ISSN: 2594-6153

Monitoração de Falha por Fadiga Induzida por Vibração em Tubulações Industriais Através da Lógica Paraconsistente Anotada com Anotação de Dois Valores

Jose Jefferson M. de Oliveira[1], Carlos Eduardo A. L. Rodrigues[1,2], João Inácio da Silva Filho[3]

[1]Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS), Santos – SP, Brasil
[2]Universidade Federal Rural do Semi-Arido (UFERSA), Mossoró – RN, Brasil
[3]Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos – SP, Brasil

E-mail: jjmoliveira@petrobras.com.br

Resumo: O presente trabalho introduz alguns conceitos de vibração em tubulações e técnicas de monitoração para mensurar riscos de falha por fadiga, conforme metodologias propostas pelas diretrizes do Energy Institute (EI) e da International Organization for Standardization (ISO). Com base nestas duas fontes de informações é investigado um modo de quantificar estes riscos utilizando os conceitos básicos de Lógica Paraconsistente Anotada com Anotação de Dois Valores (LPA2v). Na sequência, a partir de dados reais de medição de vibração em tubulações de uma unidade de compressão (para condições distintas de operação), foi implementada configuração de algoritmos compondo uma Rede de Análise Paraconsistente (RAP), e determinado o valor do Grau de Certeza Real resultante. Os resultados obtidos ratificaram a possibilidade de se aplicar este tipo de lógica em redes neurais destinadas a predição de falhas em tubulações por fadiga induzida por vibrações (VIF).

Palavras-chave: Lógica Paraconsistente Anotada, Redes de Análise Paraconsistente, tubulações industriais, fadiga induzida por vibrações.

Vibration-Induced Fatigue Failure Monitoring in Industrial Pipes Using Paraconsistent Annotated Logic with Annotation of Two Values

Abstract: This paper presents some concepts of vibration in piping and monitoring techniques to measure the risk of fatigue failure, according to methodologies proposed by the Energy Institute (EI) and International Organization for Standardization (ISO) guidelines. Based on these two sources of information, a way to quantify these risks is investigated using the basic concepts of Paraconsistent Annotated Logic with Annotation of Two Values (PAL2v). Subsequently, from real vibration measurement data in piping of a compression unit (for different operating conditions), algorithm configuration was implemented composing a Paraconsistent Analysis Network (PANet), and the Real Certainty Degree Value was determined. The results obtained confirmed the possibility of applying this type of logic in neural networks aimed at predicting failures in piping due to vibration-induced fatigue (VIF).

Keywords: Paraconsistent Annotated Logic, Paraconsistent Analysis Network, process piping, vibration-induced fatigue.

Introdução

Vibrações excessivas em tubulações industriais é um fenômeno bastante comum à indústria. Em geral, podem ser causadas por fontes mecânicas ou hidráulicas e são responsáveis

ISSN: 2594-6153

pelo surgimento do mecanismo de falha por fadiga induzida por vibração (do inglês, *vibration-induced fatigue – VIF*) [1]. Este mecanismo de dano, é conhecido na indústria de óleo e gás de longa data [2], e respondem por 21% dos vazamentos de hidrocarbonetos em plataformas no Mar do Norte [1, 3, 4].

Este tipo de falha é altamente indesejável, pois a ignição em atmosfera rica em hidrocarboneto, poderia ocasionar um evento catastrófico, com significativas perdas econômicas, danos ambientais consideráveis, além de uma séria ameaça à segurança do pessoal de bordo. Com o intuito de mitigá-la, foram elaboradas diretrizes que estabelecem critérios de aceitação para os níveis de vibração presentes em equipamentos e tubulações industriais [5-7].

Estas diretrizes utilizam critérios em função da velocidade de vibração atuante em RMS (*root mean square*), ou um sistema de pontuação (*scoring*), associado a probabilidade de falha (LOF), em função das forças de excitação e geometria das linhas. Cada diretriz possui critérios distintos e o emprego de duas ou mais diretrizes numa análise, pode levar a resultados divergentes ou contraditórios.

A Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) é uma lógica não clássica que suporta a contradição em seus fundamentos, permitindo o tratamento de dados com informações incertas e contraditórias. Assim, a mesma pode ser utilizada para o tratamento mais eficiente de dados complexos, pois seus algoritmos não ignoram (nem descartam), fontes de informação com aparentes contradições ou inconsistências [8, 9]. O algoritmo denominado Nó de Análise Paraconsistente – NAP, é um dos mais importantes fundamentados na Lógica Paraconsistente Anotada com Anotações de Dois Valores (LPA2v). A partir de dois sinais de informação de valores normalizados, denominados graus de Evidência favorável (μ) e desfavorável (λ), a uma proposição P, que possam conter informações contraditórias, pode-se obter o Grau de Evidência Real (μ_{ER}), também normalizado e depurado dos efeitos da contradição.

No presente trabalho, a partir de um caso real de falha para uma tubulação conhecida [9, 10], foi empregada uma Rede de Análise Paraconsistente (RAP), ilustrada na Figura 1, formada a partir de NPA's (utilizando como fontes de informação os critérios do Energy Institute [6] e da ISO[7]), para o tratamento das incertezas na medição de vibração através da LPA2v, com o objetivo alicerçar um método eficiente de predição de falhas por VIF.

Objetivo

ISSN: 2594-6153

O principal objetivo é avaliar o uso da LPA2v para alicerçar um método eficiente de predição de falhas por VIF, utilizando-se como fontes de informação os critérios do Energy Institute e da ISO.

Material e Métodos

A partir dos dados de vibração, para as condições operacionais para os casos descritos na Tabela 1 [10, 11], e utilizando-se LAP2v, foi elaborada uma RAP de simples configuração (ver Figura 1), para determinação do Grau de Evidência Real resultante (μ_{ER3}), para a proposição P_3: Existe "Risco de Falha Iminente por VIF".

Tabela 1 – Valores da Velocidade de Vibração Medidos

Nº	Condição Operacional para Medição	Máxima Velocidade Global RMS Medida [mm/s]	Máxima Velocidade Espectral RMS Medida [mm/s]	Frequência Correspondente à Máxima Veloc. Espectral [Hz]
#1	Durante a Pré Partida da Planta, com a configuração do Projeto Original[1]	104,5	102	30,1
#2	Após Reparo da Tubulação e Instalação de Amortecedores de Alta Viscosidade[2]	29	25,8	30
#3	Após Instalação de Amortecedor de Massa Sintonizada Próximo a Região de Máxima Vibração[3]	17	9,4	18

Notas:
(1) Antes da falha da tubulação, que ocorreu poucas horas após a partida da planta;
(2) Primeira medida implementada para supressão da vibração na tubulação;
(3) *Segunda medida implementada para supressão da vibração na tubulação.*

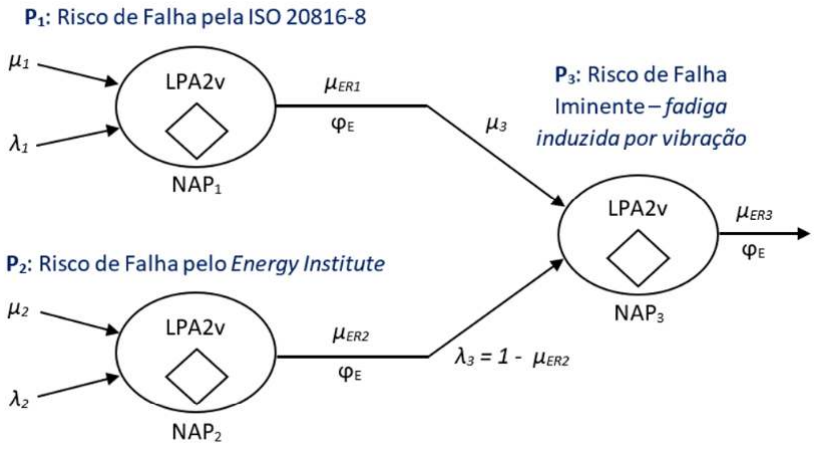


Figura 1 – Rede de Análise Paraconsistente de Utilizada.

