



ENGENHARIAS

Modelagem dos dados de falha de uma bomba de refrigeração de alto-forno***Modeling failure data for a blast furnace cooling pump***Paulo César de Resende Andrade¹, Gabriel Acyprest Maciel²**RESUMO**

A manutenção de equipamentos vem se tornando cada vez mais importante, sendo responsável por sustentar a qualidade e a competitividade das indústrias no atual mundo globalizado. Dessa forma, o estudo da confiabilidade é de suma importância para a manutenção industrial, visto que auxilia na previsão de falhas e, conseqüentemente, no aumento da disponibilidade e produtividade dos equipamentos industriais. Para realizar a aplicação da confiabilidade é preciso ter conhecimento a respeito do equipamento, possibilitando assim determinar os modos e as causas de falhas. O presente trabalho tem como objetivo fazer a modelagem dos tempos até a falha de uma bomba de refrigeração de alto-forno. Os tempos foram fornecidos pela empresa Ligas de Alumínio S/A, situada no norte de Minas Gerais e analisados por meio do software ProConf. A distribuição Weibull foi a que melhor se ajustou ao conjunto de dados. Os resultados indicam que a bomba de refrigeração se encontra no final da fase de mortalidade infantil, com tendência de estabilização da taxa de falha. Ou seja, está em no início de sua vida útil, indicando a utilização da manutenção preditiva.

Palavras-chave: Confiabilidade; curva da banheira; manutenção; mortalidade infantil.

ABSTRACT

Equipment maintenance has become increasingly important, being responsible for promoting the quality and competitiveness among industries in the current globalized world. Therefore, reliability analysis is extremely important for industrial maintenance, since it helps to predict failures and, consequently, to increase the availability and productivity of the industrial equipment. Knowing the equipment is required for reliability analysis in order to find out the failures modes and causes. This paper aims at modeling the failure time of a blast furnace cooling pump. The time was provided by the company Ligas de Alumínio S/A, which is located in the north of Minas Gerais, and analyzed using the ProConf software. The Weibull distribution was considered the best application for the data set. The results show that the cooling pump is at the end of the infant mortality phase, tending to stabilize the failure rate. In other words, it is at the beginning of its useful life, indicating the use of predictive maintenance.

Keywords: Reliability; bathtub curves; maintenance; infant mortality.

¹ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Teófilo Otoni/MG – Brasil. E-mail: pceandrade@gmail.com

² E-mail: gabriel_acypreste5@yahoo.com.br



1. INTRODUÇÃO

A competitividade é algo que cresce cada vez mais nas indústrias, visto que o mercado se amplia cada vez mais. Portanto, é de suma importância que as indústrias mantenham seus equipamentos, produtos e sistemas com melhores desempenhos a custos competitivos. O desenvolvimento tecnológico crescente, a alta competição global acirrada pela abertura de mercado e o aumento das expectativas do cliente por melhor desempenho em um período de tempo maior têm impulsionado as indústrias a realizar grandes esforços com o intuito de fornecer produtos com melhor qualidade e mais confiáveis.

Dessa forma, as empresas procuram por equipamentos que possam oferecer mais segurança em relação à disponibilidade e baixa taxa de falhas, pois há menor custo de manutenção, o que acaba sendo um bom investimento. A falha em equipamentos pode gerar problemas em várias escalas, de pequenas inconveniências a grandes impactos no mercado. Portanto, o estudo da confiabilidade é muito importante para garantir a segurança da produção e da comercialização de um produto durante o tempo de uso.

Visto que a confiabilidade é de suma importância, é de se esperar que empresas não meçam esforços para garantir alta confiabilidade de seus equipamentos, pois quando se tem alta confiabilidade, há menos tempo gasto em reparos, portanto, há mais tempo dedicado para a produção e para melhorar a qualidade dos produtos.

