

# P147, Desenvolvimento de Modelos para Previsão de Confiabilidade de Equipamentos (CR, CRC) e seus Impactos nos Indicadores de Performance (SEIS SIGMA) do Sistema de Distribuição de Gás Natural do Varejo. Ciclo 2011/2012.

Antônio Elias Júnior, Luís Augusto Nagasaki Costa, Gabriel A. Costa Lima, Marcos Henrique Carvalho.

COMGÁS,  
FUNDEB

**Resumo** – A quantidade de ativos que constituem o sistema de distribuição de gás natural para residências é grande. Isso implica em um grande desafio em se fazer a gestão desses ativos de modo que os clientes tenham percepção de disponibilidade, baixos riscos no processo, alta confiabilidade operacional, eficiência de custo operacional, dentre outras demandas. Nesse sistema, componentes importantes são os reguladores em unidades CR (Conjunto de regulagem) e CRC (Conjunto de regulagem de calçada) e este trabalho apresenta conceitos, aplicações e exemplos sobre confiabilidade e aplicações de testes de confiabilidade sobre esses componentes.

Palavras-chave: confiabilidade; gás natural; regulador; Seis Sigma; testes.

## Introdução

De modo simplificado, a confiabilidade é a probabilidade de um item não falhar, ou seja, probabilidade de sobreviver por pelo menos um determinado período. Confiabilidade está relacionada com probabilidade, isto é, não há certeza até um determinado tempo, mas há uma chance<sup>1</sup> que um dispositivo não irá falhar por pelo menos um determinado tempo.

## Desenvolvimento

Nos testes de confiabilidade, as informações obtidas podem ser utilizadas para objetivos distintos (KECCECIOGLU, 2002, p.1-2) e são compostos por número de unidades, tempo de testes, critério para se encerrar o teste, método para análise de resultados e a tomada de decisão.

O número de unidades incluídas depende de dois critérios: nível de significância estatística e orçamento existente. Para o caso de dados completos, na literatura de estatística aparecem diversas equações – Montgomery e Runge (2003, cap. 9) e Nelson (1982, cap. 10, 11 e 12).

A duração do teste é uma variável importante tanto do ponto de vista econômico quanto estatístico, pode-se consultar Epstein e Sobel

(1953), Allen (1959), Basu e Ebrahimi, N. (1982) e Nelson (1982).

Na Figura 1 encontra-se a ilustração de um regulador de pressão que é uma válvula controlada e posicionada no caminho do fluxo a fim de restringi-lo.

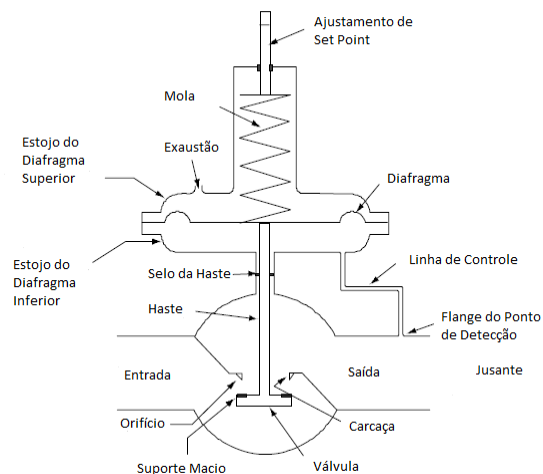


Figura 1 – Esquema de unidade reguladora de pressão.

Essa válvula de controle é acionada por um diafragma situado entre duas câmaras cuja diferença de pressão gera o impulso responsável por mover a válvula de controle. Uma das câmaras é conectada à jusante (câmara de baixa pressão) através de uma linha de detecção que controla a

<sup>1</sup> Na prática, as decisões são tomadas com base em probabilidades uma vez que dificilmente o tomador de decisão possui informações completas.

pressão do diafragma de acordo com a pressão da jusante (RAMI et al., 2007).

A construção de modelos para a estimativa de vida de componentes, equipamentos, sistemas, etc depende essencialmente de análise estatística de dados históricos sobre os tempos de vida de unidades já empregadas na distribuição de gás natural. Mas, nem sempre tais dados de vida existem como no caso de reguladores e estabilizadores usados na distribuição de gás natural, principalmente no caso de itens novos.

