

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ANÁLISE DA TAXA DE FALHA DE COMPRESSORES DE AR USADOS NA PRODUÇÃO DE GÁS NATURAL POR MEIO DA DISTRIBUIÇÃO q-WEIBULL

Janailson O. Cavalcanti, janailsonoliver@yahoo.com.br¹
Leizer Schnitman, leizer@ufba.br¹
Silvio A.B. Vieira de Melo, sabvm@ufba.br¹

¹Programa de Engenharia Industrial, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Rua Aristides Novis, 2, Federação, 40155-000, Salvador-BA

Resumo: Compressores de ar são equipamentos classificados como críticos em plantas de produção de gás natural, sendo responsáveis pelo contínuo suprimento de ar comprimido necessário ao acionamento de válvulas de processamento do gás. Neste contexto, técnicas de análise de confiabilidade são cada vez mais aplicadas na previsão do comportamento das taxas de falha, visando diminuir perdas na produção, reduzir os custos da manutenção e os danos com acidentes. Neste artigo, uma análise de confiabilidade em compressores de ar utilizados na produção de gás natural é realizada. A análise se dá com o uso da distribuição q-Weibull para a modelagem da taxa de falha, usando dados obtidos em amostras de campo das condições operacionais dos equipamentos. Os dados de tempo entre falhas são ajustados para a distribuição q-Weibull e os parâmetros dessa distribuição de probabilidade são estimados pelo método dos mínimos quadrados. Os dados de falha de cada compressor de ar analisado são classificados em quatro modos de falha: automação, instrumentação, mecânico e misto; e as curvas de taxa de falha e de sobrevivência são apresentadas para cada modo de falha como medidas de confiabilidade dos compressores. Os resultados permitiram identificar para o período estudado três padrões de comportamento de taxa de falha: curva da banheira, monótona crescente e praticamente constante, fazendo uso da versatilidade do modelo q-Weibull.

Palavras-chave: Confiabilidade, Taxa de Falha, Curva da Banheira, Distribuição q-Weibull, Compressor.

1. INTRODUÇÃO

Compressores de ar são equipamentos críticos em plantas de produção de gás natural, pois operam continuamente para suprir o ar comprimido necessário ao acionamento de válvulas durante o processamento do gás. Por essa razão, a disponibilidade operacional desse tipo de equipamento deve ser monitorada constantemente, o que requer a simulação da sua confiabilidade e manutenibilidade. No cenário atual, em que a sociedade precisa usar recursos de produção de maneira racional, a eficiência operacional dos sistemas de produção deve ser prevista e técnicas quantitativas de análise de dados de falha são ferramentas úteis. Há diversas distribuições de probabilidade disponíveis para aplicações em análise de taxa de falha, entre as quais se destacam a distribuição exponencial, a lognormal e a de Weibull. No entanto, em sua forma original, nenhuma delas é capaz de descrever a curva da banheira com um único conjunto de parâmetros. Assis *et al.* (2015) apresentam um estudo comparativo para modelar dados de falha de uma estação de solda robotizada, usando quatro modelos: os modelos Weibull e exponencial, e suas versões generalizadas, os modelos q-Weibull e q-exponencial. De acordo com esses autores, a distribuição q-Weibull é mais apropriada para modelar os dados de falha da estação de solda robotizada, porque foi capaz de identificar os três comportamentos distintos da curva de taxa de falha (decrecente, constante e crescente) com o mesmo conjunto de parâmetros. Essa possibilidade oferecida pela distribuição q-Weibull de descrever a curva da banheira com um único conjunto de parâmetros foi uma das motivações para o presente trabalho. Por isso, adotou-se a hipótese de que os dados de tempo entre as falhas dos compressores de ar podem ser ajustados pela distribuição de probabilidade q-Weibull, e as curvas de taxa de falha e de sobrevivência modeladas por essa distribuição são apresentadas como ferramentas para a análise da disponibilidade operacional. O objetivo desse trabalho foi a análise de confiabilidade de três compressores de ar comprimido, sendo dois compressores de parafuso rotativo [(125hp), (588-1176kPa)] e um compressor alternativo [(10hp), (1100kPa)], todos instalados em sistemas de produção de gás natural. Amostras de dados de campo, contendo o tempo de operação entre a ocorrência de

falhas, foram obtidas de registros de ordens de manutenção e classificadas nos modos de falha mecânico, instrumentação, automação e misto.

2. METODOLOGIA

Para realizar a análise de confiabilidade de cada compressor de ar, inicialmente deve-se fazer a triagem dos dados, separando-os conforme os modos de falha. Em seguida, para cada modo de falha, faz-se a estimação dos parâmetros do modelo q-Weibull a partir da função de não confiabilidade, usando o método dos mínimos quadrados. O *software Matlab* foi escolhido para auxiliar o desenvolvimento dos cálculos e as representações gráficas dos resultados. Após a estimação dos parâmetros do modelo q-Weibull e validação da qualidade do ajuste, é feito o estudo de simulação das curvas de taxa de falha e sobrevivência. As seções seguintes descrevem em detalhes a distribuição q-Weibull e o procedimento de estimação de parâmetros.

2.1. Distribuição de Probabilidade q-Weibull na Análise de Confiabilidade

Em análise de confiabilidade, as funções associadas à distribuição de probabilidade q-Weibull são representadas pela função densidade de falhas (Eq. 1); pela função acumulada de falhas ou função não confiabilidade (Eq. 2); pela função confiabilidade (Eq. 3) e pela função taxa de falhas (Eq. (4)).

$$f_q(t) = (2 - q) \frac{\beta}{\eta - t_0} \left(\frac{t - t_0}{\eta - t_0} \right)^{\beta-1} \exp_q \left[- \left(\frac{t - t_0}{\eta - t_0} \right)^\beta \right] \quad (1)$$

$$F_q(t) = 1 - \exp_{q'} \left[- (2 - q) \left(\frac{t - t_0}{\eta - t_0} \right)^\beta \right] \quad (2)$$

$$R_q(t) = \exp_{q'} \left[- (2 - q) \left(\frac{t - t_0}{\eta - t_0} \right)^\beta \right] \quad (3)$$

$$h_q(t) = \frac{(2-q)\beta}{\eta - t_0} \left(\frac{t - t_0}{\eta - t_0} \right)^{\beta-1} \left[\exp_q \left[- \left(\frac{t - t_0}{\eta - t_0} \right)^\beta \right] \right]^{q-1} \quad (4)$$

onde $q' = \frac{1}{2-q}$, de acordo com as propriedades da q-exponencial (Assis *et al.*, 2015).

