

ESTUDO DE FALHAS EM EQUIPAMENTOS DE COSTURA INDUSTRIAIS UTILIZANDO O FMEA E A ANÁLISE DE CONFIABILIDADE

Nathalia Avila Braile (PUCRS)

nbraile@gmail.com

Jairo Jose de Oliveira Andrade (PUCRS)

jairo.andrade@puccs.br



Este artigo aborda a análise de confiabilidade em equipamentos de costura industriais utilizando a Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA) como ferramenta de apoio. Foram realizadas ao longo de vinte e seis semanas coletas de dados de falha de nove máquinas de costura. Após o estudo desses dados, foi proposta uma nova sistemática de análise de falhas, onde foi possível identificar em que fase da curva da banheira os equipamentos se encontram, bem como calcular o quanto se encontram disponíveis para a empresa. A descoberta dessas análises serviu para a definição de um esquema de manutenção, que, além de priorizar os modos de falha pelo NPR (Número de Prioridade de Risco) do FMEA, além de indicar a melhor estratégia de manutenção para os equipamentos em análise.

Palavras-chaves: Confiabilidade, análise de falhas, FMEA

1. Introdução

As oportunidades de aumento de produtividade, qualidade e lucratividade nunca foram melhores tratando-se dos conceitos e métodos existentes na atualidade, inclusive àqueles referentes à manutenção de equipamentos. As empresas e indústrias dispõem de uma gama de técnicas que podem lhes dar muitas vantagens competitivas, em um ambiente cuja demanda por sistemas e produtos de melhor desempenho é cada vez maior (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009; ANDRADE, 2011). Porém, o crescimento acelerado de algumas empresas, principalmente tratando-se das empresas familiares e pequenas, geralmente não é planejado. A carência de um bom planejamento e de um controle de gestão eficiente não fornece o devido suporte à tomada de decisão em muitos casos. As consequências disso são ações precipitadas e não embasadas em informações corretas que acabam gerando problemas, comprometendo assim o sucesso da organização (PERRETTI e VENDRAMETTO, 2007).

Dentre as alternativas existentes para se manter no mercado competitivo, a análise de confiabilidade é uma ferramenta importante que influencia na qualidade dos produtos, além de auxiliar na tomada de decisão de diversos setores como o desenvolvimento de produto, a produção e a manutenção (ELSAYED, 1996; ANDRADE, 2011; REIS e ANDRADE 2009). É obtendo-se o conhecimento acerca das vulnerabilidades e dos problemas dos produtos durante sua vida útil que se consegue tomar as decisões e ações para a correta gestão da manutenção, podendo-se citar como exemplo a possibilidade de se prolongar a fase de desgaste de um equipamento, prorrogando a necessidade de gastos imprevistos (DILLENBURG, 2005; TEIXEIRA *et al*, 2004; REIS e ANDRADE, 2009).

Segundo Marcorin e Abackerli (2003), utilizando-se de maneira correta a aquisição de dados de falha e de técnicas estatísticas para a avaliação desses dados, a aplicação da engenharia da confiabilidade permite estimar o tempo que um produto funcionará continuamente sem falhas, além de planejar mais adequadamente as atividades de manutenção preventiva, aumentando desta forma a disponibilidade dos sistemas para a produção.

A utilização de ferramentas como a análise de modos e efeito de falhas (FMEA – *failure modes and effects analysis*) ou a análise da árvore de falhas (FTA – *fault tree analysis*) permitem identificar equipamentos e/ou processos que possuem maior risco de ocorrência de

modos de falha durante a sua operação. Assim, é possível eliminar ou minimizar todos os modos de falha que são considerados críticos ao sistema, ou ainda, criar uma sistemática de priorização de manutenção à custos baixos (LAFRAIA, 2001; SIQUEIRA, 2005).

A FMEA analisa todas as etapas, procedimentos e operações detalhadamente para se obter e ajudar na priorização dos modos potenciais de falha (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009). É uma técnica de avaliação de falhas que indica melhorias no sistema mediante a descoberta de pontos problemáticos (modos de falha), relacionando as falhas nos componentes do subsistema com suas consequências (HELMAN e ANDERY, 1995). Portanto, os dados de saída da FMEA ou os modos de falha encontrados durante a análise podem ser considerados como dados de entrada para a análise de confiabilidade e vice-versa. Em ambas as análises se espera obter o menor número de falhas possíveis e em caso de ocorrência destas, que a extensão de sua gravidade seja a mínima possível (GUZZON, 2009).

