

8 - Abordagens Simplificadas para Estimativa de Velocidade em Acidentes de Trânsito

Simplified Methods for Vehicle Speed Estimation in Traffic Accidents

Jonathan Silva Souza¹
João Gabriel do Nascimento Souza²

RESUMO

A estimativa da velocidade média de veículos envolvidos em acidentes de trânsito é elemento central da criminalística, com impacto na determinação de responsabilidades e na adoção de medidas preventivas. Porém, em muitos cenários, a ausência de marcas físicas ou registros visuais dificulta a aplicação de métodos tradicionais baseados na conservação do momento linear ou da energia mecânica. Este artigo explicita três métodos para estimativa de velocidade, acessíveis mesmo em contextos com recursos limitados: análise de vídeo, marcas de frenagem e deformação máxima. O primeiro método utiliza registros de vídeos do acidente, com base na distância percorrida e na taxa de quadros do vídeo, estudos indicam margens de erro entre 3% e 8%, dependendo da qualidade do registro e da calibração espacial. O segundo se baseia na análise de marcas de frenagem, aplicando o movimento retilíneo uniformemente retardado (MRUR) e relacionando a energia cinética com o trabalho da força de atrito. O erro médio deste método varia entre 5% e 10%, considerando o uso de coeficientes de atrito tabelados e condições padrão de pista. O terceiro método, desenvolvido como abordagem inovadora, utiliza a deformação máxima

¹ Graduado em Licenciatura Plena em Física pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). Mestre e doutor em Física da Matéria Condensada pela Universidade Federal de Sergipe (UFS). Possui experiência nas áreas de Física Atômica e Molecular, Física Médica, Física aplicada ao esporte e Simulação Computacional em Dosimetria e sistemas moleculares. Atuou como professor substituto no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, campus Seabra. Atualmente, é professor de Física da Secretaria de Educação do Estado da Bahia (SEC/BA) e Perito Criminal da Polícia Civil, vinculado ao Departamento de Polícia Técnica da Bahia (DPT/BA). E-mail: jonathan.souza@dpt.ba.gov.br.

² Graduado em Engenharia Química. Perito Criminal da Polícia Civil, vinculado ao Departamento de Polícia Técnica da Bahia (DPT/BA). Possui interesse nas áreas de Engenharia, Engenharia Química, Matemática, Física, Perícia Criminal, Comparação Facial, Sociologia e Política. E-mail: joao.souza@dpt.ba.gov.br.

do veículo para calcular a velocidade inicial. Apresenta erro entre 5% a 12%, com potencial de refinamento mediante calibração experimental. Este método destaca-se por oferecer solução em cenários complicados, aumentando a aplicabilidade pericial em acidentes complexos. Assim, nesse trabalho, é demonstrado que métodos simplificados, especialmente aquele baseado em deformação máxima, podem fornecer estimativas confiáveis de velocidade média, democratizando o acesso à perícia técnica trazendo robustez para o laudo e aprimorando os profissionais e as práticas forenses.

Palavras-chave: perícia; acidente de trânsito; velocidade média; deformação máxima; métodos simplificados.

ABSTRACT

The estimation of the average speed of vehicles involved in traffic accidents is a central element of criminalistics, with an impact on determining responsibility and adopting preventive measures. However, in many scenarios, the absence of physical marks or visual records makes it difficult to apply traditional methods based on the conservation of linear momentum or mechanical energy. This article presents three methods for speed estimation, accessible even in contexts with limited resources: video analysis, skid mark analysis, and maximum deformation. The first method uses video recordings of the accident, based on the distance traveled and the video frame rate; studies indicate error margins between 3% and 8%, depending on the quality of the recording and spatial calibration. The second method is based on the analysis of skid marks, applying uniformly decelerated rectilinear motion (UDRM) and relating kinetic energy to the work of the friction force. The average error of this method ranges from 5% to 10%, considering the use of tabulated friction coefficients and standard road conditions. The third method, developed as an innovative approach, uses the maximum deformation of the vehicle to calculate the initial speed. It presents an error margin between 5% and 12%, with the potential for refinement through experimental calibration. This method stands out for providing solutions in challenging scenarios, increasing the applicability of forensic expertise in complex accidents. Thus, this work demonstrates that simplified methods, especially the one based on maximum deformation, can provide reliable estimates of average speed, democratizing access to technical expertise, strengthening forensic reports, and enhancing professionals and forensic practices.