Os quatro parâmetros da distribuição q-Weibull presentes nas equações anteriores são q , β , η , e t_0 . O valor $(\eta - t_0) = \theta$ é conhecido como o parâmetro de escala da distribuição, t_0 é o parâmetro de localização ou vida mínima, ou seja, é um valor de tempo abaixo do qual não há previsão de falhas, q e β são os parâmetros de forma. Nesse trabalho, o parâmetro de localização t_0 é igual a zero em todos os casos analisados e, conseqüentemente, a distribuição q-Weibull terá apenas três parâmetros. Neste caso, quando $t_0 = 0$ significa que a probabilidade de falha é zero para o tempo $t = 0$, além disso, o tempo t nas Eq. (1) a (4) será o tempo entre as falhas das amostras de campo coletadas.

A Tabela 1 fornece os tipos de comportamento da função taxa de falha da distribuição q-Weibull de acordo com os valores dos parâmetros q e β .

Tabela 1. Comportamento da Função Taxa de Falha da Distribuição q-Weibull.

	$0 < \beta < 1$	$\beta = 1$	$\beta > 1$
$q < 1$	Curva da banheira	Monótona crescente	Monótona crescente
$q = 1$	Monótona decrescente	Constante	Monótona crescente
$1 < q < 2$	Monótona decrescente	Monótona decrescente	Unimodal

Fonte: Assis *et al.* (2013).

2.2. Estimação de Parâmetros da Distribuição q-Weibull

A estimação dos parâmetros da distribuição q-Weibull é realizada usando a função não confiabilidade $F_q(t)$ fornecida pela Equação (2), onde $\beta > 0$, $t > t_0$, $q < 2$ e $(\eta - t_0) = \theta$ com $\theta > 0$. A Equação (2) deve ser reescrita numa forma linear $y = \beta x + b$ para que o método de estimação de parâmetros por mínimos quadrados possa ser aplicado. Neste caso, tem-se $y = \ln \left\{ - \ln_{\frac{1}{2-q}} [1 - F_q(t)] \right\}$, $x = \ln(t - t_0)$ e $b = -\beta \ln \left[\frac{\theta}{(2-q)^\beta} \right]$.

Os parâmetros da função não confiabilidade são estimados usando a equação do erro global E que está representada pela Eq. (5).

$$E = \sum_{i=1}^n [\hat{F}_i - F_q(t_i)]^2 \quad (5)$$

Na Equação (5) o termo $\hat{F}_i$ é o estimador *median rank* para a função não confiabilidade dado pela Eq. (6), onde n é o tamanho da amostra, i é o número de ordem da falha variando de 1 até n . Maiores detalhes de uso do estimador *median rank* são encontrados em Murthy *et al.*(2004). O termo $F_q(t_i)$ é a função acumulada de falhas ou função não confiabilidade escrita para cada dado de tempo entre falhas da amostra.

$$\hat{F}_i = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad (6)$$

A Equação (5) pode ser solucionada por otimização no *software Matlab*. A solução da Eq.(5), por meio de minimização com restrição, determina os valores dos parâmetros q , β e θ da função não confiabilidade que proporcionam o melhor ajuste da distribuição q-Weibull aos dados de tempo entre falhas da amostra e, consequentemente, fornece o menor erro global na Eq. (5). Como critério adicional para avaliar a qualidade do ajuste, foi calculado o coeficiente de determinação R^2 , dado pela Eq. (7). O valor de R^2 varia entre 0 e 1, e quanto mais próximo de 1 melhor será a qualidade do ajuste ao conjunto de dados da amostra.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [y_i - \hat{y}_i]^2}{\sum_{i=1}^n [y_i - \bar{y}_i]^2} \quad (7)$$

onde $y_i = \ln \left[-\ln_{\frac{1}{2-q}}(1 - \hat{F}_i) \right]$, $\hat{y}_i = \ln \left\{ -\ln_{\frac{1}{2-q}}[1 - F_q(t_i)] \right\}$ e $\bar{y}_i = \frac{\sum y_i}{n}$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras de dados de tempo entre falhas, obtidas de registros de ordens de manutenção, foram classificadas nos modos de falha mecânico, misto, automação e instrumentação.

3.1. Compressor de Ar Comprimido Tipo Alternativo [A]

Os resultados da estimação de parâmetros do modelo q-Weibull usando os dados de falha do compressor de ar tipo alternativo [A] são apresentados nessa seção. De posse dos parâmetros estimados, foi possível representar as curvas de taxa de falha e de sobrevivência, modeladas pela distribuição q-Weibull, bem como avaliar a disponibilidade operacional de cada compressor de ar durante a produção de gás natural.

Para o compressor de ar tipo alternativo [A], a amostra obtida contém 14 dados de tempo entre falhas que foram classificados como modo de falha mecânico. O resultado do ajuste da função de não confiabilidade pode ser observado nas Fig. 1 e 2. Na Figura 1 o alinhamento dos dados com a reta é um indicativo da qualidade do ajuste. Os valores encontrados para erro global ($E = 0,0182$) e para o coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9251$) confirmam o bom ajuste dos dados ao modelo q-Weibull.

