

ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DE UMA USINA DE CANA DE AÇÚCAR PARA FORMULAÇÃO DE UMA ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

ELIAS TADEU DA SILVA – eng.eliastadeu@bol.com.br
UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA - UNIARA

JORGE ALBERTO ACHCAR- achcar@fmrp.usp.br
UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA - UNIARA

CLAUDIO LUIS PIRATELLI- clpiratelli@uniara.com.br
UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA - UNIARA

Área: GESTÃO DA PRODUÇÃO
Sub-Área: GESTÃO DA MANUTENÇÃO

Resumo: A MANUTENÇÃO E A SUA GESTÃO POSSUEM UMA IMPORTÂNCIA SUBSTANCIAL NA BUSCA DE VANTAGEM COMPETITIVA DAS COMPANHIAS. POR ISSO, A ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DOS EQUIPAMENTOS É PARTE FUNDAMENTAL PARA A DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO MAIS ADEQUADA. O OBJETIVO DESTES ARTIGOS FOI AVALIAR POR MEIO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE A CURVA DE CONFIABILIDADE INDUSTRIAL DE UMA USINA DE CANA DE AÇÚCAR LOCALIZADA NO INTERIOR DO ESTADO DE SÃO PAULO E DESTA FORMA RESPONDER SE A ATUAL ESTRATÉGIA É A MAIS ADEQUADA PARA O GERENCIAMENTO DA SUA MANUTENÇÃO. O MÉTODO DA PESQUISA UTILIZADO FOI À MODELAGEM ESTATÍSTICA APLICADA AO TEMPO ENTRE FALHAS (TBF) DE TODOS OS EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS QUE INTERROMPEM O PROCESSO DE MOAGEM DE UMA MOENDA, OU SEJA, INTERRUPÇÃO NA LINHA DE PRODUÇÃO. ESTES TEMPOS FORAM MODELADOS POR DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE LOG-NORMAL E WEIBULL E OS RESULTADOS APONTAM QUE DENTRE AS ESTRATÉGIAS USADAS PELA USINA O USO INTENSIVO DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA DURANTE A ENTRESSAFRA NÃO É ADEQUADO. COMO A ANÁLISE ESTATÍSTICA IDENTIFICOU QUE ESTES EQUIPAMENTOS SE ENCONTRAM NA FASE DE MORTALIDADE INFANTIL DO CICLO DE VIDA ÚTIL, SUGERE-SE ELIMINAR A CAUSA RAIZ DAS FALHAS UTILIZANDO ESTRATÉGIAS MAIS ADEQUADAS COMO AS MANUTENÇÕES CORRETIVAS E EMERGENCIAIS.

Palavras-chaves: MANUTENÇÃO; CONFIABILIDADE; MCC; CANA; AÇÚCAR.

ANALYSIS OF RELIABILITY OF AN SUGAR CANE FACTORY FOR THE FORMULATION OF AN INDUSTRIAL MAINTENANCE STRATEGY

Abstract: *MAINTENANCE AND MANAGEMENT HAVE SUBSTANTIAL IMPORTANCE IN SEARCH OF THE COMPANY'S COMPETITIVE ADVANTAGE. THE RELIABILITY ANALYSIS OF THE EQUIPMENT IS SO FUNDAMENTAL FOR THE DEFINITION OF THE MOST SUITABLE MAINTENANCE STRATEGY. THE PURPOSE OF THIS ARTICLE IS TO ASSESS THE RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE OF THE INDUSTRIAL RELIABILITY CURVE OF AN SUGAR CANE DEPARTMENT LOCATED IN THE INTERIOR OF THE STATE OF SÃO PAULO AND IN THIS WAY ANSWER IF THE CURRENT STRATEGY IS THE MOST SUITABLE FOR THE MANAGEMENT OF ITS MAINTENANCE. THE METHOD OF THE RESEARCH USED WAS TO THE STATISTICAL MODELING APPLIED TO THE TIME AMONG FAULTS (TBF) OF ALL THE INDUSTRIAL EQUIPMENT THAT INTERRUPTED THE PROCESS OF GRINDING OF A MOUNT, OR, AN INTERRUPTION IN THE PRODUCTION LINE. THESE TIMES HAVE BEEN MODELED BY LOG-NORMAL AND WEIBULL PROBABILITY DISTRIBUTIONS AND THE RESULTS POINT THAT IN THE USINA'S STRATEGIES THE INTENSIVE USE OF PREVENTIVE MAINTENANCE DURING THE ENTRESSAFRA IS NOT SUITABLE, WHICH STATISTICAL ANALYSIS IDENTIFIES THAT THESE EQUIPMENTS ARE IN THE STAGE OF CHILD MORTALITY IN THE LIFE CYCLE, AND THAT IS SUGGESTED TO ELIMINATE THE ROOT CAUSE OF FAULTS BY USING MORE RELEVANT STRATEGIES AS CORRECTIVE AND EMERGENCY MAINTENANCE.*

