

## Bibliografia

- 1 Portal Transporta Brasil. **Publicação Eletrônica**. Brasil Atinge 22 mil km de Malha Dutoviária e Passa para 16º no Ranking Mundial, julho, 2010.  
<http://www.transportabrasil.com.br/2010/07/brasil-atinge-22-mil-km-de-malha-dutoviaria-e-passa-para-16%C2%BA-no-ranking-mundial>
  
- 2 THOMAZI, C. NETO, F. **Análise das Deformações em Tubos de Aço Reparados com Compósitos Tipo Carbono/Epóxi**. Departamento de Engenharia Mecânica – UnB/FT/ENM. Revista Matéria, v. 11, n. 3, pp. 278 – 286, 2006.
  
- 3 ALEXANDRE, C. **Strain –Based Design Methods for Composite Repair Systems**. Stress Engineering Services, Inc. 7<sup>th</sup> International Pipeline Conference, 2008, Calgary, Alberta, Canada
  
- 4 PASSALACQUA, R **Análise de Reparos Estruturais Compósitos Usando o Método dos Elementos Finitos**. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Área: Mecânica dos Sólidos e Projeto Mecânico. Dissertação de Mestrado, 2009.
  
- 5 TOUTANJI H., DEMPSEY S. **Stress Modeling of Pipelines Strengthened with Advanced Composites Materials**. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alabama in Huntsville. Thin-Walled Structures. Vol. 39 pp. 153–165, 2001
  
- 6 CALIRI JUNIOR, M., TITA, V., MASSAROPPI JUNIOR, E. **Estudo da Distribuição de Tensões em Tubos de Materiais Compósitos**. Universidade de São Paulo. Revista Pesquisa e Tecnologia - Minerva. Publicação Eletrônica.

[http://www.fipai.org.br/Minerva%2006\(01\)%2002.pdf](http://www.fipai.org.br/Minerva%2006(01)%2002.pdf)

- 7 MENICONI, J., FREIRE, J., VIEIRA, R., DINIZ, J. Reparação de Defeitos Internos e Externos em Dutos através de Mangas Externas de Materiais Compostos Fornecidas pela Strongback. **Publicação Eletrônica**, junho, 2002.  
<http://www.optec.com.br/docs/Relatorio%20Strongback.pdf>
  
- 8 CASTELLARES, G. **Reparo de Dutos Danificados Utilizando Materiais Compósitos**. Cempes/Petrobrás. 6º Coteq, Conferência Sobre Tecnologia de Equipamentos, Salvador, agosto, 2002
  
- 9 FUJIYAMA, R., SOUSA, A., BASTIAN, F. **Uso de Materiais Compósitos em Reparos de Dutos de Aço**. Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais – COPPE, 2o Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo & Gás, junho, 2003.
  
- 10 SOBRINO, L. **Desenvolvimento de Matriz Polimérica para Material Compósito Visando o Reforço de Dutos de Aço**. Engenharia Metalúrgica e de Materiais, 2005. Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE
  
- 11 BAEK, J., KIM, Y. Comparative Study for Various Repair Methods of in-service Pipeline Using Full Scale Burst Test. Research and Development Division, Korea Gas Corporation. **Publicação Eletrônica**, 23<sup>rd</sup> World Gas Conference, Amsterdam 2006.  
<http://www.igu.org/html/wgc2006/pdf/paper/add10092.pdf>
  
- 12 ALEXANDER, C. OCHOA, O. **Extending onshore pipeline repair to offshore steel risers with carbon-fiber reinforced composites**. International Journal of Composite Structures. Vol. 92 pp. 499-507, 2010.
  
- 13 MENICONI, L., VIEIRA, R., FREIRE, J., DINIZ, J. CASTRO, J. **Análise do Desempenho de Sistemas de Reparo de Dutos por Materiais Compostos**. 5º Coteq, Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos, Salvador, agosto 2000.

- 14 ROSAS, M. **Análise de Dutos com Perda de Espessura Reparados com Multicamadas Metálicas Coladas**. Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, maio 2006.
- 15 DUEL, J., WILSON, J., KESSLER, M. **Analysis of a Carbon Composite Overwrap Pipeline Repair System**. **International Journal of Pressure Vessels and Piping**. Vol. 85 pp. 782-788, November 2008.
- 16 ROSAS, M., VIEIRA, R., FREIRE, J. **Measuring the Remaining Strength Factor of a Steel-Adhesive-Repair System**. Proceedings of IPC2006. 6th International Pipeline Conference, September 25-29, 2006, Calgary, Alberta, Canada.
- 17 Temporary/permanent pipe repair – Guidelines. Prepared by AEA Technology Consulting for the Health and Safety Executive. **Publicação Eletrônica**  
<http://www.shellnews.net/brent/brent2.pdf>
- 18 **ISO/TS 24817** – Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Composite repair for pipework – Qualification and design, installation, testing and inspection. First edition, 2006.
- 19 **API 570** Piping Inspection Code: In-service Inspection, Repair, and Alteration of Piping Systems, Third Edition. American Petroleum Institute.
- 20 **ASME B31.4** Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids.
- 21 **ASME B31.4** - 1992 Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids
- 22 KIEFNER, J., BRUCE, W., STEPHENS, D. **Pipeline Repair Manual**. PRCI, Technology for Energy Pipelines. 1994.

- 23 **ANSI/ASME B31G-1991** (R2004) Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines: a Supplement to B31, Code for Pressure Piping
- 24 BRUCE, W., MISCHLER, H., KIEFNER, J. **Repair of Pipelines by Direct Deposition of Weld Metal**. American Gas Association, Contract PR-185-9110, 1993.
- 25 **ANSI/API Spec 5L**, Specification for Line Pipe, Forty-fourth Edition, Includes Errata and Addendums 1 (2009) and 2 (2010)
- 26 MENICONI, L., FRAINER, V., SOUZA FILHO, B., PAES, M., PATRICIOS, W. **Comportamento Mecânico de Luvas Metálicas Pre-Tensionadas para Reparo de Dutos Terrestres**. Rio Pipeline Conference and Exposition 2005.
- 27 ESCOE, A. **Piping and Pipelines Assessment Guide**. Editora Elsevier Inc. 2006.
- 28 PALMER-JONES, R., PAISLEY, D. **Repairing Internal Corrosion Defects in Pipelines**. 4th International Pipeline Rehabilitation and Maintenance Conference, Prague, September 2000
- 29 OTEGUI, J., CISILINO, A., RIVAS, A., CHAPETTI, M., SOULA, G. **Influence of multiple sleeve repairs on the structural integrity of gas pipelines**. International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol 79 pp. 759-765, 2002
- 30 QUINN, J. **Composites Design Manual**. Technomic Publishing Company, Inc. Third Edition, August, 1999.
- 31 KNOX, E., COWLING, M., HASHIM, S. **Creep analysis of adhesively bonded connections in GRE pipes including the effect of defects**. Glasgow

Marine Technology Centre. Journal Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. Vol. 31 pp. 586-590, 2000.

- 32 CASTRO, J., MEGGIOLARO, M.. **Fadiga Técnicas e Práticas de Dimensionamento Estrutural sob Cargas Reais de Serviço**. Volume I – Iniciação de Trincas. 2009.
- 33 Clock Spring, Application Note Durability. **Publicação Eletrônica**.  
<http://www.clockspring.com/PDF/Durability.pdf>
- 34 THOMAZI, C. NETO, F. Análise das Deformações em Tubos de Aço Reparados com Compósitos Tipo Carbono/Epóxi. Revista Matéria. Vol.. 11, n. 3, pp. 278 – 286, 2006. **Publicação Eletrônica**  
<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10821>
- 35 WILSON, J., KESSLER, M., WALKER, R., DUELL, J., KADAKIA, D., SOUSA, N. **Fatigue Testing of Steel Pipes Repaired with Carbon/Epoxy Composites**. Rio Pipeline 2005 Conference and Exposition.
- 36 HIPOLITO, F., BONELLI, C., SUAREZ, J. Comportamento na Fratura de Laminação do Epóxi / Fibra de Vidro: Efeito da Exposição à Radiação Gama. **Publicação Eletrônica**  
[http://www.abmbrasil.com.br/congresso/2006/integras\\_resumos/10591.doc](http://www.abmbrasil.com.br/congresso/2006/integras_resumos/10591.doc)
- 37 **ASME PCC-2 – Non-Metallic Composite Repair Systems for Pipelines and Pipework: Low Risk Applications**. ASME Post Construction SC-Repair & Testing
- 38 ROSAS, M., VIEIRA, R., FREIRE, J. **Mesuring the Remaining Strength Factor of a Steel-Adhesive-Repair System**. Experimental Techniques. Vol. 31 pp 64-72, 2007.
- 39 LIMAVERDE FILHO, A., DA SILVA, A., SAMPAIO, E., BRAGA, F. **Influencia do Tratamento Superficial na Resistência Mecânica de Juntas**

**de Cisalhamento Coladas.** IV Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2006.

- 40 **Adherencia e Adesivos**, Volume 2, R. Houwink e G. Salomon, Enciclopédia de la Química Industrial, Tomo 4
- 41 **Handbook of Adhesives and Sealants**. Edwar M. Petrie, editorial McGraw Hill Handbooks, 2000.
- 42 **ASTM D 2651** - Standard Guide for Preparation of Metal Surfaces for Adhesive Bonding, 1995
- 43 DELOLLIS, N. **Adhesives for Metals** - Theory and Technology. Industrial Press Inc., New York 1970.
- 44 RODRIGUES, F., AZCUNAGA, A. **Resistencia de Materiais**. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid, 1997
- 45 FREIRE, J. **Análise da Integridade de Dutos** – Noções Básicas de Engenharia de Dutos 2004.
- 46 SOUZA, R., FREIRE, J., BENJAMIN, A. **Avaliação estrutural de dutos com defeitos de corrosão reais. Dissertação de Mestrado** - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, Rio de Janeiro, 2003
- 47 DINIZ, J. **Resistência de Dutos com Defeitos Usinados**. Dissertação de Mestrado - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, Rio de Janeiro, 2002.
- 48 ASKELAND, D. **Ciência e Ingeniería de los Materiales**. 3ra. edição, Universidad de Missouri-Rolla. International Thomson Editores, 2008.

