

DIRETRIZES MÉDICAS EM MEDICINA DO TRÁFEGO

TOLERÂNCIA HUMANA A IMPACTOS: IMPLICAÇÕES PARA A SEGURANÇA VIÁRIA

Autores

► Adriano José Fontes Isabella, Antonio Meira Júnior, Carlos Carvalho, Filipe Xavier do Sacramento Camara, Janete Braga, Joan Faber, José HC Montal, Josiene Germano, Ricardo Irajá Hegele.



ABRAMET

Associação Brasileira de Medicina do Tráfego



Afiliada à



Autoria

Associação Brasileira de Medicina do Tráfego - ABRAMET

Coordenador:

Flavio Adura

Autores:

Adriano José Fontes Isabella, Antonio Meira Júnior, Carlos Carvalho, Filipe Xavier do Sacramento Camara, Janete Braga, Joan Faber, José HC Montal, Josiene Germano, Ricardo Irajá Hegele.

Elaboração final

25 de novembro de 2025

Método de coleta de evidência

Foram realizadas buscas estruturadas nas bases PubMed/MEDLINE, Scopus, Embase, Web of Science e SciELO, além de relatórios técnicos produzidos por organismos internacionais como WHO, OECD/ITF, SWOV e TØI, abrangendo o período de 2000 a 2024.

Foram incluídos estudos e documentos que abordassem a influência da velocidade na gravidade dos sinistros, a biomecânica do trauma e estratégias de gestão da velocidade.

Excluíram-se trabalhos sem aplicabilidade clínica, sem base empírica ou sem relevância direta para a segurança viária.

O texto final foi revisado e validado pela Diretoria Científica da ABRAMET, garantindo rigor metodológico e alinhamento às políticas nacionais de segurança no trânsito.

Objetivo

A velocidade é o fator isolado mais determinante da gravidade dos sinistros de trânsito. A energia cinética liberada durante uma colisão cresce exponencialmente com o aumento da velocidade, ultrapassando rapidamente a capacidade biomecânica do corpo humano de absorver impacto sem lesões graves ou fatais.

Conflito de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse relacionados à elaboração e publicação deste documento.

ÍNDICE

1. Introdução	[pág.06]
2. Tolerância Humana a Impactos – Conceito	[pág.07]
2.1 Curvas de Risco e Tolerância Humana	
2.2 Tempo de Reação e Distância de Frenagem	
3. Mecanismo de lesões nos impactos	[pág.09]
3.1 Traumatismo crânioencefálico (TCE)	
3.2 Coluna vertebral e medula espinhal	
3.3 Trauma torácico	
3.4 Trauma abdominal	
3.5 Pelve e membros inferiores	
4. Fatores modificadores da Tolerância Humana a Impactos	[pág.10]
5. Usuários Vulneráveis das vias	[pág.11]
5.1 Pedestres	
5.2 Ciclistas e Motociclistas	
5.3 Patinetes elétricos	
5.4 Monociclos elétricos	
6. Relação entre velocidade com o risco e gravidade dos sinistros de trânsito	[pág.11]
7. Design Veicular e Tolerância Humana a Impactos	[pág.12]
8. Escala Abreviada de Lesões Máximas (MAIS)	[pág.13]
9. Adoção de limites de velocidade compatíveis com a tolerância humana	[pág.15]

ÍNDICE

10. Tendências internacionais sobre velocidade e mortalidade no trânsito	[pág.16]
11. Impactos da velocidade excessiva em países com baixa e média renda	[pág.17]
12. Implicações para a atuação do médico do tráfego	[pág.20]
13. Recomendações para Instituições de Ensino e Pesquisa	[pág.24]
14. Recomendações à sociedade e para os usuários das vias	[pág.25]
15. Recomendações para gestores e autoridades de trânsito	[pág.26]
16. Conclusões	[pág.27]
17. Referências Bibliográficas	[pág.28]

1. INTRODUÇÃO

O Relatório Global sobre Segurança Viária 2023, publicado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) com dados atualizados até 2021, confirma que os sinistros de trânsito permanecem como uma grave questão de saúde pública em escala mundial.

O número anual de mortes caiu de 1,35 milhão em 2018 para 1,19 milhão, representando uma redução aproximada de 12%. Apesar desse progresso, o número de feridos não fatais permanece entre 20 e 50 milhões por ano, refletindo o enorme impacto social e econômico dos sinistros (1).

Os sinistros de trânsito continuam sendo a principal causa de morte entre jovens de 5 a 29 anos, a terceira na faixa etária de 30 a 44 anos, e figuram entre as 12 principais causas de morte em todas as idades. Além das perdas humanas, há um contingente expressivo de vítimas com sequelas permanentes, deficiências físicas e incapacidades, especialmente nas regiões de menor renda (1).

Embora se observe um discreto avanço na redução dos óbitos desde 2018, o panorama global segue alarmante. Os sinistros de trânsito permanecem entre as principais causas de morte evitável no mundo, exigindo ações coordenadas e urgentes por parte dos governos, das instituições e da sociedade civil.

No Brasil, apesar dos avanços legislativos, tecnológicos e educacionais, o número de fatalidades ainda é elevado, o que evidencia a necessidade de estratégias integradas que considerem a vulnerabilidade humana como eixo central das políticas de segurança viária.

O conceito de tolerância humana a impactos, adotado por organizações internacionais como a OMS, parte do princípio de que o corpo humano possui limites biomecânicos definidos para suportar desacelerações e forças de impacto sem sofrer lesões fatais (2-4).

Essa tolerância é limitada por fatores anatômicos e fisiológicos que determinam o limiar entre a sobrevivência e a morte. O corpo humano não evoluiu para resistir às forças envolvidas em colisões de alta energia; por isso, essa vulnerabilidade deve ser o ponto de partida das políticas públicas voltadas à gestão da velocidade e à segurança viária(5,6).

A velocidade de deslocamento dos veículos motorizados influencia diretamente o desfecho dos sinistros: quanto maior a velocidade, maior a probabilidade de morte ou de lesão grave. A severidade das lesões em um mesmo tipo de colisão depende, fundamentalmente, da energia envolvida(7-9).

A velocidade é o principal determinante da gravidade dos sinistros de trânsito. A energia cinética liberada em uma colisão aumenta proporcionalmente ao quadrado da velocidade, ultrapassando a capacidade biomecânica do corpo humano de absorver o impacto. A compreensão desses limites é essencial para a formulação de políticas públicas, normas técnicas e estratégias educativas que priorizem a preservação da vida (4).

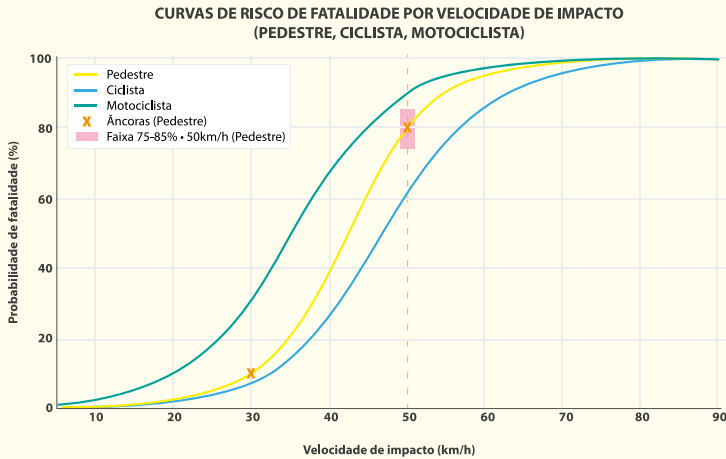
2. TOLERÂNCIA HUMANA A IMPACTOS - CONCEITO

Definida como o limite de energia que o corpo humano pode absorver sem sofrer lesões fatais ou incapacitantes. Esses limites decorrem de propriedades anatômicas, fisiológicas e biomecânicas que determinam a capacidade dos tecidos e órgãos em resistir às forças de desaceleração e compressão produzidas durante um sinistro de trânsito (2).

