

Alunos: Abner Embuaba Leme; Gustavo de Melo Faria; Leonardo Telles Parreira; Márcio Gouvêa Brandão Júnior; Sabrina Ribeiro; Vinicius Silva de Mendonça

Orientador: Jairo de Lima Souza – jairosouza@fei.edu.br



WAPS - Whiplash Adaptive Protection System: Sistema adaptativo de proteção ao condutor e passageiro frontal contra whiplash em colisões traseiras

Resumo

O campo de segurança veicular possui diversos pilares regulatórios que contam com décadas de evolução e adaptação do ser humano às novas tecnologias emergentes. A gama de regulamentações ganha cada vez mais complexidade e abrangência, ao mesmo passo que novos questionamentos surgem.

Pesquisas mostram que condutoras do sexo feminino possuem 47% mais chances de sofrerem danos graves em acidentes de carro, além de 1.5 até 3 vezes mais chances de sofrerem danos decorrentes do movimento de chicote vertical (*Whiplash* ou chicote vertical do pescoço). Isso ocorre visto que, as mulheres possuem diversas diferenças físicas em comparação com os homens, incluindo menor estatura e menor densidade muscular, por exemplo. Isso faz com que sejam mais frágeis em uma colisão súbita. Em adição, são utilizados para testes regulatórios e testes de opinião pública, bonecos de teste (*dummies*) que representam a média da população masculina mundial, o que significa que a mulher adulta não é representada adequadamente nos testes de colisão (*crash tests*).

O intuito do projeto é desenvolver um sistema adaptativo de proteção ao *Whiplash* que proteja de maneira semelhante ambos os sexos, levando em consideração a gravidade e as diferenças mencionadas.

Introdução

Nos primórdios da indústria automotiva mundial, cadáveres eram utilizados para simular o movimento do corpo humano de motoristas e passageiros dentro do veículo. O cenário mudou quando em 1949 o primeiro boneco de teste foi desenvolvido (Auto esporte, 2021). Equipado com sensores em posições estratégicas e considerando dimensões médias da população masculina adulta da época, foi considerado um avanço em testes de segurança veicular ao simular com certa precisão a movimentação humana e quais seriam os perigos associados àquele tipo de colisão, sendo utilizado tanto em testes de informação ao consumidor, quanto para fins de regulamentação e homologação nos países.

Isso proporcionou que tecnologias avançadas de segurança veicular pudessem ser desenvolvidas e testadas considerando o público que a utilizaria. Entre elas, tecnologias para proteção contra o chicote vertical do pescoço, ou efeito chicote, que podem causar danos irreversíveis a coluna vertebral do ocupante, tornaram-se grande pauta nas montadoras, autopeças e nos órgãos regulamentadores. No Brasil, o encosto de cabeça tornou-se item obrigatório em 1999, com a resolução 44 de 1998 da CONTRAN.

O efeito chicote (em inglês, *whiplash*), ocorre, em maioria, durante colisões traseiras de baixa velocidade (10 km/h a 25 km/h). Devido a isso, o boneco de teste utilizado para verificar a proteção aferida ao ocupante é um boneco do tipo RID, que significa *Rear Impact Dummy*. É um boneco de teste desenvolvido especialmente para colisões traseiras, com o intuito de testar o chicote vertical do pescoço (HUMANETICS GROUP, 2023).

O termo *Whiplash-associated disorder* (WAD) foi utilizado pela primeira vez em 1928 e é utilizado para descrever a manifestação clínica do dano por efeito chicote. Também conhecido como chicote vertical do pescoço, o *whiplash*, é o movimento súbito da cabeça e do pescoço para frente e para trás que gera aceleração e desaceleração da cabeça e pescoço devido ao impacto recebido (CHEN, Hai-bin; King, H YANG; WANG, Zheng-guo, 2009) ocorrido geralmente em colisões traseiras de baixa velocidade, entre 10 e 25 km/h (CARLSSON, ANA, 2010).

