

APLICABILIDADE DOS MODELOS DE NÍVEL DE SERVIÇO PARA BICICLETAS EXISTENTES NA LITERATURA À IDENTIFICAÇÃO DE ROTAS CICLÁVEIS EM CIDADES BRASILEIRAS DE PEQUENO PORTE

Marcelo Monari
Paulo Cesar Lima Segantine
Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos

RESUMO

Neste trabalho é apresentada uma revisão da literatura a respeito dos principais modelos até então desenvolvidos para avaliação do nível de serviço para bicicletas, elencando as principais variáveis de entrada, vantagens e restrições de utilização dos mesmos ao processo de identificação de rotas cicláveis em cidades brasileiras de pequeno porte. Além disto, são apresentados os resultados dos principais estudos de caso, desenvolvidos nacional e internacionalmente, que se beneficiaram destes modelos como um critério objetivo para a definição de sistemas cicloviários. A análise comparativa e as discussões a respeito dos modelos estudados permitiram a confecção de duas tabelas: a primeira, referente às variáveis previsoras e aos levantamentos de campo necessários à aplicação de cada um deles; a segunda, aos pontos positivos e negativos de utilização dos mesmos no planejamento cicloviário nacional, auxiliando as autoridades em transportes municipais na seleção do modelo mais adequado para elaboração de seus respectivos planos de mobilidade urbana.

ABSTRACT

This paper presents a literature review regarding the most relevant bicycle level of service models developed so far, listing their main input variables, benefits, and utilization restrictions to the cycling routes identification process of Brazilian small-sized cities. Furthermore, this paper also presents the results of the most relevant case studies, carried out both national and internationally, which applied these models as an objective tool for cycling systems definition. The comparative analysis and discussions concerning the studied models allowed the production of two tables: the first one regarding the independent variables and field survey required to the application of each model; and the second one regarding their strengths and weakness in national cycling planning, assisting Brazilian municipalities to elaborate urban mobility plans by selecting their respective most suitable model.

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

De acordo com o relatório geral mais recente do Sistema de Informações da Mobilidade Urbana (ANTP, 2020), a população do conjunto de 533 municípios brasileiros analisados realizou, em 2017, 66,1 bilhões de viagens, dentre as quais o transporte ativo foi o responsável pela maior parcela (42,3%). Apesar disto, o desenvolvimento de espaços urbanos capazes de satisfazer a carência humana por deslocamentos sem degradar o meio ambiente, como ciclofaixas, ciclovias e rotas cicláveis, ainda configura-se como um desafio enfrentado pelas autoridades nacionais em transportes.

Neste contexto, as cidades brasileiras de pequeno porte, isto é, cidades cuja população urbana não excede 100 mil habitantes (IBGE, 2016), as quais contemplam aproximadamente 95% dos municípios brasileiros, possuem grande potencial ciclável: a configuração compacta, os sistemas viários não consolidados e com menor complexidade, e os menores volumes e velocidades de veículos motorizados tornam esses menores centros urbanos compatíveis com a inserção de sistemas cicloviários que estimulem o uso da bicicleta em viagens cotidianas, garantindo deslocamentos mais seguros e confortáveis. Isto é notório quando analisados alguns dados de acidentes envolvendo ciclistas em território nacional.

De acordo com o INFOSIGA-SP (2020), um banco de dados georreferenciados sobre acidentes de trânsito com óbito ocorridos no Estado de São Paulo entre 2015 e 2020, dos 1.849 registros envolvendo ciclistas, apenas 639 (34,6%) ocorreram em cidades de pequeno

porte, as quais contemplam mais de 87% dos municípios do paulistas, sendo ou outros 1.210 (65,4%) registros correspondentes às 81 cidades paulistas com população superior a 100 mil habitantes.

Apesar de todo o interesse e consenso entre as autoridades em transportes destes menores municípios em desenvolver políticas públicas e planos de mobilidade urbana voltados ao ciclismo, na prática, observa-se uma escassez de subsídios técnicos capazes de nortear a inserção de espaços cicloviários em território nacional. Um exemplo deste antagonismo são os modelos de nível de serviço para bicicletas existentes na literatura.

De acordo com o *Highway Capacity Manual* (HCM), entende-se por nível de serviço como uma característica atribuída a segmentos viários e interseções de maneira a descrever as condições operacionais dos mesmos dentro de um fluxo de tráfego contínuo ou interrompido (TRB, 2010). Com relação ao transporte cicloviário, no entanto, diversos autores têm adaptado esta definição clássica, referindo-se ao nível de serviço para bicicletas como qualquer medida capaz descrever a qualidade operacional tanto de infraestruturas próprias ao tráfego de ciclistas, como ciclofaixas e ciclovias, quanto de vias compartilhadas entre ciclistas e usuários de outros modos de transporte.

Os modelos de nível de serviço para bicicletas desenvolvidos internacionalmente, cujo processo iniciou-se ao final da década de 80, aliados à cada vez mais crescente gama de ferramentas de geoprocessamento, têm se configurado como importantes ferramentas à disposição do planejamento cicloviário. Apesar disto, quando “importados” diretamente ao cenário nacional, podem ser elencadas diversas dificuldades e restrições de utilização dos mesmos, o que fica nítido ao analisarmos os resultados de alguns estudos de caso conduzidos com este objetivo em território nacional (KIRNER, 2006; MAGALHÃES; CAMPOS; BANDEIRA, 2015; FONSECA et al., 2018; MONARI, 2018; MONARI et al., 2018).