- 49 ROSAS, M., VIEIRA, R., FREIRE, J. **Use of Small-Scale Pipeline Specimens to Test a Steel-Adhesive Repair System.** Experimental Techniques. Vol. 31 pp. 64-72, 2007.
- 50 DIAS, J., GRION, J., LIMA, L., SOARES JUNIOR, N., VIEIRA, R. **Análise do desempenho de um reparo em duto corroído utilizando multicamadas metálicas coladas.** Projeto de graduação 2004. Cefet – Rio de Janeiro.
- 51 DINIZ, J., Vieira, R., CASTRO, J., BENJAMIN, A., FREIRE, J. **Stress and Strain Analysis of Pipelines with Localized Metal Loss.** Experimental Mechanics. Vol. 46 pp. 765–775, 2006.
- 52 SOUZA, R., BENJAMIN, A., VIEIRA, R., FREIRE, J., CASTRO, J. **Rupture Test of Pipeline Segments Containing Long Real Corrosion Defects.** Experimental Techniques. Vol. 31 pp 13-51, 2007.
- 53 PERRUT, V. **Ensaio para Estudo da Durabilidade de Reparos de Material Compósito em Dutos** – Programa Tecnológico de Dutos PRODUT. CENPES PETROBRAS, 2010.
- 54 **ASTM D2992** - 06 Standard Practice for Obtaining Hydrostatic or Pressure Design Basis for "Fiberglass" (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe and Fittings
- 55 **ASME STP-PT-005** Design Factor Guidelines for High-Pressure Composite Hydrogen Tanks
- 56 Catalogo do produto, Reforço Estrutural com Fibra de Carbono, RogerTec, Rua Correia de Araújo, 131, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro - RJ, Brasil. **Publicação Eletrônica**  
<http://www.rogertec.com.br/Produtos/mfc.pdf>

- 57 **Catalogo do produto** REN LAN LY 1553 BR, Huntsman, distribuído por Maxepoxi, rua Plácido Vieira, 420 - Santo Amaro - CEP: 04754-080 - São Paulo – SP, Brasil.
- 58 Composites Analysis in ANSYS - Tutorial Ansys. **Publicação Eletrônica**  
<http://www.ansys.com/assets/tech-briefs/ansys-composites-capability.pdf>
- 59 **ASME B31.8** Gas Transmission & Distribution Piping Systems (2003)
- 60 COSTA, L. **Avaliação do Envelhecimento de Reparos Estruturais Constituídos de Materiais Compósitos. Dissertação de Mestrado**, PUC-Rio, agosto 2010.
- 61 DA COSTA-MATOS, H., REIS, J., SAMPAIO, R., PERRUT, V. **Simple Methodology to Repair Localized Corrosion Damage in Metallic Pipelines with Epoxy Resins**. Solid Mechanics in Brazil 2009. Published by ABCM.
- 62 SHIELDS, J. **Adhesive Bonding**. Publish for the Design Council the British Standards Institution, and the Council of Enegineering Institutins by Oxford University Press, 1974.
- 63 VALENTINI, M. **Avaliação dos Métodos Semi-Empíricos para Análise de Dutos Corroídos Subsidiado pelo Método dos Elementos Finitos**. Dissertação de mestrado, PUC/ Paraná, Curitiba, Agosto, 2006.
- 64 AVILA, M. **Análise de Integridade Estrutural de Dutos com Mossas Simples**. Dissertação de Mestrado - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, Rio de Janeiro, 2005



## Anexo A - Adesivos

Tabela A.1 Adesivos epóxis encontrados na indústria

Epoxy adhesives		Form	Curing conditions	Properties	Applications
Adhesive tradename	Adhesive supplier				
Araldite AV138 + HV998	Ciba-Geigy	2 part; paste	8 hrs @ 77F (1 hr @ 77F)	Shore D89	General purpose
EA 934	Hysol	2 part; paste	6 days @ 77F (40 min @ 77F)	Service temp: -423 to +350 1000 psi Resists most fluids	General purpose
Eccobond 45	Emerson and Cuming	2 part; paste	24 hrs @ 77F (3 hrs @ 77F)	Controllable flexibility and hardness through catalyst ratio Good shock and peel 3000 psi	General purpose
104 A/B	Furane	2 part; paste	3 days @ 77F (20 min @ 77F)	Good gap filling Shore D79 1500-2500 psi	Concrete patch, sealant
Scotchweld 2216 B/A	3M	2 part; paste	7 days @ 75F (1 hr @ 77F)	Service temp: -67 to +300 Shore D65 400-4930 psi High flexibility and peel	General purpose
Permabond E01	Permabond International	2 part; paste	24 hrs @ 77F (3 min @ 77F)	Fast set Cures at low temperature Color change on cure Shore D80	General purpose
Tra Bond 2101	Tra Con	2 part; heavy liquid	24 hrs @ 77F (30 min @ 77F)	Service temp: -76 to +248F	Automotive and aerospace
7251	Furane	1 part; paste	5 min @ 320F	Thermally conductive and electrical insulating	Electronics industry
Magnobond 6297	Magnolia	1 part; paste	60 min @ 250F	High service temperature 1280-2790 psi	Bonding fiberglass and plastics
Scotchweld 2214 Regular	3M	1 part; paste	40 min @ 250F	Aluminum filled High strength Mil-A-132 Ty1 Cl3	General purpose
ESP308	Permabond International	1 part; paste	45 min @ 300	Service temp: -65 to +350F 3800-6000 psi Free flowing	General purpose
Meltbond 1137-1	BASF/Narmco	Supported film	50 min @ 250F @ 45 psi	Good tack High peel	Commercial aircraft
Plastilok 660	B. F. Goodrich	Supported film	1 hr @ 250F @ 50 psi	950-1470 psi Low exotherm	Aircraft
Cybond FM 1000	American Cyanamid	Unsupported film	1 hr @ 350F @ 40 psi	2900-6600 psi High peel 130% elongation	General purpose
AF-191	3M	Supported film	1 hr @ 350F @ 45 psi	High shear and peel High strength @ 350F Mil-A-132A Ty2	Aerospace

Tabela A.2 Adesivos epóxis híbridos

Adhesive tradename	Adhesive supplier	Form	Curing conditions	Properties	Applications
<b>Epoxy phenolic</b> Y-390PG	Sterling	1 part; solvent	3 min @ 325F	Chemical resistance Pressure and vacuum resistance UL 1446	Insulating varnish and adhesive
Araldite XUGY281 + Polyamine	Ciba-Geigy	2 part; paste	18 hrs @ 68F	Flexibility Chemical resistance	Industrial storage tanks Sealant
<b>Epoxy nylon</b> EA 951	Dexter	Supported and unsupported film	60 min @ 350F	3300–6500 psi on Al High peel and shear strength Mil-A-132 Ty1 C11	Aerospace industry
<b>Epoxy urethane</b> 109-43	Creative Materials	1 part; thick paste	4 min @ 266F	Silver filled for electrical conductivity Service temp: –67 to 392F	Attaching SMDs to flex and rigid printed circuit boards
Stycast 2760	Emerson and Cuming	2 part; paste	24 hr @ 77F (1 hr @ 77F)	Shore D82 Low viscosity	Bonding to vinyl and other plastics
Dolphin 6099	Dolphin	1 part; sealant	2 days @ 77F	Air curing and one part Service temp: –20 to 200F	Anti-corrosion sealant for metals and plastics
XMH 8516	Ciba-Geigy	2 part; paste	16 hrs @ 77F (45 min @ 77F)	Shore D67 Flexibility and chemical resistance	
EP72	Master Bond	2 part; paste	18 hrs @ 75F (37 min @ 77F)	Service temp: –67 to 300F Flexible Will withstand temperature cycling High impact	

Tabela A.3 Adesivos anaeróbicos, acrílicos modificados e poliuretanos.

