

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

BRUNO HENRIQUE MONTEIRO SILVA

**ENGENHARIA MECÂNICA NA CIÊNCIA FORENSE: UMA ANÁLISE DE
SOFTWARES LIVRES DEDICADOS À INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES DE
TRÂNSITO**

PONTA GROSSA

2021

BRUNO HENRIQUE MONTEIRO SILVA

**ENGENHARIA MECÂNICA NA CIÊNCIA FORENSE: UMA ANÁLISE DE
SOFTWARES LIVRES DEDICADOS À INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES DE
TRÂNSITO**

**Mechanical Engineering in Forensic Science: an Analysis of Free Software
Dedicated to Traffic Accident Investigation**

Trabalho de Conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Prof. Dr. Mario José Van Thienen da Silva

PONTA GROSSA

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

BRUNO HENRIQUE MONTEIRO SILVA

**ENGENHARIA MECÂNICA NA CIÊNCIA FORENSE: UMA ANÁLISE DE
SOFTWARES LIVRES DEDICADOS À INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES DE
TRÂNSITO**

Trabalho de Conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 21/dezembro/2021

Mario José Van Thienen da Silva
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Luis Gustavo Vieira Gonçalves
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Oscar Regis Junior
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PONTA GROSSA

2021

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais que jamais deixaram com que eu desistisse, me apoiando em todos os aspectos do começo ao fim desta árdua jornada que foi minha graduação. Dedico este trabalho a todos da minha família que estiveram comigo desde sempre, compartilhando bons e maus momentos, nas alegrias e nas dificuldades.

Dedico este trabalho também, a minha namorada pelo apoio, companheirismo e as conversas agradáveis aos finais de noite após um longo dia de estudo.

Agradeço ao meu professor orientador por me dar a chance de realizar este Trabalho de Conclusão de Curso e por seus ensinamentos.

Por fim dedico este trabalho a minha filha que tanto amo e que me dá motivos para continuar lutando.

RESUMO

O altíssimo número de acidentes de trânsito no Brasil e no mundo chama a atenção da sociedade e o excesso de velocidade é uma das principais causas deste problema que já é considerado como uma crise de saúde pública pela Organização Mundial da Saúde. O principal agente causador dos acidentes de trânsito é o excesso de velocidade e os profissionais responsáveis por coletar vestígios e produzir provas e laudos para a correta averiguação e julgamento de um acidente de trânsito são os peritos criminais. Os peritos criminais são formados em áreas específicas da ciência, conhecidas como Ciências Forenses, dentre elas, a Engenharia Mecânica. Neste trabalho, aplicando conhecimentos adquiridos durante o curso de Engenharia Mecânica, foram realizados estudos de casos de experimentos práticos, buscando validar softwares livres que possam vir a ser utilizados para produzir e/ou complementar laudos periciais no futuro. As metodologias para produção dos experimentos foram expostas, os resultados foram analisados e os softwares foram validados utilizando-se equações físicas e matemáticas aprendidas durante o curso de Engenharia Mecânica. Por fim foi realizado um estudo de caso de um acidente real.

Palavras-chave: ciência forense; engenharia mecânica aplicada; *software* livre; acidente de trânsito.

ABSTRACT

The extremely high number of traffic accidents in Brazil and in the world draws society's attention and excessive speed is one of the main causes of this problem, which is already considered a public health crisis by the World Health Organization. The main cause of traffic accidents is speeding and the professionals responsible for collecting traces and producing evidence and reports for the correct investigation and judgment of a traffic accident are the forensic experts. Forensic experts are trained in specific areas of science, known as Forensic Sciences, including Mechanical Engineering. In this work, applying knowledge acquired during the Mechanical Engineering course, case studies of practical experiments were carried out, seeking to validate free software that could be used to produce and/or complement expert reports in the future. The methodologies for producing the experiments were exposed, the results were analyzed and the software were validated using physical and mathematical equations learned during the Mechanical Engineering course. Finally, a case study of a real accident was carried out.

Keywords: forensic sciences; applied mechanical engineering; free software; traffic accidents.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Objetivo geral.....	9
1.2	Objetivos específicos.....	9
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1	Histórico da ciência forense.....	10
2.2	Áreas da ciência forense	12
2.3	Acidentes de trânsito	13
2.3.1	Trânsito e vias	13
2.3.2	Sinistros de trânsito	13
2.4	Tipos de veículos	15
2.5	Papel da ciência forense e da perícia criminal em acidentes de trânsito	16
2.6	Estudo da velocidade dos automóveis	16
2.6.1	Técnicas para determinação da velocidade	17
2.6.2	Velocidade de frenagem.....	17
2.6.3	Velocidade de frenagem em planos inclinados	20
2.7	Coeficiente de atrito cinético.....	22
2.8	Frenagem	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1	Gravação dos vídeos e medição das marcas de frenagem	27
3.2	Escolhas dos <i>softwares</i>	29
3.2.1	<i>Software</i> livre tracker.....	29
3.2.2	<i>Software</i> livre SCTA 1.0	31
3.3	Cálculos físicos e matemáticos analisando a situação <i>in loco</i>	32
3.4	Comparação de resultados	33
4	RESULTADOS E DISCUSÕES	34
4.1	Teste prático: asfalto	34
4.1.1	Velocidade de teste 40 km/h	34
4.1.2	Velocidade de teste 60 km/h	37
4.2	Teste prático: estrada de terra com cascalhos.....	39
4.2.1	Velocidade de teste 40 km/h	39
4.2.2	Velocidade de teste 60 km/h	41
4.3	Comparação dos resultados dos testes práticos.....	42

4.4	Analise de um acidente real	43
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
	REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

Os números de acidentes de trânsito são preocupantes no mundo inteiro e no Brasil não é diferente. O alto número de acidentes de trânsito (AT) já pode ser considerado um problema de saúde pública no mundo atual. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2018, p. 20), os acidentes de trânsito matam cerca de 1,35 milhões de pessoas no mundo todos os anos e deixam milhares de outras que sobrevivem com sequelas. No Brasil apenas no ano de 2020, 5.287 pessoas perderam a vida em acidentes de trânsito nas Rodovias Federais brasileiras, sendo que somente no estado do Paraná foram registrados 7.168 acidentes no mesmo ano, contabilizando 526 mortes, o que gera uma média de 9 óbitos a cada 100 acidentes envolvendo vítimas (CNT, 2019, p. 128).

Números expressivos como estes que foram levantados chamam a atenção da sociedade e algumas perguntas surgem, como por exemplo: de quem é a culpa em um acidente de trânsito? Como provar a inocência ou condenar alguém com base em dados técnicos e científicos? Quais ferramentas e/ou *softwares* podem ser utilizados para elucidar as causas de um acidente de trânsito? Eis que aparece em cena a Ciência Forense.

Tal ciência é composta por diversos setores das ciências naturais e humanas. Matérias como física, química, biologia, engenharia e psicologia compõe a ciência forense. A partir desses saberes a Ciência Forense objetiva apoiar cientificamente investigações civis e criminais através da coleta de vestígios de um local de crime ou acidente de trânsito, por exemplo, e transforma-los em provas viáveis e úteis para o judiciário (BARBOSA *et al.*, 2018, p. 2; CRUZ *et al.*, 2016, p. 167).

Ainda segundo o Relatório de Status Global de Segurança Viária da Organização das Nações Unidas (2018) um terço dos acidentes são causados por excesso de velocidade, tornando essa uma das principais causas dos acidentes de trânsito no mundo. Como se não bastasse, este cenário não progride bem e os casos relacionados ao excesso de velocidade continuam aumentando.

Portanto saber a velocidade do veículo no momento do acidente é de extrema relevância para caracterizar o culpado em um acidente e sua real causa. Algumas são as formas de analisar as evidências coletadas no local do AT para a determinação da velocidade do veículo no momento do sinistro. A partir da Mecânica Clássica é possível realizar cálculos matemáticos e determinar a velocidade inicial do veículo,

por exemplo. Contudo nos últimos tempos, diversos simuladores e *softwares* aplicáveis nas áreas da engenharia e da ciência no geral apareceram no mercado o que tornou o processo da perícia criminal em um acidente de trânsito mais simplificado, didático, dinâmico e possivelmente menos frustrante (GURGEL *et al.*, 2015, p. 4305-2).

Desta forma, ao longo do trabalho é discorrido um estudo de caso que analisa o movimento de frenagem de um veículo automotor feito por um *software* de imagem *in loco* com cálculos físico-matemáticos da Física Clássica e a relação da perícia criminal de um AT com os conhecimentos de Engenharia Mecânica.

1.1 Objetivo geral

O seguinte trabalho tem por objetivo analisar testes de frenagem total de um carro em determinadas condições de via com *softwares* e determinar a velocidade inicial do veículo no momento da frenagem, validar tais *softwares* com cálculos feitos *in loco* utilizando conceitos da Física Clássica aprendidas durante o curso de Engenharia Mecânica e, por fim, analisar um caso de acidente real.

1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Analisar e buscar *softwares* (simuladores) livres no mercado dedicados à investigação de acidentes de trânsito;
- Comparar o resultado de dois *softwares* (simuladores) distintos;
- Realizar cálculos físicos e matemáticos analisando a situação *in loco*;
- Comparar os resultados encontrados aos resultados gerados pelos *softwares*.
- Analisar um caso real de acidente de trânsito

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é relembrada, de forma sucinta, a história da ciência forense e sua evolução, seguida por uma breve revisão sobre temas e terminologias relevantes para a criminalística e para a ciência forense como um todo, em seguida é elencado o papel da ciência forense e da criminalística na investigação de acidentes de trânsito e como os conhecimentos adquiridos durante o curso de engenharia mecânica pode contribuir para o esclarecimento de tais acidentes.

2.1 Histórico da ciência forense

Até mesmo em épocas pré-científicas, onde o saber científico que se conhece hoje não era praticado, técnicas voltadas para o esclarecimento de crimes já eram utilizadas. Histórias famosas, como o “Princípio de Arquimedes”, datados do século III a.C, que de forma não científica descobriu que a coroa feita para seu rei, o Hierão de Siracusa, não era de ouro maciço e sim da mistura de ouro e prata. A ideia de Arquimedes foi de mergulhar dois pedaços de metal, um de ouro e outro de prata, ambos do mesmo peso da coroa, em uma bacia de água e observar o deslocamento do nível de água nos dois casos. Após isto, Arquimedes mergulhou a coroa na mesma bacia de água e observou que o nível de água ficou entre os outros dois níveis previamente medidos. Desta forma ele constatou que a coroa era feita da mistura entre ouro e prata. Portanto, Arquimedes desmascarou o artesão que fez a coroa, desvendando uma fraude mesmo sem conhecer cientificamente o que era a densidades dos materiais (GARRIDO; GIOVANELLI, 2006, p. 47).

Somente no final do século XIX a criminalística que se conhece hoje foi criada. Seu criador foi o jurista Hans Gross, conhecido como o pai da criminalística. Sua ideia era que a ciência e seus métodos devessem ser usados para desvendar crimes (GARRIDO; GIOVANELLI, 2006, p. 50).

Relembra Garrido e Giovanelli (2009) que os primeiros avanços significativos da ciência forense aconteceram na Europa, e que fora do antigo continente, instituições voltadas ao estudo da criminalística demoraram a serem difundidas. Ele recorda sobre a criação do “Instituto de Polícia Científica” da Universidade de Lausanne na Suíça já no ano de 1908. Segundo o autor, a criminalística gradualmente foi incorporada às forças policiais, apesar de ter sido criada no meio acadêmico. Nos

EUA, por exemplo, laboratórios foram criados em postos policiais e a ciência forense pelo uso da perícia criminal já era aprovada pela polícia e pelas autoridades judiciais nos anos entre 1920 e 1930. No Brasil, institutos de criminalísticas independentes do governo, mas ligados ao aparato policial, surgiram no Rio de Janeiro já na primeira metade do século XX. O autor ainda explana que como em outras partes do mundo, o nascimento da Criminalística e o da Medicina Legal no Brasil se confundem. Sendo que em ambos os casos, as duas áreas de conhecimento migraram precocemente das universidades para as atividades policiais (GARRIDO; GIOVANELLI, 2006, p. 51).

A Ciência Forense pode ser compreendida como o conjunto de ações que criam e propagam conhecimentos científicos e técnicas científicas capazes de esclarecerem dúvidas relacionadas a crimes diversos. Ao passo que a Perícia Criminal tem por objetivo a busca da realidade dos fatos de um crime, através da análise de vestígios deixados no local do crime pelo uso de conhecimento científico e tecnológico. A perícia criminal é a executora da ciência forense (FACHONE; VELHO, 2007, p. 153).

