

RECONSTRUÇÃO DE ACIDENTES DE TRÂNSITO UTILIZANDO VESTÍGIOS DE FRENAGEM DE VEÍCULOS COM ABS

Henrique Manguino Meira

henrique.manguino@gmail.com

Resumo. Os vestígios no pavimento deixados por veículos com freios convencionais em situação de frenagem emergencial são importante fator na reconstrução de acidentes de trânsito. Em contrapartida, embora seja crescente a inclusão de veículos equipados com ABS em cenário nacional, há poucos estudos que abordem a importância das marcas por eles produzidas. O presente documento tem por objetivo propor uma abordagem que seja útil e confiável para reconstrução de acidentes de trânsito a partir de vestígios de veículos equipados com sistema ABS. Para tanto, analisa os diversos métodos utilizados nas perícias atuais, destacando suas limitações e propondo uma solução mais criteriosa. Através de ensaios experimentais, o trabalho mostra que a produção de marcas de frenagem não está atrelada unicamente ao bloqueio das rodas e que veículos equipados com ABS também podem produzir vestígios no pavimento. Com base nos dados dos testes práticos, os modelos tradicionais para cálculo de velocidade e tempo de frenagem foram testados e comparados à metodologia proposta. Como resultado, ressalta-se a imprecisão do uso da teoria clássica de atrito (Atrito de Coulomb) para a determinação de um fator constante de desaceleração, enfatizando a obtenção de melhores resultados pela utilização de acelerômetros embarcados para estimativa da desaceleração média nas diversas fases da frenagem. Por fim, o texto conclui que as marcas deixadas por veículos dotados de ABS podem ser tão significativas à reconstrução de acidentes quanto as produzidas por freios convencionais, desde que devidamente tratadas.

Palavras chave: Vestígios de frenagem, Reconstrução de acidentes de trânsito, ABS.

1. Introdução

O processo pericial de análise e reconstrução de acidentes de trânsito envolve grande responsabilidade. As respostas das análises feitas podem vir a ter grandes efeitos na vida dos envolvidos, sendo então essencial que o processo exponha a precisão e confiabilidade de seus resultados. O conhecimento das limitações inerentes aos métodos utilizados é importante para transformar as evidências disponíveis em relatórios periciais claros e coerentes.

A interpretação e análise das marcas de pneus resultantes de frenagens emergenciais envolvendo veículos com freios convencionais é uma tarefa comum aos peritos que analisam acidentes de trânsito. Tais vestígios no pavimento podem ser utilizados para estimar a velocidade com que o veículo trafegava na via na ocasião do acionamento dos freios, além da distância e tempo de frenagem. Esses parâmetros são preponderantes nas análises e discussões sobre as causas de acidentes de trânsito, sendo essenciais na aplicação da Justiça e na determinação de medidas preventivas a acidentes futuros.

A resolução 312/2009 do Contran (Conselho Nacional de Trânsito) determina que a partir de 2014 todos os automóveis vendidos no Brasil deverão ter sistema ABS¹, obedecendo a um cronograma de implantação gradual. Embora seja crescente a inclusão de veículos equipados com ABS em cenário nacional, há poucos estudos que abordem a relevância dos vestígios de frenagem desses veículos ao processo pericial.

O presente documento tem por objetivo propor uma abordagem que seja útil e confiável para reconstrução de acidentes de trânsito a partir de vestígios de veículos equipados sistema ABS. Para tanto, analisa os diversos métodos utilizados nas perícias atuais, destacando suas limitações e propondo uma solução mais abrangente.

Através de ensaios experimentais, o presente documento mostra que, contrariamente ao senso popular, a produção de marcas de frenagem não está atrelada unicamente ao bloqueio das rodas e que veículos equipados com ABS também podem produzir vestígios no pavimento. Com base nos dados dos testes práticos, os modelos atuais para cálculo de velocidade e tempo de frenagem foram testados e comparados à metodologia proposta.

Os resultados enfatizaram a imprecisão do uso da teoria clássica de atrito (Atrito de Coulomb) para a determinação de um fator constante de desaceleração, destacando a obtenção de melhores estimativas dos parâmetros periciais pela utilização do modelo proposto, que faz uso de acelerômetros embarcados para determinação da desaceleração média nas diversas fases da frenagem.

Por fim, o texto conclui que as marcas deixadas por veículos dotados de ABS podem ser tão significativas à reconstrução de acidentes quanto as produzidas por freios convencionais, desde que devidamente tratadas.

2. Conceitos Fundamentais

2.1. Marcas de Frenagem

Frequentemente é visível nas ruas e estradas marcas de pneus. Tais vestígios são resultado da deposição de partículas do composto dos pneus por ocasião de fricção ocorrida entre pneu e pavimento.

¹ ABS – do alemão *Antiblokkier-Bremssystem*. Sistema anti-bloqueio de rodas.

As marcas de fricção são qualquer remoção mecânica ou alteração química que pode ser rastreada e relacionada a um movimento de escorregamento entre duas superfícies (DANNER, et al., 1981). Ainda de acordo com (DANNER, et al., 1981), os vestígios de frenagem são função do escorregamento, do projeto, modo de construção e pressão dos pneus e de características do pavimento.

O sistema ABS dos veículos evita que ocorra o bloqueio das rodas, mas permite que haja escorregamento entre pneu e pavimento durante as frenagens. Tal estratégia se dá pois a máxima eficiência de frenagem se dá há uma taxa de escorregamento de em torno de 15 a 30% (DUKKIPATI, et al., 2008).

Diversos autores constataram que veículos dotados de sistema ABS também produzem vestígios de frenagem (WANG, et al., 2005), (BARTLETT, et al., 2006), (BAUMANN, et al., 2009). Tal evidência pode confrontar o senso comum de que as marcas de frenagem são produzidas apenas na ocasião de bloqueio das rodas, porém é sustentada pelo fato de que os vestígios estão atrelados ao escorregamento. A Fig.(1) a seguir ilustra marcas de frenagem produzidas por veículo equipado com ABS.