Adhesive tradename	Adhesive supplier	Form	Curing conditions	Properties	Applications
<b>Anaerobic</b> Retaining Compound 620	Loctite	1 part	24 hrs @ 77F or 30 min @ 250F	Solvent resistant RT or heat cure Service temp: –65 to 450F 3000–3500 psi	
Speed bonder 325	Loctite	1 part	15 min @ 250F	Solvent resistant Tough Accelerator cure available 2000–6000 psi	
Permalok HH120	Permabond International	1 part	8 hrs @ 77F	Service temp: –65 to 300F Medium viscosity	Bolt and stud locking
<b>Acrylic</b> Versilok 204	Lord	2 part or 1 part plus accelerator	2 hr @ 77F (13 min @ 77F)	Service temp: –40 to 250F Semi-flexible Impact resistant	General purpose
M890	Bostik	1 part plus accelerator	4 min @ 77F	Service temp: –65 to 250F	General purpose
Depend 330	Loctite	1 part	1 min @ 77F	Service temp: –65 to 250F Tough, flexible High peel, impact strength	
EA9366	Dexter	2 part paste or 1 part plus accelerator	10 hrs @ 77F	High peel and shear 1000–3500 psi	General purpose
<b>Polyurethane</b> 22005	Swift	1 part; moisture cure	16 hrs @ 70F		Lamination of clear plastic or film
Pligrip 6600	Ashland	2 part paste	Differing grades for different cures	High strength Resistant to elevated temperature and most fluids	RV, marine, industrial applications
7070	Bostik	2 part; paste	8 hrs @ 77F	Flexible Chemical resistance	General purpose, textiles, upholstery
Conathane EN-4	Conap	2 part; paste	7 days @ 77F (30 min @ 77F)	Hydrolytic stability Thermal shock resistance Low temperature elasticity	Electrical industry, underwater
Scotchweld 3532 B/A	3M	2 part; paste	2 days @ 75F (9 min @ 65F)	Very fast cure Tough; impact resistant Shore D65 250–2390 psi	

Tabela A.4 – Propriedades de adesivos estruturais utilizados na colagem de metais

Adhesive	Service temp, °F		Shear strength, lb/in. <sup>2</sup>	Peel strength	Impact strength	Creep resistance	Solvent resistance	Moisture resistance	Type of bond
	Max	Min							
Epoxy-amine . . . . .	150	−50	3,000–5,000	Poor	Poor	Good	Good	Good	Rigid
Epoxy-polyamide . . . . .	150	−60	2,000–4,000	Medium	Good	Good	Good	Medium	Tough and moderately flexible
Epoxy-anhydride . . . . .	300	−60	3,000–5,000	Poor	Medium	Good	Good	Good	Rigid
Epoxy-phenolic . . . . .	350	−423	3,200	Poor	Poor	Good	Good	Good	Rigid
Epoxy-nylon . . . . .	180	−423	6,500	Very good	Good	Medium	Good	Poor	Tough
Epoxy-polysulfide . . . . .	150	−100	3,000	Good	Medium	Medium	Good	Good	Flexible
Nitrile-phenolic . . . . .	300	−100	3,000	Good	Good	Good	Good	Good	Tough and moderately flexible
Vinyl-phenolic . . . . .	225	−60	2,000–5,000	Very good	Good	Medium	Medium	Good	Tough and moderately flexible
Neoprene-phenolic . . . . .	200	−70	3,000	Good	Good	Good	Good	Good	Tough and moderately flexible
Polyimide . . . . .	600	−423	3,000	Poor	Poor	Good	Good	Medium	Rigid
Polybenzimidazole . . . . .	500	−423	2,000–3,000	Poor	Poor	Good	Good	Good	Rigid
Polyurethane . . . . .	150	−423	5,000	Good	Good	Good	Medium	Poor	Flexible
Acrylate acid diester . . . . .	200	−60	2,000–4,000	Poor	Medium	Good	Poor	Poor	Rigid
Cyanoacrylate . . . . .	150	−60	2,000	Poor	Poor	Good	Poor	Poor	Rigid
Phenoxy . . . . .	180	−70	2,500	Medium	Good	Good	Poor	Good	Tough and moderately flexible
Thermosetting acrylic . . . . .	250	−60	3,000–4,000	Poor	Poor	Good	Good	Good	Rigid

## Anexo B – Formulações do Modelo Analítico

### Reparo de Chapas Metálicas Coladas

```

clear all;
clc
disp('_____');
disp('ENTRADA DE DADOS:');
disp(' ');
disp(' ');

r=input('entre o valor do raio interno mm:');
t=input('entre o valor da espessura de parede mm:');
d=input('entre o valor da profundidade do defeito mm:');
e=input('entre o valor da espessura final de reparo mm:');
Ed=input('entre o valor do modulo de elasticidade do duto MPa:');
Er=input('entre o valor do modulo de elasticidade da chapa metálica MPa:');
Ec=input('entre o valor do modulo de elasticidade do adesivo MPa:');
ud=input('entre o valor do coeficiente de Poisson do duto:');
ur=input('entre o valor do coeficiente de Poisson da chapa metálica:');
uc=input('entre o valor do coeficiente de Poisson do adesivo:');
upd=0.5; %coeficiente de Poisson do duto no regime plástico
upr=0.5; %coeficiente de Poisson da chapa metálica no regime plástico
upc=uc; %coeficiente de Poisson do adesivo no regime plástico
Syd=input('entre o valor do limite de escoamento do duto MPa:');
Syr=input('entre o valor do limite de escoamento da chapa metálica MPa:');
Syc=input('entre o valor do limite de escoamento do adesivo MPa:');
Sud=input('entre o valor da resistência tração do duto MPa:');
Sur=input('entre o valor da resistência a tração da chapa metálica:');
eud=input('entre o valor da deformação máxima do duto mm/mm:');
eur=input('entre o valor da deformação máxima da chapa metálica m/mm:');
Prep=input('entre o valor da pressão da linha no momento da instalação do reparo MPa:');
eyd=Syd/Ed; %deformação de escoamento do duto
eyr=Syr/Er; %defotmação de escoamento da chapa metálica
Epd=(Sud-Syd)/(eud-eyd); %modulo do duto na região plástica
Epr=(Sur-Syr)/(eur-eyr); %modulo da chapa metálica na região plástica
Epc=1; %modulo do adesivo na região plástica
C=1-d/t;
R=1;

%Q - Variaveis

den1=e+t*(1-C);

um=(ur*e+uc*t*(1-C))/den1;
upm1=(upr*e+uc*t*(1-C))/den1;
upm2=(upr*e+upc*t*(1-C))/den1;

den2=(r+t*C)^2-r^2;
a1=2*r^2/((r+t*C)^2-r^2);
a2=((r+t*C)^2+r^2)/((r+t*C)^2-r^2);
a3=((r+t+e)^2+(r+t*C)^2)/((r+t+e)^2-(r+t*C)^2);
a4=2*(r+t*C)^2/((r+t)^2-(r+t*C)^2);
a5=((r+t)^2+(r+t*C)^2)/((r+t)^2-(r+t*C)^2);
a6=((r+t+e)^2+(r+t)^2)/((r+t+e)^2-(r+t)^2);

Em=(Er*e+Ec*t*(1-C))/(e+t*(1-C));
Em1=(Epr*e+Ec*t*(1-C))/(e+t*(1-C));
Em2=(Epr*e+Epc*t*(1-C))/(e+t*(1-C));

%S - Outras Variaveis (reparo plastifica primeiro)

A=a1/(a2-ud+(Ed/Em)*(a6+um));
B=a4/(a5-uc+(Ec/Er)*(a6+ur));
A1=a1/(a2-ud+(Ed/Em1)*(a6+upm1));
B1=a4/(a5-uc+(Ec/Epr)*(a6+upr));
A2=a1/(a2-upd+(Epd/Em1)*(a6+upm1));
B2=a4/(a5-upc+(Epc/Epr)*(a6+upr));
A3=a1/(a2-upd+(Epd/Em2)*(a3+upm2));

%S - Outras Variaveis (duto plastifica primeiro)

