



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

FRANCISCO ALTANÍZIO BATISTA DE CASTRO JÚNIOR

**ANÁLISE DA SEVERIDADE DOS ACIDENTES COM MOTOCICLISTAS SOBRE A
ÓTICA DOS SISTEMAS SEGUROS: UM ESTUDO UTILIZANDO MODELOS DE
EQUAÇÕES ESTRUTURAIS**

FORTALEZA

2020

FRANCISCO ALTANÍZIO BATISTA DE CASTRO JÚNIOR

**ANÁLISE DA SEVERIDADE DOS ACIDENTES COM MOTOCICLISTAS SOBRE A
ÓTICA DOS SISTEMAS SEGUROS: UM ESTUDO UTILIZANDO MODELOS DE
EQUAÇÕES ESTRUTURAIS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Flávio José Craveiro Cunto,
PhD

FORTALEZA – CE

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Castro Júnior, Francisco Altanízio Batista de.

Análise da severidade dos acidentes com motociclistas sobre a ótica dos sistemas seguros: um estudo utilizando modelos de equações estruturais / Francisco Altanízio Batista de Castro Júnior. – 2020.
79 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2020.
Orientação: Prof. Dr. Flávio José Craveiro Cunto.

1. Motociclistas. 2. Segurança Viária. 3. Sistemas Seguros. 4. Modelos de Equações Estruturais. I. Título.
CDD 620

FRANCISCO ALTANÍZIO BATISTA DE CASTRO JÚNIOR

**ANÁLISE DA SEVERIDADE DOS ACIDENTES COM MOTOCICLISTAS SOBRE A
ÓTICA DOS SISTEMAS SEGUROS: UM ESTUDO UTILIZANDO MODELOS DE
EQUAÇÕES ESTRUTURAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal do Ceará, como requisito
para o recebimento do título de Engenheiro
Civil.

Aprovada em: 24/09/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Flávio José Craveiro Cunto, PhD. (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Manoel Mendonça de Castro Neto, PhD. (Examinador Interno)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

MSc. Caio Assunção Torres
Autarquia Municipal de Trânsito e Cidadania (AMC)

AGRADECIMENTOS

À Deus.

Aos meus pais por todo amor e paciência e por serem importantes para o meu desenvolvimento.

À minha família, ao meu irmão Kalil, por toda a força e amizade por todos esses anos.

Ao Prof. Flávio, pela orientação durante minha graduação e pelo esforço para contribuir em cada momento deste trabalho. Pelos conselhos para a minha formação acadêmica, profissional e humana.

Ao Prof. Manoel, por ter dedicado um tempo para participar da banca examinadora e pelas contribuições na minha vida acadêmica.

Ao membro da banca, Caio Torres, que aceitou e se disponibilizou a fazer parte deste momento, contribuindo com o presente trabalho.

Aos meus amigos que surgiram ao longo desta graduação, possibilitando agregar experiências e superar dificuldades: Andrezza Almeida e Edgar Galvão.

Ao grupo “panelinha” por tornar está caminhada na graduação em algo mais leve e divertida, fornecendo momentos que guardarei por toda minha vida e por todos os outros momentos que viveremos: Aldaianny, Beliza, Bruno, Harley, Diego, João Lucas, Jonas, Kaio, Isabel, Israel, Luana, Lucas Moreira, Luscas Sousa, Lira, Militão, Pires, Israel, Nilso e Renata.

Ao Grupo de Pesquisa em Segurança Viária: Gabriela Martins, Gabriela Rezende, Timbó, Artur, Mateus, Lucas, Bruna, Tito e em especial à Vanessa, por ter contribuído com o presente trabalho e com a minha vida pessoal e acadêmica.

Ao CNPq pelo incentivo financeiro à pesquisa.

RESUMO

As motocicletas estão cada vez mais presentes nos principais centros urbanos. Existem diversos motivos que incentivam a adoção deste modo, cita-se: sua agilidade e facilidade de aquisição. Devido a sua vulnerabilidade, mesmo com a redução do número de mortes nos últimos anos, em Fortaleza, o motociclista ainda é o usuário com a maior taxa de fatalidade. Os novos paradigmas da segurança viária, Sistemas Seguros e Visão Zero, tentam criar uma cultura de maior segurança com foco em reduzir as lesões graves e fatalidades. As dimensões dos Sistemas Seguros (Usuários, Vias, Velocidade e Veículos) são refletidas por indicadores, variáveis, que tentam formar conceitualmente as dimensões, existindo uma necessidade de uma modelagem que possa representar adequadamente as dimensões e incorporar as múltiplas relações entre as variáveis. Diante deste contexto, esta monografia tem como objetivo principal avaliar a influência das variáveis representativas das dimensões dos Sistemas Seguros na severidade dos usuários de motocicletas em interseções urbanas com a utilização da abordagem dos Modelos de Equações Estruturais (SEM). Para atingir este objetivo, foram utilizados os dados da cidade de Fortaleza para a consolidação de uma base georreferenciada dos acidentes de trânsito incorporando os fatores da interseção. Posteriormente, foram desenvolvidos modelos de mensuração, primeiro, com a criação de um modelo teórico, utilizando indicadores da literatura, em seguida, outro modelo, utilizando as variáveis dos bancos de dados com a devida correspondência entre as variáveis coletadas e os indicadores. Finalmente, foram realizados ajustes e desenvolvido um modelo de mensuração final, o qual foi possível representar as dimensões de forma aceitável. O modelo estrutural proposto, criado a partir do modelo de mensuração final, obteve métricas satisfatórias de ajuste e os resultados demonstraram que as dimensões Usuários Seguros e Veículos Seguros são as que influenciam diretamente na segurança dos motociclistas. Motociclistas mais experientes, veículos mais seguros, adoção de velocidades mais baixas e um desenho da via que vise a segurança dos motociclistas são necessários para alcançar um Sistema Seguro.

Palavras-chave: Motociclistas, Segurança Viária, Sistemas Seguros, Modelos de Equações Estruturais.

ABSTRACT

Motorcycles are increasingly present in major urban centers. Several reasons encourage the adoption of this way, for example, their agility and ease of acquisition. Because of his vulnerability, even with the decrease in the number of deaths in recent years in Fortaleza, Brazil, the motorcyclist is still the user with the highest fatality rate. The new paradigms of road safety, Safe Systems and Vision Zero, try to create a culture of improved safety with a focus on reducing serious injuries and fatalities. The dimensions of Safe Systems: Safe Users, Safe Roads, Safe Speeds, and Safe Vehicles are reflected by indicators or variables, who try conceptually to structure the dimensions. There is a need for modeling that can adequately represent the dimensions and incorporate the multiple relationships between the variables. In this context, this monograph aims to evaluate the influence of the variables representing the dimensions of the Safe Systems using the Structural Equation Models (SEM) approach with a focus on motorcyclists at crossroads. To realize this objective, a georeferenced base of traffic accidents incorporating the intersection factors was consolidated using data from the city of Fortaleza. Subsequently, measurement models were developed, first with the creation of a theoretical model, using indicators from the literature, then another model, using the variables from the databases with the due correspondence between the collected variables and individual indicators. Finally, a final measurement model has developed, with some adjustments, it was able to represent the dimensions acceptably. The proposed structural model, created from the last measurement model, obtained satisfactory metrics of adjustment. The results showed that the dimensions of Safe Users and Safe Vehicles are those that directly influence the safety of motorcyclists. More experienced motorcyclists, safer vehicles, lower speed adoption, and an urban street design aimed at the road safety of motorcyclists are necessary to achieve a Safe System.

Keywords: Motorcyclists, Road Safety, Safe Systems, Structural Equations Models.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 - Dimensões dos Sistemas Seguros.....	18
Figura 2-2 - Velocidades Seguras.....	22
Figura 2-3 - Faixa de acomodação para motocicletas e bicicletas.....	24
Figura 2-4 - Dimensões dos Sistemas Seguros e variáveis	27
Figura 2-5 - Representação do diagrama de caminhos	29
Figura 2-6 - Relação via correlação e relação de dependência	29
Figura 2-7 - Relações em SEM.....	31
Figura 2-8 - Caminhos diretos e indiretos.....	32
Figura 3-1 - Fluxograma com os métodos da monografia	45
Figura 4-1 - Modelo de mensuração com os indicadores consolidados da literatura	51
Figura 4-2 - Verificar o tipo de dados vazios	56
Figura 4-3 - Árvore de decisão dos dados faltantes da variável <i>Idade</i>	56
Figura 4-4 - Modelo de mensuração inicial.....	61
Figura 4-5 - Modelo de mensuração final	62
Figura 4-6 - Modelo estrutural.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 - Alguns estudos de comportamento do usuário que utilizam o SEM	42
Tabela 4-1 - Variáveis do usuário.....	53
Tabela 4-2 - Variáveis do veículo.....	54
Tabela 4-3 - Variáveis do ambiente.....	54
Tabela 4-4 - Variáveis da via.....	55
Tabela 4-5 - Ordem das categorias das variáveis	58
Tabela 4-6 - Tabela de correspondência	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Sistema Antibloqueio de Frenagem
API	Índice de Propensão à Agressividade
CFA	Análise Fatorial Confirmatória
CFI	Índice de ajuste comparativo
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
DETRAN	Departamento Estadual de Trânsito
DF	Graus de Liberdade
DSV	Desempenho da Segurança Viária
DWLS	Mínimos Quadrados Ponderados Diagonalmente
EFA	Análise Fatorial Exploratória
FDSV	Funções de desempenho da segurança viária
GFI	Índice de qualidade de ajuste
GOF	Qualidade de ajuste
ISS	<i>Injury Severity Score</i>
MAR	Perdidos ao Acaso
MCAR	Totalmente Perdidos ao Acaso
MLE	Estimação de Máxima Verossimilhança
MLE	Máxima Verossimilhança
MPA	Modelos de previsão de acidentes
NCAP	Avaliação de Carros Novos
NMAR	Dados Perdidos Não ao Acaso
RMSEA	Raiz do erro quadrático médio de aproximação
RMSR	Raiz do resíduo quadrático médio
SEM	Modelos de equações estruturais
SMC	Associação dos Motociclistas da Suécia
SRMR	Raiz padronizada do resíduo médio
TPB	Teoria do Comportamento Planejado
WHO	Organização Mundial de Saúde
WLS	Mínimos Quadrados Ponderados
WLSMV	Mínimos Quadrados Ponderados Diagonalmente Ajustado pela Média e Variância

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Questões motivadoras	14
1.2	Objetivos.....	14
1.3	Organização da monografia.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1	Novos paradigmas da segurança viária.....	16
2.1.1	<i>Sistemas Seguros e motociclistas</i>	<i>18</i>
2.1.1.1	<i>Usuários Seguros</i>	<i>18</i>
2.1.1.2	<i>Velocidades seguras.....</i>	<i>21</i>
2.1.1.3	<i>Vias Seguras.....</i>	<i>23</i>
2.1.1.4	<i>Veículos seguros.....</i>	<i>25</i>
2.1.2	<i>Resumo das dimensões dos Sistemas Seguros</i>	<i>26</i>
2.2	Modelos de Equações Estruturais.....	27
2.2.1	<i>As relações multivariadas em SEM</i>	<i>30</i>
2.2.2	<i>Processo de modelagem do SEM.....</i>	<i>33</i>
2.2.3	<i>SEM na Segurança Viária</i>	<i>40</i>
3	METODOLOGIA	45
3.1	Elaboração do modelo teórico de mensuração	45
3.2	Consolidação dos bancos de dados da cidade de Fortaleza	46
3.3	Desenvolvimento do modelo de mensuração	47
3.4	Desenvolvimento do modelo estrutural	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1	Elaboração do modelo teórico de mensuração	50
4.2	Consolidação dos bancos de dados da cidade de Fortaleza	51
4.2.1	<i>Definição das variáveis.....</i>	<i>52</i>
4.2.2	<i>Consolidação e limpeza do banco de dados</i>	<i>55</i>
4.3	Desenvolvimento do modelo de mensuração	58

4.4	Desenvolvimento do modelo estrutural	62
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	66
	REFERÊNCIAS.....	69
	APÊNDICE A - MATRIZ DE GRÁFICOS DE DADOS FALTANTES	76
	APÊNDICE B - CORRESPONDÊNCIA DO BANCO DE DADOS COM O MODELO TEÓRICO	77
	APÊNDICE C - COEFICIENTES PADRONIZADOS	78
	ANEXO A - SÍMBOLOS E SIGNIFICADOS DO SEM	79

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, aproximadamente um terço dos acidentes de trânsito envolvem os motociclistas (WHO, 2018). Na cidade de Fortaleza, de acordo com os dados do Relatório Anual de Segurança Viária (2017a), os ocupantes de motocicletas representam a maioria das vítimas fatais no trânsito (49,7%). A situação se agrava em interseções viárias, nas quais as chances são de 34% a mais de ocorrerem vítimas fatais ou com severidade grave em relação ao meio de quadra (SIAT, 2017b; TORRES, 2016).

Segundo a Organização Mundial de Saúde (2018), no Brasil, as motos representam 27% dos veículos registrados em 2016, sendo este um aumento de quase duas vezes em relação ao período de 2001. Na cidade de Fortaleza, no decorrer de dez anos, a frota de motocicletas cresceu três vezes mais que a frota de automóveis, passando de 373 mil para 616 mil no período de 2007 até 2017 (IBGE, 2017). Os fatores que proporcionam o aumento da frota são, principalmente, a baixa atratividade ao transporte coletivo, o baixo custo das motocicletas e a facilidade para se deslocar nas congestionadas vias dos principais centros urbanos (FERREIRA, 2009).

A cidade de Fortaleza, em 2017, registrou uma diminuição nas taxas de mortalidade por 10.000 veículos comparado ao ano de 2016. A taxa dos motociclistas passou de 5,1 para 4,4 (SIAT, 2017a), reforçando que, mesmo com o aumento da frota, os acidentes estão reduzindo, entretanto, o valor da taxa de 2017 dos motociclistas é 20 vezes maior comparado aos veículos de quatro rodas. Um dos fatores que poderia justificar é o fato dos condutores e dos passageiros das motocicletas serem uns dos usuários mais vulneráveis e expostos no trânsito juntamente com os pedestres e os ciclistas (OMS, 2015; SIAT, 2017a).

A abordagem tradicional da segurança viária aponta o fator humano como principal causa das mortes e tenta reduzir o número dos acidentes viários de qualquer severidade. Os novos paradigmas das políticas públicas, Visão Zero e Sistemas Seguros, apontam para uma abordagem mais sistêmica, a qual os acidentes, embora considerados inevitáveis, não deveriam apresentar vítimas fatais ou com severidade grave (WELLE *et al.*, 2018). Sistemas Seguros é uma abordagem mais profunda das causas por trás das fatalidades e das lesões graves no trânsito e engloba, também, o conceito de responsabilidade compartilhada, em que tanto os governos, quanto o setor privado e a sociedade compartilham a responsabilidade de um sistema de transportes seguro (EUDALY, 2019; ITF, 2008; WELLE *et al.*, 2018).

A Visão Zero, por sua vez, é uma estratégia mais ampla que engloba o conceito de Sistemas Seguros com o horizonte de extinguir fatalidades e severidades graves dos acidentes,

não somente do trânsito, mas de todas as interações sociais. Com relação ao trânsito, a Visão Zero e os Sistemas Seguros têm como pilares: Vias Seguras, Velocidades Seguras, Usuários Seguros e Veículos Seguros. De forma que os esforços combinados de avaliação, execução, engenharia, educação e políticas são essenciais para o sucesso das estratégias (EUDALY, 2019; WELLE *et al.*, 2018; WHO, 2018). A Visão Zero foi adotada pela Suécia, em outubro de 1997, como uma nova direção para a segurança viária, resultando em uma redução acima de 60% das fatalidades de motoristas em acidentes de trânsito no período de 2000 a 2010 (KRISTIANSSEN *et al.*, 2018; WEGMAN, 2017).

Em 2008 na conferência de *Tylösand Road Safety* foi apresentado o *Motorcycle Vision 1.0*, primeiro documento introduzindo os motociclistas na Visão Zero. Em 2014 foi lançada uma atualização desse documento abordando de forma específica os fatores que os motociclistas precisam para alcançar a Visão Zero. A visão é baseada em quatro partes: os próprios motociclistas, os outros usuários da via, os fatores da via e a motocicleta (SMC, 2014).

Dentre os fatores que estão associados aos acidentes com motocicletas ressaltam-se os comportamentos e atitudes inapropriados do condutor, a condição ambiental, as condições da via e suas características e aos problemas do próprio veículo (BARBOZA, 2015; CORDEIRO; BARBOSA; NOBREGA, 2018; FONSECA, 2013; NORDQVIST, 2016; RODRIGUES, 2015; SASAKI, 2019; WEDAGAMA; WISHART, 2019). Se por um lado, os novos conceitos e paradigmas dos Sistemas Seguros e da Visão Zero mostram potencial para o direcionamento de ações políticas e medidas eficazes para à redução do número e da severidade dos acidentes, por outro lado, requerem ferramentas de análises mais robustas que sejam compatíveis com suas respectivas premissas e que incluam a relação complexa dos fatores mais frequentemente associados aos acidentes com os motociclistas.

Uma das abordagens mais tradicionais de monitoramento e avaliação do Desempenho da Segurança Viária (DSV) é o uso de Funções de Desempenho da Segurança Viária (FDSV) ou Modelos de Previsão de Acidentes (MPA). Os MPA estimam a frequência de acidentes de um grupo de entidades viárias a partir de atributos do fluxo veicular, geometria e do ambiente de circulação. Entretanto essa abordagem não é muito informativa sobre a relação entre os fatores que influenciam a severidade dos acidentes (HAUER, 2004).

Em relação à severidade dos acidentes, um dos modelos que se destaca é o *Logit* que é um dos capazes de demonstrar a importância das variáveis e suas categorias. Modelos *Logit* ou Logísticos são modelos de regressão que podem ser categóricos e como diferencial podem usar dados ordenados, representando melhor o tipo de estrutura da severidade dos acidentes. Como resultado, obtém-se as “chances” de causa da severidade para cada categoria

dos fatores (COUTINHO; CUNTO; FERREIRA, 2015; IRANITALAB; KHATTAK, 2017; LEE *et al.*, 2018a; TORRES *et al.*, 2019). Modelos *Logit* fornecem as relações dos fatores com a severidade dos acidentes, mas são pouco informativas sobre as inter-relações entre os próprios fatores, pois um único modelo gera somente coeficientes das variáveis independentes com a variável dependente.

As análises de inter-relações em modelos de regressão são geralmente um problema, pois à medida que aumenta a multicolinearidade, ou seja, a extensão em que uma variável independente pode ser explicada pelas outras variáveis independentes na análise, fica mais complicada a interpretação da variável estatística, uma vez que se torna mais difícil verificar o efeito de qualquer variável (HAIR *et al.*, 2009).

Apesar de sua vasta utilização na avaliação do DSV em esforços de seleção de pontos críticos, estudos do tipo “antes” e “depois” e caracterização da influência de fatores na severidade dos acidentes, os MPAs e os modelos categóricos do tipo *Logit* não parecem adequados para lidar com a avaliação do DSV compatível com a estrutura proposta para os Sistemas Seguros. As quatro dimensões conceituais da estrutura proposta, por exemplo, podem ser definidas por construtos ou variáveis latentes, ou seja, não podem ser medidas diretamente, as quais, por sua vez, são formadas por variáveis observadas diversas. Ressalta-se ainda que as variáveis latentes que definem as dimensões dos Sistemas Seguros podem apresentar uma série de inter-relações, a qual não é formalmente considerada nas modelagens do tipo MPA e *Logit*.

A contextualização da problemática apresentada deixa aparente que existem lacunas no desenvolvimento de modelos que possam reproduzir inferências objetivas de inter-relações que existem entre os diversos fatores ligados à geometria e operação da via, características do ambiente, características do motociclista e à severidade dos acidentes.

Modelos de Equações Estruturais (SEM) são uma ferramenta de análise confirmatória e multivariada capaz de explicar as relações entre múltiplas variáveis, descrevendo todas as relações entre as variáveis dependentes e independentes envolvidas na análise através de construtos, os quais são fatores latentes. O uso destes fatores torna esse modelo útil para obtenção das relações complexas existentes entre as variáveis (HAIR *et al.*, 2009; SCHUMACKER; LOMAX, 2010).

O SEM originou-se na década de 30 sendo aplicado inicialmente nas ciências sociais e se tornando um método extremamente popular nessa área (BOLLEN, 1989; GOLOB, 2003; HAIR *et al.*, 2009). Estudos aplicados em segurança viária ganharam força nos últimos anos, apresentando estudos da psicologia direcionados sobre o comportamento dos motociclistas com o uso de questionários (ROSLI *et al.*, 2016; WEDAGAMA, 2015) e estudos

utilizando fatores geométricos da via, características do motorista, tipo de veículo e fatores macroscópicos relacionando com o número de acidentes (LEE; CHUNG; SON, 2008; NAJAF *et al.*, 2018). Estudos que envolvem a análise da severidade dos acidentes dos motociclistas utilizando esta abordagem são poucos, entretanto existem estudos envolvendo a severidade dos outros usuários da via utilizando essa modelagem (HASSAN, 2017; KIM; PANT; YAMASHITA, 2011; LEE *et al.*, 2018b).

Uma compreensão mais abrangente da problemática da severidade dos acidentes envolvendo motociclistas é relevante, pois é uma forma de auxiliar definições de políticas públicas necessárias para o desenvolvimento das abordagens Visão Zero e Sistemas Seguros para os usuários de motocicletas. No entanto, existe uma carência de pesquisas no âmbito do entendimento das inter-relações entre os fatores que caracterizam as dimensões dos Sistemas Seguros ligados a severidade dos acidentes envolvendo os motociclistas.

1.1 Questões motivadoras

O principal questionamento desta monografia é “Na ótica dos Sistemas Seguros, como avaliar o DSV dos usuários de motocicletas em interseções viárias levando em conta as inter-relações existentes entre os fatores que representam as suas dimensões: Usuários Seguros, Vias Seguras, Velocidades Seguras e Veículos Seguros?”

As demais questões pertinentes são i) Quais são as principais variáveis que podem ser utilizadas para caracterizar as dimensões fundamentais do paradigma dos Sistemas Seguros com foco nos usuários de motocicletas? ii) Quais são os bancos de dados necessários para a modelagem da severidade dos motociclistas? iii) Qual modelo mais adequado para medir as dimensões dos Sistemas Seguros? iv) Qual a influência e as inter-relações das dimensões dos Sistemas Seguros na severidade dos acidentes de trânsito envolvendo os motociclistas em interseções na cidade de Fortaleza?

1.2 Objetivos

O presente trabalho visa avaliar o DSV dos motociclistas em interseções viárias, na ótica dos Sistemas Seguros, levando em conta as relações complexas existentes entre os fatores que representam as suas dimensões: Usuários Seguros, Vias Seguras, Velocidades Seguras e Veículos Seguros. Como objetivos específicos, têm-se:

- a) Caracterizar as variáveis que podem formar conceitualmente as dimensões fundamentais dos Sistemas Seguros com foco nos motociclistas;
- b) Consolidar um banco de dados com foco na severidade dos acidentes de trânsito envolvendo os motociclistas em interseções na cidade de Fortaleza;
- c) Elaborar um modelo confiável e válido para medir as dimensões dos Sistemas Seguros;
- d) Avaliar a influência e as inter-relações das dimensões dos sistemas seguros na severidade dos acidentes de trânsito envolvendo os motociclistas em interseções na cidade de Fortaleza.

