

Referências bibliográficas

- 1 EIBER, B. Overview of Integrity Assessment Methods for Pipelines. Washington Cities and Countries Pipeline Safety Consortium. Columbus. Ohio, 2003.
- 2 ASME B31.8 S. Managing System Integrity of Gas Pipeline, 2004.
- 3 FABER, M. Risk in Safety Civil, Surveying and Environmental Engineering. Lecture notes of the Swiss Federal Institute of Technology, 2006.
- 4 SKJONG, R., BITNER-GREGERSEN, E., CRAMER, E. Guideline for Offshore Strutural Reliability Analysis – General. DNV Report No. 95-2018, 1995.
- 5 Documento ISO/CD 16708. Petroleum and Natural Gas Industries – Pipeline Transportation Systems – Reliability Based Limit State Methods.
- 6 RACWITZ, R., FIESSLER, B. Structural Reliability Under Combined Random Load Sequences. Computer and Structures, Vol. 9, 1978.
- 7 HASOFER, A.M., LIND, N.C. Exact and Invariant Second-Moment Code Format. Journal of Engineering Mechanics (ASCE), Vol. 100, No. EM1, 1974.
- 8 MELCHERS, R. Structural Reliability: Analysis and Prediction. 2nd ed. Chichester, UK: Wiley; 1999.
- 9 LOW, B. K. e TANG, W. H. Reliability Analysis Using Object-Oriented Constrained Optimization. Structural Safety, Vol. 26 (2004) p.p. 69–89
- 10 LOW, B. K. e TANG, W. H. Efficient Spreadsheet Algorithm for First-Order Reliability Method. Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 133 No. 12 (2007), p.p. 1378-1387.
- 11 OLSSON, A., SANDBERG, G., DAHLBLOM, O. On Latin Hypercube Sampling for Structural Reliability Analysis. Structural Safety, Vol. 25 pp 47-68, 2003.
- 12 LAMBERSON, L. R., KAPUR, K. C. Reliability in Engineering Design. John Wiley & Sons, Inc., 1977.

- 13 DITLEVSEN, O., MADSEN, H. O. Structural Reliability Methods. Monografia. (Prmeira edição publicada por: John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 1996, ISBN 0 471 96086 1). Edição eletrônica v.2.2.5, 2005. Disponível em: <<http://www.mek.dtu.dk/staff/od/books.htm>>. Acesso em: 21 out. 2009.
- 14 YUAN, X., PANDEY, M. Analysis of Approximations for Multinormal Integration in System Reliability Computation. Structural Safety, Vol 28 pp 361-377, 2006.
- 15 PANDEY, M. An Effective Approximation to Evaluate Multinormals Integrals. Structural Safety, Vol 20 pp 51-67, 1998.
- 16 TANG, L. K., MELCHERS, R. E. Multinormal Distribution Function in Structural Reliability. Research Report 6. Department of Civil Engineering, Monash University, Clayton, Victoria, Australia, 1984.
- 17 DAS, P. K. Application of System Reliability for Offshore Structures. Prepared Report by: Dr. P. K. DAS, University of Glasgow, for: Health & Safety Executive, 2000.
- 18 TANG, L. K., MELCHERS, R. E. Improved Approximation for Multinormal Integral. Structural Safety, Vol 4 pp 81-93, 1987.
- 19 AN, Y., PANDEY, M. D. Evaluation of an Approximate Method for Multinormal Integration. 4th Structural Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering. June 5-8, 2002. Montréal, Québec, Canada.
- 20 ASME B31.8. Gas Transmission and Distribution Piping Systems – 2003. Non-Mandatory Appendix S Reliability Based Design and Assessment Tracking # 03-0525.
- 21 FRANCIS, A., GARDINER, M., MCCALLUM, M. Life Extension of a High Pressure Transmission Pipeline Using Structural Reliability Analysis. Proceedings of IPC2002. 4th International Pipeline Conference. September 29 – October 3, 2002. Calgary, Alberta, Canada.
- 22 STEPHENS, M., Van ROODSELAAR, A. Developments in Reliability-Based Corrosion Management and the Significance of In-Line Inspection Uncertainties. 7th International Pipeline Conference. September 29 – October 3, 2008. Calgary, Alberta, Canada.