Neste sentido, o objetivo do presente trabalho é discorrer sobre a aplicabilidade dos modelos de nível de serviço para bicicletas existentes na literatura à identificação de rotas cicláveis nestas cidades brasileiras de pequeno porte. Para isto, deve ser conduzida uma revisão da literatura de maneira a elencar as principais variáveis previsoras ao nível de serviço inclusas nestes modelos, assim como as vantagens e desvantagens de utilização dos mesmos. Além disto, são apresentados também os resultados de alguns estudos de caso desenvolvidos nacional e internacionalmente que beneficiaram-se destes modelos como critério objetivo para definição de sistemas cicloviários, com o intuito de apontar as limitações dos mesmos.

É válido destacar que apesar de diversos modelos terem sido desenvolvidos neste contexto ao longo destas últimas 4 décadas, o enfoque desta pesquisa é dado àqueles que permitem avaliar o nível de serviço para bicicletas ao longo de espaços urbanos compartilhados entre ciclistas e usuários de modos de transporte motorizados, situação ideal às cidades brasileiras de pequeno porte em função da carência de inserção de tipologias próprias ao tráfego de ciclistas, como sugerem Guth e Silva (2019): os autores realizaram uma pesquisa exploratória em dez cidades brasileiras de pequeno porte com o intuito de identificar fatores que expliquem o alto índice de utilização da bicicleta ao longo das mesmas. Neste sentido, os resultados dos levantamentos de campo sugerem a forte preferência dos ciclistas pela pista de rolamento com relação às calçadas, oscilando entre 90 e 100% em todos os locais avaliados, com exceção de Ilha Solteira-SP, onde esta porcentagem foi de 78%.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Segundo LaMondia e Moore (2015), os modelos de nível de serviço para bicicletas podem ser subdivididos em quatro categorias distintas: modelos baseados em índices, que avaliam o nível de serviço por meio de uma equação, ponderando os diferentes fatores avaliados; modelos de interação, semelhantes aos baseados em índices, porém beneficiam-se de equações mais complexas, muitas vezes de caráter não linear, e que permitem interações entre os diferentes fatores avaliados; modelos de pontuação, em que pontos são atribuídos de acordo com a magnitude de cada fator de interesse, sendo o nível de serviço avaliado de acordo com a somatória destes pontos; e modelos de escala, semelhantes aos de pontuação, porém o nível de serviço é associado à média dos pontos atribuídos a cada fator de interesse, fazendo com que os mesmos sejam ponderados de maneira idêntica.

Diversos pesquisadores em transportes atribuem ao *Bicycle Safety Index Rating* (BSIR), proposto por Davis em 1987, o caráter precursor à avaliação da qualidade operacional das vias ao transporte ciclovitário. Trata-se de um modelo baseado em índice que anos depois serviria de ponto de partida para o desenvolvimento do modelo intitulado *Roadway Condition Index* (RCI) de Epperson-Davis, cujas variáveis independentes são: Volume Diário Médio (VDM) e velocidade dos veículos motorizados, largura da faixa externa e fatores relacionados às condições do pavimento e da localização das vias de tráfego (EPPERSON, 1994).

Contemporaneamente ao desenvolvimento do RCI, Sorton e Walsh (1994) utilizaram-se de uma abordagem alternativa para avaliar as condições da via ao transporte ciclovitário, baseando-se no nível de estresse ao qual um determinado ciclista é submetido ao trafegar pela mesma. Desta forma, propôs-se um modelo de escala intitulado *Bicycle Stress Level* (BSL), cujos fatores avaliados são três: volume e velocidade dos veículos motorizados, e largura da faixa externa das vias de tráfego. A avaliação global do nível de estresse associa a via com diferentes grupos de ciclistas também propostos pelos autores.

O conceito de nível de estresse relacionado ao ciclismo foi retomado quase duas décadas depois por Mekuria, Furth e Nixon (2012), os quais desenvolveram uma “rotina” de avaliação da qualidade operacional, tanto para vias compartilhadas quanto para ciclofaixas, intitulada *Level of Traffic Stress* (LTS). É válido destacar que o LTS não enquadra-se em nenhuma das quatro categorias sugeridas por LaMondia e Moore (2015), uma vez que a avaliação final do nível de estresse é dada em função da pior avaliação entre os fatores avaliados. Para o caso das vias compartilhadas, estes fatores são: velocidade de tráfego dos veículos motorizados, número de faixas de tráfego por direção e existência de faixas de separação dos sentidos de tráfego dispostas no centro da via (*centerlines*).

O único modelo de pontuação existente na literatura, passível de ser aplicado às vias de tráfego compartilhado entre ciclistas e condutores de veículos motorizados, remete ao trabalho de Dixon (1996), desenvolvido pela autora com o intuito de nortear o Plano de Mobilidade da cidade de Gainesville (Flórida). Neste contexto, propôs-se seis categorias distintas para avaliar os segmentos viários de interesse: existência de facilidades para ciclistas; risco de conflitos envolvendo ciclistas; diferença de velocidades entre bicicletas e veículos motorizados; avaliação do nível de serviço das vias para os veículos motorizados; manutenção das vias; e existência de iniciativas voltadas ao transporte ciclovitário no local de estudo.