Para valoração dos Graus de Evidência favorável e desfavorável (respectivamente, μ_1 e λ_1), para o algoritmo do nó NAP_1, foram considerados, como padrão, os valores disponíveis na ISO 20816-8 2018 [7].

ISSN: 2594-6153

No caso da valoração dos Graus de Evidências favorável e desfavorável (μ_2 e λ_2, respectivamente), para o NAP_2, utilizou-se como padrão, os critérios de análise do *Energy Institute* Guidelines [6]. E a partir dos valores de saídas obtidos (Grau de Evidência Real, μ_{ER1} e μ_{ER2}), determinou-se o Grau de Evidência Real resultante (μ_{ER3}) para o NAP_3.

Resultados

Os resultados obtidos para os valores de μ_{ER3} através da RAP da Figura 1, encontram-se ilustrados na Figura 2. É importante ressaltar que tanto os amortecedores viscoelásticos (*high viscous dampers*), quanto a adição de massa tonada (de ajustagem) tinham como objetivos reduzir o nível de vibração da tubulação, uma vez que foram identificadas elevadas velocidades de vibração, conforme indicado nos valores da Tabela 1. Já na Figura 3 pode se observar a relação da velocidade de vibração no espectro de frequência em RMS [mm/s] para o NAP_2 com o Grau de Certeza Real resultante (μ_{ER3}).

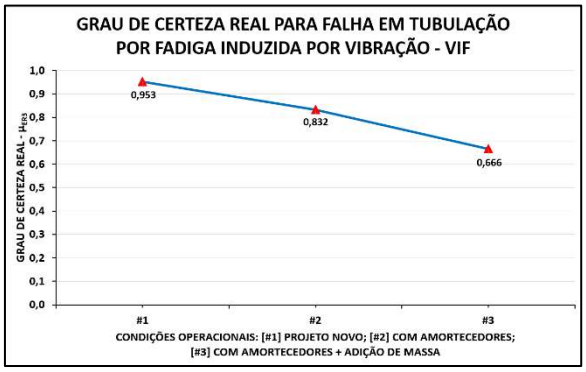


Figura 2 – Grau de Certeza real para as três condições operacionais descritas na Tabela 1.

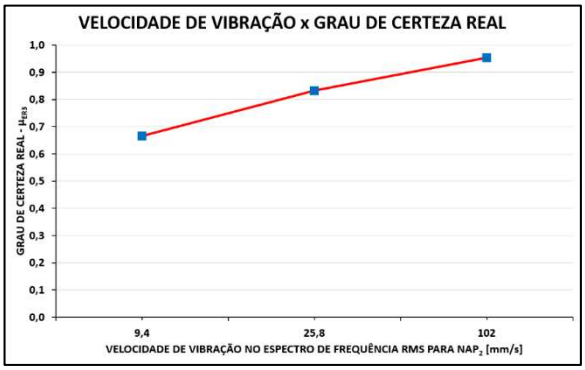


Figura 3 – Relação da velocidade de vibração em RMS para o NAP_2 com μ_{ER3}.

Discussão

É possível identificar, através da Figura 2, que o μ_{ER3} obtido pela RAP proposta, reflete as ações adotadas para redução do nível de vibração da unidade de compressão, quando comparamos os cenários #2 e #3 com o cenário #1. Observa-se que, à medida em que foram instalados amortecedores viscoelásticos na tubulação (cenário #2) e, em seguida, a adição de massa tonada no trecho da tubulação de maior intensidade de vibração (cenário #3), a tubulação respondeu com menor velocidade de vibração e o Grau de Certeza Real para a proposição *P*: Existe "Risco de Falha Iminente por VIF" para a tubulação foi reduzido.