O estudo da confiabilidade surge após a Primeira Guerra Mundial, quando foi utilizado para descrever estudos comparativos feitos em aviões com um, dois ou quatro motores, adquirindo um significado tecnológico. (KNIGHT, 1991). Obteve avanços impulsionados pela indústria bélica durante e após a Segunda Guerra Mundial, na qual permitiram amadurecimento da teoria. A partir de 1970 este conceito vem sendo aplicado nas mais diversas áreas. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Fogliatto e Ribeiro (2009) destacam a análise de confiabilidade como uma metodologia utilizada para descrever o comportamento de falhas. A confiabilidade está associada à execução sem falhas de um sistema, sem que haja quebras ou falhas. Leemis (1995) descreve a confiabilidade como a probabilidade de um determinado item desempenhar seu propósito de forma adequada, em um determinado período de tempo, sob condições de operação estabelecidas. Sendo assim, a definição de confiabilidade é dada como uma probabilidade, ou seja, a probabilidade de não ocorrer falhas durante o funcionamento do equipamento.

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), a confiabilidade é definida como a probabilidade que um sistema de produção trabalhe sem falhar por um tempo determinado. A probabilidade do reparo ser executado em um determinado tempo, desde a ocorrência da falha é definida como a manutenibilidade ou manutenibilidade. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). A disponibilidade, que deriva da confiabilidade e da manutenibilidade, é um dos principais indicadores utilizados em manutenção. (CERVEIRA; SELITTO, 2015; FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Um dos métodos utilizados na realização dos estudos de confiabilidade e disponibilidade é o método quantitativo. (WUTTKE; SELITTO, 2008). A confiabilidade é definida por meio da modelagem de dados históricos de tempos entre falhas em distribuições de probabilidades, com apoio de um *software* estatístico. A partir do comportamento da taxa de falhas de um determinado tipo de sistema podem-se associar distribuições de probabilidades para seu tempo de sobrevivência.



Wuttke e Sellitto (2008) afirmam que as distribuições mais utilizadas são Exponencial, Gama, Lognormal e *Weibull*.

A distribuição Exponencial é relevante em estudos de confiabilidade por ser a única distribuição contínua em função do risco constante, como ocorre com alguns tipos de sistemas e componentes ao longo de sua vida útil. É o caso de componentes eletrônicos, tais como capacitores, transistores, resistores e circuitos integrados. (LEEMIS, 1995). Uma de suas características mais conhecida é a "falta de memória", o que caracteriza que o tempo para falhar do componente é independente de seu tempo de operação. Sua função de distribuição de probabilidade acumulada corresponde a $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$, sua função de densidade de probabilidade $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$, com função de risco $h(t) = \lambda$ e função de confiabilidade $R(t) = e^{-\lambda t}$.

A distribuição Gama, apesar de utilizada para modelagens de Confiabilidade é mais indicada para dados de sobrevivência vindos da área biomédica. Elsayed (1996) afirma que é apropriada para a descrição de tempos de falha de sistemas cujas falhas estão associadas a certo número de sub-falhas com taxa de ocorrência constante, ou de um componente cuja falha somente é efetivada após certo número de estágios.

A Lognormal é uma distribuição amplamente utilizada em ajustes de dados por apresentar uma grande quantidade de formatos, de acordo com seus parâmetros. É particularmente indicada em dados cujo intervalo de variação percorre várias ordens de grandeza. Entre exemplos de dados de Confiabilidade em Engenharia podem ser citados casos de fadiga metálica, vida de isolamentos elétricos e tempos de reparo de certos equipamentos. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Elsayed (1996) cita ainda os casos de modelagem do mecanismo de falha de um semicondutor ou de um conjunto de mecanismos de falha intimamente relacionados. A taxa de risco deste modelo apresenta comportamentos diversos, de acordo com os valores dos parâmetros μ e σ . Por exemplo: para $\mu=1$ e $\sigma > 2$, tem-se risco decrescente; para $\mu=1$ e $\sigma \approx 1$, tem-se risco rapidamente crescente no início da vida, seguido de um comportamento estável; para $\mu=1$ e $\sigma < 0,3$, tem-se risco crescente.