À medida que a velocidade de um veículo envolvido em um sinistro aumenta, também aumenta a energia cinética liberada e a probabilidade de resultar em fatalidade ou ferimentos graves. Essa relação é especialmente importante para usuários das vias fora dos veículos, que não podem contar com carrocerias ou tecnologias para protegê-los (3).

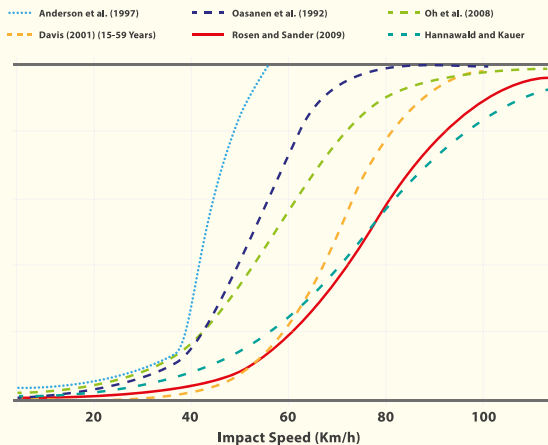
A partir das análises pioneiras de Ashton e Mackay, que identificaram rápido aumento da letalidade de pedestres entre 30 e 50 km/h (10), pesquisas subsequentes expandiram bases

de dados confirmaram que pequenas reduções de velocidade produzem quedas expressivas no risco de óbito e passaram a embasar diretrizes internacionais, incluindo aplicações adaptadas para ciclistas e motociclistas (11). Figura abaixo:



2.1 CURVAS DE RISCO E TOLERÂNCIA HUMANA

Estudos epidemiológicos e biomecânicos permitem representar a relação entre velocidade de impacto e probabilidade de morte em curvas conhecidas como “fatality risk curves”.



Fontes: WHO (2018); OECD/ITF (2018); MUARC (2017).

VELOCIDADE DE IMPACTO	PROBABILIDADE DE MORTE DO PEDESTRE	PROBABILIDADE DE LESÃO GRAVE
20 km/h	< 5%	10%
30 km/h	10%	25%
40 km/h	35%	50%
50 km/h	80%	95%
60 km/h	> 90%	~100%

A velocidade é um determinante independente de morte e lesão grave, tanto pela energia envolvida quanto pela redução do tempo disponível para reação e frenagem. Assim, cada quilômetro por hora acima do limite seguro representa aumento real e mensurável de risco.

2.2 TEMPO DE REAÇÃO E DISTÂNCIA DE FRENAGEM

A velocidade compromete a capacidade de prevenção se sinistros automobilísticos. Em média, o tempo de reação humana é de 1,0 a 1,5 segundo, variando conforme idade, fadiga, atenção e consumo de substâncias psicoativas. A distância total de parada (tempo de reação + frenagem) aumenta exponencialmente com a velocidade:

VELOCIDADE	DISTÂNCIA PERCORRIDA DURANTE O TEMPO DE REAÇÃO	DISTÂNCIA DE FRENAGEM	DISTÂNCIA TOTAL DE PARADA
30 km/h	12m	6m	18m
40 km/h	17m	11m	28m
50 km/h	21m	20m	41m
60 km/h	25m	33m	58m
80 km/h	33m	53m	86m

Fonte: ABRAMET, 2025

3. MECANISMO DE LESÕES NOS IMPACTOS

A compreensão dos princípios físicos que regem os impactos viários é essencial para avaliar a magnitude das forças envolvidas em um sinistro e os limites biomecânicos de sobrevivência humana. Toda colisão entre corpos em movimento obedece às leis da conservação da energia e do momento linear, sendo a energia cinética (E_c) o principal determinante da gravidade do evento. A energia cinética é expressa pela equação:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

em que m representa a massa do veículo e v a sua velocidade. Essa relação demonstra que a energia cresce com o quadrado da velocidade, de modo que dobrar a velocidade resulta em uma quadruplicação da energia liberada no impacto. Essa energia é parcialmente absorvida pela deformação dos veículos e pelos dispositivos de segurança (cintos, airbags, zonas de deformação programada), mas uma parcela significativa é transferida aos ocupantes e demais usuários da via, determinando a severidade das lesões.

Durante um sinistro, a desaceleração abrupta converte a energia cinética em energia potencial elástica (deformação) e térmica, e a magnitude dessa desaceleração está diretamente associada ao risco de lesões fatais. O corpo humano tolera apenas níveis limitados de desaceleração antes que ocorra ruptura tecidual ou falência de órgãos vitais.

A energia do impacto pode exceder a tolerância dos tecidos humanos, especialmente de usuários vulneráveis (pedestres, ciclistas e motociclistas).

A compreensão desses limites é essencial para o planejamento de sistemas viários seguros, a definição de velocidades e a adoção de políticas que buscam adaptar o ambiente e o comportamento à vulnerabilidade humana, e não o contrário (5).

A magnitude das lesões depende da intensidade da desaceleração, duração da força aplicada e direção do impacto. A energia cinética envolvida em uma colisão é dissipada por meio da deformação dos veículos, dos sistemas de retenção (cintos e airbags) e, inevitavelmente, do corpo humano. Quando a força excede a capacidade tecidual de absorção, ocorre ruptura

estrutural, hemorragia ou falência de órgãos vitais (12).

Nos diferentes tipos de colisão, frontal, lateral, traseira ou atropelamento, a energia dissipada varia de acordo com o ângulo de impacto, a diferença de velocidade relativa e as características estruturais dos veículos (13,14).

Colisões frontais entre veículos de massas semelhantes e velocidades opostas liberam a maior quantidade de energia cinética total, devido à soma vetorial das velocidades no momento do impacto. Já os impactos laterais impõem risco significativamente maior de lesões fatais aos ocupantes, pois oferecem menor zona de deformação e absorção de energia, expondo diretamente o tórax o abdome e a coluna cervical a forças de compressão e intrusão (7,15).

Nos atropelamentos, a velocidade de impacto é o principal determinante da letalidade. Estudos biomecânicos demonstram que a probabilidade de morte de um pedestre aumenta de menos de 10% a 30 km/h para mais de 80% a 50 km/h, evidenciando a rápida escalada da energia cinética e a superação dos limites fisiológicos de tolerância humana (11).

Nas ejeções veiculares, a probabilidade de lesões fatais aumenta de forma acentuada com a velocidade no momento do sinistro. A ausência de retenção faz com que o ocupante seja projetado para fora do veículo com a mesma velocidade inicial, sofrendo impactos extremos ao colidir com o solo ou obstáculos.