- 23 API1103 In-line Inspection Systems Qualification Standard. First Edition Edition: 1st American Petroleum Institute, 2005.
- 24 ANSI/ASME B31G-1991 (R2004). Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines: a Supplement to B31, Code for Pressure Piping. American Society of Mechanical Engineers. 1991.
- 25 CALEYO, F., GONZALEZ, J., HALLEN, J. A Study on the Reliability Methodology for Pipelines with Active Corrosion Defects. International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol. 79 pp. 77-86, 2002.
- 26 COSHAM, A., HOPKINS, P., MACDONALD, K. Best Practice for the Assessment of Defects in Pipelines – Corrosion. Engineering Failure Analysis. Vol. 14 pp. 1245–1265, 2007.
- 27 DNV RECOMMENDED PRACTICE RP-F101. Corroded Pipelines, 1999 e 2004.
- 28 SHANNON, R.W.E. The Failure Behaviour of Linepipe Defects. International Journal of Pressure Vessels and Piping. Vol. 2, (4), pp 243-255, 1974
- 29 MILLER, A.G. Review of Limit Loads of Structures Containing Defects. CEEGB Report TPRD/B/0093/N82, 1987.
- 30 FRANCIS, A. The Use of Reliability Based Limit State Methods in Upgrading High Pressure Pipelines. The International Pipeline Conference 1998, Calgary, Alberta, Canada, June 7-11, 1998.
- 31 MELCHERS, R. The effect of corrosion on the structural reliability of steel offshore structures. Corrosion Science. 47 (2005) 2391-2410.
- 32 ABS. Guidelines for Building and Classing. Subsea Pipeline Systems and Risers.
- 33 DEWAARD, C. MILLIAMS, D. Carbonic Acid Corrosion of Steel. Corrosion, Vol 31 (5), pp 177-181, 1975
- 34 DEWAARD, C., LOTZ, U., MILLIAMS, D. Predictive Model for CO₂ Corrosion Engineering in Wet Natural Gas Pipelined. Corrosion, Vol. 47 (12) 976-985.
- 35 DEWAARD, C., LOTZ, U., DUGSTAD. A Influence of Liquid Flow Velocity on CO₂ Corrosion: A Semi-empirical Model. Corrosion 95, NACE, paper No. 65.

- 36 CRIS. Corrosion Reliability Inspection Scheduling JIP. Final Report, TSC Inspection Systems, 2004.
- 37 KATANO, K., MIYATA, K., SHIMIZU, H., ISOGAI, T. Predictive Model for Pit Growth on Underground Pipes. Corrosion, Vol. 59 (2) pp 155-161, 2003.
- 38 MUHAMMED, A., SPECK, J. Probabilistic Remnant Life Assessment of Corroding Pipelines within a Risk-Based Framework. ASRANet International Colloquium 2002, 8 -10 Julho, 2002, University of Glasgow, Scotland.
- 39 Guidelines for Use of Statistics for Analysis of Sample Inspection of Corrosion. Health and Safety Executive. Crambridge, United Kindgon, 2002. Disponível em: <www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr016.pdf>. Acesso em: 17 Nov. 2008.
- 40 SCHNEIDER, C., MUHAMMED, A., SANDERSON, R. Predicting the Remaining Lifetime of In-Service Pipelines based on Sample Inspection Data. Insight, Vol. 43 No. 2, 2001.
- 41 BARRINGER, P. Heat Exchanger IRIS Wall Thickness and Gumbel Smallest Distribution. Barringer & Associates, Inc. 2001. Disponível em: <<http://www.barringer1.com/mar01prb.htm>>. Acesso em: 6 Set. 2006.
- 42 COSHAM, A., HASWELL, J., JACKSON, N. Reduction Factors for Estimating the Probability of Failure of Mechanical Damage Due to External Interference. Proceedings of IPC2008. 7th International Pipeline Conference. September 29 – October 3, 2008. Calgary, Alberta, Canada.
- 43 LIN, Y.C., XIE, Y.J., e WANG, X.H. Probabilistic Fracture Failure Analysis of Nuclear Piping Containing Defects Using R6 Method. Nuclear Engineering and Design Vol. 229 (2004) 237–246.
- 44 GARDINER, M., MENDES, R. F., DONATO, G. V.P. Structural Reliability Analysis Applied to Pipeline Risk Analysis. Rio Pipeline 2009, 22-24 de Setembro de 2009. Rio de Janeiro, Brasil.
- 45 FREIRE, J. L. F, CARVAJALINO, J. J. L. Relatório Técnico. Análise dos Dutos da Região de Capuava-PETOBRA. 2008.
- 46 LYONS, C., HOPKINS, P., R ELLIS, JACKSON, N. A Methodology for the Prediction of Pipeline Failure Frequency due to External Interference. 7th

