \beta \times (1-\beta)}{E_0^2} \quad (3)$$

em que: n_0 : tamanho da amostra;
 z : valor crítico correspondente ao nível de confiança;
 β : proporção populacional da categoria de interesse;
 E_0 : erro amostral admissível;

Pela teoria da distribuição normal, ao fixar-se um nível de confiança de 95%, existe uma probabilidade de 95% de um valor a ser observado estar a menos de 1,96 desvios-padrão da média. Desta forma, o valor de z é igual a 1,96. Além disso, com 95% de confiança, pode-se considerar um erro amostral admissível de até 4% (RICHARDSON, 1999).

Conforme já apresentado neste trabalho, de acordo com o último relatório geral de mobilidade urbana publicado pela ANTP (2016), o modo de transporte cicloviário é responsável por 14% dos deslocamentos em municípios com população entre 60 e 100 mil habitantes. Neste contexto, para os municípios com população inferior a 60 mil habitantes, como é o caso de Bariri-SP, este trabalho considera que a divisão dos deslocamentos entre os modos de transporte seja semelhante à desta primeira faixa de população considerada pela ANTP. Assim, a proporção populacional de indivíduos pertencentes à categoria de interesse do estudo (β) é igual a 0,14.

O cálculo do tamanho da amostra é apresentado pela Equação 4.

$$n_0 = \frac{(1,96)^2 \times (0,14) \times (1-0,14)}{(0,04)^2} = 289,08 \approx 290 \quad (4)$$

A pesquisa deve incluir, portanto, a aplicação de, no mínimo, 290 questionários. Neste contexto, foram aplicados 293 questionários a ciclistas baririenses, e as respostas dadas pelos entrevistados permitiram a elaboração das linhas de desejo entre os centroides das zonas de tráfego, as quais ilustram graficamente os fluxos destes ciclistas ao longo da área delimitada para estudo, permitindo a identificação das origens das viagens.

4.3. Avaliação da compatibilidade das vias com o transporte cicloviário

Os resultados da avaliação da compatibilidade das vias de tráfego de Bariri-SP com o transporte cicloviário são apresentados pela Figura 3.

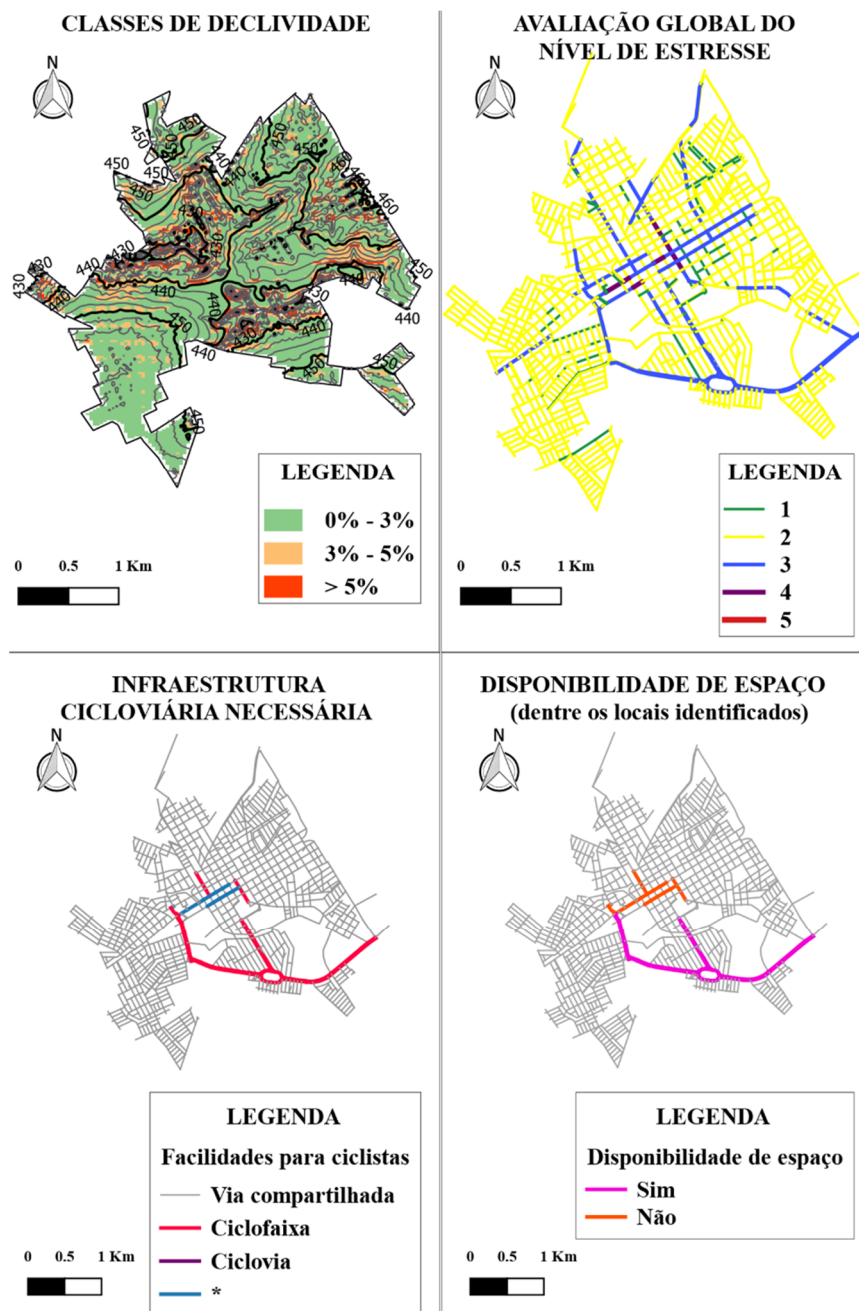
As informações referentes ao relevo da área de estudo foram levantadas por meio do nivelamento das vias de tráfego com a tecnologia GNSS, permitindo, com o auxílio do *software* QuantumGIS (QGIS), a produção de um mapa de declividades coerente com as altitudes ortométricas obtidas. Observa-se que, com relação ao relevo, a cidade de Bariri-SP possui um grande potencial ciclável, uma vez que aproximadamente 83% de sua área urbana possui declividades inferiores a 5%, valor máximo admissível sugerido pela AASHTO (1999). Desta forma, foi possível proceder com a verificação do perfil topográfico dos segmentos viários com relação ao transporte cicloviário, atribuindo a cada um deles um fator relacionado à declividade (f_{dec}).