Os Peritos Criminais estudam e analisam vestígios variados dependendo do local do crime, com por exemplo: amostras de sangue, tecidos epiteliais, impressões digitais, projéteis, cartuchos, marcas de frenagem no asfalto, etc. (FACHONE; VELHO, 2007, p. 153). Sendo fundamental este último exemplo de objeto de estudo de um Perito na determinação da velocidade inicial de veículos envolvidos em acidentes de trânsito. Os peritos podem operar em vários e diferentes setores do conhecimento, dependendo da situação e do contexto onde serão realizadas as investigações (MEDEIROS, 2020, p. 16).

É papel da perícia criminal se apresentar ao local do crime para realizar a busca por vestígios que devem ser posteriormente checados utilizando-se métodos e conhecimento científicos de análises. A partir dessas provas encontradas são lavrados laudos periciais que serão utilizados como prova durante as próximas etapas do processo. Portanto em quase toda sua totalidade, as provas materiais de um crime são de responsabilidade da perícia criminal. Na esfera das organizações de segurança pública e da justiça criminal os membros da perícia oficial são os mais frequentes porta-vozes da ciência (FACHONE; VELHO, 2007, p. 151).

A perícia criminal é composta por um variado colegiado de bacharéis de diferentes setores do saber, dentre eles podendo ser encontrados profissionais da engenharia mecânica, engenharia em geral, medicina, psicologia, física, química,

farmácia, etc. Essa grande gama de conhecimentos aplicados a perícia criminal estimula o perito criminal a continuar sempre estudando, além de exigir que o mesmo aprimore sua capacidade de correlacionar conhecimentos de diferentes áreas da ciência, o auxiliando durante as análises de provas e vestígios, observação de cenários e listagem de possíveis causas do crime (MEDEIROS, 2020, p. 16).

2.2 Áreas da ciência forense

A perícia criminal, tida como auxiliar da justiça no Brasil, é a operadora da ciência forense e tem participação imprescindível no sistema de segurança pública e justiça criminal brasileiro nos dias atuais, criando laudos periciais baseados em conhecimentos científicos (FACHONE; VELHO, 2007, p. 153). São áreas de atuação da perícia oficial criminal:

- Cenas relacionadas a acidentes de trânsito;
- Balística;
- Grafoscopia e documentoscopia;
- Fonética forense;
- Papiloscopia forense;
- Identificação de veículos;
- Química forense;
- Toxicologia forense;
- Genética de identificação humana;
- Entomologia forense;
- Computação forense;
- Meio ambiente forense;
- Engenharia legal;
- Contabilidade forense;
- Cenas relacionadas a crime contra a vida;
- Cenas relacionadas a crimes contra o patrimônio;
- Medicina legal;
- Psiquiatria forense;
- Odontologia legal;
- Antropologia forense.

Para o estudo deste trabalho, deve-se destacar a realização dos exames de evidências na área de cenas relacionadas a acidentes de tráfego, como por exemplo: levantamento e análise de vestígios em local de atropelamento, de colisão entre veículos ou não-colisão, de capotamento de veículos, reprodução de simulações, análise de imagens, vídeos e análise de frenagens *in loco*.

2.3 Acidentes de trânsito

Para fundamentar esta parte do trabalho, são utilizadas a Norma Brasileira de Trânsito 10697:2020 (NBR 10679), o Código de Trânsito Brasileiro (Lei 9.503) dentre outros artigos, que além de tratarem sobre as leis e terminologias, discutem o papel da ciência forense e da criminologia aliadas a engenharia mecânica e as leis da física mecânica na investigação de acidentes de trânsito.

2.3.1 Trânsito e vias

A Lei 9.503, de 23 de setembro de 1997, também conhecida como Código de Trânsito Brasileiro governa as leis de trânsito de qualquer natureza nas vias terrestres do território nacional. Segundo o Art. 1º da Lei 9.503 “o trânsito, em condições seguras, é um direito de todos [...]”. Ainda no Art. 1º do Código de Trânsito Brasileiro, a palavra trânsito é definida como sendo “a utilização das vias por pessoas, veículos e animais, isolados ou em grupos, conduzidos ou não, para fins de circulação, parada, estacionamento e operação de carga ou descarga” (BRASIL, 1997).

O Código de Trânsito Brasileiro também define o que são vias:

São vias terrestres urbanas e rurais as ruas, as avenidas, os logradouros, os caminhos, as passagens, as estradas e as rodovias, que terão seu uso regulamentado pelo órgão ou entidade com circunscrição sobre elas, de acordo com as peculiaridades locais e as circunstâncias especiais (BRASIL, 1997).

2.3.2 Sinistros de trânsito

Acidente de trânsito ou sinistro de trânsito, como também pode ser chamado, é toda ocorrência que provoque lesões em pessoas e/ou animais e/ou detrimento ao veículo, sua carga, ao trânsito, à via ou ao meio ambiente. Contudo para ser caracterizado acidente de trânsito, no mínimo, uma das partes envolvidas no sinistro

deverá estar se movimentando em via terrestre ou em local acessível ao público (ABNT, 2020, p. 1). Ademais, os acidentes de trânsito são qualificados pela NBR 10697, levando em consideração o fator vítima, como:

- Acidente de trânsito sem vítima: não há ocorrência de ferimento ou lesão fatal de qualquer tipo aos envolvidos no sinistro, contudo deverá haver prejuízo material à via, ao trânsito ou ao meio ambiente.

- Acidente de trânsito com vítima não fatal: sinistro no qual resulta em vítimas, porém não fatal.

- Acidente de trânsito com vítima fatal: acidente que resulte na morte da(s) vítima(s) no momento do acidente ou em até 30 dias, decorrente dos ferimentos causados pelo acidente.

Existe ainda o Incidente de Trânsito, sendo este o sinistro que não resulta em vítima ou se quer dano material. Entretanto, deve o mesmo, trazer detrimentos à via, ao trânsito ou ao meio ambiente.

Os acidentes de trânsito também podem ser classificados conforme seus tipos, que são:

- Atropelamento de animal: sinistro de trânsito em que animal (is) sofre (m) o impacto de um veículo em movimento;

- Atropelamento de pessoa: sinistro de trânsito em que pessoa (s) sofre (m) o impacto de um veículo em movimento;

- Capotamento: Acidente em que o veículo gira em torno de si mesmo, em qualquer sentido, chegando a ficar com as rodas para cima, mesmo que momentaneamente, se imobilizando em qualquer posição;

- Choque: sinistro de trânsito em que há impacto de um veículo contra qualquer objeto fixo ou objeto móvel sem movimento;

- Tombamento: sinistro de trânsito em que o veículo sai de sua posição normal, imobilizando-se sobre uma de suas laterais, sua frente ou sua traseira;

- Colisão: sinistro de trânsito em que um veículo em movimento sofre o impacto de outro veículo também em movimento.

Sendo que, colisão é subdividida em quatro outros tipos de acidentes de trânsito, são eles:

- Colisão frontal: colisão que ocorre quando os veículos transitam em sentidos opostos, na mesma direção, colidindo frontalmente;

- Colisão lateral: colisão que ocorre lateralmente, quando veículos transitam na mesma direção, podendo ser no mesmo sentido ou em sentidos opostos;
- Colisão transversal: colisão que ocorre transversalmente, quando os veículos transitam em direções que se cruzam, ortogonal ou obliquamente;
- Colisão traseira: colisão que ocorre na frente contra traseira ou na traseira contra traseira, quando os veículos transitam no mesmo sentido ou em sentidos opostos, podendo pelo menos um deles estar em marcha ré.

2.4 Tipos de veículos

Para o estudo da determinação da velocidade inicial de um veículo envolvido em acidente de trânsito é extrema importância que o tipo do veículo seja conhecido e levado em consideração na hora da realização da perícia de acidente de trânsito e da determinação da velocidade inicial dos veículos no momento do sinistro.

Veículo, segundo a NBR 10697 é classificado como:

Todo e qualquer meio de transporte existente, motorizado ou não, que transite por quaisquer vias, relacionado e definido pela legislação vigente e convenções internacionais de trânsito ratificadas pelo Brasil [...].(ABNT, 2020, p. 3).

A norma ainda classifica tipos de veículos:

- Automóvel: veículo a motor de propulsão utilizado para transportar passageiros, com capacidade máxima, incluindo motorista, de até oito pessoas.
- Caminhoneta: veículo misto a motor de propulsão, utilizado para transportar passageiros e carregar cargas em compartimento por ambos compartilhado.
- Caminhonete: veículo misto a motor de propulsão, utilizado para transportar passageiros e carregar cargas em compartimentos diferentes com peso bruto total de até 3500 kg.
- Caminhão: veículo a motor de propulsão equipado com chassi e cabine, utilizado para transportar cargas com peso bruto total superior a 3500kg.
- Motocicleta: veículo que tenha duas rodas, motorizado e conduzido em posição montada, cuja velocidade máxima de fabricação exceda 50km/h.
- Ônibus: veículo motorizado voltado ao transporte coletivo de pessoas, que tenha capacidade mínima de 20 passageiros.

- Micro-ônibus: Veículo motorizado voltado para o transporte coletivo de pessoas, que tenha capacidade máxima de 20 passageiros.

2.5 Papel da ciência forense e da perícia criminal em acidentes de trânsito

A perícia criminal no trânsito tem papel de destaque na perícia forense. Além de atribuir causa aos verdadeiros culpados pelo acidente, é papel da perícia criminal, reconstituir o acidente de trânsito utilizando a ciência forense aplicada. Este ramo da perícia vem se destacando devido ao gradual aumento do número de acidentes de trânsito que mutilam pessoas, ceifam vidas e destroem patrimônios pessoais e públicos. Os peritos criminais são agentes públicos, com formação em nível superior em áreas específicas das ciências humanas, exatas e biológicas, que auxiliam no trabalho da justiça, realizando investigações em locais de acidentes de trânsito, por exemplo, com o principal objetivo de determinar a causa do evento, sua dinâmica, e por fim, gerar o laudo pericial. O laudo pericial será avaliado por um juiz, sendo utilizado dentro de um processo civil ou criminal (OTUKI, 2019, p.12).

2.6 Estudo da velocidade dos automóveis

Somente no ano de 2020 foram registrados 63.447 acidentes de trânsito apenas nas rodovias federais que cortam o Brasil. Ocorrem em média 81 acidentes com vítimas a cada 100 quilômetros de rodovia (CNT, 2019, p. 3). O excesso de velocidade é uma das principais causas dos sinistros de trânsito no mundo. Em países desenvolvidos o excesso de velocidade causa 30% dos acidentes, enquanto que em países em desenvolvimento, como o Brasil, essa porcentagem aumenta para 50% (CAMARGO, 2012 apud OTUKI, 2019, p. 19).

Velocidade de um veículo é fator predominante para a demonstração da dinâmica do acidente de trânsito, além de ser fundamental para a análise da causa do acidente. Portanto, determinar a velocidade dos veículos que se envolveram em um acidente de trânsito é a questão principal a ser respondida pela perícia forense. Para isto, conhecimento de conceitos físicos e a capacidade de análise dos vestígios localizados na região do crime são primordiais ao perito criminal (OTUKI, 2019, p. 19)

2.6.1 Técnicas para determinação da velocidade

Atualmente os cálculos realizados para determinar a velocidade dos veículos envolvidos em acidentes de trânsito são baseados pelos princípios físicos da mecânica Newtoniana para corpos rígidos e pelos princípios da mecânica dos corpos deformáveis. Na Ciência Forense, as principais técnicas utilizadas são: o cálculo da velocidade baseado nas distâncias das marcas de frenagens, a análise do ponteiro do velocímetro do carro e investigação por imagens de vídeos utilizando-se *softwares*, sendo o último método, considerado uma tecnologia nova e ainda sem fundamentação científica (OTUKI, 2019, p. 20).

2.6.2 Velocidade de frenagem

Neste método a velocidade é determinada utilizando-se o tamanho das marcas de frenagem deixadas pelo veículo na estrada devido ao travamento das rodas. Deve-se ter em mente, que este método lança mão da primeira etapa da frenagem, ou seja, a velocidade encontrada será do momento em que as rodas do veículo travam e criam as marcas de frenagem. Portanto a velocidade encontrada será menor do que a verdadeira velocidade em que o veículo trafegava no momento do acidente (CÉCERE *et al.*, 2012 apud OTUKI, 2019, p. 21). Vestígios de frenagem são imprescindíveis para a determinação das velocidades atingidas por veículos na iminência de um sinistro de trânsito (VIANA, 2009, p. 34).