A partir de 1996, modelos mais complexos passaram a ser desenvolvidos, como, por exemplo, o *Interaction Hazard Score* (IHS) proposto por Landis (1996), cuja principal contribuição foi o pioneirismo em considerar opiniões reais de ciclistas para a calibração do modelo, reveladas em encontros e entrevistas conduzidos pelo autor. Tomando-se o IHS como ponto de partida, um ano depois, o próprio Landis, em conjunto com outros pesquisadores, buscou calibrar um novo modelo de interação utilizando-se de um número de observações estatisticamente mais relevante.

A metodologia utilizada pelos pesquisadores foi a seguinte: pediu-se a aproximadamente 150 ciclistas da região de Tampa Bay (Flórida) que percorressem um circuito de 27km de extensão, composto por 30 segmentos viários com diferentes combinações de atributos de interesse ao transporte cicloviário, e posteriormente avaliassem cada um destes segmentos de acordo com uma escala padronizada. Os resultados permitiram o desenvolvimento do *Bicycle Level of Service* (BLOS), cujas variáveis previsoras significativas ao modelo são: volume e velocidade dos veículos motorizados; porcentagem de veículos pesados; condições do pavimento; e largura da faixa externa da via (LANDIS; VATTIKUTI; BRANNICK, 1997). É válido destacar ainda que o BLOS é o modelo de nível de serviço para bicicletas vigente nas versões mais recentes do HCM (TRB, 2010).

Uma década após a publicação do BLOS, Petritsch et al. (2007), dentre os quais o próprio Landis consta como autor, beneficiaram-se da mesma metodologia descrita anteriormente para propor um novo modelo de interação aplicável a segmentos viários arteriais, com a inclusão, no entanto, de simulações em vídeo complementares ao percurso das vias pelos ciclistas. Apesar de ponderadas diferentemente, as variáveis de entrada para avaliação do nível de serviço para bicicletas destes segmentos são as mesmas do modelo precursor.

A materialização do percurso de ciclistas em vídeo para a calibração de modelos de nível de serviço para bicicletas foi uma metodologia utilizada originalmente por Harkey et al. (1998), da qual diversos trabalhos beneficiam-se até os dias de hoje. Os autores coletaram a opinião de 200 participantes em três cidades norte-americanas, dentre eles ciclistas reais e potenciais, a respeito de suas percepções de segurança e conforto caso trafegassem pelos cenários apresentados. Os resultados permitiram desenvolver um modelo baseado em índice, cujas variáveis de entrada são: volume, velocidade e composição do tráfego de veículos motorizados; existência de ciclofaixa adjacente à via de tráfego; largura da via; tipo de uso do solo; presença de estacionamentos e densidade de entradas de garagem ao longo da via.

Jensen (2007) também se utilizou de gravações em vídeos para a condução de uma pesquisa de preferência declarada que contou com a participação de 407 ciclistas e pedestres dinamarqueses, cujas opiniões permitiram a calibração de modelos de nível de serviço por meio da técnica de regressão logística multinomial. O objetivo do trabalho era dispor de uma ferramenta para o planejamento cicloviário condizente com as características geométricas e operacionais locais, as quais diferem-se substancialmente daquelas consideradas nos modelos americanos, principalmente no tocante ao maior emprego de infraestruturas próprias ao tráfego de ciclistas. Os resultados, neste sentido, apontam justamente para as considerações iniciais do autor, isto é, as variáveis previsoras do modelo, em ordem decrescente, que possuem maior efeito no nível de satisfação dos ciclistas são: tipo e largura das facilidades para ciclistas, densidade de entradas de garagem, tipo de uso do solo, volume e velocidade dos veículos motorizados, número de faixas de tráfego e existência de pontos de parada de coletivos ao longo da via.

Recentemente, alguns trabalhos têm se destacado ao tentar propor modelos de nível de serviço para bicicletas condizentes com as características de transporte e trânsito de países econômica ou socialmente em desenvolvimento, os quais são tratados a seguir.

Beura et al. (2018) conduziram um estudo a quatro cidades distintas da Índia, de maneira a coletar opiniões a respeito das percepções de ciclistas sobre os respectivos segmentos por onde trafegavam, totalizando 10.360 avaliações. Os resultados permitiram a calibração de um modelo de nível de serviço para bicicletas, passível de ser aplicado a segmentos viários que comportam tráfego heterogêneo, baseado em redes neurais artificiais, cujas variáveis predictoras mais significativas são: largura efetiva da via, volume horário de pico dos veículos motorizados por faixa de tráfego, velocidade dos veículos motorizados, condições do pavimento, tipo de uso do solo e interrupções gerais do fluxo de bicicletas na via, quantificado em função de estacionamentos laterais paralelos, densidade de entradas de garagem e pontos de parada de coletivos.

Ainda no contexto indiano, Majumdar e Mitra (2018) basearam-se na mesma metodologia descrita anteriormente para a coleta de informações junto aos ciclistas da cidade de Kharagpur. Ao todo, 954 respostas de ciclistas foram coletadas, e os resultados permitiram a calibração de um modelo probit ordenado, cujas variáveis independentes mais significativas são: proporção da via destinada a estacionamentos, volumes e velocidade dos veículos motorizados, condição do pavimento e tipo de uso do solo.