1.3 Organização da monografia

A monografia foi desenvolvida em cinco capítulos, a contar com a introdução. Estes capítulos buscam seguir uma sequência lógica de definições de conceitos e metodologia necessários para elaboração deste trabalho.

O capítulo dois aborda a revisão bibliográfica sobre as dimensões dos Sistemas Seguros com foco nos motociclistas, apresentando conceitos e características de cada dimensão para a elaboração dos modelos propostos. Este capítulo também aborda os conceitos dos Modelos de Equações Estruturais, apresentando de forma sucinta o entendimento de como esta abordagem funciona e a sua importância para o DSV.

O capítulo três aborda a metodologia aplicada nesta monografia, com os passos necessários para o desenvolvimento de um modelo SEM com o uso de bancos de dados de acidentes e de outros fatores da via. No capítulo quatro, são apresentados os resultados e as discussões obtidas a partir da aplicação da metodologia. No último capítulo, são apresentadas as principais conclusões do estudo, com as considerações finais e limitações enfrentadas, além de sugestões para os trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O capítulo dois desta monografia aborda as principais referências bibliográficas utilizadas sobre o novo paradigma de segurança viária, criando uma fundamentação teórica adequada para a utilização de uma abordagem metodológica, a qual pode fornecer informações valiosas sobre a mensuração das relações entre as dimensões dos Sistemas Seguros e a severidade dos acidentes. Este capítulo também aborda uma revisão da literatura sobre os Modelos de Equações Estruturais (SEM), citando seu processo de modelagem e principais estudos aplicados na segurança viária.

2.1 Novos paradigmas da segurança viária

Sistemas Seguros é uma abordagem que tem como princípios que os humanos cometem erros e são vulneráveis. Em conexão com a Visão Zero tem como elemento principal a extinção das fatalidades e lesões graves no trânsito, abordando o conceito de responsabilidade compartilhada, implicando que tanto os governos quanto os setores privados e a sociedade civil compartilham com os usuários da rede viária a responsabilidade de transformar o sistema de transporte em um sistema seguro (EUDALY, 2019; OECD, 2015; WELLE *et al.*, 2018). A seguir é comentado sobre os quatro princípios dos Sistemas Seguros.

Os humanos são vulneráveis: a severidade do acidente de um usuário está diretamente relacionada a energia cinética do impacto entre o corpo humano e o veículo. Atropelamentos em que as velocidades são acima de 30 km/h têm uma grande probabilidade de haver vítimas com alguma lesão grave ou fatal, pois a curva de probabilidade do risco de fatalidade do acidente aumenta exponencialmente com o aumento da velocidade (EUDALY, 2019; OECD, 2015; ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE, 2018; WELLE *et al.*, 2018).

Pessoas cometem erros: inevitavelmente, os acidentes quase sempre possuem fatores contribuintes advindo de algum erro humano cometido no trânsito, seja por falta de atenção, uso de aparelhos eletrônicos ou agressividade. Porém, a fatalidade e as lesões graves nos acidentes são possíveis de evitar com a adoção de projetos das vias que promovam mais segurança, reduzindo a severidade dos acidentes resultantes de erros humanos (EUDALY, 2019; OECD, 2015; WELLE *et al.*, 2018).

Responsabilidade compartilhada: tradicionalmente, os usuários dos sistemas são os que assumem a maior parte da responsabilidade dos acidentes. Na nova abordagem de Sistemas Seguros, a responsabilidade da segurança é compartilhada com os que projetam, constroem, operam e usam os sistemas (EUDALY, 2019; OECD, 2015; WELLE *et al.*, 2018).

Visão sistêmica e múltiplos elementos de segurança: inevitavelmente, algum elemento do sistema relacionado à segurança viária irá falhar, assim a adoção de vários elementos fornece uma proteção adicional como forma de uma abordagem proativa. Por exemplo, um sistema que fornece uma segurança para os motociclistas deve incluir iluminação pública eficiente, aceitação cultural de velocidades mais lentas, área de espera exclusiva para motocicletas e pessoas educadas sobre como interagir com segurança nas vias (EUDALY, 2019; OECD, 2015; WELLE *et al.*, 2018).

Para transformar um sistema de transportes em um Sistema Seguro é necessário a aplicação de medidas nas dimensões: Veículos Seguros, Vias Seguras, Velocidades Seguras e Usuários Seguros. As interações entre as medidas dessas dimensões se complementam para reduzir significativamente as fatalidades e lesões graves em acidentes de trânsito (EUROPEAN COMMISSION, 2019; ITF, 2016).

Isoladamente, cada dimensão do Sistema Seguro tem um efeito positivo na segurança, mas a união de cada componente maximiza os benefícios dos outros. Por exemplo, a união entre um desenho de uma interseção que proteja os motociclistas e uma motocicleta que foi projetada para ter um desempenho mais seguro neste tipo de interseção resulta na maximização dos efeitos positivos, pois a sinergia entre Vias Seguras e Veículos Seguros promovem uma maior segurança para os motociclistas (EUROPEAN COMMISSION, 2019; ITF, 2016). A Figura 2-1 mostra as dimensões dos Sistemas Seguros.

Figura 2-1 - Dimensões dos Sistemas Seguros



Fonte: Organização Pan-Americana da Saúde (2018), traduzido de *Department of Transport and Main Roads, Queensland* (2015).

2.1.1 *Sistemas Seguros e motociclistas*

Os desenhos viários são, geralmente, construídos sem priorizar os motociclistas como usuários, observando que 95% das vias com mais de 20% de presença de motocicletas e velocidades que fluem a 60 km/h não possuem infraestrutura para as motocicletas (ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE, 2018). A diferença de massa entre os veículos e a natural exposição física dos motociclistas fazem com que, muitas vezes, acidentes envolvendo apenas perdas materiais para usuários de carros podem causar fatalidades ou severidades graves para os usuários de motocicletas. Os motociclistas, por questões de facilidade de mobilidade, tendem a andar em velocidades mais elevadas, portanto é necessário estabelecer uma abordagem de Sistemas Seguros para os motociclistas, visto que, estes têm necessidades diferentes dos outros usuários da via (SMC, 2009).

2.1.1.1 *Usuários Seguros*

A motocicleta é mais exigente para locomoção do que os outros veículos, portanto requer do piloto uma maior habilidade de condução. Nordqvist (2010) fez pesquisas, na Suécia,

mostrando que os motociclistas estão cientes dos riscos envolvidos ao andar de motocicleta e estão preocupados com a segurança tanto quanto os outros usuários.

Os motociclistas devem se preparar para evitar lesões antes mesmo de iniciar sua viagem, portanto o uso de equipamentos de proteção é essencial para evitar o aumento da severidade no caso de acidentes. Segundo Elvik e Vaa (2009), em um estudo que agrega diversos estudos em países desenvolvidos, o uso de capacete reduz cerca de 44% do risco de traumatismos graves e fatais.

Em Fortaleza a lei de uso obrigatório do capacete é respeitada por cerca de 99,7%, porém o uso correto do capacete (devidamente afivelado) é de 93,2% em 2019 (TORRES *et al.*, 2019). A norma que regulariza os capacetes no território brasileiro é a NBR 7471 (ABNT, 2015), a qual descreve os procedimentos e testes necessários para avaliar a capacidade de proteção dos equipamentos.

O uso de vestuário adequado por motociclistas é obrigatório pela lei nº 9.503, instituindo o Código de Trânsito Brasileiro (1997), desde a resolução do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) nº 203 de 2006, porém, a lei não especifica o tipo de vestuário. O uso desses dispositivos de segurança reduz, significativamente, as lesões graves em motociclistas. O uso de jaquetas tem um risco relativo de 0,8, o uso de calças de proteção 0,5 e luvas 0,4, comparando ao não uso do dispositivo, logo os usos de vestimentas de segurança diminuem a severidade do acidente, segundo uma pesquisa australiana utilizando regressão de *Poisson*. A pesquisa foi realizada com 212 acidentes de motociclistas, através de consultas em hospitais e serviços de reparo de motocicletas (DE ROME *et al.*, 2011).

Uma pesquisa feita em Belo Horizonte demonstrou que os motociclistas tendem a não usar equipamentos de segurança, pois 68,6% não usam calça de proteção, 55% não usam luvas e 52,7% não usam botas (CORDEIRO; BARBOSA; NOBREGA, 2018). Os equipamentos de proteção ainda podem ser protetores de costas para evitar lesões na coluna, proteções no pescoço e no peito.

Um problema recorrente dos motociclistas é o de conspicuidade, ou seja, não serem vistos pelos outros usuários. Mais da metade das respostas de um questionário aplicado com motociclistas, na Suécia, afirmaram que quase colidem uma ou mais vezes por ano por motivos de visibilidade (NORDQVIST; GREGERSEN, 2010).

Usuários de veículos de duas rodas que usam vestimentas com artifícios luminosos, reflexíveis e fluorescentes são mais notados no trânsito. Estudos mostram que a utilização dessas vestimentas reduzem os acidentes no decorrer no dia e principalmente no escuro (HUANG; PRESTON, 2004; PINTO, 2013). Em uma pesquisa, nos Estados Unidos, com 321

acidentes com motociclistas, utilizando o índice *Injury Severity Score* (ISS), o qual é calculado levando em ênfase a quantidade e o local das lesões sofridas pelo motociclista. O índice varia de 1 até 75, indicando que acima de 9 é considerado uma severidade grave. Na pesquisa foi encontrado, controlando vários outros fatores, que os motociclistas com roupas reflexíveis têm o menor ISS (em média de 1,88) (WALI; KHATTAK; AHMAD, 2019).

Motociclistas inexperientes e sem habilitação estão envolvidos em uma grande parcela dos acidentes fatais. Existe a cultura da obtenção da licença de dirigir da forma mais rápida possível, ignorando o comportamento relevante de segurança e o desenvolvimento de cidadania (DEPARTMENT OF TRANSPORT & MAIN ROADS - QUEENSLAND, 2015; HOFFMANN, 2005; LIN; KRAUS, 2009; NORDQVIST, 2016; SMC, 2014).

Wali, Khattak e Ahmad (2019) realizaram uma pesquisa, nos Estados Unidos, utilizando o ISS, o estudo demonstrou que motociclistas experientes, os quais tiveram um curso de pilotagem, reduzem o índice ISS em 8,20 unidades.

A educação básica é um dos fatores importantes para garantir a segurança dos motociclistas (LILLEHAMMER, 2008). O treinamento avançado para motociclistas, no Brasil, não é uma realidade, entretanto na Suécia esse tipo de educação é realizado desde 1973. O treinamento avançado é uma forma de aumentar a segurança para os motociclistas, fornecendo um maior conhecimento, habilidade e conscientização dos riscos. Os problemas de acidentes, no Brasil, são geralmente em vias urbanas, visando que, uma melhor especialização no treinamento dos motociclistas no desenho urbano aumentaria a conscientização dos risco da execução de comportamentos de risco (PINTO, 2013; SASAKI, 2019; SMC, 2014).

É comum encontrar grupos de motociclistas que compartilham informações e conselhos nas redes sociais ou em locais especializados. Criar uma cultura de compartilhamento de segurança entre motociclistas experientes e inexperientes é uma alternativa para conscientizar os motociclistas (PINTO, 2013; SMC, 2014; WEDAGAMA, 2015).

Na Suécia um terço dos acidentes envolvendo motocicletas são de condutores sem habilitação e em países de baixa e médias renda foi identificado cerca de 67%. É importante que todos os motociclistas estejam habilitados, pois estes passam por um treinamento e são educados sobre segurança no trânsito (NORDQVIST; GREGERSEN, 2010; SHAKER et al., 2014; SMC, 2014).

Existem inconformidades de estudos sobre a idade dos motociclistas sobre o comportamento de segurança e a relação com a severidade dos acidentes. Uma pesquisa em Fortaleza, utilizando regressão logística, mostrou que as pessoas com mais de 18 anos têm 5 vezes mais chances do que as pessoas menores de idade de usarem o capacete (TORRES *et al.*,

2019). Outra pesquisa em Fortaleza, utilizando modelos logísticos ordenados, separando a idade em até 21 anos, entre 21 e 40 anos, entre 41 e 60 anos e acima de 60 anos, obteve que quanto maior a idade maior a probabilidade de haver uma severidade fatal, as probabilidades estimadas são, respectivamente, 0,021, 0,028, 0,038 e 0,048 (COUTINHO; CUNTO; FERREIRA, 2015).

Outra questão é a junção do consumo de bebidas alcoólicas e direção pelos motociclistas, porém apenas 0,88% dos motociclistas estavam acima do limite de álcool, em uma pesquisa realizada, em Fortaleza, em 2019, pela *Bloomberg Philanthropies Initiative for Global Road Safety* (2019). Na pesquisa foi observado, também, que a razão de chances de motociclistas estarem acima do limite alcoólico era de 0,85 em relação aos outros motoristas. Motociclistas alcoolizados aumentam em 15,61 unidades o ISS, de acordo com a pesquisa, citada anteriormente, de Wali, Khattak e Ahmad (2019). O limite estabelecido no Brasil é de 0,04 miligramas de álcool por litro de ar alveolar de acordo com a lei 11.705 (2008).

2.1.1.2 Velocidades seguras

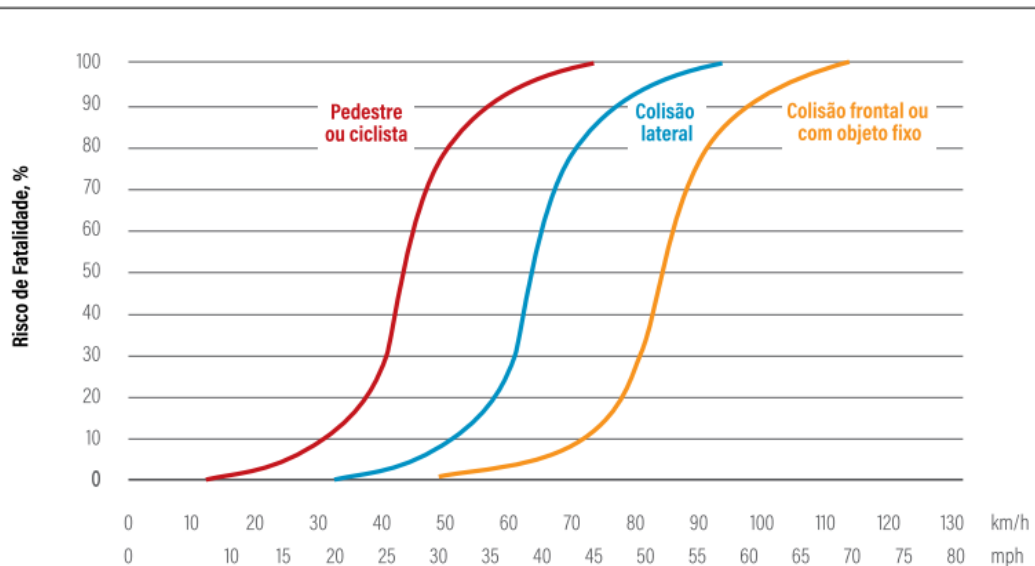
Um dos pontos mais importantes que está ligado a severidade dos acidentes envolvendo motociclistas é a velocidade, pois acidentes com usuários vulneráveis acima de 30 km/h correm grandes riscos de serem fatais. O desenho urbano muitas vezes é feito pensando na segurança das pessoas que viajam de carro, logo limitar a velocidade legal para 30 km/h não garante zero fatalidades. Cerca de 80% dos acidentes, na região norte do Ceará, com motociclistas observou-se que estes trafegaram acima da velocidade limite e isso é preocupante, pois quanto maior a velocidade e o peso do veículo colidido maior é o risco da severidade (BARBOZA, 2015).

A alta velocidade é um importante fator preditor de óbitos e determinante do tempo de sobrevivência, destacando que os acidentes que evoluíram para óbito, em uma pesquisa realizada na região norte do estado do Ceará, ocorreram em velocidades acima do permitido para a via (BARBOZA, 2015).

O aumento de uma unidade na velocidade em *mph* (milhas por hora) aumenta o ISS em 0,27 unidades (WALI; KHATTAK; AHMAD, 2019). Velocidades entre 80 km/h e 120 km/h têm 26,4% mais probabilidade de aumento da severidade, de acordo com um estudo realizado com os dados de 2007 no estado da Flórida nos Estados Unidos (AZIMI *et al.*, 2020).

A Figura 2-2 apresenta o risco da fatalidade em relação a velocidade para os usuários vulneráveis (vermelho) e para os automóveis (azul e laranja). O aumento da velocidade está diretamente ligado ao aumento da energia cinética, levando às severidades mais elevadas.

Figura 2-2 - Velocidades Seguras



Fonte: Welle *et al.* (2018), traduzido de Wramborg (2005).

Priyantha (2019) realizou um estudo, em Bali, na Indonésia, indicando que o motociclista tende a adotar atitudes arriscadas, por exemplo, velocidades mais elevadas e passagem entre veículos, quando em sua percepção este tem algum grau de controle.

O comportamento não conforme das motocicletas muitas vezes não é respeitado pelos motoristas, os quais não concordam que as motos possam andar com maiores velocidades em vias congestionadas. Estima-se que motociclistas desenvolvem velocidades 11% maiores que os carros (SASAKI, 2019).

O desenho urbano interfere diretamente na velocidade adotada pelas motos e outros veículos. Fiscalização eletrônica, faixas elevadas, extensões de meio-fio, canteiros centrais, ilhas de refúgio e rotatórias são elementos que interferem na adoção da velocidade pelos veículos (WELLE *et al.*, 2018).

Outros fatores que interferem são: ambientes com muitos pedestres, uso do solo mais residencial ou escolar, hora do dia, pistas molhadas, fiscalização e classificação da via. Estes levam os motociclistas a adotarem velocidades mais seguras (LIN; KRAUS, 2009; NORDQVIST; GREGERSEN, 2010; SASAKI, 2019; SMC, 2014; WELLE *et al.*, 2018). A fiscalização por câmeras de monitoramento eletrônico influencia os motociclistas de forma

positiva visto que muitas vezes estão cientes dos locais onde tais equipamentos estão instalados e tomam atitudes mais seguras. Os dispositivos têm como objetivos fiscalizar e inibir a realizações de infrações de trânsito como avanço semafórico, velocidade acima do limite e parada em cima da faixa de pedestre (SASAKI, 2019). Uma pesquisa nos Estados Unidos demonstrou que em interseções, com fiscalização eletrônica, as colisões com fatalidade diminuíram de 4 a 48%, entretanto as colisões traseiras aumentaram em 0,4 a 10% (LEE *et al.*, 2014). Isso vai em favor ao novo paradigma que visa exterminar os acidentes com vítimas e com feridos graves, visto que, colisões traseiras são, geralmente, apenas com danos materiais.

2.1.1.3 Vias Seguras

Um dos fatores que influenciam nos acidentes de motos é o número de faixas da via e a largura das faixas. Um estudo mostrou que um número maior que seis faixas têm uma influência relativa de -0,24 em relação a menos de seis faixas. Faixas entre que 2,70 e 3,00 m têm uma influência relativa de em média 0,56 em relação a faixas maiores que 3,35 m no número de acidentes envolvendo motociclistas, utilizando modelos binomial negativo bayesiano. O estudo resulta, portanto, que vias com mais faixas e estas mais largas são mais seguras (FLASK; SCHNEIDER; LORD, 2014).

Cidades suecas obtiveram um maior aumento da segurança, permitindo que motociclistas trafeguem em faixas exclusivas de ônibus, melhorando a visibilidade e reduzindo o número de conflitos. Em algumas cidades europeias, as faixas de ônibus, também, são para os usuários vulneráveis de duas rodas, assim, segregando esses dos outros usuários (SMC, 2014). Entretanto uma pesquisa feita na França, na cidade de Marselha, em 13 estradas, resultou que veículos motorizados de duas rodas têm em média 3,25 mais chances de envolver em um acidente trafegando na faixa exclusiva de ônibus do que nas faixas de tráfego geral (CLABAUX; FOURNIER; MICHEL, 2014).

A cidade de São Paulo, em 2006, implantou a primeira Faixa Exclusiva de Motocicletas e em 2010 foi implantada a segunda faixa exclusiva. O número de acidentes nestes trechos aumentou, em média, 110% no primeiro ano e 84% no segundo e após a desativação das faixas os acidentes reduziram em 36%. O sistema não foi suficiente para isolar os motociclistas totalmente dos outros usuários da via, criando uma ilusão de segurança, aumentando a exposição ao risco para todos os usuários (GST; DPS, 2014).

As cidades de São Paulo e Fortaleza iniciaram suas campanhas de Sistemas Seguros e algumas medidas foram focadas nos motociclistas. Frente segura é o conjunto de medidas

adotado pela Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo para alcançar esse novo paradigma. Para melhorar a segurança das motocicletas, foi implementada uma sinalização horizontal, a qual delimita uma área exclusiva de espera para as motocicletas. Em Fortaleza, essa sinalização é denominada de Faixa de acomodação para motocicletas e bicicletas, comumente conhecida como “motobox”, representada na Figura 2-3 (COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO, 2015).

Figura 2-3 - Faixa de acomodação para motocicletas e bicicletas



Fonte: Companhia de Engenharia de Tráfego (2015).

A sinalização está localizada entre a faixa de pedestre e a faixa de retenção dos automóveis e demais veículos parados no sinal vermelho, diminuindo os conflitos veiculares e aumentando a visibilidade. A implantação foi avaliada em 54 cruzamentos, reduzindo em 25% o número de acidentes com motociclistas (COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO, 2015).

As vias são classificadas em um sistema de estrelas com relação a segurança na Europa, nos Estados Unidos e na Austrália. A *European Road Assessment Program* (EuroRAP), iniciada em 2001, desenvolveu protocolos para o ranqueamento da segurança baseado em “estrelas”, considerando as velocidades e a mistura de tráfego do local. O sistema de ranqueamento estimula a existência de vias com 5 estrelas, pois estas apresentam somente um risco de 10% de uma via de uma estrela, sendo uma redução dos custos de mais de 10 vezes com relação as fatalidades (DANIELLO *et al.*, 2010; ITF, 2016). A classificação em estrelas leva em conta as características da via como a seção transversal, a marcação da linha, sinalização e desenho funcional, minimizando o potencial do erro humano, além de atenuar

quando os erros acontecem, de forma que, as consequências dos erros não resultem em lesões serias (ITF, 2016).

2.1.1.4 Veículos seguros

Desde a inicialização do Sistema de Avaliação de Carros Novos (NCAP), em 1994, nos Estados Unidos, os veículos estão sendo classificados em um sistema de ranque em cinco estrelas, ajudando na redução das fatalidades no trânsito, pois apresentam uma melhor eficiência na segurança. A classificação é realizada através de diversos testes nos veículos novos antes da sua comercialização, também, o sistema de estrelas encoraja os consumidores a comprarem veículos mais seguros (HACKNEY; KAHANE, 1995; ITF, 2016).

Estudos na Europa mostram que os acidentes causados por problemas na motocicleta são poucos, pois, geralmente, os motociclistas têm um maior cuidado com a sua motocicleta fazendo manutenções periódicas. O desenho do veículo é pouco eficaz em relação aos equipamentos de proteção individual, visto que, nos acidentes os motociclista e os passageiros são, comumente, ejetados do veículo (SMC, 2014). Os autores Möller *et al* (2020) e Nguyen-Phuoc *et al* (2019) analisaram os fatores que influenciam nos acidentes envolvendo as motocicletas. Os dois estudos encontraram que os fatores relacionados as motocicletas, como o tipo (automática ou manual e esporte ou normal) e o tamanho do motor, não foram significantes, entretanto, existe um esforço das montadoras para equipar as motocicletas com tecnologias que favoreçam a segurança.

