

6

Referências Bibliográficas

ABDULMASSIH, D.S. Modelos Para Análises de Colisões Planas. In: **Modelos de Veículos Rígidos Para Análise e Simulação de Colisões e Reconstituição de Acidentes**. Rio de Janeiro, 2003. p. 71-74. Pontifícia Universidade Católica – PUC - Rio.

ALGHAMDI, A.A.A. Collapsible impact energy absorbers: an overview. **Thin-Walled Structures**, USA, v. 39, p. 189-213, out. 2000.

ALVES, M; BIRCH, R.S. Dynamic failure of structural joint systems. **Thin-Walled Structures**, USA, v. 36, p. 137-154, fev. 2000.

ALVES, M; OSHIRO, R.E. Scaling the impact of a mass on a structure. **International Journal of Impact Engineering**, USA, v. 32, p.1158-1173, jul.2006.

American Society for Testing and Materials. **ASTM E 8M-04**. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, USA.

ANSYS MULTIPHYSICS/LS-DYNA, versão 11.0: Guia do Usuário: Ansys Inc.

BAKER, W.E., WESTINE, P.S., DODGE, F.T., **Similarity Methods in Engineering Dynamics: Theory and Practice of Scale Modeling**. New York. Elsevier, 1991.

BIRCH, R. Impacto Veicular “Crashworthiness”. In: GERGES, S. N. Y. **Ruídos e Vibrações Veiculares**. Florianópolis: 2005. Capítulo 22, p 679-695.

CALLISTER Jr., W. D. **Ciências de Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**. 5.ed. Tradução Sergio Murilo Stamile Soares. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos S.A Editora. 589p. Título Original: Materials Science and Engineering: Na Introduction.

CARNEIRO, F.L. **Análise Dimensional e Teoria da Semelhança e dos Modelos Físicos**. 2.ed. Rio de Janeiro: UFRJ, 1996. 258p.

CHEN *et al.* Finite element modeling of the frame for body on frame vehicles, Part II – Full vehicle crash. USA: Society of Automotive Engineers, Inc, 2004. p. 57-65.

CRAIG *et al.* Finite element modeling of the frame for body on frame vehicles, Part I – Subsystem investigation. USA: Society of Automotive Engineers, Inc, 2004. p. 47-55.

CUNAT, P. J. Stainless steel properties for structural automotive applications. IN: METAL BULLETIN INTERNATIONAL AUTOMOTIVE MATERIALS CONFERENCE, 2000, Cologne.

DALLY, J.W; RILEY, W.F. **Experimental Stress Analysis**. 4.ed. McGraw-Hill Inc, 1991. 672p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Anuário Estatístico das Rodovias Federais 2007**. Brasília, 2007. 570p. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/estatisticas-de-acidentes/anuario-2007.pdf>>. Acesso em nov. 2009

DIETER, G. E. **Metalurgia Mecânica**. 2.ed. Guanabara, 1981. 656p.

DIMAS, D. M.; SOARES, C. G. **Estudo experimental e numérico de vigas encastradas sujeitas a impacto a meio vão**. Disponível em: <http://www-ext.lnec.pt/APAET/pdf/Rev_12_A2.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2008.

DONALD, F. Y. Basic Principles and Concepts of Model Analysis. **Experimental Mechanics**, USA, v. 11, p. 325-336, abr. 1971.

DOWLING, N. E. **Mechanical behaviour of materials**. Michigan: Prentice-Hall, Inc, 1993. 773p.

EDWARDS *et al.* The Essential Requirements for Compatible Cars in Front Collisions. In: BACKAITIS, Stanley H. **Vehicle Compatibility in Automotive Crashes**. USA: Society of Automotive Engineers, Inc, 2005. cap. 3, p. 83-91.

FILHO, A. F. **Elementos finitos - A base da tecnologia CAE - Análise dinâmica**. 1.ed. São Paulo: Érica, 2005. 304p.