A velocidade de frenagem de um veículo pode ser determinada utilizando-se o Princípio da Conservação da Energia em um corpo isolado. A aplicação de uma força externa sobre um veículo, como por exemplo, a força de atrito durante a frenagem o carro, faz com a velocidade do carro aumente ou diminua dependendo do sentido da força e do deslocamento do carro. O trabalho (T) realizado por esta força externa faz com que a Energia de Cinética do carro varie positivamente se a força tiver a mesma direção e sentido do movimento do carro ou negativamente se a força tiver a mesma direção, porém sentido contrário ao movimento do carro. No caso da frenagem de um veículo, onde a força de atrito cinética produzida pelo atrito dos pneus do veículo com o solo tem sentido oposto ao movimento do carro durante a frenagem, a variação da energia cinética é negativa e, portanto, o trabalho é também negativo.

A equação a seguir apresenta o que foi discutido acima. O trabalho realizado por um corpo pode ser descrito como sua variação de energia cinética:

$$T = -\Delta E_c \quad (1)$$

O trabalho, na física, também é definido como o produto entre o módulo da força F que atua sobre o corpo e o módulo do deslocamento d realizado pelo corpo. Quanto maior for a força sobre o corpo e/ou o deslocamento do corpo, maior será o trabalho realizado sobre o corpo. O trabalho é uma grandeza escalar e sua unidade no SI é o joule. (SEARS; YOUNG; ZEMANSKY, 2008, p. 182). A seguir é expressa a equação de trabalho:

$$T = Fd \quad (2)$$

Igualando (2) em (1), temos:

$$Fd = -\Delta E_c \quad (3)$$

Lembra Sears, Young e Zamensky (2008) que o trabalho total realizado sobre um corpo está relacionado com o descolamento do corpo devido a forças externas aplicadas sobre este mesmo corpo, mas que o trabalho total de um corpo também pode ser relacionado com a velocidade do corpo e sua variação de energia cinética.

$$Fd = \frac{mV_f^2}{2} - \frac{mV_i^2}{2} \quad (4)$$

Considerando o veículo um corpo rígido sem perda de massa significativa durante a frenagem, pela 2ª Lei de Newton tem-se:

$$F = ma \quad (5)$$

Substituindo (5) em (4) obtém-se:

$$m \cdot a \cdot d = \frac{mV_f^2}{2} - \frac{mV_i^2}{2} \quad (6)$$

Isolando V_f , tem-se:

$$V_f^2 = V_i^2 - 2ad_f \quad (7)$$

Onde V_f é a velocidade final do veículo após o acidente, normalmente tendo seu valor dado como zero, V_i sendo a velocidade inicial do veículo, ou seja, a velocidade do veículo no momento da frenagem, a é a desaceleração do veículo durante a frenagem e d_f é o comprimento das marcas de frenagem.

As marcas de frenagens são causadas devido ao deslizamento dos pneus sobre o asfalto, portanto a força de atrito está envolvida, e por consequência, pode-se utilizar a equação da força de atrito:

$$-F_{at} = \mu_c N \quad (8)$$

O sinal negativo está relacionado ao fato de que a força de atrito atua no sentido oposto ao movimento do carro e da velocidade. μ_c é o coeficiente de atrito cinético entre a borracha do pneu e o asfalto e N é a força normal entre o veículo e o solo.

Deve-se lembrar que aqui são tratadas forças, portanto utilizando a segunda lei de Newton, pode-se simplificar ainda mais a equação.

Igualando (5) e (8), encontra-se:

$$a = -\mu_c g \quad (9)$$

Onde g é a aceleração da gravidade, tradicionalmente de valor $9,81 \text{ m/s}^2$.

Substituindo (9) em (7) e considerando que a velocidade final do veículo, V_f , é zero, pois o carro após a frenagem cessa seu movimento, tem-se:

$$V_i = \sqrt{2\mu_c g d_f} \quad (10)$$

Desta forma é encontrada a velocidade de frenagem do veículo em uma via plana, ou seja, a velocidade que o veículo praticava no momento inicial da frenagem. A equação 10 também é conhecida como equação de *Torricelli* Reduzida.

Em casos onde ocorram marcas de frenagens intermitentes em apenas um único tipo de pavimento, a velocidade inicial do veículo ainda pode ser calculada utilizando a equação de *Torricelli* Reduzida (ALMEIDA, 2015, p.). Apenas, deve-se somar todas as parcelas de frenagem, depois aplicar a distância total somada na Equação 10. A equação de *Torricelli* Reduzida para trechos de frenagens intermitentes em um único pavimento fica:

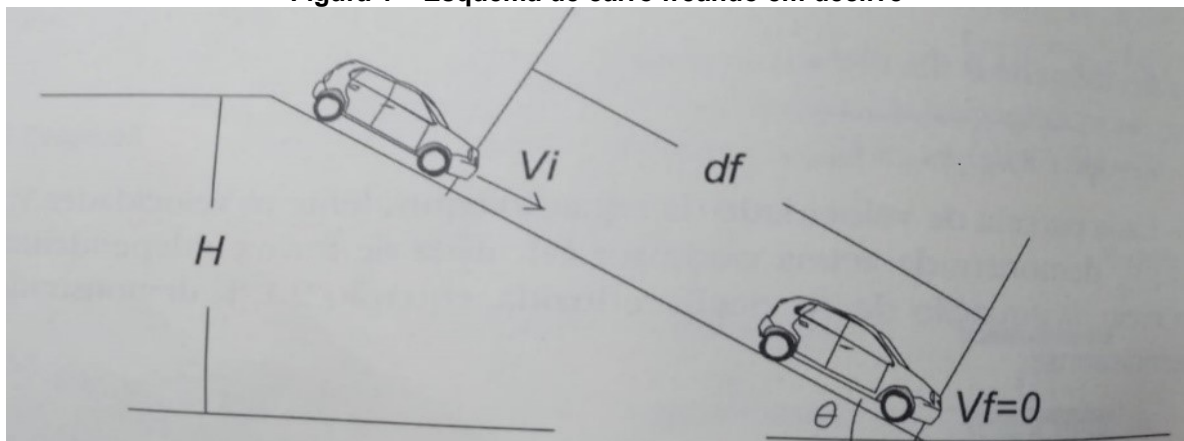
$$V_i = \sqrt{2\mu_c g(d_1 + d_1 + \dots + d_n)} \quad (11)$$

2.6.3 Velocidade de frenagem em planos inclinados

Em terrenos planos para um veículo isolado as equações demonstradas acima são suficientes para o cálculo da velocidade de frenagem, contudo em planos inclinados (declive e aclave) as análises devem levar em consideração a parcela de outra energia que varia durante o deslocamento de frenagem do veículo: a Energia Potencial Gravitacional (ALMEIDA, 2015, p.129).

Em declives (Figura 1) o carro se encontra no ponto mais alto no início da frenagem e, portanto, possui além da variação de energia cinética, a variação de energia potencial gravitacional que deve ser levada em consideração no balanço de energia.

Figura 1 – Esquema de carro freando em declive



Fonte: Almeida (2015)

O veículo possui velocidade inicial V_i ao iniciar a frenagem em uma via com declive de inclinação θ em graus. O veículo freia deixando marcas de frenagem no chão de comprimento d_f até atingir a velocidade final V_f igual a zero, cessando seu movimento. Portanto, a energia cinética e a energia potencial gravitacional do veículo devem ser completamente dissipadas durante o processo de frenagem para que o carro freie totalmente. Pela conservação de energia, supondo o carro um corpo rígido, temos:

$$E_c + E_p = E_d \quad (12)$$

$$\frac{mV_i^2}{2} + mgH = \frac{mV_f^2}{2} \quad (13)$$

Supondo que durante a frenagem não há perdas significativas de massa e, por este motivo, neste caso, o cálculo de velocidade de frenagem se aplica para qualquer veículo, independente do seu peso, pode-se simplificar a equação cancelando as massas em ambos os lados:

$$\frac{V_i^2}{2} + gH = \frac{V_f^2}{2} \quad (14)$$

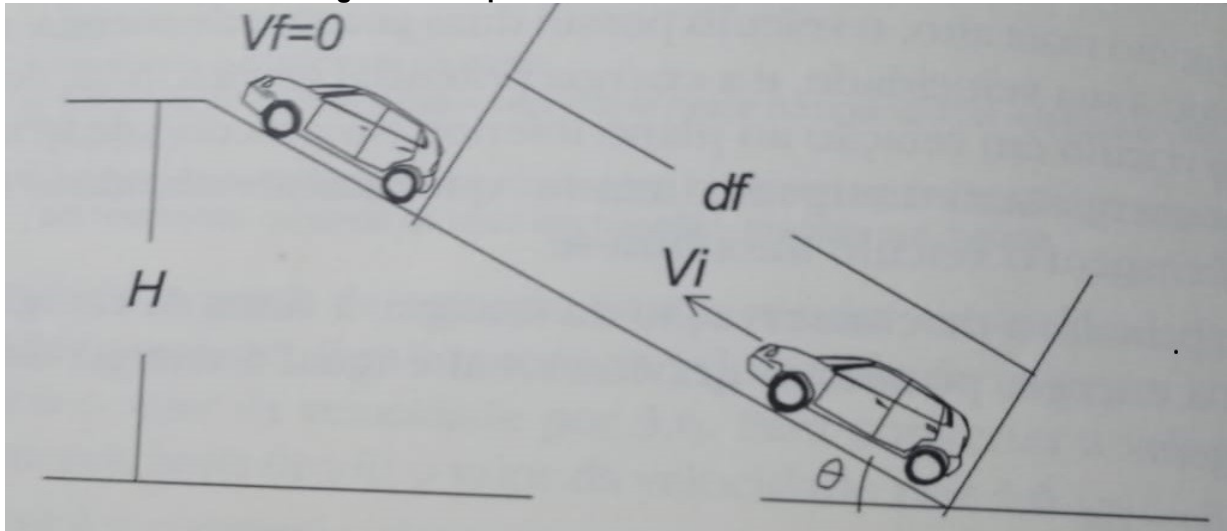
Por trigonometria (Figura 1) sabe-se que $H = d \operatorname{sen} \theta$ e substituindo (10) em (14) tem-se:

$$V_i = \sqrt{2\mu_c g d_f - 2g d_f \operatorname{sen} \theta} \quad (15)$$

$$V_i = \sqrt{2g d_f (\mu_c - \operatorname{sen} \theta)} \quad (16)$$

Para a situação onde a frenagem acontece em um aclave (Figura 2), o balanço de energia fica diferente, haja visto que, em um aclave a energia potencial “ajuda” o carro a frear, ou seja, parte da energia cinética do veículo, que parte do ponto mais baixo da via, é dissipada e outra parte é transformada em energia potencial gravitacional.

Figura 2 – Esquema de carro freando em active



Fonte: Almeida (2015)

Pelo princípio da conservação de energia temos:

$$E_c = E_d + E_p \quad (17)$$

$$\frac{mV_i^2}{2} = \frac{mV_f^2}{2} + mgH \quad (18)$$

Supondo que o veículo não perde massa significativa durante a frenagem, e que, por trigonometria (Figura 2), $H = d \operatorname{sen}\theta$, substituindo (10) em (18), tem-se:

$$V_i = \sqrt{2\mu_c g d_f + 2g d_f \operatorname{sen}\theta} \quad (19)$$

$$V_i = \sqrt{2g d_f (\mu_c + \operatorname{sen}\theta)} \quad (20)$$

2.7 Coeficiente de atrito cinético

Para falar sobre o coeficiente de atrito, primeiros deve-se lembrar o que é a força de atrito.

A força de atrito é um tipo de força de contato, onde força de contato é uma interação entre dois corpos. A força de atrito tem seu sentido sempre contrário ao sentido do movimento relativo entre duas superfícies e seu vetor é sempre perpendicular à força de contato entre dois objetos. Quando um corpo desliza sobre o outro, o tipo de atrito atuante é a força de atrito cinético (SEARS; YOUNG; ZEMANSKY, 2008, p. 148). Para frenagens, o coeficiente de atrito entre os pneus do veículo e o solo é considerado cinético (OTUKI, 2019, p. 22).

O valor da força de atrito cinético, normalmente cresce à medida que a força normal aplicada a superfície de atrito também cresce. Para sistemas de freios de carros, por exemplo, se as pastilhas de freio são comprimidas com mais força contra o disco de freio, maior será o efeito de frenagem. Desta forma, na maioria dos casos, é observável que a força de atrito é proporcional a força normal. Portanto quando existe proporcionalidade direta entre duas grandezas, pode-se relacionar estas duas grandezas a uma constante adimensional de proporcionalidade. Para o caso da força de atrito cinético e a força normal, a constante de proporcionalidade é conhecida como coeficiente de atrito cinético (μ_c). Superfícies mais deslizantes têm menores coeficientes de atrito. (SEARS; YOUNG; ZEMANSKY, 2008, p. 149).

