

INFLUÊNCIA DA EXPOSIÇÃO QUANTITATIVA E QUALITATIVA DA VIAGEM NA SEGURANÇA VIÁRIA DOS CICLISTAS EM FORTALEZA: UM ESTUDO SOBRE A PERCEPÇÃO DO USUÁRIO

Vanessa Jamille Mesquita Xavier
Francisco Altanízio Batista de Castro Júnior
Bruna Mendes Forte
Flávio José Craveiro Cunto
Departamento de Engenharia de Transportes
Universidade Federal do Ceará

RESUMO

Existe uma dificuldade em incluir de forma objetiva na modelagem do desempenho da segurança viária, aspectos relacionados à exposição quantitativa do ciclista e exposição qualitativa da percepção individual sobre a qualidade da viagem do ciclista. Esse estudo tem por objetivo avaliar a influência da exposição quantitativa e da qualidade da viagem nos acidentes de trânsito a partir da percepção dos ciclistas. São utilizados dados da pesquisa realizada pelo Plano Diretor Cicloviário Integrado (PDCI) de Fortaleza – CE em (2015). Foram usados modelos de equações estruturais para analisar as associações entre doze indicadores, três variáveis latentes reflexivas e número de acidentes relatado pelos ciclistas. Os resultados indicaram que a baixa qualidade da viagem apresenta a maior influência no aumento de acidentes de trânsito relatados, seguida pela exposição quantitativa do ciclista. Outro resultado é que as características do ciclista estão correlacionadas com a exposição.

ABSTRACT

There is a difficulty in objectively including in the modeling of road safety performance, aspects related to the quantitative exposure of the cyclist and qualitative exposure of the individual perception about the quality of the cyclist's trip. This study aims to assess the influence of quantitative exposure and the quality of travel on traffic accidents from the perception of cyclists. Data from the survey conducted by the Plano Diretor Cicloviário Integrado (PDCI) of Fortaleza - CE in (2015) are used. Structural equation models were used to analyze the associations between twelve indicators, three latent reflective variables and the number of accidents reported by cyclists. The results indicated that the low quality of the trip has the greatest influence on the increase in reported traffic accidents, followed by the quantitative exposure of the cyclist. Another result is that the characteristics of the cyclist are correlated with exposure.

1. INTRODUÇÃO

Em busca de um ambiente de circulação mais inclusivo e sustentável, muitas cidades brasileiras têm concentrado seus esforços em promover de forma estratégica o uso da bicicleta. Dentre as principais ações observadas em várias capitais brasileiras como Recife, São Paulo e Fortaleza, ressaltam-se o desenvolvimento de planos diretores cicloviários, implantação de ciclorrotas, ciclofaixas e ciclovias, além de ações diretas de incentivo ao uso desse transporte ativo, através de programas de bicicletas compartilhadas e uso compartilhado em terminais de integração de transportes (Prefeitura do Recife, 2013; Prefeitura de Fortaleza, 2015; Companhia de Engenharia de Tráfego, 2019).

Em Fortaleza, a extensão da infraestrutura cicloviária cresceu cerca de 68 km ao final de 2012 para cerca de 232,5 km em 2018, sendo 103 km de ciclovias, 125,5 km de ciclofaixas, 3,9 km de ciclorrotas e 0,1 km de passeio compartilhado. Segundo o Plano Diretor Cicloviário Integrado de Fortaleza (PDCI), a meta da rede cicloviária até o final de 2020 é de aproximadamente 524 km de extensão (Prefeitura de Fortaleza, 2018).

O número de mortes em acidentes de trânsito teve redução de 9% no Brasil, passando cerca de 35 mil acidentes em 2017 para aproximadamente 32 mil em 2018, segundo o site do Observatório Nacional de Segurança Viária. Entretanto, os acidentes no trânsito com vítimas

fatais ou feridas envolvendo ciclistas, em Fortaleza, apresentaram um aumento próximo de 215% entre os anos de 2017 (670 acidentes) e 2018 (1438 acidentes) (Prefeitura de Fortaleza, 2020).

Pesquisas sobre o uso da bicicleta procuram investigar como os atributos de uma boa experiência de viagem influenciam na escolha por esse modo de transporte, os quais incluem, dentre outros, a infraestrutura cicloviária, o conforto e a sensação de segurança e proteção durante a viagem (Souza e Kawamoto, 2015; Rodrigues *et al.*, 2019). Existe uma dificuldade, entretanto, em incluir de forma objetiva aspectos relacionados à exposição quantitativa do ciclista (frequência de viagens e distância) em função de características socioeconômicas e perceptivas do ciclista (Cho *et al.*, 2009; Stülpnagel e Lucas, 2020).

Os paradigmas mais recentes da segurança viária, os quais incluem os conceitos de visão zero e sistemas seguros, procuram incorporar uma abordagem mais integrada das dimensões de infraestrutura, veículos, usuários, colocando como elemento central a vulnerabilidade do corpo humano em absorver energia (velocidade e massa) ao colidir com outra massa (Wegman, 2017; Kristianssen *et al.*, 2018; Värnild *et al.*, 2020). Nesse sentido, acredita-se ser desejável a exploração de métodos de avaliação do desempenho da segurança viária que considerem os diferentes fatores contribuintes dos acidentes com bicicletas, procurando estimar suas inter-relações e ainda considerando a natureza predominantemente quantitativa ou qualitativa de um determinado grupo de fatores.

Os modelos de equações estruturais (SEM) têm sido utilizados com sucesso nas áreas de aspectos comportamentais como ciências sociais e economia, e nos últimos anos, nos estudos de segurança viária (Lee *et al.*, 2008). Essa abordagem tem potencial para testar estruturas multivariadas complexas de relações causais considerando a multicolinearidade e o erro de medição (Pearl, 2009; Schumacker e Lomax, 2010). Este trabalho tem por objetivo avaliar a influência da exposição quantitativa, de aspectos socioeconômicos e da qualidade da viagem a partir da percepção dos ciclistas nos acidentes de trânsito na cidade de Fortaleza com a utilização de modelagem de equações estruturais.