Tendo em vista o tema abordado, o presente trabalho tem como objetivo geral propor uma sistemática de análise de falhas para verificar o desempenho de equipamentos de costura industriais. Como objetivos específicos pretende-se neste trabalho: (i) aplicar a ferramenta FMEA para analisar as falhas e identificar os principais modos de falha em equipamentos de costura industriais e (ii) calcular a confiabilidade de tais equipamentos, a fim de subsidiar um posterior estabelecimento de programas de manutenção.

2. Referencial teórico

2.1 Confiabilidade de equipamentos

Para Lafraia (2001), a análise de confiabilidade é a avaliação probabilística de um sistema ou produto funcionar dentro de limites estabelecidos, não falhando durante determinado período de tempo em certas condições ambientais, visando proporcionar um bom desempenho funcional com baixo índice de falhas de um produto. Já a NBR 5462 (ABNT, 1994) define confiabilidade como sendo a capacidade de um item exercer uma função requerida sob condições especificadas durante certo período de tempo.

Vários modelos matemáticos podem representar o comportamento até a falha de um equipamento ou sistema. Conhecendo-se a distribuição de probabilidade que mais se adequa aos tempos até a falha é possível estimar a probabilidade de sobrevivência de um item e

determinar todas as medidas utilizadas para a análise de confiabilidade. A Figura 1 apresenta de forma resumida as principais distribuições aplicadas à confiabilidade, bem como suas principais expressões empregadas para modelar o comportamento da distribuição (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009; LAFRAIA, 2001; ANDRADE, 2011).

Figura 1 – Resumo das principais distribuições aplicadas à confiabilidade e suas medidas

Tipo de distribuição	Característica principal	R(t) - Confiabilidade no tempo t	MTTF - tempo médio até a falha	h(t) - taxa de falhas em um tempo t
Exponencial	Descreve sistemas com taxa de falhas constantes.	$R(t) = e^{-\lambda t}$	$MTTF = 1/\lambda$	$h(t) = \lambda$
Weibull	Mais importante das distribuições devido à flexibilidade e capacidade de representação de amostras de tempos até falha com comportamentos distintos.	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\gamma}$	$MTTF = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right)$	$h(t) = \frac{\gamma}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\gamma-1}$
Lognormal	Distribuição mais versátil que a normal pois, tem uma forma mais variada, possibilitando melhor ajuste da população.	$R(t) = \Phi\left(\frac{\mu - \ln t}{\sigma}\right)$	$MTTF = e^{\left(\frac{\mu + \sigma^2}{2}\right)}$	$h(t) = \frac{\phi[(\mu - \ln t)/\sigma]/\sigma t}{\Phi[(\mu - \ln t)/\sigma]}$

Fonte: Adaptado de Lafraia (2001); Fogliatto e Ribeiro (2009); Andrade (2011)

Segundo Arts *et al.* (1997), as estimativas de confiabilidade em casos onde se tem diferentes modos de falha pode ser uma tarefa difícil. Para os autores, os dados de falha são uma mistura de tempos até a falha que resultam de muitos modos de falha simultâneos e que recebem o nome de modos de falha concorrentes (*competing failure mode*). Para a modelagem conjunta destes diferentes modos de falha a distribuição de Weibull é a mais indicada, exatamente por ser flexível podendo se adequar às diferentes distribuições contidas na amostra dos dados.

A versatilidade da distribuição de Weibull está relacionada basicamente com o valor de γ (parâmetro de forma). Quando $\gamma < 1$, $h(t)$ é decrescente, indicando a fase de mortalidade infantil na curva da banheira; já quando $\gamma \approx 1$, $h(t)$ tende a apresentar um comportamento constante, indicando a fase de maturidade. Neste caso, a distribuição de Weibull transforma-se na distribuição exponencial. Por fim, quando $\gamma > 1$, $h(t)$ tem uma tendência crescente, indicando a fase de desgaste (SELLITTO, 2005; ANDRADE, 2011).

A literatura apresenta muitos estudos que confirmam a aplicabilidade da distribuição de Weibull na análise de confiabilidade. Sellitto (2007) aplicou a distribuição de Weibull para a análise de confiabilidade em equipamentos complexos industriais e verificou que a aplicação do método indicou que a estratégia de manutenção preventiva é a mais adequada para as máquinas estudadas podendo então, calcular os intervalos ótimos de intervenção.

Nos trabalhos desenvolvidos por Andrade (2011) e Teixeira *et al.* (2004) a análise de confiabilidade gerou informações que permitiram a interpretação correta das falhas ocorridas, podendo-se sugerir melhorias nos produtos existentes e na geração de novos produtos. Constataram ser uma ferramenta robusta e que fornece informações relevantes, tanto do ponto de vista técnico, o qual apresenta efetivamente o desempenho do equipamento quando nas condições de uso, quanto do ponto de vista gerencial, fornecendo os dados corretos para uma tomada de decisão mais adequada com relação ao planejamento das atividades de manutenção em parques fabris.