- International Pipeline Conference. September 29 – October 3, 2008. Calgary, Alberta, Canada.
- 47 SEEVAM, P., LYONS, C., HOPKINS, P., TOFT, M. Modelling of Dent and Gouges, and the Effect on the Failure Probability of Pipelines. 7th International Pipeline Conference. September 29 – October 3, 2008. Calgary, Alberta, Canada.
 - 48 EGIG, 2005. 7th EGIG Report 1970-2007. European Gas Pipeline Incident Data Group, 2008. Disponível em:
<http://www.egig.nl/downloads/7th_report_EGIG.pdf>. Acesso em: 15 Jul. 2008.
 - 49 DOT On-Line Library: Distribution and Transmission Accident and Incident Data. Disponível em: < <http://ops.dot.gov/stats/IA98.htm>>. Acesso em: 16 Jul. 2008.
 - 50 UKOPA Pipeline Product Loss Incidents (1962 – 2008) – 6th Report of the UKOPA Fault Database Management Group. 2008. Disponível em:
<<http://www.ukopa.co.uk/publications/pdf/UKOPA-10-0004.pdf>>. Acesso em: 16 Jul. 2008.
 - 51 GOODFELLOW, G., HASWELL, J., MCCONNELL, R., JACKSON, N. Development of Risk Assessment Code Supplements for the UK Pipeline Codes IGE/TD/1 and PD 8010. 7th International Pipeline Conference. September 29 – October 3, 2008. Calgary, Alberta, Canada.
 - 52 Sobre o SOLVER da Microsoft EXCEL. Disponível em:
<<http://office.microsoft.com/ptbr/excel/HP051983681046.aspx?pid=CH010004571046>> e <<http://www.solver.com>>. Acesso em: 12 Mar. 2007.
 - 53 Documentação do MATLAB do Optimization Toolbox. Equation Solving. Disponível em:
<<http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/optim/ug/brnroyhf.html>>. Acesso em: 12 Mar. 2007.
 - 54 MOAN, T., AYALA-URAGA, E. e WANG, X. Reliability-Based Service Life Assessment of FPSO Structures. Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME) Annual Meeting. 29 de setembro – 01 de outubro de 2004, Washington, DC.
 - 55 WILKS, D. S. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. 2nd ed. Academic Press, Elsevier, 2006.

- 56 AMBARTZUMIAN, R., DER KIUREGHIAN, A., OHANIANA, V., SUKIASIANA, H. Multinormal probability by sequential conditioned importance sampling: theory and application. Probabilistic Engineering Mechanics. Vol 13 (4), 299-308, 1998
- 57 MORI, Y., KATO, T. Multinormal Integrals by Importance Sampling for Series System Reliability. Structural Safety, Vol 23 pp 363-378, 2003.
- 58 PANDEY, M., SARKAR, A. Comparison of a Simple Approximation for Multinormal Integration with a Importance Sampling-Based Simulation Method. Probabilistic Engineering Mechanics, Vol 17 pp 215-128, 2002.
- 59 CARVAJALINO, J. J. L. Desempenho das Ferramentas de Inspeção em Linha e sua Influência na Confiabilidade Estrutural de Dutos Corroídos. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, PUC-Rio, 2004.
- 60 STEPHENS, M., NESSIM, M. A Comprehensive Approach to Corrosion Management Based on Structural Reliability Methods. 6th International Pipeline Conference. September 25-29, 2006. Calgary, Alberta, Canada.
- 61 LASSEN, T., SØRENSEN, J. A Probabilistic Damage Tolerance Concept for Welded Joints. Part 1: Data Base and Stochastic Modeling. Marine Structures Vol 15, Issue 6, November-December 2002, pp 599-613.
- 62 TEIXEIRA, A., GUEDES S., NETTOB, A., ESTEFEN, S.. Reliability of Pipelines with Corrosion Defects. International Journal of Pressure Vessels and Piping 85 (2008) 228–237
- 63 MELCHERS, R. Statistical characterization of pitting corrosion – Part 2: Probabilistic modeling for maximum pit depth. Corrosion. Vol. 68 (8), pp 766-777, 2005.
- 64 SCHNEIDER, C. Application of Extreme Value Analysis to Corrosion Mapping Data. 4th European-American Workshop on Reliability of NDE, June 2009, Berlin, Germany.
- 65 SHIBATA, T. Evaluation of Corrosion Failure by Extreme Value Statistics. ISIJ Internationial, Vol. 31 (2), pp. 115-121, 1991.
- 66 SHIBATA, T. Statisitcal Approaches to Localized Corrosion. Corrosion, Vol. 52 (11) pp 813-830, 1996.
- 67 MELCHERS, R. Statistical characterization of pitting corrosion – Part 1: Data Analysis. Corrosion. Vol. 61, (7), pp 766-777, 2005.

