

**MODELAGEM E ANÁLISE DOS MOVIMENTOS DE UMA CRIANÇA EM CADEIRA VEICULAR DURANTE CHOQUE FRONTAL**

**Agenor de Toledo Fleury, Centro Universitário da FEI e Escola Politécnica da USP, agfleury@fei.edu.br**  
**Gabriel Erwin Gruber, Escola Politécnica da USP, gabrielegruber@gmail.com**  
**Caique Sartori Presoto, Escola Politécnica da USP**  
**Guilherme Junji Miyasawa, Escola Politécnica da USP**  
**Juliana Pilotto Brandi, Escola Politécnica da USP**

**Resumo.** Este trabalho propõe um modelo físico e suas equações de movimento capazes de descrever os movimentos de uma criança sentada em uma cadeira infantil durante o impacto frontal de um veículo de passeio contra um obstáculo. Embora o uso obrigatório das cadeiras especiais para transporte de crianças tenha diminuído consideravelmente o número de óbitos nos últimos anos, muito ainda há para se avançar na direção de um equipamento com altos níveis de conforto e segurança. O modelo proposto é bastante simples para ser considerado uma primeira incursão na área, mas resultados interessantes podem ser gerados a partir dele. Este artigo descreve hipóteses para simplificação e as simulações desenvolvidas com o código MATLAB™ procurando enfatizar os esforços decorrentes no pescoço da criança, o ponto mais frágil nessa situação.

**Palavras chave:** cadeira para transporte infantil, modelo dinâmico, veículos de passeio, choque, movimentos pós-choque

## 1. INTRODUÇÃO

Com o objetivo de compreender os movimentos da cabeça de uma criança, presa a uma cadeira infantil, durante a colisão de um veículo, propôs-se verificar esse comportamento em experimentos do tipo “*crash test*”, similar àquele da Figura 1 e, assim, modelar o sistema com base nas informações disponíveis, já que a literatura não é muito ampla nessa área. O “*crash test*” ou “teste de impacto” consiste no impacto do veículo em ensaio contra uma barreira indeformável de modo a poder avaliar o nível de segurança que o veículo fornece aos seus ocupantes e, também a elementos adicionais, como, por exemplo, as cadeiras de uso infantil.



Figura 1 – Colisão de veículo durante teste de impacto (Nissan, 2011)

Tomou-se como base um experimento real como forma de validar a estrutura e hipóteses do modelo a ser proposto. Consiste na colisão de um veículo no qual um boneco, simulando uma criança (“*dummy*”), está presente. O objetivo é avaliar como o corpo da criança reage às forças da colisão, com foco nas acelerações do corpo e cabeça.

O *crash test* é geralmente realizado em velocidades próximas de 64 km/h (40 milhas/h) com um “*dummy*” (boneco de simulação) da forma apresentada na Figura 2, ou seja, colocado no banco traseiro do veículo sobre uma cadeira de uso infantil, utilizando os cintos de segurança superior e inferior.

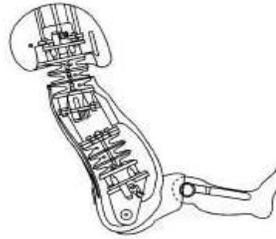


Figura 2 – Representação de um “*Dummy*” infantil utilizado em “*crash test*” (Madehow,2014).

O movimento do ‘dummy’ pode ser visto na Figura 3. Verifica-se que, durante o choque, a cadeira infantil se afasta do banco do veículo, com deslocamento limitado pelas propriedades elásticas dos elementos de fixação da cadeira. O corpo do boneco se move em relação à cadeira tanto de forma linear, quanto de forma angular, e o seu pescoço se dobra em relação ao corpo. Admitindo algumas simplificações nesses movimentos, é possível descrever o processo visualmente através de um modelo físico, no qual há movimento puramente linear entre a cadeira infantil e o veículo e entre o corpo e a cabeça do boneco, e movimentos linear e angular no corpo do boneco em relação à cadeira. O modelo físico fica, então, como aquele da Figura 4.



. Figura 3 – Sequência de Movimentos do ‘dummy’ durante a colisão [4].

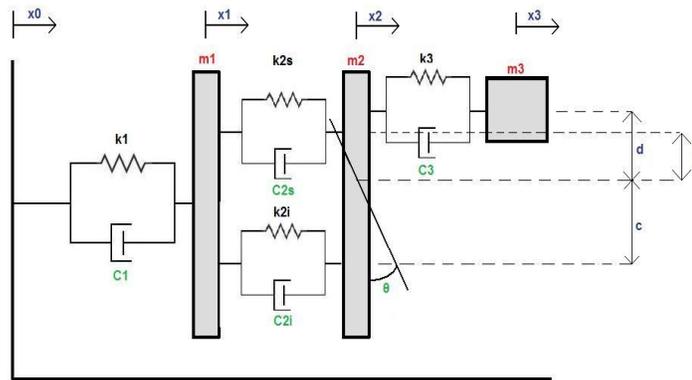


Figura 4 – Modelo Físico Adotado (Presoto et al, 2014)

## 2. MODELO MATEMÁTICO

Para obtenção do modelo matemático, considerou-se que a criança, de idade aproximada de três anos, não perde totalmente o contato com a cadeira durante a colisão. Além disso, assumiu-se que a criança gira em torno de um ponto fixo, totalmente solidário à cadeira e que as seguintes hipóteses são válidas: i) o banco do carro é sempre solidário ao chassi; ii) a cadeira sofre apenas movimento de translação em relação ao banco; iii) como movimentos verticais não são importantes, todas as forças aplicadas sobre a criança são horizontais e iv) o tronco foi admitido como uma barra rígida, já que as acelerações do tronco não são as causas mais relevantes de lesões.

O modelo tem, então, 3 Graus de Liberdade e depende de 14 parâmetros (3 massas, 4 constantes de mola, 4 coeficientes de amortecimento e 3 comprimentos geométricos). Os parâmetros foram obtidos da literatura (Al-Shammari e Neal-Struges, 2012) e, eventualmente, retrabalhados para gerar valores coerentes nas respostas.

Como o sistema de equações diferenciais linearizado é do tipo  $M \dot{x}(t) + C x(t) + K x(t) = u(t)$ , as equações de estado podem ser escritas na forma:

$$\dot{z}(t) = A z(t) + B u(t)$$

Onde,

$$A = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -M^{-1}K & -M^{-1}C \end{bmatrix} = \text{matriz de estado; e}$$

$$-M^{-1}K = \begin{bmatrix} -\frac{k_3}{m_3} & \frac{k_3}{m_3} & -\frac{d.k_3}{m_3} & 0 \\ \frac{k_3}{m_2} & -\frac{(k_{2i}+k_{2s}+k_3)}{m_2} & \frac{(b.k_{2s}-c.k_{2i}+d.k_3)}{m_2} & \frac{(k_{2i}+k_{2s})}{m_2} \\ -\frac{25.d.k_3}{22} & \frac{25.b.k_{2s}}{22} - \frac{25.c.k_{2i}}{22} + \frac{25.d.k_3}{22} & -\frac{(25.k_{2s}.b^2)}{22} - \frac{(25.k_{2i}.c^2)}{22} - \frac{(25.k_3.d^2)}{22} & \frac{(25.c.k_{2i})}{22} - \frac{(25.b.k_{2s})}{22} \\ 0 & \frac{(k_{2i}+k_{2s})}{m_1} & -\frac{(b.k_{2s}-c.k_{2i})}{m_1} & -\frac{(k_1+k_{2i}+k_{2s})}{m_1} \end{bmatrix}$$

$$-M^{-1}C = \begin{bmatrix} -\frac{c_3}{m_3} & \frac{c_3}{m_3} & -\frac{d.c_3}{m_3} & 0 \\ \frac{c_3}{m_2} & -\frac{(c_{2i} + c_{2s} + c_3)}{m_2} & \frac{(b.c_{2s} - c.c_{2i} + d.c_3)}{m_2} & \frac{(c_{2i} + c_{2s})}{m_2} \\ -\frac{25.d.c_3}{22} & \frac{25.b.c_{2s}}{22} - \frac{25.c.c_{2i}}{22} + \frac{25.d.c_3}{22} & -\frac{(25.c_{2s}.b^2)}{22} - \frac{(25.c_{2i}.c^2)}{22} - \frac{(25.c_3.d^2)}{22} & \frac{(25.c.c_{2i})}{22} - \frac{(25.b.c_{2s})}{22} \\ 0 & \frac{(c_{2i} + c_{2s})}{m_1} & -\frac{(b.c_{2s} - c.c_{2i})}{m_1} & -\frac{(c_1 + c_{2i} + c_{2s})}{m_1} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1/m_1 \end{bmatrix} = \text{matriz de entrada;}$$

$$u(t) = k_1 \cdot x_0(t) + c_1 \cdot \dot{x}_0(t),$$

E onde a entrada  $u(t)$  acima vem do choque frontal contra o obstáculo, obtido pela integração de uma curva de desacelerações típicas do teste de impacto. Na simulação, chegou-se a um pico máximo de 31,1 g no instante  $t = 90$  ms, coerente com o valor experimental da literatura, com pico de 30,2g em 94,3 ms. Resultados dos trabalhos pesquisados reportam, ainda, choque da cabeça com o banco à frente no instante 113 ms. Esse impacto com o banco não foi incluído nesse primeiro estudo, razão pela qual os resultados a partir de 113 ms devem ser vistos com cautela.

### 3. RESULTADOS

O modelo foi analisado sob diversas condições de entrada para verificar sua consistência. Em particular, o modelo linearizado acima foi comparado com o modelo não linear decorrente do modelo físico adotado e as respostas obtidas não ofereceram praticamente diferenças. O principal resultado é mostrado na Figura 5, onde estão representadas as curvas para o sistema linear (EE) e para o sistema não linear (ODE).

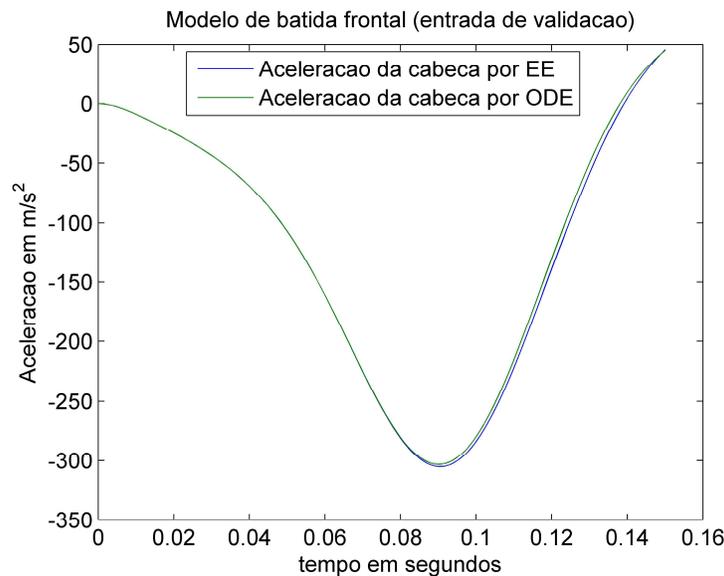


Figura 5 – Aceleração da cabeça de uma criança em choque frontal

Verifica-se, da Figura 5, que o modelo é capaz de prever com boa aproximação os valores de aceleração da cabeça da criança e os instantes em que essas acelerações ocorrem. O pico de aproximadamente 30 vezes a aceleração da gravidade mostra o quão severa é essa situação, agravada ainda por um retorno mais acentuado. O choque da cabeça contra o banco à frente, não considerado aqui, mas relatado nos ensaios experimentais com ‘dummies’, tende a piorar ainda mais esse retorno.

### 4. CONCLUSÕES

Este trabalho trouxe a proposta de um modelo físico simples que permite estudar os esforços desenvolvidos sobre uma criança quando em um veículo que sofre choque frontal. É fato conhecido que o transporte de crianças em assentos especiais tem contribuído decisivamente para a redução de danos em acidentes veiculares. Por outro lado, os resultados aqui apresentados mostram que as acelerações a que as crianças são submetidas quando de um choque frontal são muito elevadas. Os autores pretendem contribuir com novos modelos de análise, já em estudo, e com novos estudos sobre como projetar novos assentos e como modificar a fixação desses assentos aos veículos de modo a poder melhorar a segurança veicular do ponto de vista biomecânico.

## 5. REFERÊNCIAS

- [1] Al-Shammari, N., Neal-Sturgess, C. An Investigation into Neck Injuries in Simulated Frontal Impacts. Proc. IMechE Part K: J Multibody Dynamics, v226(3), p.245-265, 2012
- [2] NISSAN, 2011, disponível em [http://www.trucktrend.com/features/news/2011/163\\_news110527](http://www.trucktrend.com/features/news/2011/163_news110527)
- [3] MADEHOW, 2014, disponível em <http://www.madehow.com/Volume-5/Crash-Test-Dummy.html>
- [4] IIHS, 2014, disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=uKwnh1jUHmU>
- [5] Presoto, C.S.; Gruber, G.E.; Miyasawa, G.J.; Brandi, J.P.. Análise Dinâmica e Modelagem da Cadeira de Uso Infantil para Carros. Trabalho apresentado à disciplina PME2371-Modelagem de Sistemas Mecânicos. Escola Politécnica da USP, 2014.

## 6. ABSTRACT

This work proposes a physical model and its motion equations in order to describe motion of a child seated in safety child chair during a crash test. Although the mandatory use of special safety seats for child transportation has contributed to a significantly lower number of deaths in the last years, there is a long way towards achieving equipment incorporating high levels comfort and safety. The proposed model is a simple one but quite important results should be generated from it. This paper describes assumptions for modeling and presents numerical simulations focusing the efforts occurring in the child's neck, the weakest point in crash events..

## 7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.