Keywords: *MAINTENANCE; RELIABILITY; RCM; SUGAR; CANE.*

1. Introdução

Para Mobley (2002) a manutenção pode ser classificada em manutenção corretiva, manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção produtiva total (TPM-total productive maintenance) e manutenção centrada na confiabilidade (MCC ou RCM-reliability centered maintenance).

De acordo com Farrerro, Tarrés e Losilla (2002) para se obter uma política de manutenção eficiente é necessária uma combinação entre as manutenções corretivas, preventivas e preditivas, porém o tipo de manutenção e o intervalo entre as mesmas é uma função do comportamento de sua taxa de falha e do custo global envolvido no dano ocorrido. Flogliato e Ribeiro (2009) definem a técnica MCC como um programa que associa técnicas de engenharia de manutenção com um tratamento sistemático e seu objetivo é garantir a função original dos equipamentos fabris.

Para Moreira Neto e Tavares (2015) a manutenção centrada na confiabilidade (MCC) é a aplicação de uma metodologia estruturada para definir a estratégia de manutenção mais adequada para um equipamento ou sistema, por meio de um plano concebido mediante a análise das suas reais necessidades e o contexto o qual faz parte.

Na indústria alimentícia a linha de produção é composta por máquinas interligadas por mecanismos de transferências comuns com diferentes modos de falha; na ocorrência de uma falha aleatória em algum equipamento a maior parte da linha interrompe o processo, o produto inacabado pode ser descartado por causa da deterioração ou problemas de qualidade, o impacto da falha é negativo e ocasiona a queda da confiabilidade e da produção (TSAROUHAS, 2012). De forma semelhante, em uma usina sucroalcooleira os gestores devem considerar o gerenciamento da manutenção como uma parte estratégica da companhia, pois quando uma manutenção é feita de forma inadequada, provavelmente as consequências serão eventos frequentes de paradas não programadas para manutenção corretiva, o que ocasiona queda de produtividade e aumento de custos relativos às manutenções constantes (FERNANDES, 2009).

O objetivo deste trabalho é avaliar por meio da Manutenção Centrada na Confiabilidade a curva de confiabilidade da linha industrial de uma usina que produz açúcar e gera energia elétrica para responder a seguinte questão de pesquisa: A atual estratégia de manutenção da empresa objeto de estudo, é a mais adequada para o seu gerenciamento da sua manutenção?

Este artigo está, além da introdução, estruturado da seguinte forma: na seção 2 é apresentado um referencial teórico sobre modelos de confiabilidade e uma breve revisão de trabalhos que usaram MCC para avaliação de estratégia de manutenção. A seção 3 é apresentada a metodologia da pesquisa. Na seção 4 é apresentada a empresa objeto de estudo. Na Seção 5 são apresentados os resultados, a análise de variância (ANOVA) e o modelo de confiabilidade; na seção 6 as conclusões e considerações finais.

2. Referencial teórico

2.1 Modelos de Confiabilidade

Na análise de sobrevivência ou análise de confiabilidade, existem dois tipos de modelos de análise: modelos não-paramétricos e modelos não-paramétricos. O uso de métodos não-paramétricos nos permite obter perspectiva quanto a natureza da distribuição de dados a partir do qual foi desenhada, sem no entanto, selecionar uma distribuição específica (LEWIS, 1994). Para Colosimo e Giolo (2006), o uso de técnicas paramétricas tem sido mais frequente na área industrial do que na área médica. Embora haja uma grande variedade de modelos probabilísticos utilizados na análise de sobrevivência, alguns modelos ganham posição de destaque, por apresentarem comprovada adequação em distintas situações, neste caso, temos os modelos exponenciais, Weibull e o Log-normal (COLOSIMO e GIOLO, 2006). Após as análises discutidas posteriormente, neste trabalho iremos utilizar o modelo Weibull.