- 68 RAFIQ, M., CHRYSSANTHOPOULOS, M., TOULA, O. Performance updating of Concrete Bridges using Proactive Health Monitoring Methods. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 86, pp 247–256, 2006.
- 69 TURNER, R. Investigation of Numerical Anomalies Associated with Transco Pipeline Upgrade. Prepared Report by: BOMEL Ltd., for: Health & Safety Executive, 2002.
- 70 ANON., ‘Procedure for assessment of the integrity of structures containing defects’, R6 Revision 4, British Energy.
- 71 WILSON, R. A Comparison of the Simplified Probabilistic Method in R6 with the Partial Safety Factor Approach. *Engineering Failure Analysis* 14 (2007) 489–500
- 72 BULLOUGH, R., GREEN, V.R., TOMKINS, B., WILSON, R., WINTLE, J.B. A Review of Methods and Applications of Reliability Analysis for Structural Integrity Assessment of UK Nuclear Plant. *International Journal of Pressure Vessels and Piping* 76 (1999) 909–919
- 73 BS7910. Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures. British Standards Institution, 2005.
- 74 HOPKINS, P., CAIRNS, A. A Fracture Model to Predict the Failure of Defects in Dented Linepipe, British Gas Engineering Research Station, December 1981.
- 75 JANDU, C., FRANCINI, B., TAYLOR, M., FRANCIS, A. Towards a New Limit State Function for Determining the Failure Pressure of a Pipeline Containing Mechanical Damage. *Proceedings of IPC2008. 7th International Pipeline Conference*. September 29 – October 3, 2008. Calgary, Alberta, Canada.
- 76 BAI, Y., SONG, R. Fracture Assessment of Dented Pipes with Cracks and Reliability-Based Calibration of Safety Factor. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol. 74 (1997) 221-229.
- 77 MACDONALD, K. A., COSHAM, A. Best Practice for the Assessment of Defects in Pipelines – Gouges and Dents. *Engineering Failure Analysis* 12 (2005) 720–745
- 78 COSHAM, A., HOPKINS, P. The Effect of Dents in Pipelines — Guidance in the Pipeline Defect Assessment Manual. *International Journal of Pressure Vessels and Piping* 81 (2004) 127–139

- 79 ANG, A., TANG, W. Probability Concepts in Engineering Planning. Vol. 1. John Wiley and Sons, Inc, 1975.
- 80 RHEINFURTH, M., HOWELL, L.W. Probability and Statistics in Aerospace Engineering. Marshall Space Flight Center, Alabama, 1998.

A

Aplicação da análise de valor extremo em dutos com defeitos de corrosão

As distribuições de valor extremo são geralmente usadas onde os fenômenos que causam falhas dependem de valores críticos, sejam máximos ou mínimos. Sendo assim, convém ajustar os dados a uma distribuição de valor extremo máximo tipo I se é usadas as taxas de corrosão de cada ponto, r_d , ou as profundidades do defeito, d , ou usar uma distribuição de valor mínimo tipo I se é usada a espessura remanescente, t_r , [37-39].

As distribuições acumuladas de valor extremo máximo e mínimo de tipo I são definidas por:

$$F(r_d \text{ ou } d) = \exp \left[-\exp \left(-\frac{(r_d \text{ ou } d) - \psi}{\delta} \right) \right] \quad (\text{A.1})$$

$$F(t_r) = 1 - \exp \left[-\exp \left(\frac{t_r - \psi}{\delta} \right) \right] \quad (\text{A.2})$$

onde, ψ é o parâmetro de localização que indica o valor mais provável da taxa de corrosão, da profundidade do defeito ou a espessura remanescente dependendo dos dados usados na análise, δ é o parâmetro de escala que representa a dispersão de r_d , d ou t_r ao redor do parâmetro de localização.

Para o seguinte exemplo é usado um conjunto de dados de perda de espessura relativa (d/t) da parede de um duto (figura A.1). A espessura do duto, t , é 20.6 mm e a espessura remanescente é calculada como:

$$t_r = t - \left(\frac{d}{t} \right) t \quad (\text{A.3})$$

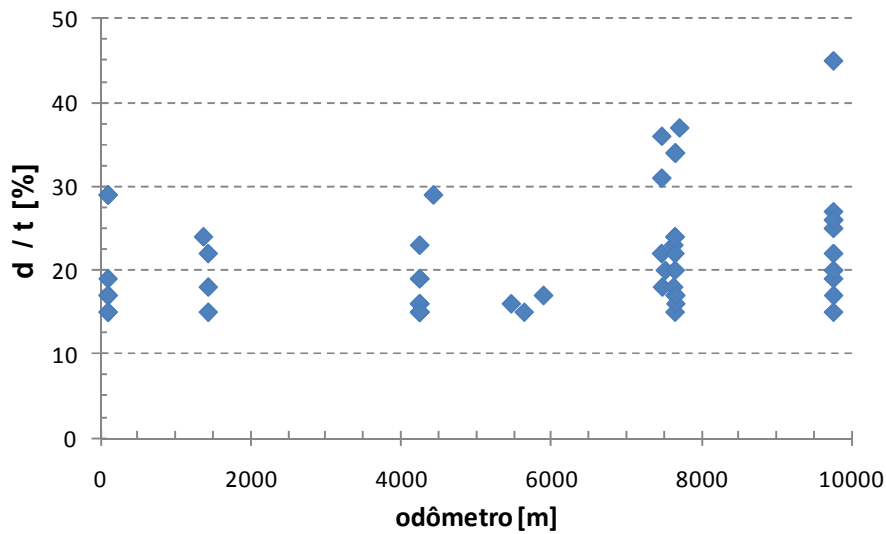


Figura A.1 – Distribuição de defeitos de corrosão no duto

Já que os dados obtidos com a equação (A.3) são mínimos, é usada a distribuição de valor extremo mínimo tipo I. Os parâmetros da distribuição podem ser calculados através de software de estatística ou de matemática (Matlab, Mathcad, @Risk, etc.) ou também através do ajuste a uma linha, quando a equação (A.2) é rearranjada conforme a seguinte expressão:

$$\text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{1}{1 - F(t_r)} \right) \right] = \frac{t_r}{\delta_{tr}} - \frac{\psi_{tr}}{\delta_{tr}} \quad (\text{A.4})$$

A expressão (A.4) é a equação de uma reta e os parâmetros da distribuição de extremos mínimos podem ser obtidos através dos mínimos quadrados. A aderência dos dados de t_r à distribuição de probabilidade neste caso pode ser analisada por meio do coeficiente de correlação linear. O valor de $F(t_r)$ é obtido através de métodos de ordenação, tais como a ordenação pelo posto médio ou pelo posto mediano.

$$F(t_r) = \frac{i}{n+1} \quad \text{Posto médio} \quad (\text{A.5})$$

$$F(t_r) = \frac{i-0.3}{n+0.4} \quad \text{Posto mediano} \quad (\text{A.6})$$

onde, $i=1...n$ é o número de ordem das medições ordenadas crescentemente e n é o número total de dados. Neste exemplo os dados foram ordenados pelo posto mediano.

No exemplo, o coeficiente de correlação linear da linha de tendência obtida do gráfico de probabilidade de valor extremo mínimo (figura A.1) é igual a 0.98 o qual indica um bom ajuste dos dados à distribuição.

Os valores dos parâmetros correspondem a $\psi_{tr} = 16.83$ [mm] e $\delta_{tr} = 1.18$ [mm]. Assumindo que a inspeção foi realizada 10 anos após o duto ser instalado, um valor característico para a taxa de corrosão para o duto pode ser calculada como:

$$\psi_{rtr} = \frac{t - \psi_{tr}}{\Delta T} = \frac{20.6 - 16.83}{10} = 0.38 \text{ [mm / ano]}$$

Na figura A.2 podem ser observados os resultados obtidos através deste procedimento.

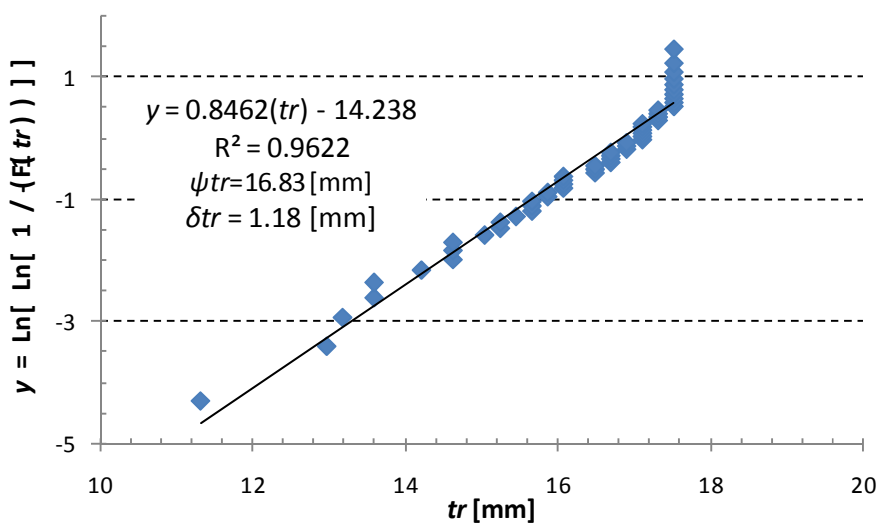


Figura A.2 – Cálculo dos parâmetros da distribuição do valor extremo mínimo tipo I para as espessuras remanescentes

Usando os mesmos dados de (d/t) do exemplo anterior e calculando as taxas de corrosão para cada defeito, $r_{d_i} = \frac{\left(\frac{d_i}{t}\right)}{\Delta T}$, as taxas calculadas podem ser ajustadas por uma distribuição de valor extremo máximo. Para isto, a equação (A.2) é linearizada como:

$$-\text{Ln}[-\text{Ln}(F(r_d))] = \frac{r_d}{\delta_{rd}} - \frac{\psi_{rd}}{\delta_{rd}} \quad (\text{A.7})$$

Os parâmetros para a distribuição de valor extremo máximo tipo I de r_{d_i} são calculados e correspondem a: $\psi_{rd} = 0.38$ [mm/ano] e $\delta_{rd} = 0.12$. Pode-se ver que o parâmetro de localização ψ_{rd} é igual ao valor de ψ_{rtr} obtido a partir das espessuras remanescentes e o parâmetro de escala δ_{rd} é igual ao valor de δ_{tr} dividido pelo tempo entre as duas inspeções ($1.18/10 = 0.12$).