FREI *et al.* **Vehicle Structural Crashworthiness With Respect to Compatibility in Collisions**. SAE, 1999.

GABLER, H.C; HOLLOWELL, W.T. **The Crash Compatibility of Cars and Light Trucks.** Disponível em:

<<http://www.me.vt.edu/gabler/research/research-compatibility.htm>>.

Acesso em: 18 abr. 2007.

GERE, J. M. **Mecânica dos Materiais**. 5. ed. São Paulo: Thomson, 2003. 698 p.

GOLDSMITH, W. **The Theory and Physical Behaviour of Colliding Solids**. Courier Dover Publications, 1960. 396 p.

HAENCHEN *et al.* Feasible Steps Towards Improved Crash Compatibility. In: BACKAITIS, Stanley H. **Vehicle Compatibility in Automotive Crashes**. USA: Society of Automotive Engineers, Inc, 2005. cap. 1, p. 3-21.

HUEBNER *et al.* **The finite element method for engineers**. Nova Iorque: Wiley-IEEE, 2001. 720p.

JONES, N. **Structural Impact**. Cambridge University Press, 1997. 575p.

JONES, N. Several Phenomena in structural impact and structural crashworthiness. **European Journal of Mechanics**, Liverpool, v. 22, p. 639-707, jun. 2003.

JUNIOR, A. D. M; WALBER, M; ITURRIOZ, I. Avaliação de diferentes metodologias de análise de estruturas de barras submetidas a impacto contra um obstáculo rígido. **Mecânica Computacional**. Argentina, v. 25, p. 667-685.

KANG, T.J; KIM, C. Impact Energy Absorption Mechanism of Largely Deformable Composites with Different Reinforcing Structures. **Fibers and Polymers**, Coréia, v.1, n.1, p. 45-54, set. 2000.

KARAGIOZOVA, D.; ALVES, M. Transition from progressive buckling to global bending circular shells under axial impact—Part I: Experimental and numerical observations. **International Journal of Solids and Structures**, USA, v. 41, n.5-6, p. 1565-1580, mar. 2004.

KARAGIOZOVA, D.; JONES, N. Dynamic elastic-plastic buckling phenomena in a rod due to axial impact. **International Journal Impact Engineering**, USA, v. 18, n.7-8, p. 919-947, dez. 1996.

KARAGIOZOVA, D.; JONES, N. On the mechanics of the global bending collapse of circular tubes under dynamic axial load—Dynamic buckling

transition. **International Journal Impact Engineering**, USA, v. 35, n.5, p. 397-424, abr. 2007.

LANCASTER, J. F. **Metallurgy of Welding**. 6.ed. Woodhead Publishing Limited, 1999. 446p.

LANGSETH, M; HOPPERSTAD, O. S. Static and dynamic axial crushing of square thin-walled aluminum extrusion. **International Journal Impact Engineering**, USA, v. 18, n.7-8, p. 949-968, dez. 1996.

LUND *et al.* Crash Compatibility Definitions. In: BACKAITIS, Stanley H. **Vehicle Compatibility in Automotive Crashes**. USA: Society of Automotive Engineers, Inc, 2005. cap. 1, p. 22-27.

MARTINS, S. M.; LUCENA, S. E. Instrumentação de um Pêndulo Tipo Charpy. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E MATERIAIS. 17., 2006, Foz do Iguaçu. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/17cbecimat/resumos/17cbecimat-104-004.pdf>>.

Acesso em dez. 2008.

MECHWORKS CORPORATION. Centro de Treinamento. Manual de Treinamento Profissional CosmosWorks 2005, Rio de Janeiro, 2005.

COSMOSWORKS, versão 2007: Guia do Usuário: Mechworks Corporation.

MEDINA, Heloisa V. de. Desenvolvimento de novos polímeros: uma ferramenta para os avanços na indústria automobilística. **Plástico Industrial**, ano IV, n. 48, p. 108-120, ago/2002.