Evidências mostram que vítimas ejetadas apresentam risco de morte 3 a 5 vezes maior do que ocupantes retidos, uma vez que a combinação entre excesso de velocidade, múltiplos impactos e ausência de dissipação controlada de energia ultrapassa rapidamente os limites de tolerância humana. A ejeção, portanto, configura um dos cenários de maior letalidade nos sinistros de trânsito. (13,16).

Durante uma colisão, a energia cinética do veículo é transferida abruptamente para os ocupantes. Mesmo com o uso de dispositivos de segurança, como cintos e airbags, há intensa desaceleração corporal, que provoca forças de tração e compressão sobre tecidos moles e estruturas internas. Os principais mecanismos de trauma incluem:

3.1 TRAUMATISMO CRANIOENCEFÁLICO (TCE)

O cérebro é particularmente vulnerável a forças de aceleração e desaceleração, mesmo quando não há impacto direto. As forças inerciais da desaceleração brusca do encéfalo dentro da caixa craniana provocam impacto contra a calota craniana, gerando contusões, hematomas subdurais e lesões axonais difusas (12,17,18). Em impactos acima de 50 km/h, a proba-

bilidade de TCE grave supera 70% (9). O uso de cintos de segurança e airbags frontais reduz significativamente a incidência dessas lesões (19).

3.2 COLUNA VERTEBRAL E MEDULA ESPINHAL

Impactos verticais ou oblíquos podem causar fraturas vertebrais por estresse e lesões medulares irreversíveis. A energia crítica necessária para ruptura das estruturas ósseas da coluna toracolombar situa-se entre 2,5 e 5 kJ, variando conforme a densidade óssea e a postura no momento do impacto (20,21). Em ocupantes não retidos, as lesões medulares por mecanismos de flexão-extensão violenta tornam-se particularmente frequentes, sobretudo em colisões traseiras e capotamentos (22).

Em ocupantes não retidos por cinto de segurança e/ou com o apoio de cabeça ausente ou mal ajustado, os movimentos bruscos de flexão e extensão, conhecidos como efeito chicote, são amplificados, aumentando de forma expressiva o risco de lesões cervicais e medulares, completas ou incompletas. Esses mecanismos são especialmente prevalentes em colisões traseiras e capotamentos, nas quais o corpo é submetido a acelerações alternadas em sentidos opostos, favorecendo a falha ligamentar, a subluxação vertebral e o comprometimento neurológico agudo (23).

3.3 TRAUMA TORÁCICO

Impactos frontais e oblíquos estão entre as principais causas de lesões torácicas graves. As forças de desaceleração e compressão transmitidas podem provocar fraturas costais, contusão pulmonar, laceração cardíaca ou ruptura traumática da aorta torácica (14,22).

Desacelerações superiores a 30g, mesmo em intervalos curtos, estão associadas à ruptura da aorta, fraturas de arcos costais e contusões pulmonares extensas, especialmente quando há deformação significativa do compartimento dianteiro do veículo (12).

Impactos oblíquos e laterais resultam em maior transmissão assimétrica de energia ao tórax e mediastino, aumentando significativamente a probabilidade de lesões fatais. (24,25).

3.4 TRAUMA ABDOMINAL

Decorre, geralmente, da compressão do abdome contra o cinto de segurança, o volante ou o painel, transferindo energia para vísceras e estruturas retroperitoneais. Pode ocasionar ruptura de órgãos sólidos, como fígado e baço, bem como perfurações intestinais, especialmente em colisões frontais de alta energia (26).

A correta utilização do cinto de três pontos, com a faixa subabdominal ajustada sobre o quadril e a transversal sobre o ombro, reduz substancialmente a gravidade das lesões abdominais (27).

3.5 PELVE E MEMBROS INFERIORES

A pelve e os membros inferiores estão entre as regiões mais atingidas em colisões frontais e atropelamentos. Forças de cisalhamento ou compressão superiores a 5 kN podem produzir fraturas complexas de fêmur e pelve, frequentemente associadas a hemorragias internas de grande volume (28).

Em pedestres, a altura do para-choque e o formato do capô influenciam decisivamente a severidade das lesões. Veículos com frente mais alta e rígida, como SUVs e picapes, exibem maior probabilidade de causar lesões pélvicas, torácicas e cranianas fatais devido à maior transferência de energia e ao impacto direto em regiões anatômicas vulneráveis (6,29).

4. FATORES MODIFICADORES DA TOLERÂNCIA HUMANA A IMPACTOS

A tolerância humana ao impacto varia conforme idade, sexo, fragilidade óssea, uso de dispositivos de segurança e condições de saúde (30).

Idosos apresentam maior rigidez torácica, fragilidade costal e menor tolerância a cargas compressivas (31,32).

Crianças apresentam menor capacidade de absorção de energia devido à elasticidade reduzida dos tecidos e à menor massa corporal (33,34).

O uso de cintos de segurança (35,36), capacetes para motociclistas (37,38), e sistemas de retenção infantil (39,40) aumenta significativamente a capacidade de sobrevivência ao distribuir as forças do impacto sobre regiões mais resistentes do corpo.

Determinadas condições de saúde podem reduzir significativamente a tolerância humana às forças de impacto, aumentando o risco de lesões graves ou fatais mesmo em velocidades moderadas (41).

Alterações estruturais e funcionais decorrentes de doenças crônicas, como osteoporose, patologias cardiovasculares, doenças neurológicas, sarcopenia e distúrbios que afetam a mobilidade ou o tônus muscular, diminuem a capacidade do organismo de absorver e dissipar energia durante uma colisão (31).

A presença de comorbidades aumenta a probabilidade de fraturas, hemorragias internas ou descompensações agudas associadas ao trauma, influenciando diretamente o desfecho clínico pós-impacto (42).

Essas condições reduzem a resistência mecânica de ossos, articulações e tecidos moles, ao mesmo tempo em que comprometem mecanismos fisiológicos de proteção, como reflexos posturais, estabilização muscular e respostas cardiovasculares ao estresse traumático. Indivíduos com tais vulnerabilidades apresentam limiares inferiores para lesões graves, exigindo maior atenção nas políticas de prevenção, avaliação de risco e proteção veicular.

5. USUÁRIOS VULNERÁVEIS DAS VIAS

Pedestres, ciclistas e motociclistas, apresentam risco significativamente maior de lesões graves e fatais em sinistros, por estarem desprotegidos das estruturas de absorção de impacto que beneficiam os ocupantes de veículos fechados. Nessas situações, a velocidade de impacto é o fator isolado mais determinante do desfecho clínico.

Segundo dados do Ministério da Saúde provenientes do Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS), até julho de 2025 foram registradas 19.059 internações de pedestres, 10.527 de ciclistas e 98.364 de motociclistas, que juntos representam 77,42% de todas as internações hospitalares relacionadas a vítimas do trânsito (43).

No que se refere à mortalidade desses usuários mais vulneráveis, o cenário é igualmente preocupante. Entre janeiro e setembro de 2025, o DataSUS contabilizou 1.992 óbitos entre motociclistas, 916 entre pedestres e 258 entre ciclistas, evidenciando a urgência de políticas públicas e intervenções que ampliem a proteção desses grupos (44).

5.1 PEDESTRES

Representam o grupo mais vulnerável uma vez que não possuem nenhum mecanismo de proteção passiva. Em impacto direto, o corpo humano sofre primeiro o choque com o para-choque (membros inferiores), seguido pelo arremesso sobre o capô e posterior impacto craniano contra o solo.