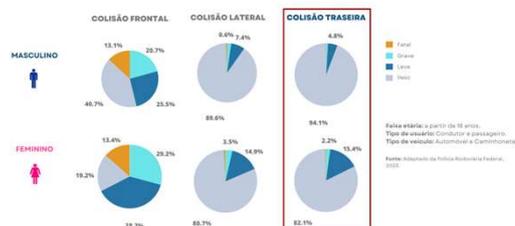
Apesar do avanço na segurança veicular durante as últimas décadas, algo não evoluiu: não são utilizados bonecos de testes com dimensões médias da população feminina adulta em testes de colisão, tanto para informação aos consumidores, quanto para fins de homologação. Em relação ao teste de *whiplash*, não existe nenhum boneco de teste do tipo RID com as dimensões médias femininas regulamentado para uso. Em suma, os protocolos de testes mundiais apenas preveem o uso do boneco BioRID para fins de avaliação de segurança, acarretando maior risco de lesões por *whiplash* pelo público feminino adulto (WORLD ECONOMIC FORUM, 2022).

Visto isso, conforme World Economic Forum, faz-se necessário o desenvolvimento de tecnologias alternativas que não considerem apenas um tipo de ocupante durante o seu desenvolvimento e em testes, com o objetivo de maximizar a proteção aferida ao maior número de pessoas possível, tendo em vista que a segurança dos veículos aferida a quase metade da população mundial não tem sido averiguada na mesma medida que em relação a outra metade da população.

Contextualização

Estatísticas de acidentes rodoviários reportados pela Polícia Rodoviária Federal (PRF), entre 2007 e 2018, mostram que há certa discrepância na gravidade nas vítimas do sexo feminino e masculino, principalmente em colisões frontais e traseiras em acidentes envolvendo automóveis, caminhonetes e ocupantes adultos (maiores de 18 anos) no assento do motorista e passageiro. Conforme exemplificado no Gráfico 1, ocupantes do sexo feminino tendem a ter maior porcentagem de lesões graves e leves e menor porcentagem de casos ileso, em comparação com ocupantes do sexo masculino que possuem maior porcentagem de casos ileso e menor de lesões leves e graves. Em colisões traseiras, é notável que a porcentagem de ocupantes ileso é cerca de 12% menor para o sexo feminino.

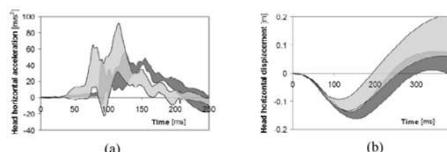
Gráfico 1 - Estatísticas de acidentes rodoviários no Brasil de 2007 a 2018 com condutores e passageiros com faixa-etária a partir de 18 anos em acidentes envolvendo automóveis e caminhonetes.



Fonte: Autores. Adaptado de Polícia Rodoviária Federal (PRF), 2023.

Devido à notável discrepância geral em acidentes de carro, estudos de diversas universidades ao redor do mundo foram iniciados para comparar tantos resultados de acidentes de carro reais, testes com voluntários e simulações virtuais feitas com bonecos de teste. Testes com voluntários (Gráfico 2) mostram que o ocupante feminino, no geral, possui maior aceleração e deslocamento horizontais da cabeça durante um impacto traseiro, se comparado com ocupantes masculinos (LINDER, ASTRID et al, 2012). Tanto a aceleração quanto o deslocamento da cabeça são fatores importantes a serem analisados no que se refere a ocorrência e gravidade de lesões pelo efeito chicote – quanto maior esses valores, maiores os riscos de os ocupantes afetados sofrerem danos à saúde.

Gráfico 2 - (a) Aceleração horizontal da cabeça, em função do tempo; (b) Deslocamento horizontal da cabeça, em função do tempo. Curva em cinza claro representa os resultados de testes com voluntárias femininas e, em cinza escuro, voluntários masculinos.