Segundo o citado acima, o valor de ψ_{rtr} e de $\delta_{tr}/\Delta T$ obtidos a partir das espessuras remanescentes podem ser usados também como os parâmetros da distribuição de valor extremo máximo da taxa de corrosão a serem utilizados nos cálculos de confiabilidade estrutural e segundo a equação (A.1) a taxa de corrosão como uma distribuição de valor extremo máximo é escrita como:

$$F(r_d) = \exp\left[-\exp\left(-\left(\frac{r_d - 0.38}{0.12}\right)\right)\right]$$

Com coeficiente de variação igual a:

$$CoV = \frac{\sigma_{rd}}{\mu_{rd}} = \frac{\pi\delta/\sqrt{6}}{\psi + 0.5772\delta} = 0.34$$

Na figura A.3 podem ser observados os resultados para os cálculos dos parâmetros da distribuição de valor extremo máximo, quando são usadas as taxas de corrosão para cada ponto de perda de espessura.

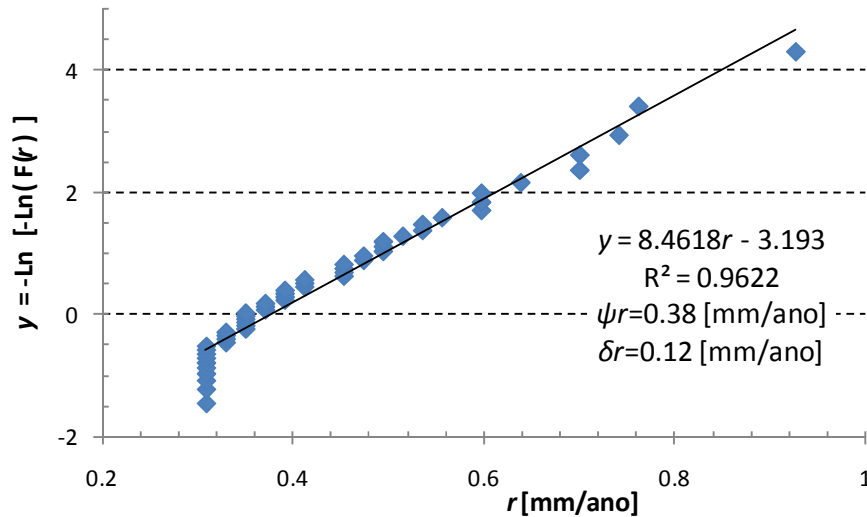


Figura A.3 – Cálculo dos parâmetros da distribuição do valor extremo máximo tipo I para as taxas de corrosão de cada ponto de perda espessura

Usando os mesmos dados de (d/t) do exemplo anterior e calculando as profundidades de corrosão para cada defeito, $d_i = \left(\frac{d_i}{t}\right)t$, as profundidades podem ser ajustadas por uma distribuição de valor extremo máximo. Para isto, a equação (A.2) é linearizada como:

$$-\text{Ln}[-\text{Ln}(F(d))] = \frac{d}{\delta_d} - \frac{\psi_d}{\delta_d} \quad (\text{A.8})$$

Os parâmetros para a distribuição de valor extremo máximo tipo I de d_i são calculados e correspondem a: $\psi_d = 3.8$ [mm] e $\delta_d = 1.18$ [mm]. Para o tempo 10 anos, um valor característico para a taxa de corrosão para o duto pode ser calculada como:

$$\psi_{rd} = \frac{\psi_d}{\Delta T} = \frac{3.8}{10} = 0.38 \text{ [mm / ano]}$$

Pode-se ver que o valor característico da taxa de corrosão aqui calculado é igual ao valor de ψ_{rd} obtido a partir as taxas de cada ponto, e o parâmetro de escala δ_d é igual ao valor de δ_{dr} se dividido pelo tempo entre a inspeção ($1.18/10 = 0.12$).

Na figura A.4 podem ser observados os resultados para os cálculos dos parâmetros da distribuição de valor extremo máximo, quando são usadas as profundidades de perda de espessura.