Estudos demonstram que a probabilidade de um pedestre adulto morrer após ser atingido por um veículo é de aproximadamente 10% a 30 km/h, 50% a 45 km/h e acima de 80% a 50 km/h. Esses valores, amplamente utilizados por OMS, OCDE/ITF, SWOV e NHTSA, são ainda mais críticos para idosos e crianças, cujos corpos possuem menor tolerância biomecânica ao impacto (45,46).

5.2 MOTOCICLISTAS E CICLISTAS

Diretamente expostos às forças de impacto, sem a proteção oferecida por estruturas veiculares, a energia cinética do sinistro é dissipada quase integralmente no corpo da vítima, resultando em elevadas taxas de traumatismo cranioencefálico (TCE), fraturas múltiplas e trauma toracoabdominal (47,48). Mesmo em velocidades consideradas “moderadas” (40–50 km/h), a probabilidade de lesões fatais ultrapassa 60% em colisões laterais ou frontais envolvendo pedestres e motociclistas (11,49).

Entre ciclistas, a ausência de proteção lateral e a exposição direta ao tráfego motorizado agravam a vulnerabilidade, especialmente em áreas urbanas sem infraestrutura cicloviária segregada. Em impactos entre veículos e bicicletas a aproximadamente 40 km/h, há alta probabilidade de ocorrência de TCE grave, mesmo quando o ciclista utiliza capacete, devido à magnitude da desaceleração e ao impacto secundário no solo (50,51).

A dinâmica das colisões em motocicletas associa alta energia cinética a múltiplos mecanismos de lesão, impacto primário, projeção e deslizamento, o que explica a alta letalidade mesmo em velocidades intermediárias. A 60 km/h, por exemplo, a energia cinética de um motociclista de 80 kg equivale à queda livre de um edifício de cinco andares. (52).

5.3 PATINETES ELÉTRICOS

Denominados “Equipamentos de Mobilidade Individual Autopropelidos”, são movidos por motor elétrico de pequeno porte e com velocidade máxima de fabricação não superior a 32 km/h. A Resolução CONTRAN nº 996/2023 (53) define as regras e os equipamentos obrigatórios para a condução desses veículos em vias públicas:

- Velocidade máxima de 6 km/h em áreas de circulação de pedestres (calçadas) e 20 km/h em ciclovias/ciclofaixas. Proibida a circulação em vias de trânsito rápido e rodovias.
- Idade mínima 16 anos para condução.
- O uso do capacete é recomendado, mas não obrigatório.

Embora sustentáveis e ágeis para deslocamentos urbanos, apresentam desafios relevantes de segurança. Estudos mostram que o risco de sinistros envolvendo patinetes elétricos é 3,8 vezes maior do que o observado com bicicletas. A maior parte das hospitalizações decorrentes de sinistros com patinetes envolve traumatismos cranianos, muitas vezes agravados pela ausência de capacete. Sem proteção, o risco de TCE grave aumenta de forma significativa. Também são comuns fraturas faciais e traumas orofaciais, especialmente em quedas frontais (54,55).

Restrições à velocidade máxima e ao uso noturno de patinetes elétricos estão associadas a uma diminuição na quantidade de atendimentos hospitalares relacionados a lesões causadas por esses veículos (56).

Estudo observacional de um hospital universitário alemão mostrou que, mesmo com limite de 20 km/h, usuários de patinetes elétricos apresentaram proporção significativamente maior de lesões graves na cabeça e no pescoço (43,8%) em comparação com ciclistas (22,4%). A dinâmica do impacto contribui para essa gravidade: ao atingir obstáculos como meio-fio, o patinete pode funcionar como uma alavanca que projeta o condutor para frente, gerando forças elevadas sobre membros superiores e, principalmente, face e cabeça, o que aumenta o risco de lesões graves. (57).

Ao reduzir a velocidade de um patinete elétrico de 25 km/h para 15 km/h, o risco de TCE em pedestres pode cair pela metade, ou seja, pequenas reduções de velocidade geram grandes ganhos de segurança, especialmente para usuários vulneráveis (58,59);

5.4 MONOCICLOS ELÉTRICOS

Constituem forma emergente de micromobilidade urbana, capazes de atingir velocidades

comparáveis às de patinetes e, em alguns modelos, de motocicletas. Embora sejam auto equilibrados, exigem elevado domínio técnico e apresentam forte sensibilidade a irregularidades do pavimento, resultando em maior risco de quedas, especialmente durante a fase de aprendizagem.

A dinâmica de impacto desses dispositivos é particularmente desfavorável: ao colidir com descontinuidades como meio-fio, a roda pode funcionar como alavanca que projeta o condutor para a frente, ampliando a energia transferida à cabeça, face e membros superiores.

Estudos internacionais indicam prevalência elevada de traumatismo cranioencefálico (TCE), fraturas de membros superiores e lesões faciais entre seus usuários, com destaque para o papel da velocidade, da instabilidade e de falhas abruptas de propulsão (60-62).

A ausência de regulamentação específica e de infraestrutura adequada agrava o cenário, resultando em baixa adesão a equipamentos de proteção e maior exposição a impactos que frequentemente excedem a capacidade biomecânica de tolerância do corpo humano.

Em termos normativos, o Código de Trânsito Brasileiro, por meio do art. 244-A e da Resolução Contran nº 966/2022, os classifica como equipamentos de mobilidade individual autopropelidos (EMIA), determinando regras específicas de circulação, limites de velocidade e competências municipais de regulamentação(63,64)

6. RELAÇÃO ENTRE VELOCIDADE COM O RISCO E GRAVIDADE DOS SINISTROS DE TRÂNSITO

A relação entre velocidade e risco de sinistros foi inicialmente quantificada por Göran Nilsson, em 1982 (65). Seu trabalho pioneiro deu origem ao chamado Modelo de Potência de Nilsson (Power Model), posteriormente confirmado por diversas metanálises internacionais (3,7,36,66,67).

Nilsson demonstrou que o risco relativo de fatalidade aumenta segundo uma relação exponencial aproximada à quarta potência da velocidade. Essa formulação denomina-se Power Model e pode ser expressa pela equação:

$$R_f = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^4$$

- R_f = risco relativo de morte
- V_1 = velocidade média inicial
- V_2 = velocidade média após a mudança

O conceito de “velocidade tolerável”, hoje amplamente adotado pela Organização Mundial da Saúde (2), União Europeia (6) e pelo programa Vision Zero (5), deriva diretamente do Power Model. A infraestrutura, os limites de velocidade e os padrões de segurança devem ser projetados de modo que as forças de impacto não excedam os limites fisiológicos de sobrevivência humana.

O modelo de potência de Nilsson conclui também que um acréscimo de apenas 5% na velocidade média resulta em um aumento aproximado de 10% no número total de sinistros, 15% no número de feridos graves e 20% no número de fatalidades. De modo inverso, reduções modestas na velocidade média produzem efeitos expressivos na redução de mortes e lesões (65).

A velocidade é o fator isolado mais influente na gravidade dos sinistros de trânsito. Estimativas internacionais apontam que até 60% das mortes no trânsito estão associadas, direta ou indiretamente, ao excesso de velocidade (2,6).