2. SEGURANÇA VIÁRIA EM FUNÇÃO DA EXPOSIÇÃO QUANTITATIVA E QUALITATIVA DAS VIAGENS POR BICICLETAS

O padrão de viagens por bicicletas em uma determinada jurisdição é influenciado por fatores que incluem características físicas e comportamentais do ciclista (ex.: idade, sexo e experiência), aspectos socioeconômicos (ex.: nível de renda, ocupação e escolaridade), características físicas das vias (ex.: ciclovia, ciclofaixas e conectividade da rede), oferta de infraestrutura terminal e de integração, características funcionais da via (ex.: volume e velocidade média do tráfego), motivo da viagem, além de características operacionais da viagem como sua duração (Rietveld e Daniel, 2004; Sener, Eluru e Bhat, 2009). Ressalta-se, entretanto, que alguns dos fatores acima afetam, de forma simultânea, a percepção individual do ciclista a respeito da qualidade de sua viagem a qual pode, de forma recursiva, inibir ou incentivar o uso desse modo.

Sob a ótica do desempenho da segurança viária dos ciclistas, observa-se o agrupamento das principais pesquisas em função dos fatores contribuintes relacionados à infraestrutura viária disponível e dos aspectos comportamentais do processo de condução dos ciclistas. O primeiro grupo concentra seus esforços em avaliar a influência de elementos da rede cicloviária e da

infraestrutura viária como a conectividade, implantação de ciclovias e ciclofaixas e dispositivos de sinalização horizontal e vertical, dentre outros (Hamann e Peek-Asa, 2013; Osama e Sayed, 2016, Wall *et al.*, 2016; Chen e Shen, 2016). Dentre as características frequentes aos estudos citados ressaltam-se a agregação, seja temporal (acidentes/ano/entidade) ou espacial (interseções, corredores e zonas de tráfego), inerente às estratégias de modelagem compatíveis com os modelos lineares generalizados ou modelos geponderados e a ausência de elementos de percepção do usuário e de aspectos comportamentais dos ciclistas.

No segundo grupo encontram-se as pesquisas comportamentais com foco em identificar como atributos pessoais como idade, sexo e experiência podem influenciar na propensão a atitude de risco dos ciclistas como o desrespeito a sinalização, não utilização da infraestrutura dedicada, não utilização de capacete, *etc* (Cho, *et al.*, 2009; Souza e Kawamoto, 2015; Useche *et al.*, 2018). Nestes casos, teorias comportamentais, como a teoria do comportamento planejado (TPB - *Theory of Planned Behaviour*) embasam o desenvolvimento de técnicas de aquisição e análise de informações qualitativas que permitem a construção de variáveis não mensuráveis diretamente como a agressividade e a propensão ao risco (Ajzen, 1991; Silveira e Maia, 2015; Lois *et al.*, 2015; Muñoz *et al.*, 2016). Uma característica predominante dessa categoria é a análise do indivíduo, ao invés da entidade.

Geralmente os estudos têm buscado identificar quais indicadores dos grupos acima são os mais importantes na segurança dos ciclistas de modo a contribuir no processo de planejamento estratégico de áreas urbanas (Cho *et al.*, 2009; Souza e Kawamoto, 2015; Chen e Shen, 2016; Al-Mahameed *et al.*, 2019). De forma específica e individual para os ciclistas, além da exposição, representada pelo número e duração das viagens, fatores relacionados à qualidade da infraestrutura, motivo da viagem, além de fatores comportamentais e socioeconômicos podem influenciar no nível de atenção e qualidade das interações com os outros usuários resultando em acidentes de trânsito (Osama e Sayed, 2016; Cho *et al.*, 2019).

Hamann e Peek-Asa (2013) verificaram que vias com infraestrutura destinada para os ciclistas, como pavimento com marcações para facilitar o percurso dos ciclistas, sinalização de faixa compartilhada e sinalização específica, reduzem o risco de acidentes em mais de 60%. O estudo foi realizado nos EUA, utilizando 147 locais que aconteceram acidentes e com o uso de modelos de regressão logística.

Um estudo feito por Cho *et al.*, (2009) através de questionários e modelagem de equações estruturais, avaliam os bairros do condado de Montgomery quanto a percepção das pessoas em relação a segurança para andar de bicicleta no seu bairro (risco percebido) e se esses bairros são realmente seguros (risco real). Os resultados mostraram que os entrevistados que moram em bairros residenciais de baixa densidade têm maior probabilidade de perceber sua vizinhança como perigosa em relação aos moradores de bairros compactos e de uso misto.

Nos modelos de regressão convencionais, os fatores discutidos acima são frequentemente correlacionados, dificultando a caracterização precisa das relações entre as variáveis. Por isso, alguns estudos de segurança viária utilizaram a técnica da modelagem de equações estruturais, visto que, esta é uma boa plataforma para considerar a multicolinearidade, incorporação de variáveis latentes e definição de relações complexas entre as variáveis independentes e as variáveis resposta (Al-Mahameed *et al.*, 2019; Samios *et al.*, 2019; Torres *et al.*, 2019).

3. MÉTODO

Os passos metodológicos aplicados neste artigo foram a análise e a consolidação do banco de dados, seguido pela aplicação da sequência necessária para o desenvolvimento e estimação dos modelos de equações estruturais.