2.2 Análise de Modos e Efeitos de Falhas - FMEA

A Análise de Modos e Efeitos de Falhas, do original em inglês *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), é uma técnica indutiva, estruturada e lógica que permite identificar potenciais falhas de um sistema, projeto e/ou processo, classificando-as conforme a criticidade obtida e tendo como objetivo eliminar ou minimizar os riscos associados a cada modo de falha verificado (LAFRAIA, 2001; YANG *et al.*, 2006).

A FMEA traduz, em uma sequência lógica e sistemática, a avaliação das formas possíveis pela qual um sistema ou processo está mais sujeito a falhas. Considera a severidade (S) das falhas, a frequência como as mesmas ocorrerem (O) e, como eventualmente poderiam ser detectadas (D). Assim, com base nestes três índices (severidade, ocorrência e detecção), é realizada uma priorização de quais modos de falha do produto podem causar maior risco (BONANOMI *et al.*, 2010). O método utilizado para essa priorização é a multiplicação da pontuação obtida para os três índices e a partir desta multiplicação é calculado o RPN (*Risk Priority Number*) ou NPR (Número de Prioridade de Risco).

Fogliatto e Ribeiro (2009) ressaltam que em caso de existência de dados quantitativos de manutenção, a Equação 1 reproduz, aproximadamente, os valores de ocorrência (O) a partir da taxa de falhas calculada.

$$\text{Ocorrência} = (\text{Taxa de falha}/0,000001)^{0,20} \quad (1)$$

Oliveira *et al.* (2011) aplicaram a FMEA de processo para identificar os modos de falha preponderantes de dois operadores. Apontaram os modos de falha como falta, sobra ou troca de itens na embalagem, quebra durante a separação, e remessa de itens vencidos. Assim, aplicaram ações de melhoria para esses três modos de falha e concluíram que após a

implementação houve redução significativa no NPR calculado e constataram uma melhoria no controle de detecção, devido ao treinamento dos operadores. Palmieri *et al.* (2008) também constataram que aplicando-se a FMEA pode-se levantar os modos de falha que ocorrem e que poderão vir a ocorrer no processo de embalagens de uma indústria do setor farmacêutico. Conseguiram verificar também as diversas causas das falhas e puderam priorizar as falhas que a equipe tomou partida para solucionar ou eliminar tais problemas.

3. Aplicação prática

3.1. Descrição da empresa

Este trabalho foi realizado em uma empresa do segmento de revestimento em couro, que atualmente possui indústria própria e uma equipe de profissionais treinados e certificados na área. Seus principais clientes são grandes concessionárias de vendas em Porto Alegre, as quais concentram em torno de 60% das vendas da empresa. Seu processo produtivo conta com 3 principais atividades: corte, costura e montagem. As atividades de pesquisa neste estudo de caso foram então desenvolvidas no setor de produção, especificamente na etapa de costura do processo.

3.2 Definição dos equipamentos

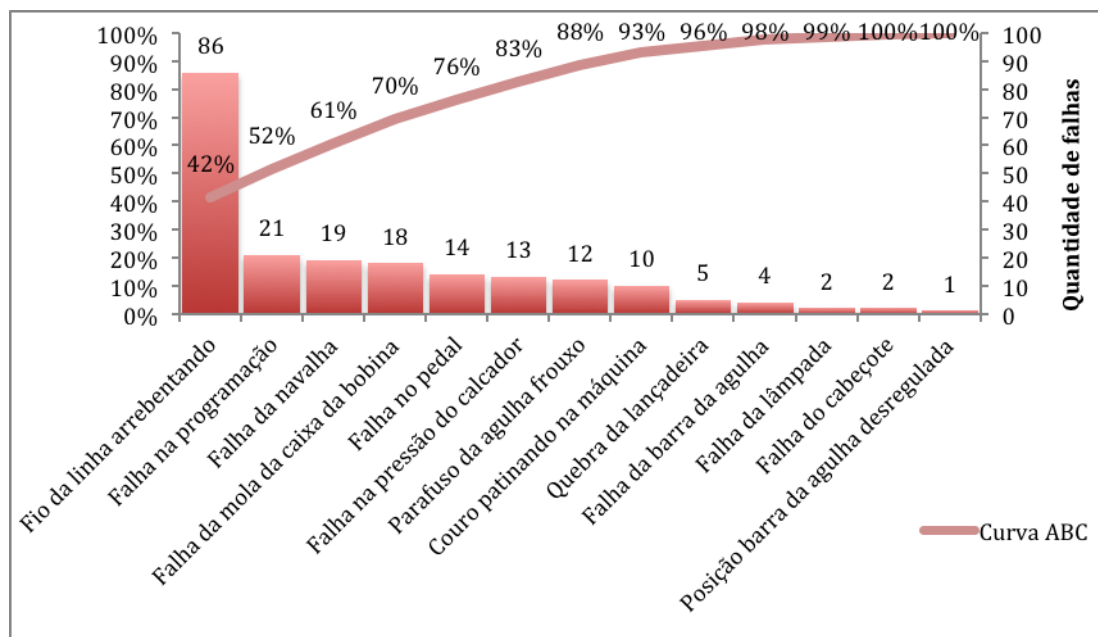
O equipamento analisado é uma máquina de costura industrial com uma ampla gama de aplicações, abrangendo desde materiais leves até matérias-primas e meio-pesadas. Tais materiais são produtos constituídos por fibras têxteis e couro que são usados nas indústrias de vestuário, decoração e automóveis. Dependendo da natureza do trabalho, a costura pode ser executada manualmente ou automaticamente.