2.2 Aplicações dos Modelos de Confiabilidade

A distribuição Weibull, é muito usada em confiabilidade devido a sua flexibilidade em acomodar diferentes formas de função de risco (WEIBULL, 1951; COLOSIMO; GIOLO, 2006). Para uma variável aleatória T com distribuição Weibull, a função de densidade de probabilidade é dada por:

$$f(t) = \frac{\gamma}{\theta^\gamma} t^{\gamma-1} \exp\left\{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\gamma\right\}, \quad (1)$$

para $t > 0$ em que t é o tempo até a falha, γ é o parâmetro de forma e θ é o parâmetro de escala, todos positivos. Para a distribuição de Weibull (1), a função de sobrevivência ou confiabilidade $R(t)$ é dada por $R(t) = \exp\left\{-\left(t/\theta\right)^\gamma\right\}$ e tem taxa de falha igual a :

$$h(t) = \frac{\gamma}{\theta^\gamma} t^{\gamma-1} \quad (2)$$

para $t > 0$, $\gamma > 0$ e $\theta > 0$.

A forma da curva de sobrevivência é determinada exclusivamente pelo parâmetro γ . Com $\gamma > 1$, a taxa de falha é crescente; com $\gamma = 1$ tem-se taxa de falha constante (distribuição exponencial); com $\gamma < 1$ a taxa de falha é decrescente. O tempo médio de vida $E(T)$ e a variância $Var(T)$ do modelo de Weibull são dados respectivamente, por, $E(T) = \theta \Gamma[1 + (1/\gamma)]$ e $Var(T) = \theta^2 \{ \Gamma[1 + (2/\gamma)] - \Gamma[1 + (1/\gamma)]^2 \}$, sendo a função gama, $\Gamma(k)$, definida por $\Gamma(k) = \int_0^{\infty} x^{k-1} \exp\{-x\} dx$.

Sellitto (2005) relaciona as fases do ciclo de vida da curva da banheira com os valores do parâmetro de forma γ de Weibull, que representa o comportamento da curva de falhas do equipamento, elencando os tipos de falhas mais comuns encontradas em cada fase, a saber: (1) na fase de mortalidade infantil, onde $\gamma < 1$, a taxa de falhas é alta, porém decrescente ao longo do tempo; assim as falhas são prematuras, normalmente originadas por deficiências no processo de fabricação, instalação incorreta, ou materiais fora de especificação; (2) na fase de maturidade, onde $\gamma = 1$, a taxa de falhas oscila ao redor de uma média constante, as falhas são casuais e decorrentes de fatores menos controláveis, tais como mau uso do equipamento, ultrapassagem de resistência ou fenômenos naturais imprevisíveis; (3) na fase de mortalidade senil ou desgaste, em que $\gamma > 1$, a taxa de falhas é crescente; assim as falhas são causadas por envelhecimento, degradação mecânica, elétrica ou química, fadiga, corrosão, ou vida de projeto muito curta, é o fim da vida útil do equipamento.

2.3 Aplicações de MCC para definição de estratégias de manutenção

A escolha da estratégia de manutenção de uma empresa deve ser direcionada pelo uso de métodos quantitativos, e nos últimos anos, várias abordagens deste tipo foram estudadas e aplicadas à manutenção em empresas de diversos segmentos, como a metodologia RCM (Reliability-Centered Maintenance) ou MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade), a qual identifica os riscos e os impactos dos modos de falha e assim propor o melhor tipo de manutenção a ser executado para minimizar o dano (SELLITTO, 2007). De forma sistemática, a metodologia MCC visa aperfeiçoar a estratégia do planejamento da manutenção, ou seja, ela seleciona o tipo de manutenção mais propício para uma determinada situação, assim a manutenção corretiva, preventiva e por melhorias são utilizadas de forma balanceada e ampliam a disponibilidade física dos equipamentos (MOREIRA NETO e TAVARES, 2015).

Para formular uma política de manutenção industrial no setor metal-mecânico, Sellitto (2005) revisou os conceitos ligados as variáveis de processos aleatórios como forma de

definição das bases da confiabilidade e modelagem aplicada à gestão da manutenção. Através da modelagem das técnicas dos tempos até a falha e até o reparo foi estabelecido às políticas de manutenção nas fábricas desse setor (SELLITTO, 2005).