3.1. Análise e consolidação dos dados do PDCI

Este trabalho utilizou uma base de dados desenvolvida pelo Plano Diretor Cicloviário Integrado (PDCI) de Fortaleza - CE. Dentre os objetivos do plano ressaltam-se a redução do índice de acidentes com os ciclistas, tornar mais atrativo o uso da bicicleta com as novas políticas, promover a equidade social no que se refere ao uso da bicicleta e proporcionar a intermodalidade entre os diferentes modos de transporte. Com o objetivo de conhecer a dinâmica de circulação da cidade, o PDCI aplicou um questionário de pesquisa OD (Origem/Destino) em 50 pontos distribuídos espacialmente por Fortaleza.

Através do questionário, foram obtidas informações sobre o perfil do ciclista como gênero, faixa etária, renda e ocupação. Foi identificado também o motivo de deslocamento, a frequência de utilização da bicicleta, os acidentes sofridos pelos ciclistas. Por fim, foram elencados pelos usuários problemas relacionados ao sistema cicloviário de Fortaleza, como problemas nas ciclovias/ciclofaixas, existência de buracos no pavimento, ausência de locais para estacionar e fluxo intenso de motorizados.

Foi realizada a consolidação dos dados, criando uma codificação numérica por categoria para cada variável para utilização no processo de modelagem SEM. A categorização das variáveis foi proposta de forma ordinal no intuito de produzir fatores de carregamento interpretáveis quando analisados em conjunto com as variáveis latentes. Por exemplo, a frequência de uso da bicicleta foi codificada de forma que a categoria de maior valor numérico representa uma maior quantidade de viagens na semana.

A distância foi calculada entre os bairros da origem e destino da viagem informadas pelos ciclistas, computada a partir dos centroides dos bairros. O procedimento foi realizado através do *software* de sistema de informação geográfica QGIS. Os problemas enfrentados pelos ciclistas, os quais poderiam marcar no questionário até três problemas sofridos durante a sua viagem, foram tratados como variáveis binárias, sendo “zero” a não marcação e “um” a marcação do problema enfrentado pelo ciclista.

Foram observados dados faltantes em algumas entrevistas realizadas no âmbito do PDCI. Neste caso, optou-se por adotar a abordagem padrão da modelagem SEM, da biblioteca *lavaan* do programa estatístico R, ou seja, o tratamento por completo em lista, o qual elimina uma linha de entrevista que contenha alguma variável não observada. Foram realizadas 799 entrevistas com ciclistas, entretanto na modelagem, foram utilizadas somente as observações consideradas válidas, 610.

3.2. Desenvolvimento e estimação dos modelos de equações estruturais

A modelagem baseada em equações estruturais (SEM), representada na Figura 1, permite avaliar a significância e a força de uma relação particular no contexto do modelo completo, além de fornecer uma boa plataforma para considerar a multicolinearidade e eliminar o erro de medição, com a utilização das variáveis latentes (não medidas) (Pearl, 2009).

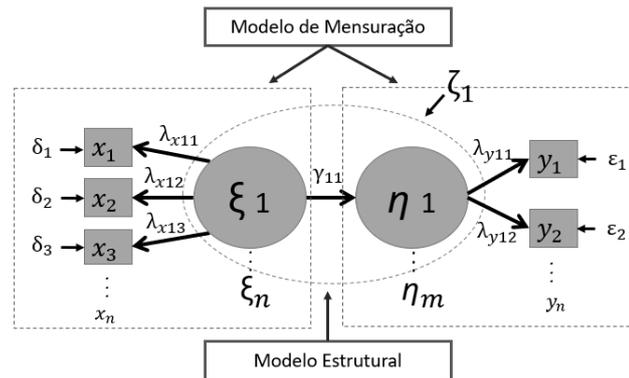


Figura 1: Exemplo de modelo de equação estrutural.

Fonte: Adaptado de Lee et al. (2008).

Na estrutura de caminhos geral, apresentada na Figura 1, os modelos de mensuração assumem as estruturas apresentadas nas Equações 1 e 2.

$$Y = \Lambda_y \eta + \varepsilon \quad (1)$$

$$X = \Lambda_x \xi + \delta \quad (2)$$

Em que Y e X são o vetor coluna de variáveis endógenas e exógenas observadas, respectivamente, e ε e δ são seus respectivos erros de medição. Λ_y e Λ_x são as matrizes de coeficientes das variáveis endógenas e exógenas com seus respectivos indicadores latentes. Em termos do modelo estrutural, o conjunto dessas variáveis é coletado em um vetor η e é expresso pela Equação 3. Para maiores detalhes consultar Lee *et al.*, 2008; Hair *et al.*, 2009 e Schumaker e Lomax, 2010.

$$\eta = \beta \eta + \gamma \xi + \varepsilon \quad (3)$$

Os Modelos de Equações Estruturais possuem uma recomendação de serem feitos por duas etapas: (i) o modelo de mensuração e o (ii) modelo estrutural (Anderson e Gerbing, 1988). O modelo de mensuração é o primeiro passo, nesse são especificadas as relações entre os indicadores (variáveis observadas) e as variáveis latentes (não observáveis). O modelo de mensuração é importante para avaliar a confiabilidade da formação das variáveis latentes, testando a teoria de mensuração pelo fornecimento de evidências sobre a validade de medidas individuais (Hair *et al.*, 2009).

O presente trabalho partiu de um modelo teórico em que, a exposição qualitativa do ciclista, suas características físicas e socioeconômicas e a qualidade da viagem influenciam na ocorrência de acidentes de trânsito sob a ótica dos ciclistas. O modelo estrutural proposto cria um conjunto de hipóteses sobre a relação de dependência do número de acidentes sofrido pelo ciclista com as variáveis latentes *Exposição* (H1), *Características do Ciclista* (H2) e *Baixa Qualidade da Viagem* (H3).