```

```

M=a1/(a2-ud+(Ed/Em)*(a6+um)); %M=A
N=a4/(a5-uc+(Ec/Er)*(a6+ur)); %N=B
M1=a1/(a2-upd+(Epd/Em)*(a6+um));
N1=a4/(a5-uc+(Ec/Epr)*(a6+upr)); %N1=B1
M2=a1/(a2-upd+(Epd/Em1)*(a6+upm1)); %M2=A2
N2=a4/(a5-upc+(Epc/Epr)*(a6+upr)); %N2=B2
M3=a1/(a2-upd+(Epd/Em2)*(a3+upm2)); %M3=A3

%variaveis von Mises

vd=(1+ud^2-ud)^(1/2);
vr=(1+ur^2-ur)^(1/2);
vc=(1+uc^2-uc)^(1/2);
vpd=(1+upd^2-upd)^(1/2);
vpr=(1+upr^2-upr)^(1/2);
vpc=vc;

%agrupando variaveis geometricas: X (duto) Y (reparo) Z(adesivo)

X=r/(t*C);
Y=(r+t)/e;
Z=(r+t*C)/(t*(1-C));

% Calculo para un duto sem defeito e sem reparo
%-----

vM=(( (r+t/2)/t )^2+(1+(r+t/2)/(2*t))^2+((r+t/2)/(2*t))^2)^0.5 %fator de von mises

Prup=(Sud*2^0.5)/vM %pressao de falha
Pesc=(Syd*2^0.5)/vM %pressao de escoamento
Pproj=2*t*Syd*0.72/(2*r) %pressao de projeto segundo a ASME

%para graficar duto sem defeito e sem reparo
passo1=(Prup-0)/2;
Pn=0:passo1:Prup; % vetor de Pn (Pn=pressao no duto novo)
n1=length(Pn); % tamanho do vetor P
for i=1:n1
    Tdn(i,1)=Pn(i)*vM/2^0.5; %para graficar a tensao vM num duto novo
end

%calculo num duto com defeito sem reparo
%-----

Tsemrep=X*Prep*vd %tensao vM no defeito a uma pressao igual a Prep (pressao de
aplicacao do reparo)
Pysemrep=Syd/(X*vd) %pressao na que escoo um duto com defeito sem reparo
Pusenrep=Sud/(X*vd) %pressao na que falha um duto com defeito sem reparo

%Condicionales para saber quien plastifica primero

Pyd1=Prep+(Syd-(r*Prep*vd)/(t*C))*t*C/(r*(1-M)*vd);
Pyrl=Syr*e/((r+t)*A*B*vr)+Prep;

%Reparo Plastifica Primero
%-----
%-----
%-----

if Pyd1>=Pyrl;

%as equaciones a continuacao sao para introducir la condicao Tr_yd<Sur
Pyr=Prep+Syr/(Y*A*B*vr);
Pyd=Pyrl+(Syd-X*Prep*vd-X*(Pyr-Prep)*(1-A)*vd)/(X*(1-A1)*vd);
Tr_yd=Syr+Y*(Pyd-Pyr)*A1*B1*vpr;

% Condicao Tr_yd < Sur
%-----
%-----

if Tr_yd<Sur;

```

```

Pyr=Prep+Syr/(Y*A*B*vr)
Pyd=Pyr+(Syd-X*Prep*vd-X*(Pyr-Prep)*(1-A)*vd)/(X*(1-A1)*vd)
Pyc=Pyd+(Syc-Z*(Pyr-Prep)*A*(1-B)*vc-Z*(Pyd-Pyr)*A1*(1-B1)*vc)/(Z*A2*(1-B1)*vc)
Pud=Pyc+(Sud-Syd-X*(Pyc-Pyd)*(1-A2)*vpd*R)/(X*(1-A3)*vpd*R)
Pur=Pyc+(Sur-Syr-Y*(Pyd-Pyr)*A1*B1*vpr-Y*(Pyc-Pyd)*A2*B1*vpr)/(Y*A3*B2*vpr)
    if Pur>=Pud;
        Pfalha=Pud
    else Pur>Pur;
        Pfalha=Pur
    end

%para graficar
delta=50;
passo1=(Pyr-Prep)/delta;
P1=Prep:passo1:Pyr; % vetor de P1
n1=length(P1); % tamanho do vetor P1

for i=1:n1
    Td1(i,1)=X*Prep*vd+X*(P1(i)-Prep)*(1-A)*vd;
    Tr1(i,1)=Y*(P1(i)-Prep)*A*B*vr;
    Tc1(i,1)=Z*(P1(i)-Prep)*A*(1-B)*vc;
end

passo2=(Pyd-Pyr)/delta;
P2=Pyr:passo2:Pyd;
n2=length(P2);

for i=1:n2
    Td2(i,1)=X*Prep*vd+X*(Pyr-Prep)*(1-A)*vd+X*(P2(i)-Pyr)*(1-A1)*vd;
    Tr2(i,1)=Syr+Y*(P2(i)-Pyr)*A1*B1*vpr;
    Tc2(i,1)=Z*(Pyr-Prep)*A*(1-B)*vc+Z*(P2(i)-Pyr)*A1*(1-B1)*vc;
end

passo3=(Pyc-Pyd)/delta;
P3=Pyd:passo3:Pyc;
n3=length(P3);

for i=1:n3
    Td3(i,1)=Syd+X*(P3(i)-Pyd)*(1-A2)*vpd*R;
    Tr3(i,1)=Syr+Y*(Pyd-Pyr)*A1*B1*vpr+Y*(P3(i)-Pyd)*A2*B1*vpr;
    Tc3(i,1)=Z*(Pyr-Prep)*A*(1-B)*vc+Z*(Pyd-Pyr)*A1*(1-B1)*vc+Z*(P3(i)-Pyd)*A2*(1-
B1)*vc;
end

passo4=(Pfalha-Pyc)/delta;
P4=Pyc:passo4:Pfalha;
n4=length(P4);

for i=1:n4
    Td4(i,1)=Syd+X*(Pyc-Pyd)*(1-A2)*vpd*R+X*(P4(i)-Pyc)*(1-A3)*vpd*R;
    Tr4(i,1)=Syr+Y*(Pyd-Pyr)*A1*B1*vpr+Y*(Pyc-Pyd)*A2*B1*vpr+Y*(P4(i)-
Pyc)*A3*B2*vpr;
    Tc4(i,1)=Syc+Z*(P4(i)-Pyc)*A3*(1-B2)*vpc;
end

%para conhecer o valor da tensao para um valor de pressao qualquer
P=input('entre o valor de P:');
    if P<=Prep
        Td=X*P*vd
    elseif P<=Pyr
        Td=X*Prep*vd+X*(P-Prep)*(1-A)*vd
        Tr=Y*(P-Prep)*A*B*vr
        Tc=Z*(P-Prep)*A*(1-B)*vc
    elseif P<=Pyd
        Td=X*Prep*vd+X*(Pyr-Prep)*(1-A)*vd+X*(P-Pyr)*(1-A1)*vd
        Tr=Syr+Y*(P-Pyr)*A1*B1*vpr
        Tc=Z*(Pyr-Prep)*A*(1-B)*vc+Z*(P-Pyr)*A1*(1-B1)*vc
    elseif P<=Pyc
        Td=Syd+X*(P-Pyd)*(1-A2)*vpd*R
        Tr=Syr+Y*(Pyd-Pyr)*A1*B1*vpr+Y*(P-Pyd)*A2*B1*vpr
        Tc=Z*(Pyr-Prep)*A*(1-B)*vc+Z*(Pyd-Pyr)*A1*(1-B1)*vc+Z*(P-Pyd)*A2*(1-
B1)*vc

```

```

elseif P<=Pfalha
    Td=Syd+X*(Pyc-Pyd)*(1-A2)*vpd*R+X*(P-Pyc)*(1-A3)*vpd*R
    Tr=Syr+Y*(Pyd-Pyr)*A1*B1*vpr+Y*(Pyc-Pyd)*A2*B1*vpr+Y*(P-Pyc)*A3*B2*vpr
    Tc=Syc+Z*(P-Pyc)*A3*(1-B2)*vpc
end

% Condicao Tr_yd > Sur
%-----
%-----

else Tr_yd>=Sur;

Pyr=Prep+Syr/(Y*A*B*vpr)
Pur=Pyr+(Sur-Syr)/(Y*A1*B1*vpr)

%para graficar
delta=50;
passol=(Pyr-Prep)/delta;
P1=Prep:passol:Pyr; % vetor de P1
n1=length(P1); % tamanho do vetor P1

for i=1:n1
    Td1(i,1)=X*Prep*vd+X*(P1(i)-Prep)*(1-A)*vd;
    Tr1(i,1)=Y*(P1(i)-Prep)*A*B*vpr;
    Tc1(i,1)=Z*(P1(i)-Prep)*A*(1-B)*vc;
end

passo2=(Pur-Pyr)/delta;
P2=Pyr:passo2:Pur;
n2=length(P2);

for i=1:n2
    Td2(i,1)=X*Prep*vd+X*(Pyr-Prep)*(1-A)*vd+X*(P2(i)-Pyr)*(1-A1)*vd;
    Tr2(i,1)=Syr+Y*(P2(i)-Pyr)*A1*B1*vpr;
    Tc2(i,1)=Z*(Pyr-Prep)*A*(1-B)*vc+Z*(P2(i)-Pyr)*A1*(1-B1)*vc;
end

P3=P2
n3=n2
Td3=Td2
Tr3=Tr2
Tc3=Tc2

P4=P2
n4=n2
Td4=Td2
Tr4=Tr2
Tc4=Tc2

%para conhecer o valor da tensao vM para un valor de pressao qualquer
P=input('entre o valor de P:');
if P<=Prep
    Td=X*P*vd

elseif P<=Pyr
    Td=X*Prep*vd+X*(P-Prep)*(1-A)*vd
    Tr=Y*(P-Prep)*A*B*vpr
    Tc=Z*(P-Prep)*A*(1-B)*vc

elseif P<=Pur
    Td=X*Prep*vd+X*(Pyr-Prep)*(1-A)*vd+X*(P-Pyr)*(1-A1)*vd
    Tr=Syr+Y*(P-Pyr)*A1*B1*vpr
    Tc=Z*(Pyr-Prep)*A*(1-B)*vc+Z*(P-Pyr)*A1*(1-B1)*vc
end
end

%Regioes Duto Platifica Primero
%-----
%-----
%-----

else Pyr1>Pyd1 %regioes (duto plastifica primeiro)
    Trep=r*Prep*vd/(t*C) %tensao no defeito na hora do reparo

    %Quando Trep<Syd