Tabela 1 - Valores de coeficientes de atrito

Materiais	Coeficiente de Atrito Estático	Coeficiente de Atrito Cinético
	(μ_e)	(μ_c)
Aço com aço	0,74	0,57
Alumínio com aço	0,61	0,47
Cobre com aço	0,53	0,36
Latão com aço	0,51	0,44
Zinco com forre doce	0,85	0,21
Cobre com ferro doce	1,05	0,29
Vidro com vidro	0,94	0,40
Teflon com Teflon	0,04	0,04
Teflon com aço	0,04	0,04
Borracha com concreto (seco)	1,00	0,80
Borracha com concreto (úmido)	0,30	0,25

Fonte: Sears, Young, Zemansky (2008)

Testes realizados pelo Perito Criminal Engenheiro Mecânico Wilson X. de Camargo Filho no VII Seminário Nacional de Crimes de Trânsito, no ano de 2012, mostraram que o coeficiente de atrito cinético se comportara de maneira constante

até a velocidade de 40 km/h, o que de forma alguma ocorreria em situações de frenagem em um acidente de trânsito real, haja visto que velocidades de frenagens nesses casos podem chegar a mais de 150 km/h (OTUKI, 2019, p. 23).

Outros testes realizados pelo Instituto de Criminalística da Polícia Civil do Distrito Federal, revelaram que o coeficiente de atrito cinético diminuía com o aumento de velocidade, até mesmo em asfalto seco. Segundo Wilson, a fusão da borracha com o solo cresce devido ao aumento da velocidade do veículo. Velocidades mais altas geram temperaturas mais altas durante a frenagem, justificando a diminuição do coeficiente de atrito cinético entre o pneu e o asfalto (OTUKI, 2019, p. 23).

A escolha do coeficiente de atrito cinético deve levar em consideração aspectos como: os tipos de superfícies das vias, as condições da via, a existência ou não de camadas ou filmes superficiais de líquidos ou algum tipo contaminante, areia ou terra sobre a via. Há uma vasta quantidade tabela de coeficientes de atrito para diversos casos e situações nos dias atuais, a perícia pode e deve utilizar esses valores, pois são confiáveis, contudo o local do acidente deve ser bem examinado e os aspectos da via devem ser levantados de forma correta para que a escolha do coeficiente de atrito certo seja feita (ALMEIDA, 2015, p.136).

Exemplos de tabelas de coeficientes de atrito cinético mais específicos, que podem ser utilizados para o cálculo das velocidades de frenagem de veículos em acidentes de trânsito são apresentadas abaixo.

Tabela 2 - Coeficientes de atrito variados

(continua)

Superfície pneumática versus	Veículo de passeio		Caminhões	
	μ_c seco	μ_c úmido	μ_c seco	μ_c úmido
Asfalto novo	0,85	0,60	0,60	0,42
Asfalto velho	0,70	0,55	0,49	0,39
Asfalto escorregadio	0,55	0,35	0,39	0,25
Concreto novo	0,85	0,55	0,60	0,39
Concreto velho	0,70	0,55	0,49	0,39
Pedra limpa	0,60	0,40	0,42	0,28
Pedregulho	0,65	0,65	0,46	0,46
Terra dura	0,65	0,70	0,46	0,49
Terra solta	0,50	0,55	0,35	0,39
Pavimento com areia sobre	0,45	0,30	0,32	0,21

Tabela 2 - Coeficientes de atrito variados

(conclusão)

Superfície pneumática versus	Veículo de passeio		Caminhões	
	μ_c seco	μ_c úmido	μ_c seco	μ_c úmido
Pavimento com barro sobre	0,45	0,30	0,32	0,21
Barro sobre pedra	0,40	0,25	0,28	0,18
Pavimento com neve sobre	0,30	0,20	0,21	0,14
Gelo cristal	0,15	0,07	0,11	0,05

Fonte: Adaptado de Irureta (1996)

Tabela 3 - Coeficientes de atrito cinético variados considerando o aspecto velocidade

Superfície pneumática versus	μ_c seco	μ_c seco	μ_c úmido	μ_c úmido
	(V < 50 Km/h)	(V > 50Km/h)	(V < 50 Km/h)	(V > 50Km/h)
Cimento novo	0,8 - 1	0,75 - 0,85	0,5 - 0,8	0,45 - 0,75
Cimento usado	0,6 - 1	0,6 - 0,75	0,45 - 0,7	0,4 - 0,65
Cimento polido	0,55 - 0,75	0,5 - 0,65	0,45 - 0,65	0,4 - 0,6
Asfalto novo	0,8 - 1	0,65 - 0,8	0,65 - 0,7	0,45 - 0,75
Asfalto usado	0,60	0,55 - 0,7	0,55 - 0,7	0,4 - 0,65
Asfalto polido	0,55 - 0,75	0,45 - 0,65	0,45 - 0,65	0,4 - 0,6
Asfalto com excesso de alcatrão	0,5 - 0,6	0,3 - 0,6	0,3 - 0,6	0,25 - 0,55
Paralelepípedos novos	0,75 - 1	0,7 - 0,9	0,65 - 0,9	0,6 - 0,85
Paralelepípedos usados	0,6 - 0,8	0,5 - 0,8	0,4 - 0,7	0,6 - 0,8
Paralelepípedos polidos	0,5 - 0,7	0,45 - 0,65	0,3 - 0,5	0,45 - 0,65
Cascalho compacto	0,55 - 0,85	0,5 - 0,8	0,4 - 0,8	0,4 - 0,6
Cascalho solto	0,4 - 0,7	0,4 - 0,7	0,45 - 0,75	0,45 - 0,75
Neve compacta	0,3 - 0,55	0,35 - 0,55	0,3 - 0,6	0,3 - 0,6
Neve solta	0,1 - 0,25	0,1 - 0,2	0,3 - 0,6	0,3 - 0,6
Gelo	0,1 - 0,25	0,07 - 0,2	0,05 - 0,1	0,05 - 0,1

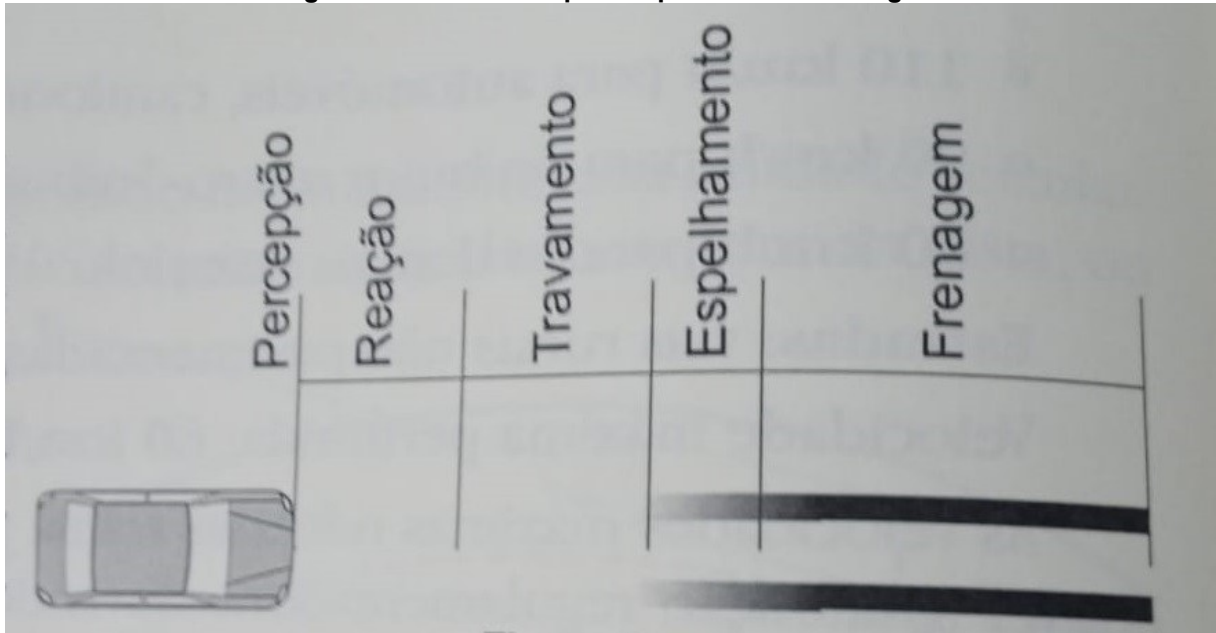
Fonte: Adaptado de Santos (2001)

Para tabelas com valores mínimos e máximos, para os coeficientes de atrito, deve-se calcular a velocidade de frenagem para ambos os casos, considerando os dois valores extremos, para que haja uma melhor compreensão da influência da velocidade no acidente em questão (ALMEIDA, 2015, p.136).

2.8 Frenagem

O processo de frenagem pode ser dividido em cinco fases, sendo elas: percepção, reação, travamento, espelhamento e, por último, a frenagem propriamente dita. Durante o espelhamento e a frenagem que as marcas de frenagem são produzidas, desta forma criando vestígios (OTUKI, 2019, p. 23). A Figura 3 ilustra o que foi dito.

Figura 3 - As cinco etapas do processo de frenagem



Fonte: Almeida (2015)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo traz dois Estudos de Caso. O primeiro é o estudo de caso de experimento prático, enquanto o segundo é o estudo de caso de um acidente de trânsito real. No capítulo são encontradas as informações de como foram criados os cenários para a execução e gravação das cenas de frenagem de um veículo de passeio, simulando um acidente de trânsito sem colisão em dois trechos de vias retilíneas e planas de coeficientes de atritos diferentes em diferentes valores de velocidade. Foram citados os materiais utilizados para a realização dos testes e para a análise de dados *in loco*. Além disso, foi discutido o método de busca das ferramentas e *softwares* livres para a análise dos dados. Posteriormente foram descritos os procedimentos de utilização dos *softwares* escolhidos para que os resultados discutidos mais adiante possam ser replicados. Por último, foi realizado um Estudo de Caso de um acidente real, analisando as imagens de vídeo do acidente real com o auxílio de um *software* livre.

3.1 Gravação dos vídeos e medição das marcas de frenagem

O experimento foi realizado em duas vias localizada nos arredores da cidade de Rosana no interior do estado de São Paulo. Uma das vias é uma pista localizada em perímetro urbano, revestida de asfalto e estava seca no dia dos testes. A outra via, é uma estrada de terra dura com cascalhos que estava seca no momento dos testes. Inicialmente dois cones foram dispostos a uma distância de 15 metros um do outro na beirada das vias mais próxima da câmera (Fotografias 1 e 2). Os cones foram utilizados como pontos de referência para os cálculos feitos pelo *software* de imagem. Uma fita métrica de 30 metros feita de fibra de vidro com manivela foi utilizada para realizar todas medições. Para realizar a gravação dos vídeos foram utilizados um *smartphone* LG K12 Prime com câmera de 16 megapixels. O vídeo foi gerado em formato MPEG-4, também conhecido como formato MP4 a 30 *frames* por segundo. A câmera do celular foi posicionada a 15 metros de distância da beirada mais próxima das vias a uma altura de aproximadamente um metro e meio de modo que sua lente ficasse perpendicular à direção da trajetória do carro.

Fotografia 1 – Pista revestida de asfalto preparada com os cones para os testes de frenagem



Fonte: Autoria própria (2021)

Fotografia 2 - Estrada de terra dura com cascalhos preparada com os cones para os testes de frenagem



Fonte: Autoria própria (2021)

Para os testes, foi utilizado um automóvel da classe picape pequena da marca Volkswagen modelo Saveiro 1.4 de cor branca e ano de fabricação 2002 (Fotografia 3). Os pneus do veículo eram novos e apresentavam boas condições de uso.

Fotografia 3 – Veículo Saveiro VW utilizado para a realização do teste de frenagem



Fonte: A autoria própria (2021)

Os testes foram realizados para duas diferentes velocidades: 40 e 60 km/h. Para uma melhor precisão da velocidade dos experimentos, o motorista utilizou a opção de indicador de velocidade do Google Maps em um *Smartphone* acoplado ao painel do carro. O carro foi acelerado até a velocidade de teste, manteve sua velocidade, passou pelo primeiro cone e ao chegar no segundo cone, o motorista acionou os freios do veículo, realizando apenas uma frenagem até que o carro cessasse o seu movimento. Após a frenagem total do veículo, o motorista retirou o veículo do local para que fossem aferidas as marcas de frenagens deixadas pelos pneus na via. Com o auxílio da fita métrica, as marcas de frenagem foram cuidadosamente medidas. Os testes foram realizados da mesma forma para todas as vias. Todos os testes foram gravados para que suas imagens fossem analisadas.