De forma mais específica, a *Exposição* representa as condições de exposição quantitativa do ciclista, as variáveis associadas são a *frequência*, *motivo de deslocamento* e *distância percorrida*. A segunda latente é *Baixa Qualidade da Viagem* e se reflete nos problemas enfrentados pelos ciclistas na visão destes, representando o baixo nível de qualidade na viagem. Os indicadores que refletem a baixa qualidade são *ausência de ciclovias*, *trânsito intenso*, *buracos e problemas no pavimento*, *problemas de iluminação*, *problemas de estacionamento* e *problemas com assalto*. Por último a latente *Características do Ciclista* é a que representa as características socioeconômicas e gerais do ciclista, representada pelos indicadores *renda*,

idade, ocupação e gênero. Todas as variáveis observadas foram obtidas através das respostas do questionário. O modelo de mensuração teórico proposto está na Figura 3.

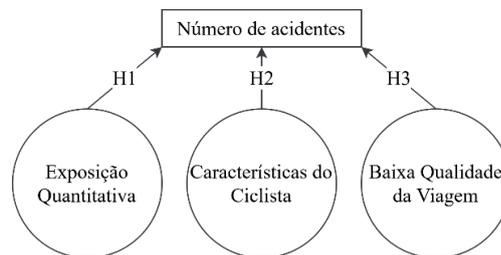


Figura 2: Modelo teórico do estudo.

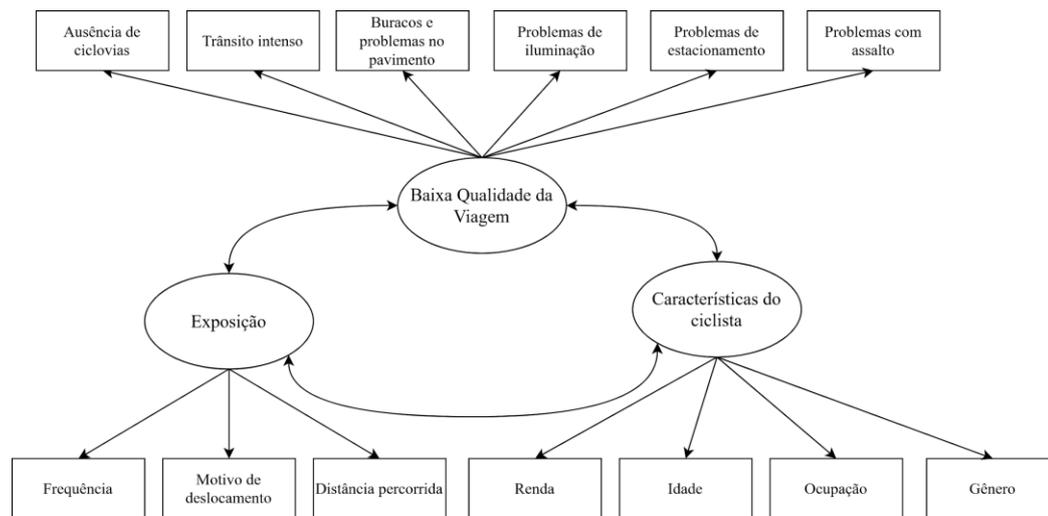


Figura 3: Modelo teórico de mensuração.

As variáveis latentes foram construídas de forma reflexiva, ou seja, alterações na latente provocam alterações nos indicadores. A construção do tipo formativa não foi possível neste trabalho, por questão de identificação dos modelos (Hair *et al.* 2009; Simonetto, 2012). Apesar da limitação imposta para uma possível inferência causal ao nível de mensuração das variáveis latentes, principalmente de exposição e características socioeconômica, acredita-se que a estrutura reflexiva continue com sua validade no campo mais restrito à mensuração das variáveis latentes propostas.

Os modelos foram elaborados seguindo as hipóteses estabelecidas e estimados pelo método dos mínimos quadrados generalizados (WLS), pois não é preciso assumir a normalidade dos dados, servindo para dados categóricos (Lomax e Schumacker, 2010; Brown, 2007). Para a estimação dos modelos foi usado o programa estatístico R com o uso do pacote *lavaan*.

Para avaliar os modelos de mensuração, foram usados os seguintes critérios de qualidade de ajuste: (i) p-valor do modelo com a hipótese nula “O modelo se ajusta bem aos dados”, (ii) o índice de qualidade de ajuste (GFI), onde valores acima de 0,95 indicam um bom ajuste do modelo, (iii) o índice de ajuste comparativo (CFI) que compara o modelo proposto no estudo e o modelo com menor erro possível, valores acima de 0,90 indicam um bom ajuste e (iv) a raiz do erro quadrático médio (RMSE) que está relacionada à diferença nos dados da amostra e ao que seria esperado se o modelo fosse considerado correto, valores abaixo de 0,1 são aceitáveis (Hair *et al.*, 2009).

Em casos que os modelos não foram aceitos pelos critérios de ajustes, foram feitas as seguintes modificações: (i) caminhos significativos e (ii) resíduos padronizados. Caminhos não significativos, ou seja, o p-valor > 0,05 foram eliminados. O modelo de mensuração estima a covariância entre dois indicadores, sendo o resíduo o erro de medição desse par, resíduos padronizados com valor absoluto acima de quatro, foram analisados, assim, determinando quais variáveis são candidatas para a eliminação (Hair *et al.*, 2009).

Após a construção de um modelo de mensuração confiável e válido foi elaborado o modelo estrutural. O modelo estrutural é testado utilizando os mesmos indicadores de qualidade de ajuste do modelo de mensuração. Por fim, os coeficientes e pesos de cada relação são avaliados a partir de intervalos de confiança (IC) de 95%.

4. DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS E RESULTADOS

A Tabela 1 mostra a categorização das variáveis obtidas no questionário e a codificação para a realização da modelagem.