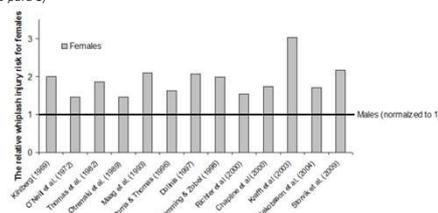


Fonte: LINDER, ASTRID; et al, 2012.

Dados reais de acidentes de trânsito da *National Highway Traffic Safety Administration's National Automotive Sampling System Crashworthiness Data System* (NASS CDS), entre 1998 e 2008, agrupados pelo gênero de motoristas adultos foram analisados por um estudo de Bose, Dipan et al. Os resultados do estudo indicam que, motoristas mulheres, utilizando cinto de segurança, são 47% mais suscetíveis a sofrerem lesões em acidentes, em comparação com motoristas masculinos utilizando cinto de segurança em acidentes similares (Bose, Dipan et al).

Ademais, dados de outros treze estudos relacionados a esse efeito foram agrupados e mostram que ocupantes femininos possuem de 1.5 até 3 vezes mais chances de sofrerem lesões por *whiplash* quando comparado com ocupantes masculinos (CARLSSON, ANA, 2010), contidos no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Risco relativo de lesões por whiplash para ocupantes femininos (colunas cinzas) em comparação com ocupantes masculinos (normalizado para 1)



Fonte: CARLSSON, ANA, 2010.

O *whiplash* é um item testado no NCAP e, de acordo com o protocolo de teste utilizado, o único boneco de teste utilizado para averiguar a segurança promovida aos ocupantes adultos do veículo é o boneco de teste BioRID, que representa 50% da população adulta masculina. Em suma, não é previsto no protocolo de teste do NCAP ou em órgãos regulamentadores como CONTRAN, NHTSA, ECE R17, FMVSS 202 e 207, de os testes serem realizados também utilizando um boneco de teste representativo para a população adulta feminina.

Atualmente, os bonecos de teste femininos existentes para testes de regulamentação e NCAP representam cerca de 5% da população adulta feminina e são versões reduzidas do boneco masculino padrão. Possui cerca de 1,5 metro de altura e 48 kg de massa (NHTSA, 2023) além de não ser utilizado no posto do motorista, apenas como passageiro.

Alunos: Abner Embuaba Leme; Gustavo de Melo Faria; Leonardo Telles Parreira; Márcio Gouvêa Brandão Júnior; Sabrina Ribeiro; Vinicius Silva de Mendonça

Orientador: Jairo de Lima Souza – jairosouza@fei.edu.br

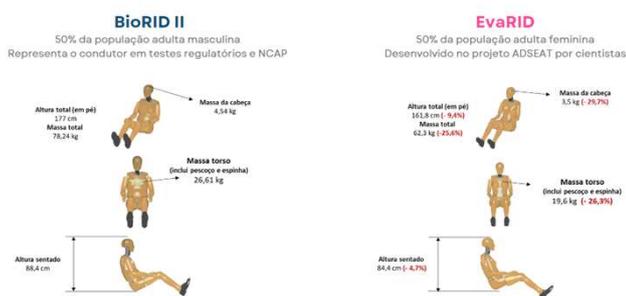


WAPS - Whiplash Adaptive Protection System: Sistema adaptativo de proteção ao condutor e passageiro frontal contra whiplash em colisões traseiras

Visto essa problemática, o boneco de teste EvaRID surgiu com o intuito de representar a população média adulta feminina em testes de colisão traseira, entretanto, ele ainda é um protótipo e não é utilizado para testes de regulamentação ou avaliações oficiais. Apesar disto, através deste boneco de teste, as diferenças físicas médias entre os dois gêneros pode ser verificada com facilidade e a necessidade de inserção de testes considerando o caso mais crítico (no caso, o público feminino) torna-se ainda mais evidente. As medidas gerais dos dois bonecos de teste estão descritas na Figura 1.