As variáveis de entrada que permitem a avaliação do nível de estresse para ciclistas foram levantadas por meio dos seguintes procedimentos:

- 1) Para a estimação dos volumes de veículos motorizados foram realizadas contagens volumétricas manuais em interseções durante intervalos de 15 minutos compreendidos

em horários de pico (7h – 8h, 12h – 13h e 18h – 19h), os quais foram previamente estabelecidos, como sugere o DNIT (2006), por contagens preliminares. Os seguintes tipos de veículos foram considerados: automóveis, motocicletas, veículos pesados (ônibus e caminhões) e bicicletas. Estes diferentes tipos de veículos, por sua vez, foram convertidos em unidades de carro de passeio por meio de fatores de equivalência propostos pelo manual alemão *Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen* (FGSV, 2001), como também sugerido pelo DNIT (2006);

- 2) Para a estimação das velocidades de tráfego dos veículos motorizados foram utilizados cronômetros para medir o tempo que uma determinada amostra aleatória de veículos demorou para transpor trechos de extensão previamente conhecida;



* A separação é sugerida para combinações entre baixas velocidades e altos volumes de tráfego.

Figura 3: Avaliação da compatibilidade das vias com o transporte cicloviário

- 3) Para obtenção das larguras das faixas externas das vias de tráfego foram utilizadas as dimensões das faixas de domínio, isto é, das distâncias compreendidas entre as edificações de cada quarteirão, obtidas por meio de um mapa com diversas camadas vetoriais disponibilizado pela própria prefeitura municipal, fazendo-se as respectivas reduções com relação aos passeios, canteiros centrais, estacionamentos laterais paralelos às vias de tráfego e pontos de parada de coletivos.

Por meio dos resultados dos levantamentos foi possível também identificar os locais do sistema viário da área delimitada para estudo, de acordo com os critérios da LTSA (2004), que necessitam de separação entre o tráfego de bicicletas e o de veículos motorizados, e as respectivas alternativas de infraestrutura viária para a promoção desta separação. Além disso, estes locais foram verificados quanto à disponibilidade de espaço para a inserção destas respectivas facilidades.