A distribuição de *Weibull* é uma das mais importantes distribuições em modelos de confiabilidade devido à flexibilidade e capacidade de representação de amostras de tempos até a falha com comportamentos distintos. (LAFRAIA, 2001; FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009; LEWIS, 1996). Foi introduzida em 1949 pelo sueco Waloddi Weibull como um método conveniente de análise de fadiga mecânica. Mais recentemente, esta "extensão" do modelo Exponencial passou a ser utilizada para a descrição de sistemas eletromecânicos bastante complexos, tais como discos rígidos. Elsayed (1996) recomenda o uso deste modelo quando a função taxa de risco claramente não pode ser representada linearmente ao longo do tempo. Devido a sua capacidade de representar os mais diversos comportamentos monotônicos para a função taxa de risco, este é, sem dúvida, o modelo mais amplamente empregado em análises de confiabilidade. Sua função de distribuição de probabilidade acumulada corresponde a , sua função de densidade de probabilidade

$f(t) = \frac{\gamma}{\theta} t^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\gamma}$, com função de risco $h(t) = \frac{\gamma}{\theta} t^{\gamma-1}$ e função de confiabilidade $R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\gamma}$. Os parâmetros θ e γ são, respectivamente, denominados *parâmetro de escala* (ou característica de vida) e *parâmetro de forma*.



Após o conhecimento da distribuição que melhor se ajusta, pode-se determinar a função de confiabilidade $R(t)$, a função de risco ou de falha $h(t)$ e o tempo médio até a falha $MTTF$ (Mean Time To Failure), como sendo importantes na determinação da confiabilidade de um sistema ou equipamento, não sujeitos a reparos. O tempo médio até a falha $MTTF$ é definido por uma média dos tempos entre falhas no equipamento analisado. A função de confiabilidade $R(t)$ indica a probabilidade de um sistema ou equipamento realizar uma operação com sucesso, ou seja, sem ocorrência de falhas no intervalo de tempo $(0, t)$ e ainda estar funcionando no tempo t . A função de risco $h(t)$ é a medida de confiabilidade mais difundida na prática, ela interpreta a quantidade de risco associada a uma unidade no tempo t . Também é conhecida como taxa de falha num processo interativo cujo sucesso depende de se determinar relações implícitas entre causa e efeito. (CARVALHO, 2008).

A modelagem dos tempos até a falha é, portanto, central em estudos de confiabilidade. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Vários estudos foram desenvolvidos com comprovadas adequações a várias situações práticas. (BARBOSA; ANDRADE, 2019; BRANDÃO; ANDRADE, 2018; DUEK, 2005; LEAL, ANDRADE, 2018; SANTOS *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2017; SILVA; ANDRADE, 2018).

A proposta desse artigo é fazer a modelagem do tempo até a falha de uma bomba de refrigeração de alto-forno de uma empresa siderúrgica. Além disso, é calculada a posição da fase de vida do equipamento na curva da banheira.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento de pesquisa empregado no presente trabalho foi o estudo de caso de uma bomba de refrigeração de alto-forno. Os dados em questão foram fornecidos pela Ligas de Alumínio S/A (Liasa), situada no norte de Minas Gerais, correspondendo ao tempo de falha da bomba no primeiro de agosto de 2017 a maio de 2018, sob condições normais de trabalho. A Liasa é uma siderúrgica que produz silício metálico, atualmente com mais de 20 patentes industriais concedidas e depositadas. A empresa possui quatro fornos de silício metálico com cerca de 85% dessa produção destinada ao mercado externo, principalmente Europa, Ásia, América do Norte e Oriente Médio. A empresa é associada da Associação Brasileira de Produtores de Ferroligas e de Silício Metálico (Abrafe), que ajudou a fundar em 1972.

Se tratando de alto-forno, é necessário de remover a carga térmica do sistema, e, na maioria das vezes, é usada a água como fluido de resfriamento. A bomba faz a circulação da água a partir de um tanque de armazenamento, bombeando a água para um sistema de encanamento que permite o fluxo por dentro do alto-forno. Após todo o percurso da água no encanamento, esta chega à torre alpina, onde ocorre o processo de refrigeração, assim garantindo que a temperatura do alto forno não exceda o limite, garantindo a integridade física dos funcionários e da matéria prima.

Os dados apresentados na Tabela 1 são relativos ao tempo até a falha de uma bomba de refrigeração do alto-forno da Liasa.

**Tabela 1** – Tempos de falha da bomba de alto-forno em horas.

Tempos até a falha (horas)						
216	1440	192	48	168	188	2808
120	6744	1440	3720	528	144	984
528	960	360	1272	720	384	360

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os dados foram analisados no ProConf (FRITSCH; RIBEIRO, 1998), um programa computacional projetado para o ajuste de distribuições de tempos de falha para dados de confiabilidade, por meio de métodos gráficos e métodos analíticos. Os histogramas de frequência das falhas e os gráficos de linearização foram utilizados como métodos gráficos para comparar as curvas das distribuições de probabilidade e verificar o modelo que apresenta melhor aderência aos dados amostrais.