Keywords: forensic; traffic accident; average speed; maximum deformation; simplified methods.

1 INTRODUÇÃO

A estimativa da velocidade média em acidentes de trânsito constitui uma das etapas mais relevantes da perícia criminalística. Essa informação é frequentemente determinante para o esclarecimento da dinâmica do evento e para a atribuição de responsabilidades legais. A importância do tema é reforçada pela dimensão do problema no Brasil, segundo o Observatório Nacional de Segurança Viária, mais de 500 mil pessoas perderam a vida em sinistros de trânsito nos últimos quinze anos, configurando uma das principais causas externas de mortalidade no país (ONSV, 2023).

Segundo Bertozzi (2018), a dinâmica veicular durante colisões envolve fatores físicos complexos que exigem técnicas de simplificação para aplicação prática em perícias. A estimativa da velocidade média, embora sujeita a incertezas, constitui ferramenta essencial, especialmente quando o perito dispõe apenas de informações limitadas. O Registro Nacional de Acidentes e Estatísticas de Trânsito (Renaest) apresenta lacunas significativas de preenchimento, o que frequentemente inviabiliza análises precisas (RDT, 2020). Essa limitação estatística evidencia a necessidade de métodos objetivos, tecnicamente fundamentados e aplicáveis em cenários nos quais os vestígios materiais são escassos ou de difícil interpretação.

De acordo com Oliveira e Costa (2020), três fontes de evidência frequentemente utilizadas em reconstruções de acidentes são: registros audiovisuais, marcas deixadas no solo e deformações estruturais em veículos. Cada uma dessas fontes permite ao perito empregar modelos simplificados da mecânica, resultando em cálculos aproximados da velocidade média.

Estudos de Marques e Silva (2019) apontam que a utilização de mídias visuais (câmeras de segurança ou gravações amadoras) possibilita medições diretas de tempo e espaço, que, ao serem relacionados, fornecem uma estimativa bastante confiável da velocidade média. Por sua vez, Almeida (2017) descreve que as marcas de frenagem e sulcagens em pavimentos podem ser tratadas como evidências de transferência de energia cinética em atrito, permitindo cálculo da velocidade inicial aproximada. Finalmente, análises estruturais, como destacam Pires e Andrade (2021), permitem relacionar a energia de deformação dos corpos envolvidos com a velocidade no instante do impacto, mediante modelos de resistência dos materiais.

A determinação da velocidade em acidentes de trânsito recorre a métodos consagrados e detalhados em manuais de perícia especializados. Um exemplo é o Manual de Perícias em Acidentes de Trânsito (Almeida, 2021), obra amplamente adotada no Brasil, que apresenta procedimentos técnicos para coleta, preservação de vestígios e cálculo de velocidade com base em fundamentos físicos clássicos.

Além dos vestígios, a perícia técnica também incorpora modelos analíticos embasados em princípios fundamentais da Física, seja em análises matemáticas ou usando softwares de reconstrução. Dentre os métodos mais empregados estão:

- Conservação do momento linear: a qual emprega-se a análise vetorial das velocidades dos veículos antes e após a colisão, com base na manutenção do momentum em cada direção, empregando ângulos de trajetória para decomposição vetorial. Isso exige medições precisas no local e habilidade em dinâmica veicular. O princípio da conservação do momento está formalmente descrito na Física como uma consequência direta das Leis de Newton. (Cutnell, 2016)
- Conservação da energia mecânica: em cenários onde parte da energia cinética é convertida em deformação veicular, esse método quantifica a energia dissipada, requerendo tabelas de resistência dos materiais (por exemplo, resultados de crash-tests) e domínio técnico de formulações como a equação de Torricelli entre outras expressões clássicas da Física. A aplicação prática exige formação técnica e acesso a bancos de dados especializados.