Para este estudo foram escolhidos os 9 equipamentos de costura adquiridos pela empresa no início do ano de 2012. Foram coletados dados de falha correspondentes a um período de 26 semanas de coleta de dados de manutenção, de abril à setembro de 2012.

3.3 Análise dos Modos de Falha

A partir da coleta de dados foi possível fazer uma análise dos dados de manutenção, podendo-se constatar de que forma cada falha ocorria. Na Figura 2 estão apresentados os modos de falha incidentes nas 9 máquinas.

Figura 2 – Gráfico de Pareto da quantidade de falhas dos equipamentos de costura



Fonte: Os autores

Considerando apenas o gráfico de Pareto como um critério decisivo para análise de confiabilidade e para a elaboração da melhor estratégia de manutenção, deve-se priorizar o modo de falha *fio da linha arrebentando*, pois é a falha que aparece com maior frequência.

Durante a coleta de dados realizou-se a FMEA, que avaliou detalhadamente cada modo de falha possível de ocorrência para os equipamentos de costura em estudo. Para a realização da FMEA montou-se uma equipe de 4 pessoas: o Gerente Geral, o Gerente de Produção, o

Analista de Produção e o Líder do departamento de costura. Um extrato da FMEA está apresentado de forma resumida na Figura 3.

Figura 3 – FMEA resumida dos equipamentos de costura em estudo

FMEA - ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA									
Item / Função	Modo de falha potencial	Efeito	Causa	Meios de detecção	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO	NPR	Ações recomendadas
Equipamentos industriais de costura	B Fio da linha arrebitando	O presponto começa a soltar	Agulha com rebarba	Inexistente	4	10	9	360	Revisão periódica da agulha - relugagem do posicionamento da agulha. Estudar tempo de vida útil da agulha.
			Lançadeira desgastada	Inexistente	4	3	10	120	Revisão de 3 em 3 dias da lançadeira. Lubrificação diária da lançadeira.

Fonte: Os autores

Posteriormente procurou-se identificar quais modos de falha são mais críticos ao sistema. Em 1º lugar, com um NPR de índice 560 e 420 para cada causa, foi encontrado o modo de falha A (Quebra da lançadeira). Em 2º lugar encontrou-se o modo de falha B (Fio da linha arrebitado) (Figura 3) que aparece com uma ocorrência elevada, indo de encontro com o gráfico de Pareto da Figura 2. Além disso, esta falha leva a retrabalhos da costura, já que com o efeito do presponto soltar não é possível a união do couro, deixando assim a capa com defeitos de fabricação.

3.4 Definição dos modos de falha e equipamentos a serem estudados

Com o intuito de realizar uma análise que mais se aproxime da realidade do equipamento, verificou-se a quantidade de falhas por modo de falha e por equipamento que foram coletadas, considerando também o maior NPR encontrado na FMEA para cada modo de falha. A Figura 4 resume os dados e indica quais os equipamentos e modos de falha que devem ser priorizados e que darão continuidade ao estudo.