A caracterização da distribuição de frequência foi realizada por meio de testes de aderência às distribuições de probabilidades Exponencial, Gama, Lognormal e *Weibull*. Os testes utilizados foram: Qui-Quadrado (χ^2) e *Kolmogorov-Smirnov* (K-S). O *software* informa o valor-p e aponta quais distribuições não podem ser rejeitadas. A validação é dada se o valor-p for maior que 5% em ambos os testes de aderência. Quando o mesmo é maior a 5% em ambos os testes, a distribuição não pode ser rejeitada, o que significa que poderá ser utilizada na modelagem. Caso mais do que uma distribuição não possa ser rejeitada, cabe ao pesquisador justificar a escolha por uma delas por fundamentação teórica.

Foram também fornecidas as estimativas dos parâmetros da distribuição de probabilidade que melhor modela o conjunto de dados em estudo, utilizando o método de máxima verossimilhança. Além disso, são apresentadas as representações das funções de confiabilidade $R(t)$ e de risco ou taxa de falha $h(t)$.

O comportamento da taxa de falha de um equipamento ao longo do tempo foi verificado, bem como tipo de manutenção associado. A curva da banheira apresenta três períodos característicos de vida de componentes e equipamentos: mortalidade infantil, fase de maturidade e mortalidade senil. (LAFRAIA, 2001; SELLITTO, 2005).

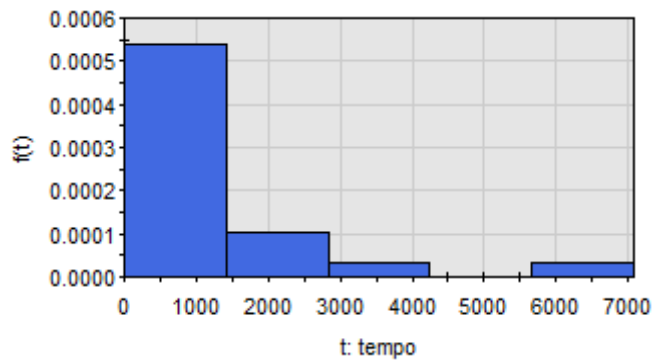
Sellitto (2005) relaciona cada fase da curva a um comportamento da função de risco $h(t)$ pelo parâmetro de forma γ da distribuição de *Weibull*. Para fazer tal comparação é necessário obter o valor de γ . Segundo o autor, cada fase do ciclo de vida está associada com uma estratégia de manutenção mais adequada, seja a corretiva, preditiva ou preventiva. Quando γ for menor do que 1, a função de risco $h(t)$ é decrescente, logo o item se encontra na fase de mortalidade infantil e a estratégia de manutenção mais adequada é a corretiva. Quando γ for maior que 1, a função de risco $h(t)$ é crescente, logo a fase de vida do item se encontra na mortalidade senil e a estratégia que melhor se adéqua é preventiva. E quando γ é aproximadamente ou igual a 1, a função de risco $h(t)$ é constante, indicando a fase de vida útil do item, sendo que a estratégia mais adequada é a manutenção preditiva. Na fase de mortalidade senil, é o fim da vida útil do equipamento, pois a taxa de falha é crescente e a estratégia que melhor se adéqua é a preventiva, pois a troca antecipa a quebra inevitável.



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, foram obtidos alguns gráficos relativos ao conjunto de dados dos tempos de falha. A frequência de ocorrência dessas falhas, número de falhas por tempo, está apresentada na Figura 1.

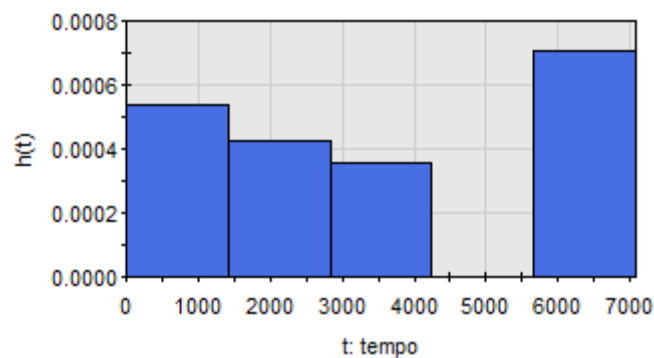
Figura 1 – Gráfico de frequência das falhas.



