

Washington Henrique F. Silva

**AVALIAÇÃO E VALIDAÇÃO DE SISTEMAS DE *AIR BAG*  
EM VEÍCULOS DE PASSEIO**

Trabalho de final de curso apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do título de Mestre  
em Engenharia Automotiva (Mestrado  
Profissionalizante)

São Paulo

2005

Washington Henrique F. Silva

**AVALIAÇÃO E VALIDAÇÃO DE SISTEMAS DE *AIR BAG*  
EM VEÍCULOS DE PASSEIO**

Trabalho de final de curso apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do título de Mestre  
em Engenharia

Área de Concentração:  
Engenharia Automotiva  
(Mestrado Profissionalizante)

Orientador:  
Arlindo Tribess

São Paulo

2005

Silva, Washington Henrique Freitas da

Avaliação e validação de sistemas de *air bag* em veículos de passeio  
/ W.H.F. da Silva. – São Paulo, 2005.

67 p.

Trabalho de curso (Mestrado Profissionalizante em Engenharia  
Automotiva) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

1. Engenharia automotiva 2. Segurança veicular 3. *Air bag* 4.  
Veículos de passeio 5 . Tecnologia I. Universidade de São Paulo. Escola  
Politécnica. II. t

## **AGRADECIMENTOS**

Ao orientador Prof. Dr. Arlindo Tribess, pela motivação, confiança e permanentes incentivos dedicados a minha pessoa, durante o desenvolvimento e concretização deste sonho, e, sobretudo pela sabedoria dispensada durante estes anos de pesquisa e desenvolvimento intelectual.

À minha família, especialmente a minha esposa Ailza, que durante o curso me deu o maior presente de minha vida, a gravidez e o nascimento de meu filho Pedro, e o incondicional apoio, que sempre alavancaram os meus esforços na busca do melhor caminho.

Meus sinceros agradecimentos aos professores da Escola Politécnica da USP e colegas da General Motors, pelos momentos de convivência e pela troca de conhecimentos, que tanto enriqueceram minha formação pessoal e acadêmica.

Finalmente, agradeço a Deus e a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram na execução deste trabalho, seja dividindo angustias, ansiedades e momentos de muito nervosismo, seja compartilhando entusiasmos e conquistas.

A todos vocês muito obrigado!

# SUMÁRIO

**LISTA DE FIGURAS**

**LISTAS DE TABELAS**

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**RESUMO**

**ABSTRACT**

<b>1.INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Objeto de estudo e objetivo do trabalho.....	7
1.2 Organização do trabalho.....	8
<b>2. SISTEMA DE AIR BAG.....</b>	<b>10</b>
2.1 Histórico do <i>air bag</i> .....	10
2.2 Componentes do sistema de <i>air bag</i> .....	12
2.2.1 As bolsas infláveis.....	13
2.2.2 Os insufladores.....	14
2.2.3 O módulo eletrônico de comando.....	16
2.3 Princípio de funcionamento do sistema de <i>air bag</i> .....	17
2.4 <i>Air bag</i> frontal.....	19
2.5 <i>Air bag</i> lateral.....	20
<b>3. ANÁLISE DE IMPACTO.....</b>	<b>23</b>
3.1 Impacto em veículos.....	23
3.2 Sistema de coordenadas.....	25
3.2.1 Análise de impacto sob a ótica das coordenadas móveis.....	27
3.2.2 Análise de impacto sob a ótica das coordenadas móveis.....	28
3.3 Análise de impacto em veículos.....	29