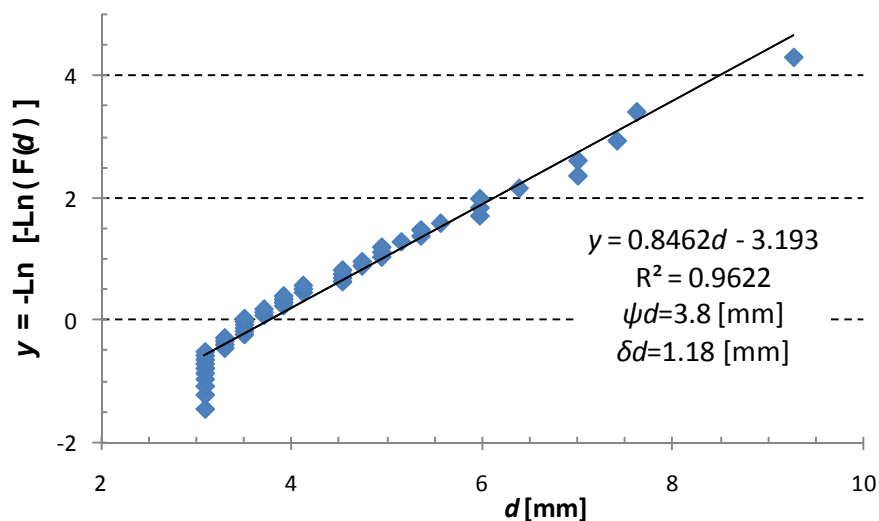


Figura A.4 – Cálculo dos parâmetros da distribuição do valor extremo máximo tipo I para as profundidades de perda de espessura

Os exemplos acima demonstraram que a taxa de corrosão pode ser ajustada a uma distribuição de valor extremo máximo, através das espessuras remanescentes dos defeitos de corrosão ou as profundidades de perda espessura.

Uma das principais razões em se usar a teoria de valor extremo é que ela consegue prever o risco de perfuração e assim, poder antecipar o pior ponto de corrosão em uma área corroída [64-66]. Este conceito é conhecido como *taxa de retorno*, T_N , e se baseia, no princípio que existe um número de observações que devem ser tomadas para obter um valor igual ou maior que uma determinada profundidade do defeito, x_d . T_N é definido por:

$$T_N = \frac{1}{1 - F(x_d)} \quad (\text{A.9})$$

rearranjando (A.9) como:

$$F(x_d) = 1 - \frac{1}{T_N} \quad (\text{A.10})$$

e substituindo (A.10) em (A.1), tem-se:

$$-Ln \left[-Ln \left(1 - \frac{1}{T_N} \right) \right] = \frac{x_d - \psi_d}{\delta_d} \quad (\text{A.11})$$

para valores de T acima de 12, $-Ln \left[-Ln \left(1 - \frac{1}{T_N} \right) \right] \approx Ln(T_N)$, logo, tem-se que:

$$x_d = \psi_d^* = \psi_d + \delta_d Ln(T_N) \quad (\text{A.11})$$

Em corrosão a *taxa de retorno* é comumente chamada de *efeito tamanho* [64-66], e a sua definição é dada por:

$$T_N = \frac{A_T}{a_d} \quad (\text{A.12})$$

onde: A_T é área total da estrutura que está sendo inspecionada e a_d é área donde foi tirada a amostra para se fazer a análise de corrosão. Para um duto T_N pode ser definido por:

$$T_N = \frac{A_T}{a_d} = \frac{\pi D L_{duto}}{\pi D l_{dados}} = \frac{\text{comprimento total do duto}}{\text{comprimento do duto com os dados usados}} \quad (\text{A.13})$$

Conforme ao obtido em (A.11) a distribuição de valor extremo máximo é redefinida como:

$$F(d) = \exp \left[-\exp \left(-\frac{d - [\psi_d + \delta_d \ln(T)]}{\delta_d} \right) \right] \quad (\text{A.14})$$

$$F(r) = \exp \left[-\exp \left(-\frac{r - [\psi_r + \delta_r \ln(T)]}{\delta_r} \right) \right] \quad (\text{A.15})$$

A seguir é apresentado um exemplo, onde se pode observar a influência do efeito tamanho. Usando os mesmos dados do exemplo acima, e assumindo que o comprimento total do duto, L , é de 50 km e o comprimento com os dados da inspeção, l , é igual a 10 km (figura A.1), tem que:

$$\psi_r^* = \psi_r + \delta_r \ln(T_N) = 0.38 + 0.12 \ln\left(\frac{50}{10}\right) = 0.57 \text{ [mm/ano]}$$

A figura A.5 apresenta a influência do parâmetro localização como o *efeito tamanho* na função de densidade probabilidade da taxa de corrosão.