MERIAM, J.L; KRAIGE, L.G. Trabalho e Energia. In: **Mecânica Dinâmica**. Tradução Fernando Ribeiro da Silva e Mauro Speranza Neto. 5.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2004. p. 103-105.

MEYERS, M. A. **Dynamic Behavior of Materials**. 2. ed. Wiley-IEEE, 1994. 688 p.

NÓBREGA, M. J. R. **Estudo do Comportamento Mecânico de Materiais Metálicos Submetidos a Diferentes Estratégias de Controle**. 2009 (A defender). Tese. Doutorado em Engenharia Mecânica – Pontifícia Universidade Católica – PUC, Rio de Janeiro 2009.

NORTON, R. L. **Projetos de Máquinas: Uma Abordagem Integrada**. 2. Ed. São Paulo: Artmed, 2000. 932p.

PAUL *et al.* **Vehicle Crashworthiness and Occupant Protection.**

Disponível em:

<http://www.autosteel.org/AM/Template.cfm?Section=Automotive_Safety1>. Acesso em: 30 abr. 2007.

QIAO, J.S; CHEN, J.H; CHE, H.Y. Crashworthiness assessment of square aluminum extrusions considering the damage evolution. **Thin-Walled Structures**, China, v. 44, n.6, p.692-700, jun.2006.

REID, J. D. Crashworthiness of Automotive Steel Midrails: Thickness and Material Sensitivity. **Thin-Walled Structures**, USA, v. 26, n.2, p.83-103, out. 1996.

SÁNCHEZ, C. A. A. **Estudo de Impacto Usando Elementos Finitos e Análise Não Linear.** 2001. 129 f. Dissertação. Mestrado em Engenharia Mecânica – Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Paulo, 2001.

SILVA, F.A. **Tenacidade de materiais compósitos não convencionais.** 2004. 259 f. Dissertação. Mestrado em Engenharia Civil – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC, Rio de Janeiro, 2004.

SMERD *et al.* High strain rate tensile testing of automotive aluminum alloy sheet. **International Journal of Impact Engineering**, Canada, v.32, n.1-4, p.541-560, jun. 2005.

SOUZA, S. A. **Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos.** 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1979. 239 p.

STRONGE, W. J. **Impact Mechanics.** Cambridge University Press, 2004. 304 p.

TEIXEIRA, Michelly. Venda de Veículos no 1.º semestre é recorde, aponta ANFAVEA. **O ESTADO DE SÃO PAULO**, São Paulo, 06 jul.2009. Disponível em <<http://www.estadao.com.br/noticias/economia,venda-de-veiculos-no-1-semester-e-recorde-aponta-anfavea,398502,0.htm>>.

Acesso em: 15 jul. 2009.

YOUNG, D.F. Basic Principles and Concepts of Models Analysis. **Experimental Mechanics**, USA, v. 11, n. 4, p. 325-336, abr. 1971.

APÊNDICE A

ROTINA UTILIZADA PARA SIMULAÇÃO DE ELEMENTOS FINITOS

#####

#####

! Modelo de Elementos Finitos para simulação de impacto

! Versão 1.0 - 02 / 05 / 2009

!

!

! GILVANIA TERTO ALVES

!

#####

#####

FINISH ! Make sure we are at BEGIN level

/CLEAR,NOSTART ! Clear model since no SAVE found

~PARAIN,'IMPACTO','x_t',,SOLIDS,0,0

/FACET,NORML

/TITLE,Modelo de Elementos Finitos para simulação de impacto

NUMMRG,ALL, , , ,

/PMETH,OFF,0

KEYW,PR_SET,1

KEYW,PR_STRUC,1

KEYW,PR_THERM,0

KEYW,PR_FLUID,0

KEYW,PR_ELMAG,0

KEYW,MAGNOD,0

KEYW,MAGEDG,0

KEYW,MAGHFE,0

KEYW,MAGELC,0

KEYW,PR_MULTI,0

KEYW,PR_CFD,0

KEYW,LSDYNA,1

! DADOS DE ENTRADA!