Mesmo dentro dos limites legais, velocidades consideradas normais podem gerar energia cinética superior à capacidade biomecânica humana de tolerar impactos. Assim, não apenas o excesso, mas também a velocidade legal pode resultar em lesões fatais, sobretudo entre usuários vulneráveis e ocupantes expostos a desacelerações bruscas (3).

Décadas de estudos epidemiológicos, biomecânicos e de engenharia de tráfego demonstram uma relação positiva, robusta e consistente entre velocidade, risco de ocorrência de sinistros e gravidade das lesões resultantes (11).

Quanto maior a velocidade, maior a probabilidade de colisão e menor a chance de sobrevivência, independentemente da habilidade do condutor ou das condições da via. A velocidade interfere diretamente na capacidade do condutor de perceber e reagir a situações imprevistas. Ao exceder o limite permitido, ou mesmo ao conduzir no limite em contextos de alta complexidade viária, ocorre:

- Redução do tempo disponível para reação, influenciado por um tempo médio fisiológico de cerca de 1 segundo (66);
- Aumento exponencial da distância de parada, devido à combinação da distância percorrida durante o tempo de reação e da distância de frenagem (67);
- Diminuição da eficácia dos dispositivos de contenção e proteção viária, como barreiras, atenuadores e separadores centrais, que possuem limites estruturais de absorção de energia (68,69).

Há estimativas de que o excesso de velocidade contribua para aproximadamente 54% das mortes no trânsito globalmente, 57% em países de baixa e média renda e 28% em países de alta renda (1). Essas diferenças podem refletir padrões de fiscalização, infraestrutura, composição da frota e comportamento de risco.

A proporção de sinistros fatais associados à velocidade tende a diminuir com a idade do condutor e motoristas do sexo feminino apresentam menor prevalência de infrações de velocidade em todas as faixas etárias. Homens jovens configuram o grupo com maior incidência de condução em velocidade excessiva no momento do sinistro (1,3,6).

7. DESIGN VEICULAR E TOLERÂNCIA HUMANA A IMPACTOS

Os veículos modernos tornaram-se maiores, mais pesados e capazes de atingir velocidades superiores o que aumenta o potencial de gravidade dos sinistros (70,71).

A forma e o design frontal também influenciam diretamente a severidade das lesões: veículos com frente elevada e maior rigidez estrutural, como picapes e utilitários SUVs, estão associados a risco aumentado de traumatismos torácicos e cranianos fatais em pedestres, especialmente acima de 40 km/h. Em colisões entre veículos e pedestres, cerca de 90% da energia transferida ao corpo provém da velocidade, sendo a massa e o formato fatores secundários (11).

Com o aumento da participação dos SUVs na frota, pedestres e ciclistas passaram a ficar mais expostos a riscos, mesmo diante dos avanços na proteção dos ocupantes desses veículos (72). Além disso, tanto o aumento da velocidade quanto o da massa dos veículos maiores elevam a probabilidade de mortes e lesões graves, sobretudo entre usuários fora dos veículos (73). Em velocidades moderadas, acima de 30 km/h, os SUVs apresentam risco significativamente maior de provocar lesões graves em pedestres devido ao design frontal elevado (74).

8. ESCALA ABREVIADA DE LESÕES MÁXIMAS (*MAXIMUM ABBREVIATED INJURY SCALE*)

Indicador internacionalmente padronizado utilizado para classificar a gravidade das lesões anatômicas em vítimas de sinistros de trânsito. Baseia-se na Abbreviated Injury Scale (AIS), que atribui valores de 1 a 6 conforme a severidade da lesão, variando de leve {1} a incompatível com a vida {6}. O índice MAIS representa a pontuação mais alta entre todas as lesões identificadas em um mesmo indivíduo, refletindo, portanto, a lesão mais grave sofrida.

1	Menor	Lesão leve, sem risco vital
2	Moderada	Requer cuidados médicos, mas não ameaça a vida
3	Grave	Potencial risco à vida, necessita hospitalização
4	Muito grave	Ameaça imediata à vida
5	Crítica	Lesão quase sempre fatal
6	Máxima	Lesão incompatível com a vida

Essa padronização permite comparações consistentes entre diferentes bases de dados, países e períodos, sendo amplamente utilizada pela Organização Mundial da Saúde (OMS), pela União Europeia (5,76).

9. ADOÇÃO DE LIMITES DE VELOCIDADE COMPATÍVEIS COM A TOLERÂNCIA HUMANA

A adoção de limites compatíveis com a tolerância humana a impactos deve ser entendida não como restrição à mobilidade, mas como instrumento de proteção à vida. Nenhuma velocidade deve exceder o limiar biomecânico além do qual o corpo humano não pode sobreviver a um impacto, independentemente de culpa, erro humano ou condição da via.

A tolerância humana deve ser considerada o limite superior na definição de velocidades seguras, de forma que o sistema de transporte se adapte às capacidades físicas e fisiológicas das pessoas, e não o contrário.

10. TENDÊNCIAS INTERNACIONAIS SOBRE VELOCIDADE E MORTALIDADE NO TRÂNSITO

Mudanças moderadas na velocidade podem melhorar substancialmente os resultados de segurança para todos os usuários das vias. A Organização Mundial da Saúde (OMS) destaca esse efeito, mostrando que uma redução de 15% na velocidade média pode diminuir o risco de acidentes fatais e com ferimentos graves em quase 50% para colisões em velocidades excessivas (2).

- Suécia (Vision Zero): ao reduzir limites urbanos e readequar o desenho viário para 30-40 km/h em áreas com pedestres e ciclistas, o país observou quedas sustentadas de mortes de usuários vulneráveis, mesmo com aumento da frota e da mobilidade (77).
- Holanda e Noruega: programas de “zonas 30” e segregação física de modais mostraram que a combinação de engenharia, fiscalização e comunicação é mais efetiva do que qualquer ação isolada (78.79).
- Reino Unido e Austrália: a adoção de radares de trecho e de limites diferenciados em função do risco local reduziu em até 50% as fatalidades em alguns corredores rodoviários de alto risco (80).

11. IMPACTOS DA VELOCIDADE EXCESSIVA EM PAÍSES COM BAIXA E MÉDIA RENDA

Organismos internacionais (2) destacam que, em países de baixa e média renda, perfil no qual o Brasil se encaixa em termos de padrão de sinistros, as reduções de velocidade têm impacto ainda maior, porque há maior presença de usuários vulneráveis na via (pedestres, motociclistas, ciclistas), a frota tem maior heterogeneidade de segurança veicular e a infraestrutura é menos padronizada.

A instalação de radares de velocidade nas rodovias federais brasileiras entre 2011 e 2018 reduziu os sinistros em cerca de 5%, as vítimas levemente feridas em 5,3%, as gravemente feridas em 2,7% e as fatalidades em 0,9%. Esses resultados demonstram que, mesmo em contextos de alto risco como o brasileiro, reduções aparentemente modestas representam impacto significativo em números absolutos. É importante destacar que esses efeitos poderiam ter sido ainda maiores se a legislação não exigisse a obrigatoriedade de anunciar previa-

mente a presença dos radares, o que reduz seu potencial pleno de moderação de velocidade e de prevenção de sinistros.

Estudo divulgado pelo IPEA, entre 2010 e 2019, com base nos dados de mortalidade nas rodovias federais, a principal causa dos sinistros foi o excesso de velocidade (~10%) para mortes nessa malha rodoviária. (82).