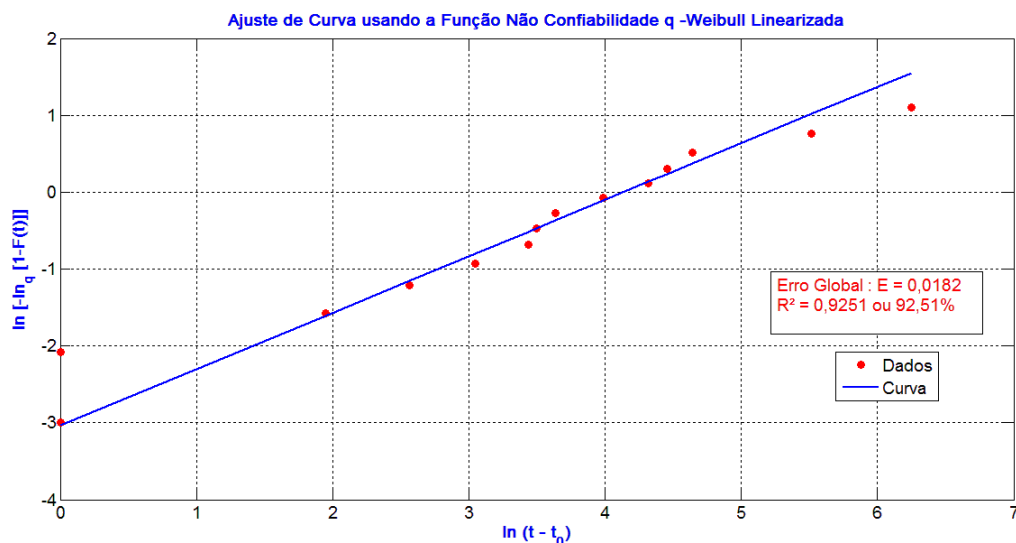


Figura 1. Regressão linear da função não confiabilidade para o compressor de ar tipo alternativo [A] usando o modelo q-Weibull.

Na Figura 2 os dados em vermelho expressam os valores da função não confiabilidade calculada com o estimador de *median rank* da Eq. (6), enquanto que a curva em azul representa a função não confiabilidade com os parâmetros q , β e θ obtidos com a otimização da Eq. (5). A função não confiabilidade com os valores dos parâmetros estimados é descrita pela Eq. (8), onde $q = 0,9127$, $\beta = 0,7343$, $t_0 = 0$ dia e $\theta = (\eta - t_0) = (\eta - 0) = \eta = 70$ dias.

$$F_q(t) = 1 - \exp_{q'} \left[-(2 - q) \left(\frac{t - t_0}{\eta - t_0} \right)^\beta \right] = 1 - \exp_{q'} \left[-(1,08) \left(\frac{t}{70} \right)^{0,73} \right] \quad (8)$$

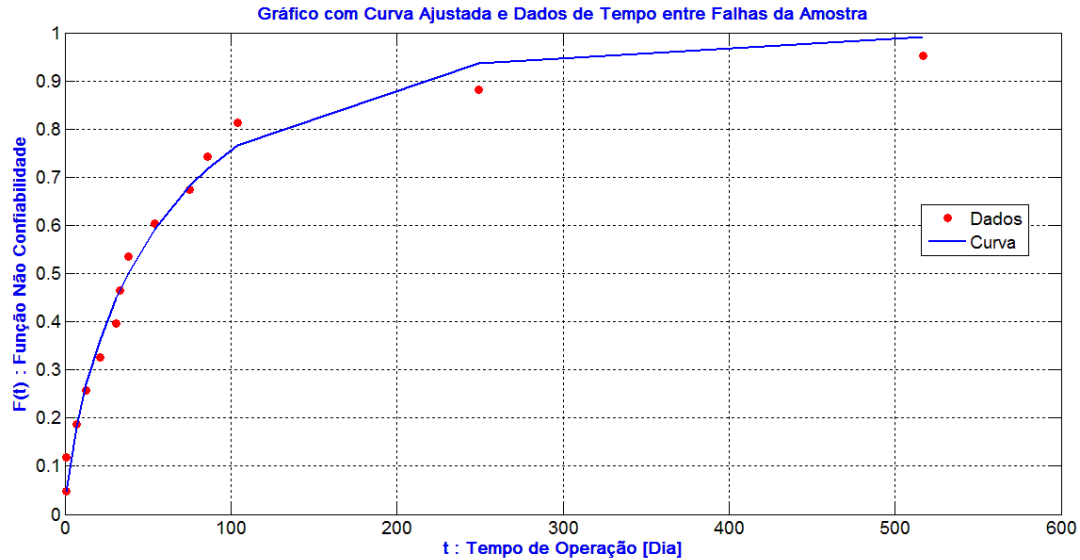


Figura 2. Curva de não confiabilidade para o compressor de ar tipo alternativo [A] usando o modelo q-Weibull.

As curvas de taxa de falha e de sobrevivência do compressor de ar [A] estão representadas nas Fig. 3 e 4, respectivamente. As duas curvas foram geradas a partir da amostra de 14 dados de tempos entre falhas, que correspondem ao período de operação entre fevereiro de 2010 e junho de 2013. Todos os dados de falha dessa amostra de campo foram classificados como modo de falha mecânico. Além disso, a amostra de campo analisada representa dados de tempo entre falhas desde o período da entrada do compressor de ar em operação até a sua desativação total.

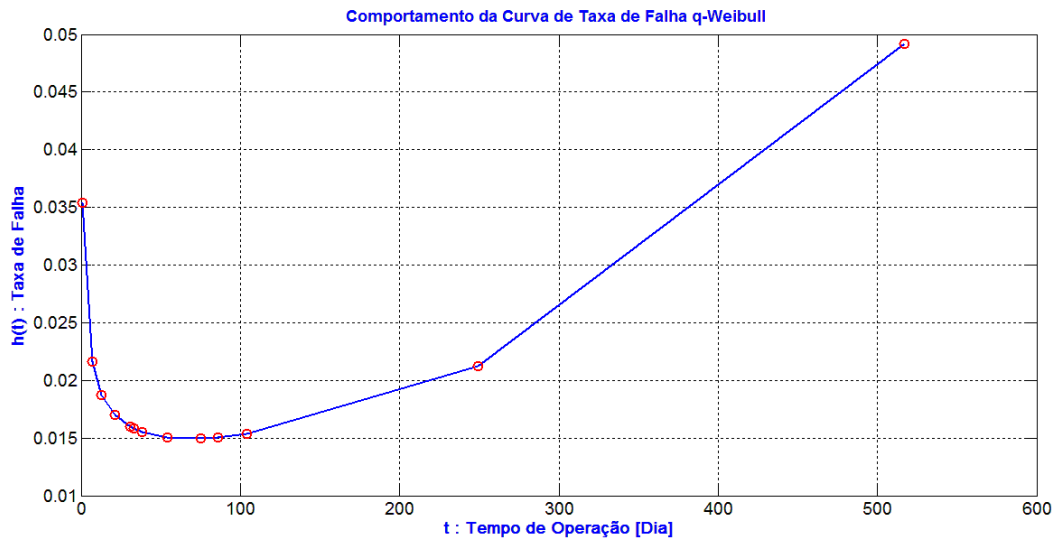


Figura 3. Curva de Taxa de Falha: Modo de Falha Mecânico.