A respeito do nível de estresse relacionado aos ciclistas, observa-se uma predominância de boas avaliações globais (1 e 2) nas vias locais, consequentes dos baixos volumes e velocidades dos veículos motorizados, e de avaliações globais intermediárias (3 e 4) nas vias que compõem as redes primária e secundária, isto é, respectivamente, as vias que promovem as articulações estrada-centro e centro-bairros. É válido destacar ainda que nenhum dos segmentos viários da área de estudo foi identificado com avaliação global igual a 5, isto é, precisando-se ou não de alterações ou condições compensatórias, todos estes segmentos são apropriados, segundo o modelo de Sorton e Walsh (1994), ao tráfego de bicicletas.

Quanto à inserção de infraestruturas cicloviárias, foram identificados locais, prioritariamente pertencentes à rede secundária, que necessitam de ciclofaixas, o que é justificado por seus consideráveis volumes e velocidades de veículos motorizados. Dentre estes locais, apenas aqueles que dispõem de canteiros centrais são compatíveis com a inserção destas facilidades, uma vez que estes elementos dividem as vias de tráfego de maneira que em cada lado dos mesmos seja permitido apenas um sentido de circulação, aumentando a disponibilidade de espaço junto às seções transversais destas vias. Além disso, foram identificados também locais que, devido à combinação entre baixas e velocidades e altos volumes de veículos motorizados, necessitam de algum tipo de segregação entre o tráfego de bicicletas e o de automóveis. Nestes casos, a não disponibilidade de espaço impossibilita que sejam dispostas facilidades para ciclistas, fazendo com que estes segmentos viários não tenham suas respectivas impedâncias “aliviadas” pelo fator da infraestrutura (f_{inf}), proposto pelo método, configurando, portanto, componentes da malha urbana com baixo potencial ciclável, isto é, que possuem menores chances de integrarem as rotas cicláveis a serem identificadas nas etapas subsequentes.

4.4. Identificação das rotas cicláveis e definição da rede

A Figura 4 a seguir sintetiza os resultados da aplicação do método proposto neste trabalho à cidade de Bariri-SP. Neste sentido, é exemplificada a identificação de uma das 35 rotas cicláveis da área de estudo, além de apresentados a reincidência dos segmentos viários que compõem estas rotas, os eixos viários potencialmente cicláveis definidos a partir desta reincidência, adequados à infraestrutura cicloviária existente e às facilidades para ciclistas propostas por este trabalho, e a área de cobertura da unidade definida por tais eixos.

Procedendo-se com a verificação do perfil topográfico, é possível concluir que aproximadamente 95% de toda a extensão dos segmentos viários que compõem as rotas cicláveis é caracterizada por declividades admissíveis ao transporte cicloviário. Com relação aos 5% restantes,

apenas metade possui comprimentos em active menores que os comprimentos máximos propostos pela AASHTO (1999), o que significa que o aumento da impedância de alguns dos segmentos viários da área de estudo relacionado ao fator da declividade ($f_{dec} > 1,0$) não foi suficiente para que os mesmos deixassem de integrar 6 das 35 rotas cicláveis identificadas.