Mengue e Sellitto (2013) definiram a estratégia de manutenção (preventiva, preditiva, corretiva ou emergencial) mais adequada para uma bomba centrífuga de uma planta petrolífera com base nos conceitos da confiabilidade. Os tempos obtidos no estudo foram modelados por distribuições de probabilidade através dos resultados obtidos foram calculadas as funções de Confiabilidade $R(t)$, Manutenibilidade $M(t)$ e a Disponibilidade da bomba (MENGUE; SELLITTO, 2013).

3. Metodologia da pesquisa

A pesquisa utilizada neste trabalho foi descritiva, pois teve como objetivo, elaborar um modelo estatístico que descreve as falhas que ocorrem nos equipamentos de uma indústria e desenvolver um perfil com suas características. Esta análise foi realizada por meio das informações contidas e armazenadas em um banco de dados da própria empresa. A coleta de dados foi por meio da extração dos dados históricos de alteração de rotação e paradas de moenda disponíveis no sistema de gestão. A abordagem utilizada foi a quantitativa, e o método utilizado foi modelagem estatística com o cálculo da confiabilidade dos equipamentos por meio da modelagem dos tempos entre falhas (TBF) e da sobrevida dos equipamentos industriais de uma usina de cana de açúcar.

O método proposto foi (1) definir a escala a ser utilizada no estudo por meio da melhor normalidade entre os dados do valor minutos e a escala logarítmica do valor minutos, (2) analisar individualmente cada ano, (3) estimar os tempos entre falhas (MTBF), (4) verificar por meio da ANOVA se existe diferenças entre os anos usando dados transformados para a escala logarítmica, (5) modelar os tempos entre falhas por uma distribuição de Weibull, obtendo os estimadores dos parâmetros de forma (γ) para cada ano e, por fim, (6) concluir se o modelo adotado pela companhia está adequado de acordo com os resultados da análise estatística elaborada.

4. A empresa objeto de estudo

A empresa estudada é uma usina de cana de açúcar localizada no interior de São Paulo com fundação no início do século XX. No decorrer dos anos passou por inúmeras reformas e ampliações. Seu parque industrial tem capacidade diária de moagem de cana de açúcar de

7.300 toneladas de cana com produção de 20.000 sacas de açúcar de 50 kg com geração de 4,4 MWh de energia elétrica. A indústria possui cerca de 120 funcionários, sendo que 30 são dedicados exclusivamente à manutenção da planta que funciona 24 horas por dia, sete dias por semana, em períodos conhecidos como safra e entressafra, conforme histórico do setor e condições climáticas.

No período de safra, compreendido entre o início do mês de abril e final do mês de Novembro, a usina opera de forma integral e constante, com paradas mensais periódicas de 6 horas destinadas a manutenções programadas conciliadas a uma rotina diária de manutenção corretiva emergencial. Ainda neste período tem-se o planejamento da manutenção de entressafra, pois os dados e demandas coletados por meio dos históricos e experiência dos operadores mais antigos, nesta fase, são as bases para as manutenções futuras.

Na entressafra, início do mês de dezembro e final do mês de março, a operação da indústria está totalmente paralisada, devido término da colheita de cana de açúcar. Por isso, a indústria está disponível para a manutenção preventiva, de acordo com o planejamento e o orçamento previamente estabelecido durante a safra.

Os dados coletados para a análise estatística deste trabalho consistem de 1.209 registros de falhas da empresa do período de 01 de Maio de 2012 a 15 de Outubro de 2017, divididos em seis anos de safras. Esses registros contêm os tempos entre falhas (TBF) e os tempos de reparo (TTR) relacionados a diferentes equipamentos que podem interferir com a paralização da indústria, ou seja, neste momento o processo de moagem é interrompido e a moenda é parada.