A Figura 3 indica a previsão do comportamento da função taxa de falha $h(t)$ do compressor de ar [A]. A curva de taxa de falha, modelada pela distribuição de probabilidade q-Weibull, assemelha-se ao padrão de falha conhecido como curva da banheira. De acordo com a Fig. 3, a maioria dos dados de falha está na fase de mortalidade infantil, que corresponde à primeira das três fases que formam a curva da banheira. A fase de mortalidade infantil indica que a probabilidade de falha é maior quando o equipamento é novo ou retornou de manutenção. Moubray (2000) descreve as causas relacionadas com a fase inicial da curva da banheira. Essa condição de desempenho operacional do compressor de ar tem varias causas, uma delas pode ser a interferência da atividade de manutenção no desempenho do equipamento.

Ressalta-se que o compressor de ar [A] estava submetido periodicamente a tarefas de manutenção preventiva na época da coleta da amostra de dados de falha.

A Figura 4 representa a curva de sobrevivência ou curva de confiabilidade calculada para o compressor de ar [A]. Observa-se que a função confiabilidade $R(t)$ decresce rapidamente com o tempo de operação. Para um tempo $t = 70$ dias que corresponde ao parâmetro de escala (η) da distribuição q-Weibull, o valor calculado da confiabilidade $R(t=70)$ é de 33,71%. O compressor de ar operou por cerca de 1200 dias antes de sua desativação total e a confiabilidade calculada para este tempo foi de 0,02%. De acordo com a Fig. 4 este equipamento operou durante muito tempo do seu ciclo de vida com baixa confiabilidade, o que, do ponto de vista econômico, fica inviável, pois não permite estabelecer qualquer medida de confiabilidade para retirada permanente de operação.

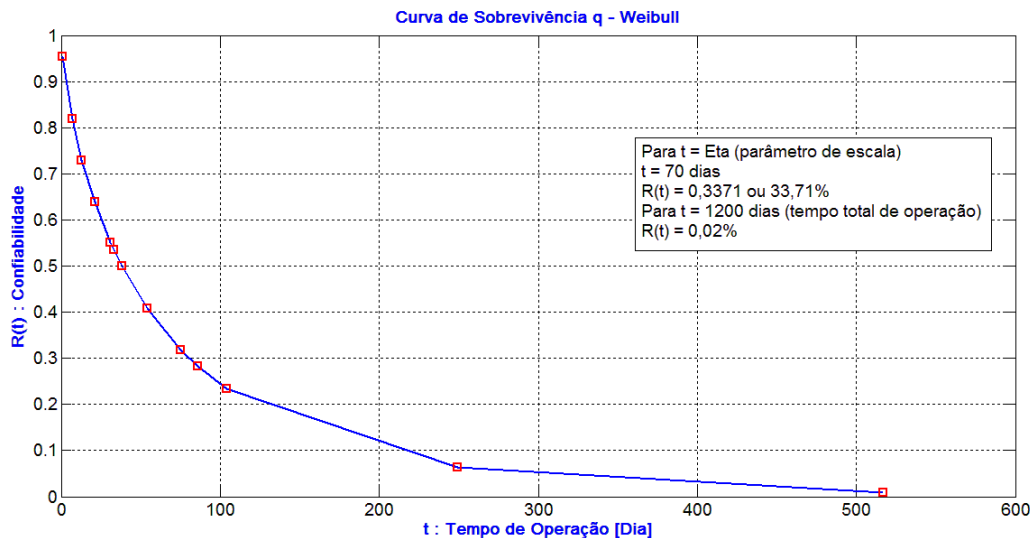


Figura 4. Curva de Sobrevivência: Modo de Falha Mecânico.

A Tabela 2 apresenta os resultados dos parâmetros da distribuição q-Weibull estimados pelo método dos mínimos quadrados, bem como a medida da qualidade do ajuste através da consulta aos valores do erro global e do coeficiente de determinação.

Tabela 2. Parâmetros da distribuição q-Weibull.

Método de Estimação	Mínimos Quadrados
β	0,7343
q	0,9127
η (Dia)	70,00
t_0 (Dia)	0
Estimativa Inicial de β , η , q	[0,5 70 0,5]
Erro Global: E	0,0182
Coeficiente de Determinação: R^2	0,9251 ou 92,51%

3.2. Compressor de Ar Comprimido Tipo Parafuso [B]

Para o compressor de ar [B], três amostras de dados de campo de tempo entre falhas foram analisadas. Este equipamento também está submetido frequentemente a tarefas de manutenção preventiva e permanece em operação até os dias de hoje. A Figura 5 apresenta a curva de taxa de falha deste equipamento para a amostra 1, classificada como modo de falha mecânico, que contém 11 falhas operacionais do período de julho de 2010 até dezembro de 2014. O comportamento da taxa de falha da Fig. 5 é de curva monótona crescente, que corresponde à fase 3 da curva da banheira, onde ocorre o desgaste do equipamento, decorrente de falhas que têm relação direta com a idade operacional. Os dados de falha são de componentes mecânicos presentes no compressor de ar, que sofreram desgaste natural, e que uma vez substituídos diminuem a taxa de falha melhorando o desempenho operacional do equipamento. A Figura 6 representa a curva de confiabilidade do compressor de ar [B] que decresce rapidamente com o tempo de operação. Para o tempo $t=100$ dias, que corresponde ao parâmetro de escala da distribuição q-Weibull, a confiabilidade prevista é de $R(t=100) = 27,76\%$.

A Tabela 3 apresenta os resultados da estimação de parâmetros da distribuição q-Weibull, bem como da medida da qualidade do ajuste através da verificação dos valores do erro global e do coeficiente de determinação.