VulomeCutelo = 1.5971e-4

MassaCutelo = 48.3

DensidadeEquivalente = MassaCutelo / VulomeCutelo

VelocidadeInicial = 3.7

TamanhoElementoCutelo = 0.008

TamanhoElementoAluminio = 0.006

TempodeAnalise = 0.05

ModeloMaterial = 1 !1 - Plástico
 !2 - Visco-Elástico Dados do A356

!TIPO DE ELEMENTO !

ET,1,SOLID164 !Definição do tipo de elemento para ALUMINIO
 KEYOPT,1,1,2
 KEYOPT,1,5,0
 ET,2,SOLID164 !Definição do tipo de elemento para CUTELO

!PROPRIEDADES DO MATERIAL!

!Aluminio
 *if,ModeloMaterial,eq,1,then
 MP,DENS,1,2750
 MP,EX,1,69e9
 MP,NUXY,1,0.33
 TB,BISO,1,,,,
 TBDAT,1,329e6
 TBDAT,2,1e7
 *endif

 *if,ModeloMaterial,eq,2,then !Dados do alumínio A356
 MP,ex,1,75e9 ! Pa
 MP,nuxy,1,.33 ! No units
 MP,dens,1,2750 ! kg/m3

 TB,PLAW,,,,4
 TBDATA,1,1.002 ! k (MPa)
 TBDATA,2,.7 ! m
 TBDATA,3,.32 ! n
 TBDATA,4,5.0 ! Initial strain rate (s-1)
 *endif

 *endif

!Cutelo - Material Rígido
 EDMP,RIGI,2,6,7
 MP,DENS,2,DensidadeEquivalente
 MP,EX,2,210E9
 MP,NUXY,2,0.33

! GERAÇÃO DA MALHA!

```

!Malha do corpo de prova
vsel,s,loc,y,0,0.1389250000      !Seleção do volume do corpo de prova
TYPE, 1
MAT, 1
REAL,
ESYS, 0
SECNUM,
ESIZE,TamanhoElementoAluminio,0,      !Tamanho do elemento
VSWEEP,ALL
ALLSEL

```

```

!Malha do cutelo
vsel,s,loc,y,0.138925,1000      !Seleção do volume do corpo de prova
TYPE, 2
MAT, 2
REAL,
ESYS, 0
SECNUM,
ESIZE,TamanhoElementoCutelo,0,      !Tamanho do elemento
VSWEEP,ALL
ALLSEL

```

```

/NUMBER,1
/PNUM,MAT,1
/REPLOT

```

! GERAÇÃO DAS PARTES!

```
EDPART,CREATE
```

!CARREGAMENTO!

```

!1) Velocidade inicial
EDPV,VELO,2,0,-VelocidadeInicial,0,0,0,0,

```

```

!2) Engaste das bases do corpo de prova
NSEL,S,LOC,Y,0      !Seleção dos nós da base para
                    !fixação do corpo de prova
D,ALL,ALL
ALLSEL

```

```

!3) Aceleração da gravidade
ACEL,0,9.81

```

!CONTATO!

```

ASEL,S,,52
ASEL,A,,57

```

```

ASEL,A,,64
ASEL,A,,73
NSLA,S,1
CM,CONTATO,NODE

```

```

ASEL,S,,27
ASEL,A,,30
ASEL,A,,41
ASEL,A,,48
NSLA,S,1
CM,TARGET,NODE

```

```

EDCGEN,NTS,CONTATO,TARGET,0.13,0.13,0,0,0,, , ,0,10000000,0,0
!EDCGEN,STS,2,1,0.13,0.13,0,0,0,, , ,0,10000000,0,0

```

! SOLUÇÃO!

```

ALLSEL
/SOL
TIME,TempodeAnalise,
solve

```

MODELO NUMÉRICO UTILIZADO NO PROGRAMA ANSYS LS-DYNA