Os sistemas de segurança podem ser divididos em ativos e passivos. Os sistemas ativos servem para impedir a ocorrência de falhas, por meio de suporte constante ao usuário ou por intervenções em uma situação de emergência. Sistemas passivos são sistemas de mitigação do acidente que servem para reduzir a severidade, uma vez que ocorreram. Os ativos podem ser sistema antibloqueio de frenagem, sistema de controle de tração, monitor de pressão dos pneus e sistemas de faróis adaptáveis. Os passíveis podem ser *airbags*, sistemas de notificação da ocorrência do acidente e luzes de emergência (BAYLY; HOSKING; REGAN, 2006).

O Sistema Antibloqueio de Frenagem (ABS) evita que as rodas travem, possibilitando que o motociclista tenha um maior controle da motocicleta durante um movimento de frenagem em situações de emergência. Estudos mostram que esse tipo de controle diminui consideravelmente o número de vítimas fatais e com lesões graves. Em um estudo, nos Estados Unidos, a taxa de fatalidade obtida é 37% mais baixa em modelos com ABS (RIZZI; STRANDROTH; TINGVALL, 2009; SMC, 2014; TEOH, 2011). No Brasil todas

as motos comercializadas no território brasileiro devem ter ABS de fábrica em 2019, desde a norma do Contran, a qual foi efetuada em 2016.

O sistema de controle de tração promove uma maior segurança para os motociclistas, melhorando o desempenho do controle do deslizamento da roda traseira (motriz), aprimorando a eficiência e a segurança em curvas (VECCHIO *et al.*, 2009).

O monitor de pressão dos pneus é um equipamento importante, pois uma pressão errada no pneu afeta, de forma significativa, o desempenho e a segurança da motocicleta. O sistema de monitoramento de pressão dos pneus alerta para o motociclista da necessidade da manutenção preventiva na adequação da pressão dos pneus (BANSAL *et al.*, 2016).

Os sistemas de faróis adaptáveis das motocicletas garantem que a iluminação seja projetada no caminho pretendido pelos motociclistas. A posição é ajustada de acordo com a velocidade e a posição da motocicleta, melhorando a visibilidade (AMBAK; ATIQ; ISMAIL, 2009).

Os *airbags* para motos são equipamentos que reduzem a energia do impacto no acidente, reduzindo a severidade e uma inovação é a adoção de jaquetas infláveis, que amenizam a energia durante a queda. Estima-se que o *airbag* para o motociclista reduz em 44% as severidades nos acidentes (BAYLY; HOSKING; REGAN, 2006).

Sistemas de notificação automática de colisão detectam através de sensores de velocidades, inclinação e desaceleração a ocorrência de uma colisão, notificando automaticamente os serviços de emergência. Sistemas de iluminação de emergência iluminam o veículo após o acidente, melhorando a visibilidade do veículo danificado para os outros usuários (BAYLY; HOSKING; REGAN, 2006).

Todos esses sistemas e equipamentos fazem parte dos Sistemas de Transporte Inteligente (ITS), os quais têm o potencial de aumentar, significativamente, a segurança dos motociclistas. Os ITS ainda não são uma realidade no cenário brasileiro, mas espera-se que no futuro estes equipamentos estejam disponíveis para a grande maioria dos usuários, criando uma cultura de veículos seguros (SMC, 2014).

2.1.2 *Resumo das dimensões dos Sistemas Seguros*

Os novos paradigmas de segurança viária estão focados na severidade dos acidentes, portanto é fundamental um conhecimento mais aprofundado dos fatores que influenciam na severidade dos motociclistas em acidentes viários. Para isso, foi realizada uma revisão da literatura acerca dos principais fatores que caracterizam as dimensões dos Sistemas

Seguros nos acidentes envolvendo os motociclistas. É notável a necessidade de elucidações a respeito das inter-relações entre as dimensões e a severidade do acidente. O resumo das dimensões está na Figura 2-4.

Figura 2-4 - Dimensões dos Sistemas Seguros e variáveis

Usuários Seguros	Velocidades Seguras	Vias Seguras	Veículos Seguros
<ul style="list-style-type: none"> • Equipamentos de proteção • Vestimentas que melhorem a visibilidade • Experiência • Idade • O não uso de bebidas alcoólicas e drogas na direção • Educação e habilitação 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso do solo • Condições climáticas • Hora do dia • Fiscalização eletrônica • Classificação da via e velocidade limite 	<ul style="list-style-type: none"> • Número de faixas • Largura das faixas • Faixa de acomodação para motocicletas • Condições da via • Desenho da via • Iluminação • Sinalização • Sistema de classificação das vias em cinco estrelas 	<ul style="list-style-type: none"> • ABS • Controle de tração e estabilidade eletrônica • Monitor de pressão dos pneus • Faróis adaptáveis • Airbags • Sistema de classificação dos veículos em cinco estrelas

Fonte: O autor.

2.2 Modelos de Equações Estruturais

Segundo Lomax e Schumacker (2010) e Hair *et al.* (2009), os modelos de equações estruturais (SEM) são uma família de técnicas estatísticas para avaliar e modificar modelos teóricos de possíveis inter-relações entre as variáveis observáveis e não observáveis diretamente. Os SEM permitem ao pesquisador obter um sistema de mensuração indireta de variáveis não observáveis, denominadas de latentes ou construtos, e a definição da estrutura de inter-relações entre múltiplas variáveis dependentes e independentes.

O modelo de equação estrutural originou-se na década de 30 sendo aplicado inicialmente nas ciências sociais e se tornando um método extremamente popular nessa área (BOLLEN, 1989; GOLOB, 2003; HAIR *et al.*, 2009). Um exemplo para ilustrar uma variável latente, são os aspectos da psiquiatria que não podem ser medidas diretamente, como a depressão. Os indicadores, variáveis observáveis, que estão ligadas a depressão são desesperança, sentimento de culpa, retardo psicomotor e distúrbios do sono. Estes são moderadamente correlacionados e têm a influência compartilhada da depressão (BROWN, 2007).

O SEM é uma modelagem multivariada, capaz de utilizar diversos tipos de dados, como categóricos e ordenados, e se difere de outras técnicas por utilizar regressão e análise fatorial em conjunto. Análise fatorial é, simplificada, o agrupamento de variáveis que são inter-relacionadas em conjuntos chamados fatores ou construtos no caso do SEM. Existem tipos de análises fatoriais, por exemplo, a Análise Fatorial Exploratória (EFA), que explora os dados buscando por uma estrutura entre as variáveis, definindo construtos em termos de conjunto de variáveis, cada variável tem uma carga sobre cada construto, assim, obtendo quantos construtos são necessários para representar os dados. No SEM o modelador deve definir as variáveis de cada construto, logo uma das partes do SEM é chamada de Análise Fatorial Confirmatória (CFA) (HAIR *et al.*, 2009).

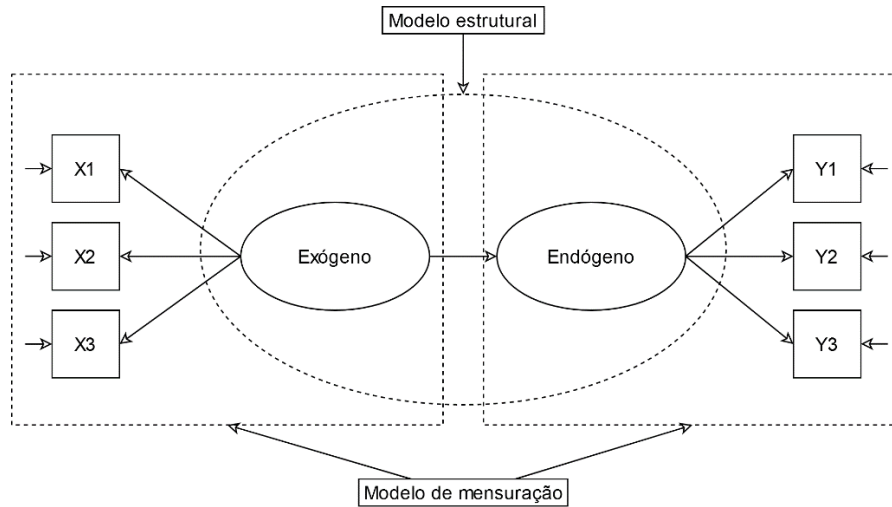
Segundo Hair *et al.* (2009), os SEM são definidos por três características: i) estimação de relações de dependência múltiplas e inter-relacionadas; ii) uma habilidade para representar conceitos não observados nessas relações e corrigir o erro de mensuração no processo de estimação e iii) definição de um modelo para explicar o conjunto inteiro de relações.

Existem construtos de dois tipos: os exógenos e os endógenos. Variáveis latentes exógenas são aquelas que seus indicadores são independentes (Xs) e endógenas são que seus indicadores são dependentes (Ys). Nesse contexto, ainda temos que quando os indicadores têm uma relação de dependência com uma latente este é denotado de modelo de mensuração e quando um construto tem uma relação de dependência com um outro construto este é denotado de modelo estrutural (HAIR *et al.*, 2009).

No modelo de mensuração é especificado todas as relações entre os indicadores e as variáveis latentes. 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. O modelo de mensuração é limitado em examinar a natureza de relações entre construtos apenas com uma simples correlação, portanto é somente um meio para a meta de examinar as relações entre construtos, e não propriamente a meta em si, testando se os indicadores propostos para a mensuração dos construtos estão de fato definindo a variável latente de forma confiável e válida (HAIR *et al.*, 2009).

O modelo estrutural define as relações de dependência entre as latentes para testar uma teoria estrutural estabelecida, nos SEM o pesquisador baseia-se em experiência prévia e teoria para distinguir quais variáveis independentes preveem cada variável dependente (HAIR *et al.*, 2009). Os dois modelos podem ser representados visualmente por um diagrama de caminhos, um exemplo é demonstrado na Figura 2-5.

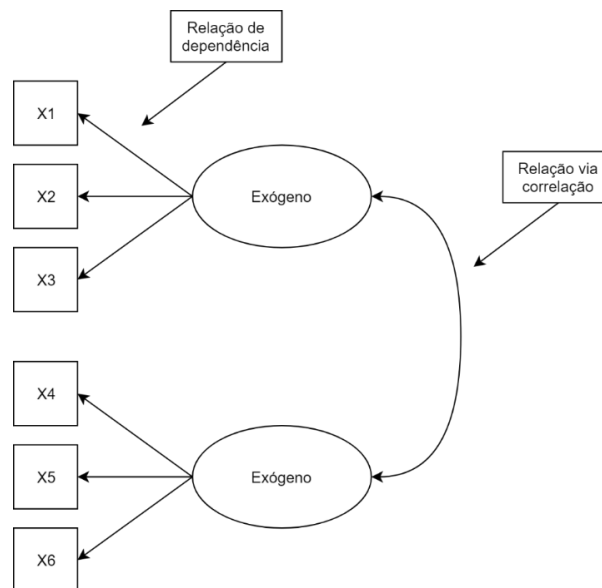
Figura 2-5 - Representação do diagrama de caminhos



Fonte: Adaptado de Lee *et al.* (2008) e Hair *et al.* (2009).

Na representação do diagrama dos caminhos as setas unidirecionais mostram uma relação de dependência entre as variáveis, representando os pesos de cada variável, e as setas de bidirecionais representam as relações de correlação entre dois construtos exógenos. Este último está representado pela Figura 2-6. É usual acreditar que podem existir construtos correlacionados, mas não dependentes um do outro. Um construto exógeno não pode compartilhar uma relação de correlação com um endógeno, somente dependência (HAIR *et al.*, 2009).

Figura 2-6 - Relação via correlação e relação de dependência



Fonte: Adaptado de Hair *et al.* (2009).

Os SEM são importantes não para estabelecer uma causalidade e sim para fornecer alguma evidência necessária para embasar uma inferência causal, além, de fornecer as inter-relações entre as variáveis utilizadas na modelagem. A sequência temporal de eventos é uma exigência da causalidade, em outras palavras, se a causa acontecer depois do efeito não se pode estabelecer uma inferência de causa. O SEM não fornece essa evidência, sendo necessário que o modelador teste primeiramente as variáveis em experimentos por meio de manipulações.

A chamada relação ilegítima é quando um evento não incluído na análise explica tanto a causa como o efeito. Pode-se reforçar a ideia de causa-e-efeito entre construtos, quando ao adicionar novas variáveis, as relações não se alteram (HAIR *et al.*, 2009). Causalidade é um assunto complexo que deve ser analisado com cuidado, existindo uma discussão sobre a aplicação do SEM nessa questão, a qual não será abordada neste documento (PEARL, 2009; SCHUMACKER; LOMAX, 2010).

2.2.1 As relações multivariadas em SEM

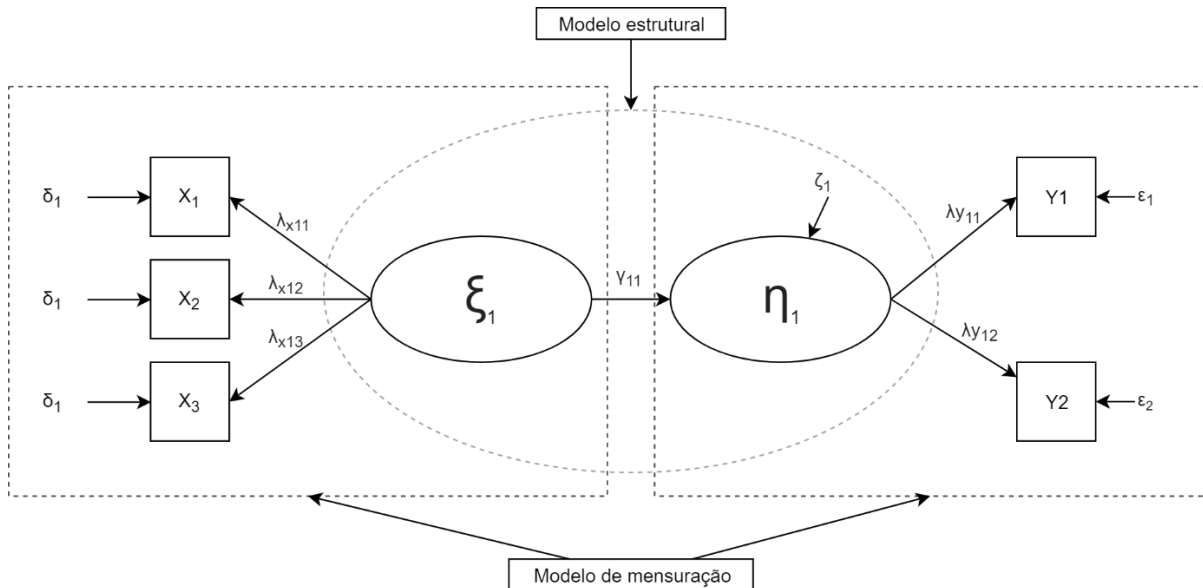
O SEM se difere de outras técnicas multivariadas por usar covariância e não variância. Covariância é o valor não padronizado que mede o quão fortemente duas variáveis estão relacionadas, ou seja, valores grandes de uma variável estão relacionados a tender a valores grandes da outra variável e o mesmo ocorre para valores pequenos. Para o desenvolvimento do modelo utiliza-se a matriz de covariância estimada (Σ), a qual é obtida a partir das estimativas dos parâmetros de cada caminho do modelo, assim, obtendo todos os valores da matriz de covariância observada (S) no sentido inverso, portanto um bom modelo é aquele que $|S - \Sigma|$ seja o mais próximo de zero. A Figura 2-7 demonstra os caminhos de uma modelagem SEM contendo uma variável latente endógena (η) e uma exógena (ξ) (HAIR *et al.*, 2009).

Para a estimação dos parâmetros é utilizado um algoritmo matemático. Os primeiros estimadores foram a regressão de mínimos quadrados ordinários (OLS) e em seguida foi desenvolvida a estimação de máxima verossimilhança (MLE). Este é o mais eficiente e sem viés quando a suposição de normalidade multivariada é atendida, porém, com a necessidade de atender a não-normalidade, foram desenvolvidas diversas outras técnicas de estimação. Algumas destas são: mínimos quadrados ponderados (WLS), mínimo quadrados generalizados (GLS), estimação assintoticamente livre de distribuição (ADF), mínimos quadrados ponderados diagonalmente (DWLS) e mínimos quadrados ponderados diagonalmente ajustado pela média

e variância (WLSMV) (ANDERSON; GERBING, 1988; HAIR *et al.*, 2009; MÎNDRILĂ, 2010; SCHUMACKER; LOMAX, 2010).

A técnica de estimação WLSMV é uma técnica avançada para analisar dados categóricos ordenados que possuem amostras acima de 400 observações e não normalizados (BROWN, 2007).

Figura 2-7 - Relações em SEM



Fonte: Adaptado de Lee *et al.* (2008) e Hair *et al.* (2009).

As equações que explicam as variáveis \mathbf{x} e \mathbf{y} são essenciais, pois fornecem os valores previstos das variáveis medidas. Na regressão prevemos uma única variável dependente e no SEM tentamos prever e explicar um conjunto de variáveis latentes endógenas (η), logo, tem-se que a equação estrutural 1, a qual expressa uma latente endógena (HAIR *et al.*, 2009).

$$\eta = B\eta + \Gamma\xi + \zeta \quad (1)$$

O construto endógeno (η) aparece em ambos os lados da equação, pois os construtos endógenos podem ser dependentes uns dos outros. O \mathbf{B} é a matriz que representa os coeficientes paramétricos que conectam os construtos endógenos em outros endógenos. O $\mathbf{\Gamma}$ é a matriz dos coeficientes paramétricos que conectam os construtos exógenos (ξ) nos endógenos (η). Os elementos individuais dessa matriz são representados pela letra grega γ . Por fim, ζ representa o erro na previsão de η (HAIR *et al.*, 2009). Com os valores de η obtidos podemos prever as variáveis \mathbf{y} usando a equação 2 e os valores de \mathbf{x} usando a equação 3.

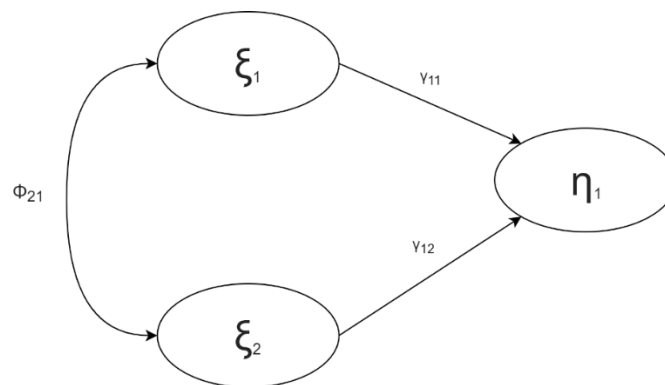
$$y_1 = \lambda_{y11}\eta_1 + \varepsilon_1 \quad (2)$$

$$x_1 = \lambda_{x11}\xi_1 + \delta_1 \quad (3)$$

Os valores previstos para cada variável observada podem ser usados para calcular as estimativas de covariância e as estimativas paramétricas são usadas para modelar as verdadeiras variáveis observadas. A matriz de covariância computada a partir dos valores previstos é Σ , portanto, pode-se obter um elemento de Σ pela análise dos caminhos diretos e indiretos.

Os caminhos são todas as relações que conectam dois elementos. A análise dos caminhos compreende na soma dos componentes que conectam os pontos, se houver múltiplas setas ligando um construto em outro, então, o efeito é os produtos das estimativas para cada seta. A Figura 2-8 serve de exemplo para ilustrar como é calculado a covariância entre cada construto a partir dos caminhos.

Figura 2-8 - Caminhos diretos e indiretos



Fonte: Adaptado de Hair (2009).

O caminho direto de ξ_1 para η_1 é por γ_{11} e o caminho indireto é por Φ_{21} e depois por γ_{12} . Logo, é possível calcular a correlação entre ξ_1 e η_1 pela soma dos caminhos: $\text{Corr}(\xi_1, \eta_1) = \gamma_{11} + \Phi_{21}\gamma_{12}$. Esse procedimento é o mesmo para as outras correlações da matriz de estimadores, os quais estão representadas na equação 4. O ANEXO A é um guia para ajudar na pronúncia e compreensão de abreviações comuns do SEM.

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \xi_1 & & \xi_2 & & \eta_1 \\ \text{Corr}(\xi_1, \xi_1) & & & & \\ \text{Corr}(\xi_1, \xi_2) & \text{Corr}(\xi_2, \xi_2) & & & \\ \text{Corr}(\xi_1, \eta_1) & \text{Corr}(\xi_2, \eta_1) & \text{Corr}(\eta_1, \eta_1) & & \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & & & & \\ \Phi_{21} & & & & \\ \gamma_{11} + \Phi_{21}\gamma_{12} & \gamma_{12} + \Phi_{21}\gamma_{11} & & & \\ & & 1 & & \\ & & & & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

2.2.2 *Processo de modelagem do SEM*

Os modelos de equações estruturais testam uma teoria do pesquisador, a qual é expressa em termos de relações entre variáveis medidas e latentes. Hair *et al* (2009) descrevem um método de seis estágios para o SEM. Os estágios são: definir os construtos individuais, desenvolver o modelo de mensuração geral, planejar um estudo para produzir resultados empíricos, avaliar a validade do modelo de mensuração, especificar o modelo estrutural e avaliar a validade do modelo estrutural.

Um dos passos mais importante na teoria de mensuração é a operacionalização de construtos, portanto, uma boa definição dos construtos envolvidos fornece uma base para a seleção das variáveis indicadoras. Os construtos devem ser teoricamente definidos, ou seja, deve ser possível escrever uma sentença clara e concisa que defina o que será medido, operacionalizando os construtos através dos itens (indicadores) de mensuração escolhidos (HAIR *et al.*, 2009).

O próximo estágio compreende na definição do modelo de mensuração (ANDERSON; GERBING, 1988). As variáveis latentes são incluídas no modelo e os itens de cada construto são designados e, normalmente, esse processo é representado pelo diagrama de caminhos, demonstrado anteriormente. É feito a listagem dos potenciais itens que definem os construtos e o número de itens deve ser o suficiente para capturar o domínio da latente. O próximo passo é a validação desses itens através de peritos que avaliam o quão bem os itens correspondem aos construtos, verificando, também, a redundância, ou seja, se dois itens são iguais. A eliminação de um destes itens é importante para evitar problemas nos resultados e na estimação dos modelos. Existem diversas outras questões no processo de modelagem do modelo de mensuração, dentre elas: cargas cruzadas e itens por construto (HAIR *et al.*, 2009).

Um conjunto de indicadores deve ter somente um construto designado. Cargas cruzadas devem ser designadas como zero, pois uma carga cruzada indica uma evidência de uma falta de validade do construto. Entretanto pode existir uma relação entre os indicadores, a qual é representada por um caminho que liga seus termos de erro, entretanto esses caminhos só devem ser liberados se existir uma razão teórica para isso (BABIN; GRIFFIN, 1998; HAIR *et al.*, 2009).

É sugerido quatro itens e no mínimo três para um construto. Modelos que apresentam construtos com menos de três itens são sub-identificados, ou seja, o número de graus de liberdade é negativo não existindo uma solução matemática para a estimação. Com apenas três indicadores são exatamente-identificados, ou seja, o número de graus de liberdade

é zero, fazendo com que o modelo compute um resultado perfeitamente ajustado, o que inviabiliza a análise da teoria. Com mais de três indicadores o modelo é super-identificado, com um ou mais graus de liberdade, sendo possível testar a teoria (HAIR *et al.*, 2009). É válido dizer que construtos devem ter no mínimo três indicadores, pois em um modelo de mensuração estão envolvidos vários construtos, um super-identificado pode fornecer os graus de liberdade necessários para um exatamente-identificado (ANDERSON; GERBING, 1988; HAIR *et al.*, 2009).