Figura 1 – Bonecos de teste de colisão traseira

Rear Impact Dummies (RID)



Fonte: Linder, Astrid, et al, 2012. Adaptado por Autores.

Problema e propósito do projeto

Analisando as informações supracitadas, é possível notar tamanha severidade que o efeito de chicote vertical em colisões traseiras acarreta, em especial para o caso mais crítico identificado: os ocupantes do sexo feminino.

Portanto, o problema identificado se trata de que condutores e passageiros do sexo feminino possuem maior probabilidade de sofrerem danos graves provenientes do chicote vertical (*whiplash*) em colisões traseiras devido as diferenças corporais entre homens e mulheres.

Logo, o propósito do projeto é diminuir a aceleração horizontal (m/s^2) da cabeça em colisões traseiras visando aumento de segurança para o público feminino em caso de chicote vertical, sem prejudicar a proteção aferida a outros usuários.

Target

Para definição de um resultado numérico final que aponte a eficácia do sistema contra o chicote vertical do pescoço, foram avaliados a eficácia dos produtos já presentes no mercado (apresentados no benchmarking).

Foi utilizado como base um estudo comparativo realizado em uma parceria dos institutos suecos *Folksam Research Karolinska Institute* e *Swedish Road Administration* e o *Monash University*, da Austrália. Em suma, a eficácia é demonstrada comparando dados de acidentes em que lesões por chicote vertical foram reportadas, com veículos equipados com e sem sistemas de proteção contra o *whiplash*, reportados pela seguradora de saúde sueca *Folksam*. Foram avaliados acidentes com ocupantes lesionados entre 1998 e 2006, em que 6838 acidentes reportaram lesões por *whiplash* de um total de 15587 acidentes analisados.

Foi notado que, conforme mostra a Tabela 1, os veículos equipados com algum tipo de sistema de proteção contra esse tipo de lesão apresentam diminuição considerável na quantidade de lesões reportadas e que levaram a algum tipo de deficiência. Em contrapartida, os veículos com equipados com assentos sem algum sistema especial, apresentam maior quantidade de lesões reportadas no geral.

Tabela 1 - Lesões por chicote vertical que levam à sintomas de longa duração em veículos com e sem sistemas de proteção específicos contra o efeito chicote

| Type of study | | Whiplash injuries leading to long-term symptoms | | |
|------------------------------------|---------------------|---|------------------------------------|---|
| | | Reported whiplash injuries (n) | Injuries leading to disability (n) | Proportion of injuries leading to disability (p ₁₀) |
| Special whiplash protection system | Cars with a system | 534 | 40 | 7,5% |
| | Standard seats -97- | 1571 | 213 | 13,6% |
| | Standard seats -97 | 4109 | 635 | 15,5% |

Fonte: Kullgren, Anders, et al.

Logo, é notado que veículos equipados com algum tipo de sistema de proteção contra o *whiplash* tendem a apresentar 50% menos risco de lesões pelo efeito chicote que levam à sintomas de longa duração, em comparação com veículos equipados com assentos padrões lançados após 1997.

Ademais, foi detectado uma correlação entre testes de impacto para os consumidores e as informações de acidentes reais: os veículos avaliados com "Bom" nos testes de impacto para consumidores geralmente apresentam menos risco aos ocupantes de lesões devido ao *whiplash*, em comparação com veículos avaliados como "Ruins" no mesmo tipo de teste, que geralmente apresentam maior risco de lesões nos dados de acidentes reais utilizados.

Apesar deste ser um resultado positivo ao indicar que os resultados dos testes refletem de certa forma a resposta dinâmica dos veículos, os testes de impacto para consumidores, como o Latin NCAP e EuroNCAP, utilizam para testes de colisão traseira para avaliação do *whiplash* apenas o boneco de teste BioRID que representa apenas a população masculina na posição do motorista.