Figura 1 - Vestígios de frenagem produzidos por uma Mercedes-Benz CLK500 2005 equipada com freios ABS. Adaptado de (BAUMANN, et al., 2009)

2.2. Equação tradicional

Essa seção mostra a obtenção da equação primitiva mais simples, mas que é amplamente utilizada em processos periciais no país (NEGRINI NETO, et al., 2009). O modelo inicial leva em conta uma situação na qual o veículo está com velocidade desenvolvida v_b (desconhecida) e é aplicada pressão total no pedal de freio até a colisão ou completa imobilização do automóvel. Para essa análise preliminar, as seguintes hipóteses são consideradas:

- A energia convertida em trabalho durante a etapa inicial da frenagem (antes da produção dos vestígios) é desprezível;
- O comprimento da marca de frenagem impressa (S_s) no pavimento corresponde a distância total de frenagem;
- O veículo descreve movimento retilíneo, de aceleração uniforme em todo processo;

Assim, em termos da desaceleração α (de sinal negativo) e da velocidade de colisão conhecida v_c , a velocidade do veículo no instante de início da frenagem pode ser estimada por v_s pela Eq.(1), derivada da Equação de Torricelli da cinemática elementar.

$$v_s = \sqrt{v_c^2 - 2 \cdot \alpha \cdot S_s} \quad (1)$$

O tempo de frenagem pode ser estimado por t_s pela Eq.(2).

$$t_b = \frac{v_c - v_s}{\alpha} = \frac{v_c - \sqrt{v_c^2 - 2 \cdot \alpha \cdot S_s}}{\alpha} \quad (2)$$

Para reformulação do modelo em termos do coeficiente de atrito, hipóteses adicionais devem ser feitas:

- O coeficiente de atrito entre pneu e solo tem valor constante durante todo período de produção das marcas de frenagem e igual para todas as rodas;
- São desprezadas as forças de arrasto aerodinâmico, resistência ao rolamento e outros fatores dissipativos;

Para um veículo em pista de inclinação $G = tg\theta$, a Eq.(3) denota a desaceleração como função do fator de atrito μ .

$$\alpha = -g \cdot (\mu + tg\theta) \cdot \cos\theta = -g \cdot \frac{\mu + G}{\sqrt{1 + G^2}} \quad (3)$$

Aplicando a Eq. (3) na Eq. (1) pode-se obter a expressão da velocidade relacionada ao coeficiente de atrito entre pneu e pista, conforme Eq. (4).

$$v = \sqrt{v_c^2 + 2 \cdot g \cdot \frac{\mu + G}{\sqrt{1 + G^2}} \cdot S_s} \quad (4)$$

Da mesma forma, a Eq. (5) a seguir pode ser utilizada para obtenção do tempo total de frenagem.

$$t_b = \frac{\sqrt{v_c^2 + 2 \cdot g \cdot \frac{\mu + G}{\sqrt{1 + G^2}} \cdot S_s} - v_c}{g \cdot \frac{\mu + G}{\sqrt{1 + G^2}}} \quad (5)$$

A Eq.(5) é encontrada na literatura (NEGRINI NETO, et al., 2009) em forma simplificada $v = \sqrt{v_c^2 + 2 \cdot g \cdot (\mu + G) \cdot S_s}$, obtida se considerarmos $\sqrt{1 + G^2} \sim 1$ devido a baixas inclinações da rampa.

2.3. O coeficiente de atrito

2.3.1. Atrito clássico e *drag sleds*

Charles Augustin de Coulomb (1736-1806), estudando o atrito atuante entre blocos de madeira e diversos metais postulou as Leis Fundamentais do Atrito Clássico, ou leis de Coulomb (COULOMB, 1779), as quais afirmam que o atrito independe da velocidade e área de contato entre os corpos e é diretamente proporcional à carga aplicada entre eles. Tal teoria embasa o uso de *drag sleds* para a determinação do coeficiente de atrito entre pneu e pista em situação de frenagem.

Os *drag sleds* são compostos por uma caixa em forma de uma seção de circunferência, envolta por um pedaço de pneu e um puxador equipado com dinamômetro. Na ocasião da determinação do coeficiente de atrito através desse método, o sled é puxado na mesma direção em que o veículo trafegava, tão perto quanto o possível da marca de frenagem. O valor referente à força com que o sled é puxado é lido no dinamômetro. Movendo o equipamento à velocidade constante, a força lida é igual a força de atrito resistiva. O fator de atrito é então obtido pela divisão dessa força pelo peso do equipamento. O uso de tal método considera que o atrito entre pneu e pista independe da distribuição da pressão de contato, velocidade, pressão dos pneus e outras hipóteses que diferenciam o equipamento de testes da real situação dinâmica de um veículo em frenagem emergencial.

Autores em geral divergem opiniões sobre a confiabilidade do uso de *drag sleds*. (RIVERS, 1980) descreve que os resultados obtidos com os sleds são essencialmente idênticos aos resultados obtidos pelos testes com veículos reais. (KWASNOSKI, 2004) afirma que os resultados os valores de coeficiente de atrito obtidos com os sleds são subestimados em relação aos obtidos com testes utilizando automóveis, enquanto (FRICKE, 1990) e (LUKER, 2008) consideraram que os valores são geralmente maiores que os valores obtidos em veículo de teste.

Em relatório oficial ao departamento americano de administração de rodovias (US Federal Highway Administration), (LOCK, et al., 1985) comparou resultados obtidos com um *drag sled* com os obtidos em teste com veículo real. Ele concluiu que não existia correlação significativa entre os resultados dos dois métodos e que as medidas obtidas pelos sleds não eram úteis. Concluiu ainda que os valores tabelados por Baker (Baker Friction Table) (BAKER, 1975) mostraram melhor correlação com os valores obtidos pelo teste de frenagem. Em 2003, a metodologia recomendada pela norma SAE J2505 “Measurement of Vehicle-Roadway Friction” omitiu o uso de *drag sleds*, por não haver documentação suficiente comprovando a eficiência de seu uso (SAE J2505, 2003).