Com os construtos bem definidos e os indicadores designados é necessário planejar um estudo para produzir resultados empíricos, ou seja, a coleta dos dados. Esse planejamento, habitualmente, é realizado com uma elaboração desenhada de um questionário para obter as observações (HAIR *et al.*, 2009).

Os dados obtidos, de modo geral, contêm dados perdidos, os quais devem ser corrigidos. Usualmente, se mais de 10% dos dados estão faltando na variável é feito a exclusão das observações, este método é denominado de exclusão em lista. Caso a variável tenha mais de 50% dos seus valores faltando é usual excluí-la, porém adotar uma medida de remoção completa de uma variável por possuir dados faltantes é classificado como um erro de “tendência de variáveis omitidas”.

Retirar variáveis que possuem dados perdidos é uma medida que pode causar modelos com resultados enviesados e inferências errôneas. O viés de variáveis omitidas pode ser agravada se a variável resposta estiver correlacionada com uma variável não usada, por exemplo, utilizar somente fatores da via em uma análise da severidade, visto que outras variáveis como características dos usuários influenciam (JOVANIS *et al.*, 2011; MANNERING; BHAT, 2014; MITRA; WASHINGTON, 2012; SILVA, 2011).

Existem diversas técnicas para tratar dados faltantes, como o caso completo (lista), totalmente disponível e baseado em modelos. O método do caso completo compreende em usar somente os dados válidos, portanto, o tratamento mais simples, porém seu principal problema é ser afetado por qualquer processo não-aleatório de perda de dados, podendo enviesar os resultados. O método totalmente disponível compreende em obter características de distribuição e relação (correlação) a partir de cada valor válido e, por fim, o método baseado em modelos, o qual usa-se regressão e classificação para prever o valor mais provável do dado faltante a partir das outras variáveis válidas (HAIR *et al.*, 2009).

A abordagem baseada em modelos engloba o uso de algoritmos de aprendizagem de máquina para a previsão de dados faltantes. Um algoritmo frequentemente usado nessa tarefa é o *Decision Tree* (Árvore de Decisão), o qual utiliza conceitos de taxa de ganho e entropia para

elaborar uma árvore de regressão ou classificação, o qual é possível obter o valor previsto seguindo seus ramos (DEB; LIEW, 2014; HAN; KAMBER; PEI, 2012).

Para conjuntos mais complexos de dados faltantes pode-se usar outros tipos de modelos de aprendizagem de máquina supervisionada, por exemplo, o modelo *Random Forest*, o qual envolve a produção de múltiplas árvores de decisão e da combinação obtém-se um único valor previsto. A vantagem deste modelo é a obtenção de cada árvore de decisão baseado na escolha randômica do processo de previsão, tornando o modelo mais generalizado (ALLURI; SAHA; GAN, 2014; BREIMAN, 2001; SILVA, 2018).

Outro modelo é o de Redes Neurais Artificiais, o qual consegue representar sistemas não lineares e complexos, através de uma estrutura baseada nas redes neurais de organismos inteligentes. Uma parte deste modelo é a camada oculta, a qual pode ser representada por uma série de equações de ativação, adicionando que quando existe uma série dessas camadas este modelo pode ser denominado de *deep learning* (aprendizagem profunda) (LI et al., 2020; SILVA, 2018).

É necessário classificar os tipos de dados perdidos antes de adotar uma medida de correção. Os tipos de dados perdidos são: Totalmente Perdidos ao Acaso (MCAR), Perdidos ao Acaso (MAR) e Dados Perdidos Não ao Acaso (NMAR) (KANG, 2013).

Quando os dados são totalmente perdidos ao acaso significa que os dados faltantes não estão relacionados com qualquer outra observação do estudo e, geralmente, assumir que os dados ausentes são MCAR pode ser imprudente. Estes acontecem, frequentemente, devido a erros de falha no equipamento ou amostras perdidas em trânsito, logo, em termos simples, MCAR são os dados perdidos indistinguíveis daqueles com dados completos. Os dados MCAR podem ser tratados de todas as formas disponíveis sem causar viés na análise, visto que, não se devem pelas outras variáveis observadas (KANG, 2013).

Dados perdidos ao acaso (MAR) são os dados perdidos que estão relacionados com outras variáveis observadas. Esses dados devem ser tratados de forma a encontrar essas relações, assim, elaborando modelos para o tratamento, para não causar viés nos resultados finais (KANG, 2013).

Os dados que não se encaixam em MAR ou MCAR são os dados perdidos não ao acaso (NMAR), ou seja, quando o dado faltante não aleatório está relacionado a valores não observados no estudo, entretanto esses são dados difíceis de serem tratados e não devem ser ignorados. A distinção de MAR e MCAR pode ser feita através de testes, porém NMAR é especialmente difícil de verificar (KANG, 2013).

Dados MCAR e MAR são os possíveis de tratar através dos dados existentes. Geralmente, os dados faltantes não são MCAR e NMAR, ou seja, existe uma boa probabilidade que um dado não disponível dependa de outras variáveis do banco de dados (KANG, 2013; KENWARD; CARPENTER, 2007). Existem técnicas exploratórias para encontrar qual o tipo de dado faltante, por exemplo, através de testes estatísticos e análises visuais, porém assumir a hipótese de que os dados são MAR para a aplicação de uma correção mais geral é mais aceitável do que tratar os dados como MCAR.

As outras partes da etapa de planejar um estudo para produzir resultados empíricos são: definir a estrutura do modelo, definir a técnica de estimação e escolher o programa computacional para a modelagem. A estrutura do modelo é definir os tipos de dados e a escala de mensuração das variáveis utilizadas, a qual é importante para a interpretação do modelo. É possível utilizar escalas diferentes como a ordinal ou a “melhor” (*likert*) em variáveis ligados em um construto, ressaltando que deixar as variáveis em uma mesma escala melhora a interpretação do modelo, além de otimizar o processamento, portanto, é comum padronizar as variáveis antes de iniciar uma modelagem (HAIR *et al.*, 2009).

Com relação a modelagem, o SEM podem fornecer seus dados de saída e entrada em covariância e correlação. Os dados de entrada em covariância apresentam melhores impactos estatísticos, visto que, a correlação pode causar erros nos cálculos, pois é uma medida padronizada. A saída do modelo pode ser padronizada, por correlação, assim, obtendo uma interpretação mais fácil pelo pesquisador (HAIR *et al.*, 2009; MOINPOUR *et al.*, 1991). Outro fator importante é o tamanho amostral indicado para a modelagem, o qual depende de vários fatores, como exemplo, o tipo de entrada, a técnica de estimação, a complexidade do modelo e os dados perdidos. Em geral, um bom modelo é aquele que apresenta em torno de 200 observações (HAIR *et al.*, 2009).

Sobre as técnicas de estimação disponíveis no SEM a mais comum é a estimação de máxima verossimilhança (MLE). Esta necessita de dados normalizados para produzir resultados confiáveis, porém existem alguns estudos mostrando uma boa confiabilidade desta técnica em dados não normatizados (OLSSON *et al.*, 2000; OLSSON; FOSS; BREIVIK, 2004). Alguns programas computacionais disponíveis para a modelagem do SEM são: R, STATA, AMOS e LISREL.

Após a estimação do modelo de mensuração, é necessário avaliar a validade deste. Esse processo é feito analisando os índices e as métricas de qualidade de ajuste, que podem ser: Qualidade de ajuste (GOF), Índice de qualidade de ajuste (GFI), Raiz do resíduo quadrático

médio (RMSR), Raiz padronizada do resíduo médio (SRMR), Raiz do erro quadrático médio de aproximação (RMSEA) e Índice de ajuste comparativo (CFI).

Qualidade de ajuste (GOF) demonstra o quão bem as matrizes de covariância estimada (Σ) e observada (S) são iguais. A medida fundamental de ajuste, qui-quadrado (χ^2), quantifica a diferença entre essas duas matrizes. O procedimento de estimação, como a máxima verossimilhança, produz estimativas paramétricas que reduzem a diferença $|S - \Sigma|$ e o teste qui-quadrado (χ^2) fornece um teste estatístico da diferença resultante (HAIR *et al.*, 2009).

O χ^2 é influenciado pelo tamanho da amostra e os parâmetros livres. É comum representar o χ^2 dividido pelos graus de liberdade (*df*), os quais representam a quantidade de informação matemática disponível para estimar os parâmetros (HAIR *et al.*, 2009).

A significância estatística de χ^2 implica em H_0 : a hipótese nula é de que as matrizes de covariância observadas na amostra e estimada pelo SEM são iguais e em H_1 : a hipótese alternativa é de que o modelo não se ajusta. A probabilidade é dada pelo valor-p, logo espera-se que o valor-p seja maior que 0,05 para que H_0 não seja rejeitada (HAIR *et al.*, 2009).

Quanto maior o número de variáveis e o tamanho da amostra, mais o χ^2 é afetado e por consequência o p-valor será significativo, portanto, é importante usar outros indicadores que sejam menos sensíveis para o tamanho amostral (HAIR *et al.*, 2009).

O índice de qualidade de ajuste (GFI) não inclui o número de amostras na fórmula, porém ainda continua sensível ao tamanho amostral por conta do efeito sobre distribuições amostrais (MAITI; MUKHERJEE, 1991). Valores de GFI variam de 0 a 1, sendo valores acima de 0,9, e outros argumentam que 0,95, são ideais para indicar um bom ajuste (HOELTER, 1983).

Sendo F_k a função de ajuste mínimo depois que um modelo SEM tenha sido estimado com k graus de liberdade e sendo F_0 a função de ajuste que resultaria se os parâmetros fossem todos nulos, então GFI é definido pela equação 5 (HAIR *et al.*, 2009).

$$GFI = 1 - \frac{F_k}{F_0} \quad (5)$$

Um bom modelo produz uma relação F_k / F_0 pequena, logo valores de GFI perto de 1 significam um bom ajuste (HAIR *et al.*, 2009).

Cada valor de covariância previsto e observado gera um erro, o qual cria um resíduo. A raiz do resíduo quadrático médio (RMSR) é a raiz quadrada da média dos erros quadrados. É difícil comparar os resultados de RMSR de um modelo não padronizado devido

as escalas das medições, portanto, o indicador Raiz padronizada do resíduo médio (SRMR) é uma estatística alternativa, tratando do valor padronizado do RMSR, logo sendo mais fácil comparar o ajuste ao longo dos modelos. Valores menores que |1| de RMSR e SRMR representam um bom ajuste (HAIR *et al.*, 2009).

Com o intuito de não perder o viés com o tamanho da amostra, o indicador Raiz do erro quadrático médio de aproximação (RMSEA) utiliza uma distribuição conhecida, assim, representando melhor o quão bem um modelo se ajusta a uma população e não apenas a uma amostra para estimação. Os valores típicos estão abaixo de 0,1 para modelos aceitáveis (HAIR *et al.*, 2009).

O cálculo é fornecido pela equação 6, na qual os *df* são subtraídos do numerador para capturar a complexidade do modelo. Pela equação observamos os esforços de corrigir os problemas da métrica χ^2 (HAIR *et al.*, 2009).

$$\text{RMSEA} = \sqrt{\frac{\chi^2 - df_k}{(N-1)}} \quad (6)$$

Índice de ajuste comparativo (CFI) é um índice de ajuste incremental, o qual os valores variam entre 0 e 1; valores mais altos indicam um melhor ajuste. Essa métrica compara o modelo proposto com o modelo nulo, assumindo que todas as variáveis observadas são não-correlacionadas. Um CFI abaixo de 0,90, geralmente, indicam que o modelo não se ajusta bem. A equação 7 demonstra o cálculo do CFI (HAIR *et al.*, 2009).

$$\text{CFI} = 1 - \frac{(\chi_k^2 - df_k)}{(\chi_N^2 - df_N)} \quad (7)$$

O valor *k* representa o modelo especificado pelo modelador e *N* é associado aos valores estatísticos do modelo nulo, por consequência, valores próximos de 1,00 indicam um melhor ajuste (HAIR *et al.*, 2009).

Muitas vezes é necessário medidas de modificação para tratar problemas não resolvidos ou melhorar o teste da teoria de mensuração do modelo. Quando o modelo aparenta não ser válido é usual realizar testes para verificar possíveis ajustes na modelagem que promovam um aumento da validade (HAIR *et al.*, 2009).

Estimativas de caminhos é o modo mais fácil de verificar problemas potenciais. Cada indicador, variável, tem uma carga em um construto, a qual, geralmente, deve ser maior

que 0,5. O programa estatístico de modelagem fornece o p-valor para cada caminho estimado, indicando o nível de significância. As variáveis insignificantes ($p > 0,05$) e com cargas baixas são candidatas para eliminação, entretanto, existe o fato que construtos devem ter no mínimo três indicadores, portanto não sendo recomendado a eliminação de uma variável caso um construto tenha menos de quatro indicadores (HAIR *et al.*, 2009).

Resíduos é outra forma de avaliar os itens dos construtos. O modelo de mensuração estima a covariância entre dois itens, sendo o resíduo o erro de medição desse par, indicando que resíduos maiores que $|0,1|$ seria recomendável a eliminação de um dos dois itens.

Os Índices de modificação são calculados para cada relação possível que não é livre para ser estimada, demonstrando quanto o modelo irá melhorar quando a liberação daquele caminho em especial for realizada. Valores acima de 4 sugerem que o ajuste poderia ser significativamente melhorado com a liberação daquele caminho, entretanto, liberar um caminho só pelo índice de modificação jamais é permitido, pois é necessário que o pesquisador justifique qualquer mudança pela teoria estabelecida (HAIR *et al.*, 2009).

Os últimos passos são especificar o modelo estrutural e avaliar a validade deste, criando uma relação de dependência entre os construtos que são representadas pelo diagrama de caminhos. Nessa etapa, a teoria geral pode ser testada incluindo as relações teorizadas de dependência entre os construtos. Os mesmos indicadores de qualidade e ajuste utilizados na mensuração são usados nessa etapa para avaliar o modelo como um todo, contudo, caso o modelo não seja aceitável é possível realizar a reespecificação do modelo, desde que, a teoria seja suportada (HAIR *et al.*, 2009).

Existem diversas literaturas sobre o SEM e o seu processo de modelagem (ALEXANDRE *et al.*, 2018; BROWN, 2007; DION, 2008; HAIR *et al.*, 2009; PEARL, 2009, 1998; PEREIRA, 2013; ROSSEEL, 2012; SCHUMACKER; LOMAX, 2010). Essa revisão é somente uma porta de entrada para essa ferramenta que pode fornecer informações valiosas sobre as inter-relações complexas entre as variáveis do modelo.

No Brasil, pesquisas usando o SEM na área de transportes ainda são incipientes. Medrano e Taco (2013) usaram equações estruturais para modelar os fatores contribuintes para a expansão urbana e padrões de viagens. Samios, Larrañaga e Cybis (2019) analisaram a escolha de modo a partir da percepção do ambiente construído dos usuários utilizando a abordagem SEM. Paiva Júnior (2006) usou SEM utilizando dados de um estudo de motivação de deslocamento da população brasileira para analisar as características dos usuários com a escolha do modo. A seguir são discutidas as principais aplicações dos SEM na área de segurança viária.

2.2.3 SEM na Segurança Viária

É observado pela quantidade de artigos que a modelagem de equações estruturais é mais utilizada para analisar o comportamento dos usuários e para alcançar esse objetivo, é utilizado a aplicação de questionários. O SEM foi usado primeiramente em estudos sociológicos, utilizando questionários para a formulação das variáveis latentes e atualmente está sendo usada em diversas outras abordagens, tornando essa ferramenta poderosa para encontrar as inter-relações entre as variáveis.

Um estudo, na Malásia, usando questionários (300 respostas), analisou a atitude dos motociclistas com relação a intenção do uso do capacete. As latentes utilizadas foram: norma social, utilidade percebida, facilidade de uso percebida, segurança percebida, comportamento da intenção de utilizar o sistema de lembrete da segurança do capacete e uso do capacete. Foi utilizado um modelo SEM, obtendo que a intenção de usar o capacete está mais relacionada com a utilidade percebida ($\beta = 0,50$) e a norma social ($\beta = 0,20$) (ROSLI *et al.*, 2016).

Outro estudo, em Denpasar, em Bali, analisou os fatores que influenciam os motociclistas em interseções em relação as violações e o excesso de velocidade. Foi usado o SEM na análise dos comportamentos e atitudes dos motociclistas a partir de questionários, com 300 observações. As latentes utilizadas foram “Características pessoais e experiência de pilotagem”, “Direção por diversão”, “Atitudes de risco durante a pilotagem”, “Busca por sensações” e “Violação das leis”. A busca por sensações ($\beta = 0,172$) e atitudes em relação a direção arriscada ($\beta = 0,223$) influenciam nas intenções dos motociclistas em relação a violação e a velocidades excessivas. Motociclistas dizem que podem contribuir com atitudes de risco desde que tenham algum tipo de controle ($\beta = 1$) e homens ou jovens ($\beta = 0,233$) são mais propensos a desenvolver atitudes de risco (WEDAGAMA, 2015).

Um estudo, utilizando dados de 20 países da América Latina, Europa e América do Norte, agrupando as respostas de 1064 ciclistas coletados a partir de questionários eletrônicos, verificou que o gênero influencia na explicação estatística do comportamento de risco e proteção. Foi utilizado a comparação de grupos (Homens e Mulheres) com modelos de equações estruturais, utilizando as variáveis: idade, intensidade, estresse psicológico, conhecimento das leis de trânsito e risco percebido. Estas ligavam para comportamentos seguros ou inseguros (USECHE *et al.*, 2018).

Uma teoria bastante utilizada por pesquisadores em comportamentos dos usuários é a Teoria do Comportamento Planejado (TPB). Desenvolvido por Ajzen em 1991, é um modelo de psicologia social que é usado para prever as atitudes e intenções. Um estudo em Dalian, na

China, analisou um cenário que pedestres atravessam a rua violando as sinalizações, com a coleta de um questionário (260 respostas) baseado em TPB. Os construtos utilizados foram: “intenção comportamental”, “atitude instrumental”, “norma subjetiva”, “controle comportamental percebida”, “norma descritiva”, “risco percebido” e “tendência de conformidade”. Os resultados mostram que os pedestres tem uma visão negativa sobre ir contra a sinalização, existem influências sociais de sua família e amigos e acreditam que um comportamento arriscado pode influenciar negativamente em um acidente (ZHOU; ROMERO; QIN, 2016).

Outros estudos analisaram as características dos condutores, suas atitudes e comportamentos com relação à segurança viária (CHEN; DONMEZ, 2016; HASSAN; ABDEL-ATY, 2011; MOHAMED; BROMFIELD, 2017; WONG; SMITH; SULLIVAN, 2018; ZHAO *et al.*, 2019). A Tabela 2-1 apresenta um resumo destes estudos.

Tabela 2-1 - Alguns estudos de comportamento do usuário que utilizam o SEM

Título (tradução do autor)	Autores	Método	Latentes	Resultados
O que gera distrações baseadas em tecnologia? Um modelo de equação estrutural sobre fatores sociopsicológicos do envolvimento da distração do motorista com base em tecnologia	Huei-Yen Winnie Chen, Birsen Donmez (2016)	Questionários eletrônicos com 525 respostas coletadas no Canadá e no EUA	Distração, Atitudes, norma descritiva, personalidade e inclinação tecnológica	As atitudes são as que mais influenciam nas distrações tecnológicas ($\beta = 0,98$)
Análise do comportamento dos motoristas sob condições de visibilidade reduzida usando uma abordagem de Modelos de Equações Estruturais	Hany M. Hassan, Mohamed A. Abdel-Aty (2011)	Questionários com 566 respostas realizado nos EUA	Fatores humanos, satisfação, conformidade com neblina leve e pesada	Os fatores humanos e satisfação influenciam diretamente as conformidades durante a neblina ($\beta = 0,3$)
Atitudes, comportamento de dirigir e envolvimento de acidentes entre motoristas jovens na Arábia Saudita	Moataz Mohamed, Nicole F. Bromfiel (2017)	Questionários com 287 respostas realizado no Reino da Arábia Saudita	Atitudes seguras (ATT), erros não intencionados (ERM), comportamento de velocidade (SPD), agressividade (AGD) e envolvimento nos acidentes (ACI)	Atitudes positivas (ERM, SPD, AGD) influenciam significativamente na segurança ($\beta = -0,1;-0,4;-0,2$)
Validando um modelo de comportamento de condutores idosos com modelos de equações estruturais e análise fatorial confirmatória	Ides Y. Wong, Simon S. Smith, Karen A. Sullivan (2018)	Questionários com 277 respostas realizado na Austrália	Avaliação de saúde, performance de direção, dependência de outros, espaço de condução, atitudes, confiança, controle percebido e auto regularização	Atitudes na direção influenciam diretamente na variável “auto regularização da condução” ($\lambda = 0,70$)
Uma análise da relação entre as características do motorista e a segurança na direção usando modelos de equações estruturais	Xiaohua Zhao, Wenxiang Xu, Jianming Mab, Haijian Li, Yufei Chen (2019)	44 participantes realizaram testes em um simulador de carro	Características básicas, atitudes de condução, ações ilegais de condução e performance de condução	As atitudes têm uma relação inversa forte com ações ilegais ($\beta = -1,04$)

Fonte: Chen e Donmez (2016), Hassan e Abdel-Aty (2011), Mohamed e Bromfield (2017), Wong, Smith e Sullivan (2018) e Zhao *et al.* (2019).

Estudos começaram a incorporar as características do desenho urbano no SEM para segurança viária. Um estudo, na Coreia do Sul, utilizando 2649 acidentes, analisou a relação dos construtos das características geométricas da via, das características do motorista e das condições do ambiente. As variáveis adotadas foram o tipo de pavimento, curvas verticais e horizontais, clima, superfície da via, dia ou noite, tipo do veículo, gênero e idade do motorista. Os resultados do SEM demonstram que as variáveis ligadas a via influenciam mais na gravidade do acidente ($\lambda = 0,19$) (LEE; CHUNG; SON, 2008).

Um estudo em interseções analisou o índice de propensão à agressividade (API). Este índice é uma variável latente, a qual um conjunto de variáveis tentará explicá-la. Para capturar os fatores que contribuem para esse índice foi observado o ambiente, a situação e as atitudes dos motoristas. O estudo foi realizado em dez interseções sinalizadas em Washington nos EUA e as variáveis usadas foram: número de veículos pesados, número de pedestres atravessando a via por ciclo semafórico, volume de veículos por ciclo, comprimento médio da fila, número de faixas, número de conversões à esquerda, paradas de ônibus, tempo de sinal vermelho, fiscalização eletrônica, fiscalização policial e tipo do uso do solo. As variáveis observadas endógenas foram: tempo de atraso, aceleração no sinal vermelho, mudança de faixa e duração média da brecha aceitável em segundos. Os resultados obtidos demonstram que a frustração do motorista está mais ligada pelas condições de tráfego do local ($\beta = 0,32$), ou seja, longas filas, grande número de veículos pesados e um número maior de veículos e pedestres. O estudo demonstrou, também, que um tempo maior de vermelho ($\beta = 9,51$) gera mais agressividade (HAMDAR; MAHMASSANI; CHEN, 2008).