Por isso, nesse projeto de pesquisa desenvolvem-se metodologias e modelos para tais elementos presentes em sistemas de distribuição de gás natural.

Diante da inexistência de dados históricos de vida faz-se necessário realizar testes de modo que se obtenham informações que possam ser empregadas nos modelos estatísticos.

Ocorre que há dificuldade na oferta de infraestrutura laboratorial para a realização de testes no Brasil e, por isso, parte da pesquisa consistiu em desenvolver um aparato para realizar testes de vida exploratórios de modo a obter informações sobre a vida dos itens referentes a dois modos de falha: (a) falha em abrir e (b) falha em fechar.

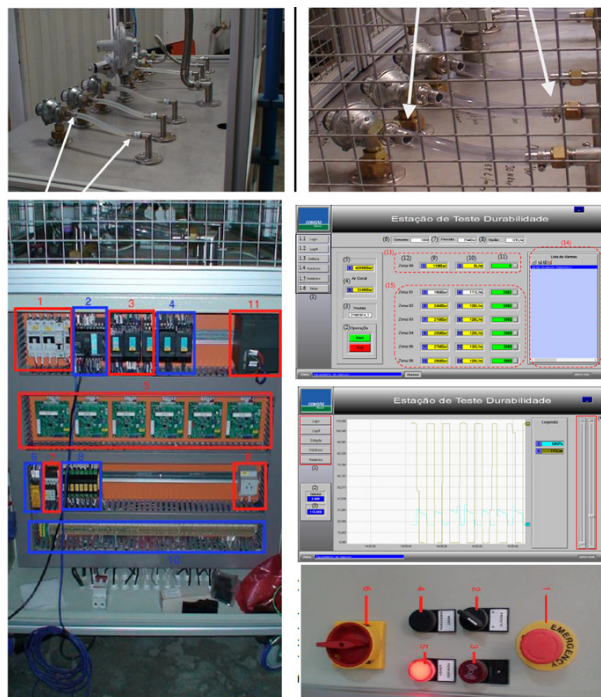


Figura 2 – Bancada construída para executar testes de durabilidade.

Este estudo experimental foi realizado considerando-se tanto aspectos operacionais dos reguladores (pressão de entrada, pressão de saída e vazão) como restrições de custo e tempo do projeto.

Uma fase deste projeto de P&D consistiu em desenvolver uma bancada para realizar testes exploratórios com os seguintes objetivos:

Realizar teste de vida em 01 CRC com duração de cem mil ciclos em temperatura ambiente.

Realizar testes de vida em 06 estabilizadores com duração de cem mil ciclos, sendo que destes 03 unidades são testadas em temperatura ambiente e outras 03 em temperatura de 90 graus Celsius.

## Resultados

Em situações em que não se observa falhas durante os testes de vida, não é possível empregar métodos estatísticos clássicos para a estimativa dos parâmetros da distribuição de probabilidade. Alternativamente, pode-se empregar uma abordagem Bayesiana em que se usam informações a priori sobre os valores da distribuição de Weibull de  $\beta$  e  $\eta$ , obtidos a partir da literatura ou experiência de campo, uma vez que esse parâmetro é dependente apenas do modo de falha, ou seja, para um determinado modo de falha o valor de  $\beta$  é o mesmo, independente das condições impostas ao equipamento<sup>2</sup>.

Uma busca na literatura<sup>3</sup> não revela informações suficientes de parâmetros de  $\beta$  de reguladores de pressão, mas há informações disponíveis sobre os seus componentes principais mola e diafragma<sup>4</sup>.

Na Tabela 1 encontram-se valores de literatura de  $\beta$  e  $\eta$  de molas e diafragmas.

Diafragma		Mola	
$\beta$	$\eta$ (horas)	$\beta$	$\eta$ (horas)
0,5	50.000,00	0,5	14.000,00
1,1	60.000,00	1,1	25.000,00
1,4	300.000,00	3,0	5.000.000,00

Tabela 1 - de Bloch e Geitner (1994)

<sup>2</sup> ETA depende da severidade de uso, mas não beta.