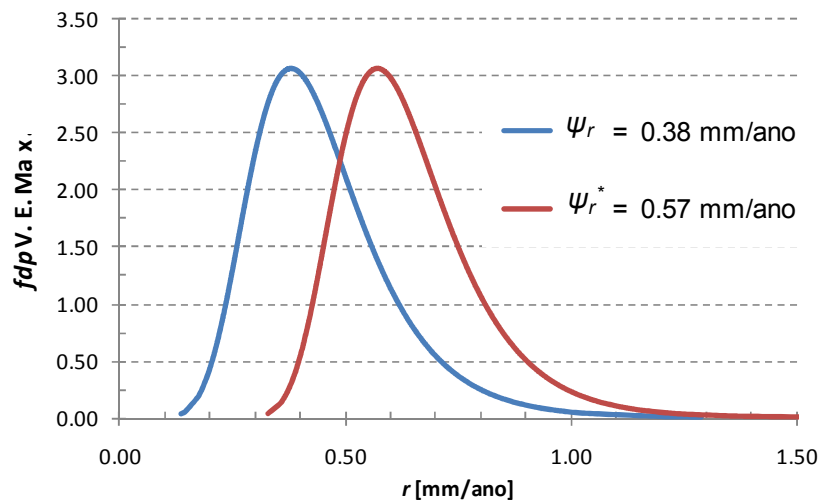


Figura A.5 – Influência do *efeito tamanho* na função de densidade de probabilidade do valor extremo máximo tipo I na taxa de corrosão

Na figura A.5 pode ser observado que o *efeito tamanho* desloca a função de densidade probabilidade para valores maiores de taxa de corrosão.

TRABALHOS PUBLICADOS EM REVISTAS OU CONGRESSOS RELACIONADOS COM A ÁREA E LINHA DE PESQUISA

A. C. BENJAMIN, A. R. FRANZOI, J. J. LEAL C., J. L. F. FREIRE, R. D. VIEIRA, J. L. C. DINIZ. Additional Test Results of Pipeline with Corrosion – Irregular Shaped Defects. Experimental Techniques. Published Online: 10 Dec 2009.

A. C. BENJAMIN, A. R. FRANZOI, J. J. LEAL C., J. L. F. FREIRE, R. D. VIEIRA, J. L. C. DINIZ. Burst Prediction of Pipeline Containing Irregular Shaped Corrosion Defects. SEM Annual Conference & Exposition on Experimental and Applied Mechanics. June 1– 4, 2009, Albuquerque, Albuquerque, New Mexico USA

CARVAJALINO, J. J. L., FREIRE, J. L. F., MARANGONE, F. Assessing In-Line Inspection. Method for Determining Probability of Failure Helps Evaluate the Performance of Intelligent Pigs. Pipeline and Gas Technology, April 2007, pag. 20-25.

CARVAJALINO, J. J. L., FREIRE, J. L. F., MARANGONE, F. Performance of In-Line Inspection Tools and their Influence on the Structural Reliability of Corroded Pipeline. International Pipeline Conference, September 25-29, 2006. Calgary, Alberta, Canada.

PROJETOS E RELATÓRIOS TÉCNICOS

Adecuación al uso de las líneas Flowline SAL X-9, X-10, X-11, X-12 e X-13 basado en un análisis de confiabilidad estructural PETROBRAS BOLIVIA S.A. Evaluación de la probabilidad de falla por corrosión. Desenvolvido por: José de Jesús Leal Carvajalino, Leonardo Dantas Rodrigues, Marco Antonio Perez Rosas e José Luiz Freire. 2009-2010.

Coleção de Programas no Sistema Windows XP/ para PC e Mobile para Avaliação de Integridade Estrutural Baseados na API 579-1/ASME FFS-1. Desenvolvido por: José de Jesús Leal Carvajalino, Marco Antonio Perez Rosas, Antonio Carlos Miranda e José Luiz Freire. Para: Eng. Guilherme Donato do CENPES/PETROBRAS. 2009.

Relatório Técnico - Análise do trabalho da ADVANTICA sobre dutos da região de Capuava. Desenvolvido por: José de Jesús Leal Carvajalino e José Luiz Freire. Para: Eng. Renato Mendes Cons.Tec. - Risco Ind./Amb. & Confiab. ENGENHARIA / IETEG / ETEG / EAMB. 2009.

Projeto de apoio à incubadoras de empresas com atuação na cadeia de Petróleo e Gás Natural. Incubadora Gênesis PUC-Rio. Projeto: Métodos de Análise e Avaliação de Confiabilidade de Estruturas e de Ferramentas de Inspeção de Dutos. Projeto com o qual se criou a empresa PRIMA-7S Integridade Estrutural. José de Jesús Leal Carvajalino, Leonardo Dantas Rodrigues, Marco Antonio Perez Rosas e José Luiz Freire. 2009.