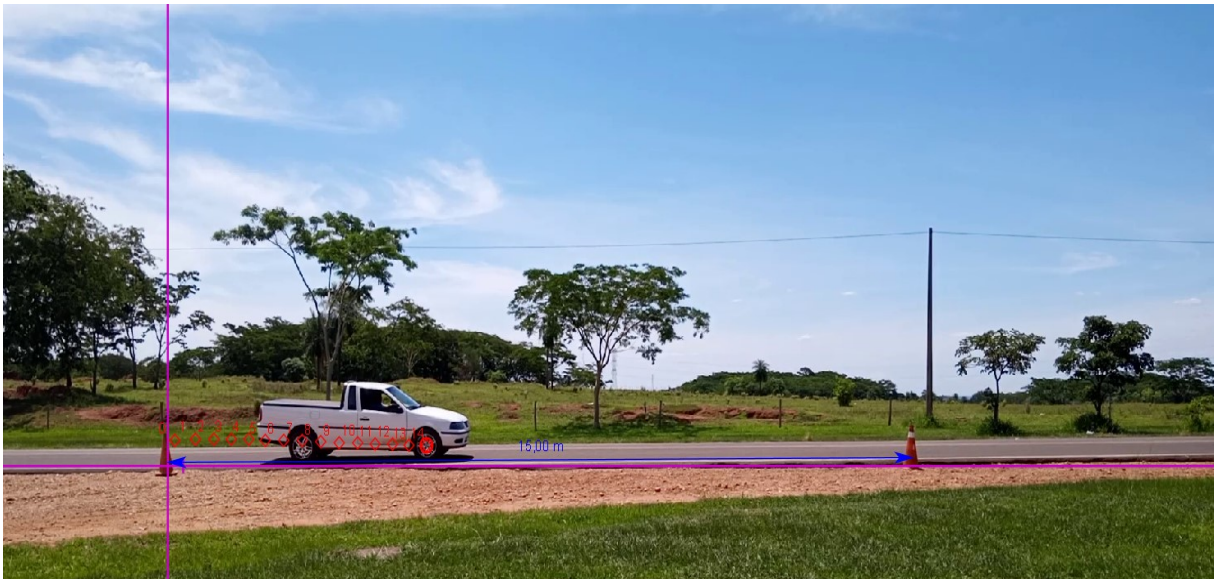
3.2 Escolhas dos *softwares*

Para a realização do presente trabalho foram escolhidos dois *softwares* livres. As buscas foram feitas na internet utilizando o site de busca da Google. O primeiro *software* escolhido para realizar o trabalho foi o *software* de análise de imagem e vídeo Tracker versão 1.6.0.0 para Windows 64 bits, vastamente utilizado para o ensino de física em universidades. O Segundo *software* utilizado foi o SCTA 1.0 (*Speed Calculations for Traffic Accidents*), *software* voltado para a perícia forense.

3.2.1 *Software* livre tracker

Para iniciar a análise, o vídeo escolhido foi importado para o *software* Tracker. *Frames* (quadros) de imagem que apresentaram tempos médios de duração diferentes da maioria dos demais quadros foram excluídos pelo próprio programa para evitar erros durante o cálculo da velocidade do automóvel. Após isso, utilizando o próprio *software*, foram delimitados os quadros inicial e final que correspondem a faixa do vídeo em que o carro percorre a distância entre os cones. Desta forma foram delimitados apenas os quadros de imagem que seriam analisados pelo *software*. Na etapa posterior foi definido onde ficariam os eixos cartesianos para a análise de imagem do *software*. Ficou determinado que a abscissa fosse paralela ao solo onde o carro se deslocou. O centro das coordenadas foi posto no centro da base do primeiro cone a esquerda. Em seguida, foi feita a calibração das imagens conforme mostra a Figura 4 a seguir retirada do próprio *software*.

Figura 4 - Imagem do cenário criado para o teste de velocidade delimitado por cones. Faixa de calibração (azul), eixo das coordenadas (rosa) e os pontos de massa (vermelho) escolhidos no centro da roda dianteira do veículo



Fonte: Imagem de tela retirada do software Tracker (2021)

Utilizando o próprio *software*, foi informado ao programa que a distância entre os dois cones (fita de calibração). Posteriormente foi realizada a marcação da trajetória do carro selecionando pontos de massa no próprio automóvel quadro após quadro. Os pontos de massa podem ser entendidos como pontos de referência para o cálculo do objeto quadro a quadro. O ponto de massa escolhido foi o eixo da roda dianteira do carro. Por fim, foram gerados gráficos e uma tabelas de resultados sobre a velocidade do veículo. No *software* é possível determinar vários aspectos físicos do

movimento de um corpo, por exemplo, velocidade média e instantânea, aceleração, aceleração angular, posicionamentos e energia cinética do corpo. Este procedimento foi realizado para todos os testes e para a análise de acidente real.

3.2.2 Software livre SCTA 1.0

Para o cálculo da velocidade utilizando o *software* SCTA 1.0, primeiramente foi escolhido o tipo de situação de acidente, no caso do presente trabalho, foram feitos cálculos da velocidade do veículo em um trecho de linha reta em dois tipos de terrenos. A geometria do trecho foi especificada como plana em ambos os casos. Em seguida foi informado ao *software* qual era o coeficiente de atrito entre os pneus do veículo e a via. A consulta do coeficiente de atrito cinético foi feita no próprio programa que disponibiliza quatro tabelas para consulta e uma ampla quantidade de valores de coeficientes cinéticos (Figura 5).

Figura 5 - Valores de coeficientes de atrito cinético do próprio programa SCTA 1.0

Fonte Resnick, Halliday e Krane - Física - LTC - 2003				tipo de situação		coeficiente K		
coeficientes de atrito - diversos								
superfície	Ke	Kc						
madeira x madeira	0,25 - 0,5	0,20		caminhão lateral x concreto				
vidro x vidro	0,90 - 1,0	0,40		veículo de passeio - teto x concreto				
aço x aço - superfícies limpas	0,60	0,60		veículo de passeio - teto x asfalto áspero				
aço x aço - superfícies lubrificadas	0,09	0,05		veículo de passeio - teto x cascalho				
borracha no concreto seco	1,00	0,80		veículo de passeio - teto x grama seca				
Teflon x Teflon	0,04	0,04		superfície metálica x asfalto				
(polímero politetrafluoretileno)				superfície metálica x terra				
tabela - 5.1				metal x metal (fricção)				
Fonte Victor A. Irureta - Accidentologíavial y Perícia - Ediciones La Rocca. 1996.				veículo de passeio x veículo de passeio				
pavimentos		veículos de passeio		camiões		freio motor engatado - marcha pesada		
superfícies pneumáticas versus	K - seco	K - úmido	K - seco	K - úmido	freio motor engatado - marcha leve			
asfalto novo	0,85	0,60	0,60	0,42	0,10 - 0,20			
asfalto velho	0,70	0,55	0,49	0,39	rolamento livre sem engrenagem - calibragem normal			
asfalto escorregadio	0,55	0,35	0,39	0,25	rolamento livre sem engrenagem - calibragem parcial			
concreto novo	0,85	0,55	0,60	0,39	0,013			
concreto velho	0,70	0,55	0,49	0,39	rolamento livre sem engrenagem - pneus vazios			
pedra limpa	0,60	0,40	0,42	0,28	deslizamento sobre neve compacta			
pedregulho	0,65	0,65	0,46	0,46	deslizamento sobre gelo ou granizo			
terra dura	0,65	0,70	0,46	0,49	0,55 - 0,70			
terra solta	0,50	0,55	0,35	0,39	corpo humano deslizando			
pavimento com areia sobre	0,45	0,30	0,32	0,21	1,10			
pavimento com barro sobre	0,45	0,30	0,32	0,21	0,80			
barro sobre pedra	0,40	0,25	0,28	0,18	tabela - 5.3			
pavimento com neve sobre	0,30	0,20	0,21	0,14				
gelo cristal	0,15	0,07	0,11	0,05				
tabela - 5.2				pavimentos				
				veículos de passeio		camiões		
				K - seco	K - molhado	K - seco	K - molhado	
				0,80	0,40 - 0,80	0,60	0,30	
				concreto	0,85	0,70 - 0,80	0,65	0,50
				neve compacta	0,15	---	0,15	---
				gelo	0,05	---	0,11	---
				terra	0,65	---	---	---
				lama	0,40 - 0,50	---	---	---
				cascalho ou areia	0,55	---	---	---
				tabela - 5.4				

Fonte: Imagem de tela retirada do software SCTA 1.0 (2021)

Em seguida foi informado ao programa a distância das frenagens em metros previamente medidas no local dos testes e a velocidade de danos. A velocidade de danos pode ser estimada consultando as tabelas disponibilizadas pelo *software* (Figura 6). No caso destes experimentos, onde não há colisão do veículo, o valor da

velocidade de danos foi especificado com sendo zero. Após isto, as velocidades estimadas foram calculadas e apresentadas pelo *software*. A velocidade mínima e máxima corrigidas por uma margem de erro de 10% para mais e para menos também foram apresentadas (Figura 7).

Figura 6 - Tabelas de velocidades de danos do software SCTA 1.0

avaria	Vd (km / h)
leve	até 10
média	20 a 40
grave	40 a 60
gravíssima	acima de 60

tabela - 1.1

Pormenorizada, a mesma tabela tem essas informações:

tipo de avaria	Vd (Km / h)
entortar pára-choque	5
quebrar pára-choque	10
quebrar pára-choque e grade do radiador	15 / 20
quebrar pára-choque, faróis, afundar grade, amassar capô, deformar lataria anterior	20 / 30
quebrar pára-choque, faróis, afundar grade, amassar capô, deformar lataria anterior até encostar ao motor sem deslocá-lo	30 / 40
quebrar pára-choque, faróis, afundar grade, amassar capô, deformar lataria anterior até encostar ao motor sem deslocá-lo, deformar suspensão	40 / 50
afundar grade do radiador mais colméia	40 / 45
arrancar suspensão	40 / 45
arrancar roda diretriz	40 / 45
partir longarina	50 / 60
arrancar motor dos calços, deslocar motor	60 / 70
arrancar roda motriz	50 / 60

tabela - 1.2

Fonte: Imagem de tela retirada do software SCTA 1.0 (2021)

Figura 7 – Imagem da tela de resultados dos cálculos de velocidade de frenagem SCTA

SCTA 1.0 (Speed calculations for traffic accidents)

Geometria do trecho
 Plano Active Declive

Coeficiente de atrito:

Distância de frenagem: metros

Ângulo de active: graus

Ângulo de declive: graus

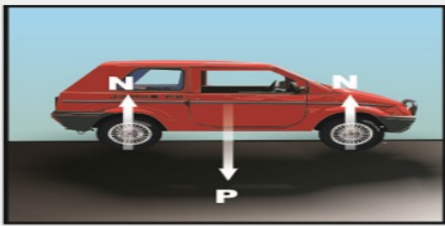
Velocidade de danos: km/h

Velocidade aproximada: **41 Km/h**

Considerando uma margem de erro de 10% nas medidas

Velocidade mínima: km/h

Velocidade máxima: km/h



Fonte: Imagem de tela retirada do SCTA (2021)

3.3 Cálculos físicos e matemáticos analisando a situação *in loco*

O Comprimento das marcas de frenagens foram cuidadosamente medidas no local dos testes com o auxílio da fita métrica. Após isso os valores dos comprimentos foram anotados. Por fim com o auxílio das equações já revisadas anteriormente, das tabelas de coeficientes de atrito cinético e com os valores dos comprimentos de frenagem os cálculos foram realizados.

3.4 Comparação de resultados

Os valores da velocidade do veículo antes da frenagem encontrados pelos *softwares* e a velocidade calculada através das equações da seção 2.6.2 foram tabelados para facilitar a comparação dos resultados. Os gráficos gerados pelos *softwares* também foram plotados na seção de resultados e discussões para a devida análise. Uma margem de erro normalizada foi definida e utilizada para um melhor entendimento e comparação dos resultados.

4 RESULTADOS E DISCUSÕES

Utilizando os matérias e métodos expostos na seção anterior, objetivou-se apresentar uma análise de comparação entre os resultados de velocidade obtidos pelos *softwares* e os resultados obtidos pelas equações físicas para o teste prático. Após feita a comparação dos resultados das análises dos testes práticos, foram expostos e analisados os resultados de velocidade do acidente real.

4.1 Teste prático: asfalto

O primeiro teste foi realizado em uma via recapeada por asfalto. Os métodos da seção 3 foram empregados.