Kim, Pant e Yamashita (2011) usaram um SEM para analisar a influência da acessibilidade com a severidade dos acidentes. Os dados foram coletados na ilha de Oahu no Havai, utilizando áreas de 161 m², totalizando 5974 células. A acessibilidade foi construída a partir de uma latente com as variáveis tamanho da via, comprimento da rota de ônibus, número de interseções e número de becos-sem-saída. Foram usadas outras latentes como o “veículo” com as variáveis de condições, tipo e número de ocupantes. A latente “via” com defeitos, condições da superfície, alinhamento vertical e horizontal e condições climáticas. A latente “humana” com as condições de direção, luz, tráfego, idade e visão. E por fim a latente endógena com dano do veículo, tipo de severidade e total de veículos envolvidos. Os resultados demonstram que o aumento da acessibilidade reduz a severidade dos acidentes ($\beta = -0,21$).

Um estudo, em *Seoul City* na Coreia do Sul, analisou a influência do clima e outros fatores na severidade dos acidentes de trânsito, utilizando os construtos exógenos “via” ($\beta = 0,08$), “tráfego e humano” ($\beta = 0,31$) e “chuva e profundidade da água” ($\beta = 0,12$) com uma relação de dependência no construto endógeno “Nível da severidade do acidente”. As conclusões foram: carros compactos ($\beta = 0,31$), motoristas jovens ($\beta = 0,10$), motoristas femininas ($\beta = 0,15$), chuva intensa ($\beta = 0,49$), vias com um longo comprimento de drenagem ($\beta = 0,31$) são mais prováveis de estarem associada com um aumento do nível de severidade (LEE *et al.*, 2018b).

Um estudo nos Estados Unidos analisou os fatores do ambiente construído de áreas urbanas que influenciam a segurança viária. As latentes usadas foram empregos, riqueza,

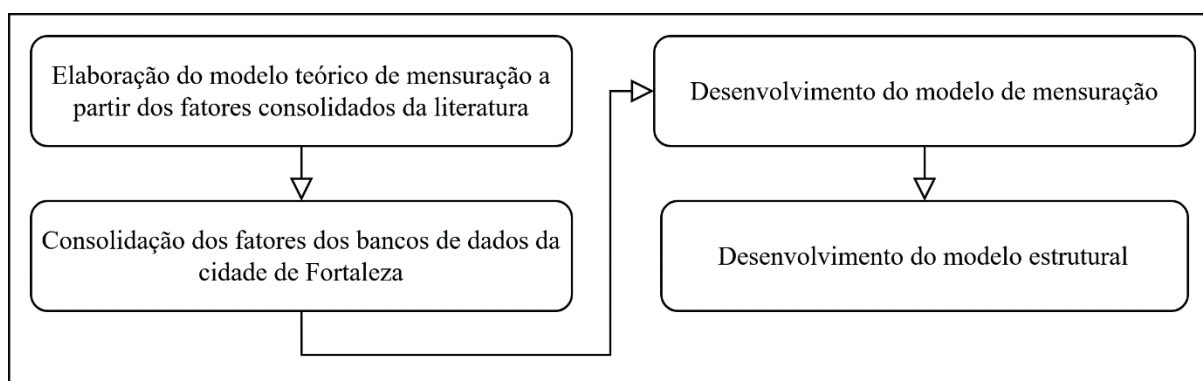
densidade, infraestrutura, conectividade, congestionamento, modos de transporte e segurança do tráfego. Áreas menos densas e com o uso de solo mais diversificadas ($\beta = -0,23$) e trabalhos em casa ($\beta = 0,16$) estão mais propensas a terem uma melhor segurança viária. Outro resultado é que o incentivo ao uso de transporte público reduz os acidentes ($\beta = -0,36$) (NAJAF *et al.*, 2018).

Torres, Xavier e Cunto (2019) usaram o SEM para mensurar as relações entre os pilares da segurança viária, representados pelas latentes gestão da segurança viária, vias seguras e mobilidade, veículos seguros, segurança dos usuários e resposta do pós-acidente, com a taxa de mortalidade dos países membros da WHO, 175 países. O modelo proposto resulta que veículos seguros ($\beta = -0,33$), segurança do usuário ($\beta = -0,35$) e resposta do pós-acidente ($\beta = -0,15$) reduzem de forma significativa a taxa de mortalidade dos países.

3 METODOLOGIA

Os métodos utilizados nesta monografia para alcançar os objetivos supracitados foram realizados com as seguintes etapas sequenciais: i) Elaboração do modelo teórico de mensuração; ii) Consolidação dos bancos de dados da cidade de Fortaleza; iii) Desenvolvimento do modelo de mensuração e iv) Desenvolvimento do modelo estrutural. As etapas foram elaboradas com base no processo de modelagem do SEM definido no capítulo dois desta monografia. A Figura 3-1 apresenta o fluxograma com as etapas dos métodos propostos desta monografia.

Figura 3-1 - Fluxograma com os métodos da monografia



Fonte: O autor.

3.1 Elaboração do modelo teórico de mensuração

Primeiramente é necessário definir os construtos do modelo, com a listagem dos construtos do modelo de mensuração, os quais devem ser teoricamente definidos, ou seja, deve ser possível escrever uma sentença clara e concisa que defina o que será medido. Os construtos dessa monografia são inerentes as dimensões dos Sistemas Seguros, ou seja, Usuários Seguros, Veículos Seguros, Velocidades Seguras e Vias Seguras. Para cada um desses construtos foi realizada uma revisão bibliográfica, a qual foi inserida no capítulo dois do presente trabalho, demonstrando as principais variáveis que melhor caracterizam a mensuração dessas dimensões, entretanto, dificilmente os bancos de dados disponíveis possuem essas variáveis, sendo necessário a utilização de indicadores correspondentes.

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. Nesta monografia foi elaborado, primeiramente, um modelo

teórico de mensuração com as variáveis consagradas, o qual não foi possível obter qualquer carga.

Normalmente, é elaborado uma abordagem de coleta para obter os indicadores, variáveis, que definam os construtos de forma mais adequada, porém nesta monografia foi realizado o modelo de mensuração com as variáveis obtidas dos bancos de dados da cidade de Fortaleza, que foram previamente coletadas, ligando cada indicador para o construto correspondente, seguindo a definição de cada dimensão. Em resumo, esta etapa visa definir cada construto e evidenciar quais seriam os indicadores fundamentais que melhor definem estes, elaborando uma figura com as relações para cada variável.

3.2 Consolidação dos bancos de dados da cidade de Fortaleza

Com os construtos e seus indicadores definidos é necessário planejar um estudo para permitir a verificação empírica do modelo proposto, o qual, frequentemente, é realizado com a elaboração de questionários. Observa-se, entretanto, que, em muitos casos, o pesquisador procura explorar os bancos de dados disponíveis. A utilização dos bancos de dados existentes naturalmente influencia a construção teórica do modelo, em um processo interativo, o qual o pesquisador pode ajustar as variáveis observadas e em alguns casos a definição do construto para permitir a utilização das informações disponíveis. Foram usados dados coletados previamente em bancos de dados da cidade de Fortaleza.

Os dados utilizados foram coletados dos bancos de dados referentes aos acidentes envolvendo motociclistas na Autarquia Municipal de Trânsito e Cidadania (AMC) no ano de 2017. Do banco dados dos logradouros, consolidado pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes (Petran), em 2016, foram obtidas as interseções e suas características, utilizando o programa de sistema de informação geográfica QGIS. Os dados de fiscalização foram obtidos pelo Sistema de Informações em Acidentes de Trânsito (SIAT), em 2017, e os dados da localização das Faixas de retenção para motos, executados até 2017, foram disponibilizados pela prefeitura de Fortaleza. Os dados foram consolidados especialmente utilizando o QGIS e outros tipos de consolidação, como junção de tabelas, foram realizados pelo programa estatístico R.

É importante fazer testes nas variáveis, realizando uma análise exploratória com estatísticas descritivas em busca de erros e incoerências nos dados. Através do R, foram realizadas tabelas sobre todas as variáveis, demonstrando a composição de cada categoria. Nesse estágio realizou-se um estudo sobre os dados que foram utilizados na análise, detectando

problemas de inconsistência que puderam ser corrigidos, como dados faltantes, assim, evitando que o modelo tivesse um comportamento indevido por causa dos dados errôneos. O processo de correção é denominado de “*data cleaning*” (HAIR *et al.*, 2009; JONGE; LOO, 2013).

Usando o pacote estatístico R com as bibliotecas “*MissMech*” e “*finalfit*” foi possível classificar variáveis categóricas em MCAR ou MAR, gerando uma matriz de gráficos da distribuição dos vazios das variáveis, sendo assim uma maneira visual de verificar a dependência de vazios entre variáveis. Para uma variável ser totalmente independente os vazios dela deve ser constante entre as categorias das outras variáveis.

Outra forma, realizada para a verificação, foi por tabela de contingência, verificando o p-valor do teste estatístico do qui-quadrado. Valores significativos indicam uma dependência dos vazios de uma variável sobre outra, ressaltando que variáveis NMAR e MAR não devem ser eliminadas pelo método completo em lista, pois podem causar problemas nas estimações dos modelos.

Para a imputação dos valores vazios foi realizado a utilização do método baseado em modelos, que engloba o uso de algoritmos de aprendizado de máquina para a previsão de dados faltantes. Um algoritmo frequentemente usado nessa tarefa é o *Decision Tree*, árvore de decisão, o qual é rápido e eficiente para dados categóricos, entretanto para os conjuntos de dados mais complexos foram usados algoritmos de *Random Forest* e *Deep Learning*, os quais são complexos e eficientes trabalhando com dados categóricos. Foi criada uma rotina no programa R para estimar os dados das variáveis do tipo MAR e variáveis MCAR foram tratadas imputando o valor mais provável, ou seja, o mais frequente.

O passo posterior do tratamento foi a ordenação das categorias das variáveis. O processo de ordenação foi feito levando em conta a segurança, ordenando conforme aumenta ou diminui a severidade para os motociclistas, tentando seguir com o encontrado na literatura.

3.3 Desenvolvimento do modelo de mensuração

Após o tratamento e consolidação do banco de dados foram realizadas uma tabela e as explicações de cada correspondência entre os indicadores consagrados pela literatura, os quais foram obtidos na seção dois desta monografia, e as variáveis obtidas dos bancos de dados. O passo seguinte foi o desenvolvimento do modelo de mensuração, o qual foram especificadas as relações entre os indicadores e as variáveis latentes. Como mencionado na revisão, 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).

Com o modelo desenhado, os coeficientes foram obtidos através do programa estatístico R, utilizando a biblioteca *lavaan* 0.6-5, através do método de estimação WLSMV. Este programa foi escolhido por se tratar de uma forma gratuita de modelagem e pela experiência do modelador com o programa. A técnica de estimação dos mínimos quadrados ponderados diagonalmente ajustado pela média e variância (WLSMV), como mencionado, é uma técnica avançada para analisar dados categóricos ordenados que possuem amostras acima de 400 observações e não normalizados (BROWN, 2007). Como no presente trabalho os dados de severidade dos acidentes são de natureza ordenada, foi adotada esta técnica para a estimação.

Os dados de entrada foram em covariância por apresentarem um melhor impacto estatístico e a saída do modelo foi padronizada por correlação, assim, obtendo uma interpretação mais fácil pelo pesquisador (HAIR *et al.*, 2009; MOINPOUR *et al.*, 1991). Após a estimação do modelo, foi necessário verificar a validade deste utilizando os indicadores de ajuste do modelo. São eles: Qualidade de ajuste (GOF), Índice de qualidade de ajuste (GFI), Raiz padronizada do resíduo médio (SRMR), Raiz do erro quadrático médio de aproximação (RMSEA) e Índice de ajuste comparativo (CFI), cada um destes indicadores foi descrito na seção dois desta monografia. Caso o modelo proposto inicialmente não fosse validado, foram aplicadas medidas de ajuste através de análises nas estimativas de caminhos, nos resíduos e nos índices de modificação. Após as modificações, o modelo foi avaliado novamente com os índices de ajuste, portanto, realizando um processo iterativo até encontrar um modelo de mensuração aceitável.

3.4 Desenvolvimento do modelo estrutural

Com a especificação e validação do modelo de mensuração, o próximo passo foi o desenvolvimento do SEM com a especificação do modelo estrutural, criando uma relação de dependência entre os construtos. No caso desta monografia, existe apenas uma única variável observada endógena, a severidade do motociclista, logo esta foi ligada diretamente nos construtos exógenos.

Nessa etapa, a teoria geral pode ser testada, incluindo, as relações teorizadas de dependência entre os construtos. Os mesmos indicadores de qualidade de ajuste utilizados na mensuração são usados nessa etapa para avaliar o modelo como um todo e caso o modelo não seja aceitável é possível realizar a reespecificação do modelo, desde que, a teoria seja suportada.

Foram verificados, também, se os coeficientes confirmam a teoria do pesquisador, ou seja, os coeficientes positivos indicando um efeito diretamente proporcional e os coeficientes negativos para efeitos inversamente proporcionais (HAIR *et al.*, 2009).

Após a efetivação do modelo final, foram analisados os coeficientes de cada variável da modelagem, os quais foram padronizados e possuem um intervalo de confiança (IC) de 95%, que foi importante para detectar relações significativas.

As latentes foram analisadas detectando quais indicadores foram os mais importantes e quais relações entre as latentes foram mais fortes. A teoria geral foi analisada para verificar se o proposto está de acordo com o modelado, de forma a confirmar a teoria estabelecida. É válido dizer que não podemos confirmar uma relação de causa-e-efeito apenas com o modelo SEM, pois a covariação legítima, ou seja, não existe outra causa que explique melhor o fenômeno, é difícil de ser confirmada, logo seria necessário elaborar uma nova latente com outros indicadores para testar a hipótese. Por fim, foram interpretados os resultados finais e realizada uma discussão sobre as relações obtidas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta parte do trabalho serão apresentados os resultados da aplicação dos métodos propostos desta monografia para a modelagem das dimensões dos Sistemas Seguros através dos dados coletados nos bancos de dados da cidade de Fortaleza - CE. Inicialmente será abordada a elaboração do modelo teórico de mensuração, em seguida, a consolidação dos bancos de dados e, finalmente, o desenvolvimento dos modelos de mensuração e estrutural.

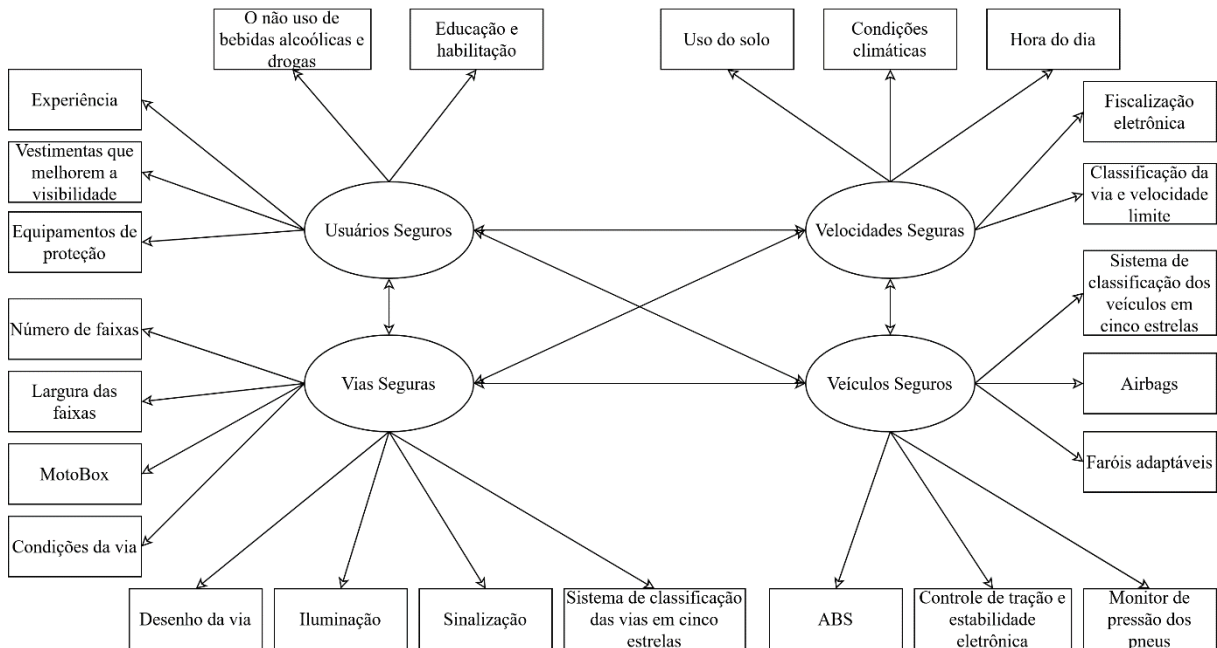
4.1 Elaboração do modelo teórico de mensuração

Um construto ou variável latente é definido pelo pesquisador no início da modelagem para comprovar uma teoria existente. Na revisão bibliográfica desta monografia foram discutidas as principais variáveis para a mensuração das dimensões dos Sistemas Seguros focando nos motociclistas. A definição operacional de cada construto está apresentada a seguir.

Usuários Seguros: atitudes e características do motociclista durante a viagem que afetam na segurança. **Velocidades Seguras:** velocidades médias de operação e aspectos que influenciam nas velocidades das interações nas interseções viárias. **Vias Seguras:** atributos viários das interseções que influenciam no nível de segurança dos motociclistas. **Veículos Seguros:** relação entre outros veículos com as motocicletas e características funcionais destas que influenciam no nível de segurança.

Com a operacionalização dos construtos estabelecida, os indicadores devem ser definidos para mensurar cada um dos construtos da modelagem. Os indicadores consolidados da literatura estão representados na Figura 4-1. Estes seriam o modo idealizado deste estudo para mensurar as latentes propostas, porém os bancos de dados disponíveis, coletados previamente, da cidade de Fortaleza, não permitiram a representação ideal dos indicadores teóricos.

Figura 4-1 - Modelo de mensuração com os indicadores consolidados da literatura



Fonte: O autor.

Adaptações foram necessárias para que as variáveis coletadas representem as consolidadas pela literatura. As variáveis que foram obtidas dos bancos de dados, de Fortaleza, contêm as seguintes variáveis: *Experiência*, *CondCNH*, *CdGravidadeLesão*, *Gênero*, *Idade*, *Capacete*, *Alcoolizado*, *Dia*, *Hora*, *Natureza*, *Iluminação*, *Ano_veic*, *Manobra*, *Marca*, *Tipo_cruzamento*, *Controle_tráfego*, *RelVeic*, *Faixas*, *Fisc_elet*, *Classif_via*, *Motobox*, *Passageiro*, *Tempo*, *Superfície_pista*, e *UsoSolo*. A amostra tem 3008 observações de acidentes em interseções envolvendo motociclistas.

4.2 Consolidação dos bancos de dados da cidade de Fortaleza

A análise inicial dos dados disponíveis revelou uma série de problemas relacionados à coleta dos dados. Dentre os desafios encontrados ressaltam-se: a falta de informações em diversas variáveis e possível viés de preenchimento de informação em função do nível de severidade dos acidentes. Além disso, em alguns casos, a variável primária coletada foi ajustada para refletir de forma mais adequada algumas das variáveis relacionadas aos pilares de segurança viária. Esta seção apresenta os resultados do processo de consolidação da base dados para o desenvolvimento dos modelos de mensuração e estruturais através da ferramenta SEM.

4.2.1 *Definição das variáveis*

A seguir será caracterizada cada variável, dividida em quatro grupos: fatores dos usuários, fatores dos veículos, fatores do ambiente e fatores da via. Serão comentadas somente as variáveis e categorias, as quais foram necessários fazer alguma adaptação. A variável dependente, endógena, é a *Severidade*, a qual corresponde ao nível da severidade do motociclista no acidente. As categorias são “Ileso” (8%), “Leve” (67%), “Moderado” (5%), “Grave” (8%) e “Fatal” (1%), com 10% de dados faltantes. Verifica-se que praticamente a totalidade dos acidentes ocorreram vítimas feridas, entretanto pode-se existir problemas de subnotificação, os quais podem gerar viés nos resultados.

A Tabela 4-1 apresenta as variáveis relacionadas aos motociclistas, com a proporção de cada categoria. A variável *Experiência*, a qual é coletada a partir dos bancos de dados de acidentes do SIAT, em 2017, compreende na subtração do dia da primeira CNH e do dia do acidente. Esta variável possui 50% de dados faltantes, como esta variável é muito importante para modelagem, considerando que quando não existiam os dados de CNH e existiam outras informações como idade e gênero, a observação foi classificada como “Sem carteira”, logo obtendo-se 44% desta categoria. Observa-se um possível viés nesta representação, pois os classificados em “Sem carteira” podem ser advindos do processo de coleta dessa informação, ou seja, o órgão responsável pela coleta da informação pode não possuir o protocolo de registrar a CNH, acrescentando que foi observado a existência de uma relação significativa entre as categorias de ter ou não carteira com a severidade do acidente.

Duas hipóteses podem ser levantadas sobre o problema percebido da grande taxa de motociclistas sem carteira: o órgão que atendeu não tem como protocolo registrar essa informação, levando a erros de coleta nos bancos ou existe um problema de uso de motocicletas por condutores sem carteira. Um estudo na Suécia demonstrou que um terço dos acidentes envolve motociclistas sem carteira e, outro estudo, em países de baixa e média renda identificou que cerca de 67% dos feridos em acidentes estavam sem habilitação (NORDQVIST; GREGERSEN, 2010; SHAKER *et al.*, 2014). Portanto, existem evidências na literatura de que a segunda hipótese não pode ser rejeitada.

A categorização da variável *CondCNH* é realizada com a verificação de carteiras vencidas, as quais são verificadas se a validade da CNH é maior ou menor que o dia do acidente. A variável *Capacete* remete ao uso dos dispositivos de segurança, porém essa variável tem sua totalidade de dados vazios, inviabilizando qualquer análise dessa variável. A variável *Alcoolizado* não apresentou nenhum registro de condutor alcoolizado no banco de dados,

considerando que não existe um protocolo definido de realização de exame de alcoolemia pelos agentes de trânsito no momento da ocorrência, acredita-se que a variável em questão não é confiável.

Manobra é a variável que corresponde a atitude do motociclista no acidente, a qual é classificada em “não arriscada” quando o motociclista está parado e sinalizado ou realizando algum movimento de iniciação de movimento e “arriscada” quando os motociclistas estão em movimento acelerado, na contra mão ou fazendo uma curva perigosa.

Tabela 4-1 - Variáveis do usuário

Nome variável	Descrição	Categorias	Porcentagem		
<i>Experiência</i>	Experiência em anos dos motociclistas	Faltantes	6%		
		Sem carteira	44%		
		Até 2 anos	8%		
		2 até 10 anos	28%		
		Mais de 10 anos	14%		
<i>CondCNH</i>	Condição da CNH	Faltantes	38%		
		Sem carteira	44%		
		Vencidos	2%		
<i>Gênero</i>	Gênero do motociclista	Válidos	16%		
		Faltantes	4%		
		Homem	85%		
<i>Idade</i>	Idade do motociclista	Mulher	10%		
		Faltantes	9%		
		Até 21 anos	25%		
		21 até 40 anos	49%		
<i>Capacete</i>	Uso de capacete do motociclista	40 até 60 anos	16%		
		Acima de 60 anos	1%		
		Faltantes	100%		
		<i>Alcoolizado</i>	Nível de alcoolizado do motociclista	Não	100%
				Sim	0%
<i>Manobra</i>	Tipo de manobra do motociclista	Faltantes	46%		
		Não arriscada	4%		
		Arriscada	50%		

Fonte: O autor.