Apesar de sua robustez, ambos os métodos — conservação de momento e conservação de energia — possuem alto grau de complexidade e demandam tanto preparo técnico quanto ferramentas sofisticadas (métricas precisas, estágio pericial avançado, softwares de reconstrução). Consequentemente, em contextos com menor infraestrutura ou onde esses recursos não estão disponíveis, o cálculo da velocidade segue inviável, comprometendo a qualidade da perícia e a clareza da dinâmica do acidente (Silva, 2020)

Por essa razão, justifica-se a apresentação de métodos simplificados, fundamentados nos princípios básicos da Física, que aliem acessibilidade e rigor técnico. Esses métodos são capazes de oferecer estimativas razoavelmente precisas, mesmo em condições menos ideais, democratizando e expandindo as possibilidades de análise pericial.

Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo apresentar três métodos simplificados de estimativa de velocidade média em acidentes de trânsito, baseados em conceitos fundamentais da Física e de fácil aplicação pericial. O primeiro método consiste na análise por mídia audiovisual, utilizando a taxa de quadros (frame rate) e o deslocamento do veículo, modelado pelo movimento retilíneo uniforme (MRU). O segundo método baseia-se na interpretação de marcas de frenagem, aplicando o movimento retilíneo uniformemente retardado (MRUR) e expressões de trabalho e energia para deduzir a velocidade inicial. Por fim, o terceiro método considera a máxima deformação em colisões, relacionando a segunda lei de Newton, a equação de Torricelli e tabelas de resistência dos materiais para estimar a velocidade a partir da energia dissipada na deformação veicular.

Dessa forma, busca-se não apenas propor ferramentas didáticas e de baixo custo para a estimativa da velocidade em perícias, mas também contribuir para a sistematização de práticas que possam ser replicadas em diferentes contextos investigativos, ampliando a confiabilidade e a precisão das análises técnicas.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 METODOLOGIA

Este estudo foi estruturado a partir de levantamento bibliográfico e descrição teórico-prática dos métodos mencionados. A abordagem é qualitativa, com caráter exploratório, e foca na aplicabilidade de técnicas simples que podem ser empregadas em perícias de campo. Este artigo propõe três métodos simplificados para estimativa da velocidade média em acidentes de trânsito, fundamentados em princípios da Física clássica e aplicáveis mesmo em contextos com recursos limitados. Embora apresentem margens de erro, tais métodos oferecem resultados suficientemente robustos para a prática pericial, o que justifica a sua utilização.

1. Estimativa de velocidade por análise de conteúdo audiovisual (frame rate + MRU)

Para essa abordagem são aplicados os princípios da cinemática escalar descrito no Movimento Retilíneo Uniforme (MRU), com base na distância percorrida pelo veículo entre dois pontos de referência

() e no tempo estimado a partir da taxa de quadros do vídeo (), para então o cálculo da velocidade escalar média . Estudos em análise de tráfego com câmeras de segurança apontam erros médios entre 3 % e 8 %, dependendo da qualidade do vídeo e da calibração espacial (Mishra *et al.*, 2018). Com a expansão de sistemas de videomonitoramento urbano, esse método tem se mostrado de grande valor prático em reconstruções de acidentes, especialmente quando inexistem marcas físicas preservadas.

2. Estimativa pela análise de marcas de frenagem (MRUR + Teorema trabalho-energia cinética)

Partindo do Movimento Retilíneo Uniformemente Retardado (MRUR), relacionando energia cinética inicial e trabalho da força de atrito. A expressão clássica é:

$$v = \sqrt{2\mu gd} \quad (1)$$

onde v é a velocidade inicial, μ o coeficiente de atrito, g a gravidade local e d a distância de frenagem. Ensaios controlados demonstram que o erro médio deste método fica entre 5 % e 10 % da velocidade real, quando o coeficiente de atrito é corretamente estimado (Brach; Brach, 2011). Esse é um dos métodos mais tradicionais em perícia de trânsito, ainda hoje considerado padrão de referência em diversos manuais (Almeida, 2021)

3. Estimativa pela deformação máxima em colisões (2ª Lei de Newton + Torricelli + resistência dos materiais)

Este método é proposto aqui como uma alternativa inovadora, aplicável em situações em que apenas as posições finais dos veículos e a deformação máxima estão disponíveis (sem marcas de frenagem ou arrasto). O método segue os seguintes passos:

Pela 2ª Lei de Newton, a força resultante em cada veículo é dada por , considerando que a força de atrito () e a força de impulsão do veículo após a colisão () são opostas entre si, a é a aceleração do veículo e m é a sua massa. Sendo assim, pode-se escrever que durante o deslocamento até o repouso a seguinte expressão rege a dinâmica de forças:

$$F - F_{at} = ma \quad (2)$$

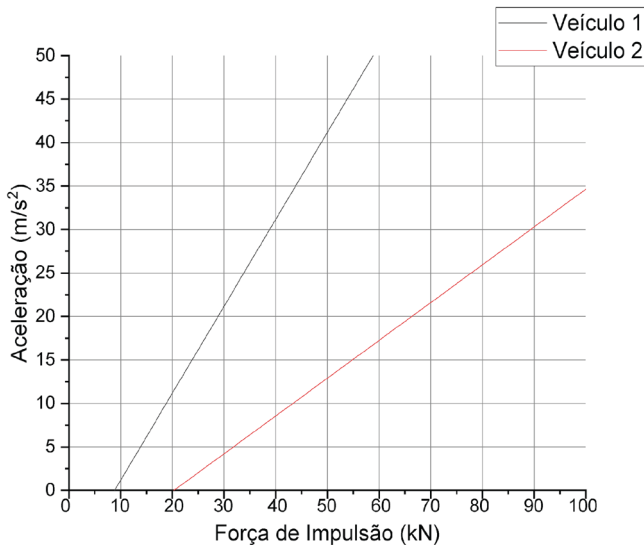
ou

$$a = \frac{1}{m}F - \frac{F_{at}}{m} \quad (3)$$

Na equação (3), é possível ver uma função linear da aceleração tendo como variável a força de impulsão do veículo, coeficiente angular da reta m^{-1} e coeficiente linear $-F_{at}/m$. A partir da deformação máxima medida no veículo, utiliza-se tabela de resistência dos materiais, que pode ser a fornecida pela montadora ou pela literatura científica para determinar a força necessária para produzir aquele dano.

Em seguida, constrói-se a relação Força \times Aceleração para cada veículo (a (F1) e a (F2)). O dano é resultado da soma $F1 + F2$, de modo que se busca o valor de aceleração compatível com essa força resultante.

Figura 1: Exemplo de comportamento gráfico da eq. (3) para dois veículos (V1 e V2) no qual o somatório das forças foi de aproximadamente 62 kN resultando em uma desaceleração média de 10 m/s²



Fonte: O autor (2025).

Uma vez obtida a aceleração média estimada, aplica-se a equação de Torricelli: para deduzir a velocidade inicial do veículo,

$$v^2 = v_0^2 + 2 a \Delta s \quad (4)$$

onde Δs é o deslocamento entre o local encontrado o veículo e o provável sítio de colisão. Como se trata de método inovador, ainda sem ampla validação empírica, estima-se um erro inicial na ordem de 5 % a 12 %, semelhante ao observado em modelos computacionais de reconstrução como o CRASH3, mas com potencial de refinamento. Diferencia-se por não depender de marcas de frenagem ou registros videográficos, permitindo estimativas em casos de ausência quase total de vestígios, situação comum em perícias. Essa característica torna-o altamente promissor e de interesse científico, carecendo de futuras validações experimentais.

Apesar das margens de erro, que variam entre 3 % e 12 % a depender do método e das condições do acidente, a aplicação desses procedimentos é plenamente justificável. Em muitos casos, a estimativa de velocidade — ainda que aproximada — constitui a única forma de subsidiar tecnicamente a investigação pericial, fornecendo elementos cruciais para processos judiciais e medidas preventivas de segurança viária.

2.2 RESULTADOS ESPERADOS

A aplicação dos três métodos simplificados de estimativa de velocidade média em acidentes de trânsito tem como principais objetivos fornecer ferramentas técnicas, acessíveis e confiáveis para peritos, mesmo em situações com dados incompletos no local do acidente. Espera-se que cada método apresente resultados condizentes com a realidade, tornando possível uma maior acessibilidade para peritos. Além disso, ao simplificar os cálculos e reduzir a necessidade de softwares ou medições complexas, amplia-se a possibilidade de análise mesmo em contextos com recursos limitados (Almeida, 2021).