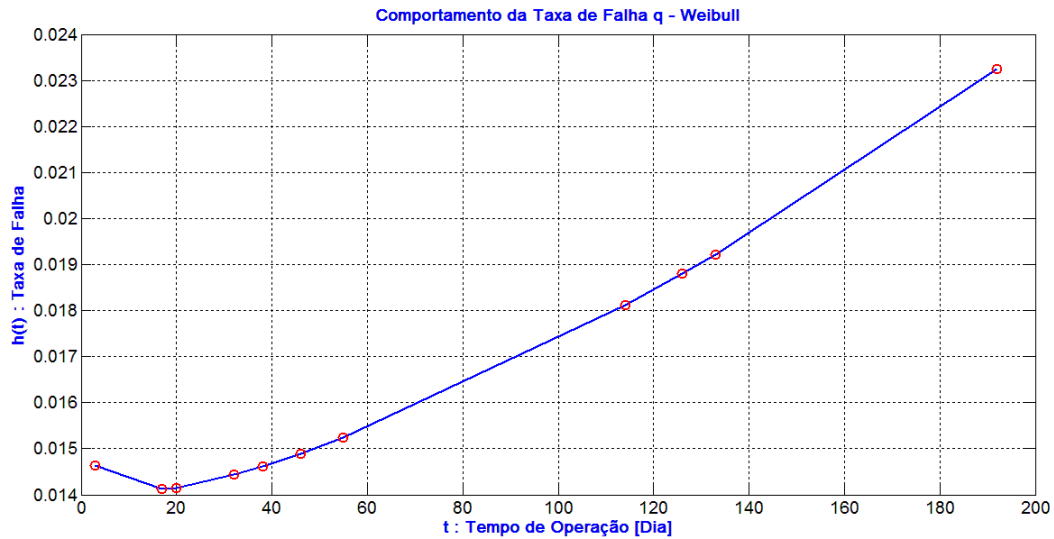


Figura 5. Curva de Taxa de Falha: Modo de falha: Mecânico.

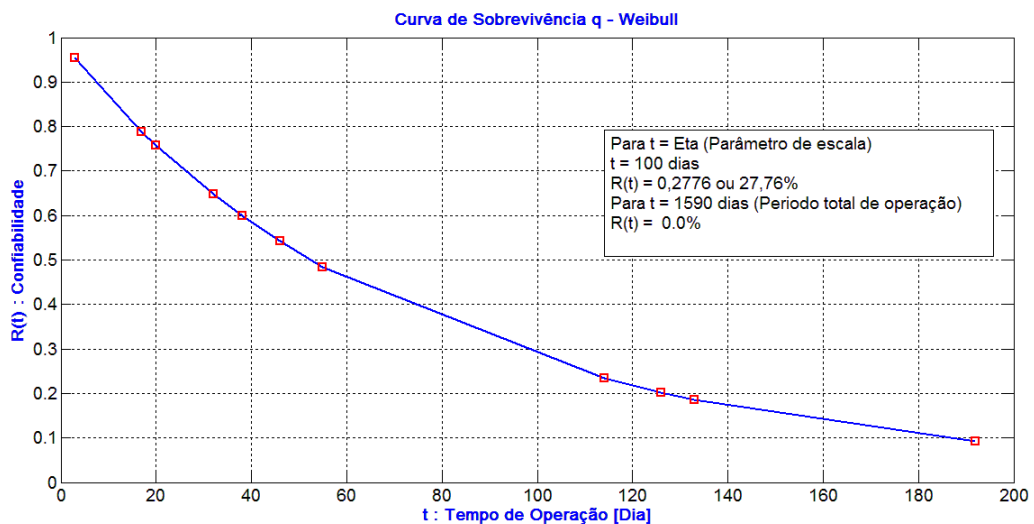


Figura 6. Curva de Sobrevivência: Modo de falha: Mecânico.

Tabela 3. Parâmetros da distribuição q-Weibull.

Método de Estimação	Mínimos Quadrados
β	0,9509
q	0,7183
η (Dia)	100
t_0 (Dia)	0
Estimativa Inicial de β, η, q	[1,5 100 0,5]
Erro Global: E	0,0237
Coefficiente de Determinação: R^2	0,9652 ou 96,52%

A Figura 7 apresenta a curva de taxa de falha do compressor de ar [B] para a amostra 2, classificada como modo de falha instrumentação, composta de 8 falhas operacionais do período de maio de 2011 até novembro de 2014. O comportamento da função taxa de falha $h(t)$ também é de curva monótona crescente, mas com um crescimento menor quando comparado ao da curva da amostra 1. Os dados de falha da Fig. 7 representam falhas em instrumentos montados no compressor de ar, que apresentaram desgaste natural ou necessidade de limpeza, mas que uma vez reparados melhoraram o desempenho operacional do equipamento. A Figura 8 representa a curva de confiabilidade ou de sobrevivência do compressor de ar [B] para os dados da amostra 2. Esta curva também é decrescente com o tempo de operação, mas quando comparada à curva de sobrevivência da amostra 1, para o mesmo tempo $t=100$ dias, apresenta o valor de confiabilidade $R(t=100) = 54,08\%$. Esse valor maior de confiabilidade representa um melhor desempenho operacional do compressor de ar [B] para o modo de falha instrumentação. A Tabela 4 mostra os valores dos parâmetros estimados e a qualidade do ajuste de curva aos dados da amostra 2.