A Tabela 4-2 apresenta as variáveis relacionadas aos veículos, com a proporção de cada categoria. Para os casos em que o motociclista colidiu com outro veículo tem-se a variável *RelVeic*, que é classificada em “leve” se envolver somente usuários vulneráveis e quedas, “médio” se envolver carros e “pesado” se envolver caminhões ou ônibus.

Tabela 4-2 - Variáveis do veículo

Nome variável	Descrição	Categorias	Porcentagem
<i>Ano_veic</i>	Ano da motocicleta	Faltantes	40%
		Até 5 anos	29%
		5 até 10 anos	24%
		Mais de 10 anos	7%
<i>Marca</i>	Marca da motocicleta	Faltantes	45%
		Com marca	55%
<i>RelVeic</i>	Acidente com outros usuários	leve	27%
		médio	67%
		pesado	6%

Fonte: O autor.

A Tabela 4-3 apresenta as variáveis relacionadas ao ambiente, com a proporção de cada categoria. A variável *Hora* foi categorizada em noite, compreendendo de 18h até 5h, e dia, compreendendo de 5h até 18h.

Tabela 4-3 - Variáveis do ambiente

Nome variável	Descrição	Categorias	Porcentagem
<i>Dia</i>	Tipo do dia	Dia útil	77%
		Fim de semana	23%
<i>Hora</i>	Período do dia	Faltantes	0%
		Dia	72%
		Noite	28%
<i>Iluminação</i>	Condição da iluminação	Faltantes	13%
		Amanhecer	1%
		Luz do dia	66%
		Anoitecer	7%
		Via iluminada	13%
		Mal iluminada	0%
<i>Tempo</i>		Faltantes	45%
		Bom	47%
		Chuva/Nublado	8%
<i>Superfície_pista</i>		Faltantes	45%
		Seca	50%
		Molhada	5%

Fonte: O autor.

Finalmente, a Tabela 4-4 apresenta as variáveis relacionadas aos fatores da via, com a proporção de cada categoria. A variável *Faixas* foi obtida pela soma das faixas no cruzamento, por exemplo, um cruzamento envolvendo quatro pistas de duas faixas tem-se um total de 8 faixas. A variável *Controle_tráfego* tem a categoria “Não a controle” quando existem deficiências físicas na sinalização ou semáforo.

A classificação da interseção é definida em local, coletora, arterial e expressa. A codificação da variável *Classif_via* foi realizada da seguinte forma: “Local” é 3, “Coletora” é 2, “Arterial” é 1 e “Expressa” é 0. De forma que o cruzamento é classificado pela soma das classificações das vias que se cruzam, variando de 0 até 12, tornando uma forma de medir a

velocidade média do acidente indiretamente. A codificação 12 foi unida com a 11, por motivos de limitação da modelagem, a qual recomenda no máximo doze categorias.

Tabela 4-4 - Variáveis da via

Nome variável	Descrição	Categorias	Porcentagem
<i>Tipo_cruzamento</i>		Rotatória	1%
		T	17%
		Cruz	82%
<i>Controle_tráfego</i>		Não a controle	14%
		Pare	57%
		Semáforo	29%
<i>Faixas</i>	Número de faixas. É a soma das faixas do cruzamento	até 8	60%
		de 8 até 15	30%
		acima de 16	10%
<i>Fisc_elet</i>	Existência de fiscalização eletrônica	Não	86%
		Sim	14%
<i>Classif_via</i>	Numérico, sendo a soma das classificações que se cruzam. Local: 0, Coletora: 1, Arterial: 2 e Expressa: 3	0-11	-
<i>Motobox</i>	Existência de Faixa de acomodação para motocicletas e bicicletas	Não	99%
		Sim	1%
<i>UsoSolo</i>		Outros	0%
		Rural	0%
		Industrial	0%
		Comercial	52%
		Misto	2%
		Residencial	44%
		Lazer	1%
Escola	1%		

Fonte: O autor.

4.2.2 *Consolidação e limpeza do banco de dados*

Com a definição das variáveis, o próximo passo foi procurar dados incoerentes, por exemplo, um tipo de cruzamento classificado em meio de quadra demonstra um erro de preenchimento, o qual foi removido pelo método completo em lista. Nesta pesquisa optou-se por tentar usar todas as variáveis possíveis, tratando de forma adequada os dados faltantes. Primeiramente, foi necessário classificar o tipo de dados perdidos em: Totalmente Perdido ao Acaso (MCAR), Perdidos ao Acaso (MAR) e Dados Perdidos Não ao Acaso (NMAR).

O APÊNDICE A demonstra uma figura com a distribuição dos vazios de algumas variáveis, sendo assim uma maneira visual de verificar a dependência de vazios entre variáveis. Para uma variável ser totalmente independente os vazios dela deve ser constante entre as categorias das outras variáveis, entretanto, pela figura é possível verificar que isso não ocorre, logo classificando as variáveis em MAR.

Outra forma de verificar é por uma tabulação e verificando o p-valor, o qual um valor significativo indica uma dependência dos vazios de uma variável sobre outra. Por exemplo na Figura 4-2 verifica-se que os dados faltantes da variável *Marca* é dependente das variáveis *Severidade* e *Gênero*, entretanto a *Marca* específica da motocicleta é impossível de ser estimada com os dados do banco de dados, logo essa variável é uma possível NMAR, portanto optou-se em descartá-la para evitar problemas na modelagem. Vale ressaltar que variáveis NMAR e MAR não devem ser eliminadas pelo método completo em lista, pois podem causar viés nos resultados dos modelos.

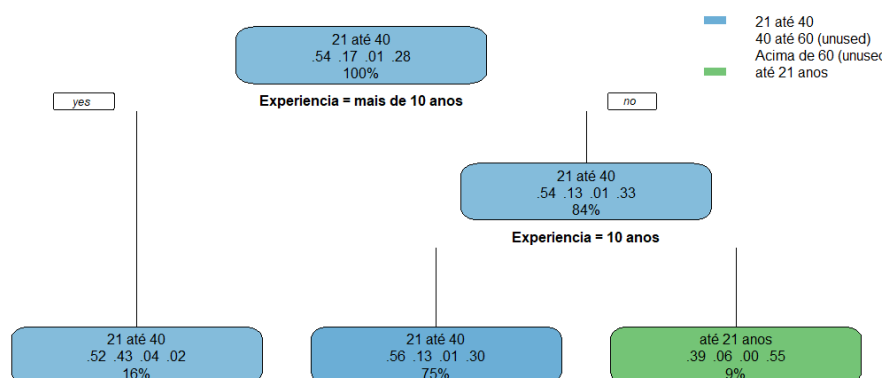
Figura 4-2 - Verificar o tipo de dados vazios

Missing data analysis: Marca		Not missing	Missing	p
CdGravidadeLesao	Ileso	169 (12.3)	64 (5.1)	<0.001
	Leve	932 (67.8)	1051 (83.7)	
	Moderado	73 (5.3)	67 (5.3)	
	Grave	179 (13.0)	65 (5.2)	
	Fatal	22 (1.6)	9 (0.7)	
Genero	Feminino	106 (6.8)	196 (15.9)	<0.001
	Masculino	1455 (93.2)	1036 (84.1)	

Fonte: O autor.

As restantes das variáveis foram classificadas em MAR, sendo necessário um tipo de abordagem de estimação para prever os dados faltantes. O método utilizado neste tratamento foi o algoritmo de Árvore de Decisão. Um exemplo de estimação está na Figura 4-3, a qual é possível estimar o valor da idade a partir da experiência, seguindo os ramos da árvore têm-se: se a experiência for “mais de 10 anos” o usuário tem de “21 a 40 anos”, se não, verifica se a experiência é de “2 até 10 anos”, se sim, então a idade é de “21 a 40 anos” e caso contrário a idade é “até 21 anos”.

Figura 4-3 - Árvore de decisão dos dados faltantes da variável *Idade*



Fonte: O Autor.

Existe um caso especial no banco de dados dos logradouros, pois neste a variável de interesse é a classificação das vias, entretanto este dado possui quase 80% de observações faltantes, portanto, foi criado um método de estimação especial para esta variável. Foram utilizados os dados de identificação, nome, tipo, número de pistas e faixas, tamanho da via e coordenadas, que estão disponíveis no banco de dados dos logradouros de Fortaleza. A classificação foi estimada por duas abordagens diferentes, definindo a amostra de treinamento como 75% dos dados válidos e o restante como teste do algoritmo.

Na primeira abordagem foi utilizado o algoritmo *Random Forest*, o qual é um dos mais sofisticados métodos de aprendizagem de máquina e é capaz de dar resultados satisfatórios com dados categóricos. O resultado obtido foi uma acurácia de 98,2%, ou seja, o algoritmo classificou 98% das vias da amostra de teste corretamente, mostrando um bom resultado na estimação. Foram usados os parâmetros padrões do método, com $n_{tree} = 100$.

Na segunda abordagem foi utilizado o método de aprendizagem profunda, *Deep Learning*, com o algoritmo avançado de redes neurais artificiais. O resultado mostrou uma acurácia de 94,2%, utilizando os parâmetros padrões do método, demonstrando que o algoritmo de *Random Forest* se adaptou melhor no cenário, portanto, este foi usado para estimar as classificações da via. O escopo deste trabalho não aborda uma avaliação mais aprofundada sobre o tratamento de dados faltantes, logo foi realizada somente uma comparação das acurácias dos métodos.

Foram estimados todos os outros valores faltantes das variáveis restantes utilizando o método da Árvore de Decisão. A amostra final possui 3008 observações composta por 23 variáveis.

O último passo antes da modelagem é definir a ordem das categorias das variáveis, pois o modelo é estimado pelo WLSMV, o qual necessita que os dados de entrada tenham uma ordem estabelecida. A Tabela 4-5 demonstra como as categorias estão ordenadas dos indicadores utilizados neste estudo. Preferiu-se ordenar pela segurança, ou seja, do menos seguro para o mais seguro ou na ordem inversa.

Tabela 4-5 - Ordem das categorias das variáveis

Indicador	Variável	Ordem
Motociclistas experientes	<i>Experiência</i>	Sem carteira < 2 anos < 10 anos < mais de 10 anos
Motociclistas habilitados	<i>CondCNH</i>	Sem carteira < vencido < valido
Severidade do motociclista	<i>Severidade</i>	Ileso < Leve < Moderado < Grave < Fatal
Motociclistas mais velhos	<i>Idade</i>	até 21 anos < 21 até 40 < 40 até 60 < Acima de 60
Dia útil	<i>Dia</i>	Fim de semana < Dia útil
Horas com luz natural	<i>Hora</i>	Noite < Dia
Iluminação pública eficiente	<i>Iluminacao</i>	Mal Iluminada < Via Iluminada < Anoiecer < Amanhecer < Luz do Dia
Motos novas	<i>Ano_veic</i>	Mais de 10 anos < de 10 até 5 anos < Até 5 anos
Movimentos seguros	<i>Manobra</i>	Arriscada < Não arriscada
Desenho do cruzamento mais seguro	<i>Tipo_cruzamento</i>	Cruz < T < Rotatória
Maior controle da interseção	<i>Controle_tráfego</i>	Não Há Controle < Pare < Semáforo
Colisão com veículos mais leves	<i>RelVeic</i>	pesado < médio < leve
Mais faixas de tráfego	<i>Faixas</i>	até 8 < de 8 até 15 < Acima de 16
Presença de fiscalização eletrônica	<i>Fisc_elet</i>	Não < Sim
Vias com velocidades mais seguras	<i>Classif_via</i>	0 < 1 < 2 < 3 < 4 < 5 < 6 < 7 < 8 < 9 < 10 < 11
Uso do solo mais residenciais e diversos	<i>UsoSolo</i>	Outros < Rural < Industrial < Comercial < Misto < Residencial < Lazer < Escola
Presença de Faixa de acomodação para motocicletas e bicicletas	<i>Motobox</i>	Não < Sim
Condições climáticas mais favoráveis	<i>Tempo</i>	Chuva/Nublado < Bom
Superfície da pista favorável	<i>Superficie_pista</i>	Molhada < Seca

Fonte: O autor.

4.3 Desenvolvimento do modelo de mensuração

Com os dados tratados, foram definidas quais variáveis fariam parte do modelo de mensuração do estudo. Foi criada uma tabela de correspondência entre as variáveis consagradas e as disponíveis, Tabela 4-6, e em seguida é comentado sobre cada correspondência. O APÊNDICE B demonstra as relações de forma visual.

Tabela 4-6 - Tabela de correspondência

Latente	Indicador da literatura	Correspondência	Observação
Usuários Seguros	Equipamentos de proteção	<i>Capacete</i>	Não possui dados
	Vestimentas que melhorem a visibilidade	-	-
	Experiência e habilitação	<i>Experiencia,</i> <i>CondCNH</i>	-
	Idade	<i>Idade</i>	-
	O não uso de bebidas alcoólicas e drogas	<i>Alcoolizado, Dia</i>	<i>Alcoolizado</i> : não possui dados validos
	Educação	<i>Manobra</i>	-
Velocidades Seguras	Hora do dia e uso do solo	<i>Hora e UsoSolo</i>	-
	Condições climáticas	<i>Tempo,</i> <i>Superficie_pista</i>	-
	Fiscalização eletrônica	<i>Fisc_elet</i>	-
	Classificação da via e velocidade limite	<i>Classif_via</i>	-
Vias Seguras	Número de faixas	<i>Faixas</i>	-
	Largura das faixas	-	-
	Faixa de acomodação para motocicletas e bicicletas	<i>Motobox</i>	-
	Condições da via	-	-
	Desenho da via	<i>Tipo_cruzamento</i>	-
	Iluminação	<i>Iluminação</i>	-
	Sinalização	<i>Controle_trafego</i>	-
	Sistema de classificação das vias em cinco estrelas	-	-
Veículos Seguros	ABS	<i>Ano_veic</i>	-
	Controle de tração e estabilidade eletrônica	-	-
	Monitor de pressão dos pneus	-	-
	Faróis adaptáveis	-	-
	Airbags	-	-
	Sistema de Transporte Inteligente	-	-
	Veículos comunicáveis	-	-
	Sistema de classificação dos veículos em cinco estrelas	<i>Marca, RelVeic</i>	<i>Marca</i> : dados não válidos

Fonte: O autor.

Na latente Usuários Seguros, a variável correspondente de equipamento de proteção é o uso de capacete, porém essa variável contém somente dados vazios, inviabilizando qualquer uso. As variáveis *Experiência* e *Idade* foram correspondidas pelas variáveis de significado similar encontradas no banco de dados. A variável de não uso de bebidas alcoólicas foi correspondida pela variável *Dia*, a qual a porcentagem de motorista que usam bebidas alcoólicas é maior nos finais de semana. Isso é confirmado pela pesquisa da *Bloomberg Philanthropies Initiative for Global Road Safety* (2019), em Fortaleza, que demonstrou que nos finais de semana têm-se uma razão de chance dez vezes maior de existirem motoristas embriagados comparado aos dias úteis, visto que, o uso da variável *Alcoolizado* do banco de dados não é útil, pois possui dados não verídicos. O indicador de educação foi correspondido

pela variável *Manobra*, pois acredita-se que motociclistas mais instruídos evitam movimentos de risco.

A latente Velocidades Seguras tem seu indicador hora do dia correspondido pela variável *Hora* e o indicador do uso do solo pela variável *UsoSolo*, pois acredita-se que em interseções de uso residencial e escolar têm-se velocidades mais seguras e horas com luz natural interfiram nas velocidades. O indicador condições climáticas foi correspondido pelas variáveis *Tempo* e *Superficie_pista*, pois acredita-se que o clima influencia nas velocidades dos motoristas. O indicador fiscalização eletrônica pela mesma correspondente, portanto espera-se que os motoristas adotem menores velocidades médias em vias com fiscalização. Classificação da via e velocidade limite foi correspondido pela *Classif_via*, pois em vias locais a velocidade média é mais baixa e em vias expressas mais altas.

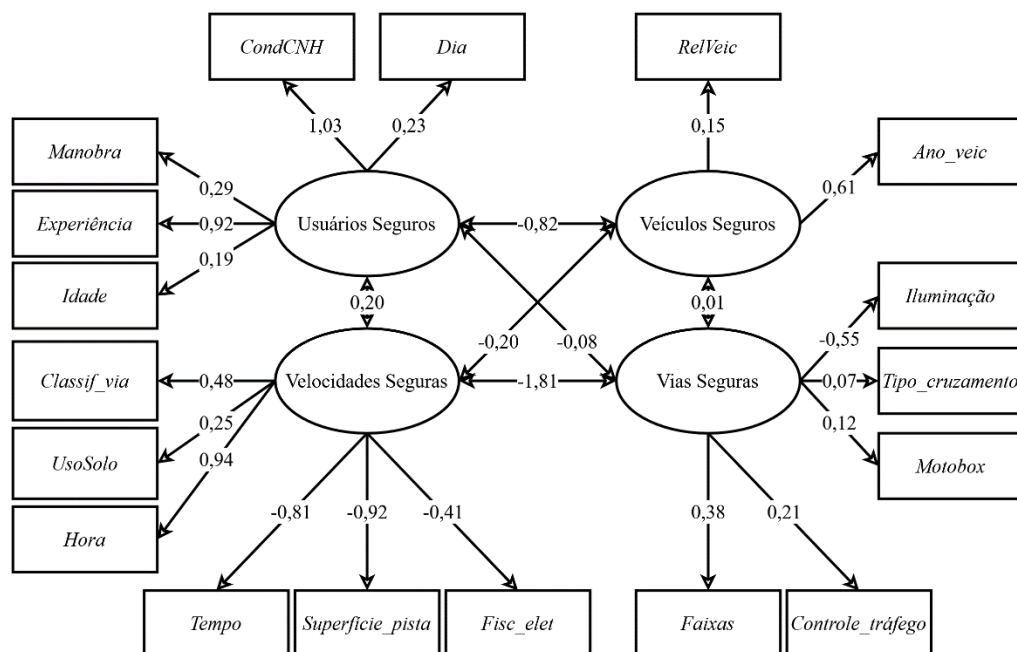
Na latente Vias Seguras, os indicadores número de faixas, Faixa de acomodação para motocicletas e bicicletas e iluminação foram correspondidas diretamente por uma equivalente. Desenho da via pela variável *Tipo_cruzamento* e sinalização pela variável *Controle_trafego*.

Na latente Veículos Seguros a única variável mais válida é o *Ano_veic*, correspondendo que a motocicleta possui ABS ou outros equipamentos de segurança, pois em veículos mais novos o ABS é obrigatório, além de que, veículos mais novos tendem a ter menos problemas de manutenção. Entretanto, uma latente com apenas uma variável não é teoricamente válida, portanto, optou-se por usar a *RelVeic* para representar o Sistema de classificação dos veículos, o qual verifica o nível de segurança na colisão, pois variável *Marca* não está disponível, assim relacionando a motocicleta com o obstáculo colidido. A falta de variáveis que correspondam aos indicadores propostos para mensurar as latentes deste trabalho limita a representação ideal, porém espera-se que as variáveis propostas possam refletir de maneira significativa a representação teórica dos construtos propostos.

A especificação do modelo foi realizada com o pacote *lavaan* no R, utilizando a técnica WLSMV. Foi realizado primeiro um modelo utilizando todas as variáveis disponíveis, contudo os resultados demonstram problemas na estimação, pois apresentam coeficientes acima de 1 em módulo, que podem representar problemas na estimação, pois os resultados estão padronizados. A métrica de RMSEA foi acima de 0,1 (0,127), demonstrando que existem resíduos entre variáveis problemáticos, entretanto os restantes das métricas, GFI = 0,972 e CFI = 0,966, acusaram um ajuste aceitável. A primeira etapa de correção utilizou os resíduos, eliminando variáveis que tenham valores elevados, ou seja, acima de 0,1 em módulo. Foram eliminadas pelos resíduos as variáveis *Tempo*, *Superficie_pista*, *Hora*, e *Tipo_cruzamento*.

A segunda correção ocorreu eliminando variáveis com coeficientes (cargas do modelo) maiores que 1, que nesse caso foi somente a variável *CondCNH*, esse coeficiente pode ter ocorrido, pois esta variável é muito similar ao encontrado na variável *Experiência*, a qual representa, também, os motociclistas habilitados. Existe uma relação entre as latentes maior que 1, entretanto optou-se em deixá-la, por ser uma relação de correlação, espera-se que com as modificações este valor diminua. A Figura 4-4 representa o modelo inicial de mensuração com os indicadores propostos.

Figura 4-4 - Modelo de mensuração inicial



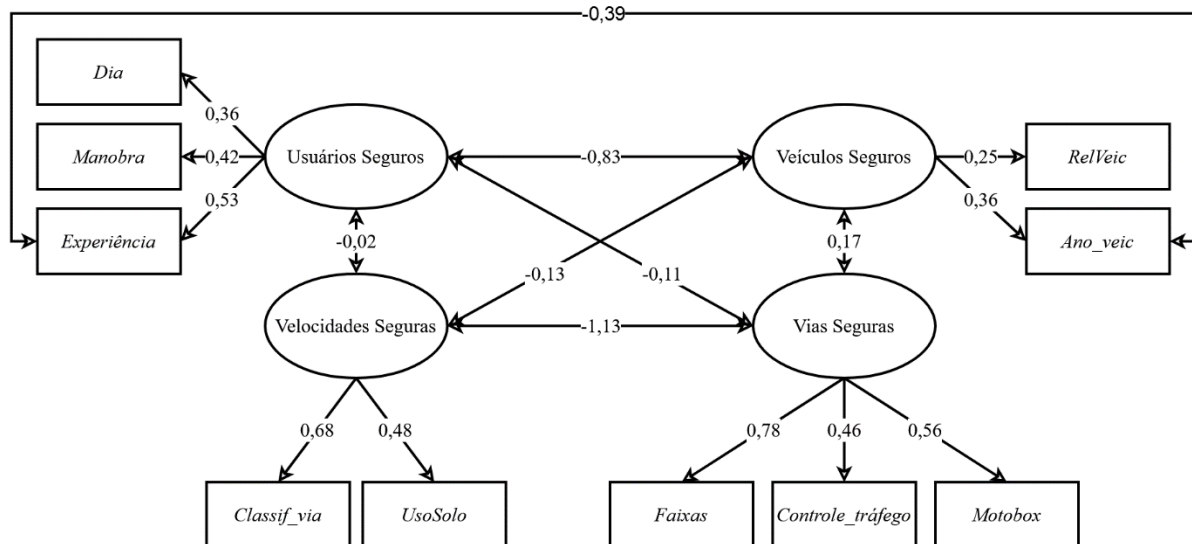
Fonte: O autor.

Em seguida foram eliminadas as variáveis não significativas, estas foram a *Idade* e a *Iluminação*. A última etapa de correção foi a análise dos índices de modificação, os quais podem refletir em possíveis correlações fortes entre variáveis do modelo. Optou-se então por ligar os termos de erros das variáveis, as quais acredita-se existir uma correlação elevada, portanto a ligação realizada foi entre as variáveis *Experiência* e *Ano_veic*, as quais apresentaram uma correlação significativa, demonstrando que motociclistas mais experientes, em geral, tendem a terem veículos mais velhos.