Por consequência, reduzir a taxa de casos inconclusivos com a aplicação de métodos simplificados. Acidentes nos quais a velocidade não pôde ser estimada devido à ausência de marcas físicas ou registros visuais. Com margens de erro controladas (3 % a 12 %), os métodos oferecem resultados suficientemente precisos para fins periciais (Mishra *et al.*, 2018; Brach; Brach, 2011).

Tabela 1 – Resumo das expectativas de desempenho dos métodos

Método	Margem de Erro	Contexto	Benefício
Vídeo (MRU)	3% – 8% ¹	Cenas com gravações calibradas	Fácil aplicação, útil com registro visual
Marcas de frenagem (MRUR)	5% – 10% ²	Presença de marcas de frenagem	Alta precisão em situações tradicionais
Deformação máxima	5% – 12%	Apenas posições finais e deformações	Método inovador, aplicável em ausência de vestígios

Fonte: Elaborado pelos autores (2025). (Mishra *et al.*, 2018; Brach; Brach, 2011).

A partir da análise teórica dos três métodos, observa-se que:

1. O método por mídia audiovisual apresenta maior confiabilidade em contextos urbanos, onde há disponibilidade de câmeras e maior controle sobre as dimensões do ambiente.
2. O método por sulcagens se mostra eficaz em estradas e rodovias, sendo relativamente simples e de rápida aplicação, embora dependa do conhecimento preciso do coeficiente de atrito.
3. O método por deformação máxima é inovador, permitindo estimar velocidade sem marcas de frenagem, contribuindo para novas abordagens em perícias veiculares e ensino técnico.

Tabela 2 – Resumo das limitações em cada método

Método	Limitação
Vídeo (MRU)	Dependência da qualidade e da posição da câmera; registros incompletos podem comprometer a precisão.
Marcas de frenagem (MRUR)	Requer superfície contínua e não irregular; variações do coeficiente de atrito podem gerar erros de 5% a 15%.
Deformação máxima	Depende da precisão da medição da deformação e da confiabilidade das tabelas de resistência dos materiais.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A utilização conjunta dos métodos e também incentivar a coleta detalhada e padronizada de dados no local do acidente (incluindo medições de deformação e condições do pavimento) amplia a confiabilidade da estimativa pericial, uma vez que permite o cruzamento de evidências independentes e o aumento de confiabilidade das estimativas. Com esses resultados esperados, esse artigo demonstra que mesmo métodos simplificados oferecem contribuições técnicas relevantes, ampliando a confiabilidade e democratizando a análise pericial. Além disso, evidencia-se a relevância do método inovador de deformação máxima como ferramenta de investigação em acidentes com dados limitados.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo apresentou três métodos simplificados para estimativa da velocidade média em acidentes de trânsito, demonstrando sua aplicabilidade prática e relevância pericial. Entre eles, o método de deformação máxima destaca-se por sua capacidade de estimar velocidades mesmo na ausência de marcas físicas ou registros visuais, oferecendo uma ferramenta inovadora com potencial de refinamento para futuras pesquisas e aplicações forenses.

A eficácia de qualquer método de estimativa depende, contudo, da qualidade e precisão dos dados coletados no local do acidente. Entre os elementos essenciais a serem medidos ou registrados destacam-se: posições finais dos veículos; deformações estruturais nos automóveis; marcas de frenagem e arrasto; condições da via (tipo de pavimento, inclinação, irregularidades); condições climáticas e ambientais (chuva, óleo, folhas).

Um aspecto crítico identificado na prática pericial é o uso de tabelas padronizadas para coeficiente de atrito (μ), que muitas vezes não refletem a variação real de superfícies irregulares. Ensaios demonstram que o uso de coeficientes tabelados pode gerar erros na estimativa de velocidade entre 5% e 15%, especialmente em trechos curtos com asfalto danificado, concreto antigo ou presença de detritos e água. Por isso, torna-se evidente a necessidade de desenvolver métodos de medição do coeficiente de atrito in loco, garantindo maior precisão nas estimativas de velocidade e maior confiabilidade nas análises periciais (Brach; Brach, 2011; IBF, 2020).