ISSN: 2594-6153

De acordo com resultados anteriores [11], para o cenário #3, o nível de vibração foi considerado seguro para a metodologia da ISO. Já para o EI, ainda era preocupante (o que aponta para uma inconsistência). Para a rede proposta, obteve-se o valor de $\mu_{ER3} = 0{,}666$. Tanto o critério do EI quanto o da ISO, já estabelecem uma região marginal, para monitoramento e, se necessário, tomada de ações mitigatórias. Porém, para este exemplo específico, cada critério chegou a uma conclusão diferente. A RAP proposta permitiu integrar os dois critérios e qualifica-la através do Grau de Certeza Real, uma vez que a LPA é capaz de suportar esse tipo de inconsistência.

Na Figura 3, observa-se a relação entre a velocidade de vibração e μ_{ER3}, onde um incremento de valor do primeiro parâmetro irá resultar no aumento do segundo, já que maiores velocidades de vibração favorecem ao mecanismo de falha por fadiga induzida por vibração.

Conclusões

De acordo com os resultados apresentados no presente artigo, verifica-se que é possível utilizar os algoritmos da LPA2v para configurar redes de análises paraconsistentes formatadas a partir de diretrizes de vibração para sistemas de tubulações, com o objetivo de associar o nível de vibração presente ao risco de falha por VIF. A detecção dos níveis de risco de fadiga por vibrações ofereceria condições para que as equipes de manutenção se antecipassem ao evento, de forma a minimizar os impactos decorrentes deste importante tipo de falha.

Referências Bibliográficas

1. Ghazali, MH; Hee, LM; Long, MS (2014). Piping Vibration due to Pressure Pulsations: Review. *In*: Advanced Materials Research, v. 845, p. 350-354;
2. Wachel, JC; Morton, SJ; Atkins, KE (1990). Piping Vibrations Analysis. *In*: Proceedings of the Nineteenth Turbomachinery Symposium, Texas, p. 119-134;
3. Health and Safety Executive (2008). HSE RR 672: Research Report Nº RR 672 – Offshore Hydrocarbon Releases 2001-2008. HSE, Buxton, 80 p.;
4. Keprate, A; Ratnayake, RMC (2018). Generic Approach for Risk Assessment of Offshore Piping Subjected to Vibration Induced Fatigue. ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part B: Mechanical Engineering, v. 4, 021006: 1-12;
5. European Forum Reciprocating Compressors (2009). Guidelines for Vibrations in Reciprocating Compressor Systems. EFRC, 3th Ed. Dresden, 30 p.;
6. Energy Institute (2008). Guidelines for the Avoidance of Vibration Induced Fatigue Failure in Processo Pipework. Energy Institute/Health and Safety Executive, 2nd Ed. Londres, 236 p.;
7. International Organization for Standardization (2018). ISO 20816-8 2018: Mechanical Vibration – Measurement and Evaluation of Machine Vibration – Part 8: Reciprocating Compressor Systems. ISO, Switzerland, 42 p.;
8. Abe, JM; Nakamatsu, K; Da Silva Filho, JI (2019). Three Decades of Paraconsistent Annotated Logics: A Review Paper on Some Applications. *In*: 23rd International Conference

ISSN: 2594-6153

on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems. Procedia Computer Science, v. 159, p. 1175-1181;

9. Da Silva Filho, JI; Abe, JM; Torres, GL (2008). Inteligência Artificial com as Redes de Análises Paraconsistentes – Teoria e Aplicações. Rio de Janeiro: LTC, 313 p;
10. Mederios, J; Mendonça, CO, Tinoco, EB (2020). Dynamic Analysis of a Reciprocating Compressor Piping System. *In*: Rio Oil & Gas Expo Conference 2020: Rio de Janeiro: IBP; FM 3808 00: 1-10;
11. Oliveira, JJM, Pacheco, MTT (2022). A Análise de Vibração em Tubulações de Processo e o Emprego de Diretrizes Normativas na Prevenção de Falha por Fadiga Associada a FIV: Estudo de Caso. Brazilian Journal of Development. Curitiba, 2022, v.8, n.2, p. 10830–10837.