```

```

%-----
%-----

if Trep<Syd;

    %equacoes para introduzir a condicao Td2<Sud
    Pyd=Prep+(Syd-X*Prep*vd)/(X*(1-M)*vd);
    Pyr=Pyd+(Syr-Y*(Pyd-Prep)*M*N*vr)/(Y*M1*N*vr);
    Td_yr=Syd+X*(Pyr-Pyd)*(1-M1)*vpd; %tensao do duto quando o reparo escoa

    %Quando Td_yr<Sud
    %-----
    if Td_yr<Sud;

        Pyd=Prep+(Syd-X*Prep*vd)/(X*(1-M)*vd)
        Pyr=Pyd+(Syr-Y*(Pyd-Prep)*M*N*vr)/(Y*M1*N*vr)
        Pyc=Pyr+(Syc-Z*(Pyd-Prep)*M*(1-N)*vc-Z*(Pyr-Pyd)*M1*(1-N)*vc)/(Z*M2*(1-N1)*vc)
        PycX=((Syc*t*(1-C)/((r+t*C)*(1+uc^2-uc)^(1/2)))-(1-N)*(Pyd*(M-
        N1)+Pyr*M1))/(M2*(1-N1))+Pyr
        PycS=Pyr+(Syc-Z*Pyd*M*(1-N)*vc-Z*(Pyr-Pyd)*M1*(1-N))/(Z*M2*(1-N1)*vc)
        Pud=Pyc+(Sud-Syd-X*(Pyr-Pyd)*(1-M1)*vpd*R-X*(Pyc-Pyr)*(1-M2)*vpd*R)/(X*(1-
        M3)*vpd*R)
        Pur=Pyc+(Syr-Syr-Y*(Pyc-Pyr)*M2*N1*vpr)/(Y*M3*N2*vpr)
        if Pur>=Pud;
            Pfalha=Pud
        else Pur>Pur;
            Pfalha=Pur
        end

    %para graficar
    delta=50;
    passo1=(Pyd-Prep)/delta;
    P1=Prep:passo1:Pyd; % vetor de P1
    n1=length(P1); % tamanho do vetor P1

    for i=1:n1
        Td1(i,1)=X*Prep*vd+X*(P1(i)-Prep)*(1-M)*vd;
        Tr1(i,1)=Y*(P1(i)-Prep)*M*N*vr;
        Tc1(i,1)=Z*(P1(i)-Prep)*M*(1-N)*vc;
    end

    passo2=(Pyr-Pyd)/delta;
    P2=Pyd:passo2:Pyr;
    n2=length(P2);

    for i=1:n2
        Td2(i,1)=Syd+X*(P2(i)-Pyd)*(1-M1)*vpd*R;
        Tr2(i,1)=Y*(Pyd-Prep)*M*N*vr+Y*(P2(i)-Pyd)*M1*N*vr;
        Tc2(i,1)=Z*(Pyd-Prep)*M*(1-N)*vc+Z*(P2(i)-Pyd)*M1*(1-N)*vc;
    end

    passo3=(Pyc-Pyr)/delta;
    P3=Pyr:passo3:Pyc;
    n3=length(P3);

    for i=1:n3
        Td3(i,1)=Syd+X*(Pyr-Pyd)*(1-M1)*vpd*R+X*(P3(i)-Pyr)*(1-M2)*vpd*R;
        Tr3(i,1)=Syr+Y*(P3(i)-Pyr)*M2*N1*vpr;
        Tc3(i,1)=Z*(Pyd-Prep)*M*(1-N)*vc+Z*(Pyr-Pyd)*M1*(1-N)*vc+Z*(P3(i)-Pyr)*M2*(1-
        N1)*vc;
    end

    passo4=(Pfalha-Pyc)/delta;
    P4=Pyc:passo4:Pfalha;
    n4=length(P4);

    for i=1:n4
        Td4(i,1)=Syd+X*(Pyr-Pyd)*(1-M1)*vpd*R+X*(Pyc-Pyr)*(1-M2)*vpd*R+X*(P4(i)-
        Pyc)*(1-M3)*vpd*R;
        Tr4(i,1)=Syr+Y*(Pyc-Pyr)*M2*N1*vpr+Y*(P4(i)-Pyc)*M3*N2*vpr;
        Tc4(i,1)=Syc+Z*(P4(i)-Pyc)*M3*(1-N2)*vpc;
    end

    P=input('entre o valor de P:');

    if P<=Prep
        Td=X*P*vd

```



```

elseif P<=Pyd
    Td=X*Prep*vd+X*(P-Prep)*(1-M)*vd
    Tr=Y*(P-Prep)*M*N*vr
    Tc=Z*(P-Prep)*M*(1-N)*vc

elseif P<=Pyr
    Td=Syd+X*(P-Pyd)*(1-M1)*vpd*R
    Tr=Y*(Pyd-Prep)*M*N*vr+Y*(P-Pyd)*M1*N*vr
    Tc=Z*(Pyd-Prep)*M*(1-N)*vc+Z*(P-Pyd)*M1*(1-N)*vc

elseif P<=Pyc
    Td=Syd+X*(Pyr-Pyd)*(1-M1)*vpd+X*(P-Pyr)*(1-M2)*vpd*R
    Tr=Syr+Y*(P-Pyr)*M2*N1*vpr
    Tc=Z*(Pyd-Prep)*M*(1-N)*vc+Z*(Pyd-Pyr)*M1*(1-N)*vc+Z*(P-Pyr)*M2*(1-
N1)*vc

elseif P<=Pud
    Td=Syd+X*(Pyr-Pyd)*(1-M1)*vpd*R+X*(Pyc-Pyr)*(1-M2)*vpd*R+X*(P-Pyc)*(1-
M3)*vpd*R
    Tr=Syr+Y*(Pyc-Pyr)*M2*N1*vpr+Y*(P-Pyc)*M3*N2*vpr
    Tc=Syd+Z*(P-Pyc)*M3*(1-N2)*vpc

end

%Quando Td_yr>=Sud
%-----
else Td_yr>=Sud;

Pyd=Prep+(Syd-X*Prep*vd)/(X*(1-M)*vd)
Pud=Pyd+(Sud-Syd)/(X*(1-M1)*vpd*R)

%para graficar
delta=50;
passo1=(Pyd-Prep)/delta;
P1=Prep:passo1:Pyd; % vetor de P1
n1=length(P1); % tamanho do vetor P1

for i=1:n1
    Td1(i,1)=X*Prep*vd+X*(P1(i)-Prep)*(1-M)*vd;
    Tr1(i,1)=Y*(P1(i)-Prep)*M*N*vr;
    Tc1(i,1)=Z*(P1(i)-Prep)*M*(1-N)*vc;
end

passo2=(Pud-Pyd)/delta;
P2=Pyd:passo2:Pud;
n2=length(P2);

for i=1:n2
    Td2(i,1)=Syd+X*(P2(i)-Pyd)*(1-M1)*vpd*R;
    Tr2(i,1)=Y*(Pyd-Prep)*M*N*vr+Y*(P2(i)-Pyd)*M1*N*vr;
    Tc2(i,1)=Z*(Pyd-Prep)*M*(1-N)*vc+Z*(P2(i)-Pyd)*M1*(1-N)*vc;
end

P3=P2;
n3=n2;
Td3=Td2;
Tr3=Tr2;
Tc3=Tc2;

P4=P2;
n4=n2;
Td4=Td2;
Tr4=Tr2;
Tc4=Tc2;

%para conhecer o valor das tensoes vM para qualquer pressao de operacao
P=input('entre o valor de P:');

if P<=Prep
    Td=X*P*vd

elseif P<=Pyd
    Td=X*Prep*vd+X*(P-Prep)*(1-M)*vd
    Tr=Y*(P-Prep)*M*N*vr
    Tc=Z*(P-Prep)*M*(1-N)*vc