<sup>3</sup> Pesquisa realizada em publicações como SPE (Society of Petroleum Engineers), Departamento de Defesa dos EUA, NASA, Journal of Risk and Reliability, Reliability Engineering & System Safety, dentre outros.

<sup>4</sup> Assume-se que o regulador tenha um comportamento probabilístico semelhante a um sistema tipo série composto por mola e o diafragma, ou seja, seus componentes.

O regulador consiste basicamente de um sistema tipo série composto por mola e diafragma, uma vez que estes são os principais componentes responsáveis pelas falhas do equipamento. Logo, a confiabilidade do regulador passa a ser o produto entre a confiabilidade da mola e a confiabilidade do diafragma.

Sabe-se por experiência que os reguladores de pressão falham principalmente devido ao desgaste ocasionado pelo longo tempo de uso (degradação, fadiga, desgaste e outras ações dessa natureza).

A partir dessa constatação, pode-se concluir que o valor de  $\beta$  do regulador deve ser maior que um. Por isso, dentre os valores sugeridos na Tabela 1, consideram-se, então, valores de  $\beta$  maiores do que um.

O parâmetro  $\beta$  foi modelado por meio de uma distribuição triangular a partir dos valores apresentados na Tabela 1 e o parâmetro  $\eta$  determinado por meio de uma regressão linear a partir das informações da tabela 1 e ensaios de bancada.

Os valores fornecidos na Tabela 1 foram utilizados para os três tipos de reguladores estudados nesse trabalho (CRC, CR e estabilizadores).

Obtendo-se assim para CRC os parâmetros da distribuição Weibull  $\beta = 1,31$  e  $\eta = 100.000$  ciclos, para CR e estabilizadores, encontrou-se beta igual a 1,31 e eta igual a 104.381 ciclos.

Com isso podemos fazer uso da equação de confiabilidade (1):

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (1)$$

A partir da função confiabilidade, pode-se elaborar um modelo para estimar o número de falhas que ocorre ao longo do tempo.

Uma vez determinado valor esperado da quantidade falhas que devem ocorrer em cada ano ao longo do tempo, pode-se também obter uma estimativa da qualidade do sistema isto é, o nível sigma resultante de diferentes políticas de manutenção.

A seguir são apresentadas as estimativas sigma encontradas para os CRC, CR e estabilizadores, que foram calculadas por meio da equação 2, (BRREUFOGLE III, 2003, p. 189):

$$\sigma = 0,8406 + \sqrt{29,37 - 2,221 \cdot \ln(PPM)} \quad (2)$$

Em que PPM significa falhas em partes por milhão, calculado a partir da quantidade de falhas.

O nível sigma calculado então será de 3,21 para CRC e 3,11 para CR e estabilizadores.

### Conclusões e contribuições

Neste trabalho foram apresentados os modelos para estimativa dos parâmetros da distribuição Weibull para os CR, CRC e estabilizadores a partir de informações de literatura, simulação de Monte Carlo e resultados de testes em bancadas.

A partir das curvas de confiabilidade de CRC, CR e estabilizadores foi possível desenvolver modelos para previsão da quantidade de falhas ao longo do tempo e determinar o nível sigma no caso de cada população destes elementos.

### Referências

Referências bibliográficas utilizadas no resumo técnico da execução do projeto.

ALLEN, W. R , Inference from Tests with Continuously Increasing Stress, Operations Research, Vol. 7, p.303-312, 1959.

BASU, A. P., AND EBRAHIMI, N., "Nonparametric Accelerated Life Testing," **IEEE Trans. On Reliability** RJ1,432-435, 1982.

EPSTEIN, B., Estimation from Life Test Data. **Technometrics**, vol.2, n.4, p.447-454, 1960.

KECECIOGLU, D. **Reliability & Life Testing Handbook, Volume 1**. Pennsylvania : DEStech Publications, Inc., 2002, 901 p.

Montgomery, D.C., Runger, G. C., Applied Statistics and Probability for Engineers, Wiley, 2003.

NELSON, W. **APPLIED LIFE DATA ANALYSIS**. John Wiley & Sons, INC., 1982.

RAMI, E. G., JEAN-JACQUES, B., BRUNO, D., FRANÇOIS, M., **Modelling of a pressure regulator**, International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol. 84, p. 234-243. 2007.