Shu et al. (2018) utilizaram gravações em vídeo para avaliar as percepções de segurança, conforto e conveniência de ciclistas da capital chinesa, Pequim. As respostas dadas por 50 participantes, frente a 42 segmentos viários distintos, permitiram a calibração de um modelo transteórico de nível de serviço para bicicletas, fundamentado na premissa de que os ciclistas alteram seu comportamento de forma gradual e contínua ao se utilizarem de diferentes tipologias cicloviárias e que, quando isto ocorre, os fatores que influenciam no uso da bicicleta também passam a ser diferentes. Especificamente com relação às vias de tráfego compartilhado, as variáveis de entrada mais significativas ao modelo são: volume e composição do tráfego de veículos motorizados (porcentagem de veículos pesados); percentuais da via com estacionamento lateral paralelo de veículos e com predominância de sombra; e panorama geral da via, classificado em “bagunçado”, “arrumado” ou “gracioso”.

No contexto brasileiro, a única tentativa relevante em se desenvolver um modelo de nível de serviço para bicicletas condizente com a realidade local remete ao trabalho de Providelo (2011). A autora buscou, por meio de um estudo de caso conduzido às cidades paulistas de São Carlos e Rio Claro, definir uma medida quantitativa da qualidade operacional de vias que comportam tráfego heterogêneo, generalizável às demais cidades brasileiras de pequeno e médio porte. Para isto, foram utilizadas gravações em vídeo para a coleta das opiniões de 451 ciclistas reais e potenciais frente às condições de 14 trechos viários distintos, as quais permitiram a calibração de um modelo logit ordenado cuja única variável predictoras significativa é o volume de veículos motorizados.

3. APLICABILIDADE DOS MODELOS ÀS PEQUENAS CIDADES BRASILEIRAS

Apesar de existirem diversos modelos de avaliação do nível de serviço para bicicletas voltados ao tráfego heterogêneo, situação já destacada na seção introdutória como ideal às cidades brasileiras de pequeno porte, é válido destacar que os mesmos possuem limitações ou restrições de utilização, as quais são elencadas a seguir.

O RCI de Epperson-Davis é criticado por alguns autores como Landis (1996) e Providelo (2011) por sua subjetividade em avaliar fatores relacionados às condições do pavimento e à localização da via, além de, assim como outros dos modelos mais antigos, não ser calibrado em função de percepções reais de conforto e segurança de ciclistas. Em contrapartida, este modelo considera uma gama extremamente abrangente de variáveis de entrada, as quais envolvem características geométricas, operacionais e relacionadas ao ambiente onde a via está inserida.

A abrangência de variáveis de entrada não é uma vantagem que pode ser estendida aos modelos de avaliação do nível de estresse, principalmente àquele proposto por Mekuria, Furth e Nixon (2012). Apesar de tanto o BSL quanto o LTS possuírem vantagens semelhantes de utilização, como a facilidade de coleta das variáveis de entrada e de aplicação dos próprios modelos, cada um deles apresenta restrições muito características: o BSL, assim como o RCI, não reflete as percepções reais do estresse relacionado aos ciclistas, uma vez que o sistema de pontuação proposto por Sorton e Walsh (1994) baseia-se essencialmente em valores sugeridos pela literatura técnica da época; já o LTS não inclui como variável de entrada o volume de veículos motorizados, ressaltado por diversos autores como Winters et al. (2010) e Segadilha (2014) como um dos principais indicadores da compatibilidade das vias urbanas com o transporte cicloviário.

Tanto Furth e Mekuria (2013) quanto Semler et al. (2017) utilizaram-se do LTS para a identificação de rotas cicláveis, respectivamente, em San Jose (EUA) e em Washington D.C. (EUA). Ambos os trabalhos sugerem resultados semelhantes, porém Furth e Mekuria (2013) ressaltam que algumas das rotas cicláveis identificadas, apesar de mais seguras e confortáveis à circulação de ciclistas, apresentam desvios expressivos quando comparadas às rotas que minimizam a distância de viagem entre os correspondentes pares origem-destino.

Monari et al. (2018) conduziram uma análise comparativa entre o BSL e o LTS no processo de identificação de rotas cicláveis, calculando-se a impedância, isto é, o custo generalizado de cada segmento viário da cidade de Bariri-SP pelo produto entre as avaliações globais do nível de estresse e os respectivos comprimentos destes segmentos. Quando comparadas entre si, 14 das 35 rotas cicláveis identificadas, considerando-se ambos os modelos, são coincidentes. No entanto, com relação ao LTS, contrapondo-se aos resultados obtidos por Furth e Mekuria (2013) e Semler et al. (2017), observa-se que 24 destas 35 rotas são semelhantes às rotas que minimizam as distâncias de viagem, consequência da não inclusão do volume de veículos motorizados como variável previsora, o que sugere uma limitação de utilização deste modelo mesmo em menores centros urbanos.

O modelo de Dixon (1996) tem como principais pontos positivos a simplicidade de coleta das variáveis de entrada (com exceção da avaliação do nível de serviço relacionado aos veículos motorizados) e o fato de o mesmo incluir itens raramente empregados nos demais modelos, como manutenção das vias e existência de programas e iniciativas voltados ao ciclismo. Entretanto, como sugerido por diversos estudos de caso conduzidos em território nacional, os a principal limitação à aplicação deste modelo é o grande “peso” dado pelo mesmo à inserção de facilidades exclusivas ao tráfego de ciclistas ao longo da via, situação que não ocorre frequentemente no Brasil.