5. Aplicações de modelos de confiabilidade no objeto de estudo

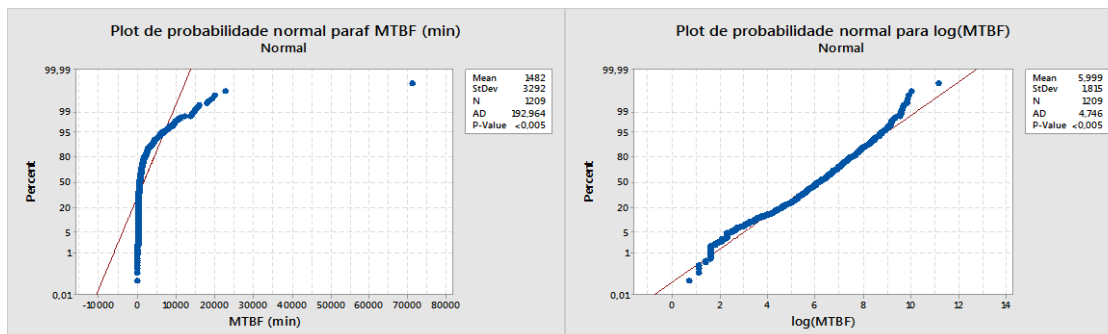
Nessa seção são apresentadas as análises estatísticas dos dados de manutenção da empresa considerada no estudo.

5.1 Resultados

Nesse estudo foram apresentados somente os resultados da análise estatística para os dados TBF aqui denotados por MTBF. Inicialmente foi considerado um modelo de ANOVA (análise de variância) para comparar as médias de TBF em diferentes anos. Neste caso, os dados foram considerados na escala logarítmica por apresentarem melhor normalidade se comparado com os dados na escala original. Isso foi observado nos Plots de probabilidade normal dados no gráfico 1 e gráfico 2 para as 1209 observações consideradas no estudo; da

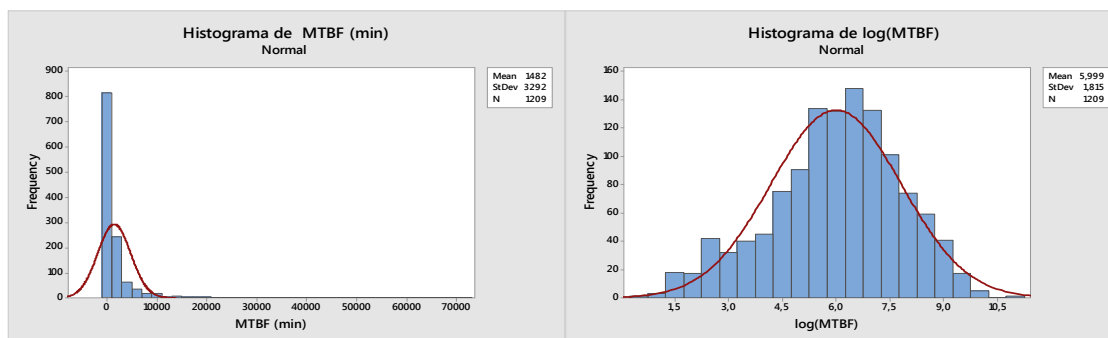
mesma forma, o teste de normalidade se repete de forma similar se cada ano for analisado separadamente, ou seja, a normalidade foi melhor quando se utilizou os dados em escala logarítmica.

GRÁFICO 1 – Teste de normalidade para os dados nas escalas original e logarítmica.



Fonte: Próprio autor (2019).

GRÁFICO 2 – Histograma para os dados nas escalas original e logarítmica.



Fonte: Próprio autor (2019).

5.2 Modelo de análise de variância (ANOVA) para comparar as médias do MTBF.

Para verificar estatisticamente se houve diferenças significativas entre as médias de MTBF para os diferentes anos, considerou-se nesta seção, o uso de um modelo de análise de variância com uma classificação. A técnica de análise de variância (ANOVA) é uma metodologia estatística para testar se um determinado fator tem um efeito significativo sobre a variável dependente Y (MONTGOMERY; RUNGER, 2010). Na Tabela 1 foram apresentados os resultados de ANOVA com uma classificação obtida usando o software Minitab® para comparar as médias de MTBF na escala logarítmica. Dos resultados dessa tabela em conjunto com os resultados do gráfico 3 (intervalos de confiança 95% para as médias), observou-se que houve diferenças significativas entre as médias para os anos considerando-se um nível de significância igual a 5%. As suposições necessárias para validação das inferências no modelo de ANOVA foram verificadas a partir de gráficos dos

resíduos (normalidade e variância constante dos resíduos).