Os questionamentos a respeito do uso de *drag sleds* vêm ultrapassando as discussões técnicas e começam a ser relevantes nos tribunais. Muitos defensores questionam perícias que fizeram uso de *drag sleds* afirmando que tal método é impreciso e gera valores bastante divergentes dos valores tabelados em literatura (APRI - American Prosecutors Research Institute, 2003).

Desse modo, é nítida uma tendência por parte de autores modernos em desaconselhar o uso de *drag sleds* (BRACH, 2006), (BARTLETT, et al., 2006). Pesquisas recentes dizem que o atrito entre pneus e superfícies de rodagem em condições de escorregamento depende de uma série de fatores (tais como velocidade do veículo, escorregamento, composição, construção, pressão e distribuição de temperaturas dos pneus, etc.) sendo muitos deles interdependentes (BRACH, 2006). A existência e interação desses fatores fazem com que o perfeito entendimento, caracterização e modelagem do atrito entre pneu e pavimento seja algo muito difícil de obter. Ainda de acordo com (BRACH, 2006), estudos atuais focam-se na propriedade visco elástica da borracha, em especial na histerese do material, como principal fator responsável por colocar a relação entre pneu e pavimento de fora das teorias clássicas de atrito.

2.3.2. Determinação do coeficiente de atrito através de testes de frenagem

Na metodologia de obtenção do fator de atrito a partir das marcas de frenagem, um veículo de testes semelhante ao envolvido no acidente é freado a partir de uma velocidade conhecida v_t até sua imobilização. As marcas de frenagem são então medidas e é aplicada a Eq. (4) de forma reversa, para obter o coeficiente de atrito μ , conforme Eq. (6).

$$\mu = \frac{v_t^2 \sqrt{1+G^2}}{2 \cdot g \cdot S_s} - G \quad (6)$$

Eventualmente são efetuados diversos testes para obtenção de um valor médio para o coeficiente de atrito, evitando assim dispersões pontuais de testes isolados. Para obtenção de valores formalizados, os testes de frenagem para obtenção de valor do coeficiente de atrito devem obedecer às normas que versam sobre o assunto (ASTM E274, 1997) (SAE J2505, 2003).

2.3.3. Medida direta do perfil de desaceleração

O uso de acelerômetros digitais vem sido amplamente empregado nos processos periciais atuais (LUKER, 2008). Como vantagem principal, destaca-se o fato de que medindo diretamente a desaceleração de um veículo faz-se uso de um modelo mais completo e abrangente, que leva em consideração todos os fatores dinâmicos envolvidos, como as forças de arrasto aerodinâmico e resistência ao rolamento. Além disso, a metodologia baseada na desaceleração recorre a um valor efetivamente medido. No caso da obtenção do coeficiente de atrito baseado em marcas de frenagem de um veículo de teste, a variável efetivamente medida é o comprimento dos vestígios, para que então seja inferido o valor do fator de atrito. Tal processo “carrega” erros e incertezas que refletirão em resultados menos precisos e confiáveis (NEPTUNE, et al.).

O método para obtenção do valor de aceleração a ser utilizado no cálculo da velocidade do veículo consiste na utilização de um veículo de testes equipado com um acelerômetro digital. O veículo então é freado a partir de uma velocidade conhecida até sua completa imobilização. É então considerada a aceleração média do processo, obtida pela leitura dos valores do acelerômetro.

3. Modelo proposto

A Eq.(1) foi desenvolvida a partir da hipótese que toda variação de energia cinética do veículo foi transformada em trabalho de desaceleração durante a produção das marcas de frenagem. Essa suposição considera que as marcas no pavimento são produzidas no instante exato em que o condutor pressiona o pedal de freio e o processo de desaceleração se inicia.

Na situação real de uma frenagem emergencial há certo intervalo de tempo no qual o freio foi acionado e, embora em desaceleração, o veículo ainda não produz vestígios expressivos no pavimento por não atingir escorregamento suficiente para tal. Esse intervalo é referido no presente documento como período transiente, pois nesse período a aceleração ainda não atingiu um valor constante e a situação não pode ser comparada a um processo em regime permanente. Assim, o período transiente vai desde o instante em que o condutor aciona os freios até o início da produção das marcas de frenagem, conforme destacado na Fig.(2).

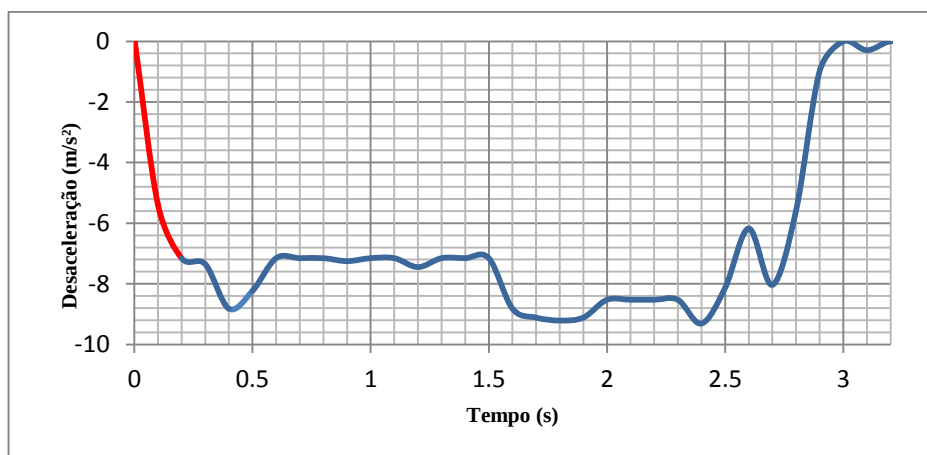


Figura 2 – Curva característica de desaceleração e caracterização do período transiente (em vermelho).