4.1.1 Velocidade de teste 40 km/h

A Figura 8 apresenta os resultados obtidos da análise da velocidade do veículo pelo *software* Tracker para o teste de frenagem a 40 km/h na pista de asfalto. O gráfico obtido da posição (x), em metros, em função do tempo (s), em segundos, foi gerado pelo próprio *software* a partir dos pontos de massa previamente selecionados. No total 43 pontos foram analisados quadros após quadro. A extrapolação linear do próprio *software* gerou uma equação de reta (Figura 8) dada pela equação:

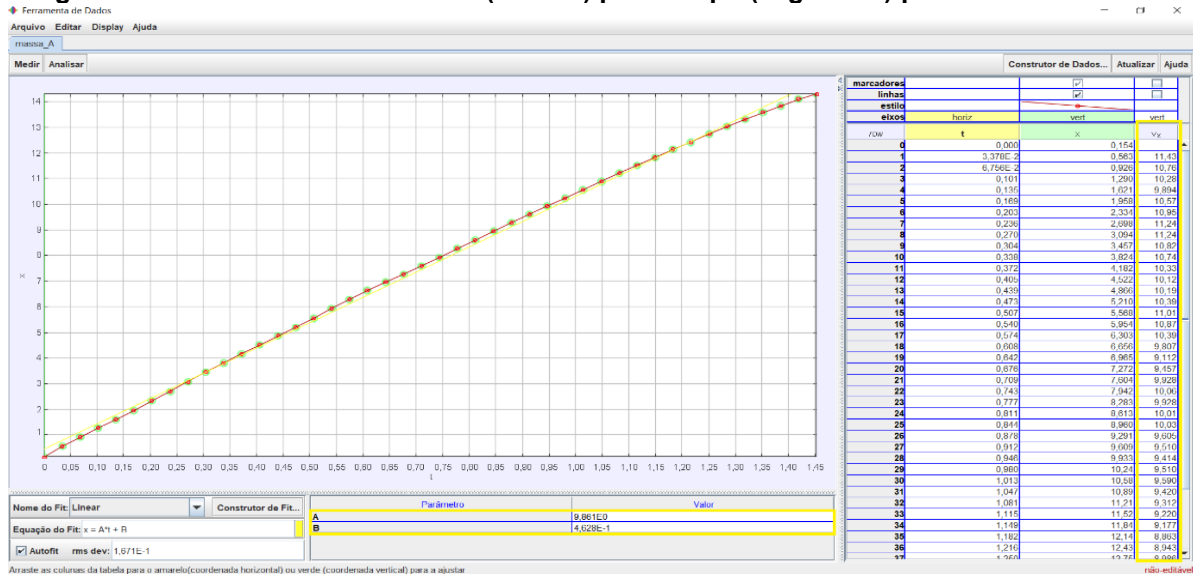
$$x = A \cdot t + B \quad (21)$$

Onde A é o coeficiente angular e B o coeficiente linear. Na física o coeficiente angular A corresponde a velocidade média desenvolvida no deslocamento de um corpo. Temos:

$$x = 9,861t + 0,4628 \quad (22)$$

Portanto, a velocidade média desenvolvida pelo carro no trajeto completo entre os cones foi de 9,861 m/s (35,5 km/h), segundo o *software*. Valores de velocidade instantâneas do veículo quadro a quadro, também foram obtidos (Figura 8).

Figura 8 - Gráfico do deslocamento (metros) pelo tempo (segundos) para o teste de 40 km/h



Fonte: Imagem de tela retirada do software Tracker (2021)

Contudo, para minimizar efeitos de perspectiva (distorções de altura, largura e profundidade), a média das dez primeiras velocidades instantânea dos dez primeiros quadros foi calculada, desta forma foi encontrada uma velocidade média de 10,79 m/s (38,85 km/h). Valor muito mais próximo do valor da velocidade real de 40 km/h. Os efeitos de perspectiva ficaram mais evidentes a partir do décimo ponto de massa e são ilustrados nas Figuras 9 e 10. Além do deslocamento da fita de calibração, foi possível notar que no início do trajeto, o farol do carro, que pode ser visto, ao longo do trajeto vai “sumindo”, até que no último quadro está praticamente fora da imagem. Efeitos como esse causam erros na determinação da velocidade por *softwares* de imagem. Esse erro pode ser atenuado selecionando números menores de quadros.

Figura 9 - Fita de calibração (azul) com pouco ou quase nenhum deslocamento devido a efeitos de perspectiva até o quadro de número 151



Fonte: Imagem de tela retirada do software Tracker (2021)

Figura 10 - Fita de calibração (azul) deslocada devido aos efeitos de perspectiva no último quadro 184



Fonte: Imagem de tela retirada do software Tracker (2021)

Vale ressaltar que, para todos os testes, as duas marcas de frenagem apresentaram comprimentos diferentes tanto no asfalto, quanto na estrada de chão (Fotografia 4). Para determinar a velocidade de frenagem do veículo utilizando as equações da seção 2.6.2 e o *software* SCTA, foi utilizada a marca de frenagem de

maior distância (lado esquerdo). Um atraso no acionamento dos freios do lado direito durante a frenagem é um dos prováveis motivos de ocorrência da diferença de tamanho das marcas de frenagem.

Fotografia 4 - Marcas de frenagem deixadas pelo veículo no asfalto a 40 km/h



Fonte: Autoria própria (2021)

Para calcular a velocidade recorrendo ao *software* SCTA, utilizamos as distâncias das marcas frenagem deixadas pelo veículo no asfalto, o ângulo de inclinação da pista, o valor do coeficiente de atrito retirado da tabela do próprio *software* e a velocidade de danos do acidente.

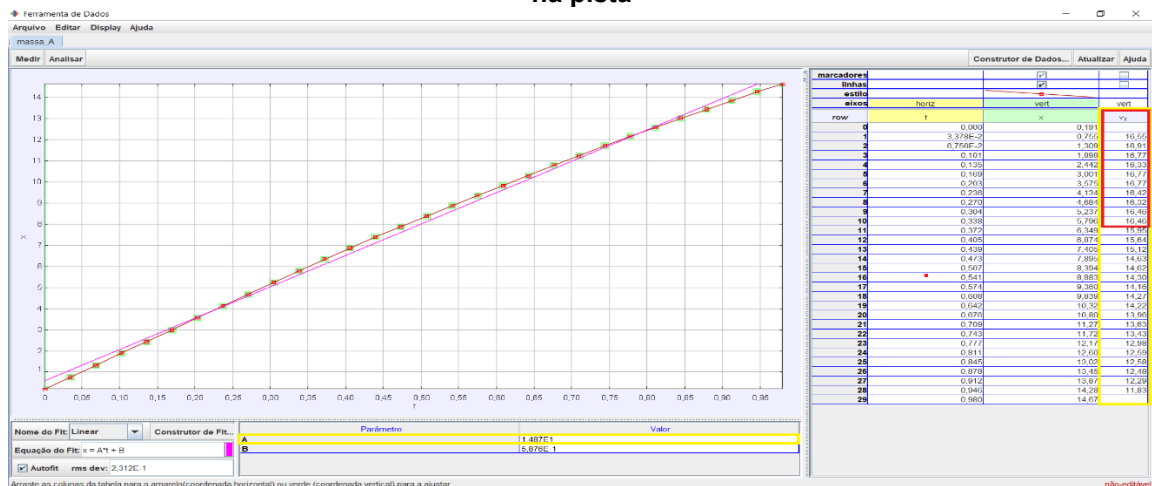
A distância de frenagem foi de 9,34 metros, a geometria do trecho foi escolhida como “plana”, o coeficiente de atrito foi escolhido da tabela 5.2 do próprio *software* na aba “consultar tabela” e seu valor foi de 0,70 para “asfalto velho” e “seco” desenvolvido por “veículo de passeio” e, por fim, a velocidade de danos foi considerada zero por não haver colisão e, conseqüentemente, não haver avarias no veículo. O valor da velocidade de frenagem encontrada pelo *software* foi de 41 km/h.

Utilizando a equação de Torricelli Reduzida (Equação 10) e o valor de coeficiente de atrito da Tabela 3 para “asfalto, usado e seco” com velocidade inferior a 50 km/h de 0,6, foi encontrada uma velocidade de 10,48 m/s (37,75 km/h).

4.1.2 Velocidade de teste 60 km/h

De forma similar, os resultados do teste de 60 km/h são ilustrados na figura 10. O número de quadros analisados foi menor, totalizando 26 pontos, haja visto que o carro está 20 km/h mais veloz em relação ao teste anterior e percorre mais terreno em menos tempo. A velocidade média desenvolvida no trajeto entre os cones foi de 14,87 m/s (53,53 km/h), dada pelo coeficiente angular A da reta (Figura 11). A média das velocidades instantâneas dos dez primeiros quadros (ver coluna vermelha da Figura 11) foi calculada, de forma a minimizar efeitos de perspectiva que ficaram mais evidentes a partir do décimo ponto de massa, e a velocidade média encontrada foi de 59,25 km/h.

Figura 11 - Gráfico do deslocamento (metros) pelo tempo (segundos) para o teste de 60 km/h na pista



Fonte: Imagem de tela retirada do software Tracker (2021)

Para calcular a velocidade de frenagem utilizando o *software* SCTA, o coeficiente de atrito foi o mesmo para o teste da seção 4.1.1 de valor 0,70, a velocidade de danos também foi considerada nula. A maior marca de frenagem produzida pelo veículo no teste de 60 km/h no asfalto foi de 21,8 metros (Fotografia 5) e foi escolhida. O valor encontrado pelo *software* foi de 62 km/h.

Utilizando a Equação 10, considerando o valor da gravidade $9,81 \text{ m/s}^2$ e escolhendo o valor médio de coeficiente de atrito da tabela 3 para “asfalto, usado e seco” com velocidade superior a 50 km/h como sendo $\mu_c = 0,625$, foi encontrada uma velocidade de frenagem de 16,35 m/s (58,86 km/h).

Fotografia 5 - Marcas de frenagem deixadas pelo veículo no asfalto a 60 km/h



Fonte: Autoria própria (2021)

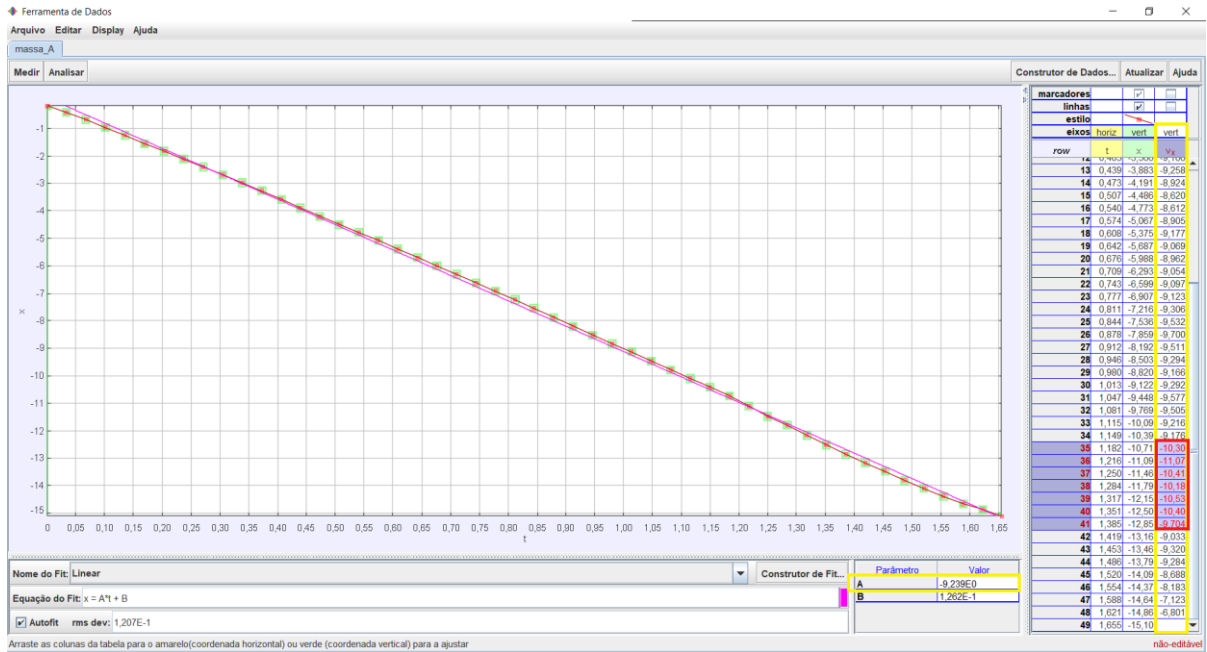
4.2 Teste prático: estrada de terra com cascalhos

O segundo teste foi realizado em uma via tipo estrada de terra com cascalhos. Os métodos da Seção 3 foram utilizados.

4.2.1 Velocidade de teste 40 km/h

Os resultados para o teste de 40km/h em estrada de chão com cascalhos são mostrados na Figura 12. Foram analisados 49 frames pelo *software* Tracker. A análise iniciou-se no quadro de número 147 e terminou no quadro 196. O coeficiente angular A , da reta extrapolada com desvio padrão de 0,1207, corresponde a velocidade média para o trajeto completo entre os cones. $A = -9,239$ Indica uma velocidade média de 9,239 m/s, ou seja, 33,26 km/h. O valor negativo do coeficiente apenas indica o sentido retrógrado do movimento. Posteriormente, foi reduzido o número de quadros analisados de 49 para 7, desta forma foi calculada a média das velocidades instantâneas entre os quadros 182 e 188 (ver coluna vermelha figura 12), afim de reduzir efeitos de perspectivas, encontrou-se a velocidade de 10,36 m/s (37,3 km/h), mais próxima da velocidade real de 40 km/h.