Kirner (2006), por meio de um estudo de caso conduzido à cidade de São Carlos-SP, propôs um método para definição de rotas cicláveis em áreas urbanas de cidades brasileiras de médio

porte. A avaliação do nível de serviço dos segmentos viários pelo modelo de Dixon (1996) sugere que os mesmos não são adequados ao transporte cicloviário, pois não dispõem de ciclofaixas ou ciclovias, mesmo apresentando alto índice de interação entre os ciclistas e os veículos motorizados. Os mesmos resultados foram observados por Magalhães, Campos e Bandeira (2015), os quais, ao conduzirem um estudo de caso à cidade de Montes Claros-MG, também beneficiaram-se do modelo de Dixon (1996) para desenvolver um método para identificação de redes de rotas cicláveis baseado em um algoritmo de busca de caminhos mínimos.

O contínuo trabalho de uma década que deu origem a dois dos principais modelos de nível de serviço para bicicletas existentes na literatura, cronologicamente propostos por Landis, Vattikuti e Brannick (1997) e por Petritsch et al. (2007), deve ser enaltecido pelo pioneirismo no levantamento de dados junto a ciclistas reais, além de considerar um conjunto extremamente abrangente de variáveis de entrada. No entanto, exclusivamente a estes modelos, este último ponto é interpretado por Kirner (2006) e Providelo (2011) como uma desvantagem de utilização: as cidades brasileiras de pequeno porte, na grande maioria das vezes, não possuem informações básicas para o planejamento de sistemas de transporte como pesquisas origem-destino, contagens volumétricas, aferições de velocidades etc., demandando-se exaustivos levantamentos de campo para tal, o que nem sempre é possível devido aos orçamentos municipais limitados e à carência de corpo técnico especializado: de acordo com resultados da Pesquisa Básica de Informações Municipais (IBGE, 2018), 25% dos municípios brasileiros declararam, em 2017, não possuir nenhum órgão para gestão das políticas de transporte e, dentre os que possuem, observa-se uma maior existência de secretarias voltadas exclusivamente às políticas de transporte nos maiores centros urbanos.

Lowry et al. (2012) basearam-se no BLOS para a identificação de rotas cicláveis na comunidade de Moscow (EUA). Os resultados do estudo sugerem que a adequação da bicicleta no espaço urbano aumenta à medida que mais destinos de viagens são alcançados por meio de rotas cicláveis compostas por segmentos com maiores níveis de serviço. Tal metodologia foi sistematizada um ano mais tarde pelos próprios autores através da codificação de um complemento no *software* ArcGIS (MONARI, 2018).

O BCI proposto por Harkey et al. (1998) possui como principal vantagem o fato de incluir um conjunto abrangente de variáveis de entrada, porém, assim como o modelo de Dixon (1996), é criticado por alguns autores pela grande contribuição da existência de ciclofaixas à avaliação final da via. Os resultados de alguns estudos de caso, no entanto, sinalizam para o BCI como uma boa ferramenta à disposição do planejamento cicloviário.

Klobucar e Fricker (2007) fizeram o uso do BCI para a identificação dos locais com maior necessidade de melhoramentos para acomodar o tráfego de bicicletas em West Lafayette (EUA). Já Pritchard, Froyen e Snyzek (2019) basearam-se em dados empíricos coletados junto a 467 ciclistas universitários da cidade de Trondheim (Noruega) para a modelagem da escolha das rotas destes ciclistas a partir da qualidade operacional dos segmentos viários que as compõem, utilizando-se de quatro dos modelos citados na revisão da literatura: BCI, BSL, LTS e BLOS. Os resultados sugerem que a malha cicloviária identificada utilizando-se o BCI para a ponderação dos segmentos viários é aquela que mais se assemelha à malha empírica. Além disto, os autores ressaltam que as rotas cicláveis identificadas mais compatíveis com os dados empíricos possuem um acréscimo de extensão entre 15 e 21% com relação às rotas de caminho mínimo.

De acordo com o próprio autor, o modelo desenvolvido por Jensen (2007) para o contexto dinamarquês é muito semelhante aos norte-americanos, exceto pela maior contribuição da existência de infraestruturas cicloviárias à avaliação final do nível de serviço, e pela sensibilidade do modelo às características geométricas e à qualidade operacional destas infraestruturas, o que o torna ainda menos recomendado de ser “importado” ao contexto brasileiro, visto, novamente, as raras ocasiões onde são dispostas tipologias cicloviárias em território nacional e à qualidade operacional precária destas tipologias. Um exemplo notório desta precariedade é a rede cicloviária de São Paulo-SP: de acordo com um levantamento realizado pela Associação dos Ciclistas Urbanos de São Paulo, aproximadamente 40% das ciclovias e ciclofaixas da cidade possuem problemas estruturais ou de manutenção. A avaliação baseou-se em 19 critérios distintos, dentre os quais destacam-se com as piores avaliações a sinalização vertical, largura destas tipologias e as condições do pavimento (SIMONATO, 2018).