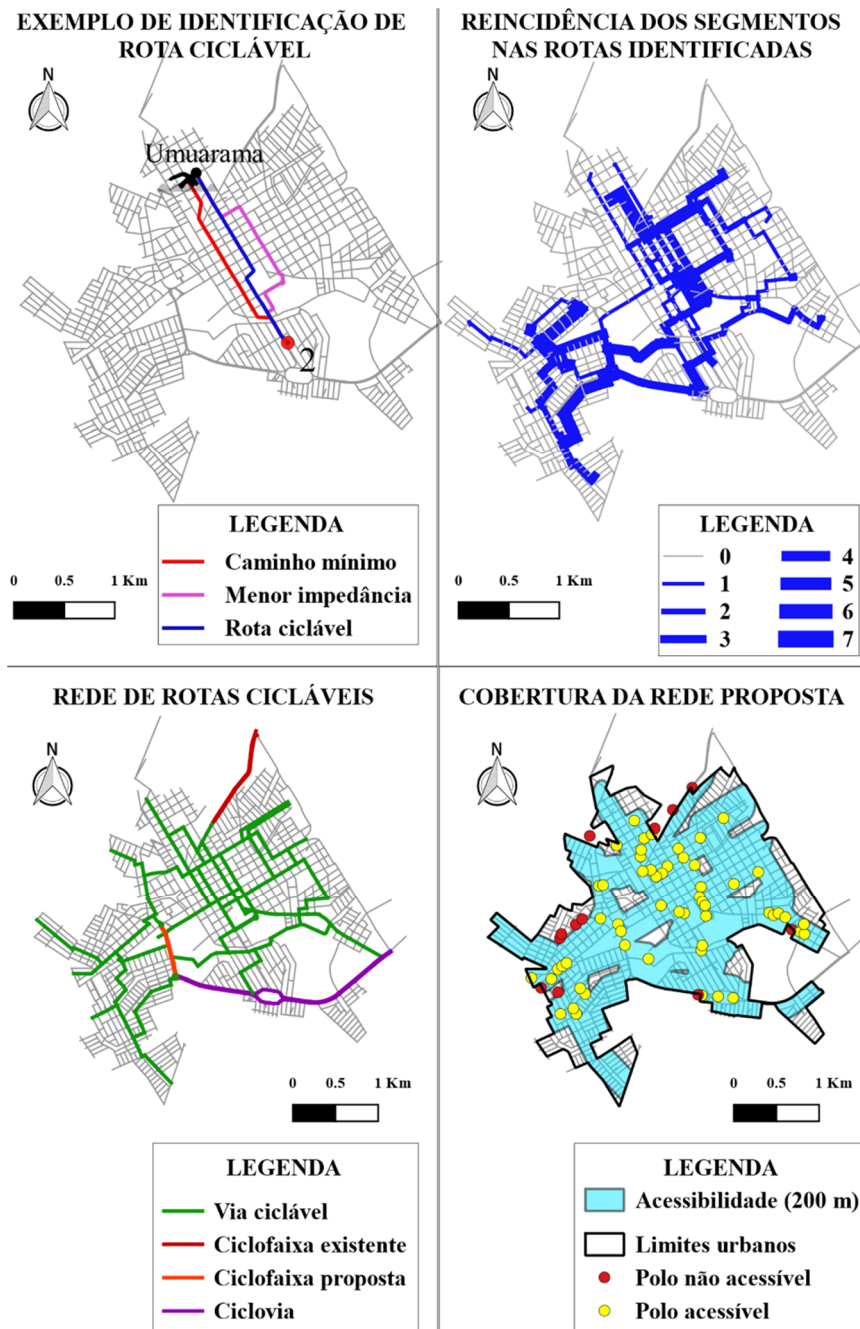


Figura 4: Identificação das rotas cicláveis e definição da rede

Com relação ao nível de estresse, nota-se uma expressiva tendência de que as rotas cicláveis sejam compostas por segmentos viários com boas avaliações globais (1 e 2), predominantemente encontradas nas vias locais, com exceção dos espaços que necessitam de infraestrutura cicloviária e possuem viabilidade física para sua inserção, onde são observadas avaliações globais predominantemente intermediárias (3 e 4). Neste contexto, é válido destacar que 9 das 35

rotas cicláveis identificadas são compostas por alguns trechos destas vias compatíveis com a construção de facilidades para ciclistas, fortalecendo a ideia de que o “alívio” da impedância dos segmentos viários pelo fator da infraestrutura (f_{inf}), proposto pelo método, aumenta o potencial dos mesmos a integrarem as rotas cicláveis. Nota-se ainda que estes resultados contrapõem-se àqueles obtidos por outros estudos de caso conduzidos em território nacional, os quais, ao utilizarem modelos de nível de serviço para bicicletas não compatíveis com a realidade brasileira, sugerem rotas mais diretas, porém compostas por segmentos viários com baixa qualidade operacional condicionada quase que exclusivamente pela não existência de ciclofaixas ou ciclovias, as quais são ponderadas de maneira considerável nestes modelos.

Quanto à distância de viagem, observa-se que 9 das 35 rotas cicláveis identificadas são coincidentes com as rotas de menor distância, o que ocorre predominantemente entre pares origem-destino próximos entre si. Ainda com relação a este critério, apenas dois pares origem-destino não tiveram suas rotas cicláveis identificadas em uma primeira fase de avaliação: o par formado pela zona 26 e pelo SESI, o qual necessitou de 3 iterações, sendo que, com relação à primeira iteração, observa-se, simultaneamente, uma diminuição de 23,72% na distância de viagem e um aumento de 13,06% na somatória das impedâncias; e o par formado pela zona 2 e pelo Umuarama Clube, o qual necessitou de 2 iterações, sendo que, com relação à primeira iteração, observa-se, simultaneamente, uma diminuição de 17,71% na distância de viagem e um aumento de 4,80% na somatória das impedâncias.