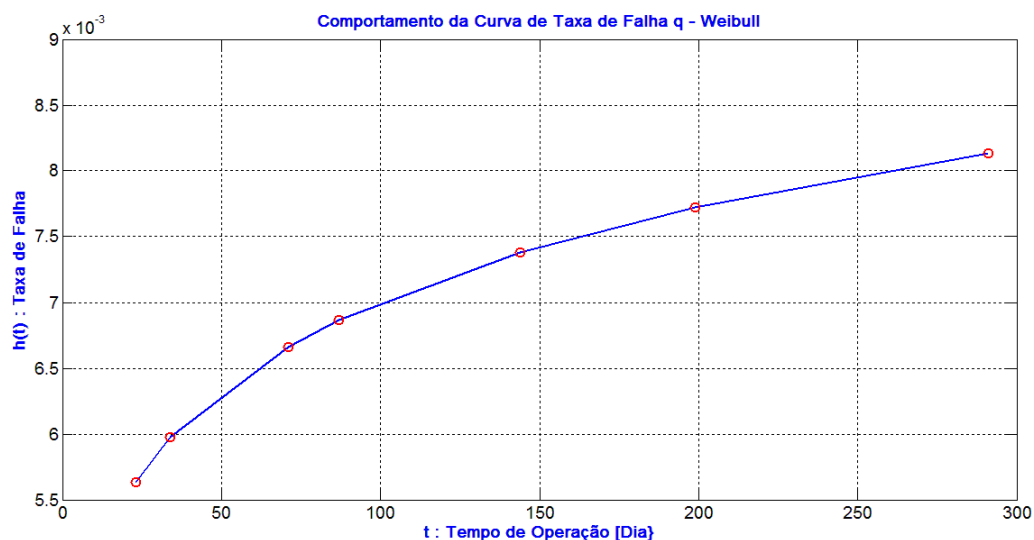


Figura 7. Curva de Taxa de Falha: Modo de falha: Instrumentação.

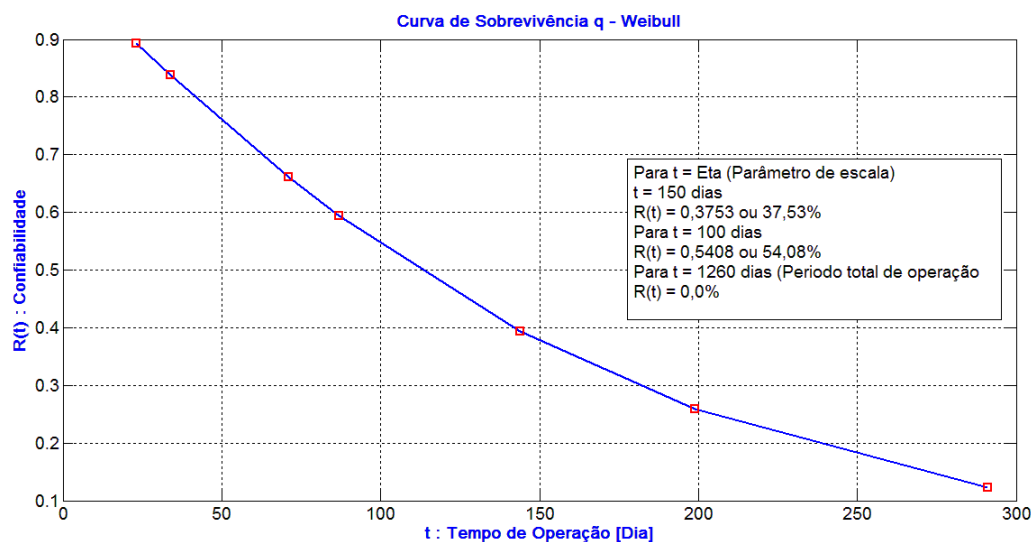


Figura 8. Curva de Sobrevivência: Modo de falha: Instrumentação.

Tabela 4. Parâmetros da distribuição q-Weibull.

Método de Estimação	Mínimos Quadrados
β	1,15
q	1,02
η (Dia)	150
t_0 (Dia)	0
Estimativa Inicial de β , η , q	[1 150 1,5]
Erro Global: E	0,0145
Coefficiente de Determinação: R^2	0,9705 ou 97,05%

A Figura 9 apresenta o comportamento da função taxa de falha $h(t)$ para a amostra 3, classificada como modo de falha misto, que é composta por 21 falhas operacionais dos modos de falha mecânico, instrumentação e automação do período de julho de 2010 até dezembro de 2014. A curva de taxa de falha é crescente até o tempo de operação $t=50$ dias, mas depois apresenta um comportamento de taxa de falha praticamente constante com o tempo. Essa região de falhas aleatórias, mesma probabilidade de falha para qualquer tempo t , indica um desempenho operacional normal do compressor de ar [B]. A Figura 10 apresenta a curva de confiabilidade e a Tabela 5 os resultados dos parâmetros e da qualidade do ajuste para os dados da amostra 3.

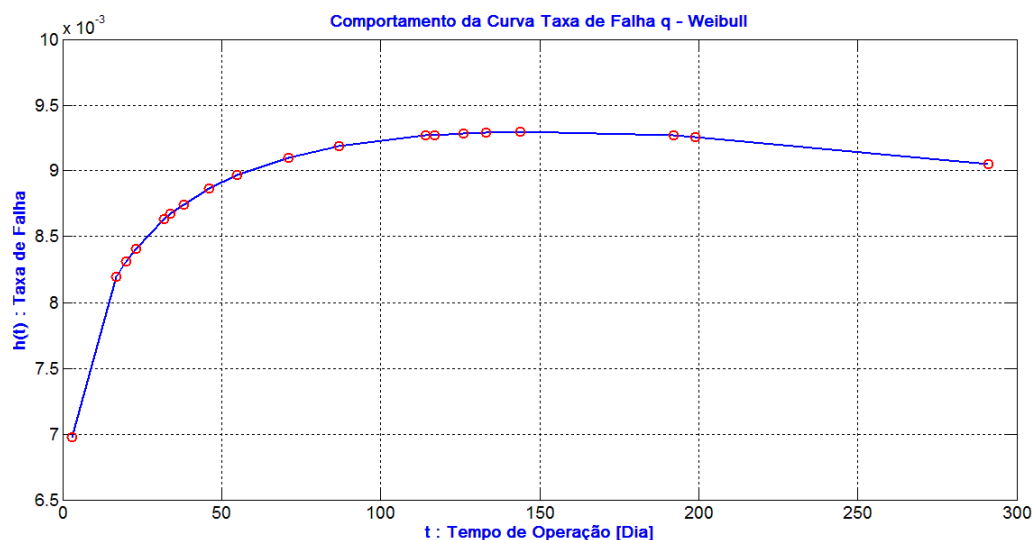


Figura 9. Curva de Taxa de Falha: Modo de falha: Misto.