Figura 12 - Gráfico do deslocamento (metros) pelo tempo (segundos) para o teste de 40 km/h na estrada de chão



Fonte: Imagem de tela retirada do software Tracker (2021)

Analisando as marcas de frenagem *in loco*, a maior distância de frenagem na estrada de terra com cascalhos foi de 11,45 metros (Fotografia 6).

Fotografia 6 - Marcas de frenagem deixadas pelo veículo na estrada de terra a 40 km/h



Fonte: Autoria própria (2021)

Aplicando o valor de distância de frenagem, o valor do coeficiente de atrito retirada da tabela 5.4 do *software* SCTA para pavimento “cascalho” e “seco” desenvolvida por “carro de passeio” de 0,55, considerando a velocidade de danos nula e a geometria do trecho como “plana”, o valor encontrado pelo *software* SCTA foi de 40 km/h.

Utilizando a Equação 10 da seção 2.6.2 e considerando a maior distância de frenagem da Fotografia 6, o valor médio do coeficiente de atrito sendo 0,55, retirado da Tabela 3 na linha de “cascalho solto” para uma velocidade inferior a 50 km/h e considerando a aceleração da gravidade sendo $9,81 \text{ m/s}^2$, encontrou-se o valor de 11,12 m/s (40 km/h).

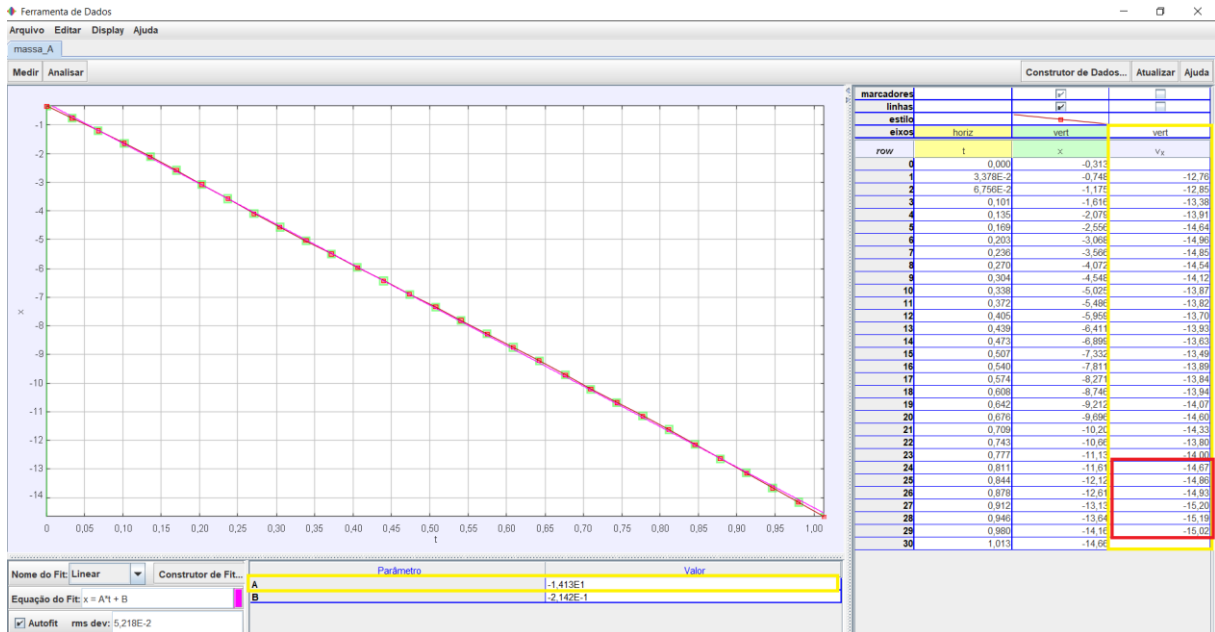
4.2.2 Velocidade de teste 60 km/h

O gráfico retirado do *software* Tracker com os resultados do teste de 60 km/h na estrada de terra dura com cascalhos é exposta na Figura 13. A extrapolação linear do gráfico da posição do veículo pelo tempo deu origem a uma reta com desvio padrão de 0,05218. A velocidade média dada pelo coeficiente angular da reta foi de $A = 14,13 \text{ m/s}$ (50,87 km/h). Esse valor de velocidade média foi encontrado ao analisar o movimento do carro ao percorrer todo o trajeto entre os cones, ou seja, totalizando 30 frames. Com o intuito de diminuir o efeito de perspectiva, foi calculada a média das velocidades instantâneas de apenas os últimos 7 *frames* analisados e a velocidade média encontrada foi de 14,98 m/s (53,92 km/h).

Para os cálculos de frenagem utilizando o *software* SCTA foi utilizada a medida da marca de frenagem medida *in loco* que foi de 23,90 metros, o valor do coeficiente de atrito retirada da tabela 5.4 do *software* SCTA para pavimento “cascalho” e “seco” desenvolvida por “carro de passeio” de 0,55, considerando a velocidade de danos nula e a geometria do trecho como “plana”, o valor encontrado pelo *software* SCTA foi de 58 km/h.

Empregando a Equação 10 da seção 2.6.2, escolhendo o valor médio do coeficiente de atrito sendo 0,55, este retirado da Tabela 3 na linha de “cascalho solto” para uma velocidade superior a 50 km/h e considerando a aceleração da gravidade sendo $9,81 \text{ m/s}^2$, encontrou-se o valor de 16,06 m/s (57,81 km/h).

Figura 13 - Gráfico do deslocamento (metros) pelo tempo (segundos) para o teste de 60 km/h na estrada de chão



Fonte: Imagem de tela retirada do software Tracker (2021)

4.3 Comparação dos resultados dos testes práticos

Segundo a Resolução N° 798, de 2 de setembro de 2020 do CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito, radares trabalham com tolerância de erros. Na resolução, consta que a velocidade considerada pelo radar (VC) será o resultado da subtração da velocidade medida (VM) pelo equipamento pelo erro máximo admitido previsto na legislação metrológica em vigor (CONTRAN, 2020). Para velocidades abaixo de 100 km/h a tolerância admitida é de 7 km/h, já para velocidades superiores a 100 km/h, o erro máximo admitido se torna 7% da velocidade medida pelo equipamento.

Na Tabela 4 abaixo, foram organizados os resultados e foi possível concluir que em todos os testes, tomando como erro máximo de medição de velocidade o

estipulado pelo CONTRAN, os resultados ficaram dentro da margem de erros de 7 km/h para velocidades abaixo de 100 km/h.

Tabela 4 - Resultados dos testes práticos dentro da faixa de erro admitido pela CONTRAN em radares de velocidade

Método de determinação da velocidade	Asfalto		Terra Dura/Cascalhos	
	40 km/h	60km/h	40 km/h	60 km/h
Tracker	38,85	59,25	37,3	53,92
SCTA	41	62	40	58
Equação	37,75	60	40	57,81

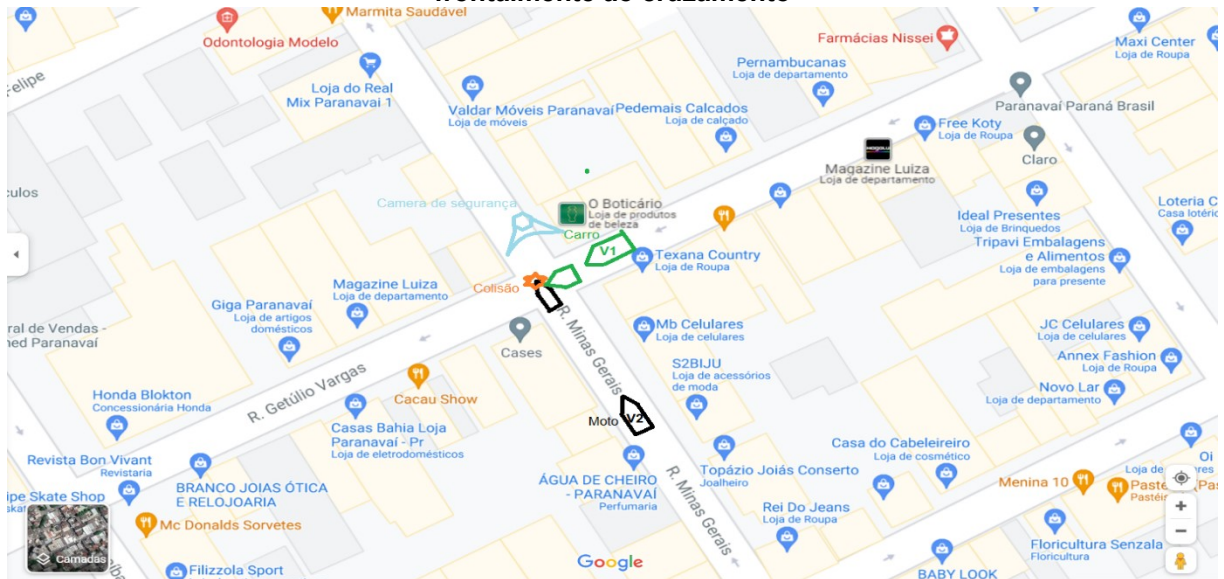
Fonte: Autoria própria

4.4 Análise de um acidente real

Inicialmente foram feitas considerações sobre o acidente e sua dinâmica por meio de notícias de jornais que cobriram o caso. O pedido de solicitação do Boletim de Acidente de Trânsito foi negado pela Polícia Militar do Paraná. Foi informado que apenas as vítimas podem solicitar o Boletim de Acidente Trânsito, contudo, a análise de imagem de vídeo pelo *software* foi realizada utilizando-se imagens de vídeos retiradas de portais de notícias locais e regionais. Em seguida, de maneira muito similar ao estudo de caso dos experimentos práticos, as imagens de vídeos foram analisadas.

O acidente em questão, que foi analisado, ocorreu no dia 22 de agosto de 2021 na tarde de um domingo no centro da cidade de Paranavaí, no Paraná. As duas ocupantes da motocicleta (V2), que ficaram em estado grave após o acidente, teriam avançado a preferencial, segundo testemunhas, e foram atingidas por um carro (V1) em um cruzamento. O acidente ocorreu no centro da cidade em um cruzamento entre as ruas Minas Gerais e Getúlio Vargas. As imagens analisadas foram filmadas por uma câmera de segurança da cidade (RPC Noroeste, 2021; Portal da Cidade Paranavaí, 2021; RIC Mais, 2021). O esquema abaixo (Figura 14) foi feito com base nas informações dos portais de noticiais e com base na análise do vídeo do acidente.

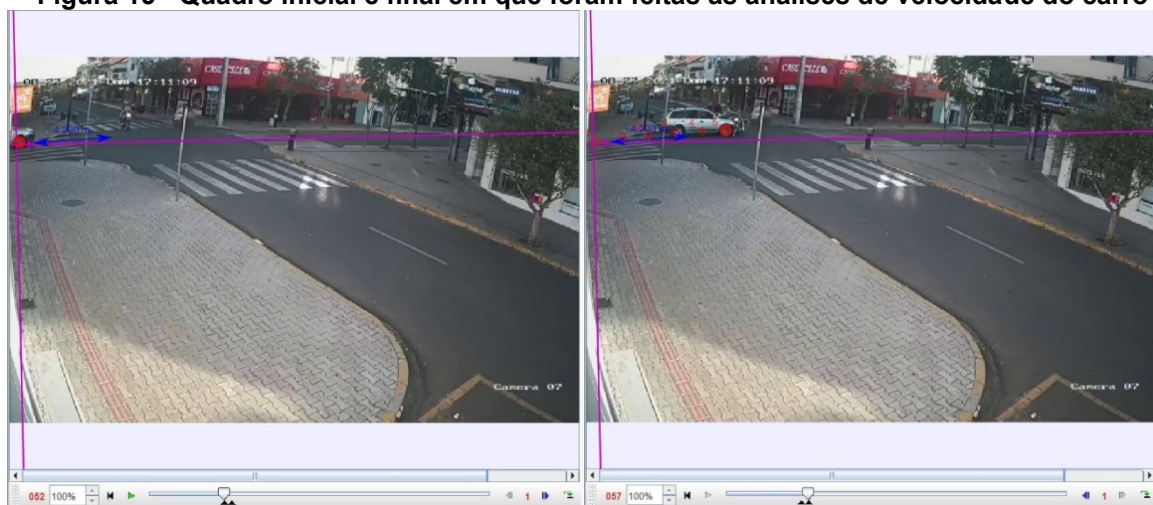
Figura 14 - Dinâmica do acidente com colisão entre V1 (carro) e V2 (motocicleta) em um cruzamento que teve imagens capturadas por uma câmera de segurança posicionada frontalmente ao cruzamento



Fonte: Imagem de tela retirada do Google Maps com adaptações do autor (2021)

As imagens de vídeos foram extraídas do site do G1 (RPC Noroeste, 2021) no formato MPEG4 com taxa de quadros de 15 quadros por segundo. Conversões não foram necessárias para que as imagens fossem utilizadas pelo *software* Tracker. O comprimento da imagem é de 239 quadros, entretanto apenas a faixa compreendida entre os quadros 52 e 57 foram utilizados (Figura 15).