Estes resultados, por sua vez, contrapõem-se àqueles encontrados por Furth e Mekuria (2013), ou seja, a quase totalidade das rotas cicláveis identificadas na cidade de Bariri-SP não necessita de grandes desvios com relação às rotas de menor distância com o intuito de se evitar segmentos viários com baixa qualidade operacional. Em média, observa-se um aumento percentual de 4,43% entre estes trajetos distintos relacionados a um mesmo par origem-destino, muito abaixo dos 25% considerados como admissíveis pelo método proposto neste trabalho e, assim, garantindo que as rotas cicláveis identificadas possam ser avaliadas de maneira a integrar uma unidade, isto é, uma rede.

A rede de rotas cicláveis definida para Bariri-SP é composta por 19 eixos viários, totalizando 26,8 km de vias compartilhadas entre ciclistas e usuários dos modos de transporte motorizados, 3,7 km de ciclofaixas, sendo 2,4 km já existentes e 1,3 km propostos, e 5,6 km de ciclovias. A área coberta pela rede definida é de 5,6 km², o que corresponde a pouco mais de 81% da área de estudo, superando os 70% propostos por este trabalho para verificação da acessibilidade. Além disso, 55 dos 67 polos (82%) previstos nas unidades urbanísticas mínimas são atendidos pela rede.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o objetivo de estimular a inclusão do transporte cicloviário nos planos diretores de mobilidade dos municípios brasileiros, este trabalho apresenta diretrizes, passíveis de serem aplicadas às cidades de pequeno porte, para a definição de rede de rotas cicláveis em áreas urbanas.

O estudo de caso foi realizado para a cidade de Bariri-SP. Apesar da limitada disponibilidade de informações locais e de determinadas simplificações necessárias à condução do estudo de caso, em síntese, a aplicação do método proposto mostrou-se extremamente satisfatória aos objetivos deste trabalho: a rede de rotas cicláveis definida para a cidade é composta por 19 eixos viários, os quais estão distribuídos de maneira a atender toda a área delimitada para estudo.

Com relação às recomendações para trabalhos futuros, sugere-se que outros fatores sejam inclusos na avaliação da compatibilidade das vias com o transporte cicloviário, tais como densidade de entradas de garagens, composição do tráfego e condições do pavimento. Além disso, sugere-se que outros modelos sejam utilizados para a verificação do perfil topográfico e para a avaliação da qualidade de serviço das vias para o transporte cicloviário, com o intuito de confrontar os resultados encontrados com os deste trabalho.

Finalmente, é válido destacar que este trabalho pode servir como ponto de partida para outras pesquisas com objetivos semelhantes, assim como para uma eventual adequação com o intuito de que o mesmo seja expandido às cidades de médio e grande porte.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