Visto isso, o target do projeto é que o WAPS forneça o mesmo nível de proteção ao chicote vertical encontrado no mercado para o usuário feminino, ou seja, pelo menos 40% menos riscos de lesões por *whiplash*.

Tendo em vista que a verificação do risco é geralmente feita analisando dados reais de acidentes, faz-se necessário buscar outros meios de medir a ocorrência do *whiplash* e quais unidades de engenharia poderiam ser aplicadas para realizar a medição de sua ocorrência ou gravidade.

Conforme dito anteriormente na contextualização do trabalho, um ponto de atenção em relação ao movimento corpóreo do ocupante durante uma colisão é a aceleração horizontal da cabeça e do pescoço. Este, presente no protocolo de teste de *Whiplash* do EuroNCAP, é avaliado em conjunto com o deslocamento horizontal também da cabeça e do pescoço.

Tendo em vista a movimentação do efeito chicote, quanto maior a aceleração e deslocamento da cabeça, maiores os riscos de o efeito causar lesões de longa duração na vítima. Visto isso, o target se baseia em diminuir em 40% a aceleração horizontal da cabeça (m/s^2) para ocupantes femininos, sem prejudicar a proteção aferida a outros usuários.

Solução

Encosto de cabeça ativo e adaptável



Princípio ativo

O apoio de cabeça se movimenta para cima e para frente na ocorrência de uma colisão traseira, com o intuito de acompanhar e amortecer a cabeça do condutor para minimizar grandes deslocamentos e acelerações.



Regulagem altura máxima



Regulagem altura mínima

Adaptabilidade

O design do apoio de cabeça possibilita a regulagem correta para pessoas com menores estaturas, visto que ele "acopla" ao encosto das costas do assento automotivo.

Principais componentes do sistema



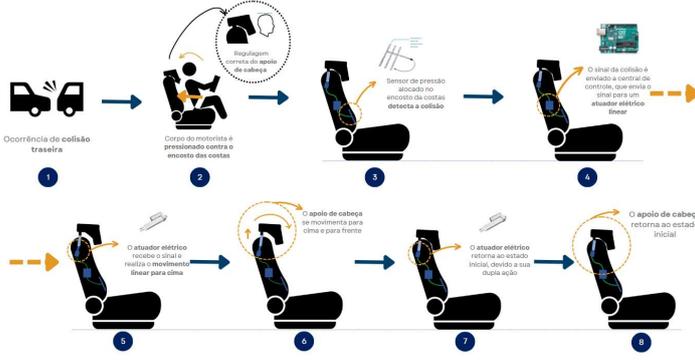
ENGENHARIA MECÂNICA AUTOMOBILÍSTICA

Alunos: Abner Embuaba Leme; Gustavo de Melo Faria; Leonardo Telles Parreira; Márcio Gouvêa Brandão Júnior; Sabrina Ribeiro; Vinicius Silva de Mendonça
Orientador: Jairo de Lima Souza – jairosouza@fei.edu.br



WAPS - Whiplash Adaptive Protection System: Sistema adaptativo de proteção ao condutor e passageiro frontal contra whiplash em colisões traseiras

Storyboard



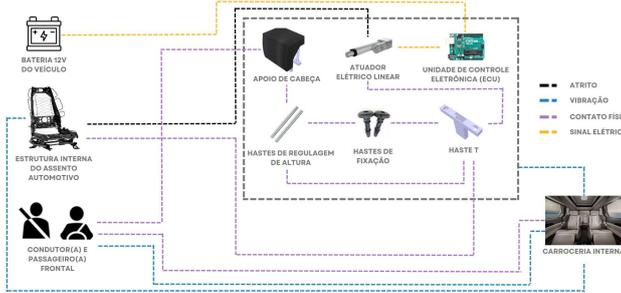
Fonte: Autores.