Figura 4 – Quantidade de falhas por máquina e por modo de falha considerando o NPR do FMEA

MODO DE FALHA	QUANTIDADE DE FALHAS POR EQUIPAMENTO DE COSTURA									TOT	NPR
	MÁQ 1	MÁQ 2	MÁQ 3	MÁQ 4	MÁQ 5	MÁQ 6	MÁQ 7	MÁQ 8	MÁQ 9		
A Quebra da lançadeira	2	0	0	0	1	2	0	0	0	5	560
B Fio da linha arrebitando	9	13	9	8	7	12	8	10	10	86	360
C Falha na pressão do calcador	2	2	1	0	0	2	2	2	2	13	350
D Falha na programação	3	3	1	4	2	2	4	2	0	21	240
E Falha no pedal	0	2	2	2	2	0	2	2	2	14	120
F Parafuso da agulha frouxo	2	0	0	0	2	2	2	3	1	12	80
G Falha da mola da caixa da bobina	6	6	2	0	2	2	0	0	0	18	80
H Couro patinando na máquina	0	4	2	0	0	4	0	0	0	10	35
I Falha da navalha	6	2	6	1	0	0	0	2	2	19	24

Fonte: Os autores

Com base na Figura 4 identificou-se que a falha A (Quebra da Lançadeira), que possui o maior NPR não possui uma quantidade suficiente de falhas para cada equipamento e nem na sua totalidade (apenas 5 falhas ocorreram durante o período de coleta) dificultando a análise de confiabilidade. Já para a falha B (Fio da linha arrebitando) encontrou-se tanto um NPR alto quanto uma quantidade alta de falhas na sua totalidade (86 falhas). Analisando a quantidade de falhas em cada máquina para esta falha, somente as máquinas 2 e 6 possuem amostras maiores apesar de, mesmo assim, apresentarem um número baixo de falhas (13 e 12 respectivamente). Para o restante das falhas, seja com alto ou baixo NPR, não se obteve uma quantidade suficiente de dados de falha para realizar a análise de confiabilidade de forma adequada.

Desse modo, o foco desse estudo se dará para o modo de falha B (Fio da linha arrebitando) já que apresenta quantidade de falhas suficiente para análise de confiabilidade e possui alto NPR (risco igual a 360). Portanto, se buscará o comportamento das falhas para este modo de falha como um todo, ou seja, utilizando os dados de todas as máquinas em conjunto. Da mesma maneira, decidiu-se realizar o estudo para os equipamentos de costura 2 e 6 individualmente, pois, apesar de apresentarem uma amostra pequena, serão avaliados para averiguar como está o comportamento das falhas até o momento.

3.5 Análise de confiabilidade

Após a definição do modo de falha que será foco de estudo, realizou-se o teste de aderência para determinar a distribuição que melhor representa o comportamento até a falha das 86 falhas coletadas para este modo de falha e dos dois equipamentos em estudo.

Através do teste de aderência realizado no *software Proconf* verificou-se que os dados do conjunto de falhas se ajustam a uma distribuição de Weibull, cujo nível de significância para

o teste de χ^2 foi de 0,3965. A Figura 5 confirma que os dados se ajustam a esse tipo de distribuição e a Figura 6 representa o comportamento da taxa de falhas em função do tempo.

Figura 5 – Papel da Probabilidade ajustado por Weibull considerando todos os dados de falha

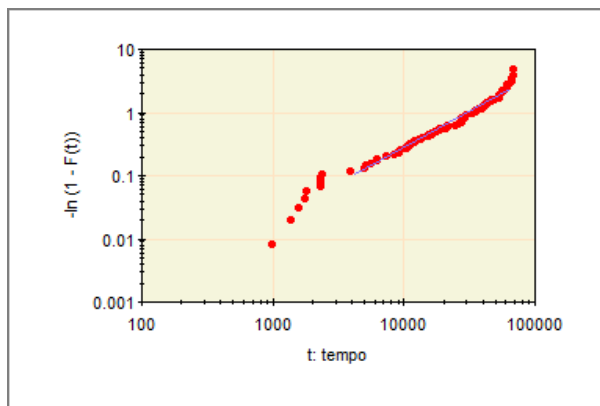
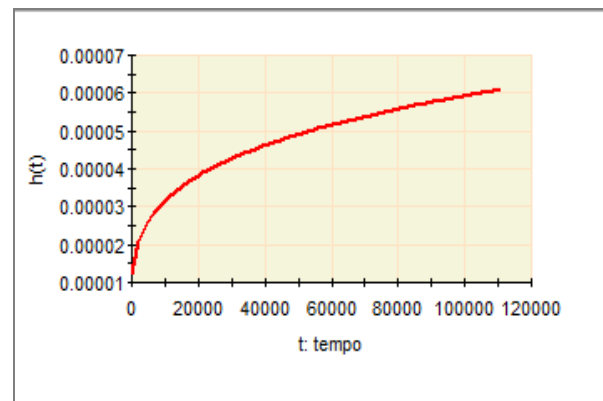