- AASHTO (1999) *Guide for the Development of Bicycle Facilities*. Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D. C, USA.
- ANTP (2016) *Sistema de Informações da Mobilidade Urbana: Relatório Geral 2014*. Associação Nacional de Transportes Públicos. Disponível em: <http://files.antp.org.br/2016/9/3/sistemasinformacao-mobilidade--geral_2014.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2016.
- CTB (2010) *Código de Trânsito Brasileiro* (4ª ed.). Ed. Câmara, Brasília, DF. Disponível em: <<http://bd.camara.gov.br>>. Acesso em: 15 nov. 2017.
- Dixon, L. B. (1996) Bicycle and Pedestrian Level of Service Performance Measures and Standards for Congestion Management Systems. *Transportation Research Record*, v. 1538, p. 1-9. DOI: 10.3141/1538-01.
- DNIT (2006). *IPR-723 - Manual de Estudos de Tráfego*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro.
- DNIT (2010) *IPR-740 - Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro.
- FGSV (2001). *Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen*. Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen, Colonia, Alemanha.
- Furth, P. G. e M. C. Mekuria (2013) Network Connectivity and Low-Stress Bicycling. *Transportation Research Board 92th Annual Meeting Compendium of Papers*, n. 13, p. 427-450.
- GEIPOP (2001) *Manual de Planejamento Cicloviário*. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. Ministério dos Transportes, Brasília, DF.
- Harkey, D. L.; D. W. Reinfurt; M. Knuiman; J. R. Stewart e A. Sorton (1998) Development of a Bicycle Compatibility Index: A Level of Service Concept. *Transportation Research Record*, v. 1636, p. 13-20. DOI: 10.3141/1636-03.
- IBGE (2016) *Arranjos Populacionais e Concentrações Urbanas do Brasil* (2ª ed.). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências, Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv99700.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2017.
- Kirner, J. (2006) *Proposta de um Método para a Definição de Rotas Cicláveis em Áreas Urbanas*. Dissertação (mestrado). Programa de Mestrado em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos.
- Klobucar, M. S. e J. D. Fricker (2007) Network Evaluation Tool to Improve Real and Perceived Bicycle Safety. *Transportation Research Record*, v. 2031, p. 25-33. DOI: 10.3141/2031-04.
- Larsen, J. e A. El-Geneidy (2011) A travel behavior analysis of urban cycling facilities in Montreal, Canada. *Transportation Research Part D*, n. 16, p. 172-177. DOI: 10.1016/j.trd.2010.07.011.
- Lowry, M.; D. Callister; M. Gresham e B. Moore (2012) Assessment of communitywide bikeability with bicycle level of service. *Transportation Research Record*, v. 2314, p. 41-48. DOI: 10.3141/2314-06.
- LTSA (2004) *Cycle Network and Route Planning Guide*. Land Transport Safety Authority, New Zealand.
- Magalhães, J. R. L.; V. B. G. Campos e R. A. M. Bandeira (2015) Metodologia para identificação de redes de rotas cicláveis em áreas urbanas. *The Journal of Transport Literature*, v. 9, n. 3, p. 35-39. DOI: 10.1590/2238-1031/jtl.v9n3a7.
- McDaniel, S.; M. B. Lowry e M. Dixon (2014) Using Origin-Destination Centrality to Estimate Directional Bicycle Volumes. *Transportation Research Board 93th Annual Meeting Compendium of Papers*, v. 2430, p. 12-19. DOI: 10.3141/2430-02.
- Mekuria, M. C.; P. G. Furth e H. Nixon (2012) *Low-Stress Bicycling and Network Connectivity*. Mineta Transportation Institute, Report 11-19, Mineta, USA.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES (2007) *Programa Brasileiro de Mobilidade por Bicicleta - Bicicleta Brasil. Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade por Bicicleta nas Cidades*. Ministério das Cidades, Brasília, DF.
- Pettinga, A. et al. (2009) *Cycling-Inclusive Policy Development: A Handbook*. Federal Ministry for Economic Cooperation and Development, Utrecht, Holanda.

- Richardson, R. J. (1999) *Pesquisa Social – Métodos e Técnicas* (3ª ed.). Ed. Atlas, São Paulo.
- Segadilha, A. B. P. (2014) *Identificação dos fatores que influenciam na escolha da rota pelos ciclistas: estudo de caso da cidade de São Carlos*. Dissertação (mestrado). Programa de Mestrado em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos.
- Sorton, A. e T. Walsh (1994) Bicycle Stress Level as a Tool to Evaluate Urban and Suburban Bicycle Compatibility. *Transportation Research Record*, v. 1438, p. 17-24.
- Sousa, I. C. N. e S. P. Sanches (2015) Proposta de procedimentos para definição de redes cicloviárias em cidades de porte médio. *Anais do XXIX Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET*, v.1, p. 1682-1685.
- Tavares, D. M. (2011) *Método para análise de polos geradores de viagens utilizando ferramentas de microsimulação*. Dissertação (mestrado). Programa de Mestrado em Transportes, Universidade de Brasília. Brasília, DF.
- TRB (2010) *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board. National Research Council, Washington D. C., EUA.
- Tucker, B. e K. Manaugh (2016) Whose bike lanes? Access to safe Cycling routes across neighborhoods in Rio de Janeiro and Curitiba. *Transportation Research Board 95th Annual Meeting Compendium of Papers*, n. 16, p. 4013-4030.
- Winters, M.; K. Teschke; M. Grant; E. M. Setton e M. Brauer (2010) How far out the way will we travel? Built environmental influences on route selection for bicycle and car travel. *Transportation Research Record*, v. 2190, p. 1-10. DOI: 10.3141/2190-01.