SFMEA (maiores RPM)

| Item | Function | Potential Failure Mode | Potential Effect(s) of Failure | Severity | Classification | Potential Cause(s) of Failure | Current Design Controls Prevention | Current Design Controls Detection | Current Design Controls Mitigation |
|---|--|---|--|----------|----------------|---|--|---|------------------------------------|
| Sistema de regulagem de altura do apoio de cabeça | Aleirar suporte à cabeça do condutor em casos de colisão | Ajuste de altura prejudicado em função da colisão; sistema falha em manter altura previamente ajustada pelo condutor. | Altura do apoio não condiz com o ajuste correto no momento da colisão. | 9 | 9 | Resistência ao impacto do sistema de regulagem de altura não suficiente. | Testes prévios de impacto e dimensionamento do sistema para pior caso. | Estudos em ambiente de simulação. | 9 |
| Sensor de pressão/força | Fazer a leitura da resposta do corpo do condutor contra o assento no momento da colisão. | Erro de leitura e ou identificação da severidade da força aplicada contra o assento. | Leitura errada causar erros na continuidade do funcionamento do sistema. | 9 | 8 | Maior posicionamento do condutor, falta de compressão no assento no momento da colisão. | Maior superfície de contato entre sensor e assento. | Estudo de benchmarking de sensores. | 9 |
| Central de Controle | Receber a leitura do sensor e comunicar o atuador elétrico. | Erro de recebimento e transmissão do sinal elétrico do sensor para o atuador. | Possível falha de movimentação do atuador ou alimentação da central de controle. | 9 | 9 | Erro de linguagem de programação. | Lógica Hardware In the loop para atuação do sistema de controle. | Estudos em ambiente de simulação da linguagem de programação. | 8 |
| Alavanca T | Realizar contato com as hastas do encosto de cabeça | Alavanca deslocada de sua posição normal. | Falha no contato entre haste e alavanca | 6 | 7 | Falta de manutenção ou impacto com força excessiva no assento do veículo. | Manutenção preventiva | Teste de erosão. | 8 |

Fonte: Autores.

Diagrama de fronteiras

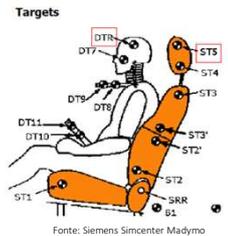


Fonte: Autores.

Simulação Computacional e Resultados

Parametrização do tipo de simulação

- Software: Siemens Madymo;
- Protocolo utilizado no software: **EuroNCAP Whiplash Test 2013:**
 - Impacto traseiro (Whiplash);
 - Velocidade do impacto: 16 km/h;
- Ponto de contato da cabeça do dummy (DTR);
- Ponto de contato do apoio de cabeça (ST5);
- Início da simulação: distância entre DTR e ST5 nula;
- Medidas do dummy EvaRID.