Tabela 1: Variáveis utilizadas no estudo

Latente	Indicadores	Descrição e codificação dos valores de variáveis	Média	Desvio padrão
Exposição	Frequência de uso da bicicleta	esporádico (1); final de semana (2); 1 dia/semana (3); 2 dias/semana (4); 3 dias/semana (5); 4 dias/semana (6); 5 dias/semana (7); dias úteis (8); 6 dias/semana (9); 7 dias/semana (10)	7,48	2,52
	Motivo do deslocamento	casa (1); outros (2); lazer (3); compras (4); estudo (5); trabalho (6); entregas (7)	5,34	1,33
	Distância entre os bairros	[0;2)km (1); [2;4)km (2); [4;6)km (3); [6;8)km (4); [8;10)km (5); [10;12)km (6); [12;14)km (7); [14;16)km (8); [16;18)km (9)	3,32	2,08
Características do ciclista	Renda do ciclista	sem renda (1); com renda (2)	1,91	0,28
	Idade do ciclista	0 a 20 (1); 21 a 50 (2); mais de 51 (3)	2,01	0,46
	Ocupação do ciclista	desempregado (1); estudante (2); empregado / funcionário / aposentado / autônomo (3)	2,82	0,50
	Gênero	mulher (1); homem (2)	1,71	0,45
Baixa Qualidade da Viagem	Problema com ausência de ciclovias e ciclofaixas	não (0); sim (1)	0,45	0,50
	Problema com trânsito intenso	não (0); sim (1)	0,52	0,50
	Problema com existência de buracos e pavimento ruim	não (0); sim (1)	0,39	0,49
	Problema com assaltos	não (0); sim (1)	0,42	0,49
	Problema com ausência de local para estacionar	não (0); sim (1)	0,15	0,36
	Problema com falta de iluminação	não (0); sim (1)	0,10	0,30
	Acidentes notificados pelo ciclista	numérico	0,80	1,36

Conforme descrito na metodologia, inicialmente foi desenvolvido um modelo de mensuração com todas as variáveis observadas com dependência estatística aos seus respectivos construtos. O modelo inicial de mensuração apresentou qui-quadrado (χ^2) = 185,89, graus de liberdade =

62 ($\chi^2/g1 = 2,998$), com valor $p < 0,05$ indicando a rejeição do teste de ajuste exato do modelo. O modelo ainda produziu as métricas CFI = 0,673, RMSE = 0,053, GFI = 0,996, no qual a métrica CFI < 0,9 não indicou um bom ajuste da estrutura proposta.

Em relação ao modelo de mensuração entre as variáveis latentes, observou-se que as relações entre as variáveis *Exposição* e *Características do Ciclista* com a variável *Baixa Qualidade da Viagem* não são significativas. Entre os indicadores e as latentes, todas as relações tiveram carregamento significativos, entretanto, as métricas dos resíduos padronizados demonstraram que as variáveis *problemas de iluminação*, *problemas de estacionamento*, *problemas de buracos* e *gênero* apresentaram valores não compatíveis com um bom ajuste da modelagem. Um valor acima de quatro nas métricas de resíduos padronizados, indica que o modelo proposto não está estimando de forma eficiente tais relações, pois os ajustes de erro incluem todas as relações do modelo completo, se uma única ligação (carregamento) tiver um erro alto e for retirada, isso melhora as métricas do modelo. As variáveis mencionadas foram excluídas do modelo e modelo final de mensuração possui apenas os caminhos significativos especificados e apresentou índices de ajustes aceitáveis, GFI = 0,998, CFI = 0,908 e RMSEA = 0,031.

Vale ressaltar que, o número de observações utilizadas para a modelagem é de 610 entrevistas. Neste caso o qui-quadrado não é uma métrica totalmente confiável, já que ele é influenciado pelo tamanho da amostra. Modelos com mais de 250 observações geralmente apresentam valores significativos para o p-valor (Hair *et al.*, 2009). A partir deste modelo foi elaborado o modelo estrutural, criando caminhos de dependência entre as latentes exógenas *Exposição*, *Características do Ciclista* e *Baixa Qualidade da Viagem* com a variável endógena *número de acidentes notificados pelo ciclista*. O modelo final estrutural está representado na Figura 4.

O modelo apresentou um melhor ajuste que o modelo inicial. A relação de dependência entre a variável *quantidade de acidentes* e *Características do Ciclista* foi retirada por não ser significativa. O valor da relação entre o qui-quadrado e os graus de liberdade foi próxima ao ajuste perfeito de 1 ($\chi^2/g1 = 1,7$). Os indicadores GFI, CFI e RMSE apresentaram um bom ajuste com valores de 0,995, 0,900 e 0,035 respectivamente.

Os indicadores da *Exposição* quantitativa dos ciclistas são a *frequência* ($\beta = 0,68$ IC[0,59;0,77]), o *motivo do deslocamento* ($\beta = 0,81$ IC[0,72;0,91]) e a *distância percorrida* ($\beta = 0,11$ IC[0,03;0,20]). Estas refletem que quanto maior a exposição quantitativa do ciclista, maior vai ser a distância e a frequência das viagens. O motivo de deslocamento é o indicador mais importante para determinar a exposição do ciclista, pois este tem a maior carga relativa, indicando que estudantes, trabalhadores e entregadores estão mais expostos.

Os indicadores da latente *Características dos Ciclistas* são a *renda* ($\beta = 1,01$ IC[0,86;1,15]), a *idade* ($\beta = 0,25$ IC[0,15;0,35]) e a *ocupação* ($\beta = 0,44$ IC[0,31;0,57]). Essa latente considera aspectos como a idade, que poderia estar relacionada a agressividade ou a experiência do ciclista, a renda, que poderia estar relacionada ainda ao conhecimento sobre as normas de trânsito e aquisição, manutenção da bicicleta e melhores atributos de infraestrutura e a ocupação, que poderia estar relacionada ao estresse diário do ciclista. A hipótese desta latente é que as características dos usuários poderiam de alguma forma influenciar na explicação estatística da frequência dos acidentes relatada pelo mesmo.