A combinação do uso de técnicas simplificadas com dados coletados de forma detalhada no cenário aumenta significativamente a

confiabilidade da perícia, reduzindo o risco de estimativas imprecisas e promovendo decisões mais seguras em contextos judiciais e de segurança viária.

Por final, a aplicação dos métodos discutidos, contribui não apenas para a democratização da análise pericial, mas também para a evolução das práticas forenses e a busca por maior precisão na reconstrução de acidentes de trânsito, destacando a importância da integração entre teoria física, medição em campo e análise técnica detalhada.

Embora tenha sido discutido as margens de erros associados a cada método será abordado em estudo futuro a validação prática dos métodos, acrescentando ensaios controlados com veículos em baixa velocidade e/ou simulações computacionais (como CRASH3 ou PC-Crash) para demonstrar a confiabilidade dos cálculos.

4 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Lino Leite de. **Manual de perícias em acidentes de trânsito**. 2. ed. Brasília, DF: FENASDETRAN, 2021.

ALMEIDA, R. **Técnicas de reconstrução de acidentes de trânsito: fundamentos físicos aplicados**. São Paulo: Atlas, 2017.

BERTONI, A. **Dinâmica veicular e análise forense de colisões**. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

BRACH, Raymond M.; BRACH, R. Matthew. **Traffic accident reconstruction**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2011.

CUTNELL, John D.; JOHNSON, Kenneth W. **Física**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

INTERNATIONAL BIBLIOGRAPHY OF FORENSIC SCIENCE. **Speeding and analysis of speed in crash investigation**. 2020. Disponível em: <https://ibfusa.info/speeding-and-analysis-of-speed-in-crash-investigation/>. Acesso em: 3 set. 2025.

MARQUES, J.; SILVA, P. Estimativas de velocidade a partir de gravações audiovisuais em perícias de trânsito. **Revista Brasileira de Engenharia Forense**, v. 5, n. 2, p. 45-58, 2019.

MISHRA, S. et al. High-speed camera techniques for traffic accident analysis. **arXiv**, arXiv:1104.3540, 2018. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1104.3540>. Acesso em: 3 set. 2025.

OBSERVATÓRIO NACIONAL DE SEGURANÇA VIÁRIA. **Segurança no trânsito**. São Carlos: EESC-USP; ONSV, 2023. Disponível em: <https://www.onsv.org.br>. Acesso em: 3 set. 2025.

OLIVEIRA, C.; COSTA, L. **Fundamentos da perícia em acidentes de trânsito**. Porto Alegre: Bookman, 2020.

PANTALEÓN, R. et al. Análise das variações do coeficiente de atrito e as correlações com os mecanismos de desgaste. **ResearchGate**, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/270409209_ANALISE_DAS_VARIACOES_DO_COEFICIENTE_DE_ATRITO_E_AS_CORRELACOES_COM_OS_MECANISMOS_DE_DESGASTE. Acesso em: 3 set. 2025.

PIRES, H.; ANDRADE, V. Energia de deformação em colisões veiculares: aplicações periciais. **Revista de Engenharia Mecânica e Forense**, v. 12, n. 1, p. 22-39, 2021.

PMC. **Crash3 methodology for collision analysis**. National Center for Biotechnology Information, 2005. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10852298/>. Acesso em: 3 set. 2025.

RDT. **Lacunas do RENAEST e impactos na análise de acidentes**. In: **RIO DE TRANSPORTES**, 20., 2020. Anais [...]. Disponível em: <https://www.riodetransportes.org.br>. Acesso em: 3 set. 2025.

SCIENCEDIRECT; MDPI. **Estimativa de velocidade em colisões utilizando deformação veicular**. MDPI, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2624-8921/6/2/29>. Acesso em: 3 set. 2025.

SILVA, J. L. et al. Aplicações de conceitos de conservação em análises de colisões veiculares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br>. Acesso em: 3 set. 2025.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Vehicle skid analysis and accident reconstruction**. Washington, DC: Transportation Research Board, 2001. Disponível em: <https://trid.trb.org/View/674800>. Acesso em: 3 set. 2025.

Data da submissão: 20.09.2025.

Data da aprovação: 25.02.2026.