Após os ajustes dos resíduos, retirada de fatores não significativos e ligação entre variáveis muito correlacionadas foram avaliados os coeficientes obtidos. Observa-se que a fiscalização eletrônica tem um coeficiente negativo, significando que as interseções que possuem fiscalização são propensas a terem uma maior velocidade média. Isso se deve pelo

fato que as interseções com fiscalização são, em maior parte, em vias coletoras, arteriais e expressas, logo nestes locais a velocidade média é maior que em vias locais. Por causa deste problema de interpretação, optou-se em retirar a variável *Fisc_elet*. Com as ligações feitas o modelo foi estimado, representado na Figura 4-5.

Figura 4-5 - Modelo de mensuração final



Fonte: O autor.

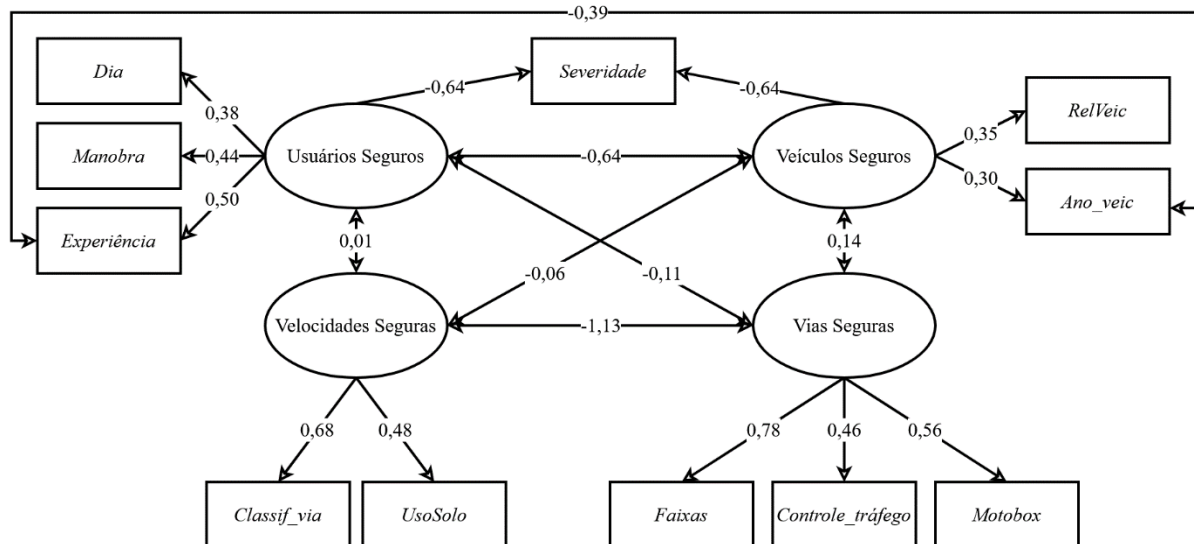
As métricas obtidas do modelo, CFI de 0,986, GFI de 0,997, SRMR de 0,08 e RMSEA de 0,03, deram valores dentro dos limites aceitáveis, demonstrando um bom ajuste do modelo. Foi observado um p-valor de praticamente 0, que mostra que o modelo não se adequa aos dados, porém essa medida não é confiável, pois é afetada pelo número de observações e variáveis. O único problema observado se trata do coeficiente, peso, acima de $|1|$ entre as latentes Velocidades e Vias, porém como é aproximadamente $|1|$ acredita-se que este não gerou problemas na estimação. A partir desse modelo de mensuração foi elaborado o modelo estrutural na próxima etapa.

4.4 Desenvolvimento do modelo estrutural

A teoria estrutural proposta estabelece que todos os construtos das dimensões dos sistemas seguros têm uma influência na severidade dos acidentes e espera-se que as dimensões sejam inter-correlacionadas. Entretanto, ao efetuar o modelo, verificou-se que os coeficientes entre a severidade do acidente e as latentes Velocidades Seguras e Vias Seguras não foram

significantes, logo optando-se por retirar essas relações. O modelo proposto e estimado está na Figura 4-6.

Figura 4-6 - Modelo estrutural



Fonte: O autor.

As métricas do modelo estrutural foram: GFI de 0,997, CFI de 0,984, SRMR de 0,077 e RMSEA de 0,028, demonstrando um bom ajuste do modelo. Em seguida é comentado cada relação do modelo, inicialmente com as relações entre a latente e os indicadores, posteriormente da latente com outras latentes e finalmente das latentes com a variável resposta, severidade. Os resultados obtidos sempre são apoiados com os encontrados na literatura, mantendo uma coerência.

No construto Usuários Seguros os coeficientes dos indicadores foram significativos, sendo a variável *Experiência* com o maior coeficiente, 0,502 IC[0,401;0,602]. Este coeficiente demonstra que *motociclistas experientes* tendem a sofrer menores severidades, pois acredita-se que a habilitação e uma maior experiência do motociclista estão ligados a uma maior segurança. Em países de baixa e média renda, identificou que cerca de 67% dos feridos em acidentes estavam sem habilitação, portanto é importante que todos os motociclistas estejam habilitados, pois estes passam por um treinamento e são educados sobre a segurança no trânsito (SHAKER *et al.*, 2014; SMC, 2014).

O indicador de *movimentos seguros*, *Manobra*, é positivo para Usuários Seguros (0,444 IC[0,299;0,590]) e acidentes que ocorreram em dias úteis, também (0,383 IC[0,280;0,486]). Existe uma relação de não segurança relevante em finais de semana, pois nestes dias a razão de chances de motoristas embriagados pode ser maior. Outra interpretação

dos resultados dessa latente é que motociclistas mais experientes tendem adotar comportamentos mais seguros, logo não realizando movimentos arriscados e geralmente não se acidentam gravemente em finais de semana. Um estudo na Tailândia mostrou que motociclistas mais experientes e com um melhor treinamento reduzem em mais de 30% as lesões, que demonstra uma consistência dos resultados obtidos desta latente com o encontrado na literatura (WORATANARAT *et al.*, 2013).

Na latente Veículos Seguros todos os indicadores deram coeficientes significativos, com o maior sendo da colisão com veículos mais leves (*RelVeic*) 0,351 IC[0,223;0,479], mostrando que o impacto da motocicleta é importante. O outro indicador da latente é o ano da motocicleta, variável *Ano_veic*, o qual demonstra que as motocicletas mais novas são mais seguras (0,302 IC [0,223;0,479]). Cada vez mais os veículos fabricados estão tendo um foco na segurança e o interesse dos consumidores por veículos mais seguros aumenta, portanto a presença de novas tecnologias que aumentam a segurança como o ABS se torna mais atraentes para os consumidores (KOPPEL *et al.*, 2008) e as leis que obrigam os veículos novos a possuírem tais tecnologias favorecem a segurança.

A colisão com veículos mais leves, variável *RelVeic*, está ligada ao impacto e a energia do acidente, constatando que, veículos mais leves em choque com a motocicleta é positivo com a latente de Veículos Seguros. Relacionar novas tecnologias capazes de auxiliar na dissipação de energia, como *airbags* externos, barras de direção colapsáveis, para-choques mais eficientes, dentre outras tecnologias, são medidas que poderão contribuir para a redução da severidade dos acidentes com motocicletas.

A latente Velocidades Seguras é representada pelas variáveis *Classif_via* (0,641 IC[0,641;0,719]) e *UsoSolo* (0,479 IC[0,441;0,516]). A latente tenta refletir em velocidades médias mais baixas na via, através das classificações da via, como em cruzamentos de vias locais, por apresentarem uma menor velocidade média e em ambientes residenciais e escolares, pois a velocidade tende a ser menor. Os motoristas inclinam-se a ter um comportamento mais seguro, adotando menores velocidades em frente de escolas, além de que nesses locais há a presença de avisos e infraestrutura, como sinalizações e lombadas, que incentivam à redução da velocidade.

Vias Seguras é representada pelos indicadores número de faixas (0,785 IC[0,747;0,822]), tipo de controle do tráfego (0,459 IC[0,427;0,492]) e presença de Faixa de acomodação para motocicletas e bicicletas (*Motobox*) (0,561 IC[0,452;0,670]). Um maior número de faixas pode tornar a interseção mais segura, que vai de acordo com a pesquisa de Flask, Schneider e Lord (2014), entretanto, deve-se tomar cuidado com o número de faixas,

pois estas podem levar os motoristas a adotarem maiores velocidades. O tipo de controle com semáforos e com fiscalização, torna a interseção mais segura, o que vai de acordo com o estudo bibliográfico (LEE *et al.*, 2014). E por fim, a presença de Faixa de acomodação para motocicletas e bicicletas é um equipamento que reduz o número de conflitos e está melhorando a segurança nas interseções (COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO, 2015).

A relação das latentes Veículos e Usuários Seguros é -0,637 IC[-0,872;-0,402], logo usuários mais experientes, em geral, tendem a ter veículos mais velhos, criar uma cultura de veículos mais seguros é importante. Incentivar a compra de motocicletas com maior segurança ou incentivar a implantação de novos dispositivos de segurança podem ser medidas para alavancar a segurança dos motociclistas, entretanto o investimento em educação e treinamento dos motociclistas é importante, também, de forma que estes estejam melhores instruídos (SMC, 2014).

A relação de correlação entre Velocidades Seguras e Vias Seguras é alta -1,132 IC [-1,200;-1,065], a latente velocidades seguras é representada pelo indicador da classificação, logo em vias locais, com menores velocidades, estão diretamente relacionadas a um menor valor do indicador das Vias Seguras de número de faixas, explicando o motivo do coeficiente negativo. Percebe-se que para construir um sistema seguro é preciso tomar cuidado com o desenho da via, pois este pode afetar as velocidades médias adotadas pelos veículos.

Os coeficientes das relações de dependência deram valores significativos, portanto os construtos de Usuários Seguros (-0,642 IC[-1,101;-0,182]) e Veículos Seguros (-0,639 IC[-1,125;-0,152]) têm uma influência inversa com a severidade dos acidentes e outro ponto importante é que as dimensões Velocidades Seguras e Vias Seguras apresentaram somente relação indireta com a severidade. Segundo a Organização Pan-Americana da Saúde (2018), o desenho urbano muitas vezes não é pensado na segurança do motociclista, existindo apenas um fator nos dados que é focado no aumento da segurança desses, o qual é a presença da Faixa de acomodação para motocicletas e bicicletas, entretanto no ano de análise são poucos locais apresentavam essa estratégia. O APÊNDICE C demonstra os coeficientes de todas as relações do modelo.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Este estudo avaliou a influência de variáveis representativas das dimensões dos Sistemas Seguros na severidade dos acidentes de trânsito em interseções de redes urbanas com foco nos motociclistas. Para compreender melhor como as dimensões dos Sistemas Seguros influenciam na cidade de Fortaleza é necessária uma abordagem mais sistêmica das relações entre os fatores que o influenciam.

Para o entendimento das dimensões foi proposta a aplicação do modelo de equações estruturais, o qual é capaz de fornecer as complexas relações entre as dimensões e a severidade dos acidentes, além da habilidade de representar conceitos não observados nessas relações e corrigir o erro de mensuração no processo de estimação. O processo de modelagem foi elaborado baseado nas etapas do SEM, as quais foram definidas pelos autores Hair *et al* (2009). As etapas são uma forma prática de obter os resultados a partir dos bancos de dados da cidade, utilizando acidentes envolvendo motociclistas em interseções. A escolha de analisar a segurança dos motociclistas deve-se por ser um usuário vulnerável e estar em crescente aumento nos centros urbanos, existindo uma carência no entendimento das inter-relações entre os fatores que influenciam a segurança destes usuários. As interseções apresentam risco maior de severidade comparado aos acidentes em meio de quadra, por isso, optou-se a delimitar neste cenário.

A primeira etapa do método foi a definição dos construtos inerentes as dimensões dos sistemas seguros. Foi realizada uma revisão da literatura caracterizando os principais fatores que formam conceitualmente as dimensões dos sistemas seguros com foco na severidade dos motociclistas. Ao todo foram identificadas 25 variáveis que podem ser adequadas para representar as dimensões de Usuários Seguros, Veículos Seguros, Velocidades Seguras e Vias Seguras.

A segunda etapa foi a definição dos indicadores representam cada construto, entretanto, nos bancos de dados disponíveis não constavam as variáveis ideais para a definição das latentes. A falta de variáveis, por exemplo, a informação do uso de dispositivos de segurança, do uso de bebidas alcoólicas e principalmente da falta de dados das características dos veículos, como a marca e o dano sofrido no acidente, foram impactantes para a modelagem, sendo necessário usar outras variáveis para substituir a ausência destas.

Outro problema inerente aos bancos de dados é falta de dados, os quais foram tratados utilizando um algoritmo de aprendizagem de máquina, visto que, a eliminação dos

dados faltantes acarretaria em viés nos resultados. O ideal seria ter um banco de dados completo com as variáveis necessárias e com todos os dados disponíveis.

Diante das limitações citadas, foi elaborado um banco de dados consolidado necessário para elaboração do modelo de mensuração para testar a consistência dos quatro construtos, representando cada dimensão. O modelo inicial de mensuração possuía 18 variáveis e apresentava um resíduo acima do aceitável, portanto, foi necessário realizar modificações no modelo, como retiradas de variáveis com resíduos elevados e não significativos e realizando ligações nos termos de erros de variáveis muito correlacionadas. Após as modificações, foi estimado um modelo final de mensuração com dez variáveis, no qual foram eliminadas variáveis que representavam a idade e a condição da CNH do motociclista, o clima, a hora, a iluminação e o tipo de cruzamento. O modelo apresentou melhores métricas de ajuste, sendo todas aceitáveis, portanto foi possível representar de forma admissível as dimensões dos Sistemas Seguros com o banco de dados proposto.

O modelo estrutural, elaborado a partir do modelo de mensuração, estimado obteve métricas satisfatórias de ajuste e os resultados demonstraram, que as latentes Usuários e Veículos seguros são as que influenciam diretamente na segurança dos motociclistas. A latente Usuários Seguros foi representada pelos indicadores motociclistas experientes, movimentos seguros e dia útil, na qual a de maior peso é a experiência do motociclista, demonstrando que políticas públicas com foco na habilitação dos motociclistas devem ser reforçadas para um maior aumento do DSV.

A latente Veículos Seguros demonstra que é necessário relacionar novas tecnologias capazes de auxiliar na dissipação de energia nos veículos, como *airbags* externos, barras de direção colapsáveis, para-choques mais eficientes, dentre outras tecnologias e que veículos mais novos são mais seguros. Criar uma cultura de segurança através do incentivo de veículos e equipamentos mais seguros é uma abordagem que favorece o DSV.

A latente Velocidades Seguras faz crer que é necessário a adoção de velocidades mais baixas. Adotar medidas como a redução da velocidade limite legal, aumento da sinalização, fiscalização e construção de infraestruturas, como lombadas, são ferramentas que podem reduzir as velocidades médias, tornando o sistema viários em interseções mais seguro. E em conjunto com a latente Vias Seguras tem-se que é necessário desenhar vias com o foco na segurança do motociclista de forma que a junção de cada dimensão do Sistema Seguro tenha um efeito positivo na segurança, elaborando o conceito de múltiplos elementos de segurança (EUROPEAN COMMISSION, 2019; ITF, 2016).

A elaboração de medidas nas dimensões dos Sistemas Seguros deve ser uma abordagem proativa, inevitavelmente algum elemento de segurança irá falhar, assim a adoção de vários elementos fornece uma proteção adicional. Motociclistas mais experientes e cuidadosos, veículos mais seguros, adoção de velocidades mais baixas e um desenho da via que vise a segurança dos motociclistas são necessários para alcançar um Sistema Seguro.

A partir desse estudo, foi adquirido um maior conhecimento dessa abordagem, resultando em uma série de conclusões e sugestões que poderão orientar futuros estudos sobre este método no DSV. Ao longo do desenvolvimento do presente trabalho alguns tópicos foram identificados para extensões e desenvolvimentos futuros. Dentre estes, recomenda-se:

- a) Investigar uma amostra de diferentes anos e outras localidades para verificar a consistência temporal e espacial dos resultados;
- b) Comparar os resultados utilizando o meio de quadra ou outros tipos de agregação, como por Zonas de Tráfego;
- c) Especificar mais o estudo analisando somente vias arteriais ou expressas, analisando melhor os efeitos da adoção das contramedidas nestas classificações;
- d) Analisar o DSV considerando o processo por outros tipos de usuários vulneráveis;
- e) Desenhar um estudo para representar as dimensões dos Sistemas Seguros idealmente.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 7471: Veículos rodoviários automotores — Capacete e viseiras para condutores e passageiros de motocicletas e veículos similares — Requisitos de desempenho e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro.
- ALEXANDRE, Jorge et al. **Modelo de equações estruturais: uma introdução aplicada**. Brasília: Enap, 2018. Disponível em: <[http://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/3334/1/Livro_Modelo de equações estruturais.pdf](http://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/3334/1/Livro_Modelo%20de%20equa%C3%A7%C3%B5es%20estruturais.pdf)>
- ALLURI, Priyanka; SAHA, Dibakar; GAN, Albert. Prioritization of Highway Safety Manual (HSM) Data Variables Using Random Forest Algorithm. **Annual Meeting of the Transportation Research Board**, [s. l.], v. 94, 2014.
- AMBAK, Kamarudin; ATIQ, Riza; ISMAIL, Rozmi. Intelligent Transport System for Motorcycle Safety and Issues Kamarudin. **European Journal of Scientific Research**, [s. l.], v. 28, n. 4, p. 600–611, 2009.
- ANDERSON, James C.; GERBING, David W. Structural equation modeling in practice: A review and recommended two-step approach. **Psychological Bulletin**, [s. l.], v. 103, n. 3, p. 411–423, 1988. Disponível em: <<http://doi.apa.org/getdoi.cfm?doi=10.1037/0033-2909.103.3.411>>
- AZIMI, Ghazaleh et al. Severity analysis for large truck rollover crashes using a random parameter ordered logit model. **Accident Analysis and Prevention**, [s. l.], v. 135, n. November 2019, p. 105355, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.105355>>
- BANSAL, Atul et al. Significance of Tire Pressure Monitoring System in Motorcycle. **SAE Technical Papers**, [s. l.], 2016.
- BARBOSA SAMIOS, Ariadne Amanda; LARRANAGA, Ana Margarita; CYBIS, Helena Bettella. Ambiente construído e bem-estar subjetivo: análise das diferenças entre os usuários dos diferentes modos de transporte. **Transportes**, [s. l.], v. 27, n. 3, p. 54–66, 2019. Disponível em: <<https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/2021>>
- BARBOZA, Francismeire Brasileiro Magalhães. **Fatores determinantes da gravidade de lesões em vítimas de trauma por acidentes envolvendo motocicletas**. 2015. [s. l.], 2015.
- BAYLY, Megan; HOSKING, Simon; REGAN, Michael. Intelligent Transport Systems and Motorcycle Safety. **Technical report**, [s. l.], 2006.
- BLOOMBERG INITIATIVE FOR GLOBAL ROAD SAFETY. **Data Technical Report**. Fortaleza, Brazil.
- BOLLEN, Kenneth A. **Structural Equations with Latent Variables**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1989. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/9781118619179>>
- BRASIL. **Lei nº 9.503, Institui o Código de Trânsito Brasileiro**. Brasília. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>.
- BREIMAN, Leo. Random Forests. **Kluwer Academic Publishers**, [s. l.], v. 45, p. 5–32, 2001.
- BROWN, Timothy A. **Confirmatory factor analysis for applied research**. 2. ed. New

York: Guilford: Guilford Publications, 2007. v. 44

CHEN, Huei Yen Winnie; DONMEZ, Birsen. What drives technology-based distractions? A structural equation model on social-psychological factors of technology-based driver distraction engagement. **Accident Analysis and Prevention**, [s. l.], v. 91, p. 166–174, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2015.08.015>>

CLABAUX, Nicolas; FOURNIER, Jean Yves; MICHEL, Jean Emmanuel. Powered two-wheeler drivers' crash risk associated with the use of bus lanes. **Accident Analysis and Prevention**, [s. l.], v. 71, p. 306–310, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2014.05.021>>

COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO. **Relatório de avaliação do projeto “Frente Segura”**. São Paulo. Disponível em: <<http://www.cetsp.com.br/media/440634/Relatorio-Frente-Segura-CONTRAN.pdf>>.

CORDEIRO, Caio Henrique de Oliveira Lobo; BARBOSA, Heloisa Maria; NOBREGA, Rodrigo Affonso de Albuquerque. Análise exploratória do comportamento de motociclistas com relação ao uso de equipamentos de proteção. **Transportes**, [s. l.], v. 32, p. 3265–3276, 2018.

COUTINHO, Carlos Henrique Loiola; CUNTO, Flávio José Craveiro; FERREIRA, Sara Maria Pinho. Análise da severidade dos acidentes com motocicletas utilizando modelos probit e logit ordenados. **Transportes**, [s. l.], v. 23, n. 4, p. 60, 2015.

DANIELLO, Allison et al. Rating roads for motorcyclist safety: Development of a motorcycle road assessment program. **Transportation Research Record**, [s. l.], n. 2194, p. 67–74, 2010.

DE ROME, Liz et al. Motorcycle protective clothing: Protection from injury or just the weather? **Accident Analysis and Prevention**, [s. l.], v. 43, n. 6, p. 1893–1900, 2011.

DEB, Rupam; LIEW, Alan Wee-chung. Missing Value Imputation for the Analysis of Incomplete Traffic Accident Data. In: **Information Sciences**. [s.l.] : Elsevier Inc., 2014. v. 339p. 275–286.

DEPARTMENT OF TRANSPORT & MAIN ROADS - QUEENSLAND. Safer roads, safer Queensland: Queensland's Road Strategy 2015-21. [s. l.], p. 16p, 2015. Disponível em: <<http://www.tmr.qld.gov.au/Safety/Road-safety/Strategy-and-action-plans.aspx> <<https://trid.trb.org/view/1372451>>

DION, Paul A. Interpreting structural equation modeling results: A reply to Martin and Cullen. **Journal of Business Ethics**, [s. l.], v. 83, n. 3, p. 365–368, 2008.

ELVIK, Rune; VAA, Truls. **The handbook of road safety measures - Part II general Propouse, policy instruments**. 2. ed. Bingley, UK: Emerald Publishing Limited, 2009. Disponível em: <http://www.masseguridadvial.eu/FILES/Road_Safety_Measures_EN.pdf>

EUDALY, Chloe. **Saving Lives With Safe Streets**. City of Portland, Oregon.

EUROPEAN COMMISSION. EU Road Safety Policy Framework 2021-2030 - Next steps towards “Vision Zero”. [s. l.], n. SWD(2019) 283 final, p. 33, 2019. Disponível em: <www.etsc.eu/PIN>

FERREIRA, Felipe Ferreira De. **Fatores de Risco em Acidentes Envolvendo Motocicletas Em Vias Urbanas : a Percepção Dos Condutores**. 2009. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [s. l.], 2009.

FLASK, Thomas; SCHNEIDER, William H.; LORD, Dominique. A segment level analysis of multi-vehicle motorcycle crashes in Ohio using Bayesian multi-level mixed effects models. **Safety Science**, [s. l.], v. 66, p. 47–53, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2013.12.006>>

FONSECA, Nathaniel Silva. **Estimativas do nível de severidade dos acidentes envolvendo motociclistas em vias urbanas: uma análise das variáveis explicativas com redes neurais artificiais**. 2013. [s. l.], 2013.

GOLOB, Thomas F. Structural equation modeling for travel behavior research. **Transportation Research Part B: Methodological**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 1–25, 2003. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0191261501000467>>

GOVERNO FEDERAL. **Lei 11.705 - Dispõe sobre a inibição do consumo de bebidas alcoólicas por condutor de veículo automotor e dá outras providências**. Brasília. Disponível em: <<http://planalto.gov.br>>.