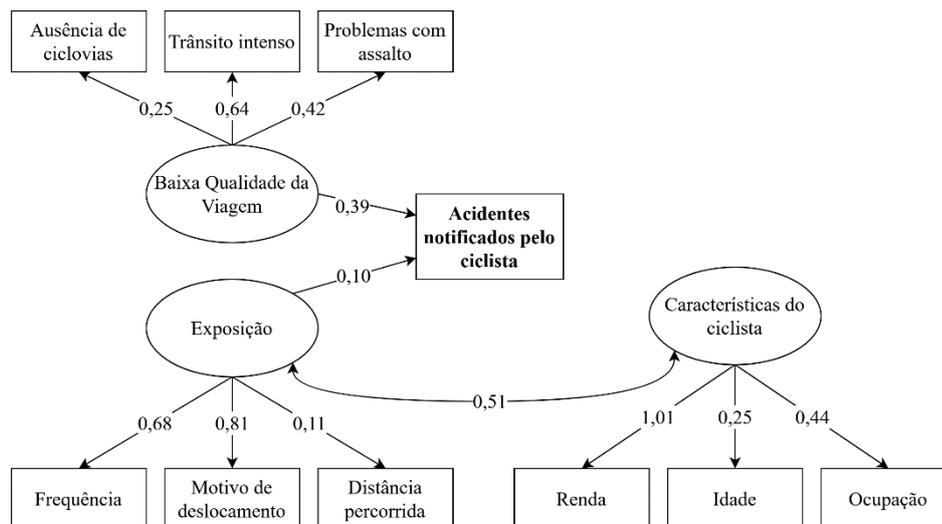


Figura 4: Modelo estrutural.

Para a última latente, *Baixa Qualidade da Viagem*, os indicadores são os *problemas com a ausência de ciclovia e ciclofaixas* ($\beta = 0,25$ IC[0,15;0,35]), com o *trânsito intenso* ($\beta = 0,64$ IC[0,49;0,79]) e com os *assaltos* ($\beta = 0,42$ IC[0,31;0,53]). Essa latente refere-se a exposição da baixa qualidade da viagem realizada pelos usuários, o peso relativo maior da interação com os outros veículos pode sugerir uma ordem de importância maior para esse aspecto, o qual foi seguido pela insegurança pública e ausência de ciclovias. Não foi observada correlação entre exposição e características do ciclista com a baixa qualidade da viagem, sugerindo que pessoas que usam diariamente a bicicleta como seu modo de transporte não deixam de usar por um possível baixo nível da qualidade da viagem.

Existe uma correlação com valor significativo ($\beta = 0,51$ IC[0,39;0,62]) entre as latentes *Exposição* e *Características do Ciclista*. Logo, ciclistas com renda, mais velhos e com ocupações maiores estão suscetíveis a um aumento na exposição. Os resultados do modelo estrutural não indicaram, entretanto, evidências significativas de que as características do ciclista interferem diretamente nos acidentes (H2). Porém seu maior poder explicativo está nas características do ciclista influenciarem os acidentes de trânsito de forma indireta através da variável exposição.

As variáveis latentes *Exposição* ($\beta = 0,10$ IC[0,02;0,17]) e *Baixa Qualidade da Viagem* ($\beta = 0,39$ IC[0,27;0,51]) possuem um efeito direto positivo significativo sobre a variável endógena número de acidentes, não rejeitando as hipóteses H1 e H3, respectivamente. A análise dos efeitos permite verificar comparativamente a importância de cada construto nos acidentes. Observa-se que aspectos voltados aos problemas sofridos pelos ciclistas na percepção destes foram o que apresentaram uma maior influência nos acidentes.

5. CONCLUSÕES

Esse trabalho apresentou uma análise confirmatória da influência de atributos socioeconômicos individuais dos ciclistas, sua exposição ao tráfego e sua percepção da qualidade durante a viagem. A fonte primária de dados foi a pesquisa origem-destino realizada com a aplicação inicial de 799 questionários para caracterizar a dinâmica de circulação no âmbito do Plano Diretor Cicloviário Integrado - PDCI de Fortaleza/CE, realizada em 2013.

Com base na estrutura do questionário e de variáveis usadas na literatura foram estimados os construtos exposição quantitativa, características socioeconômicas do ciclista e baixa qualidade da viagem declarada como problemáticas pelos usuários. Os modelos de mensuração foram propostos considerando todas as variáveis observadas sendo relacionadas diretamente com seus respectivos construtos latentes, considerando-se ainda uma estrutura de influência mútua entre as variáveis latentes (covariância). Em seguida, com o modelo de mensuração testado foi avaliado o modelo estrutural, criando a estrutura relacional de dependência entre as variáveis latentes exógenas e a variável observável endógena.

Em relação a Exposição do ciclista, observou-se que a frequência e motivo de deslocamento foram os fatores de maior importância. Entender como a frequência do uso da bicicleta e o motivo de deslocamento são importantes para determinar a exposição, pode trazer informações relevantes sobre quais usuários as campanhas públicas de conscientização devem focar, de forma a tornar as suas viagens cotidianas mais seguras.

A falta de ciclovias, o trânsito intenso e a insegurança em relação aos assaltos foram os indicadores com o maior peso para definir a variável latente Baixa Qualidade da Viagem para os entrevistados na pesquisa. Naturalmente que as variáveis sugeridas na pesquisa são aquelas mais presentes na literatura, entretanto, o peso relativo da interação com os outros veículos pode sugerir uma ordem de importância maior para esse aspecto, o qual foi seguido pela insegurança pública e ausência de ciclovias.