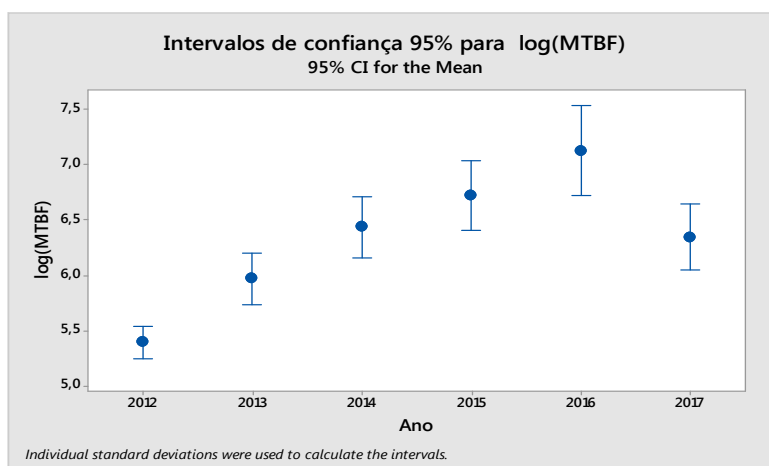
TABELA 1 – Resultados do modelo de ANOVA.

FV	GL	SQ	QM	Valor-F	Valor-p
Fator	5	70,85	14,1708	25,07	< 0,001
Erro	1203	680,07	0,5653		
Total	1208	750,92			

Fonte: Próprio autor (2019).

Desta forma, depois de constatado pela Tabela 1 que o valor-p < 0,001, isto é, bem menor do que 0,05; foi pertinente analisar a performance da manutenção entre os anos para verificar se a política utilizada é apropriada.

GRÁFICO 3 – Intervalos de confiança 95% para as médias de log(MTBF) entre os anos.



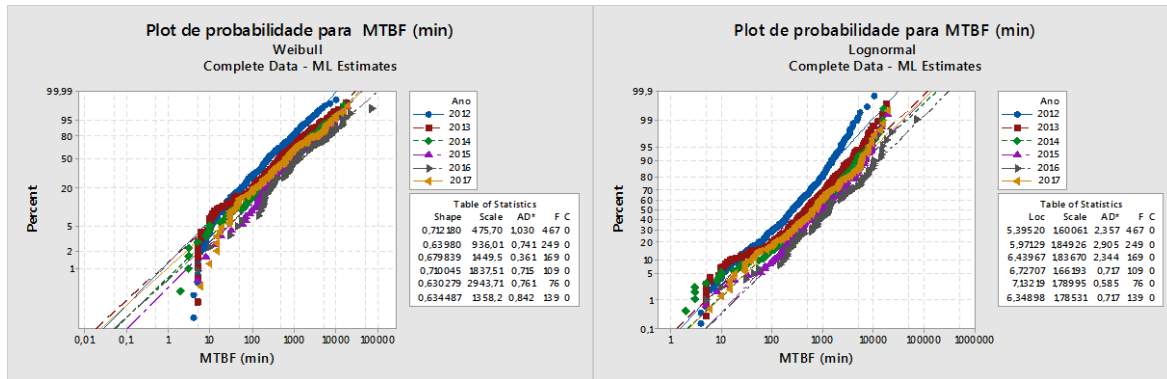
Fonte: Próprio autor (2019).

5.3 Modelo de Confiabilidade para estimar as médias do MTBF na escala logarítmica

Nesta seção os dados TBF foram analisados por modelos de confiabilidade assumindo os dados na escala original para verificar a performance da manutenção entre os anos. A partir de gráficos de probabilidade Weibull e log-normal obtidos a partir dos modelos ajustados pelos estimadores de máxima verossimilhança (EMV) e o software Minitab®, observou-se que a distribuição Weibull foi mais bem ajustada pelos dados (pontos mais próximos da reta no gráfico de probabilidade Weibull do que no gráfico de probabilidade Lognormal) conforme observado no gráfico 4.

Desta forma, foi utilizada a distribuição Weibull para obtenção das curvas de confiabilidade estimadas pelo método de máxima verossimilhança para os tempos MTBF nos diferentes anos reportados no banco de dados; as taxas de falhas, as funções de confiabilidades e os estimadores (EMV) dos parâmetros de forma e escala foram apresentadas

GRÁFICO 4 – Gráficos de probabilidade Weibull e Lognormal.