Figura 6 – Taxa de falhas em função do tempo considerando todos os dados de falha



Fonte: Software *Proconf*

Apesar da Figura 6 mostrar que as falhas estão crescendo ao longo do tempo, percebe-se que existe uma tendência à estabilização de falhas. Porém, a fase da curva da banheira que mais se adequa para o gráfico em questão é a fase de desgaste exatamente por apresentar esse crescimento ao longo do tempo. O valor encontrado de MTBF (461,3 horas) está condizente com a vivência prática diária experimentada pela equipe do setor de produção da empresa. Já o parâmetro de forma ($\gamma = 1,27$) apresentou uma leve discrepância, pois para valores de γ maiores que 1, a fase caracterizada pela curva da banheira é a de desgaste. É questionável este valor encontrado, já que a análise é realizada em equipamentos praticamente novos, cujo comportamento de falhas esperado deveria apresentar-se nas fases de mortalidade infantil ou vida útil. Porém, com base na FMEA realizada (Figura 3), percebe-se que este modo de falha possui duas causas (lançadeira desgastada, com baixa ocorrência e agulha com rebarba, com alta ocorrência). Os dados de manutenção não estão separados por causa e, desta forma, pode-se inferir que ambas as causas podem ter ocorrido ao longo do tempo, onde a agulha com rebarba acontece devido a eventos aleatórios e a lançadeira desgastada ocorre devido a desgaste da peça. Essa superposição de dados pode ter interferido na análise e influenciado, portanto, na posição dos equipamentos na curva da banheira.

Em relação à máquina 2 verificou-se que, através do teste de aderência, não se pode rejeitar a hipótese de que a amostra segue uma distribuição de Weibull com um nível de significância igual a 0,2969 para o teste de χ^2 . A Figura 7 confirma que os dados se ajustam à esse tipo de distribuição e a Figura 8 representa o comportamento da taxa de falhas em função do tempo.

Figura 7 – Papel da Probabilidade ajustado por Weibull para a máquina 2

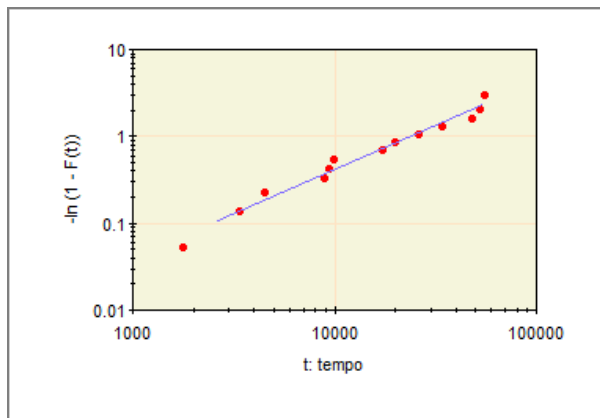
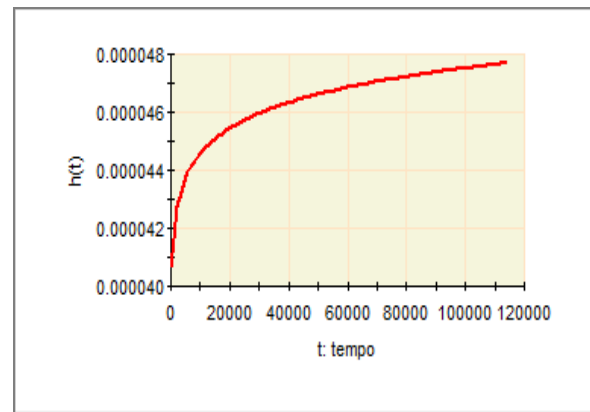


Figura 8 – Taxa de falhas em função do tempo para a máquina 2



Fonte: Software *Proconf*

Ao visualizar a Figura 8 conclui-se que há uma tendência de crescimento ao longo do tempo. Porém, ao comparar-se com o conjunto de dados do modo de falha analisado, esse crescimento acontece em uma taxa menor, indicando maior estabilidade de falhas caracterizando-se pela fase de vida útil da curva da banheira. Logo, analisando os parâmetros encontrados tem-se que o MTBF foi igual a 371,5 horas, $\gamma = 1,02$ e $\Theta = 391,3$ horas.

Os valores encontrados para MTBF e γ estão condizentes com a realidade da empresa e o parâmetro de forma indica que a máquina 2 encontra-se na fase de vida útil, pois $\gamma \approx 1$. Retomando a FMEA (Figura 3) encontra-se como causa de alta ocorrência da falha B a agulha com rebarba. Esta pode ser considerada de origem aleatória já que ocorre devido à eventos casuais (como por exemplo a desregulagem natural do posicionamento da agulha) o que reforça ainda mais a constatação da fase de vida útil da máquina 2.