```

```

elseif P<=Pud
    Td=Syd+X*(P-Pyd)*(1-M1)*vpd*R
    Tr=Y*(Pyd-Prep)*M*N*vr+Y*(P-Pyd)*M1*N*vr
    Tc=Z*(Pyd-Prep)*M*(1-N)*vc+Z*(P-Pyd)*M1*(1-N)*vc
end
end

%Quando Trep>=Syd
%-----
%-----

else Trep>=Syd;

    %estas equacoes sao para poder introduzir a condicao Td2<Sud
    Pyd=Syd/(X*vd);
    Pyr=Prep+Syr/(Y*M1*N*vr);
    Td_yr=Syd+X*(Prep-Pyd)*vpd+X*(Pyr-Prep)*(1-M1)*vpd*R; %tensao do duto quando
o reparo escoa (sacado da secao 2)

    %Quando Td_yr<Sud
    %-----
    if Td_yr<Sud;

Pyd=Syd/(X*vd)    %pressao menor a Prep, osea ja esta escoando antes de aplicar o
reparo
Pud_sem_rep=Sud/(X*vpd*R)
Pyr=Prep+Syr/(Y*M1*N*vr)
Pyc=Pyr+(Syr-Z*(Pyr-Prep)*M1*(1-N)*vc)/(Z*M2*(1-N1)*vc)
Pud=Pyc+(Sud-Syd-X*(Prep-Pyd)*vpd+R-X*(Pyr-Prep)*(1-M1)*vpd+R-X*(Pyc-Pyr)*(1-
M2)*vpd*R)/(X*(1-M3)*vpd*R)
Pur=Pyc+(Sur-Syr-Y*(Pyc-Pyr)*M2*N1*vpr)/(Y*M3*N2*vpr)
    if Pur>=Pud;
        Pfalha=Pud
    else Pur>Pur;
        Pfalha=Pur
    end

%para graficar
delta=50;
passo2=(Pyr-Prep)/delta;
P2=Prep:passo2:Pyr;
n2=length(P2);

for i=1:n2
    Td2(i,1)=Syd+X*(Prep-Pyd)*vpd+X*(P2(i)-Prep)*(1-M1)*vpd*R;
    Tr2(i,1)=Y*(P2(i)-Prep)*M1*N*vr;
    Tc2(i,1)=Z*(P2(i)-Prep)*M1*(1-N)*vc;
end

P1=P2;
Td1=Td2;
Tr1=Tr2;
Tc1=Tc2;

passo3=(Pyc-Pyr)/delta;
P3=Pyr:passo3:Pyc;
n3=length(P3);

for i=1:n3
    Td3(i,1)=Syd+X*(Prep-Pyd)*vpd+R+X*(Pyr-Prep)*(1-M1)*vpd+R+X*(P3(i)-Pyr)*(1-
M2)*vpd*R;
    Tr3(i,1)=Syr+Y*(P3(i)-Pyr)*M2*N1*vpr;
    Tc3(i,1)=Z*(Pyr-Prep)*M1*(1-N)*vc+Z*(P3(i)-Pyr)*M2*(1-N1)*vc;
end

passo4=(Pfalha-Pyc)/delta;
P4=Pyc:passo4:Pfalha;
n4=length(P4);

for i=1:n4
    Td4(i,1)=Syd+X*(Prep-Pyd)*vpd+R+X*(Pyr-Prep)*(1-M1)*vpd+R+X*(Pyc-Pyr)*(1-
M2)*vpd+R+X*(P4(i)-Pyc)*(1-M3)*vpd*R;
    Tr4(i,1)=Syr+Y*(Pyc-Pyr)*M2*N1*vpr+Y*(P4(i)-Pyc)*M3*N2*vpr;
    Tc4(i,1)=Syr+Z*(P4(i)-Pyc)*M3*(1-N2)*vpc;
end

%para conhecer o valor da tensao para qualquer pressao

```

```

P=input('entre o valor de P:');

    if P<=Prep
        Td=X*P*vd

    elseif P<=Pyr
        Td=Syd+X*(Prep-Pyd)*vpd+X*(P-Prep)*(1-M1)*vpd*R
        Tr=Y*(P-Prep)*M1*N*vr
        Tc=Z*(P-Prep)*M1*(1-N)*vc

    elseif P<=Pyc
        Td=Syd+X*(Prep-Pyd)*vpd*R+X*(Pyr-Prep)*(1-M1)*vpd*R+X*(P-Pyr)*(1-
M2)*vpd*R
        Tr=Syr+Y*(P-Pyr)*M2*N1*vpr
        Tc=Z*(Pyr-Prep)*M1*(1-N)*vc+Z*(P-Pyr)*M2*(1-N1)*vc

    elseif P<=Pfalha
        Td=Syd+X*(Prep-Pyd)*vpd*R+X*(Pyr-Prep)*(1-M1)*vpd*R+X*(Pyc-Pyr)*(1-
M2)*vpd*R+X*(P-Pyc)*(1-M3)*vpd*R
        Tr=Syr+Y*(Pyc-Pyr)*M2*N1*vpr+Y*(P-Pyc)*M3*N2*vpr
        Tc=Syc+Z*(P-Pyc)*M3*(1-N2)*vpc

    end

    %Quando Td(yr)>=Sud
    %-----
    else Td_yr>=Sud;

Pyd=Syd/(X*vd)    %pressao menor a Prep, osea ja esta escoando antes de aplicar o
reparo
Pud_sem_rep=Sud/(X*vpd*R)
Pud=Prep+(Sud-Syd-X*(Prep-Pyd)*vpd*R)/(X*(1-M1)*vpd*R)

%para graficar
delta=50;
passo2=(Pyr-Prep)/delta;
P2=Prep:passo2:Pyr;
n2=length(P2);

    for i=1:n2
        Td2(i,1)=Syd+X*(Prep-Pyd)*vpd*R+X*(P2(i)-Prep)*(1-M1)*vpd*R;
        Tr2(i,1)=Y*(P2(i)-Prep)*M1*N*vr;
        Tc2(i,1)=Z*(P2(i)-Prep)*M1*(1-N)*vc;
    end

P1=P2;
n1=n2;
Td1=Td2;
Tr1=Tr2;
Tc1=Tc2;

P3=P2;
n3=n2;
Td3=Td2;
Tr3=Tr2;
Tc3=Tc2;

P4=P2;
n4=n2;
Td4=Td2;
Tr4=Tr2;
Tc4=Tc2;

%para conhecer o valor da tensao para qualquer pressao
P=input('entre o valor de P:');

    if P<=Prep
        Td=X*P*vd

    elseif P<=Pud
        Td=Syd+X*(Prep-Pyd)*vpd*R+X*(P-Prep)*(1-M1)*vpd*R
        Tr=Y*(P-Prep)*M1*N*vr
        Tc=Z*(P-Prep)*M1*(1-N)*vc

    end

```

```

end

end

end

%Gráficos

P=zeros(1,n1+n2+n3+n4);
P=[P1,P2,P3,P4];

Td=zeros(n1+n2+n3+n4,1);
Td=[Td1;Td2;Td3;Td4];

Tr=zeros(n1+n2+n3+n4,1);
Tr=[Tr1;Tr2;Tr3;Tr4];

Tc=zeros(n1+n2+n3+n4,1);
Tc=[Tc1;Tc2;Tc3;Tc4];

plot(P,Td,P,Tr,P,Tc,Pn,Tdn,'r','LineWidth',1.4)
xlabel('Pressão [MPa]');
ylabel('Tensão [MPa]');
title('Pressão x Tensão');
grid on

```

## Reparo de Material Compósito

```

clear all;
clc
disp('_____');
disp('ENTRADA DE DADOS:');
disp(' ');
disp(' ');

r=input('entre o valor do raio interno mm:');
t=input('entre o valor da espessura de parede mm:');
d=input('entre o valor da profundidade do defeito mm:');
e=input('entre o valor da espessura final de reparo mm:');
Ed=input('entre o valor do módulo de elasticidade (E) do duto MPa:');
Ert=input('entre o valor de E do reparo na direção tangencial:');
Err=input('entre o valor de E do reparo na direção radial:');
Ec=input('entre o valor de E do adesivo:');
ud=input('entre o valor do coef. de Poisson do duto:');
ur=input('entre o valor do coef. de Poisson do reparo na direção tang-radial:');
uc=input('entre o valor do coeficiente de Poisson do adesivo:');
upd=0.5; %coeficiente de Poisson do duto no regime plástico
upr=ur; %coef. de Poisson do reparo tang-radial no regime plástico
upc=0.5; %coeficiente de Poisson do adesivo no regime plástico
Syd=input('entre o valor do limite de escoamento do duto MPa:');
Syc=input('entre o valor do limite de escoamento do adesivo MPa:');
Sud=input('entre o valor da resistência a tração do duto MPa:');
Sur=input('entre o valor da resistência a tração do reparo MPa:');
eud=input('entre o valor da deformação máxima do duto mm/mm:');
eur=input('entre o valor da deformação máxima da chapa metálica m/mm:');
Prep=input('entre o valor da pressão de instalação Prep:');
eyd=Syd/Ed; %deformação de escoamento do duto
Epd=(Sud-Syd)/(eud-eyd); %módulo do duto na região plástica
Epc=1; %módulo do adesivo na região plástica
C=1-d/t;

% Calculo para un duto sem defeito e sem reparo
%-----

vM=(( (r+t/2)/t)^2+(1+(r+t/2)/(2*t))^2+((r+t/2)/(2*t))^2)^0.5 %fator de von mises
Prup=(Sud*2^0.5)/vM %Pressao de falha
Pesc=(Syd*2^0.5)/vM %pressao de escoamento
Pproj=2*t*Syd*0.72/(2*r)%pressao de projeto segundo a ASME

%para graficar
passol=(Prup-0)/2;