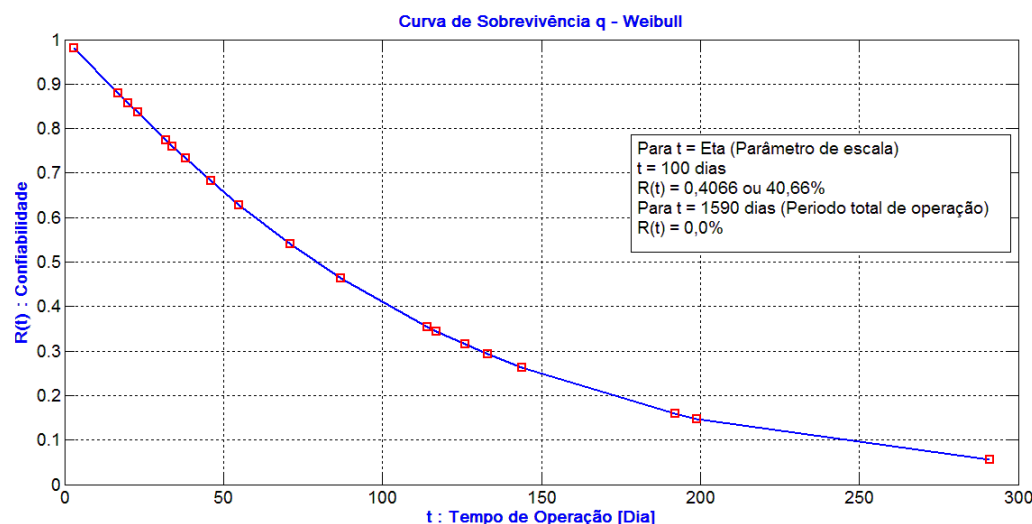


Figura 10. Curva de Sobrevivência: Modo de falha: Misto.

Tabela 5. Parâmetros da distribuição q-Weibull.

Método de Estimação	Mínimos Quadrados
β	1,097
q	1,1
η (Dia)	100
t_0 (Dia)	0
Estimativa Inicial de β , η , q	[1 100 1,5]
Erro Global: E	0,0317
Coefficiente de Determinação: R^2	0,9689 ou 96,89%

3.3. Compressor de Ar Comprimido Tipo Parafuso [C]

A Figura 11 apresenta o comportamento da curva da banheira para a função taxa de falha $h(t)$ do compressor de ar [C]. A amostra de campo contém 12 dados de tempo entre falhas, classificada como modo de falha automação, do período de março de 2010 até junho de 2014. Na época da coleta da amostra, o equipamento encontrava-se em operação e estava sujeito a tarefas periódicas de manutenção preventiva. De acordo com a Figura 11, a maior parte dos dados de falha do equipamento está na fase 2, ou na região de vida útil (falhas aleatórias), da curva da banheira. Essa condição de operação do compressor de ar prevê probabilidade de falha praticamente constante, ou seja, mesma taxa de falha para qualquer tempo (t), indicando para este caso particular um desempenho operacional próximo da normalidade. De acordo com Lafraia (2006), para a região de vida útil (falhas aleatórias) da curva da banheira, o TMEF (Tempo médio entre falhas) é usado como medida de confiabilidade para avaliar o desempenho operacional. Portanto, nesse caso, o TMEF é

expresso pela Eq. (9) e a função taxa de falha $h(t)$ assume o comportamento constante igual a λ . Na Equação (9), quanto menor o valor de λ , maior é o valor do TMEF. O TMEF do compressor de ar [C], assumindo o valor de taxa de falha $\lambda=0,0097$ obtido da Fig. (11), seria de aproximadamente 103 dias.

$$TMEF = \frac{1}{\lambda} \quad (9)$$

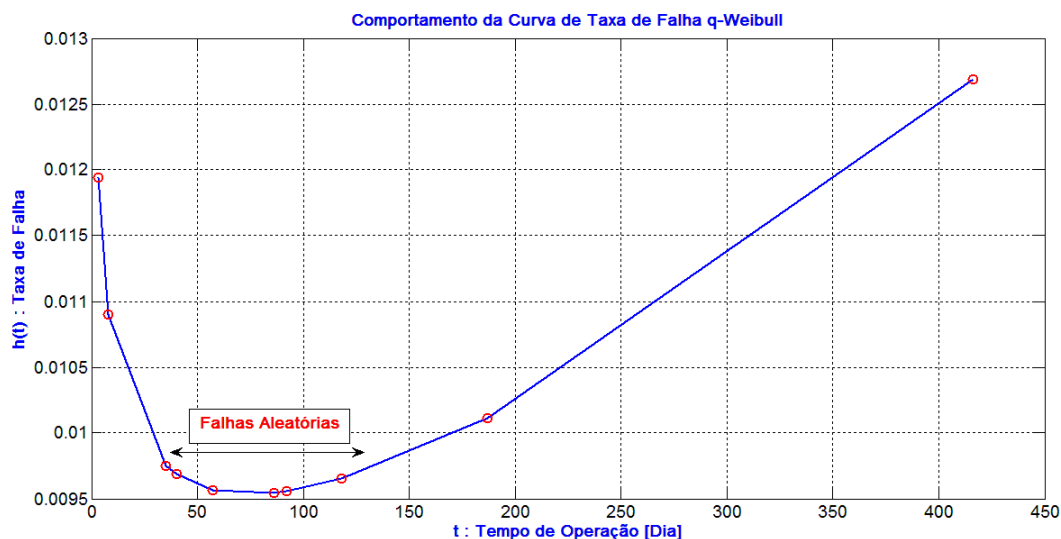


Figura 11. Curva de Taxa de Falha: Modo de falha: Automação.

A Figura 12 apresenta a curva de sobrevivência gerada para a mesma amostra de dados de falha. A função confiabilidade $R(t)$ decresce rapidamente com o tempo operacional. Para o tempo $t=120$ dias que corresponde ao parâmetro de escala, a confiabilidade prevista é de $R(t)=33,29\%$. A Tabela 6 mostra os resultados dos parâmetros usados nas funções $h(t)$ e $R(t)$ do compressor de ar parafuso [C], bem como a qualidade do ajuste de curva aos dados de falha.