Os estudos conduzidos em países em desenvolvimento, apesar de configurarem-se como importantes quebras de paradigma com relação aos demais trabalhos elencados nesta revisão, também possuem algumas restrições de utilização: no trabalho de Beura et al. (2018), por exemplo, as cidades selecionadas para a coleta de informações, identificadas pelos autores como cidades indianas de porte médio, possuem populações que variam entre 500 mil e 1 milhão de habitantes, correspondentes, de acordo com o IBGE (2016), à amplitude populacional das cidades brasileiras de grande porte. Desta forma, apesar de os parâmetros de entrada considerados no modelo serem extremamente relevantes ao planejamento cicloviário dos menores centros urbanos nacionais, a maneira como são ponderados pode não refletir as percepções de segurança e conforto dos ciclistas brasileiros, inviabilizando sua utilização. Já no trabalho de Majumdar e Mitra (2018), os autores não se basearam em uma medida objetiva para a avaliação das condições do pavimento, e sim em notas dadas pelos próprios ciclistas de acordo com suas percepções; e com relação à velocidade dos veículos motorizados, o modelo sugere que um aumento na magnitude desta variável reflete em um aumento da probabilidade dos ciclistas perceberem melhores níveis de serviço, efeito contrário ao identificado por outros trabalhos descritos nesta revisão.

O modelo de Shu et al. (2018) considera diferentes avaliações para as diversas tipologias cicloviárias existentes, não permitindo, por exemplo, que a não existência de ciclofaixas e ciclovias resulte em avaliações finais ruins com relação ao nível de serviço para bicicletas. Em contrapartida, a calibração do modelo não incorporou a velocidade dos veículos motorizados como possível variável previsora, algo unânime aos demais trabalhos desenvolvidos com o mesmo objetivo, e algumas das variáveis de entrada consideradas às vias de tráfego compartilhado, apesar de inéditas, não permitem uma avaliação objetiva: a taxa de sombreamento da via pode variar de acordo com o período do dia em que este parâmetro é analisado, os critérios para definição do panorama geral da via não são descritos com clareza etc.

O trabalho de Providelo (2011), resguardadas a importância em ser a única tentativa sistemática de se calibrar um modelo condizente com a realidade brasileira e a facilidade de aplicação deste modelo, tem como principal limitação o fato de que diversas das variáveis analisadas pela autora com possível caráter previsor ao nível de serviço para bicicletas não se mostraram significativas, como a velocidade dos veículos motorizados, a porcentagem de veículos pesados que trafegam pelas vias, a largura efetiva destas vias etc.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado desta revisão bibliográfica e da subsequente avaliação da aplicabilidade dos modelos existentes literatura às cidades brasileiras de pequeno porte, puderam ser confeccionadas as Tabelas 1 e 2, as quais são apresentadas a seguir.

Tabela 1: Variáveis de entrada dos modelos de nível de serviço para bicicletas

Variáveis de entrada / Modelo		Epperson-Davis (1994)	Sorton e Walsh (1994)	Dixon (1996)	Landis, Vattikuti e Brannick (1997)	Harkey et al. (1998)	Petritsch et al. (2007)	Jensen (2007)	Providelo (2011)	Mekuria, Furth e Nixon (2012)	Beura et al. (2018)	Majumdar e Mitra (2018)	Shu et al. (2018)
Transporte e trânsito	Volume de veículos motorizados	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
	Velocidade dos veículos motorizados	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	
	Velocidade das bicicletas			✓									
	Porcentagem de veículos pesados				✓	✓	✓						✓
	NS para veículos motorizados			✓									
Infraestrutura viária	Número de faixas de tráfego	✓			✓		✓	✓		✓	✓		
	Largura da faixa externa da via	✓	✓		✓	✓	✓				✓		
	Declividade da via	✓											
	Condição do pavimento	✓		✓	✓		✓				✓	✓	
	Existência de canteiro central	✓		✓									
	Existência de <i>centerline</i>									✓			
	Existência de ciclofaixa e/ou ciclovia			✓		✓		✓					
	Largura da ciclofaixa e/ou ciclovia			✓		✓		✓					
	Densidade de entradas de garagem			✓		✓		✓			✓		
	Estacionamentos ao longo da via	✓		✓		✓					✓	✓	✓
Outros	Pontos de parada de coletivos							✓			✓		
	Tipo de uso do solo	✓				✓		✓			✓	✓	
	Iniciativas ao ciclismo			✓									
	Taxa de "sombreamento" da via												✓
	Panorama geral da via segundo ciclistas												✓

A Tabela 1 apresenta as variáveis de entrada necessárias à aplicação de cada um dos modelos de nível de serviço para bicicletas discutidos neste trabalho; já a Tabela 2 elenca as principais vantagens e restrições de utilização de cada um desses modelos em pequenos centros urbanos nacionais. Tratam-se, portanto, de ferramentas à disposição do planejamento ciclovitário nacional, auxiliando as autoridades municipais em transportes na seleção do modelo mais adequado para elaboração de seus respectivos planos de mobilidade urbana.

É válido destacar que todos os modelos tratados neste trabalho possuem pelo menos uma vantagem e uma restrição de utilização. No entanto, ambos os modelos de avaliação do nível de estresse (LTS e BSL), apesar de sua facilidade de aplicação, e alguns dos trabalhos

desenvolvidos para o contexto de países em desenvolvimento não consideram variáveis de entrada importantes, estimulando com que modelos comumente empregados em estudos de caso desenvolvidos internacionalmente, como o BCI e o BLOS, sejam também “importados” ao contexto brasileiro.

Tabela 2: Vantagens e restrições de utilização dos modelos de nível de serviço para bicicletas

Vantagens e restrições / Modelo		Epperson-Davis (1994)	Sorton e Walsh (1994)	Dixon (1996)	Landis, Vattikuti e Brannick (1997)	Harkey et al. (1998)	Petrtsch et al. (2007)	Jensen (2007)	Providelo (2011)	Mekuria, Furth e Nixon (2012)	Beura et al. (2018)	Majumdar e Mitra (2018)	Shu et al. (2018)
Vantagens	Conjunto abrangente de variáveis de entrada	✓		✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	
	Facilidade de coleta das variáveis de entrada e de aplicação do modelo		✓	✓					✓	✓		✓	✓
	Considera percepções de segurança e conforto de ciclistas reais e potenciais				✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓
	Diferentes procedimentos para cada tipo de infraestrutura ciclovária									✓			✓
Restrições	Não considera importantes variáveis de entrada								X	X			X
	Dificuldade de coleta das variáveis de entrada				X		X				X		
	Subjetividade de avaliação de variáveis de entrada	X										X	X
	Não considera percepções de segurança e conforto de ciclistas reais e potenciais	X	X	X		X				X			
	Grande influência de facilidades para ciclistas na avaliação final do nível de serviço			X		X		X					

Outros pontos que merecem destaque são os seguintes:

- Apesar de inclusa no RCI de Epperson-Davis, nenhum dos modelos desenvolvidos até então faz o uso da declividade das vias como uma variável contínua na previsão do nível de serviço para bicicletas;
- Com exceção dos subsequentes trabalhos de Landis, Vattikuti e Brannick (1997) e Petrtsch et al. (2007), nenhum dos modelos propostos até então se beneficia de uma metodologia objetiva para a avaliação das condições do pavimento;
- Um dos modelos mais utilizados em estudos de caso desenvolvidos nacionalmente, o modelo de Dixon (1996), não considera as percepções reais de ciclistas no escopo de seu sistema de pontuação, e atribui um grande “peso” à existência de infraestruturas próprias ao tráfego de ciclistas na avaliação final da via, situação que raramente ocorre no Brasil.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta revisão da literatura permitem afirmar que não existe um modelo de nível de serviço para bicicletas ideal de ser aplicado às cidades brasileiras de pequeno porte, uma vez que todos possuem ao menos uma restrição de utilização, sejam estas mais severas, ao não considerar o tráfego heterogêneo ou não incluir variáveis previsoras importantes, ou mais brandas, como a subjetividade de avaliação dos parâmetros de entrada. Neste sentido, ressalta-se a importância de serem calibrados modelos condizentes com o contexto brasileiro, além de serem conduzidos novos estudos de caso, também às cidades brasileiras, comparando-se os diferentes modelos existentes na literatura por meio de uma abordagem prática.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), sem os quais este trabalho não poderia ser desenvolvido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTP (2020) *Relatório Geral 2017*. Sistema de Informações da Mobilidade Urbana: Associação Nacional de Transportes Públicos. Disponível em: <<http://files.antp.org.br/simob/sistema-de-informacao-de-mobilidade-urbana-da-antp--2017.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2020.
- Beura, S. K.; V. L. Manusha; H. Chellapilla; P. K. Bhuyan (2018) Defining Bicycle Levels of Service Criteria Using Levenberg–Marquardt and Self-organizing Map Algorithm. *Transportation in Developing Economies*, v. 4, n. 11. DOI: 10.1007/s40890-018-0066-0.
- Dixon, L. B. (1996) Bicycle and Pedestrian Level of Service Performance Measures and Standards for Congestion Management Systems. *Transportation Research Record*, n. 1538, p. 1-9. DOI: 10.1177/0361198196153800101.
- Epperson, B. (1994) Evaluating Suitability of Roadways for Bicycle Use: Toward a Cycling Level of Service Standard. *Transportation Research Record*, n. 1438, p. 9-16.
- Fonseca, N. F. S.; D. S. D. M. Mansano; P. H. Souza; R. C. Magagnin; G. G. Manzato (2018) Análise comparativa do nível de serviço para bicicleta em vias de acesso ao campus da UNESP de Bauru-SP. *Anais do 32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET*, p. 2349-2359, Gramado.
- Furth, P. G.; M. C. Mekuria (2013) Network Connectivity for Low-Stress Bicycling. *Transportation Research Board 92nd Annual Meeting Compendium of Papers*, Washington D. C., USA. DOI: 10.3141/2587-06.
- Guth, D.; V. A. C. Silva (2019) Uso de bicicletas nas cidades brasileiras de pequeno porte: uma cultura ameaçada. *P2P & INOVAÇÃO*, v. 5, n. 2, p. 83-107. DOI: 10.21721/p2p.2019v5n2.p83-107.
- Harkey, D. L.; D. W. Reinfurt; M. Knuiman; J. R. Stewart.; A. Sorton (1998) *Development of a Bicycle Compatibility Index: A Level of Service Concept*. Highway Safety Research Center, Chapel Hill, USA. DOI: 10.3141/1636-03.
- IBGE (2016) *Arranjos Populacionais e Concentrações Urbanas do Brasil* (2ª ed.). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de Geografia, Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv99700.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2020.
- IBGE (2018) *Pesquisa de Informações Básicas Municipais – Perfil dos Municípios Brasileiros 2017*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de População e Indicadores Sociais, Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101595.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2020.
- INFOSIGA-SP (2020) *Relatórios e Base de Dados: gráficos e análises interativas*. Programa Respeito à Vida. Secretaria de Governo do Estado de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.respeitoavida.sp.gov.br/relatorios/>>. Acesso em: 05 mar. 2020.
- Jensen, S. U. (2007) Pedestrian and Bicyclist Level of Service on Roadway Segments. *Transportation Research Record*, n. 2031, p. 43-51. DOI: 10.3141/2031-06.
- Kirner, J. (2006) *Proposta de um Método para a Definição de Rotas Cicláveis em Áreas Urbanas*. Dissertação no Programa de Mestrado em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos.
- Klobucar, M. S.; J. D. Fricker (2007) Network Evaluation Tool to Improve Real and Perceived Bicycle Safety. *Transportation Research Record*, n. 2031, p. 25-33. DOI: 10.3141/2031-04.

- LaMondia, J. J.; N. Moore (2015) Using Bicycle Level of Service for Decision Making: Comparison of Common Bicycle Level-of-Service Measures, Roadway Characteristics, and Perceived Bike Route Suitability. *Transportation Research Board 94th Annual Meeting Compendium of Papers*, Washington D. C. DOI: 10.3141/2520-14.
- Landis, B. W. (1996) Bicycle System Performance Measures. *ITE Journal*, v. 66, n. 2, p. 18-26.
- Landis, B. W.; V. R. Vattikuti; M. T. Brannick (1997) Real Time Human Perceptions: Toward a Bicycle Level of Service. *Transportation Research Record*, n. 1578, p. 119-126. DOI: 10.3141/1578-15.
- Lowry, M.; D. Callister; M. Gresham; B. Moore (2012) Assessment of communitywide bikeability with bicycle level of service. *Transportation Research Record*, n. 2314, p. 41-48. DOI: 10.3141/2314-06.
- Majumdar, B. B.; S. Mitra (2018) Development of Level of Service Criteria for Evaluation of Bicycle Suitability. *Journal of Urban Planning and Development*, v. 144, n. 2. DOI: 10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000432.
- Magalhães, J. R. L.; V. B. G. Campos; 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.
- Mekuria, M. C.; P. G. Furth; H. Nixon (2012) *Low-Stress Bicycling and Network Connectivity*. Mineta Transportation Institute, Report 11-19, Mineta, USA.
- Monari, M. (2018) *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*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Monari, M.; F. R. Moraes; P. C. L. Segantine; I. Silva (2018) Análise comparativa entre modelos de avaliação do nível de estresse relacionado aos ciclistas no processo de identificação de rotas cicláveis: um estudo de caso para a cidade de Bariri-SP. *Anais do 32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET*, p. 3022-3032, Gramado.
- Petritsch, T. A.; B. W. Landis; H. F. Huang; P. S. Mcleod; D. Lamb; W. Farah; M. Guttenplan (2007) Bicycle Level of Service for Arterials. *Transportation Research Record*, n. 2031, p. 34-42. DOI: 10.3141/2031-05.
- Pritchard, R.; Y. Froyen; B. Snizek (2019) Bicycle Level of Service for Route Choice: A GIS Evaluation of Four Existing Indicators with Empirical Data. *International Journal of Geo-Information*, v. 8, n. 214. DOI: 10.3390/ijgi8050214.
- Providelo, J. K. (2011) *Nível de Serviço para Bicicletas: um estudo de caso nas cidades de São Carlos e Rio Claro*. Tese do Programa de Doutorado em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos.
- 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 do Programa de Mestrado em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos.
- Semler, C.; M. Sanders; D. Buck; J. Graham; A. Pochowski; S. Dock (2017) Low Stress Bicycle Network Mapping: The District of Columbia's Innovative Approach to Applying Level of Traffic Stress. *Transportation Research Record*, n. 2662, p. 31-40. DOI: 10.3141/2662-04.
- Shu, S.; Y. Bian; J. Rong; S. Li (2018) Bicycle Level of Service Evaluation Method for Urban Road Segment. *Open Journal of Applied Sciences*, v. 8, p. 80-88. DOI: 10.4236/ojapps.2018.82007.
- Simonato, S. (2018) 40% das ciclovias e ciclofaixas de SP têm problemas, diz levantamento. Portal de notícias do G1. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2018/12/10/40-das-ciclovias-e-ciclofaixas-de-sp-tem-problemas-diz-levantamento.ghtml>>. Acesso em: 17 mai. 2019.
- Sorton, A.; T. Walsh (1994) Bicycle Stress Level as a Tool to Evaluate Urban and Suburban Bicycle Compatibility. *Transportation Research Record*, n. 1438, p. 17-24.
- TRB (2010) *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board. National Research Council, Washington D. C., EUA.
- Winters, M.; K. Teschke; M. Grant; E. M. Setton; 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*, n. 2190, p. 1-10. DOI: 10.3141/2190-01.

Marcelo Monari (marcelo.monari@usp.br)
Paulo Cesar Lima Segantine (pclsegantine@usp.br)
Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos
Universidade de São Paulo
Av. Trabalhador São-carlense, 400 - São Carlos, SP, Brasil