Esse estudo considerou inicialmente que às Características dos Ciclistas tivessem influência direta na ocorrência dos acidentes, considerando que aspectos como idade pudesse estar relacionada ao cuidado ou agressividade e experiência, mas também revelando possíveis desafios cognitivos de equilíbrio ou tempo de reação. A renda poderia estar relacionada ao conhecimento das normas de circulação. Os aspectos de aquisição e manutenção das bicicletas e a ocupação poderiam estar associados ao nível de estresse ou agressividade em função do uso. Os resultados do modelo estrutural indicaram, entretanto, que essas hipóteses não se sustentaram e as características disponíveis dos ciclistas influenciaram os acidentes de trânsito de forma indireta através da variável exposição.

Não foi observada correlação entre a Exposição e Características do Ciclista com a Baixa Qualidade da Viagem, sugerindo que pessoas que usam diariamente a bicicleta como seu modo de transporte não deixam de usar por possível baixo nível de serviço. Incentivar o uso deste modo beneficia vários aspectos na sociedade, porém é necessário incentivar políticas públicas para aumentar a qualidade das viagens dos ciclistas que utilizam este modo diariamente para trabalhar ou estudar. Em relação às variáveis Exposição e Baixa Qualidade da Viagem o modelo não rejeitou as hipóteses da influência direta nos acidentes de trânsito com ciclistas. Observou-se que a qualidade da viagem, de forma relativa, teve maior influência do que a exposição dos ciclistas.

Apesar da amplitude e relevância das conclusões obtidas neste estudo, principalmente no que diz respeito à confirmação de variáveis indispensáveis ao processo de planejamento de sistemas de transportes mais inclusivos e equânimes, faz-se necessário o registro de suas limitações. A coleta de dados não foi formalmente desenhada para a confirmação do modelo teórico proposto, o que limitou a definição dos construtos (variáveis latentes) e conseqüentemente pode ter influenciado as relações entre as latentes e a variável endógena.

A definição do modelo a partir da estrutura reflexiva para duas das latentes (exposição quantitativa e qualidade da viagem) também deve ser vista com cautela, principalmente para análises que são focadas predominantemente na leitura dos modelos SEM como a “linguagem da causalidade”. Apesar dessa limitação, considera-se que a construção do modelo teórico em si já representa um avanço no processo tradicional de refletir sobre fatores que contribuem para a ocorrência dos acidentes de trânsito e suas relações de dependência.

Recomenda-se a confirmação de parte dos resultados obtidos com o desenho de um novo experimento em outra jurisdição brasileira ou em diferentes níveis de agregação espacial. Além disso, a abordagem SEM, permite que os impactos de políticas públicas a nível municipal sejam avaliados utilizando várias métricas simultâneas, como taxa de acidentes com vítimas feridas, acidentes com danos materiais, além de acidentes categorizados por tipo de usuário e/ou veículo. O possível efeito das variáveis de exposição e qualidade da viagem pode ampliar significativamente a definição/ajuste de políticas públicas existentes com foco na segurança dos ciclistas em áreas urbanas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Funcap) e Secretária Municipal das Finanças – Fortaleza (SEFIN).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ajzen, I. (1991) The Theory of Planned Behaviour. *Organizational Behaviour and Human Decision Processes*, 53(1), 51–58.
- Al-Mahameed, F. J., Qin, X., Schneider, R. J., e Shaon, M. R. R. (2019) Analyzing Pedestrian and Bicyclist Crashes at the Corridor Level: Structural Equation Modeling Approach. *Transportation Research Record*, 2673(7), 308–318. doi:10.1177/0361198119845353
- Anderson, J. C., e Gerbing, D. W. (1988) Structural equation modeling in practice: A review and recommended two-step approach. *Psychological Bulletin*, 103(3), 411–423. doi:10.1037/0033-2909.103.3.411
- Brown, T. A. (2007) *Confirmatory factor analysis for applied research*. (Guilford Publications, Ed) Choice Reviews Online (2o ed, Vol. 44). Guilford Publications, New York: Guilford. doi:10.5860/choice.44-2769
- CET - Companhia de Engenharia de Tráfego (2019). Plano Cicloviário do Município de São Paulo. Prefeitura de São Paulo. Disponível em: <<http://www.cetsp.com.br/consultas/bicicleta.aspx>>. Acesso em: 17 de julho de 2020.
- Chen, P., e Shen, Q. (2016) Built environment effects on cyclist injury severity in automobile-involved bicycle crashes. *Accident Analysis and Prevention*, 86, 239–246. doi:10.1016/j.aap.2015.11.002
- Cho, G., Rodríguez, D. A., e Khattak, A. J. (2009) The role of the built environment in explaining relationships between perceived and actual pedestrian and bicyclist safety. *Accident Analysis and Prevention*, 41(4), 692–702. doi:10.1016/j.aap.2009.03.008
- Da Silveira, M. O., e Maia, M. L. A. (2015) Variáveis que influenciam no uso da bicicleta e as crenças da teoria do comportamento planejado. *Transportes*, 23(1), 24. doi:10.14295/transportes.v23i1.848
- De Sousa, P. B., e Kawamoto, E. (2015) Análise de fatores que influem no uso da bicicleta para fins de planejamento cicloviário. *Transportes*, 23(4), 79. doi:10.14295/transportes.v23i4.928
- Hair, J. F. J., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., e Tatham, R. L. (2009) *Análise Multivariada de Dados*. (Bookman, Ed) (6o ed). Bookman Companhia Editora Ltda, Porto Alegre.
- Hamann, C., e Peek-Asa, C. (2013) On-road bicycle facilities and bicycle crashes in Iowa, 2007–2010. *Accident Analysis and Prevention*, 56, 103–109. doi:10.1016/j.aap.2012.12.031
- Kristianssen, A. C., Andersson, R., Belin, M. Å., e Nilsen, P. (2018) Swedish Vision Zero policies for safety – A comparative policy content analysis. *Safety Science*, 103(November 2017), 260–269. doi:10.1016/j.ssci.2017.11.005
- Lee, J. Y., Chung, J. H., e Son, B. (2008) Analysis of traffic accident size for Korean highway using structural equation models. *Accident Analysis and Prevention*, 40(6), 1955–1963. doi:10.1016/j.aap.2008.08.006