A abordagem exposta na Eq.(1) não leva em conta a energia convertida em trabalho durante o período transiente do processo de frenagem. Durante tal período há redução de até 25% da energia cinética inicial de um veículo (REED, et al., 1987) (REED, et al., 1988), fazendo com que a aplicação da equação até agora apresentada gere discrepâncias que podem vir a ser significativas no cálculo da velocidade na qual o veículo trafegava. O emprego dessa equação estima na verdade o valor da velocidade no instante em que os vestígios de frenagem começam a ser produzidos, e não da velocidade antes do acionamento dos freios.

A caracterização do período transiente é mostrada em vermelho na Fig.(3). Supondo de maneira simplificada que a desaceleração nessa fase aumenta seu módulo de forma linear, sendo $\bar{\alpha}$ a aceleração média durante o período permanente (trecho em azul) e t_o o instante em que as marcas de frenagem começam a ser produzidas, a aceleração pode ser descrita pela Eq.(7).

$$\begin{cases} \alpha(t) = \frac{\bar{\alpha} \cdot t}{t_o} & ; 0 \leq t \leq t_o \\ \alpha(t) = \bar{\alpha} & ; t > t_o \end{cases} \quad (7)$$

Conhecido o tempo total de frenagem t_b e o perfil de desaceleração dado pelo acelerômetro embarcado, a aceleração média no período transiente $\bar{\alpha}$ pode ser obtida pela Eq.(8).

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{t_b - t_o} \int_{t_o}^{t_b} \alpha(t) dt \quad (8)$$

A desaceleração do período transiente pode então ser levada em consideração se adicionarmos o valor da velocidade referente à energia cinética convertida em tal período. Tal velocidade pode ser obtida por simples integração da primeira condicional da Eq.(7) durante todo período transiente. Assim,

$$v = \sqrt{v_c^2 - 2 \cdot \bar{\alpha} \cdot S_s} - \int_0^{t_o} \frac{\bar{\alpha} \cdot t}{t_o} dt \quad (9)$$

E, portanto, pode-se escrever a Eq. (10) para o cálculo da velocidade do veículo.

$$v = \sqrt{v_c^2 - 2 \cdot \bar{\alpha} \cdot S_s} - \frac{\bar{\alpha} \cdot t_o}{2} \quad (10)$$

O tempo de frenagem estimado será dado pela Eq. (11)

$$t_s = \frac{v_c - \sqrt{v_c^2 - 2 \cdot \bar{\alpha} \cdot S_s}}{\bar{\alpha}} + t_o \quad (11)$$

4. Nomenclatura dos modelos apresentados

Nas seções anteriores foram expostas duas abordagens principais para o cálculo dos parâmetros periciais: uma envolvendo o coeficiente de atrito entre pista e pavimento e outra que leva em consideração o perfil de desaceleração desenvolvido.

A abordagem que trata do coeficiente de atrito se desmembra em outras se levarmos em consideração as diversas formas apresentadas para obtenção do parâmetro em questão. Quanto à solução que faz uso de acelerômetros embarcados, o presente trabalho propôs a inclusão da energia dissipada no período de transição nos cálculos de velocidade e tempo de frenagem. Na intenção de facilitar a referência nas análises que se seguem, os métodos apresentados são identificados em quatro diferentes modelos, expostos de maneira sucinta na Tab.(1).

Tabela 1 – Nomenclatura dos modelos apresentados

	Equação Dominante	Característica
Modelo A	$v_s = \sqrt{v_c^2 + 2 \cdot g \cdot \mu_t \cdot S_s}$ $t_s = \frac{v_s - v_c}{\mu_t \cdot g}$	μ_t é calculado por teste prático de frenagem, com veículo semelhante ao envolvido no acidente.
Modelo B	$v_s = \sqrt{v_c^2 - 2 \cdot \bar{\alpha} \cdot S_s}$ $t_s = \frac{v_s - v_c}{\bar{\alpha}}$	$\bar{\alpha}$ é obtido por teste prático de frenagem através de acelerômetro embarcado.
Modelo Proposto	$v_s = \sqrt{v_c^2 - 2 \cdot \bar{\alpha} \cdot S_s} - \frac{\bar{\alpha} \cdot t_o}{2}$ $t_b = \frac{v_c - \sqrt{v_c^2 - 2 \cdot \bar{\alpha} \cdot S_s}}{\bar{\alpha}} + t_o$	Inclui parcela de energia envolvida quando os freios estavam acionados e não houve produção de vestígios.

O *Modelo A* faz uso das equações tradicionais (Eq.(4) e Eq.(5)), e utiliza coeficiente de atrito μ_t obtido através de testes práticos com veículo semelhante ao envolvido no acidente.

O *Modelo B* faz uso das equações que envolvem um valor médio de desaceleração obtido em ensaio prático com acelerômetro embarcado (Eq.(1) e Eq.(2)).

O *Modelo Proposto*, descrito na seção três, é análogo ao *Modelo B*, porém com a inclusão de uma estimativa da desaceleração no período em que os freios estavam acionados mas não houve produção de vestígios no pavimento (Eq.(10) e Eq.(11)).

5. Ensaio práticos

Um veículo Hyundai i30 2009 com freios ABS foi instrumentado com acelerômetro digital de alta resolução (1kHz) e sistema de aquisição de velocidade das rodas pelos sensores do próprio ABS. Os ensaios foram realizados em pista nivelada de revestimento asfáltico recém colocado (4 meses). Foram usados pneus de alto desempenho Yokohama A.drive.R1 e a temperatura média do pavimento no momento dos testes era 17° C.

Foram realizados três ensaios de frenagem em pista nivelada a partir de velocidade conhecida até a parada completa do veículo. O comprimento dos vestígios no pavimento foi então medido com uso de telêmetro digital para posterior cálculo da velocidade e tempo de frenagem através dos diversos modelos apresentados.

Um quarto ensaio foi realizado com mesmo veículo e no mesmo pavimento dos três anteriores, no intuito de fornecer os parâmetros característicos de desaceleração do veículo na situação apresentada (μ_t , para aplicação do *Modelo B*; $\bar{a}$ e t_o para aplicação do *Modelo C* e *Modelo Proposto*). Tal ensaio foi nomeado como ensaio de referência e os demais como ensaios de validação.