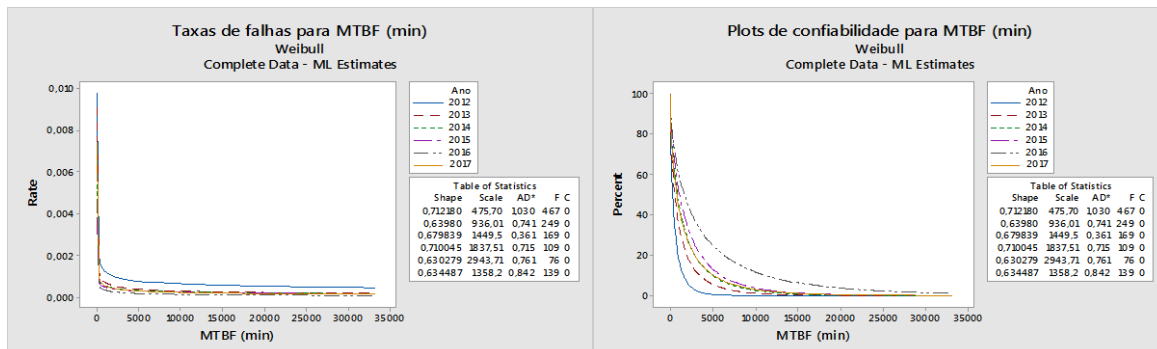


Fonte: Próprio autor (2019).

no Gráfico 5.

De acordo com o gráfico 5, taxa de falha $h(t)$, que é a probabilidade da falha ocorrer em um intervalo de tempo, foi visualmente maior no ano de 2012. Já o ano de 2016 foi o mais confiável de acordo com o gráfico da confiabilidade.

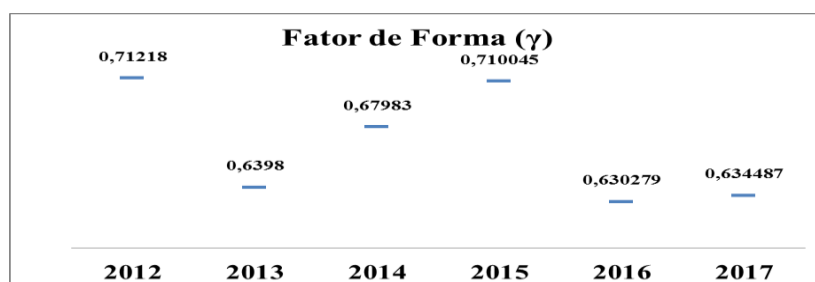
GRÁFICO 5 – Gráficos de taxas de falhas e confiabilidade assumindo a distribuição de Weibull.



Fonte: Próprio autor (2019).

No gráfico 6 (valores extraídos Gráfico 5) o parâmetro de forma (γ) de cada ano esteve sempre com valor $\gamma < 1$ e não apresenta um padrão que possa relacionar com uma possível melhora, ou seja, com uma tendência $\gamma \cong 1$, fase de maturidade no ciclo de vida.

Gráfico 6 – Parâmetros de forma (γ) durante os anos.



Fonte: Próprio autor (2019).

6. Conclusões e considerações finais

O objetivo do artigo foi verificar se estratégia de manutenção adotada pela empresa era o mais adequado para o gerenciamento da sua manutenção. Após análise dos dados foi possível identificar que, na curva da banheira, a indústria estava em fase de mortalidade infantil ($\gamma < 1$) e desta forma deveria utilizar a estratégia de manutenção adequada para esse período. A tabela 2 mostra um comparativo entre as práticas de manutenções recomendadas para Mortalidade infantil de acordo com Sellitto (2005) e a praticada pela empresa.

TABELA 2 – Estratégia de manutenção do ciclo de vida de Mortalidade infantil e o praticado pela empresa.

Fase	Estratégia	Decorrência	Recomendado	Empresa
Mortalidade infantil, falhas de origem	Emergência	Retarda ou até impede o fim da mortalidade infantil ao não reforçar os itens que quebraram ou não remover as causas das falhas de origem.	Sim	Sim
	Corretiva	Antecipa o fim da mortalidade infantil ao reforçar os itens que quebraram ou remover as causas das falhas de origem.	Sim	Sim
	Preditiva	Monitora as falhas em progresso que podem resultar em quebra, mas estas são muito poucas nesta fase, pois as quebras se dão mais por baixa resistência.	Não	Não
	Preventiva	Perpetua ou até agrava a mortalidade infantil ao trocar exatamente os sobreviventes, os itens fortes, que não têm falhas de origem.	Não	Sim

Fonte: Adaptado (SELLITTO, 2005)