- Lois, D., Moriano, J. A., e Rondinella, G. (2015) Cycle commuting intention: A model based on theory of planned behaviour and social identity. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 32(2015), 101–113. doi:10.1016/j.trf.2015.05.003
- Muñoz, B., Monzon, A., e López, E. (2016) Transition to a cyclable city: Latent variables affecting bicycle commuting. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 84, 4–17. doi:10.1016/j.tra.2015.10.006
- Osama, A., e Sayed, T. (2016) Evaluating the impact of bike network indicators on cyclist safety using macro-level collision prediction models. *Accident Analysis and Prevention*, 97, 28–37. doi:10.1016/j.aap.2016.08.010
- Pearl, J. (2009) *Causality: Models, reasoning, and inference*, second edition. (Cambridge, Ed) Causality (2o ed). Cambridge, University of California, Los Angeles.
- Prefeitura de Fortaleza (2015). Plano Diretor Cicloviário Integrado de Fortaleza (PDCI). Secretária Municipal de Infraestrutura. Disponível em: < https://mobilidade.fortaleza.ce.gov.br/images/pdf/PDCI_FORTALEZA.pdf>. Acesso em: 17 de julho de 2020
- Prefeitura de Fortaleza (2018). Disponível em: < <https://www.fortaleza.ce.gov.br/noticias/prefeitura-de-fortaleza-implanta-novas-ciclofaixas-sinalizacao-viaria-e-semaforos-na-avenida-rogaciano-leite>>. Prefeitura de Fortaleza implanta novas ciclofaixas, sinalização viária e semáforos na Avenida Rogaciano Leite. Acesso em: 17 de julho de 2020.
- Prefeitura de Fortaleza (2020). Relatório Anual de Segurança Viária. Disponível em: < <https://www.unifor.br/web/osv/estatisticas>>. Acesso em: 18 de julho de 2020.
- Prefeitura do Recife (2013). Plano Diretor Cicloviário da Região Metropolitana do Recife. Disponível em: < http://www.cidades.pe.gov.br/c/document_library/get_file?p_l_id=12898&folderId=10787755&name=D_LFE-54901.pdf>. Acesso em: 17 de julho de 2020.
- Rietveld, P., e Daniel, V. (2004) Determinants of bicycle use: Do municipal policies matter? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 38(7), 531–550. doi:10.1016/j.tra.2004.05.003
- Rodrigues, F. S. P., Uriarte, A. M. L., e Cybis, H. B. B. (2019) Impacto de medidas para estímulo ao uso da bicicleta em viagens ao trabalho: estudo de caso envolvendo funcionários da Companhia Riograndense de Saneamento. *Transportes*, 27(2), 42–55. doi:10.14295/transportes.v27i2.1576
- Samios, A. A. B; Larrañaga, A. M, Cybis H. B. B. (2019) Ambiente construído e bem – estar subjetivo: Análise das diferenças entre os usuários dos diferentes modos de transporte. *Transportes*, v.27, n. 3.
- Schumacker, R. E., e Lomax, R. G. (2010) *A beginner’s guide to structural equation modeling*. (Routledge, Ed) (3o ed). Taylor & Francis Group, New York, NY.
- Sener, I. N., Eluru, N., e Bhat, C. R. (2009) An analysis of bicycle route choice preferences in Texas, US. *Transportation*, 36(5), 511–539. doi:10.1007/s11116-009-9201-4
- Simonetto, A. (2012) Formative and reflective models: State of the art. *Electronic Journal of Applied Statistical Analysis*, 5(3), 452–457. doi:10.1285/i20705948v5n3p452
- Torres, C. A., Xavier, V. J. M. e Cunto, F. J. C. (2019) Analyzing the Relationship between Road Safety Pillars and the World Health Organization Member States’ Mortality Rate using Structural Equation Modeling Approach. *Transportation Research Record*, v.2674. doi: 10.1177/0361198120912917
- Useche, S. A., Montoro, L., Alonso, F., e Tortosa, F. M. (2018) Does gender really matter? A structural equation model to explain risky and positive cycling behaviors. *Accident Analysis and Prevention*, 118(January), 86–95. doi:10.1016/j.aap.2018.05.022
- Värnild, A., Tillgren, P., e Larm, P. (2020) What types of injuries did seriously injured pedestrians and cyclists receive in a Swedish urban region in the time period 2003–2017 when Vision Zero was implemented? *Public Health*, 181, 59–64. doi:10.1016/j.puhe.2019.11.019
- von Stülpnagel, R., e Lucas, J. (2020) Crash risk and subjective risk perception during urban cycling: Evidence for congruent and incongruent sources. *Accident; analysis and prevention*, 142(January), 105584. doi:10.1016/j.aap.2020.105584
- Wall, S. P., Lee, D. C., Frangos, S. G., Sethi, M., Heyer, J. H., Ayoung-Chee, P., e DiMaggio, C. J. (2016) The effect of sharrows, painted bicycle lanes and physically protected paths on the severity of bicycle injuries caused by motor vehicles. *Safety*, 2(4). doi:10.3390/safety2040026
- Wegman, F. (2017) The future of road safety: A worldwide perspective. *IATSS Research*. doi:10.1016/j.iatssr.2016.05.003

Vanessa Jamille Mesquita Xavier (vanessajamille@det.ufc.br)

Francisco Altanízio Batista de Castro Júnior (altanizio@alu.ufc.br)

Bruna Mendes Forte (brunaforte1@gmail.com)

Flávio José Craveiro Cunto (flaviocunto@det.ufc.br)

Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará.