

AVALIAÇÃO DA SOLICITAÇÃO DO CINTO DE SEGURANÇA SOBRE O TÓRAX DE UM OCUPANTE DE UM VEÍCULO EM UM SLED TEST

Geisiel Moreira de Assis, Pontífica Universidade Católica de Minas Gerais – PUC Minas, Belo Horizonte (MG), Brasil, geisielassis@yahoo.com.br

Guilherme Celeghini Ferreira, Pontífica Universidade Católica de Minas Gerais – PUC Minas, Belo Horizonte (MG), Brasil, guilherme.celeghini@gmail.com

Stheferson Pedro Camargos Dias, Pontífica Universidade Católica de Minas Gerais – PUC Minas, Belo Horizonte (MG), Brasil, stheferson.camargos@hotmail.com

Claysson Bruno Santos Vimieiro, Pontífica Universidade Católica de Minas Gerais – PUC Minas, Belo Horizonte (MG), Brasil e Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte (MG), Brasil, claysson@pucminas.br

Resumo. Nos últimos anos as exigências do mercado global em relação aos critérios de segurança veicular levaram os governos de diversos países e os órgãos regulamentadores a revisarem os requisitos de segurança para a integridade dos ocupantes dos veículos de passageiros com o propósito de redução dos acidentes com feridos graves ou fatais. Este estudo tem como objetivo a elaboração de um modelo numérico para a avaliação do tórax em função da solicitação do cinto de segurança em um ensaio de trenó com a utilização de um cinto de três pontas e com o modelo de manequim tipo híbrido III 50 percentil. Os procedimentos de análises foram baseados na Resolução 221 do CONTRAN que estabelece os requisitos de proteção aos ocupantes dos novos projetos veiculares. O modelo numérico foi desenvolvido para a simulação com a utilização do software Radioss em uma análise dinâmica explícita e os resultados encontrados com a metodologia aplicada indicam um procedimento bastante útil na avaliação do risco de lesões.

Palavras chave: Biomecânica, segurança veicular, ensaio de trenó, método dos elementos finitos.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, no desenvolvimento de um novo veículo, as montadoras precisam atender a diversos requisitos legais para homologar e posteriormente comercializá-lo. As normas são específicas a cada país e podem compreender a avaliação de toda a estrutura do veículo, bem como, existem normas direcionadas para avaliação de componentes ou subconjuntos do veículo. No Brasil, o Conselho Nacional de Trânsito Brasileiro através da regulamentação de impacto frontal – Resolução nº 221, em vigor desde janeiro de 2012 e baseada na regulamentação das Nações Unidas ECE R94, estabelece os requisitos de proteção aos ocupantes definidos pelos critérios estruturais do veículo e critérios biomecânicos para homologação dos novos projetos veiculares.

Este trabalho visa elaborar um modelo numérico para avaliação do tórax em função da solicitação do cinto de segurança em um ensaio de colisão frontal. A avaliação da caixa torácica foi escolhida por se tratar de uma região do corpo humano com os principais órgãos vitais. Para o modelo biomecânico foram adotadas as características de um manequim do tipo híbrido III 50 percentil, modelo que representa características dimensionais, proporções em peso e articulações de um corpo humano e que fornece o comportamento dinâmico e avaliação da gravidade de lesões em diferentes regiões do corpo. Na representação do evento do impacto destaca-se a utilização do ensaio de trenó, conhecido como *sled test*. Este tipo de ensaio é um procedimento bastante difundido pelas montadoras em novos projetos na avaliação da estrutura do banco e comportamento do manequim. Para a simulação do ensaio de impacto, através do método de elementos finitos, utiliza-se o pacote computacional Altair Radioss. Os procedimentos empregados neste estudo são baseados na norma ABNT NBR 7337:2011.

2. SEGURANÇA VEICULAR

Os sistemas de segurança veicular são itens básicos em qualquer projeto automotivo, seja devido às leis obrigatórias ou até mesmo para satisfazer a demanda dos clientes. Segundo Romaro (2010), as empresas automotivas investem constantemente em novos produtos com o propósito de desenvolverem uma maior variedade de sistemas que ofereçam segurança ativa e passiva para os ocupantes dos veículos, proporcionando estabilidade veicular, conforto e integridade física dos ocupantes. Ainda conforme Romaro (2010), a segurança veicular é composta de três fases com características distintas no projeto, sendo definida como segurança ativa, segurança passiva e pós acidente.

O surgimento da Engenharia de Segurança Veicular teve seu início no pós-guerra no século XX. Inicialmente, os esforços foram concentrados na indústria aeronáutica e posteriormente grande parte dos conhecimentos adquiridos foi migrada para os centros de pesquisas automotivos, principalmente na Europa e nos Estados Unidos. Conforme Bertocchi (2005), até 1935, os primeiros passos foram dados no sentido de entender a dinâmica das colisões veiculares.

De acordo com Franz e Seberino (2012), uma importante fase da segurança veicular no Brasil ocorreu em 1998 com a introdução do novo Código de Trânsito Brasileiro (CTB), que veio com algumas novidades de peso em relação às multas pelas infrações e conseguiu dar uma freada no número dos acidentes.

Antes de 2007, a norma para avaliação do impacto frontal no Brasil era definida pela Resolução 463 de 1973. Esta resolução avaliava apenas o sistema de direção e o tanque de combustível. Assim, somente após 30 anos, o Brasil apresentou a atualização nas normas de segurança veicular através da Resolução do CONTRAN 221/07, um atraso na criação de novas regras em comparação às demais entidades, como por exemplo: nos Estados Unidos a avaliação dos mesmos critérios biomecânicos foi criada em 1986 e na Europa, em 1995.

2.1. Resolução do CONTRAN 221/07

A fim de aumentar a segurança dos ocupantes dos veículos de passageiros, o Conselho Nacional de Trânsito Brasileiro estabeleceu a partir de janeiro de 2012 através da Resolução do CONTRAN 221/07 para todos os novos projetos de veículos e em 2014 para os veículos homologados antes desta data, os requisitos de proteção aos ocupantes e integridade do sistema de combustível decorrente de impacto nos veículos. A norma define os critérios biomecânicos relativos à proteção dos ocupantes para homologação de veículo. Estes requisitos são determinados através de índices máximos de lesão da cabeça, compressão máxima do tórax, força transmitida através dos fêmures e critérios de lesão no pescoço, além da movimentação da coluna de direção quando o veículo é submetido a um impacto frontal. Os critérios biomecânicos definidos pela CONTRAN 221/07 são os mesmos estabelecidos pela norma das Nações Unidas ECE R94 e são apresentados na Tab. (1).

Tabela 1. Requisitos biomecânicos exigidos na regulamentação ECE R94.

Critérios biomecânicos	Critério de lesão da cabeça (HIC)	Cabeça: HIC < 1000 e aceleração resultante < 80g (3ms)
	Critério de lesão do pescoço (NIC)	Pescoço: limites dos esforços de cisalhamento tração e flexão
	Critério de compressão do tórax (TCC)	Tórax: compressão < 50 mm
	Critério viscoso para o tórax (VC)	Critério de viscosidade VC < 1
	Critério de esforços nos fêmures (FFC)	Compressão < 7,6 kN
	Critério de esforço de compressão nas tíbias (TCFC)	Compressão < 8 kN
	Índice das tíbias (TI)	TI < 1,3
	Movimentação das juntas deslizantes do joelho (KS)	Cisalhamento < 15 mm

2.2. Critério de avaliação do tórax

A caixa torácica é propícia a vários tipos de lesões por se tratar de uma região óssea com diferentes tecidos e órgãos. Existem duas principais condições que podem causar lesões aos ocupantes nesta região. A primeira é referente ao impacto de objetos que produzem fraturas nas costelas com a penetração no tórax causando danos aos órgãos internos e uma segunda, devido às altas acelerações em toda a região torácica produzindo lesões nos órgãos e está diretamente relacionada à compressão torácica. A biomecânica da lesão no tórax está diretamente relacionada com a quantidade e taxa de deformação que ocorrem nesta região durante uma situação de impacto. Conforme Silva (2004), a resposta biomecânica do tórax tem essencialmente três componentes: componente inercial, elástica e viscosa.

Os critérios biomecânicos definidos pela CONTRAN 221/07 para avaliação da proteção da região torácica são o critério de compressão do tórax definido por ThCC (*Thorax Compression Criterion*) e o critério viscoso para o tórax, definido por VC (*Viscous Criterion*). De acordo com a norma brasileira, o critério ThCC deve apresentar um valor de compressão abaixo de 50 mm enquanto que o critério VC o valor deve ser menor que 1 m/s. O critério de compressão do tórax é dado pela medida entre o osso esterno e a espina. O parâmetro do critério viscoso devido ao mecanismo de compressão e resposta viscosa é definido pela Eq. (1):

$$VC = V(t).C(t) = \frac{d[D(t)]}{dt} \cdot \frac{D(t)}{D} \quad (1)$$

onde VC é uma função do tempo formado pelo produto da velocidade de compressão $V(t)$ e a função de compressão instantânea $C(t)$. A variável $V(t)$ é calculada pela diferenciação da deformação e $C(t)$ é calculada em relação à espessura inicial do tronco (D).

3. METODOLOGIA

Este estudo tem por objetivo avaliar a região torácica quanto ao nível de compressão em função da solicitação do cinto de segurança em um ensaio de trenó para o uso de um manequim do tipo híbrido III 50 percentil (Altair, 2009), com métodos definidos pela ABNT NBR 7337:2011 e a utilização do cinto de segurança de três pontos (Chris, 2013).

O modelo numérico do manequim adotado para os estudos foi fornecido pela Altair Engineering Inc., com referência *Hybrid III 50th semi rigid – H350V20A Model 2.0 A R07* e desenvolvido para o software Altair Radioss. O manequim contempla componentes deformáveis e rígidos e sua massa total é de 79,45kg, incluindo sapatos. O modelo está organizado em uma estrutura hierárquica usando subconjuntos para todos os segmentos. Os conjuntos são divididos em: cabeça, pescoço, braço, pernas, tronco, transdutores e sapatos.

Utiliza-se um modelo do cinto de segurança criado por elementos de casca com espessura de 1,20mm, comprimento de 250 mm e largura de 50 mm. O material é o Nylon 100%, com levantamento das propriedades do cinto em testes experimentais seguindo os procedimentos da norma ABNT NBR 7337:2011.

O modelo do assento é construído em elementos de casca e conforme características dimensionais definidas em norma. Adota-se um material rígido para a estrutura e o modelo é desenvolvido como uma superfície lisa de modo que nenhuma parte do assento tenha contato com a superfície do cinto durante a realização do ensaio.

O modelo será submetido a uma aceleração em função do tempo como forma de representação do momento do impacto. Assim, faz-se uma representação do pulso de aceleração durante o impacto a uma velocidade de 56 km/h e com sobreposição de 40% da largura do veículo. A curva do pulso é apresentada na Fig. (1) e é definida com os valores médios dos limites máximo e mínimo destacados na norma brasileira.

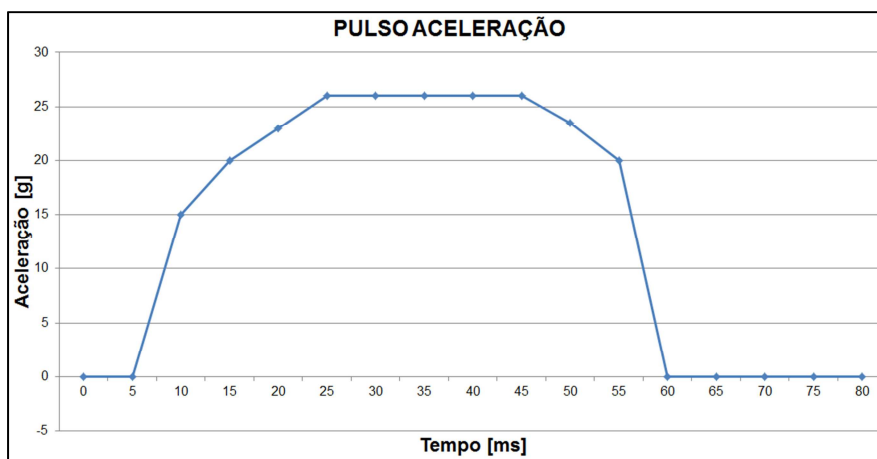


Figura 1. Pulso de aceleração aplicado para o ensaio do sled test

O pulso de aceleração é aplicado sobre a estrutura do banco e nos pontos de fixações do cinto no intervalo de tempo de 80 milissegundos.

3.1. Cálculo da compressão do tórax

Na avaliação de desempenho da região torácica através do critério biomecânico de compressão do tórax, o ThCC, realiza-se a medição da deflexão no peito com a utilização de um elemento transdutor ligado à placa do osso esterno, conforme apresentado no modelo da Fig. (2).

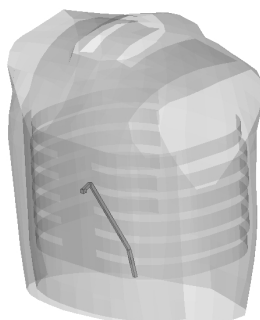


Figura 2. Modelo do transdutor na região torácica

O transdutor é construído em elemento sólido e definido como material rígido. A deflexão é obtida a partir do comprimento de braço do transdutor, que para o manequim utilizado no estudo vale 154,52 mm, e em função da rotação angular do mesmo. O cálculo da deflexão é dado pela Eq. (2):

$$Dx = 154,52 \cdot \text{sen}(r) \quad (2)$$

onde Dx é a deflexão do tórax em milímetros e r é o ângulo em radianos de rotação da base do transdutor.

4. RESULTADOS

Com a realização do *sled test* de acordo com os parâmetros descritos na metodologia deste estudo e que estão de acordo com a norma ABNT NBR 7337:2011, permite-se a avaliação do critério biomecânico de compressão do tórax. O resultado da deflexão do tórax é apresentado na Fig. (3).

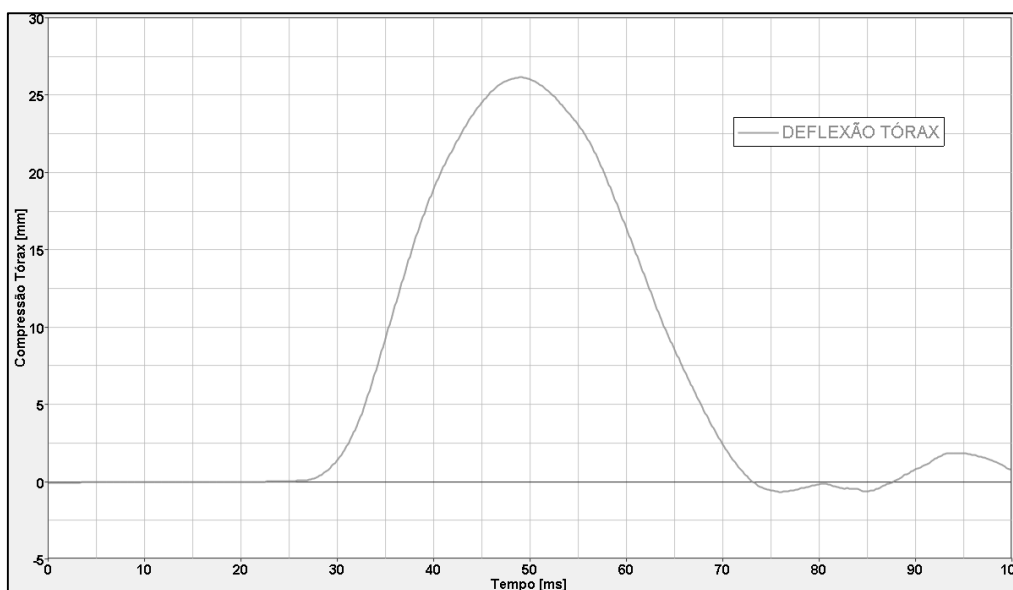


Figura 3. Resultado da compressão do tórax no *sled test*

Destaca-se que durante a aplicação do pulso, que representa a intensidade do impacto frontal na simulação do ensaio do trenó, o máximo valor de compressão de 26,20 mm, abaixo do limite máximo de 50 mm. O valor apresentado propõe que as condições simuladas para retenção do manequim apresentam uma ancoragem satisfatória, sem possibilidade do risco de lesões ao ocupante durante um acidente. As Figuras 4 e 5 apresentam a cinemática do manequim durante o tempo de análise do ensaio de trenó onde é possível verificar o comportamento do manequim durante a aplicação do pulso de aceleração.

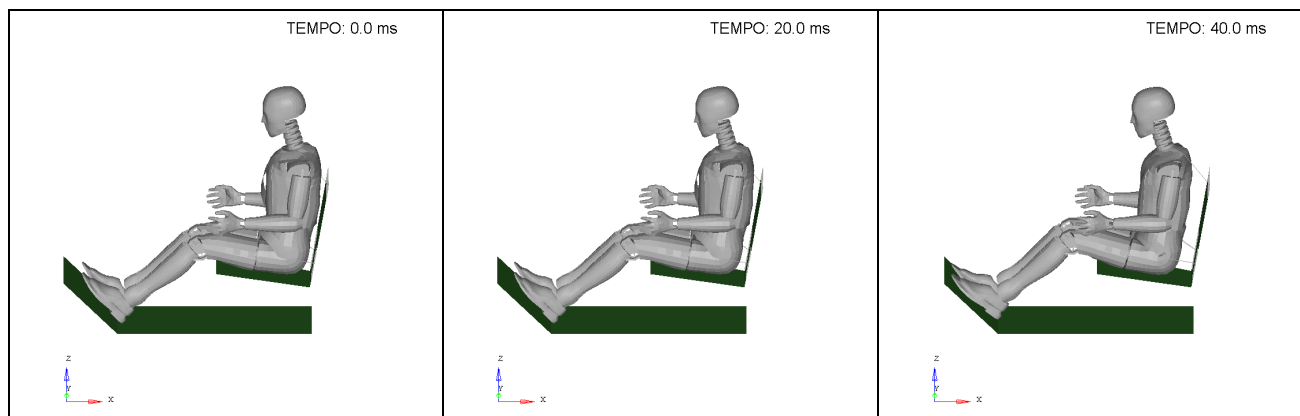


Figura 4. Resultados parciais do *sled test*

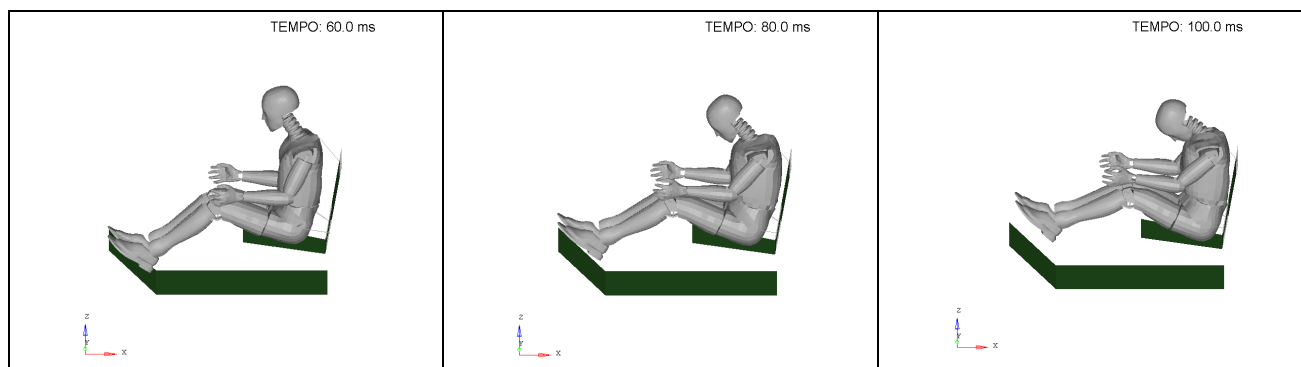


Figura 5. Resultados parciais do sled test

5. CONCLUSÃO

Com a realização do modelo numérico do *sled test* utilizando critérios estabelecidos na norma brasileira, tem-se que o comportamento do dummy mostrou ser satisfatório com os resultados obtidos, onde o valor de compressão máximo é de 26,20 mm, sendo o limite de 50 mm definido na Resolução 221/07 do CONTRAN. Os resultados encontrados com a metodologia aplicada ao modelo numérico deste estudo e com um modelo de cinto de segurança de três pontos indicam um procedimento bastante útil na avaliação do risco de lesões.

6. REFERÊNCIAS

- Altair, 2009. “Altair Radioss Safety Models. Hybrid III 50th percentile semi rigid crash test dummy”. Altair Engineering.
- ABNT, 2011. “NBR 7337: veículos rodoviários automotores: cintos de segurança: requisitos e ensaios”. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil.
- Bertocchi, M., 2005, “Segurança veicular: Acidentes de Trânsito, Colisões Veiculares, Cintos de Segurança, Airbags, História da Segurança Veicular, Dados sobre Acidentes, Proteção aos Pedestres e muito mais”, Skill Elaboração de Materiais Didáticos Ltda. 3 Dez. 2013, < <http://issuu.com/marcelobertocchi/docs/bertocchi>.>
- Chris, 2013. “Chris cintos de segurança”. 18 Nov. 2013, <<http://www.chriscintos.com.br/>>
- Contran, 2007. “Resolução Nº 221: Requisitos de proteção aos ocupantes e integridade do sistema de combustível decorrente de impacto nos veículos”, CNT, Brasília, Brasil.
- Franz, C.M., Seberino, J.R.V., 2012, “A história do trânsito e sua evolução”, Monografia – Faculdade Dom Bosco, Joinville, Brasil, 24 p.
- Romaro, M., 2010, “Cinto de segurança”, Seminário Denatran de Educação e Segurança no Trânsito, Brasília, Brasil.
- Silva, M., 2004, “Curso de biomecânica do movimento (BM322): Engenharia Biomédica”, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, Portugal.
- ECE, 1998. “Regulation Nº 94: Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the protection of the occupants in the event of a frontal collision” United Nations Economic Commission for Europe, Europe: ECE.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da PUC-Minas.

8. ABSTRACT

In recent years the demands of the global market in relation to vehicular safety criteria led governments of various countries and regulators institutes to revise the security requirements for the integrity of occupants of passenger cars and reducing accidents with serious injuries or death. This study aims at the development a numerical model for the evaluation of the chest due to the request of the belt in sled test with the use of a three-point belt and the model of Hybrid III 50th dummy. The procedures for analysis were based on Resolution 221 of CONTRAN that establishing requirements for assessment of the protection of occupants in new vehicle designs. The numerical model was developed to simulate the sled test using the Radioss software in an explicit dynamic analysis and the results found with the methodology applied to this numerical model indicate a very useful procedure for assessing the risk of injury.

9. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

O(s) autor(es) é (são) os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.