Fonte: ProConf.

O formato do histograma não permite definir a distribuição para modelar adequadamente o conjunto de dados estudados, pois pode ser representativo de mais de uma distribuição. Na Figura 2 está representado o histograma da taxa de falha ou de risco $h(t)$ para o conjunto de dados.

Figura 2 – Taxa de Falha.



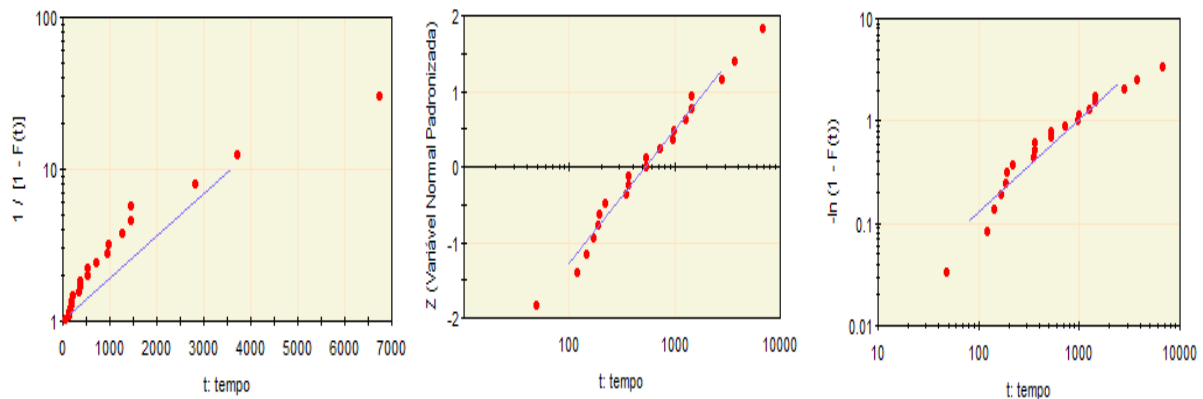
Fonte: ProConf.

Observa-se na Figura 2 que os dados apresentam uma relação inicialmente decrescente até o tempo 4000 horas, com posterior elevação bem caracterizada da taxa de falha.

Os gráficos de linearização permitem verificar a adequação dos dados a determinada distribuição. Na Figura 3 têm-se os aspectos do papel de probabilidade correspondentes, respectivamente, às distribuições Exponencial, Lognormal e *Weibull*, obtidas por meio do ProConf.



Figura 3 – Gráficos de linearização das distribuições Exponencial, Lognormal e *Weibull*.



Fonte: ProConf.

Pela análise visual dos gráficos apresentados na Figura 3, verifica-se que a distribuição Exponencial não se ajustou bem à reta. As distribuições Lognormal e *Weibull* se ajustaram melhor à reta, sendo as principais candidatas para modelar esses dados.

Os valores-p dos testes de aderência Qui-Quadrado (χ^2) e de *Kolmogorov-Smirnov* (K-S) são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valor-p dos testes de aderência.

Modelo	χ^2	K-S	Decisão
Exponencial	0,0823	0,0398	Rejeitada
Gama	0,5795	0,2367	Não pode ser rejeitada
Lognormal	0,6545	0,3093	Não pode ser rejeitada
<i>Weibull</i>	0,4656	0,2229	Não pode ser rejeitada

Fonte: Elaborada pelos autores.

Esses resultados corroboram com a análise anterior, feita nos gráficos de linearização. Apesar de três distribuições não terem sido rejeitadas, conforme resultados apresentados na Tabela 2, o presente estudo utilizará a distribuição *Weibull* para a modelagem do tempo até a falha. Fogliatto e Ribeiro (2009) afirmam que para amostras de tempos até a falha de tamanho pequeno, que é o caso, supor dados seguindo uma distribuição de *Weibull* costuma ser um bom ponto de partida na análise. Além disso, a distribuição *Weibull* tem a vantagem de ser mais flexível no ajuste de diferentes tipos de dados e de permitir relacionar o seu parâmetro de forma γ à fase da curva da banheira. (SELLITTO, 2005).