Na região de mortalidade infantil ocorrem falhas prematuras devido a erros nos processos de fabricação, na instalação ou na aplicação dos materiais dos equipamentos (MENGUE; SELLITTO, 2013). De acordo com a Tabela 2 as estratégias de manutenção recomendadas foram a corretiva e a emergencial, pois buscariam a causa raiz dos possíveis defeitos e os eliminaria da operação. Porém o setor sucroalcooleiro, assim como a empresa analisada possui a prática apoiar suas decisões nas experiências dos funcionários e no histórico de quebras e com isso utiliza de forma intensa a manutenção preventiva durante a entressafra, por meio da substituição massiva de itens estáticos e rotativos (elétricos e mecânicos) sem um critério bem definido por inspeções e laudos técnicos. Desta forma a empresa se equivocou na estratégia, pois como citado no quadro acima a prática da manutenção preventiva perpetua e até agrava a mortalidade, pois substitui os sobreviventes da safra anterior, ao invés de prevenir a quebra como era o esperado.

Contudo que foi analisado e discutido neste estudo espera-se que os resultados possam contribuir com futuras pesquisas e incentivo para o aprimoramento das técnicas de confiabilidade para o setor. Como proposta de continuidade deste trabalho, sugere-se ampliar para a modelagem estatística do TTR (Time to repair) e os impactos da manutenção preditiva de hibernação na conservação dos ativos de uma usina durante o período de entressafra.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14724: Informação e Documentação - Trabalhos acadêmicos - Apresentação*. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10520: Informação e Documentação - Citações em Documentos - Apresentação*. Rio de Janeiro: ABNT, 2002a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6023: Informação e Documentação - Referências - Elaboração*. Rio de Janeiro: ABNT, 2002b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6023: Informação e Documentação - Referências - Elaboração*. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ALMEIDA, R.B.; CARVALHO, A. L.. Análise sistêmica de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade em uma frota de tratores de esteira: projeto piloto aplicado a mineração. In ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 36, 2016, João pessoa. *anais...* João Pessoa, 2016. [PB.]
- BEVILACQUA, M.; BRAGLIA, M.; GABBRIELLI, R. Monte Carlo simulation approach for a modified FMECA in a power plant. *Quality and Reliability Engineering International*, v. 16, n. 4, p. 313-324, 2000.
- COLOSIMO, E. A.; GIOLO, S. R. Análise de Sobrevivência Aplicada. 1ª edição. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2006.
- FARRERO, J. C.; TARRÉS, L. G.; LOSILLA, C. B. Optimization of replacement stocks using a maintenance programme derived from reliability studies of production systems. *Industrial Management & Data Systems*, v. 102, n. 4, p. 188-196, 2002.
- FERNANDES, S. M.; *Planejamento e controle da produção em usina sucroalcooleira*. 2009. 191 P. Dissertação (Mestre em engenharia de produção). UNIP, SÃO PAULO 2009.
- FOGLIATTO, F.S.; RIBEIRO, J. L. D.; Confiabilidade e Manutenção Industrial. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- LEWIS, E.E. Introduction to Reliability Engineering. John Wiley & Sons, 1994.
- MENGUE, D. C.; SELLITTO, M. A. Estratégia de manutenção baseada em funções de confiabilidade para uma bomba centrífuga petrolífera. *Revista Produção Online*, v.13, n. 2, p. 759-783, 2013.
- MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C.; Applied statistics and probability for engineers, 5nd Ed , Wiley & Sons, 2010.
- MOREIRA NETO, L. S.; TAVARES, D. M. L.. Aplicabilidade da mcc em uma empresa de mineração. In ENCONTRO NACIONAL DE ENG. DE PRODUÇÃO, 35, 2015, Fortaleza. *anais...* Fortaleza, 2015. [CE.]
- RAUSAND, M. Reliability centered maintenance. *Reliability Engineering and System Safety*, v.60, n.2, p.121-132, 1998.
- SELLITTO, M. A. Análise estratégica da manutenção de uma linha de fabricação metal-mecânica baseada em cálculos de confiabilidade de equipamentos. *Revista GEPROS*, n. 2, p. Pag. 97, 2007.
- SELLITTO, M. A. Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos. *Production*, v. 15, n. 1, p. 44-59, 2005.
- TSAROUHAS, P. Reliability, availability and maintainability (RAM) analysis for wine packaging production line. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v. 35, n. 3, p. 821-842, 2018.
- WEIBULL, W. A. A statistical distribution function of wide applicability. *Journal of Applied Mechanics*, 1951,18, 292-297.