GST; DPS. **Faixas Exclusivas de Motocicletas: Resultados da Experiência de Implantação para a Segurança Viária em São Paulo**. São Paulo. Disponível em: <<http://www.cetsp.com.br/media/403930/relatoriomotofaixas.pdf>>.

HACKNEY, James R.; KAHANE, Charles J. The New Car Assessment Program: Five Star Rating System and Vehicle Safety Performance Characteristics. In: (SAE - The Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space, Ed.) 1995, Detroit, Michigan. **Anais...** Detroit, Michigan: International Congress and Exposition, 1995. Disponível em: <<https://www.sae.org/content/950888/>>

HAIR, J. F. J. et al. **Análise Multivariada de Dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman Companhia Editora Ltda, 2009.

HAMDAR, Samer H.; MAHMASSANI, Hani S.; CHEN, Roger B. Aggressiveness propensity index for driving behavior at signalized intersections. **Accident Analysis and Prevention**, [s. l.], v. 40, n. 1, p. 315–326, 2008.

HAN, Jiawei; KAMBER, Micheline; PEI, Jian. **Data Mining: Concepts and Techniques**. 3. ed. Waltham, MA: Elsevier Inc., 2012.

HASSAN, Hany M.; ABDEL-ATY, Mohamed A. Analysis of drivers' behavior under reduced visibility conditions using a Structural Equation Modeling approach. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, [s. l.], v. 14, n. 6, p. 614–625, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2011.07.002>>

HASSAN, Lama Al-hajj. Structural Equation Modelling : An Application to Pedestrian Safety in Washington DC and Exploration of the Impact of Variable Scaling Procedures Structural Equation Modelling : An Application to Pedestrian Safety in Washington DC and Exploration of the I. [s. l.], v. 1750, 2017.

HAUER, Ezra. Statistical road safety modeling. **Transportation Research Record**, [s. l.], n. 1897, p. 81–87, 2004.

HOFFMANN, Maria Helena. Comportamento do condutor e fenômenos psicológicos. **Psicologia: Pesquisa & Trânsito**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 17–24, 2005.

HUANG, B.; PRESTON, J. A Literature Review on Motorcycle Collisions Final Report. **Jurnal Transport**, [s. l.], n. April, p. 1–52, 2004. Disponível em: <http://www.mosac.eu/public/file/Huang_e_a_ A literature review.pdf>

- IBGE. **Frota de veículos**. 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/fortaleza/pesquisa/22/28120>>. Acesso em: 4 jan. 2020.
- IRANITALAB, Amirfarrokh; KHATTAK, Aemal. Comparison of four statistical and machine learning methods for crash severity prediction. **Accident Analysis and Prevention**, [s. l.], v. 108, n. February, p. 27–36, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2017.08.008>>
- ITF. **Towards zero: Ambitious road safety targets and the safe system approach**OECD. Paris.
- ITF. **Zero Road Deaths and Serious Injuries: Leading a Paradigm Shift to a Safe System**OECD. Paris.
- JONGE, Edwin De; LOO, Mark Van der. **An introduction to data cleaning with R**. Heerlen: Statistics Netherlands, 2013.
- JOVANIS, Paul P. et al. Analysis of Naturalistic Driving Event Data. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, [s. l.], v. 2236, n. 1, p. 49–57, 2011. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.3141/2236-06>>
- KANG, Hyun. The prevention and handling of the missing data. **Korean Journal of Anesthesiology**, [s. l.], v. 64, n. 5, p. 402–406, 2013.
- KENWARD, Michael G.; CARPENTER, James. Multiple imputation: current perspectives. **Statistical Methods in Medical Research**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 199–218, 2007. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0962280206075304>>
- KIM, Karl; PANT, Pradip; YAMASHITA, Eric. Measuring influence of accessibility on accident severity with structural equation modeling. **Transportation Research Record**, [s. l.], n. 2236, p. 1–10, 2011.
- KOPPEL, Sjaanie et al. How important is vehicle safety in the new vehicle purchase process? **Accident Analysis and Prevention**, [s. l.], v. 40, n. 3, p. 994–1004, 2008.
- KRISTIANSSEN, Ann Catrin et al. Swedish Vision Zero policies for safety – A comparative policy content analysis. **Safety Science**, [s. l.], v. 103, n. November 2017, p. 260–269, 2018.
- LEE, Jaeyoung et al. Analysis of crash proportion by vehicle type at traffic analysis zone level: A mixed fractional split multinomial logit modeling approach with spatial effects. **Accident Analysis and Prevention**, [s. l.], v. 111, n. September 2017, p. 12–22, 2018. a. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.11.017>>
- LEE, Jonghak et al. Traffic accident severity analysis with rain-related factors using structural equation modeling – A case study of Seoul City. **Accident Analysis and Prevention**, [s. l.], v. 112, n. December 2017, p. 1–10, 2018. b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.12.013>>
- LEE, Ju Yeon; CHUNG, Jin Hyuk; SON, Bongsoo. Analysis of traffic accident size for Korean highway using structural equation models. **Accident Analysis and Prevention**, [s. l.], v. 40, n. 6, p. 1955–1963, 2008.
- LEE, Yongdoo et al. Safety impacts of red light running photo enforcement at urban signalized intersections. **Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)**, [s. l.], v. 1, n. 5, p. 309–324, 2014. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S2095-7564\(15\)30278-6](http://dx.doi.org/10.1016/S2095-7564(15)30278-6)>

LI, Linchao et al. Estimation of missing values in heterogeneous traffic data: Application of multimodal deep learning model. **Knowledge-Based Systems**, [s. l.], n. xxxx, p. 105592, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.knosys.2020.105592>>

LILLEHAMMER. Workshop on Motorcycling Safety. **International Transport Forum**, [s. l.], v. 6, n. June, p. 1–52, 2008.

LIN, Mau Rong; KRAUS, Jess F. A review of risk factors and patterns of motorcycle injuries. **Accident Analysis and Prevention**, [s. l.], v. 41, n. 4, p. 710–722, 2009.

MANNERING, Fred L.; BHAT, Chandra R. Analytic methods in accident research: Methodological frontier and future directions. **Analytic Methods in Accident Research**, [s. l.], v. 1, p. 1–22, 2014. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213665713000031>>

MARCELO, Ronny et al. Modelagem de fatores da expansão urbana e padrões de viagens aplicando equações estruturais. [s. l.], v. 7, p. 225–246, 2013.

MÎNDRILĂ, Diana. Maximum Likelihood (ML) and Diagonally Weighted Least Squares (DWLS) Estimation Procedures: A Comparison of Estimation Bias with Ordinal and Multivariate Non-Normal Data. **International Journal for Digital Society**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 60–66, 2010.

MITRA, Sudeshna; WASHINGTON, Simon. On the significance of omitted variables in intersection crash modeling. **Accident Analysis & Prevention**, [s. l.], v. 49, p. 439–448, 2012. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0001457512001030>>

MOHAMED, Moataz; BROMFIELD, Nicole F. Attitudes, driving behavior, and accident involvement among young male drivers in Saudi Arabia. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, [s. l.], v. 47, n. 2017, p. 59–71, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2017.04.009>>

NAJAF, Pooya et al. City-level urban form and traffic safety: A structural equation modeling analysis of direct and indirect effects. **Journal of Transport Geography**, [s. l.], v. 69, n. November 2017, p. 257–270, 2018.

NORDQVIST, Maria. **Extreme behaviour**. Gamla Tunavägen, Borlänge.

NORDQVIST, Maria; GREGERSEN, Nils Petter. Study on motorcyclist's behavior and attitude towards road safety 2010. [s. l.], 2010.

OECD. **Road Safety Annual Report 2015**. [s.l.] : OECD, 2015. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/transport/road-safety-annual-report-2015_irtad-2015-en>

OMS. **Relatório Global Sobre O Estado Da Segurança Viária 2015** Relatório Global Sobre O Estado Da Segurança Viária 2015. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_traffic/en/>.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. **Salvar VIDAS - Pacote de medidas técnicas para a segurança no trânsito**. Brasília, DF.

PAIVA JUNIOR, Humberto D. E. **Segmentação e modelagem comportamental de usuários dos serviços de transporte urbano brasileiros**. 2006. Universidade de São Paulo, [s. l.], 2006.

PEARL, Judea. **Causality: Models, reasoning, and inference, second edition**. 2. ed. University of California, Los Angeles: Cambridge, 2009.

- PEARL, JUDEA. Graphs, Causality, and Structural Equation Models. **Sociological Methods & Research**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 226–284, 1998. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0049124198027002004>>
- PEREIRA, Suziane dos Santos. Modelagem de Equações Estruturais no Software R Modelagem de Equações Estruturais no Software R. [s. l.], 2013.
- PINTO, Paulo Victor Hermetério. **Avaliação do comportamento de risco de motociclistas no cenário brasileiro**. 2013. Universidade de Brasília, [s. l.], 2013.
- RIZZI, Matteo; STRANDROTH, Johan; TINGVALL, Claes. The effectiveness of antilock brake systems on motorcycles in reducing real-life crashes and injuries. **Traffic injury prevention**, [s. l.], v. 10, n. 5, p. 479–487, 2009.
- RODRIGUES, Francisco Bruno Martins. **Caracterização dos acidentes de trânsito envolvendo motocicletas no perímetro urbano de Fortaleza**. 2015. [s. l.], 2015.
- ROSLI, Naida et al. Structural equation modelling in behavioral intention to use safety helmet reminder system. **MATEC Web of Conferences**, [s. l.], v. 47, 2016.
- ROSSEEL, Yves. lavaan: An R Package for Structural Equation Modelinge human forearm during rythmic exercise. **Journal Of Statistical Software**, [s. l.], v. 48, n. 2, p. 1–36, 2012. Disponível em: <<http://www.jstatsoft.org/>>
- SASAKI, Marcos William. Análise de características comportamentais não conformes de motociclistas em interseções semaforizadas de Fortaleza. [s. l.], 2019.
- SCHUMACKER, Randall E.; LOMAX, Richard G. **A beginner's guide to structural equation modeling**. 3. ed. New York, NY: Taylor & Francis Group, 2010.
- SHAKER, R. H. et al. Motorcycle Crashes: Attitudes of the Motorcyclists Regarding Riders' Experience and Safety Measures. **Journal of Community Health**, [s. l.], v. 39, n. 6, p. 1222–1230, 2014.
- SIAT. **Relatório Anual de Segurança Viária**. Fortaleza.
- SIAT. **Acidentes de Trânsito – Fortaleza 2017**. 2017b. Disponível em: <<https://www.unifor.br/web/osv/estatisticas>>. Acesso em: 17 jan. 2020.
- SILVA, K. C. R. **Aplicação do Modelo de Previsão de Acidentes do HSM em Rodovias de Pista Simples do Estado de São Paulo**. 2011. Universidade de São Paulo, [s. l.], 2011.
- SILVA, Philippe Barbosa. **Modelagem da Segurança Viária em rodovias brasileiras de pista dupla**. 2018. UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, [s. l.], 2018.
- SMC. **Motorcycle Vision Zero**. Borlänge.
- SMC. **THE MOTORCYCLE VISION 2.0**Sveriges MotorCyklister. Borlänge.
- TEOH, Eric R. Effectiveness of Antilock Braking Systems in Reducing Motorcycle Fatal Crash Rates. **Traffic Injury Prevention**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 169–173, 2011. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15389588.2010.541308>>
- TORRES, Caio Assunção et al. Análise exploratória das taxas de utilização do cinto de segurança e capacete após esforços de conscientização dos usuários em Fortaleza-ce. **Anpet**, [s. l.], v. 33, 2019.
- TORRES, CAIO ASSUNÇÃO. **Avaliação do Desempenho da Segurança Viária em redes**

urbanas de transportes com utilização de Modelos de Previsão de Acidentes. 2016. Universidade Federal do Ceará, [s. l.], 2016.

TORRES, Caio Assunção; XAVIER, Vanessa Jamille Mesquita; CUNTO, Flávio José Craveiro. Relação entre os pilares de segurança viária e a taxa de mortalidade dos países membros da oms: um estudo utilizando modelos de equações estruturais. **Transportes**, [s. l.], v. 33, p. 3577–3588, 2019.

USECHE, Sergio A. et al. Does gender really matter? A structural equation model to explain risky and positive cycling behaviors. **Accident Analysis and Prevention**, [s. l.], v. 118, n. June, p. 86–95, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.05.022>>

VECCHIO, Claudio et al. Second order sliding mode for traction control in ride-by-wire sport motorcycles. **Proceedings of the American Control Conference**, [s. l.], v. 56, n. 9, p. 3344–3349, 2009.

WALI, Behram; KHATTAK, Asad J.; AHMAD, Numan. Examining correlations between motorcyclist's conspicuity, apparel related factors and injury severity score: Evidence from new motorcycle crash causation study. **Accident Analysis and Prevention**, [s. l.], v. 131, n. April, p. 45–62, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.04.009>>

WEDAGAMA, Dewa Made Priyantha. Local Motorcyclists ' Intentions towards Traffic Violations and Speeding. [s. l.], 2015.

WEDAGAMA, Dewa Made Priyantha; WISHART, Darren. Analysing local motorcyclists' perception towards road safety. **MATEC Web of Conferences**, [s. l.], v. 276, p. 03002, 2019.

WEGMAN, Fred. The future of road safety: A worldwide perspective. **IATSS Research**, [s. l.], v. 40, n. 2, p. 66–71, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.iatssr.2016.05.003>>

WELLE, B. et al. SUSTENTÁVEL E SEGURO: Visão e Diretrizes para Zerar as Mortes no Trânsito. **World Resources Institute**, Washington, 2018.

WHO. **The Global status report on road safety 2018.** [s.l: s.n.]. v. III Disponível em: <https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/>

WONG, Ides Y.; SMITH, Simon S.; SULLIVAN, Karen A. Validating an older adult driving behaviour model with structural equation modelling and confirmatory factor analysis. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, [s. l.], v. 59, p. 495–504, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.12.011>>

WORATANARAT, Patarawan et al. Safety riding program and motorcycle-related injuries in Thailand. **Accident Analysis and Prevention**, [s. l.], v. 58, p. 115–121, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2013.05.001>>

ZHAO, Xiaohua et al. An analysis of the relationship between driver characteristics and driving safety using structural equation models. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, [s. l.], v. 62, p. 529–545, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.02.004>>

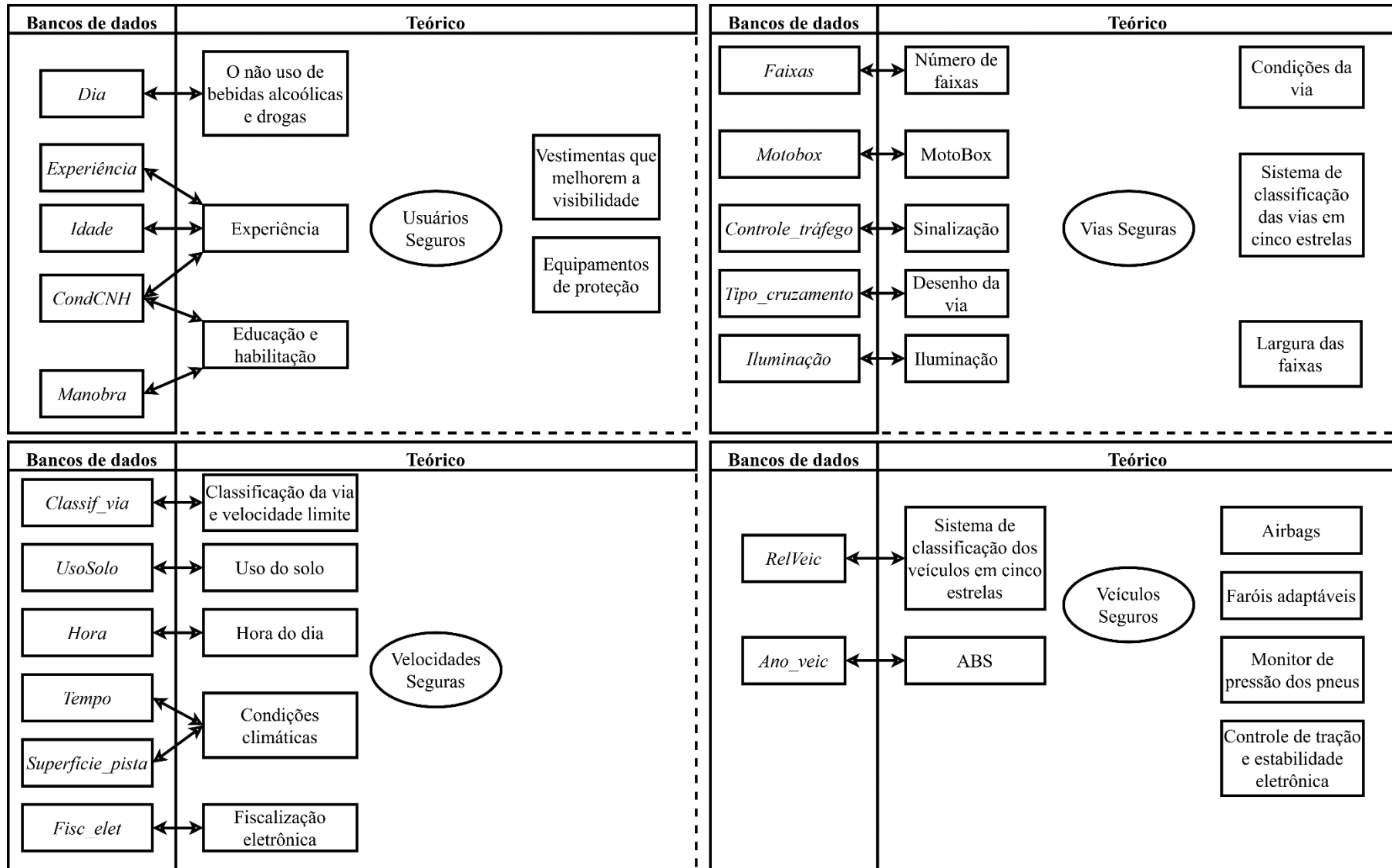
ZHOU, Hongmei; ROMERO, Stephanie Ballon; QIN, Xiao. An extension of the theory of planned behavior to predict pedestrians' violating crossing behavior using structural equation modeling. **Accident Analysis and Prevention**, [s. l.], v. 95, p. 417–424, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2015.09.009>>

APÊNDICE A - MATRIZ DE GRÁFICOS DE DADOS FALTANTES



Fonte: O autor.

APÊNDICE B - CORRESPONDÊNCIA DO BANCO DE DADOS COM O MODELO TEÓRICO



APÊNDICE C - COEFICIENTES PADRONIZADOS

A tabela abaixo demonstra os coeficientes de todas as relações do modelo. “=~” é uma relação entre os indicadores e o construto, “~~” é uma relação de correlação, “~” é uma relação de dependência. Os intervalos de confiança são representados por “IC[s ou i]”, sendo “s” o superior e “i” o inferior.

lhs	op	rhs	est.std	pvalue	CI[I]	CI[S]
SafePeople	=~	Manobra	0,444	0,000	0,299	0,590
SafePeople	=~	Experiencia	0,502	0,000	0,401	0,602
SafePeople	=~	Dia	0,383	0,000	0,280	0,486
SafeVehicles	=~	RelVeic	0,351	0,000	0,223	0,479
SafeVehicles	=~	Ano_Veic	0,302	0,000	0,194	0,410
SafeSpeed	=~	Classif_via	0,680	0,000	0,641	0,719
SafeSpeed	=~	UsoSolo	0,479	0,000	0,441	0,516
SafeRoads	=~	Controle_trafego	0,459	0,000	0,427	0,492
SafeRoads	=~	faixas	0,785	0,000	0,747	0,822
SafeRoads	=~	Motobox	0,561	0,000	0,452	0,670
Experiencia	~~	Ano_Veic	-0,448	0,000	-0,516	-0,380
Severidade	~	SafePeople	-0,642	0,006	-1,101	-0,182
Severidade	~	SafeVehicles	-0,639	0,010	-1,125	-0,152
Manobra	~~	Manobra	0,803	0,000	0,673	0,932
Experiencia	~~	Experiencia	0,748	0,000	0,647	0,849
Dia	~~	Dia	0,854	0,000	0,775	0,932
RelVeic	~~	RelVeic	0,877	0,000	0,787	0,967
Ano_Veic	~~	Ano_Veic	0,909	0,000	0,843	0,974
Classif_via	~~	Classif_via	0,538	0,000	0,484	0,591
UsoSolo	~~	UsoSolo	0,771	0,000	0,735	0,807
Controle_trafego	~~	Controle_trafego	0,789	0,000	0,759	0,819
faixas	~~	faixas	0,384	0,000	0,326	0,443
Motobox	~~	Motobox	0,686	0,000	0,563	0,808
Severidade	~~	Severidade	0,702	0,000	0,432	0,972
SafePeople	~~	SafeVehicles	-0,637	0,000	-0,872	-0,402
SafePeople	~~	SafeSpeed	0,010	0,845	-0,089	0,108
SafePeople	~~	SafeRoads	-0,125	0,010	-0,219	-0,030
SafeVehicles	~~	SafeSpeed	-0,064	0,258	-0,176	0,047
SafeVehicles	~~	SafeRoads	0,142	0,013	0,030	0,254
SafeSpeed	~~	SafeRoads	-1,132	0,000	-1,200	-1,065

Fonte: O autor.

ANEXO A - SÍMBOLOS E SIGNIFICADOS DO SEM

S	Σ	Matriz de covariância observada
Σ	Sigma	Matriz de covariância estimada
ξ	Ksi	Um construto associado com variáveis medidas X
λ_x	Lâmbda “x”	Um caminho representando a carga fatorial entre um construto latente e uma variável medida x
λ_y	Lâmbda “y”	Um caminho representando a carga fatorial entre um construto latente e uma variável medida y
Λ	Lâmbda maiúsculo	Uma maneira de se referir a um conjunto de estimativas de cargas representadas em uma matriz na qual linhas correspondem a variáveis medidas e colunas se associam a construtos latentes
η	êta	Um construto associado com variáveis medidas Y
φ	fi	Um caminho representado por uma seta curvada de dois sentidos que representa a covariação entre um ξ e outro ξ
Φ	fi maiúsculo	Uma maneira de se referir à matriz de covariância ou de correlação entre um conjunto de construtos ξ
γ	gama	Um caminho representando uma relação causal (coeficiente de regressão) de um ξ para um η
Γ	gama maiúsculo	Uma maneira de se referir ao conjunto inteiro de relações γ para um dado modelo
β	beta	Um caminho representando uma relação causal (coeficiente de regressão) de um construto endógeno para outro construto endógeno
B	beta maiúsculo	Uma maneira de se referir ao conjunto inteiro de relações β para um dado modelo
δ	delta	O termo de erro associado com uma variável x entre os valores medidos e estimados
θ_δ	téta delta	Um modo de se referir às variâncias e covariâncias residuais associadas com as estimativas de x; os itens de variância de erro estão na diagonal
ε	épsilon	O termo de erro associado com uma variável y entre os valores medidos e estimados
θ_ε	téta épsilon	Uma maneira de se referir às variâncias e covariâncias residuais associadas com as estimativas de y; os itens da variância de erro estão na diagonal
ζ	zéta	Uma maneira de se capturar a covariação entre erros de construto endógeno
τ	tau	Os termos de intercepto para estimação de uma variável medida
κ	capa	Os termos de intercepto para estimação de um construto latente
χ^2	qui-quadrado	A razão de verossimilhança

Fonte: Hair *et al.* (2009).