Igualmente às outras análises já realizadas, a amostra de dados de manutenção da máquina 6 se ajustam a uma distribuição de Weibull ($\chi^2 = 0,0657$). A Figura 9 apresenta o papel de probabilidade de Weibull e a Figura 10 representa a taxa de falhas em função do tempo.

Figura 9 – Papel da Probabilidade ajustado por Weibull para a máquina 6

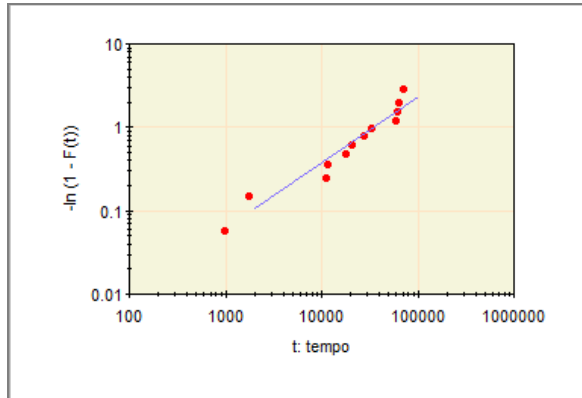
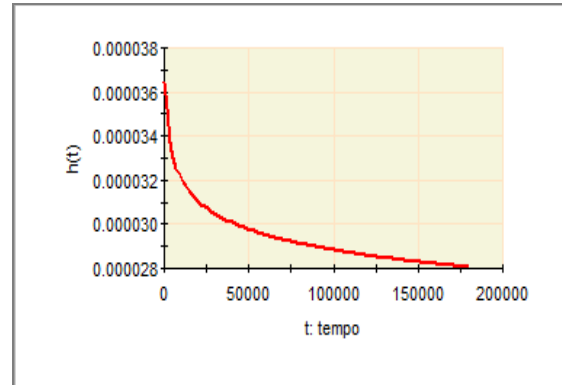


Figura 10 – Taxa de falhas em função do tempo para a máquina 6



Fonte: Software *Proconf*

Analisando-se o gráfico da Figura 10 pode-se dizer que a máquina 6 encontra-se na fase de mortalidade infantil da curva da banheira, com uma tendência para passar para a etapa de vida útil, o que pode ser representado através do valor do parâmetro de forma da distribuição ($\gamma = 0,95$), com parâmetro de escala (Θ) igual a 545,5 horas. O MTBF encontrado (534,28 horas) também vai de encontro com a vivência da equipe de produção, ou seja, na média ocorre uma falha a cada 22 dias de operação da máquina 6. A mesma interpretação realizada para a máquina 2 com relação à FMEA cabe para a máquina 6, ou seja, a causa agulha com rebarba pode ser considerada como uma causa de origem aleatória, retratando assim a fase de vida útil da máquina 6.

3.6 Novo cálculo do NPR

Foi realizado um novo cálculo do NPR da FMEA, onde foi substituído o índice de ocorrência conforme proposto por Fogliatto e Ribeiro (2009) (Equação 1) para as 2 máquinas que foram foco de estudo, considerando apenas a causa *agulha com rebarba*, já que decorre de eventos aleatórios e concluiu-se pelas análises anteriores que ambas as máquinas estão na fase de vida útil da curva da banheira.

Primeiramente, determinou-se a taxa de falha de cada máquina para um tempo de 26 semanas. Em seguida, calculou-se o novo índice de ocorrência, e logo se definiu o novo NPR, conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Cálculo para novo índice de ocorrência do FMEA

MÁQUINA	Parâmetros			Cálculo h(t)	Taxa de falhas h(t)	Cálculo Ocorrência	Ocorrência	Antigo NPR			NOVO NPR				
	γ	θ (h)	t (h)					S	O	D	TOT	S	O	D	TOT
2	1,02	391,3	1170	$h(t) = \frac{1,02}{391,3} \left(\frac{1170}{391,3} \right)^{1,02-1}$	0,0032	$Ocorrência = \left(\frac{0,0032}{0,000001} \right)^{0,20}$	5	4	10	9	360	4	5	9	181
6	0,95	545,5	1170	$h(t) = \frac{0,95}{545,5} \left(\frac{1170}{545,5} \right)^{0,95-1}$	0,0017	$Ocorrência = \left(\frac{0,0017}{0,000001} \right)^{0,20}$	4	4	10	9	360	4	4	9	159

Fonte: Os autores

Percebe-se que o índice de ocorrência diminuiu consideravelmente em ambas as máquinas com relação ao que foi discutido com a equipe para a realização da FMEA. Assim, substituindo estes novos índices na FMEA, estes tornar-se-iam o quinto para a máquina 2, e o sexto, para a máquina 6, modo de falha com maior prioridade nas ações de manutenção, e não mais o segundo.