<b>4. SENSORES DE IMPACTO.....</b>	<b>33</b>
4.1 Desenvolvimento de sensores.....	34
4.2 Sensor do sistema de air bag – acelerômetro.....	36
4.3 Critérios de disparo do dispositivo de abertura do <i>air bag</i> .....	36
4.3.1 Critério das 5 polegadas menos 30 milisegundos (Regra 5” – 30 ms).....	37
4.3.2 Critério de performance dos ocupantes (Regra OPC).....	39
<b>5. AVALIAÇÃO E VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE AIR BAG.....</b>	<b>43</b>
5.1 Avaliação em câmara de testes.....	43
5.2 Avaliação em testes de impacto ( <i>crash tests</i> ).....	46
5.3 Os bonecos utilizados em testes de impacto: os <i>dummies</i> .....	47
5.3.1 Os testes de impacto ( <i>crash tests</i> ).....	48
<b>6. VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE AIR BAG.....</b>	<b>50</b>
6.1 Avaliações de <i>crash tests</i> para validação do sistema de <i>air bag</i> .....	50
6.2 Critério de comportamento funcional da cabeça – HIC: <i>Head Injury Criterion</i> .....	52
<b>7. TESTE DE VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE AIR BAG.....</b>	<b>55</b>
7.1 Teste de validação.....	55
7.2 Aplicação do critério HIC.....	59
<b>8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>63</b>
<b>9. CONCLUSÕES.....</b>	<b>65</b>
<b>10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>66</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Encosto de cabeça ativo	4
Figura 1.2	Acionamento mecânico do encosto de cabeça ativo	4
Figura 1.3	Encosto de cabeça ativo com <i>air bag</i>	4
Figura 1.4	Cinto pirotécnico acionado pelo principio de êmbolo	6
Figura 2.1	Ilustração de atuação do sistema de <i>air bag</i>	10
Figura 2.2	Componentes do sistema de <i>air bag</i>	12
Figura 2.3	Bolsa inflável do sistema de <i>air bag</i>	13
Figura 2.4	Módulo de insuflação do <i>air bag</i>	14
Figura 2.5	Módulo eletrônico de comando do sistema de <i>air bag</i>	16
Figura 2.6	<i>Air bag</i> frontal	19
Figura 2.7	<i>Air bag</i> lateral	21
Figura 2.8	Limite de impacto para acionamento do <i>air bag</i> lateral	21
Figura 3.1	Sinal de aceleração medido no compartimento de passageiros em colisão frontal a 48 km/h em barreira rígida	23
Figura 3.2	Sinal de aceleração, medido no compartimento do motor em colisão frontal a 48 km/h em barreira rígida	24
Figura 3.3	Curvas de aceleração, velocidade e deformação demonstradas a partir de um sistema de coordenadas fixas	28
Figura 3.4	Curvas de aceleração, velocidade e deformação demonstradas a partir de um sistema móvel	29
Figura 3.5	Dados de impacto a 15 km/h em barreira em barreira rígida	30
Figura 3.6	Dados de impacto a 48 km/h obtidos em colisão oblíqua à 30°. em barreira rígida	31
Figura 3.7	Dados de impacto obtidos a 48 km/h em colisão com poste	31

Figura 3.8	Dados de impacto obtidos a 48 km/h em colisão com poste, sob sistema de coordenadas fixas	32
Figura 4.1	Dados de impacto a 48 km/h em barreira rígida, medidos na parte frontal do veículo	33
Figura 4.2	Sensor do sistema de <i>air bag</i> – acelerômetro	35
Figura 4.3	Curvas de aceleração e deslocamento de um ocupante sem cinto de segurança, numa colisão frontal hipotética – determinação gráfica dos instantes limites para disparo de um sensor versus tempo requerido para se insuflar a bolsa de amortecimento.	38
Figura 4.4	Análise conforme critério de OPC para impacto frontal a 48 km/h	40
Figura 4.5	Gráfico comparativo entre critérios OPC e 5” – 30 ms em um impacto frontal em poste a 22 km/h	41
Figura 4.6	Gráfico comparativo entre critérios OPC e 5” – 30 ms em um impacto frontal em barreira rígida a 56 km/h	42
Figura 5.1	Câmara estática de teste do <i>air bag</i>	43
Figura 5.2	Dados de deslocamento para determinação do tempo de atraso para o disparo do impactador	44
Figura 5.3	Representação esquemática para cálculo do tempo de atraso	45
Figura 5.4	Impacto sincronizado	46
Figura 5.5	Exemplos de <i>dummies</i> utilizados em <i>crash tests</i> , tipo (a) EUROSID e (b) modelo Hybrid III..	47
Figura 5.6	Dummies Hybrid III de vários tamanhos	48
Figura 5.7	Testes de impacto com <i>dummy</i> fora da posição	49
Figura 6.1	Imagens obtidas durante <i>crash test</i>	50
Figura 6.2	Limites biomecânicos na face	53
Figura 6.3	Curva de <i>Wayne State</i>	54
Figura 7.1	Instante de início de impacto ( $t=0$ ms)	56



Figura 7.2	Veículo no instante de início do impacto ( $t= 0$ ms)	56
Figura 7.3	Instante de deflagração do <i>air bag</i> ( $t= 19$ ms)	57
Figura 7.4	Veículo no instante de deflagração do <i>air bag</i> ( $t= 19$ ms)	57
Figura 7.5	Instante de contato do <i>air bag</i> insuflado com o <i>dummy</i> ( $t= 49$ ms)	58
Figura 7.6	Veículo no instante de contato do <i>air bag</i> insuflado com o <i>dummy</i> ( $t= 49$ ms)	58
Figura 7.7	Instante de máximo deslocamento do <i>dummy</i> ( $t= 103$ ms)	60
Figura 7.8	Gráfico de aceleração resultante do <i>dummy</i> em relação ao sistema de coordenadas fixas	60
Figura 7.9	Gráfico do HIC máximo	62