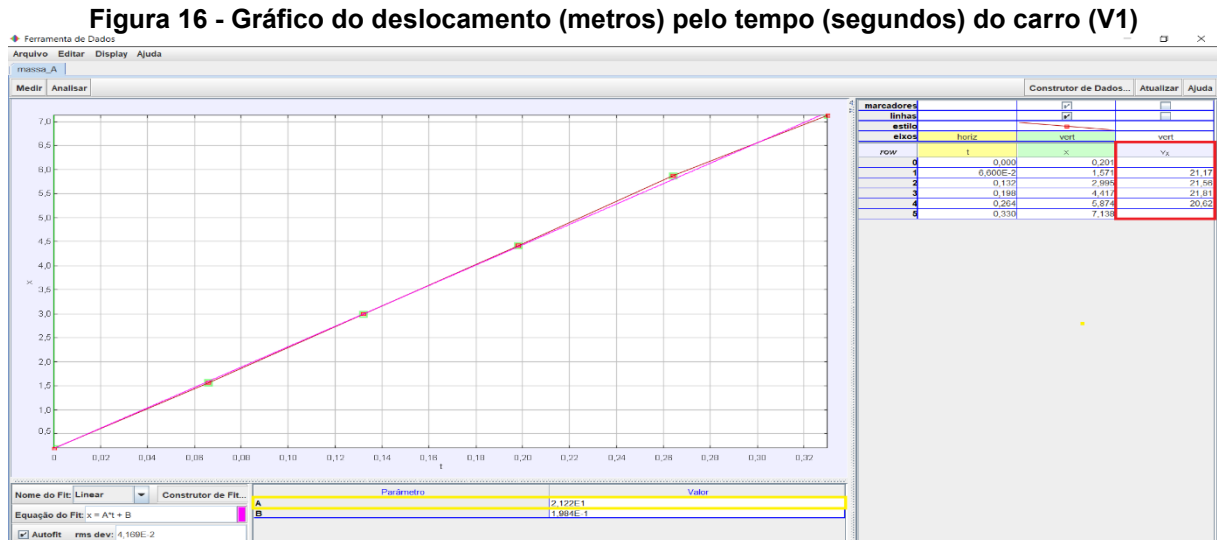
Figura 15 - Quadro inicial e final em que foram feitas as análises de velocidade do carro V1



Fonte: Imagens de tela retiradas do software Tracker (2021)

Em seguida, foi feita a fita de calibração das imagens, utilizando-se o comprimento do carro modelo *Volkswagen Parati*, que segundo o catálogo do

fabricante é de 4,189 metros. Os pontos de massa foram posicionados no centro da roda dianteira direita do carro, V1. Os resultados obtidos pelo *software* Tracker são mostrados na Figura 16.



Fonte: Imagem de tela retirada do software Tracker (2021)

Segundo o *software* a velocidade média desenvolvida pelo veículo, dada pelo coeficiente angular da reta *A*, é de 21,22 m/s (76 km/h). O número bastante reduzido de quadros analisados (5 quadros) abre pouco espaço para erros de efeitos de perspectiva.

A via em questão, por onde o carro V1 transitava, tem limite de velocidade de 40 km/h e, portanto, V1 estava a 36 km/h acima da velocidade permitida para a via. Tal conduta é considerada uma infração gravíssima, segundo ao Artigo 218 do Código de Trânsito Brasileiro, inciso III, haja visto que o motorista estava dirigindo o veículo com velocidade superior a máxima em mais de 50% (CTB, 1997). A penalidade nesse tipo de caso é multa e suspensão do direito de dirigir, segundo a lei.

Contudo, deve ser lembrado que ao avançar a preferencial, a condutora da motocicleta (V2) cometeu infração grave determinada pelo Artigo 215, inciso II, que diz que deixar de dar preferência de passagem nas interseções com sinalização de regulamentação de Dê a Preferência é infração grave e passiva de penalidade com multa (CTB, 1997).

Portanto, fica nítido que, a infração cometida pela condutora de V2 ao avançar a preferencial contribuiu para o acontecimento do acidente, entretanto se o condutor de V1 estivesse trafegando com velocidade compatível com a velocidade máxima

determinada para a via, o acidente, muito provavelmente, teria consequências mais brandas ou até mesmo poderia ter sido evitado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área da Ciência Forense e da Perícia Criminal, mais do que nunca, é bastante convidativa aos alunos de cursos superiores, especialmente aos estudantes de cursos específicos das ciências naturais e Engenharias que desejam utilizar o seu conhecimento para elucidar crimes com base em provas técnicas e, desta forma, colaborar positivamente com a justiça em nosso país.

Diante disto, o trabalho teve por objetivo validar *softwares* livres, dedicados ou não ao campo da perícia, que possam vir a ajudar na elucidação das investigações de acidentes de trânsito determinando a velocidade dos veículos envolvidos.

Neste trabalho foi tratado o tema da determinação da velocidade em acidentes de trânsito utilizando os conhecimentos da Física Clássica no Curso de Engenharia Mecânica. A determinação da velocidade dos veículos envolvidos em um acidente de trânsito produz provas que ajudam a recriar a dinâmica de um acidente e determinar os culpados de forma concreta.

Ao analisar os resultados encontrados, os aplicativos e *softwares* livres SCTA e Tracker se mostraram muito úteis e seguros na determinação da velocidade de veículos. A Tabela 4 da seção de Resultados mostrou que os resultados encontrados estão dentro da margem de erro especificada pelo Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN).

O *software* livre SCTA foi criado especialmente para a utilização na área da perícia em acidentes de trânsito e é utilizado para a determinação da velocidade de frenagem, ou seja, determina a velocidade do veículo no instante da freada do veículo. O *software* SCTA, também permite analisar outros tipos de acidentes com ou sem colisão e em diferentes tipos de geometrias de vias.

O *software* livre Tracker apesar de não ser um programa dedicado a perícia criminal, é um *software* vastamente utilizado no ensino de física em universidades ao redor do mundo. As análises de imagem feitas pelo *software* Tracker neste trabalho e seus resultados, também foram validados e ficaram dentro das margens de erro especificadas pelo CONTRAN. Entretanto, deve ser lembrado que o efeito de perspectiva pode produzir erros nos resultados de análises de imagem de vídeo. Para amenizar este problema, foram analisadas as velocidades instantâneas de um número reduzido de quadros, entretanto fica como sugestão para trabalhos futuros, métodos para diminuir erros relacionados a este tipo de problema de perspectiva.

A análise do acidente real foi realizada pelo *software* Tracker e produziu um resultado de velocidade bastante coerente e confiável, haja visto os resultados dos testes práticos. Além disto, a velocidade aproximada do carro V1 da seção 4.4 foi encontrada de forma bastante rápida e precisa utilizando um *software* gratuito e de baixa complexidade em sua utilização.

Por fim, pode-se dizer que a partir de *softwares* livres e gratuitos encontrados na imensa rede de conexões globais, a internet, laudos periciais podem ser elaborados e/ou complementados com informações técnicas, corroborando com a solução de crimes e conflitos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Lino Leite. **Manual de perícias em acidente de trânsito**. Campinas: Millennium, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10697: Pesquisa de sinistros de trânsito – Terminologia**. Rio de Janeiro, p. 16. 2020.

BARBOSA, A. K. S. *et al.* A ciência forense como tema transversal para o ensino de química. In: ENCONTRO NACIONAL DAS LICENCIATURAS, 7., 2018, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Realize, 2018. p. 1-15. Disponível em: < <http://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/51220> >. Acesso em: 26 ago. 2021.

BRASIL. Conselho Nacional de Trânsito. **Resolução n. 798, de 2 de setembro de 2020**. Dispõe sobre requisitos técnicos mínimos para a fiscalização da velocidade de veículos automotores, elétricos, reboques e semirreboques. Brasília: Ministério da Infraestrutura/Conselho Nacional de Trânsito, 2020. Disponível em: < <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/Resolucao7982020.pdf> >. Acesso em: 05 nov. 2021.

BRASIL. **Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997**. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Diário Oficial da União, Brasília, 25 set. 1997. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9503compilado.htm >. Acesso em: 26 ago. 2021.

CNT. **Painel CNT de consultas dinâmicas dos acidentes rodoviários**. Brasília: Confederação Nacional do Transporte, 2020. Disponível em: < www.cnt.org.br/painel-acidente >. Acesso em: 26 ago. 2021.

CRUZ, A. A. C. *et al.* A ciência forense no ensino química por meio da experimentação investigativa e lúdica. **Química Nova Escola**, São Paulo, v.38, n. 2, p. 167-172, maio 2016. Disponível em: < http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc38_2/11-RSA-53-14.pdf >. Acesso em: 26 ago. 2021.

FACHONE, P.; VELHO, L. Ciência forense: interseção justiça, ciência e tecnologia. **Revista Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v. 3, n. 4, p. 139 – 161, jan./jun. 2007. Disponível em: < <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/2498/1612> >. Acesso em: 26 ago. 2021.

GARRIDO, R. G.; GIOVANELLI, A. Criminalística: origens, evolução e descaminhos. **Cadernos de Ciências Sociais Aplicadas**, Vitória da Conquista, v. 4, n. 6, p. 43 – 60, jul./dez. 2006.

GURGEL, W. P. *et al.* Cálculo de velocidades em acidentes de trânsito: um *software* para investigação em física forense. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 4305-1-4305-10, dez. 2015. Disponível em: < www.scielo.br/pdf/rbef/v37n4/0102-4744-rbef-37-4-4305.pdf >. Acesso em: 26 ago. 2021.

IRURETA, V. A. **Accidentología vial y pericia**. 3º ed. Argentina: La Roca, 2003.

MEDEIROS, F. **Política de perícia criminal na garantia dos direitos humanos**. 2020. Disponível em: < <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/brasilien/16396-20200811.pdf> >. Acesso em: 26 ago. 2021.

ONU. Global Status Report On Road Safety 2018. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 1, n. 1, p. 1–8, 2018. Disponível em: < <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/277370/WHO-NMH-NVI-18.20-eng.pdf> >. Acesso em: 26 ago. 2021.

OTUKI, G. F. **Química forense aplicada em acidentes de trânsito**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alfenas. Poços de Caldas, p. 65. 2019.

Portal da Cidade Paranavaí. **Jovens ficam feridas em batida entre moto e carro no centro de Paranavaí**. 23 ago. 2021. Disponível em: < <https://paranavai.portaldacidade.com/noticias/policial/motociclista-e-garupa-ficam-feridas-em-colisao-contra-carro-em-paranavai-1701> >. Acesso em: 02 nov. 2021.

RPC Noroeste. **Duas pessoas ficam gravemente feridas após batida entre carro e moto, em Paranavaí; VÍDEO**. 23 ago. 2021. Disponível em: < <https://g1.globo.com/pr/norte-noroeste/noticia/2021/08/23/duas-pessoas-ficam-gravemente-feridas-apos-batida-entre-carro-e-moto-em-paranavai-video.ghtml> >. Acesso em: 02 nov. 2021.

SANTOS, M. H. D. **Investigação Pericial em locais de acidente de tráfego: atropelamento**. Capacitação e Formação da Área de Segurança Pública. Coordenadoria Geral de Perícias e Identificações, Cuiabá, p. 57-52, 2021.

SEARS, F.; YOUNG, H. D.; ZEMANSKY, M.W. **Física I**. 12. ed., São Paulo: PEARSON, 2008, v. 1.

VALLIM, R. Acidente entre carro e moto deixa duas jovens gravemente feridas em Paranavaí. **RIC Mais**, 23 ago. 2021. Disponível em: < <https://ricmais.com.br/seguranca/acidente-entre-carro-e-moto-deixa-duas-jovens-gravemente-feridas-em-paranavai/> >. Acesso em: 03 nov. 2021.

VIANA, R. M. **Perícia física de acidentes de trânsito**. TCC (Graduação em Licenciatura Plena em Física) – Universidade Federal de Rondônia. Ji-Paraná, p. 47. 2009.