```

```

Pn=0:passol:Prup; % vetor de Pn (Pn=pressao no duto novo)
n1=length(Pn); % tamanho do vetor P
for i=1:n1
    Tdn(i,1)=Pn(i)*(r+t/2)/t;
end
%-----

%Variaveis

%Q - Variaveis
den1=e+t*(1-C);
um=(ur*e+uc*t*(1-C))/den1;
uml=(ur*e+upc*t*(1-C))/den1;
den2=(r+t*C)^2-r^2;
a1=2*r^2/((r+t*C)^2-r^2);
a2=((r+t*C)^2+r^2)/((r+t*C)^2-r^2);
a3=((r+t*e)+(r+t*C))/((r+t*e)-(r+t*C));
a4=2*(r+t*C)^2/((r+t)^2-(r+t*C)^2);
a5=((r+t)^2+(r+t*C)^2)/((r+t)^2-(r+t*C)^2);
a6=((r+t*e)+(r+t))/((r+t*e)-(r+t));

Emt=(Ert*e+Ec*t*(1-C))/(e+t*(1-C)); %E tangencial da mistura reparo-adesivo
(adesivo q preenche o defeito)
Emr=(Err*e+Ec*t*(1-C))/(e+t*(1-C)); %E radial da mistura reparo-adesivo
Emt1=(Ert*e+Epc*t*(1-C))/(e+t*(1-C)); %E tangencial da mistura reparo-adesivo
(adesivo na região plastificada)
Emr1=(Err*e+Epc*t*(1-C))/(e+t*(1-C)); %E radial da mistura reparo-adesivo
(adesivo na região plastificada)

%S - Outras Variaveis (duto plastifica primeiro)
M=a1/(a2-ud+(Ed/Emt)*(a3/2)+(Ed/Emr)*um);
N=a4/(a5-uc+(Ec/Ert)*(a6/2)+(Ec/Err)*ur);
M1=a1/(a2-upd+(Epd/Emt)*(a3/2)+(Epd/Emr)*um);
N1=a4/(a5-upc+(Epc/Ert)*(a6/2)+(Epc/Err)*ur);
M2=a1/(a2-upd+(Epd/Emt1)*(a3/2)+(Epd/Emr1)*uml);

%variaveis von Mises
vd=(1+ud^2-ud)^(1/2);
vr=(1+ur^2-ur)^(1/2);
vc=(1+uc^2-uc)^(1/2);
vpd=(1+upd^2-upd)^(1/2);
vpc=vc;

%variaveis geometricas: X (duto) Y (reparo) Z (cola)
X=r/(t*C);
Y=(r+t)/e;
Z=(r+t*C)/(t*(1-C));

%Quando Td_rep<Syd
%-----

Td_rep=X*Prep*vd;

if Td_rep<=Syd;

Pyd=Prep+(Syd-X*Prep*vd)/(X*(1-M)*vd)
Pyc=Pyd+(Syc-Z*(Pyd-Prep)*M*(1-N)*vc)/(Z*M1*(1-N)*vc)
Pud=Pyd+(Sud-Syd-X*(Pyc-Pyd)*(1-M1)*vpd)/(X*(1-M2)*vpd)
Pur=Pyc+(Sur-Y*(Pyd-Prep)*M*N*vr-Y*(Pyc-Pyd)*M1*N*vr)/(Y*M2*N1*vr)
    if Pur>=Pud;
        Pfalha=Pud
    else Pur>Pur;
        Pfalha=Pur
    end

%para graficar
delta=50;
passol=(Pyd-Prep)/delta;
P1=Prep:passol:Pyd; % vetor de P1
n1=length(P1); % tamanho do vetor P1

for i=1:n1
    Td1(i,1)=X*Prep*vd+X*(P1(i)-Prep)*(1-M)*vd;
    Tr1(i,1)=Y*(P1(i)-Prep)*M*N*vr;
    Tc1(i,1)=Z*(P1(i)-Prep)*M*(1-N)*vc;
end

```

```

passo2=(Pyc-Pyd)/delta;
P2=Pyd:passo2:Pyc;
n2=length(P2);

for i=1:n2
    Td2(i,1)=Syd+X*(P2(i)-Pyd)*(1-M1)*vpd;
    Tr2(i,1)=Y*(Pyd-Prep)*M*N*vr+Y*(P2(i)-Pyd)*M1*N*vr;
    Tc2(i,1)=Z*(Pyd-Prep)*M*(1-N)*vc+Z*(P2(i)-Pyd)*M1*(1-N)*vc;
end

passo3=(Pfalha-Pyc)/delta;
P3=Pyc:passo3:Pfalha;
n3=length(P3);

for i=1:n3
    Td3(i,1)=Syd+X*(Pyc-Pyd)*(1-M1)*vpd+X*(P3(i)-Pyc)*(1-M2)*vpd;
    Tr3(i,1)=Y*(Pyd-Prep)*M*N*vr+Y*(Pyc-Pyd)*M1*N*vr+Y*(P3(i)-Pyc)*M2*N1*vr;
    Tc3(i,1)=Syc+Z*(P3(i)-Pyc)*M2*(1-N1)*vc;
end

P4=P3
n4=length(P4);
Td4=Td3;
Tr4=Tr3;
Tc4=Tc3;

%para calcular a tensao para qualquer pressao
P=input('entre o valor de P:');

if P<=Prep
    Td=X*P*vd

elseif P<=Pyd
    Td=X*Prep*vd+X*(P-Prep)*(1-M)*vd
    Tr=Y*(P-Prep)*M*N*vr
    Tc=Z*(P-Prep)*M*(1-N)*vc

elseif P<=Pyc
    Td=Syd+X*(P-Pyd)*(1-M1)*vpd
    Tr=Y*(Pyd-Prep)*M*N*vr+Y*(P-Pyd)*M1*N*vr
    Tc=Z*(Pyd-Prep)*M*(1-N)*vc+Z*(P-Pyd)*M1*(1-N)*vc

elseif P<=Pfalha
    Td=Syd+X*(Pyc-Pyd)*(1-M1)*vpd+X*(P-Pyc)*(1-M2)*vpd
    Tr=Y*(Pyd-Prep)*M*N*vr+Y*(Pyc-Pyd)*M1*N*vr+Y*(P-Pyc)*M2*N1*vr
    Tc=Syc+Z*(P-Pyc)*M2*(1-N1)*vc

end

%Quando Td_rep>Syd
%-----

else Td_rep>Syd;

Pyd=Syd/(X*vd)
Pyc=Prep+(Syc)/(Z*M1*(1-N)*vc)
Pud=Pyc+(Sud-Syd-X*(Prep-Pyd)*vpd-X*(Pyc-Prep)*(1-M1)*vpd)/(X*(1-M2)*vpd)
Pur=Pyc+(Sur-Y*(Pyc-Prep)*M1*N*vr)/(Y*M2*N1*vr)
    if Pur>=Pud;
        Pfalha=Pud
    else Pud>Pur;
        Pfalha=Pur
    end

%para graficar
passo2=(Pyc-Prep)/delta;
P2=Prep:passo2:Pyc;
n2=length(P2);

for i=1:n2
    Td2(i,1)=Syd+X*(Prep-Pyd)*vpd+X*(P2(i)-Prep)*(1-M1)*vpd;
    Tr2(i,1)=Y*(P2(i)-Prep)*M1*N*vr;
    Tc2(i,1)=Z*(P2(i)-Prep)*M1*(1-N)*vc;
end

passo3=(Pfalha-Pyc)/delta;
P3=Pyc:passo3:Pfalha;

```

```

n3=length(P3);

for i=1:n3
    Td3(i,1)=Syd+X*(Prep-Pyd)*vpd+X*(Pyc-Prep)*(1-M1)*vpd+X*(P3(i)-Pyc)*(1-
M2)*vpd;
    Tr3(i,1)=Y*(Pyc-Prep)*M1*N*vr+Y*(P3(i)-Pyc)*M2*N1*vr;
    Tc3(i,1)=Syc+Z*(P3(i)-Prep)*M2*(1-N1)*vpc;
end

P1=P2
n1=length(P2);
Td1=Td2;
Tr1=Tr2;
Tc1=Tc2;

P4=P3
n4=length(P4);
Td4=Td3;
Tr4=Tr3;
Tc4=Tc3;

%para calcular a tensao para qualquer pressao
P=input('entre o valor de P:');

if P<=Prep
    Td=X*P*vd

elseif P<=Pyc
    Td=Syd+X*(Prep-Pyd)*vpd+X*(P-Prep)*(1-M1)*vpd
    Tr=Y*(P-Prep)*M1*N*vr
    Tc=Z*(P-Prep)*M1*(1-N)*vc

elseif P<=Pfalha
    Td=Syd+X*(Prep-Pyd)*vpd+X*(P-Prep)*(1-M1)*vpd
    Tr=Y*(P-Prep)*M1*N*vr
    Tc=Z*(P-Prep)*M1*(1-N)*vc
end
end

% Graficos

P=zeros(1,n1+n2+n3+n4);
P=[P1,P2,P3,P4];

Td=zeros(n1+n2+n3+n4,1);
Td=[Td1;Td2;Td3;Td4];

Tr=zeros(n1+n2+n3+n4,1);
Tr=[Tr1;Tr2;Tr3;Tr4];

Tc=zeros(n1+n2+n3+n4,1);
Tc=[Tc1;Tc2;Tc3;Tc4];

plot(P,Td,P,Tr,P,Tc,Pn,Tdn,'r','LineWidth',1.4)
xlabel('Pressão [MPa]');
ylabel('Tensão [MPa]');
title('Pressão x Tensão');
grid on

```

## Anexo C - Dispositivo Experimental

Os testes experimentais foram feitos no laboratório de Fotomecânica e Comportamento Mecânico dos Materiais da PUC-Rio, que possui uma instalação para testar dutos sob pressão interna.