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1.1	Marcos históricos relacionados a segurança veicular	3
Tabela 3.1	Dados comparativos de magnitude e duração da aceleração nos impactos a 15 km/h e 48 km/h	30
Tabela 4.1	Tempos de disparo em função das velocidades consideradas e do tipo de impacto	39
Tabela 7.1	Valores de aceleração média e de HIC	61

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

ABS	Anti Block System
DAS	Data Acquisition System
FMVSS	Federal Motor Vehicle Safety Standard
HIC	Head Injury Criterion
MDV	Mira Data Viewer
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
OPC	Occupant Performance Criterion
RS	Restraint Space
SID	Side Impact Dummy
TOT	Total Occupant Travel

## RESUMO

O ser humano possui várias e graves limitações do ponto de vista das solicitações impostas pelo trânsito. Por isso, e também por deficiências do veículo e das vias onde o tráfego flui, há a necessidade de se incorporar 'dispositivos compensadores destas limitações' ao veículo. Uma das formas de se reduzir e/ou evitar ferimentos graves dos ocupantes em colisões de veículos é por meio da utilização de equipamentos de segurança passiva. O sistema de *air bag*, juntamente com o sistema de cintos de segurança, pode desempenhar um papel importante. Por serem elementos infláveis, os *air bags* se comportam como amortecedores que absorvem energia de movimento entre a parte superior do corpo de ocupantes do veículo e o volante de direção, painel de instrumentos ou vidro pára-brisa, por ocasião de uma colisão. No Brasil o *air bag* ainda é um item opcional de segurança passiva, não existindo a cultura de utilização deste equipamento. Com a abertura do mercado à importação de veículos, porém, este conceito vem se alterando aos poucos. No presente trabalho são discutidos aspectos relacionados com os testes de avaliação e validação destes sistemas, com a apresentação dos resultados de um teste de validação realizado. Inicialmente são apresentadas as funcionalidades do sistema de *air bag* e detalhados os componentes constitutivos do sistema, o seu funcionamento e os tipos de sistemas utilizados, bem como as técnicas de engenharia para análise de impactos (*crash tests*), o desenvolvimento de sensores de impacto e os critérios para o disparo do dispositivo de abertura do *air bag*. Em seguida, são apresentados e discutidos os testes de avaliação para validação do sistema de *air bag* realizados pelo fabricante e na montadora. Procedimentos de avaliação em câmaras de testes e em *crash tests* são detalhados. Finalizando, os critérios de comportamento funcional biomecânico utilizados na avaliação de validação do sistema são apresentados. O critério de comportamento funcional da cabeça, HIC (*Head Injury Criterion*) é detalhado. Resultados do teste de validação apresentaram valor máximo para HIC de 658,75, para o intervalo de duração de impacto compreendido entre 67 e 103 ms. O valor obtido está abaixo do valor limite de HIC igual a 1000, da norma FVMSS 208; o que mostra que o sistema de *air bag* testado atendeu satisfatoriamente o requisito.

## **ABSTRACT**

The human being has several and serious limitations of the point of view of the requests imposed by the traffic. Therefore, and also for deficiencies of the vehicle and of the roads, there is the need to incorporate 'compensatory devices for these limitations' to the vehicle. One way to reduce and/or to avoid serious injuries of the occupants in collisions of vehicles is by the use of passive safety equipment. The air bag systems, together with the seatbelts systems, can play an important role. Air bags are inflated elements and behave as shock absorbers, that absorb movement energy between the superior part of the occupants' of the vehicle body and the direction steering wheel, the panel of instruments or the windshield, for occasion of a collision. In Brazil the air bag is still an optional item of passive safety, not existing the culture of the use of this equipment. With the opening of the market to the import of vehicles, however, this concept is changing little by little. In the present work aspects related with the evaluation and validation tests of these systems are discussed, with the presentation of the results of a validation test. Initially, the functionalities of the air bag system are presented and the components of the system, its operation and the systems types, as well as the engineering techniques for analysis of impacts (crash tests), the development of sensors of impact and the criteria for the shot to opening the air bag are detailed. Soon afterwards, the evaluation tests for the air bag system validation accomplished by the manufacturer and by the OEM are presented and discussed. Evaluation procedures in test chambers and in crash tests are detailed. Concluding, the criteria of the biomechanical functional behavior used in the evaluation for validation of the system are presented. The Head Injury Criterion (HIC) is detailed. Results of the validation test presented a maximum value of HIC equal to 658,75, for the interval of impact among 67 and 103 ms. This value is below the 1000 HIC limit value predicted by the FVMSS 208 norm; what shows that the air bag system attends the requirement satisfactorily.