Com a definição do modelo a ser seguido foi possível estimar seus parâmetros, bem como outros resultados dos ajustes apresentados pelo ProConf, conforme a Tabela 3. O t_{10} e t_{50} correspondem aos valores limites de tempos, nos quais 10% e 50% das falhas ocorreram. São apresentadas também as estimativas dos parâmetros da *Weibull*, representados por γ e θ .



Tabela 3 – Resultados dos ajustes – *Weibull*.

Parâmetro	Resultado
t_{10} (horas)	52,7185
t_{50} (horas)	594,5001
MTTF (horas)	1102,0850
γ	0,8325
θ	990,2367

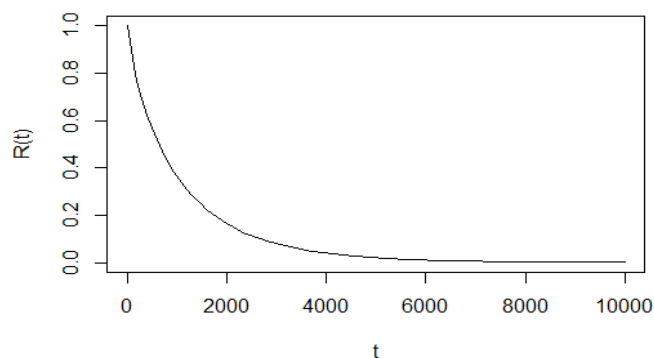
Fonte: Elaborada pelos autores.

De acordo com a Tabela 3, o tempo médio até a falha da bomba de refrigeração é de 1102,08 horas, e metade dos equipamentos falham antes de 594,50 horas. Além disso, os parâmetros de forma γ e escala θ da *Weibull* são, respectivamente, 0,83 e 990,24.

Com base nos resultados, pode-se assumir seguramente que a fase de vida da amostra da bomba de refrigeração estudada corresponde à fase de mortalidade infantil, já que γ foi menor que 1.

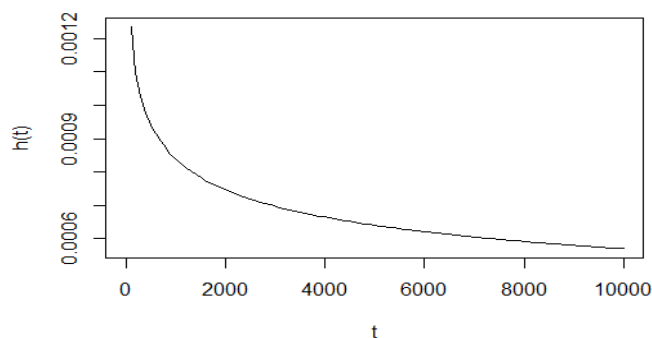
A função confiabilidade está representada na Figura 4. Consta-se que a confiabilidade sempre se dá em uma curva decrescente em função do tempo. A função de risco $h(t)$ está representada na Figura 5.

Figura 4 – Gráfico da função de confiabilidade $R(t)$.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 5 – Gráfico da função de risco $h(t)$.



Fonte: Elaborada pelos autores.



Pode-se observar que a taxa de falha é decrescente, mas com tendência a estabilização. O fato de γ ter assumido valor menor que 1 (0,83) indica fase de mortalidade infantil em que a manutenção indicada é a corretiva. (SELLITTO, 2005). Entretanto, o autor informa ainda que por estar muito próximo do valor 1 é um indicativo de início da fase da vida útil, na qual a manutenção preditiva é a mais indicada. Segundo o autor, a manutenção preditiva tem como objetivo estabelecer o ponto ideal para a execução da manutenção preventiva, uma vez que os equipamentos estão sendo supervisionados e monitorados continuamente, não permitindo o início da fase de desgaste dos seus componentes. Desta forma, aumenta a vida útil dos seus componentes com consequente elevação na produtividade e disponibilidade, diminuição dos custos de reparos, melhoria da segurança e maior credibilidade do serviço prestado.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível estabelecer parâmetros capazes de auxiliar de maneira precisa a tomada de decisão referente à realização de investimentos, estudo de garantia e procedimentos de manutenção e operação com maior embasamento científico por meio de estudos quantitativos de confiabilidade.