4. Considerações finais

O presente artigo apresentou uma sistemática de análise de falhas, cujo objetivo é verificar o comportamento dos equipamentos de costura industriais, com base na análise de confiabilidade. A realização da FMEA e o novo cálculo do NPR colaboraram para uma melhor estruturação, entendimento e controle das falhas existentes nos equipamentos. Com a FMEA foi possível identificar os modos de falha que ocorrem e que poderão vir a ocorrer, determinando-se qual dos modos de falha deve ser prioritário para as ações de manutenção. A aplicabilidade do estudo foi definido considerando o cenário atual da empresa e tudo que foi proposto neste trabalho é passível de continuidade na aplicação.

REFERÊNCIAS

- ARTS, R. H. P. M.; SAXENA, A.; KNAPP, G. M. Estimation of distribution parameters of mixed failure mode data. In: **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 3, n.2, p.120-135, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462, Confiabilidade e manutenibilidade** - terminologia, 37p. Rio de Janeiro. 1994.
- ANDRADE, J. J. O. Emprego da confiabilidade na gestão estratégica da manutenção: estudos de caso. In: **Simpósio Internacional de Confiabilidade – SIC**, Fortaleza, 2011.
- BONANOMI, R. C.; SILVA, W. V da. CORSO, J. M. D.; DUCLÓS, L. C. Aplicação da teoria Grey e FMEA – Análise dos modos de falha e efeitos na priorização de riscos de projeto de desenvolvimento de software produto. In: **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 06, n. 04, p. 70-92, 2010.
- DILLENBURG, M. R. **Estimativas de confiabilidades de produto a partir das contagens mensais de vendas e falhas ao longo do período de garantia**. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2005.
- ELSAIED, E.A. **Reliability engineering**. Massachusetts: Addison Wesley Longman, 1996.

- FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- GUZZON, S. O. **Proposta de análise quantitativa de confiabilidade a partir de dados qualitativos provenientes da FMEA**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.
- HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. **Análise de falhas: aplicação dos métodos FMEA e FTA**. 1 Ed. Belo Horizonte: FCO, 1995.
- LAFRAIA, J. R. B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2001.
- MARCORIN, A. J.; ABACKERLI, A. J. Uma proposta de estimativa de confiabilidade utilizando dados de campo. In: **XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP**, Ouro Preto, 2003.
- OLIVEIRA, G. R.; ANZANELLO, M.; DUTRA, C. C. Análise de confiabilidade do processo de separação manual de uma distribuidora de medicamentos através da FMEA. In: **XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP**, Belo Horizonte, 2011.
- PALMIERI, M. P. S. M.; SILVA, W. L. V.; SANTOS, Z. A. S.; SOUZA, R. C. C. FMEA como ferramenta da qualidade: o caso do departamento de embalagens de uma indústria do setor farmacêutico. In: **XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP**, Rio de Janeiro, 2008.
- PERRETTI, O. D’A.; VENDRAMETTO, O. Gestão da manufatura na pequena indústria. In: **XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP**, Foz do Iguaçu, 2007.
- PROCONF 98**. Confiabilidade de Componentes. *Software*. Copyright© Maxxi Gestão Empresarial, Porto Alegre, 1998.
- REIS, L. O. R.; ANDRADE, J. J. O. Análise de falhas e da posição na curva da banheira de moldes empregados em equipamentos de injeção. In: **XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP**, Salvador, 2009.
- SELLITTO, M. A. Análise estratégica da manutenção de uma linha de fabricação metal-mecânica baseada em cálculos de confiabilidade de equipamentos. In: **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, ano 2, vol. 3, mai-jun de 2007.
- SELLITTO, M. A. Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos. In: **Revista Produção**, v.15, n.1, 2005.
- SIQUEIRA, I. P. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implementação**. 1 Ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.
- TEIXEIRA, M. G.; KÄMMERER A. O.; SELLITTO, M. A. Análise de confiabilidade como elo de realimentação de projetos de equipamentos industriais: um estudo de caso. In: **XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP**, Florianópolis, 2004.
- YANG, C.; LIN, W.; LIN, M. HUANG, J. A study on applying FMEA to improving ERP introduction: An example of semiconductor related industries in Taiwan. In: **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 23, n. 3, p. 298-322, 2006.