### Sistema de Pressão

A pressão é proporcionada por uma bomba de embolo Haskel NS-110 acionada por ar comprimido. A vazão do líquido da bomba é controlada por uma válvula manual que regula a entrada de ar. As pressões da entrada de ar e saída de água são medidas por manômetros tipo Bourdon. Esta última é também medida por um transdutor de pressão. A figura C.1 mostra o sistema de pressão.

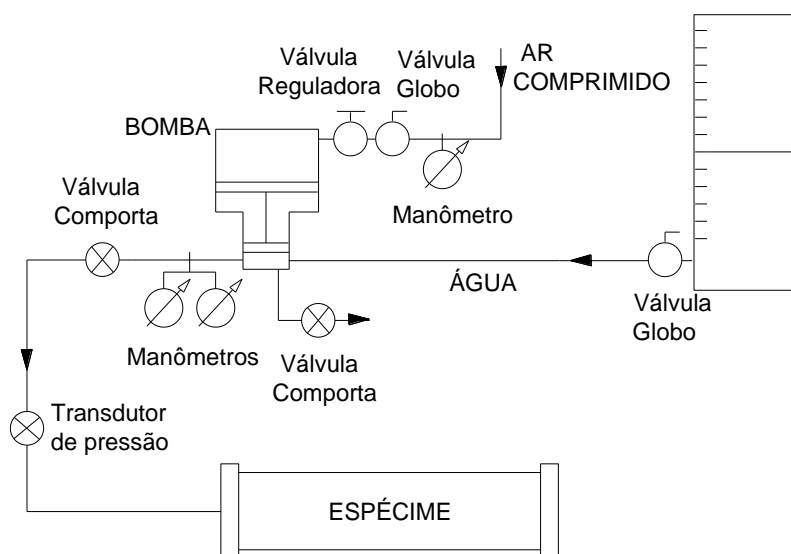


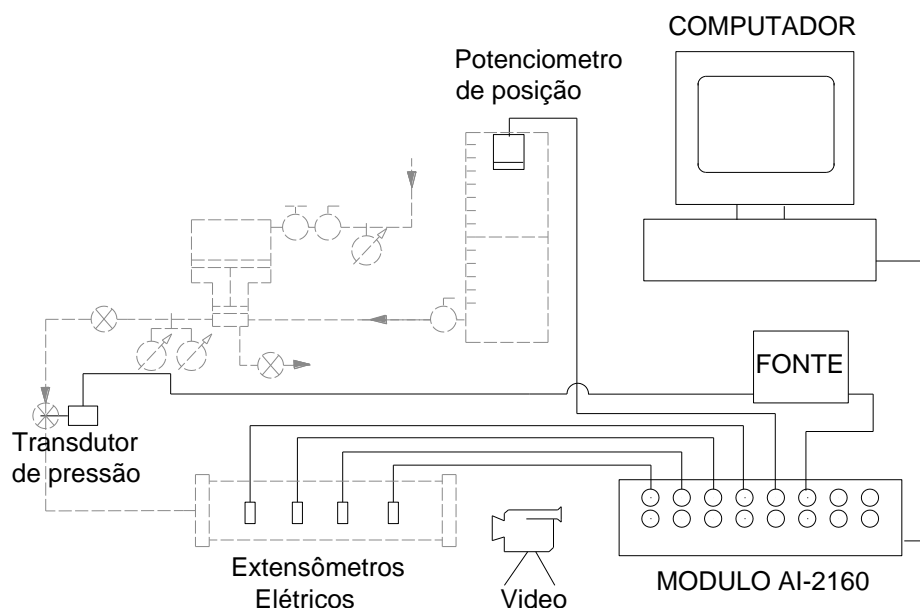
Figura C.1 - Esquema do sistema de pressão.

### Sistema de Aquisição de Dados

O sistema de aquisição de dados permite ler pressões, variações de volume e deformações em função do tempo. O sistema é formado por um módulo condicionador de 16 entradas analógicas, marca Lynx Tecnologia Eletrônica AI-2160. Os sinais digitais são salvos em um computador com plataforma Windows XP. O módulo permite a conexão de sinais provenientes de sensores de ponte para as leituras dos extensômetros elétricos e do transdutor de pressão e sinais de



sensores de posição para a leitura do volume. O transdutor trabalha com uma fonte de tensão própria, marca Goldstar DC Power Supply GP-430 3D. Adiciona-se uma câmara de vídeo para reconhecer o tipo de falha que se apresenta no espécime, como se mostra na figura C.2.



a) Esquema do sistema de aquisição de dados.



b) Módulo condicionador.



c) Câmera de vídeo.

Figura C.2 - Sistema de aquisição de dados.

A montagem dos extensômetros é de  $\frac{1}{4}$  de ponte com três fios e usa-se uma tensão de excitação de 5 volts. A frequência de aquisição de dados foi fixada em 1Hz para cada sinal aquisitado. A taxa de pressurização inicial foi em torno de 10 bar/minuto, de forma que o tempo de duração dos ensaios ficou em torno de 20 minutos por espécime. Assim, podem-se ter curvas de sinais de mais de mil pontos.

## Anexo D – Comparações Adicionais

As figuras a continuação complementam o estudo realizado na seção 5.1.1. Na figura C.1 são comparadas as deformações circunferenciais, obtidas numericamente, que se apresentam na parede do defeito, e as deformações no tubo fora do reparo.

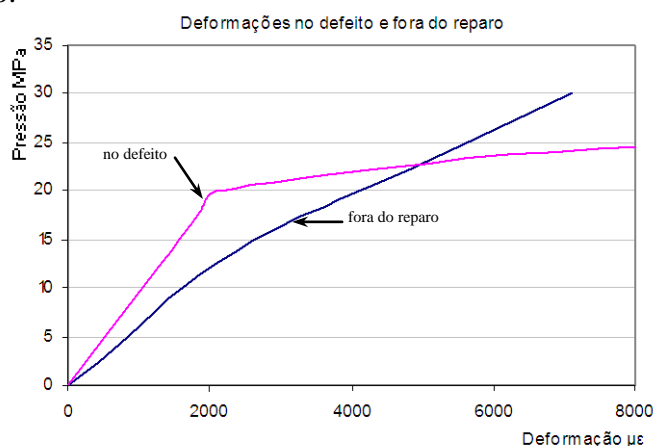


Figura D.1 - Comparação das deformações no defeito e fora do reparo

Na figura C.2 são comparadas as deformações circunferenciais obtidas experimentalmente e numericamente, estas se apresentam na 3° e 9° camada do reparo localizadas a 90° da janela do defeito (no espécime testado) e, nos nós equivalentes a 3° e 9° camada de reparo, localizados entre o extremo do defeito e extremo do reparo (no modelo numérico axissimétrico). Na seção 5.1.1 foram comparadas as deformações que se apresentam nestas camadas do reparo mas que se localizam sobre a janela do defeito.

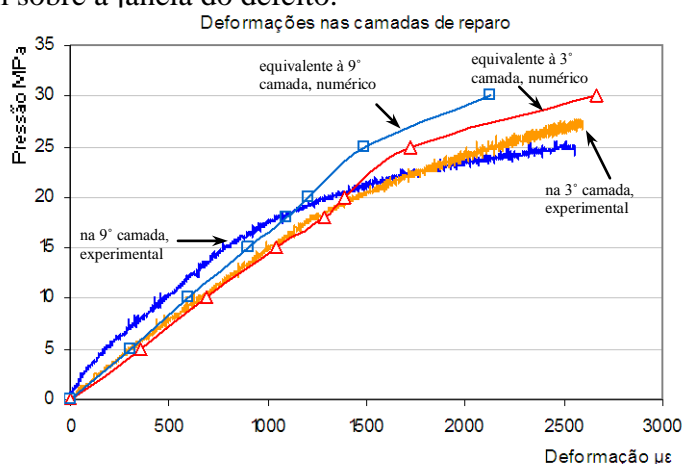


Figura D.2 - Comparação Numérico -experimental considerando a 3° e 9° camada do reparo localizadas a 90° da janela do defeito