Fonte: Siemens Simcenter Madymo

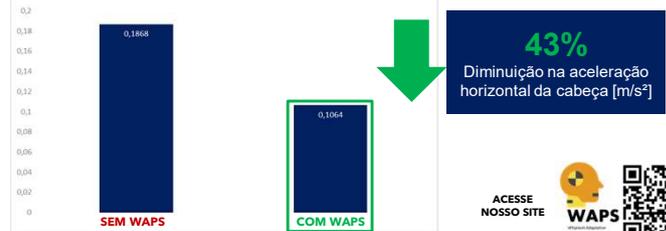
Engenharia reversa

| ITENS | APOIO DE CABEÇA | HASTES DE APOIO | HASTES COMPLEMENTARES | SENSOR DE PESO/PRESSÃO | CENTRAL DE CONTROLE | ATUADOR ELÉTRICO LINEAR | HASTE T |
|-------------------|-------------------------|------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|---------------------------|---------------|
| MASSA APROXIMADA | 1,2 kg | 370 g | 300 g | 52 g | 31,8 g | Até 200 kg de carga | 0,2 kg |
| DIMENSÕES BÁSICAS | 23,5 x 8 cm | 12 mm (diâmetro) | + 12,8 mm (diâmetro) | 31 x 30 cm | 8 x 5,51 x 2,49 cm | Curso (ST) de 20 a 600 mm | 6 x 6 x 10 cm |
| MATERIAL | Polipropileno Expandido | Cromo | Plástico | Plástico | Cobre/Alumínio | Alumínio 6062 | Polimérico* |
| FORNEDORES | LEAR | THAMETAL | JAYCREER | GNG | ITEAD | KALATEC AUTOMOTIVO | Härte |

Fonte: Autores.

- 1ª SIMULAÇÃO - SEM WAPS: Apoio de cabeça sem princípio ativo (menor tempo de contato entre a cabeça e o apoio de cabeça).
- 2ª SIMULAÇÃO - COM WAPS: Apoio de cabeça com princípio ativo WAPS (tempo de contato entre a cabeça e o apoio de cabeça 34.3ms maior).

Aceleração horizontal da cabeça [m/s²]



Fonte: Autores.

Diagrama de parâmetros



Fonte: Autores.

Referências

Auto esporte. Como pessoas mortas ajudam a deixar o seu carro mais seguro. 2021. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/curiosidades/noticia/2021/08/como-pessoas-mortas-ajudam-a-deixar-o-seu-carro-mais-seguro.ghtml>. Acesso em: 15 jul. 2023.

BOSE, Dipan et al. Vulnerability of Female Drivers Involved in Motor Vehicle Crashes: An Analysis of US Population at Risk. American Journal of Public Health. Dez. 2011, Vol. 101, No. 12. DOI:10.2105/AJPH.2011.200275. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/51736695_Vulnerability_of_Female_Drivers_Involved_in_Motor_Vehicle_Crashes_An_Analysis_of_US_Population_at_Risk. Acesso em: 01 abr. 2023.

CARLSSON, Anna et al. Design and Evaluation of the Initial 50th Percentile Female Prototype Rear Impact Dummy, BioRID P50F – Indicators for the Need of an Additional Dummy Size. 2021. Front. Bioeng. Biotechnol., 16 jul. 2021. Sec. Biomechanics Volume 9 - 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.687058>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2021.687058/full>. Acesso em: 19 mar. 2023.

CARLSSON, Ana. Initial Studies of Dynamic Responses of Female and Male Volunteers in Rear Impact Tests. 2010. THESIS FOR LICENTIATE OF ENGINEERING in 2010:01. ISSN 1662-8565. Chalmers University of Technology, Gotemburgo, Suécia. 2010.

EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME. THE DYNAMIC ASSESSMENT OF CAR SEATS FOR NECK INJURY PROTECTION TESTING PROTOCOL. 2019. Disponível em: <https://cdn.euroncap.com/media/57828/euro-ncap-whiplash-test-protocol-v41.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2023.

KULLGREN, Anders et al. THE EFFECT OF WHIPLASH PROTECTION SYSTEMS IN REAL-LIFE CRASHES AND THEIR CORRELATION TO CONSUMER CRASH TEST PROGRAMMES. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=10.3389/fbioe.2021.687058>. Acesso em: 11 jun. 2023.

HUMANETICS GROUP. Rear Impact ATDs. 2023. Disponível em: <https://www.humaneticsgroup.com/products/anthropomorphic-test-devices/rear-impact>. Acesso em: 19 set. 2023.

Linder, Astrid et al. Adaptive Seat to Reduce Neck Injuries for Female and Male Occupants. 2012. Accident Analysis & Prevention Volume 60, November 2013, Pages 334-343. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000145713001000?via=ihI3Dhub>. Acesso em: 26 fev. 2023.