A velocidade calculada pelos diferentes métodos, utilizando os três comprimentos distintos de frenagem e os parâmetros de referência, foi comparada às velocidades e tempo de frenagem reais no instante anterior ao acionamento dos freios. Assim, pôde-se avaliar a precisão dos modelos na determinação dos parâmetros relevantes à situação de reconstrução de acidentes de trânsito.

5.1. Ensaio de referência

No ensaio de referência, o veículo de testes foi freado a partir de velocidade inicial de 107 km/h até sua completa imobilização. A frenagem produziu vestígios nítidos de 44m de comprimento. A Fig.(3) ilustra parte dos vestígios obtidos nesse teste de referência.

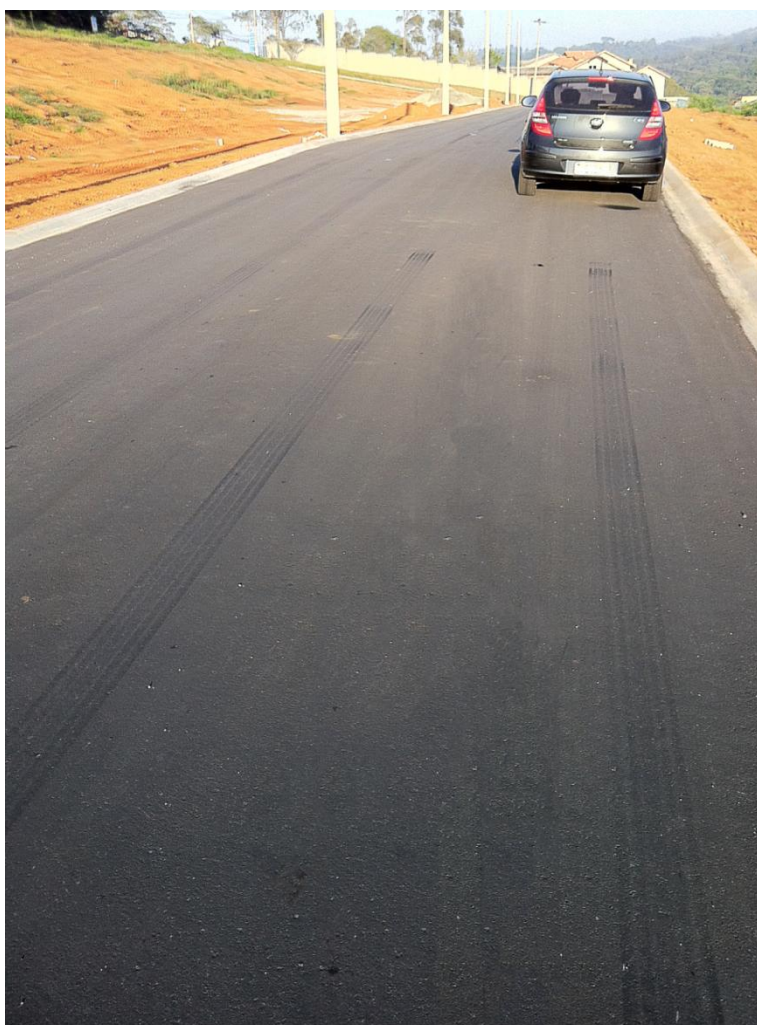


Figura 3 – Marcas de frenagem do ensaio com ABS

A Fig.(4) representa a curva de desaceleração do veículo obtida através do acelerômetro, bem como a velocidade e distância percorrida em cada instante do processo. A velocidade do veículo durante a frenagem foi obtida através da integração da curva de desaceleração ao longo do tempo, tendo como valor inicial a velocidade obtida do

sinal de rotação das rodas no instante anterior ao acionamento dos freios. Esse processo é atualmente utilizado em veículos modernos para o cálculo da velocidade do automóvel pela ECU em situações de escorregamento (KOBAYASHI, et al., 1995). A distância percorrida plotada foi obtida em processo análogo, pela integração da velocidade no tempo considerando nula a posição no instante de acionamento dos freios.

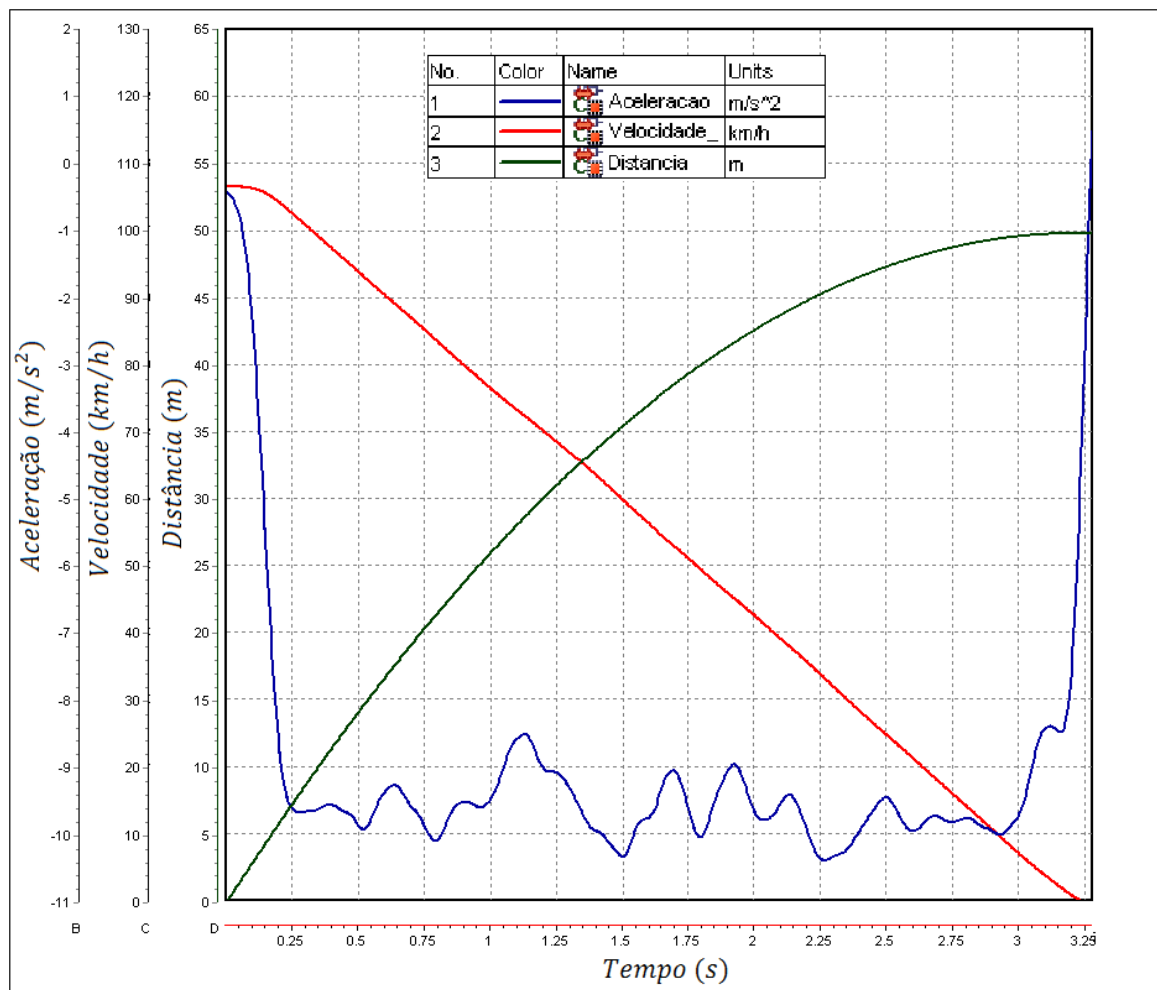


Figura 4 – Curvas características – Ensaio de referência

A Tab.(2) expõe os dados obtidos e calculados no ensaio de referência. O coeficiente de atrito μ_t a ser utilizado pelo Modelo A foi obtido pelo uso da Eq.(6) com base na velocidade do ensaio e comprimento dos vestígios medidos.

Tabela 2 – Dados do ensaio de referência

Ensaio Referência - ABS

Velocidade Real - V_b	107,1 km/h
Tempo de Frenagem - t_b	3,27 s
Distância de frenagem - S_b	50 m
Comprimento das Marcas - S_s	44 m
Coeficiente de atrito - μ_t	1,02
Período Transiente - t_o	0,25 s
Desaceleração média - $\bar{a}$	9,457 m/s ²

5.2. Ensaio de validação

Nos ensaios de validação, o veículo de testes foi freado a partir de velocidade inicial conhecida até sua completa imobilização. A Tabela 6 evidencia a velocidade de cada ensaio e o comprimento das marcas de frenagem medidas.

Tabela 3 – Dados dos ensaios de validação

Ensaio Validação - ABS

	Ensaio A	Ensaio B	Ensaio C
Velocidade Real (km/h)	102,3	107,2	120,0
Comprimento das Marcas (m)	39	43	54

6. Resultados

A velocidade do veículo foi calculada para cada um dos três testes de validação com base em seus vestígios de frenagem medidos usando os quatro modelos propostos e nomeados na Tab.4. Foi calculado também o desvio percentual entre as velocidades calculadas pelos diferentes modelos e a velocidade real do veículo, e plotado de maneira comparativa na Fig.(5). Nota-se que desvios negativos correspondem a valores de velocidade subestimados e desvios positivos correspondem a valores superestimados

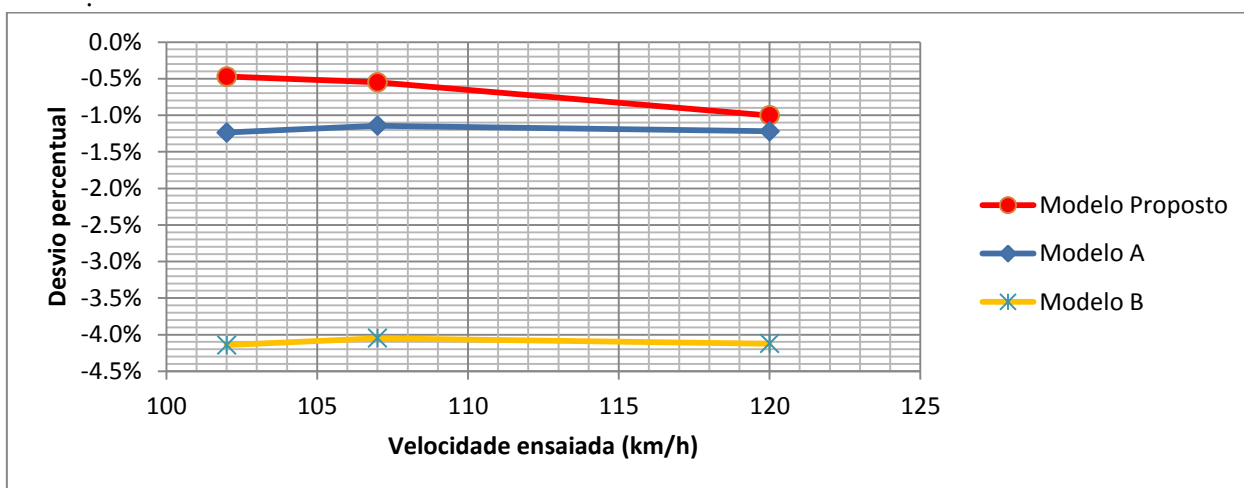


Figura 5 – Comparação dos modelos quanto à estimativa da velocidade

Analogamente ao realizado com as estimativas de velocidade, foi calculado o desvio percentual entre os tempos de frenagem calculados pelos diferentes modelos. A Fig.(6) mostra tais desvios de maneira comparativa.