Em relatório de infrações da PRF, de janeiro a agosto de 2023, as infrações de “excesso de velocidade e ultrapassagens proibidas” somaram 1.693.324 autuações, representando quase metade das autuações registradas pela PRF no período (83).

12. IMPLICAÇÕES PARA A ATUAÇÃO DO MÉDICO DO TRÁFEGO

A consolidação do conceito de tolerância humana a impactos tem consequências diretas para a atuação do médico do trânsito. Se a energia do impacto é o que decide entre um sinistro leve e uma morte, o médico do trânsito deve incorporar esse conhecimento às suas decisões clínicas e periciais.

Determinados agravos de saúde reduzem a capacidade do indivíduo de suportar forças de impacto e desaceleração. Idosos frágeis, pessoas com osteoporose, sequelas de TCE, epilepsia, neuropatias, distúrbios do sono têm menor margem de segurança em um sistema de trânsito que opere com velocidades elevadas.

Cabe ao médico do trânsito orientar o condutor sobre condições nas quais dirigir não é seguro e explicar que, em velocidades altas, qualquer perda de controle tem maior probabilidade de ser fatal. Isso coloca o médico do trânsito como agente de educação em segurança viária, e não apenas como perito.

A tabela de restrições médicas da Resolução nº 927/2022 do CONTRAN confere ao

médico do trânsito a possibilidade de modular a aptidão para dirigir conforme o grau de risco associado à condição clínica identificada (84).

A Diretriz sobre Tolerância Humana a Impactos fornece base científica para fundamentar decisões como habilitação limitada ou não à categoria B, sem o exercício de atividade remunerada ao veículo, em casos de condições que reduzam a capacidade de reação, percepção ou tolerância ao impacto.

Esses parâmetros também subsidiam a redução do prazo de renovação do Exame de Aptidão Física e Mental, em conformidade com o § 4º do artigo 147 do Código de Trânsito Brasileiro (CTB), permitindo o acompanhamento evolutivo de doenças crônicas ou degenerativas e a reavaliação periódica da segurança na condução veicular, sempre que a condição clínica assim o exigir (85).

O conceito de tolerância humana a impactos constitui fundamento técnico-científico que orienta o médico do trânsito a adequar a velocidade do veículo à vulnerabilidade individual do condutor, oferecendo base objetiva para restrições específicas. Entre elas, destaca-se a restrição “Vedado dirigir em rodovias e vias de trânsito rápido” (código T), cuja aplicação passa a ser cientificamente justificada em situações nas quais a capacidade de reação, resistência ao impacto ou integridade funcional do condutor se encontram comprometidas (84).

Essa fundamentação fortalece a legitimidade das decisões clínicas tomadas no contexto do Exame de Aptidão Física e Mental, alinhando a prática pericial às evidências científicas e aos princípios de precaução e proteção à vida.

13. RECOMENDAÇÕES PARA INSTITUIÇÕES DE ENSINO E PESQUISA

- Inserir conteúdos de biomecânica do trauma e tolerância humana nos currículos de Medicina do Tráfego.
- Incentivar pesquisas nacionais sobre velocidade, energia de impacto e características das lesões observadas em diferentes grupos de usuários.

14. RECOMENDAÇÕES À SOCIEDADE E PARA OS USUÁRIOS DAS VIAS

- Compreender que a velocidade é um fator letal, quanto maior a velocidade, menor a chance de sobrevivência.
- Apoiar políticas de redução de velocidade e respeitar os limites estabelecidos.
- Planejar deslocamentos considerando tempo adequado de viagem, evitando a pressão para “recuperar” tempo através da velocidade.
- Incentivar práticas de mobilidade ativa em ambientes seguros e fiscalizados.

15. RECOMENDAÇÕES PARA GESTORES E AUTORIDADES DE TRÂNSITO

- Adotar políticas de gestão da velocidade, priorizando a vida e a integridade humana sobre a fluidez do tráfego.
- Estabelecer limites de velocidade compatíveis com a tolerância humana, especialmente em áreas com pedestres, ciclistas, motociclistas e equipamentos de mobilidade individual autopropelidos (EMIA).
- Promover campanhas permanentes de educação para o risco da velocidade e divulgação dos limites de tolerância humana a impactos, com base em evidências científicas.

16. CONCLUSÕES

A compreensão da tolerância humana a impactos representa um marco no avanço das políticas e práticas de segurança viária. As evidências científicas demonstram de forma inequívoca que a velocidade é o fator isolado mais determinante da gravidade dos sinistros. A energia liberada em uma colisão cresce exponencialmente com a velocidade e, ao ultrapassar os limites biomecânicos do corpo humano, torna a sobrevivência improvável.

A aplicação desse conhecimento transcende o campo da engenharia e alcança direta-

mente a Medicina do Tráfego, pois a aptidão para dirigir e a prevenção de lesões devem reconhecer que a vida humana possui limites fisiológicos inegociáveis. O médico do tráfego, nesse contexto, atua não apenas como avaliador, mas como agente de promoção da segurança e da saúde pública, orientando condutores, gestores e a sociedade sobre os riscos associados à energia cinética excessiva.

Nos países de baixa e média renda, marcados por infraestrutura deficitária, frota heterogênea, fiscalização limitada e acesso desigual aos serviços de saúde, torna-se indispensável a articulação efetiva entre saúde, engenharia de tráfego e fiscalização. As diretrizes globais da OMS, ONU e ITF reforçam que somente a integração desses eixos permite reduzir de forma sustentável as mortes e lesões no trânsito; ações isoladas têm impacto limitado em cenários de elevada vulnerabilidade estrutural e institucional.

Esta Diretriz reafirma que a preservação da vida é o limite inegociável da mobilidade humana. O conjunto de evidências aqui apresentado destaca a necessidade de uma gestão científica da velocidade, fundamentada na vulnerabilidade dos usuários da via e na fisiologia humana, e não apenas em critérios de fluidez ou conveniência operacional.

O gerenciamento da velocidade deve ser o pilar central de qualquer estratégia séria de prevenção de mortes e lesões no trânsito. Definir limites de velocidade não é apenas uma decisão técnica ou administrativa: é, sobretudo, uma decisão ética. Quando esses limites refletem a preservação da vida e respeitam a tolerância humana a impactos, criam-se vias mais seguras para todos.

“Nenhuma fluidez viária pode se sobrepor ao valor inegociável da vida humana”.

17. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Global Status Report on Road Safety 2023. Geneva: WHO, 2023.
- 2. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Managing Speed: A Road Safety Manual for Decision-makers and Practitioners. Geneva: WHO, 2017.
- 3. OECD; INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM (ITF). Speed and Crash Risk. Paris: ITF/OECD, 2018.
- 4. UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE (UNECE). Towards Zero Road Deaths: Safe System Approach. Geneva: UNECE, 2016.
- 5. TRAFIKVERKET. Vision Zero – From Concept to Action. Stockholm: Swedish Transport Administration, 2014.
- 6. EUROPEAN TRANSPORT SAFETY COUNCIL (ETSC). Reducing Speeding in Europe. Brussels: ETSC, 2022.
- 7. SWOV INSTITUTE FOR ROAD SAFETY RESEARCH. Fact Sheet: Speed and Speed Management. Leidschendam: SWOV, 2009.
- 8. MURPHY, P. Quantifying accident risk and severity due to speed. Accident Analysis and Prevention, v. 141, p. 105531, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105531>
- 9. TEFFT, B. Impact speed and a pedestrian's risk of severe injury or death. Accident Analysis & Prevention, v. 50, p. 871–878, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.07.022>
- 10. ASHTON, S. J.; MACKAY, G. M. Some characteristics of the population who suffer trauma as pedestrians when hit by cars and some resulting implications. In: International Conference on the Biomechanics of Impacts – IRCOBI, 1979, Annecy. Proceedings. Annecy: IRCOBI, 1979. p. 39–48.
- 11. ROSÉN, E.; SANDER, U. Pedestrian fatality risk as a function of car impact speed. Accident Analysis and Prevention, v. 41, n. 3, p. 536–542, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.02.002>
- 12. VYAS, A. et al. Biomechanics of blunt force trauma. Forensic Science, Medicine and Pathology, v. 13, p. 1–12, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12024-017-9851-0>

- 13. NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION (NHTSA). Occupant Protection in Passenger Vehicles. Washington, DC: U.S. Department of Transportation, 2015.
- 14. CRANDALL, J.; BHAT, A.; SMITH, T. Mechanisms of injury from automobile collisions. *Annual Review of Biomedical Engineering*, v. 7, p. 243–275, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.bio-eng.7.060804.100453>
- 15. KIM, K.; LEE, S.; HAN, Y. Injury severity in side-impact crashes: biomechanical determinants. *Accident Analysis and Prevention*, v. 43, p. 122–131, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.08.008>
- 16. BAHOUTH, G.; DIGGES, K. Probability of ejection in rollover crashes. *Accident Analysis & Prevention*, v. 40, n. 2, p. 429–437, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2007.07.009>
- 17. GENNARELLI, T. A.; THIBEAU, M. Biomechanics of head trauma. *Neurosurgery*, v. 75, suppl. 4, p. S14–S22, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1227/NEU.00000000000000496>
- 18. HARDY, W. N. et al. A study of the response of the human cadaver head to impact acceleration. *Stapp Car Crash Journal*, v. 44, p. 49–70, 2000.
- 19. NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION (NHTSA). *Lives Saved by Vehicle Safety Technologies and Seat Belts (2010–2019)*. Washington, DC: U.S. Department of Transportation, 2021.
- 20. PANJABI, M. M.; WHITE, A. A. *Biomechanics of the Spine*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 1990.
- 21. CHOPRA, A. et al. Thoracolumbar spine injury biomechanics: thresholds for vertebral fracture. *Journal of Orthopaedic Research*, v. 34, n. 6, p. 1032–1039, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/jor.23130>
- 22. NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION (NHTSA). *Injury Biomechanics and Crashworthiness*. Washington, DC: U.S. Department of Transportation, 2015.
- 23. VIANO, D. C.; STAPP CAR CRASH CONFERENCE. Whiplash injury mechanisms and cervical spine dynamics. *Stapp Car Crash Journal*, v. 45, p. 67–88, 2001.
- 24. KENT, R.; CRANDALL, J.; CARLSON, E. Mechanisms and distributions of thoracic injuries in frontal and oblique impacts. *Stapp Car Crash Journal*, v. 47, p. 15–41, 2003.
- 25. SWOV INSTITUTE FOR ROAD SAFETY RESEARCH. *Relationship Between Speed and Crash Risk*. Leidschendam: SWOV, 2012.
- 26. KHAN, I.; BEEZLEY, S.; PORTER, J. Abdominal injuries in motor vehicle collisions: mechanisms and patterns. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, v. 76, n. 5, p. 1350–1356, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1097/TA.00000000000000496>

doi.org/10.1097/TA.0000000000000213

- 27. NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION (NHTSA). Seat Belt Use and Effectiveness. Washington, DC: U.S. Department of Transportation, 2020.
- 28. SCHNEIDER, L.; BURGESS, A.; LUCE, E. Pelvic and lower limb injury biomechanics in vehicle-pedestrian crashes. *Accident Analysis and Prevention*, v. 53, p. 1-20, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.016>
- 29. ROSÉN, E.; SÖDERLUND, N.; STRAND, J. Influence of vehicle front design on pedestrian injury severity. *Accident Analysis and Prevention*, v. 43, p. 182-190, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.08.024>
- 30. NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION (NHTSA). Traffic Safety Facts: Children and Older Population. Washington, DC: U.S. Department of Transportation, 2020.
- 31. KENT, R. W. Structural and material changes in the aging thorax and their role in crash protection for older occupants. *Annual Proceedings of the Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM)*, v. 49, p. 147-165, 2005.
- 32. FORMAN, J. L. et al. Predicting rib fracture risk in elderly occupants in motor-vehicle crashes. *Accident Analysis and Prevention*, v. 106, p. 370-379, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.06.021>
- 33. BOSE, D. et al. Children in motor vehicle crashes: biomechanical analysis of injury risks. *Traffic Injury Prevention*, v. 12, p. 582-590, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1080/15389588.2011.620999>
- 34. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). World Report on Child Injury Prevention. Geneva: WHO, 2008.
- 35. KAHANE, C. J. Fatality Reduction by Safety Belts for Front-Seat Occupants of Cars and Light Trucks. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), 2000.
- 36. ELVIK, R.; VAA, T.; ERKE, A.; SORENSEN, M. The Handbook of Road Safety Measures. 2. ed. Bingley: Emerald, 2009.
- 37. LIU, B. C. et al. Helmets for preventing injury in motorcycle riders. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004333.pub3>
- 38. NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION (NHTSA). Motorcycle Helmet Use and Effectiveness. DOT HS 810 679. Washington, DC: U.S. Department of Transportation, 2006.
- 39. DURBIN, D. R. Child occupant protection: a review of best practices. *Pediatrics*, v. 127, p. e1050-e1066, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1542/peds.2010-1456>

- 40. ARBOGAST, K. B. et al. Effectiveness of child safety seats vs. seat belts for children in reducing risk of death in crashes. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, v. 159, p. 232–236, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1001/archpedi.159.3.232>
- 41. BENTHAM, P.; EISENBERG, D. Comorbidity and injury severity in older adults involved in motor vehicle crashes. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, v. 70, p. 1527–1533, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e318207d16c>
- 42. FORMAN, J. L. et al. The effect of age and comorbidity on injury tolerance in motorvehicle crashes. *Accident Analysis and Prevention*, v. 97, p. 1–7, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.08.019>
- 43. BRASIL. Ministério da Saúde. Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS): interações por causas externas e acidentes de transporte. Brasília: Ministério da Saúde, 2025. Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/>. Acesso em: 25 nov. 2025.
- 44. BRASIL. Ministério da Saúde. DataSUS – Estatísticas de Mortalidade: óbitos por acidentes de transporte terrestre. Brasília: Ministério da Saúde, 2025. Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/>. Acesso em: 25 nov. 2025.
- 45. INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM (ITF). Motorcyclist Safety. Paris: OECD/ITF, 2015.
- 46. CRAIG, A.; NORTON, R.; HENDERSON, S. The epidemiology of motorcyclist injury. *Accident Analysis and Prevention*, v. 102, p. 1–7, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.02.005>
- 47. KROYER, J. Pedestrian and cyclist safety at impact speeds below 50 km/h. *Accident Analysis and Prevention*, v. 80, p. 165–173, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.04.017>
- 48. SCHEPERS, P.; HEINEN, E.; KROONENBURG, M. Road safety differences between cycling-only infrastructure and mixed-traffic roads. *Journal of Transport & Health*, v. 10, p. 227–234, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jth.2018.06.011>
- 49. OLIVIER, J.; CREIGHTON, P. Bicycle helmets and injury prevention. *International Journal of Epidemiology*, v. 46, n. 1, p. 278–292, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1093/ije/dyw153>
- 50. CHEN, W.; ZHAO, X.; XU, J. Injury patterns of motorcycle riders in multi-mechanism crashes. *Journal of Trauma*, v. 69, n. 5, p. 1123–1130, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e3181f416c9>
- 51. NILSSON, G. The Effects of Speed Limits on Traffic Crashes in Sweden. Linköping: Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), 1982.
- 52. ELVIK, R.; CHRISTENSEN, P.; AMUNDSEN, A. Speed and Road Accidents: An Evaluation of the Power Model. Oslo: Institute of Transport Economics (TØI), 2004.
- 53. BRASIL. Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). Resolução nº 996, de 15 de junho de