Ao longo da pesquisa, foram observados dados de tempo até a falha. Por meio de métodos gráficos e analíticos, foi possível determinar a distribuição *Weibull* como a que melhor se ajustou os dados estudados, sendo a escolhida para modelar o tempo até a falha da bomba de refrigeração.

O parâmetro de forma da distribuição *Weibull* obtido mostra que o comportamento da bomba de refrigeração se encontra no final da fase de mortalidade infantil, mostrando risco e confiabilidade decrescente, tendendo a uma estabilidade de funcionamento e com diminuição de quebras.

Ao analisar os dados nos gráficos da função de confiabilidade e da função de falha/risco mostra a importância de elaborar um plano de manutenção para cada fase da curva da banheira, para evitar ocorrência de falhas.

Notou-se que a análise de estudo de caso com discussão foi eficiente, visto que confiabilidade é uma técnica em desenvolvimento e ainda pouco explorada no que diz respeito à indústria brasileira. Então, é válido concluir que ela é muito importante para qualquer processo industrial, pois uma tomada de decisão baseada em tentativa e erro pode gerar problemas graves para uma empresa. Por fim, estas análises quantitativas dos tempos até as falhas do equipamento são relevantes para determinação de estratégias de manutenção a ser realizada pela empresa, a fim de garantir maior disponibilidade do produto.

5. REFERÊNCIAS

BRANDÃO, M. O.; ANDRADE, P. C. R. Modelagem dos dados de falhas de um pasteurizador de garrafas de cerveja. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v.10, n.2, p.172-181, 2018.

BARBOSA, F. C. S.; ANDRADE, P. C. R. Análise de falhas em equipamentos e a importância do planejamento da manutenção: uma aplicação em uma usina sucroalcooleira. **ForScience**, São Luiz Formiga, v.7, n.2, e00638, jul./dez. 2019.



CARVALHO, A. L. **Análise de disponibilidade utilizando abordagem nebulosa**. 2008. 123f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

CERVEIRA, D. S.; SELLITTO, M. A. Manutenção Centrada em Confiabilidade (MMC): análise quantitativa de um forno elétrico a indução. **Revista Produção Online**, v.15, n.02, p.405-432, 2015.

DUEK, C. **Análise de confiabilidade na manutenção de componente mecânico de aviação**. 2005. 119f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

ELSAIED, E. A. **Reliability engineering**. Reading, MA: Addison Wesley Longman, 1996.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FRITSCH, C.; RIBEIRO, J. ProConf: Um software orientado para análises de confiabilidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18., 1988, Niterói. **Anais...** Niterói: ABEPRO, 1998.

KNIGHT, C. R. Four decades of reliability progress. Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium. **IEEE Reliability Society**, p.156-159M, 1991.

LAFRAIA, J. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

LEAL, V. J.; ANDRADE, P. C. R. Modelagem dos dados de falha de um caminhão fora de estrada. **ForScience**, São Luiz Formiga, v.6, n.3, e00500, jul./dez. 2018.

LEEMIS, L. **Reliability**: probabilistic models and statistical methods. New York: Prentice-Hall, 1995.

LEWIS, E. **Introduction to reliability engineering**. New York: John Wiley & Sons, 1996.

SANTOS, M. M. M *et al.* Modelagem do tempo de vida de um inversor de frequência. **ForScience**, São Luiz Formiga, v.5, n.3, e00288, 2017.

SELLITTO, M. A. Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos. **Produção**, v.15, n.1, p.044-059, 2005.

SILVA, E.C *et al.* Análise de Dados de Falha de um Transmissor de Fibra Óptica. **Revista Thema**, Pelotas, v.14, n.4, p.259-266, 2017.

SILVA, E. M. N.; ANDRADE, P. C. R. Análise de confiabilidade de um inspetor eletrônico de garrafas. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v.16, n.2, p.1-9, 2018.

WUTTKE, R. A.; SELLITTO, M. A. Cálculo da disponibilidade e da posição na curva da banheira de uma válvula de processo petroquímico. **Revista Produção Online**, v.8, n.4, dez. 2008.

Submetido em: **02/03/2021**

Aceito em: **04/08/2021**