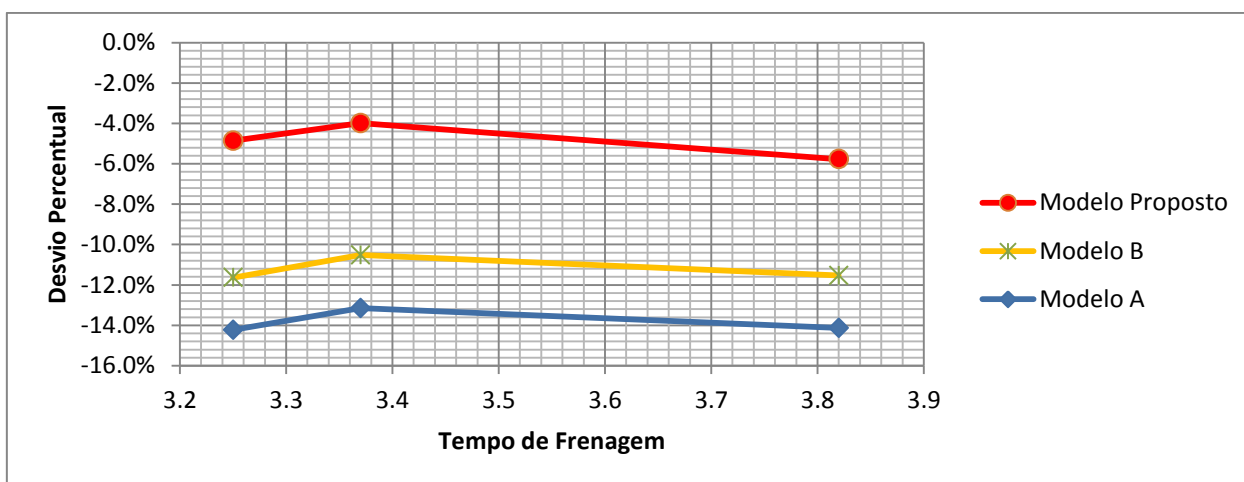


Figura 6 – Comparação dos modelos quanto à estimativa do tempo de frenagem

7. Conclusão

Como resultado imediato, destaca-se que frenagens emergenciais realizadas por veículos com ABS podem deixar vestígios significativos ao processo pericial em determinados pavimentos asfálticos. Apesar de perfeitamente nítidas e mensuráveis, as marcas dos ensaios se mostraram menos escuras que as produzidas por veículos com freios ABS, fato esse identificado também por outros autores (DANNER, et al., 1981), (WANG, et al., 2005), (WRIGHT, 1995). Além disso, os vestígios do veículo com ABS se apresentaram gradativamente mais nítidos e característicos ao longo da distância de frenagem, sendo o local de parada do veículo o ponto onde as marcas estavam mais escuras.

Quanto à visualização das marcas, verificou-se que, ao contrário do que geralmente ocorre com veículos sem ABS, não foi possível distinguir os vestígios das rodas dianteiras das traseiras. O fato é justificado pela ação anti-bloqueio do ABS, que garantiu a estabilidade direcional do veículo e sua trajetória retilínea, mantendo as marcas sobrepostas ao longo de todo comprimento de frenagem.

A abordagem tradicional, que utiliza valores de coeficiente de atrito de Coulomb determinado em ensaio práticos, não permitiu estimativas confiáveis para todos os parâmetros relevantes à reconstrução de acidentes. Nessa proposta, o comprimento das marcas no pavimento é menor que a distância real de frenagem, fazendo o veículo virtualmente dispor de um espaço menor para desacelerar e implicando na necessidade de um valor superestimado de coeficiente de atrito. Esse desvio no fator de atrito é carregado na estimativa do tempo de frenagem, que é decrescente com o aumento do módulo de desaceleração. Assim, mesmo obtendo resultados apreciáveis quanto a determinação da velocidade, o tempo de frenagem é consideravelmente subestimado. Tal afirmação é evidenciada na Fig.(7), que mostra comparativamente os desvios médios obtidos pela aplicação de cada modelo.

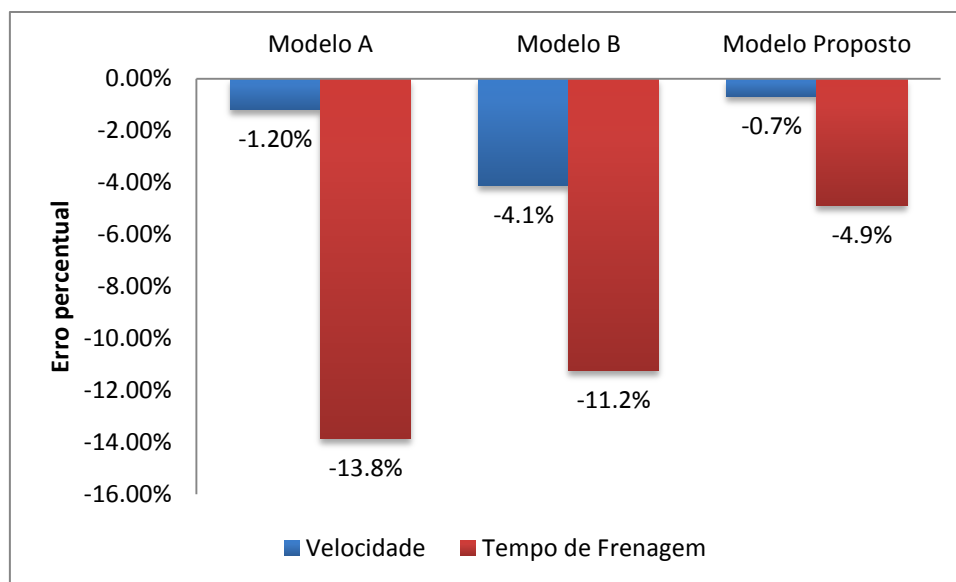


Figura 7 – Desvios médios obtidos pela aplicação dos modelos tradicionais (A e B) em comparação com os obtidos pelo modelo proposto com relação à estimativa de velocidade e tempo de frenagem.

Por fim, destaca-se que o modelo proposto para reconstrução de acidentes a partir de vestígios de frenagem apresentou melhores resultados se comparado aos métodos atualmente empregados. O período em que os freios estiveram acionados sem que houvesse produção de marcas foi relevante nos ensaios com veículo dotado de ABS e a inclusão da desaceleração nessa fase permitiu melhores estimativas para velocidade e tempo de frenagem.

8. Agradecimentos

Agradeço àqueles que contribuíram diretamente na produção desse trabalho: Ana Lúcia e Marco Antonio Guedes, por cederem a garagem para instrumentação dos veículos de teste; André Guedes, pela participação ativa como pilotos dos testes de frenagem; Deborah Sala, pela revisão do documento final; Leonil Godoy, pelo incentivo e apoio; Jacob Pobocik, pelas valiosas discussões e pela participação na banca de avaliação; Renata Guedes, pela edição das imagens.

Agradeço às empresas: ETAS SBZ, pelo empréstimo dos equipamentos de medição e software de aquisição e análise de dados; Support Fonoaudiologia, pelo empréstimo dos veículos utilizados nos ensaios.

Agradeço ao Prof. Dr. Marcelo Massarani pela orientação e supervisão do trabalho.

9. Referências

- ASTM E274. 1997. Standar Test Method for Skid Resistance of Paved Surfaces Using a Full-Scale Tire. s.l. : ASTM International, 1997.
- BAKER, J S. 1975. *Traffic Accident Investigation Manual*. Evanston : Northwestern University Traffic Institute, 1975.
- BARTLETT, Wade, et al. 2006. Comparison of Drag-Sled and Skiddin-Vehicle Drag Factors on Dry Roadways. s.l. : SAE Paper 2006-01-1398, 2006.
- BAUMANN, Frank W, SHEREIER, Hans-Herbert e SIMMERMACHER, Daniel. 2009. Tyre Mark Analysis of a Modern Passenger Vehicle with Respect to Tire Variation, Tire Pressure and Chassis Control Systems. s.l. : SAE Paper 2009-01-0100, 2009.
- BRACH, M Raymond. 2006. Adhesion, Hysteresis and the Peak Longitudinal Tyre Force. s.l. : Brach Engineering, LCC, 2006.

- COULOMB, C A. 1779. *Théorie des machines simples, en ayant égard au frottement de leurs parties et à la roideur des cordages*. 1779.
- DANNER, M e HALM, J. 1981. *Technical Analysis of Traffic Accidents*. Munich : Kraftfahrtechnischer Verlag, 1981.
- DUKKIPATI, V Rao, et al. 2008. *Road Vehicle Dynamics*. Warrendale : SAE International, 2008. ISBN 978-0-7680-1643-7.
- FRICKE, Lynn B. 1990. *Traffic Accident Reconstruction*. Evanston : Northwestern University, 1990.
- KOBAYASHI, KAZUYUKI, CHEOK, KA e WATANABE, KAJIRO. 1995. Estimation of Absolute Vehicle Speed using Fuzzy Logic Rule-Based Kalman Filter. 1995.
- KWASNOSKI, J B. 2004. Crash Reconstruction: The Drag Factor. *The Green Light News*. 2004, Vol. 4, 2.
- LOCK, J R, et al. 1985. *Pavement Condition Measurement for Safety Improvements*. s.l. : US Department of Transportation, Federal Highway Administration, 1985. Report FHWA/RD-86/003.
- LUKER, CRAIG. 2008. Comparisons of Devices for Measuring Acceleration vs. Time in Braking Tests. 2008. SAE Paper 2008-01-0180.
- NEGRINI NETO, Osvaldo e KLEINUBING, Rodrigo. 2009. *Dinâmica dos Acidentes de Trânsito - Análises, Reconstrução e Prevenção*. Campinas : Editora Millennium, 2009.
- NEPTUNE, James A, et al. Speed from Skids: A Modern Approach. *SAE Paper 950354*.
- REED, Walter S e KESKIN, A Taner. 1988. A Comparison of Emergency Braking Characteristics of Passenger Cars. 1988. SAE Paper 880231.
- . 1987. Vehicular Response to Emergency Braking. 1987. SAE Paper 870501.
- RIVERS, R W. 1980. *Traffic Accident Investigator's Handbook*. Springfield : Charles C Thomas Publisher, 1980. 0-398-03917-8.
- SAE J2505. 2003. Measurement of Vehicle-Roadway Friction Drag. Warrendale : Society of Automotive Engineers, 2003.
- . 2003. Measurement of Vehicle-Roadway Friction Drag. Warrendale : Society of Automotive Engineers, 2003.
- WANG, Ying-wei, WU, Jian-da e LIN, Chao-nan. 2005. Skidmark Pattern and Identification of ABS-Equipped Passenger Car. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies Vol. 6*, pp. 3401 - 3412. 2005. pp. 3401 - 3412.
- WRIGHT, Bill. 1995. The Traffic Accident Reconstruction Article: Evidence of ABS Scuff Marks on the Roadway. [Online] 1995. [Citado em: 02 de 11 de 2010.] www.tarorigin.com.

8. Direitos autorais

O autor é o único responsável pelo conteúdo do material impresso incluído nesse documento.

ACCIDENT RECONSTRUCTION USING ABS BRAKING MARKS

Meira, H. M.

henrique.manguino@gmail.com

Abstract. Locked-wheel skid marks are a key parameter in accident reconstruction; however, the widespread use of anti-lock braking systems (ABS) raises the question what role tire marks play in reconstructions today. In response to this question, tests were conducted to show that ABS-equipped vehicle could also produce tire imprints and these marks may be used to calculate speed and braking time. The test data was used to compare the traditional approaches and a more comprehensive method in estimating pre-crash parameters. It was observed that the use of accelerometers to get the deceleration profile in all braking phases can led to more accurate results in comparison to friction factor methodologies. Finally, this paper concludes that the ABS marks can be equally useful to accident reconstruction once they were analyzed in a proper way.

Keywords. Skid Marks, Accident Reconstruction, ABS.