2023. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 22 jun. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/>. Acesso em: 25 nov. 2025.
- 54. SEITAKARI, L. et al. Comparing the characteristics of electric scooter and bicycle injuries: a retrospective cohort study. *Scientific Reports*, v. 15, p. 27599, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-12627-x>
 - 55. TRIVEDI, T. K. et al. Emergency department visits for electric scooter-related injuries after introduction of shared scooters in the United States. *JAMA Network Open*, v. 2, n. 1, p. e187381, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2018.7381>
 - 56. PAKARINEN, O. et al. Speed and nighttime usage restrictions and the incidence of shared electric scooter injuries. *JAMA Network Open*, v. 6, n. 11, e2341194, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2023.41194>
 - 57. HARTZ, F. et al. Characteristics of e-scooter and bicycle injuries at a university hospital in a large German city – a one-year study. *Injury Epidemiology*, v. 12, n. 2, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40621-024-00554-w>
 - 58. THE WOODLANDS TOWNSHIP. E-Micromobility Risk Assessment. The Woodlands, TX: The Woodlands Township, 2025. 38 p. Disponível em: <https://static1.squarespace.com/static/5e-e851a3ef0c6223c8f633ba/t/685069efab17155c50e1d8f7/1750100464833/micromobility+risk+assessment.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2025.
 - 59. GRAZ UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. E-scooter accidents: more helmets and less speed reduce the injury risk. *ScienceDaily*, 22 out. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedaily.com/releases/2023/10/231018115714.htm>. Acesso em: 25 nov. 2025.
 - 60. SEITO, T. et al. Characteristics of injuries caused by electric unicycles: a retrospective observational study. *Journal of Orthopaedic Science*, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jos.2021.12.010>
 - 61. CHEN, P.; LIN, H.; WANG, C. Injury patterns and risk factors associated with electric unicycle accidents. *Accident Analysis and Prevention*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107133>
 - 62. LEE, J.; PARK, S.; KIM, H. Balance demands and instability in electric personal mobility devices. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, v. 80, p. 314–325, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2021.04.013>
 - 63. BRASIL. Código de Trânsito Brasileiro. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 set. 1997.
 - 64. CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN). Resolução nº 966, de 16 de junho de 2022. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 21 jun. 2022.

- 65. NILSSON, G. Traffic Safety Dimensions and the Power Model to Describe the Effect of Speed on Safety. Lund: Lund Institute of Technology, 2004.
- 66. GREEN, M. How long does it take to stop? Methodological analysis of driver perception–reaction time. *Transportation Human Factors*, v. 2, p. 195–216, 2000. DOI: https://doi.org/10.1207/S15327590THF0203_1
- 67. AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Washington, DC: AASHTO, 2020.
- 68. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). EN 1317 – Road Restraint Systems. Brussels: CEN, 2010.
- 69. PAN, C. et al. Sex difference in driving speed management: The mediation role of driving anger and risk-taking. *Accident Analysis & Prevention*, v. 179, p. 106–120, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.106744>
- 70. INSURANCE INSTITUTE FOR HIGHWAY SAFETY (IIHS). Vehicle Size and Weight. Arlington, VA: IIHS, 2022. Disponível em: <https://www.iihs.org>. Acesso em: 25 nov. 2025.
- 71. NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION (NHTSA). Vehicle Weight, Size and Fatality Risk. Washington, DC: U.S. Department of Transportation, 2020.
- 72. HUANG, J.; LEE, C. Impact of vehicle front-end shape on pedestrian injury severity. *Accident Analysis & Prevention*, v. 144, p. 105–122, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105622>
- 73. INSURANCE INSTITUTE FOR HIGHWAY SAFETY (IIHS). Pedestrian and Bicyclist Crash Trends. Arlington, VA: IIHS, 2023. Disponível em: <https://www.iihs.org>. Acesso em: 25 nov. 2025.
- 74. KIM, S.; LEE, J.; LEE, C. Effects of passenger car front-end design on pedestrian injury severity at various impact speeds. *Traffic Injury Prevention*, v. 23, n. 4, p. 184–190, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/15389588.2022.2033391>
- 75. TINGVALL, C. et al. Proceedings of the International Research Council on the Biomechanics of Injury (IRCOBI). Gothenburg: IRCOBI, 2013.
- 76. MALM, S. et al. Risco de comprometimento médico permanente (RPMI) em acidentes de trânsito. *Annual Proceedings of the Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM)*, v. 52, p. 93–100, 2008.
- 77. SWEDISH TRANSPORT ADMINISTRATION. Vision Zero Academy: The Swedish Approach to Road Safety. Stockholm: Trafikverket, 2022.
- 78. SVOV INSTITUTE FOR ROAD SAFETY RESEARCH. Road Safety in Urban Areas: Principles

and Practices of 30 km/h Zones. The Hague: SWOV, 2021.

- 79. TRANSPORT FOR LONDON (TfL). Safety Performance of Average Speed Cameras in London. London: TfL, 2020.
- 80. AUSTRROADS. Guide to Road Safety – Safe System Approach. Sydney: Austroads, 2019.
- 81. ALMEIDA, A.; BARBOSA, A. V.; OLIVEIRA, R.; RAMALHO, H.; TREVISAN, G. Limiting speed improves highway safety: evidence from Brazil. Working Paper, Universidade Federal da Paraíba / Universidade Federal de Pernambuco, 2023. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.02054>
- 82. BRASIL. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Acidentes de trânsito e políticas públicas. Brasília: IPEA, 2023. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/categorias/45-todas-as-noticias/noticias/13899>. Acesso em: 25 nov. 2025.
- 83. AGÊNCIA GOV/EBC. Semana Nacional de Trânsito visa reduzir acidentes em vias urbanas e rurais. Brasília, 18 set. 2023. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202309/semana-nacional-do-transito-visa-reduzir-acidentes-em-vias-urbanas-e-rurais>. Acesso em: 25 nov. 2025.
- 84. BRASIL. Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). Resolução nº 927, de 28 de março de 2022. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 31 mar. 2022.
- 85. BRASIL. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro (CTB). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 set. 1997.

DIRETRIZES MÉDICAS EM MEDICINA DO TRÁFEGO