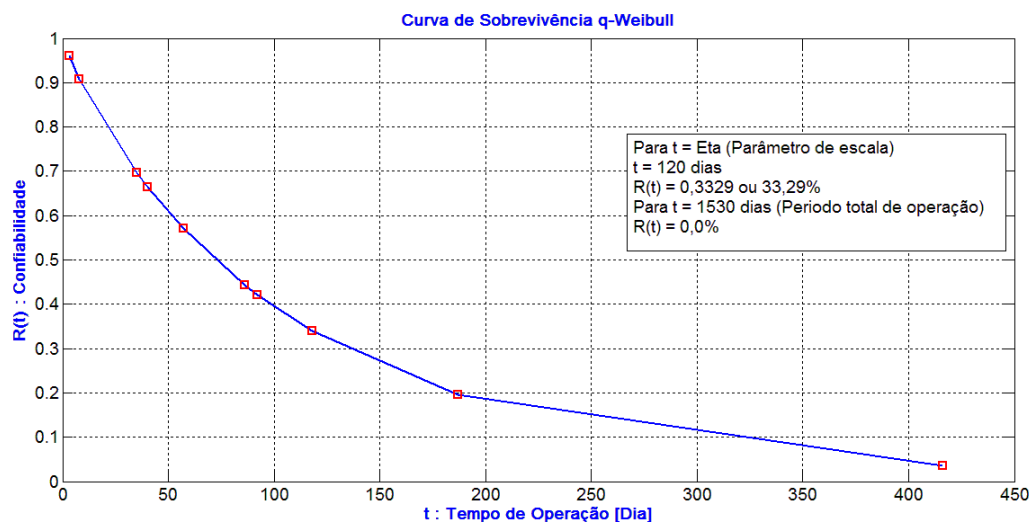


Figura 12. Curva de Sobrevivência: Modo de falha: Automação.

Tabela 6. Parâmetros da distribuição q-Weibull.

Método de Estimação	Mínimos Quadrados
β	0,9
q	0,9
η (Dia)	120
t_0 (Dia)	0
Estimativa Inicial de β, η, q	[0,5 100 0,5]
Erro Global: E	0,0466
Coefficiente de Determinação: R^2	0,9415 ou 94,15%

4. CONCLUSÃO

A distribuição de probabilidade q-Weibull se mostrou flexível na análise do desempenho operacional dos compressores de ar, uma vez que permitiu representar como medida de confiabilidade três comportamentos distintos para a curva de taxa de falha: curva da banheira, monótona crescente e praticamente constante. Os compressores de ar do tipo parafuso rotativo apresentaram menores taxas de falha em comparação ao compressor de ar do tipo alternativo. Apesar do bom ajuste do modelo q-Weibull aos dados das amostras coletadas, o uso da curva de sobrevivência como medida de confiabilidade não se mostrou eficiente, já que todas as curvas apresentaram um rápido decaimento da confiabilidade com o tempo operacional. Na prática nenhum valor de confiabilidade $R(t)$ foi previsto como medida de desempenho dos equipamentos, uma vez que se torna inviável do ponto de vista econômico. A análise de confiabilidade com base apenas nos dados de falha dos equipamentos se apresenta insuficiente, uma vez que os dados de reparo dos compressores de ar, quando ajustados com distribuições de probabilidades, inclusive a própria distribuição q-Weibull, também permitiriam avaliar a influência das taxas de reparo no desempenho operacional. A integração de técnicas quantitativas para dados de falha e reparo com técnicas qualitativas como a FMEA, além do uso de técnicas de confiabilidade para análise das tarefas de manutenção e operação, pode oferecer uma análise de confiabilidade mais completa a respeito do desempenho operacional dos compressores de ar.

5. REFERÊNCIAS

- Assis, E. M, Ernesto P. Borges, Silvio A. B. Vieira de Melo, Leizer Schnitman, (2015), “Modeling failure rate of a robotic welding station using generalized q-distributions”, International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 32 Iss 2 pp. 156 – 166.
- Assis, E. M., Borges, E. P. and Vieira de Melo, S. A. B. (2013), “Generalized q-Weibull model and the bathtub curve”, International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 30 No. 7, pp. 720-736.
- Gilat, Amos., Subramaniam, Vish., (2008), “Métodos Numéricos para Engenheiros e Cientistas: Uma introdução com aplicações usando MATLAB”. Bookman, Porto Alegre, Brasil, 479 p.
- Lafraia, J. R. B. (2006), “Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade”. Qualitymark, Rio de Janeiro, Brasil, 388p.
- Moubray J., (2000), “Reliability-centred Maintenance (RCM II)”. Ed. 2, Aladon Ltda, Reino Unido.
- Murthy DNP, Bulmer M, Eccleston JA. (2004), “Weibull model selection for reliability modelling”. Reliab Eng Syst Saf.; 86:257–67.

6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

ANALYSIS OF AIR COMPRESSOR FAILURE RATE USED IN NATURAL GAS PRODUCTION BY MEANS OF DISTRIBUTION q-WEIBULL

Janailson O. Cavalcanti, janailsonoliver@yahoo.com.br¹
 Leizer Schnitman, leizer@ufba.br¹
 Silvio A.B. Vieira de Melo, sabvm@ufba.br¹

¹Industrial Engineering Program, Polytechnic School, Federal University of Bahia, Street Aristides Novis, 2, Federation, 40155-000, Salvador-BA

Abstract. Air compressors are categorized as critical in natural gas production plants, being responsible for the continuous supply of compressed air required for the drive gas processing valves. In this context, reliability analysis techniques are increasingly applied in the prediction of the behavior of failure rates in order to reduce losses in production, reduce maintenance costs and accidents. In this article, a reliability analysis in air compressors used in natural gas production is carried out. The analysis takes place with the use of q-Weibull distribution for modeling the failure rate using data obtained from field samples of the operating conditions of the equipment. Data of time between failures are adjusted for the distribution q-Weibull and the parameters of this probability distribution are estimated by the least squares method. Each air compressor failure data are classified into four failure modes: automation, instrumentation, mechanical and mixed; and the failure rate curves and survival are presented for each failure mode as a measure of reliability of the compressors. The results showed for the period studied three patterns of failure rate behavior: bathtub curve, monotone increasing and virtually constant, using the versatility of q-Weibull model.

Keywords: Reliability, Failure Rate, Bathtub Curve Distribution q-Weibull, Compressor.